

Rapport d'expérience sur l'aérobisation

Expériences tirées de l'aérobisation des décharges de
Sass Grand, Bever (GR) et Kehlhof, Berg (TG)

Mandant Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Division Sols et biotechnologie, Section Sites contaminés

N° de projet 2649

Date Weinfelden, le 14 novembre 2022



Deponie Sass Grand (Bever GR)



Deponie Kehlhof (Berg TG)

Impressum

Mandant	Office fédéral de l'environnement (OFEV) Division Sols et biotechnologie, Section Sites contaminés		
Mandataire	Ingenias AG, Weinfelden		
Auteurs	Werner Meier, ing. dipl. EPF, MSc. (Stanford) Patrick Eicher, MSc ZFH en ingénierie Simon Griesser, dipl. en géographie, UZH Bruno Weilenmann, ing. dipl. ETS		
Date	07.12.2022		
Suivi OFEV	Christiane Wermeille, Reto Tietz, André Laube		
Clause de non-responsabilité	Cette étude a été rédigée sur mandat de l'OFEV. Le mandataire est seul responsable de son contenu.		
Localisation du projet	Décharge de Sass Grand	2'788'992,1'158'555	
	Décharge de Kehlhof	2'730'611,1'270'509	
Dplus AG	Dplus AG (www.dplus.ch) mène des projets d'aérobisation en Suisse depuis plusieurs années. En tant que filiale de la société Ingenias AG (www.ingenias.ch), son activité se limite aux processus d'aérobisation. Ingenias AG est une entreprise de conseil spécialisée dans les sites contaminés et les décharges. Elle évalue l'adéquation de la méthode et analyse les résultats. Elle a été mandatée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) pour rédiger le présent rapport d'expérience.		

Table des modifications

Version	Date	Remarques
v01	20.09.2022	Rapport intermédiaire / version provisoire à l'attention de l'OFEV
v02	16.11.2022	Rapport final

Contenu

1	Introduction	7
1.1	Situation initiale	7
1.2	Objectif	7
1.3	Manière de procéder	7
2	Bases	8
2.1	Bases légales et bases liées au projet	8
2.2	Aérobisation	8
2.3	Procédé Dplus	9
3	Décharge de Sass Grand	10
3.1	Aperçu	10
3.2	Déchets stockés	11
3.3	Historique de la décharge, grandes étapes	11
3.4	Buts de l'aérobisation, décharge de Sass Grand	11
3.5	Choix du procédé	12
3.5.1	Situation initiale	12
3.5.2	Variantes d'assainissement	13
3.5.3	Choix de la variante	15
3.6	Déroulement de l'assainissement	15
3.6.1	Aperçu chronologique	15
3.6.2	Essais préliminaires	16
3.6.3	Décision d'assainissement	17
3.6.4	Conception de l'installation et données d'exploitation	18
3.6.5	Difficultés et imprévus	21
3.6.6	Coûts	22
3.7	Résultats de l'assainissement	23
4	Décharge de Kehlhof	27
4.1	Aperçu et historique	27
4.2	Déchets stockés	29
4.3	Buts de l'aérobisation	30
4.4	Choix du procédé	30
4.5	Concept d'aérobisation et fonctionnement	30
4.5.1	Aperçu chronologique	30
4.5.2	Conception de l'installation et données d'exploitation	31
4.6	Émissions gazeuses	33
4.7	Lixiviats	34
4.8	Coûts	35

5	Constatations particulières	35
5.1	Matériaux en décharge, porosité et débit d'aspiration	35
5.2	Forages	36
5.3	Eau et pompage	37
5.4	Tassements	38
5.5	Température dans le corps de la décharge	39
6	Recommandations	40

Annexes

Annexe 1	Décharge de Sass Grand : plan de situation
Annexe 2	Décharge de Sass Grand : inventaire des déchets
Annexe 3	Décharge de Sass Grand : historique
Annexe 4	Décharge de Sass Grand : pollution des eaux souterraines
Annexe 5	Décharge de Sass Grand : pollution de l'Isellasbach
Annexe 6	Décharge de Kehlhof : charge polluante des lixiviats
Annexe 7	Assainissement par aérobisation - critères de décision

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Sass Grand : valeurs mesurées dans les eaux souterraines	12
Tableau 2 :	Sass Grand : valeurs mesurées dans l'Isellasbach	12
Tableau 3 :	Sass Grand : valeurs mesurées dans le gaz aspiré, 1994	13
Tableau 4 :	Procédés d'aérobisation	14
Tableau 5 :	Déroulement de l'assainissement du secteur 0, décharge de Sass Grand	15
Tableau 6 :	Sass Grand : données caractéristiques d'exploitation 2010	18
Tableau 7 :	Sass Grand : données caractéristiques d'exploitation 2016	19
Tableau 8 :	Sass Grand : données caractéristiques d'exploitation 2021	20
Tableau 9 :	Déchets stockés dans la décharge de Kehlhof	29
Tableau 10 :	Déroulement de l'aérobisation, décharge de Kehlhof	30
Tableau 11 :	Kehlhof : données caractéristiques d'exploitation 2022	32
Tableau 12 :	Données actuelles pour les décharges de Sass Grand et Kehlhof	35
Tableau 13 :	Eau et pompage	38

Table des illustrations

Figure 1 :	Représentation schématique du procédé Dplus	9
Figure 2 :	Situation de la décharge de Sass Grand, Bever (GR)	10
Figure 3 :	Contenu de la décharge après 50 ans	16
Figure 4 :	Conception de l'installation entre 2007 et 2011	18
Figure 5 :	Sass Grand : conception de l'installation entre 2011 et 2016	19
Figure 6 :	Sass Grand : conception de l'installation depuis 2016	20
Figure 7 :	Boues d'épuration stockées dans les secteurs 1 et 2	22
Figure 8 :	Extraction cumulée de carbone par aérobisation, décharge de Sass Grand	23
Figure 9 :	Diagramme de tendance au point de mesure 11A, Sass Grand, ammonium	24
Figure 10 :	Diagramme de tendance au point de mesure 11A, Sass Grand, COD	24
Figure 11 :	Diagramme de tendance au point de mesure 11A, Sass Grand, nitrite	25
Figure 12 :	Ammonium dans l'Isellasbach, point de mesure 3B	26
Figure 13 :	Situation de la décharge de Kehlhof	27
Figure 14 :	Coupe le long du ruisseau enterré	28
Figure 15 :	Vue générale de la décharge de Kehlhof	31
Figure 16 :	Structure de la couche supérieure, décharge de Kehlhof	32
Figure 17 :	Extraction cumulée de carbone par aérobisation, décharge de Kehlhof	33
Figure 18 :	Évolution des paramètres azotés dans la décharge de Kehlhof	34
Figure 19 :	Pompe de forage du fabricant Viridan	37
Figure 20 :	Concentration en CO ₂ dans le gaz de décharge et température du gaz avant le compresseur de la décharge de Kehlhof	39

Documents de référence

Bases générales

- [1] Estimation de la mise en danger. Une partie du module Décharges de l'aide à l'exécution relative à l'OLED, Office fédéral de l'environnement, 2019
- [2] Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201)
- [3] Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD, RS 814.600, abrogée)
- [4] Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués (Ordonnance sur les sites contaminés, OSites, RS 814.680)
- [5] Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED, RS 814.600)

Bases liées au projet, décharge de Sass Grand

- [6] Amt für Natur und Umwelt Kanton Graubünden (Office de la nature et de l'environnement, canton des Grisons). Décision d'assainissement du 10 mars 2006, Coire
- [7] Dplus AG Deponiesee (lac de décharge, en all.), rapport du 11 avril 2012, Saint-Gall
- [8] Dplus AG, Entwässerungsbohrungen (forages de drainage, en all.), rapport du 23 février 2015, Saint-Gall
- [9] Dplus AG Pumpversuche (essais de pompage, en all.), rapport du 29 juin 2015, Saint-Gall
- [10] Dplus AG Umbau Aerobisierungsanlage Sass Grand (transformation de l'installation d'aérobisation de Sass Grand, en all.), rapport du 8 juin 2016, Saint-Gall
- [11] Meier und Partner AG. Sanierungsprojekt (projet d'assainissement, en all.), rapport N° 154.6 du 18 juillet 2005, Saint-Gall
- [12] Meier und Partner AG. Vorversuche Aerobisierung, Auswertung (essais préliminaires d'aérobisation, évaluation, en all.), rapport N° 154.4 du 19 août 2005, Saint-Gall
- [13] Meier und Partner AG. Gefährdungsabschätzung Deponie Sass Grand (estimation de la mise en danger, décharge de Sass Grand, en all.), rapport du 15 novembre 2021, Weinfelden

Bases liées au projet, décharge de Kehlhof

- [14] Dplus AG Vorprojekt Aerobisierung Deponie Kehlhof (avant-projet d'aérobisation de la décharge de Kehlhof, en all.), rapport N° 555.06 du 17 juillet 2014, Saint-Gall
- [15] Dplus AG Demande de permis de construire avec rapport technique et plans du 28 mars 2017, Saint-Gall
- [16] Meier und Partner AG. Gefährdungsabschätzung Deponie Kehlhof (estimation de la mise en danger, décharge de Kehlhof, en all.), rapport du 30 novembre 2021, Weinfelden

1 Introduction

1.1 Situation initiale

La Suisse compte près de 15 000 anciens sites de décharge, dont près de la moitié sont des décharges de déchets urbains présentant des proportions variables en déchets organiques. Déchets urbains, divers déchets industriels, déchets verts, balayures et boues routières, déchets encombrants et autres détritiques de bois se décomposent dans le sous-sol pendant des décennies. Les produits de dégradation de ces déchets (p. ex. ammonium, nitrite, dioxyde de carbone et méthane) sont souvent à l'origine d'un besoin d'assainissement selon l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites) pour les biens à protéger que sont les eaux souterraines, les eaux de surface ou l'air. Le méthane et le dioxyde de carbone sont en outre des gaz à effet de serre qui, s'ils ne sont pas captés et traités, s'échappent vers l'atmosphère sur de nombreuses années. Lors de l'évaluation des variantes d'assainissement, il convient de considérer la possibilité d'une aérobisation du corps de décharge. Ce processus permet de réduire rapidement les émissions de gaz de décharge nuisibles au climat ; à moyen et long terme, il permet également de réduire les émissions de lixiviats.

1.2 Objectif

Pour l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le but du présent rapport est de clarifier dans quelles conditions un assainissement par aérobisation est approprié. L'OFEV a donc consigné les points suivants dans son cahier des charges :

1. *Description des deux décharges traitées par aérobisation*
2. *À l'époque, pourquoi a-t-on choisi l'aérobisation pour assainir ces sites ?*
3. *Pourquoi avoir choisi la technique d'aérobisation active (par suraspiration) ?*
4. *Bilan actuel :*
 - a) *Évolution des émissions de gaz ?*
 - b) *Évolution de la qualité des lixiviats ?*
 - c) *Résultats conformes aux objectifs fixés initialement ?*
 - d) *Combien de temps l'aérobisation des deux décharges devrait-elle encore se poursuivre ?*
 - e) *Coûts*
5. *Quelles optimisations serait-il utile d'apporter ?*
6. *Résumé et recommandations :*
 - f) *Quelles sont les caractéristiques du site à connaître absolument pour évaluer le processus d'aérobisation ?*
 - g) *Quand et dans quels buts recourir à la méthode par aérobisation (et quand est-il évident qu'il faut y renoncer) ?*

1.3 Manière de procéder

Le mandat a été réalisé suivant les étapes ci-dessous :

- Description du procédé d'aérobisation Dplus (chapitre 2.3)

- Description des décharges, du processus décisionnel ayant mené au choix du procédé, de la mise en œuvre du procédé d'aérobisation et de l'évolution des émissions, séparément pour les deux décharges de Sass Grand et Kehlhof (chapitres 3 et 4)
- Présentation de nos conclusions sur les travaux et développements menés jusqu'ici (chapitre 5)
- Élaboration de recommandations concernant la pertinence du procédé d'aérobisation dans le cadre d'un atelier avec des experts de l'équipe « sites contaminés » d'Ingenias AG, et présentation des résultats (chapitre 6)

2 Bases

2.1 Bases légales et bases liées au projet

Les bases légales sur lesquelles s'appuie ce rapport sont mentionnées après la table des matières. De nombreuses bases relatives aux deux projets d'aérobisation de Sass Grand, Bever (GR) et Kehlhof, Berg (TG) ont été intégrées dans ce rapport avec des informations détaillées supplémentaires. Ces références sont indiquées entre crochets dans le présent rapport.

2.2 Aérobisation

Lorsque des déchets organiques sont mis en décharge, l'oxygène ambiant présent dans le corps de la décharge est rapidement consommé par les organismes aérobies. Cet oxygène ne peut que très difficilement se renouveler car les possibilités de pénétrer dans le corps de la décharge depuis l'extérieur sont très limitées. Un climat anaérobique s'installe donc dans le corps de la décharge au fur et à mesure des dépôts de déchets.

Le processus d'aérobisation permet de faire pénétrer mécaniquement de l'oxygène atmosphérique dans le corps de la décharge pour y créer un climat aérobie. Les mécanismes de dégradation des matières organiques s'en trouvent accélérés, et les émissions de méthane réduites. La dégradation aérobie est beaucoup plus rapide que la dégradation anaérobique.

L'aérobisation entraîne une minéralisation de la matière organique et une réduction presque totale des émissions par voie gazeuse et aquatique. On obtient les effets principaux suivants :

- Réduction durable du potentiel polluant de la décharge et donc des émissions de gaz et de lixiviats
- Accélération des processus de tassement
- Réduction de la durée du suivi
- Diminution des coûts de suivi

2.3 Procédé Dplus

Dans les procédés utilisés par le passé, l'objectif premier du dégazage était de réduire les émissions de gaz s'échappant par la surface de la décharge. L'utilisation énergétique du gaz capté constituait souvent un objectif supplémentaire. Le gaz aspiré devait donc contenir une part minimale de méthane, avec pour conséquence que le taux d'aspiration (m^3 de gaz par heure) dépendait de la production de méthane dans le corps de la décharge. Les tubes introduits dans le puits de gaz étaient généralement crépinés sur une grande partie de la hauteur forée. Ce système permettait de réduire efficacement les émissions de gaz à la surface de la décharge, mais n'avait pas d'effet dans les zones plus profondes où continuait de régner un climat anaérobie.

Le principal objectif du procédé Dplus est **de soumettre la plus grande partie possible du corps de la décharge à des conditions aérobies** pour y accélérer les processus de dégradation. Il utilise pour cela des tubes crépinés uniquement dans leur partie inférieure. Une puissante suraspiration crée une dépression à l'intérieur de la décharge, ce qui force l'oxygène atmosphérique à traverser la surface de la décharge et à pénétrer dans les couches plus profondes (Figure 1). Le procédé Dplus est illustré de manière simple dans un court métrage sur www.dplus.ch.

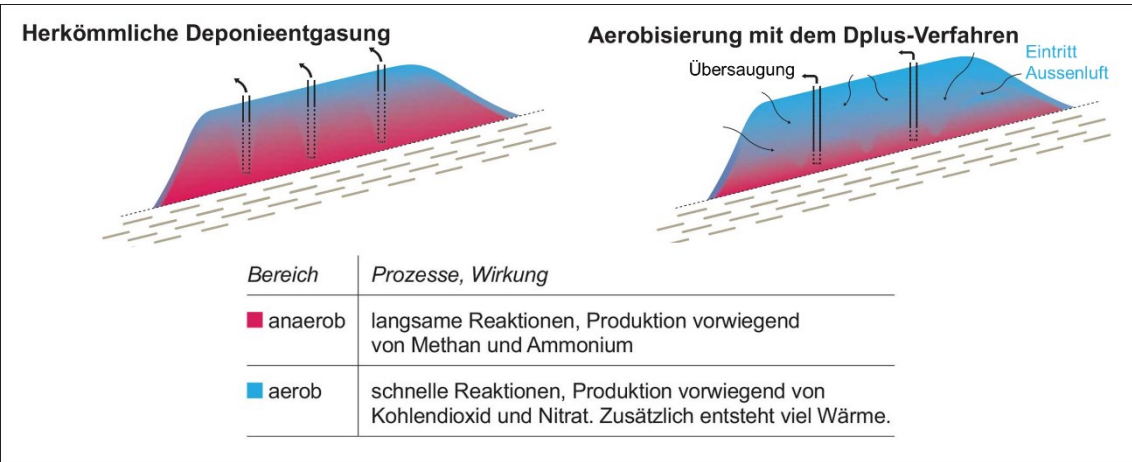


Figure 1 : Représentation schématique du procédé Dplus

3 Décharge de Sass Grand

3.1 Aperçu

La décharge de Sass Grand se trouve sur le territoire de la commune politique de Bever, dans le canton des Grisons (voir Figure 2).



Figure 2 : Situation de la décharge de Sass Grand, Bever (GR)

Les déchets y ont été déposés en trois étapes (secteurs 0, 1, et 2). L'échelonnement et l'infrastructure sont présentés dans le plan de l'annexe 1. La mise en décharge a commencé en 1967 avec l'étape 0, que l'on appellera plus loin « secteur 0 ». Actuellement, on utilise encore les secteurs 1 et 2 pour lesquels la décharge dispose d'une autorisation d'exploitation datant de 1999 qui avait alors été délivrée sur la base de l'OTD [3]. À l'époque, la décharge était considérée comme une décharge bioactive ; il s'agit maintenant d'une décharge de type E selon l'OLED [4]. Le secteur 3 figurant dans l'annexe 1 était initialement prévu pour les mâchefers d'ordures ménagères. On a entretemps renoncé à ce projet, et l'étanchéification du fond de la décharge qui aurait été nécessaire à cet effet n'a pas été réalisée. En lieu et place de cela, on y a déposé des matériaux de type A selon OLED.

Le fond du secteur 0 n'a pas été étanchéifié ; les lixiviats de ce secteur ne sont pas captés et sont en contact direct avec la nappe phréatique de l'Inn. Les secteurs 1 et 2 sont pourvus d'un système d'étanchéité du fond conforme à l'OTD. Leurs lixiviats sont captés et traités. Ils étaient autrefois acheminés vers la station d'épuration des eaux usées de Samedan, et sont maintenant traités à la STEP de Haute-Engadine à S-chanf.

Il n'existe pas encore de projet approuvé pour clôturer la décharge. Aucune décision n'a encore été prise sur la manière dont la surface sera aménagée, et les déchets ne sont ni recouverts ni compactés, de sorte que le gaz de décharge produit peut s'échapper par la surface tant qu'il n'est pas aspiré.

3.2 Déchets stockés

Les informations disponibles sur les types et les quantités de déchets stockés sont répertoriées dans l'0.

Au cours des 13 premières années d'exploitation, alors que seul le secteur 0 était utilisé, 180'000 tonnes de déchets urbains y ont été déposés en plus d'environ 60'000 tonnes de déchets encombrants, déchets de benne, matériaux inertes, déchets verts et boues d'épuration. La mise en décharge des déchets urbains s'est ensuite poursuivie jusqu'en 1999, également dans le secteur 1.

Avec l'entrée en vigueur de l'OTD [3], la teneur en déchets organiques a considérablement diminué. Aujourd'hui, environ 10'000 à 15'000 tonnes de matériaux de type E selon OLED sont encore déposées chaque année dans les secteurs 1 et 2. Une part importante de ces matériaux provient de l'assainissement de sites contaminés.

En lien avec l'aérobisation, il convient d'accorder une attention particulière aux dépôts de boues d'épuration. Les boues d'épuration ont un effet étanchéifiant et réduisent fortement la perméabilité aux gaz et à l'eau. Elles sont présentes dans les trois secteurs, et la décharge contient au total environ 40'000 tonnes de boues d'épuration. La question des boues d'épuration est abordée au chapitre 0.

3.3 Historique de la décharge, grandes étapes

Les principales étapes historiques de la décharge sont présentées sous forme de tableau à l'annexe 3.

3.4 Buts de l'aérobisation, décharge de Sass Grand

Dans le cas de la décharge de Sass Grand, c'est le **besoin d'assainissement créé pour le secteur 0** (chapitre 3.5.1) qui a motivé la mise en place d'un traitement par aérobisation. Dans sa décision d'assainissement (voir chapitre 3.6.3), l'autorité cantonale exigeait en outre le dégazage des secteurs 1 et 2, en cours d'exploitation et qui ne nécessitaient pas d'assainissement.

3.5 Choix du procédé

3.5.1 Situation initiale

En 1999, le canton des Grisons a classé le secteur 0 de la décharge de Sass Grand comme site nécessitant un assainissement selon l'ordonnance sur les sites contaminés par rapport aux biens à protéger « eaux souterraines », « eaux de surface » et « air » [4]. Cette décision se justifiait de la manière suivante :

Eaux souterraines

La décharge de Sass Grand se trouve en secteur A_u de protection des eaux. Les captages d'eau potable les plus proches en aval sont situés à 2780 m de la décharge. Selon l'OSites, la décharge était considérée comme nécessitant un assainissement, car la teneur en ammonium en aval à proximité du site dépassait la moitié de la valeur de concentration fixée dans l'annexe 1 OSites, soit 0.25 mg NH₄/l¹. Le canton des Grisons a fixé des objectifs d'assainissement supplémentaires pour d'autres paramètres, comme par exemple le paramètre cumulé COD (carbone organique dissous). Le Tableau 1 présente les plages de valeurs mesurées pour les paramètres sélectionnés avant le début de l'assainissement.

Tableau 1 : Sass Grand : valeurs mesurées dans les eaux souterraines

Paramètre	Valeurs mesurées dans les eaux souterraines (2002)		
	En amont de la décharge	En aval de la décharge à proximité du site	En aval de la décharge, zone éloignée
NH ₄ (mg NH ₄ /l)	0	70-150	0.3-3
COD (mg C/l)	0.5	20-35	3-15
SO ₄ (mg SO ₄ /l)	15	20-110	10-25

Eaux de surface

Le cours du ruisseau Isellasbach suit le pied de la décharge. Il est pollué par les eaux de pente qui s'échappent parfois de la décharge et par les eaux souterraines qui s'infiltrèrent depuis sous la décharge. Le débit de l'Isellasbach varie entre 10 et 30 l/s. Le canton des Grisons a identifié l'ammonium et le COD comme étant des paramètres problématiques.

Tableau 2 : Sass Grand : valeurs mesurées dans l'Isellasbach

Paramètre	Valeurs mesurées dans l'Isellasbach (2002)	
	En amont de la décharge	En aval de la décharge
NH ₄ (mg NH ₄ /l)	0.01	2.83
COD (mg C/l)	0.0	2.5

¹ Depuis 2017, la valeur de concentration pour l'ammonium et le nitrite ne s'applique plus qu'aux eaux de surface.

Pollution de l'air

Un essai de dégazage a été réalisé en 1994 lors de la phase de projet d'une première installation d'aspiration. Pour ce faire, on a créé des dômes de gaz puis aspiré et analysé le gaz du corps de décharge dans le cadre d'une sorte d'essai pilote. Les paramètres critiques étaient :

Tableau 3 : Sass Grand : valeurs mesurées dans le gaz aspiré, 1994

Paramètre		Résultats des analyses de gaz, 1994	
		mg/m ³	Conversion en ml/m ³
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S	81.1	53.31
Benzène	C ₆ H ₆	18.0	5.16
Méthane	CH ₄		430'000

3.5.2 Variantes d'assainissement

Les variantes présentées ci-dessous ont été discutées dans le cadre du concept d'assainissement :

Atténuation naturelle contrôlée (MNA)

Cette méthode est basée sur différents processus physiques, chimiques et biologiques qui agissent sans intervention humaine et qui, dans des conditions bien définies, permettent de réduire la masse, la toxicité, le volume et la concentration des polluants dans le sol et les eaux souterraines. Ces processus entraînent notamment la fixation, la destruction ou la transformation des polluants. Le suivi s'effectue au moyen d'analyses échelonnées dans le temps. Cette variante n'a toutefois pas été retenue car il était peu probable que les émissions tombent rapidement en dessous des objectifs d'assainissement.

Mesures d'assainissement constructives : étanchéification de surface et parois étanches

L'étanchéification de surface, si elle est appliquée comme seule mesure, risque de reporter sur les générations futures les problèmes d'émissions de la décharge fermée, provisoirement « conservée à sec ». L'installation de parois étanches en aval du flux de lixiviats ne vise pas non plus à éliminer durablement le danger, mais seulement à limiter la libération de substances ou les effets nocifs. En outre, il n'est pas certain que ces deux mesures constructives permettent d'empêcher efficacement les infiltrations d'eau. Aucune des deux variantes ne permet d'éliminer la cause, ni d'estimer la durée de l'assainissement. Ces variantes ont donc été écartées en raison de leur manque de durabilité.

Déplacement des déchets vers les secteurs étanches

Cette variante consiste à transférer les matériaux stockés dans le secteur 0 vers les secteurs étanches 1 et 2, avec ou sans remise en place ultérieure dans le secteur 0 après étanchéification du fond. Les principaux problèmes de cette variante sont le volume limité à disposition dans les secteurs 1 et 2, ainsi que la nécessité d'instaurer d'importantes mesures de protection contre les nuisances et de sécurité au travail. Cette variante a été abandonnée en raison de l'importante logistique et des coûts élevés à prévoir.

Assainissement intégral

Un assainissement intégral de la décharge avec démantèlement total, tri des déchets et élimination des fractions combustibles dans des installations thermiques entraînerait des coûts de plusieurs dizaines de millions de francs. Une grande partie des matériaux devrait en plus à nouveau être déposée dans une décharge de type E. Cette variante a été jugée disproportionnée.

Aérobisation

Le principe de base ainsi que les objectifs de l'aérobisation sont décrits dans le chapitre 2.2. Au moment du choix des variantes, les procédés suivants (avec évaluation dans la colonne de droite) ont été considérés :

Tableau 4 : Procédés d'aérobisation

Aération à basse pression	
Description De l'air est injecté dans la décharge via des puits d'injection ; le gaz est ensuite récupéré par des puits d'aspiration. On utilise pour cela des systèmes d'aspiration des gaz GDA. Leur diamètre est généralement d'environ 800 mm et, hormis dans leur partie supérieure (env. 2-4 m de matériaux cohésifs), ils sont filtrants sur toute leur profondeur car constitués de matériaux bien perméables.	Évaluation Si on met un puits de ce genre en dépression, le gaz afflue préférentiellement depuis les couches superficielles. Plus la profondeur est grande, plus les matériaux sont compactés en raison de la charge qu'ils supportent ; il s'ensuit une baisse de la porosité, et la portée - donc le flux gazeux - diminue en conséquence. L'aérobisation n'a donc guère d'effet en profondeur. De plus, l'injection d'air par les puits entraîne localement une importante augmentation de la température et un assèchement du matériau de la décharge.
Puits d'aspiration crépiné en profondeur	
Description Le gaz de décharge est aspiré depuis le fond du corps de décharge par un puits d'aspiration. Il s'ensuit une dépression dans le corps de la décharge, ce qui provoque une aspiration de l'air atmosphérique par la surface de la décharge. Voir à ce sujet la description du procédé Dplus au chapitre 2.3.	Évaluation Le procédé d'aspiration avec puits crépinés en profondeur permet d'éviter le risque de court-circuit pneumatique. Selon les besoins, il est possible d'aspirer de manière ciblée à certaines profondeurs. Comme l'air pénètre par toute la surface de la décharge en dépression, il n'est pas nécessaire d'injecter de l'air ; on réduit ainsi les coûts de l'installation et évite les augmentations ponctuelles de la température.

Procédé par ondes de pression

Description

Le procédé par ondes de pression consiste à injecter de l'air (enrichi en oxygène) dans le corps de la décharge à l'aide de lances à haute pression, et de le réaspirer à un autre endroit.

Évaluation

On a estimé que ce procédé nécessiterait environ 200 lances pour le secteur 0. Un tel procédé est très efficace en termes de temps, mais les coûts totaux sont considérablement plus élevés que pour les autres variantes d'aérobisation.

3.5.3 Choix de la variante

Après pesée des avantages et des inconvénients des différentes variantes, le choix s'est porté sur le **procédé d'aspiration avec puits crépinés en profondeur** (procédé Dplus). La décision a été motivée par les points suivants, d'un commun accord entre les responsables du canton des Grisons et le propriétaire de la décharge :

- L'aspiration en profondeur fait pénétrer l'oxygène atmosphérique dans le corps de la décharge par toute sa surface et par les surfaces environnantes. Cela oblige l'air à traverser la décharge en profondeur jusqu'au point d'aspiration, et il n'est plus nécessaire d'injecter activement de l'oxygène ou de l'air.
- Contrairement aux puits entièrement crépinés, il n'y a pas de problèmes de court-circuit pneumatique entre l'air ambiant et le puits d'aspiration.
- La vitesse de pénétration de l'air par la surface de la décharge est faible. Un processus de biodégradation modéré peut ainsi s'installer dans la zone mésophile. Il n'y a pas de réchauffement massif comme dans le cas d'une injection ponctuelle d'oxygène.
- Grâce au parallélisme entre la dégradation aérobie et anaérobie, le front de dégradation se déplace lentement de la surface de la décharge jusqu'au point d'aspiration.
- Dans un premier temps, ce système peut également être utilisé pour augmenter la production de gaz de décharge.
- Les coûts estimés sont de l'ordre du raisonnable.

3.6 Déroulement de l'assainissement

3.6.1 Aperçu chronologique

Le Tableau 5 ci-dessous donne un aperçu des différentes étapes de l'assainissement :

Tableau 5 : Déroulement de l'assainissement du secteur 0, décharge de Sass Grand

Année	Étapes
2005	Choix de la variante
2005	Essais préliminaires
2006	Décision d'assainissement de la part du canton
2008	Début de l'assainissement
2016	Transformation de l'installation (voir chapitre 3.6.4)

L'aérobisation du secteur 0 et le dégazage des secteurs 1 et 2 ont été mis en service en 2008. L'exploitation de l'installation a été confiée à la société Dplus AG, Saint-Gall. L'assainissement est toujours en cours et fait l'objet d'un rapport annuel détaillé.

3.6.2 Essais préliminaires

Les essais préliminaires visaient les objectifs suivants :

- Approfondir les connaissances sur la décharge
- Se prononcer sur les chances de succès d'un assainissement par aérobisation en ce qui concerne les émissions par voie gazeuse et aqueuse
- Base pour l'approbation du projet d'assainissement définitif par les autorités cantonales et pour établir une offre d'assainissement de la décharge

Au début des essais préliminaires, on a installé un nouveau puits d'aspiration crépiné en profondeur et réalisé plusieurs forages de mesure à différentes profondeurs de la décharge. Les forages ont fourni des informations pertinentes sur la structure de la décharge, la composition des déchets, les propriétés des déchets et le régime hydrique.

Après l'installation de points de mesure supplémentaires, différents essais d'aspiration ont été réalisés. Cela a permis d'évaluer la quantité et la composition du gaz aspiré. Les essais d'aspiration ont duré de janvier à juillet 2005.

Les essais préliminaires ont fourni les informations suivantes :

- Il reste encore beaucoup de matière organique dégradable dans le corps de la décharge, en particulier dans les couches profondes. Ainsi, on a par exemple trouvé un journal des années 60 encore lisible à 30 m de profondeur (voir Figure 3). Cette dégradation insatisfaisante des déchets est due aux conditions non optimales présentes dans le corps de la décharge: compactage, absence d'échange d'air et températures trop basses.



Figure 3 : Contenu de la décharge après 50 ans

- Une aspiration ciblée permet de créer des conditions optimales pour la dégradation, même dans les zones profondes de la décharge. Les matériaux de forage rencontrés laissent supposer qu'il existe encore un potentiel élevé de production de gaz ; sous réserve d'un pilotage approprié des processus de dégradation dans le corps de la décharge, il est possible d'en tirer du gaz de décharge combustible.
- Bien que l'air extérieur s'introduisant par la surface de la décharge soit très froid, le corps de la décharge s'est graduellement réchauffé. Seuls les processus de dégradation initiés par cet apport d'air peuvent expliquer ce réchauffement.
- Le procédé prévu permet d'influencer, de piloter et d'accélérer les processus de dégradation dans l'ensemble du corps de la décharge. Cela permet d'affirmer qu'il sera à moyen terme possible de réduire durablement les émissions émanant du corps de la décharge.

3.6.3 Décision d'assainissement

Par sa décision du 10 mars 2005, l'Office de la nature et de l'environnement du canton des Grisons a ordonné l'assainissement du secteur 0. Les principaux points de la décision d'assainissement prise à l'époque étaient les suivants :

Objectifs d'assainissement du secteur 0

- Eaux souterraines :
 - Respect de valeurs de concentration bien définies en pied de décharge (point de mesure 11A)
 - Respect des exigences relatives à la qualité de l'eau potable selon l'annexe 2, ch. 22, OEaux [2] au point de mesure 19A
- Eaux superficielles :
 - Isellasbach : respect des objectifs de qualité selon l'annexe 2, ch. 1, OEaux
 - Eau s'écoulant dans l'Isellasbach depuis le talus de la décharge : respect de 10x les valeurs de concentration selon l'annexe 1 OSites

Procédé d'assainissement

Stabilisation aérobie par puits d'aspiration perforés en profondeur, selon projet d'assainissement.

Délai d'assainissement

Les objectifs d'assainissement doivent être atteints d'ici fin 2013 (estimation de la durée d'assainissement au chapitre 3.7).

Dégazage des secteurs 1 et 2

Les secteurs 1 et 2 de la décharge doivent être dégazés conformément au projet d'assainissement.

Contrôle des résultats

Un contrôle des résultats doit être effectué. Les résultats doivent être consignés chaque année par écrit dans un rapport. En fonction des résultats, l'office peut ordonner de nouvelles mesures.

3.6.4 Conception de l'installation et données d'exploitation

La conception de l'installation a été adaptée à deux reprises au cours de l'assainissement par aérobisation. Pendant la première phase d'exploitation, à partir de 2007, l'installation comprenait deux compresseurs et le gaz aspiré depuis les zones d'aérobisation et de dégazage était acheminé vers deux lignes complètement séparées. Lorsque les concentrations de CO₂ dans le gaz aspiré sont supérieures aux concentrations de CH₄, on peut admettre que les conditions sont aérobies.

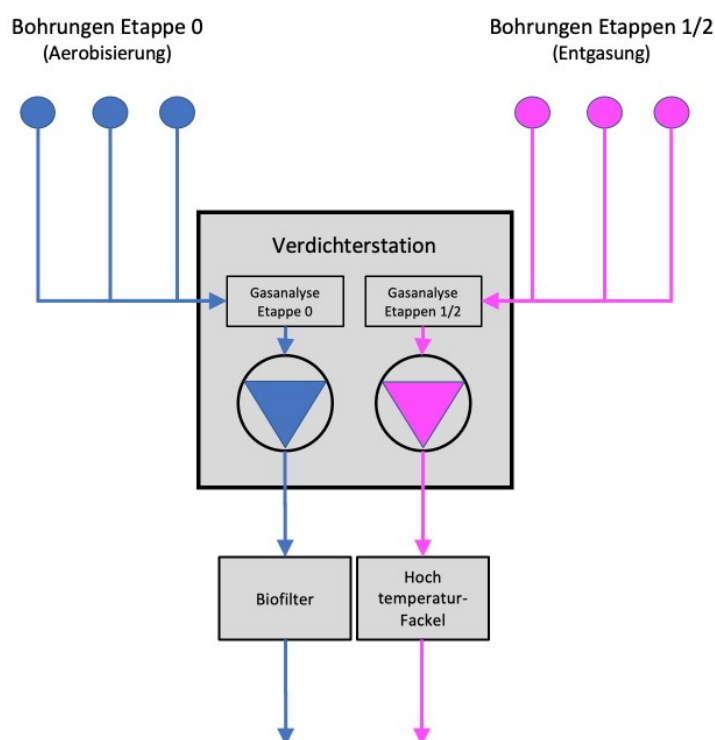


Figure 4 : Conception de l'installation entre 2007 et 2011

Les données caractéristiques d'exploitation étaient :

Tableau 6 : Sass Grand : données caractéristiques d'exploitation 2010

Année d'exploitation 2010		Secteur 0	Secteur 1/2
Volume de gaz aspiré	m ³ /h	207	70
Concentration en CH ₄	%	5	28
Concentration en CO ₂	%	13	23

L'expérience acquise durant les premières années d'exploitation a permis de constater qu'en fusionnant les deux flux de gaz, la concentration en CH₄ restait suffisante pour utiliser une torche à gaz faible. La configuration de l'installation a donc été adaptée en conséquence. Cette adaptation a également permis d'oxyder le méthane issu de l'aérobisation, et qui s'échappait jusque-là dans l'atmosphère. Cette mesure volontaire a été indemnisée en tant que projet de compensation climatique.

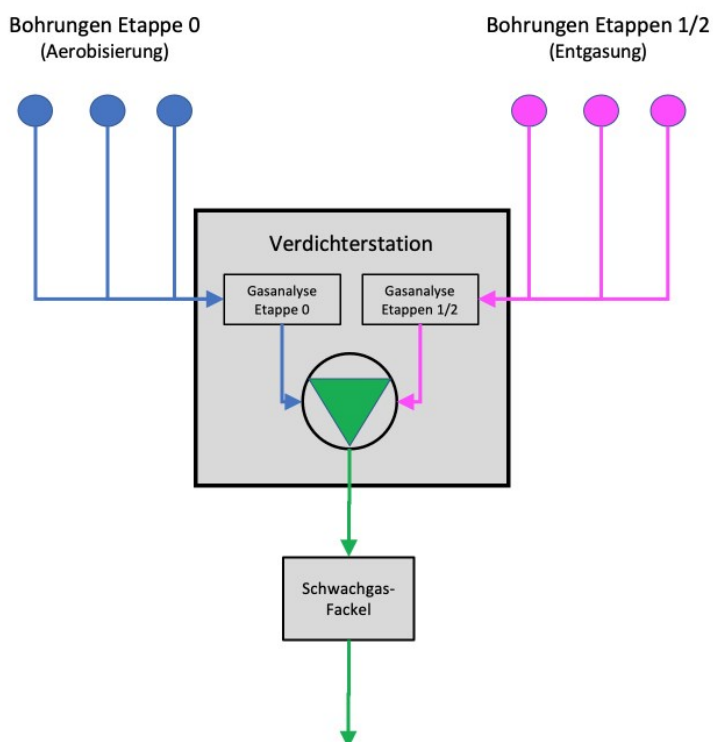


Figure 5 : Sass Grand : conception de l'installation entre 2011 et 2016

Avec la nouvelle conception, on a obtenu les données caractéristiques d'exploitation suivantes :

Tableau 7 : Sass Grand : données caractéristiques d'exploitation 2016

Année d'exploitation 2016		Secteur 0	Secteur 1/2	Total
Volume de gaz aspiré	m ³ /h	-	-	67
Concentration en CH ₄	%	12	26	21
Concentration en CO ₂	%	15	24	21

Afin de maintenir des niveaux de méthane suffisamment élevés pour le fonctionnement de la torche, il a toutefois fallu réduire progressivement le volume d'aspiration, avec l'inconvénient de réduire l'efficacité de l'aérobisation dans le secteur 0. En 2016, il a donc été décidé de remplacer la torche à gaz faible par un brûleur Flox, qui se contente de concentrations en méthane beaucoup plus faibles. La torche n'est désormais utilisée que dans des cas exceptionnels (p. ex. après un arrêt prolongé).

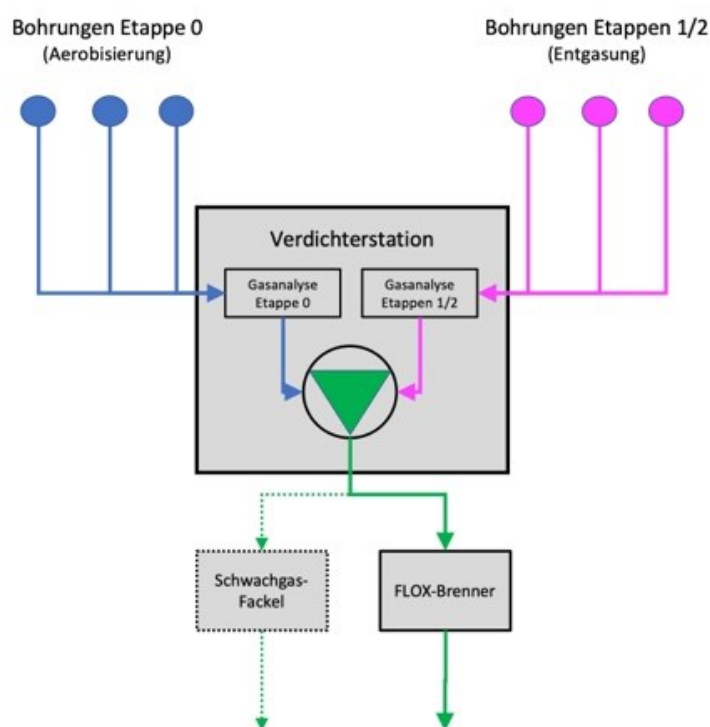


Figure 6 : Sass Grand : conception de l'installation depuis 2016

Les données caractéristiques d'exploitation sont maintenant :

Tableau 8 : Sass Grand : données caractéristiques d'exploitation 2021

Année d'exploitation 2021		Secteur 0	Secteur 1/2	Total
Volume de gaz aspiré	m ³ /h	105	31	136
Concentration en CH ₄	%	9	11	10
Concentration en CO ₂	%	14	14	14

Grâce à l'augmentation du débit d'aspiration, les secteurs 1 et 2 ont maintenant aussi pu passer à l'état aérobie.

3.6.5 Difficultés et imprévus

Au cours de l'exploitation, il s'est avéré qu'on ne parvenait à extraire que de petites quantités de gaz des secteurs 1 et 2. Des recherches effectuées à ce sujet en 2011 et 2012 ont révélé que les parties crépinées de trois forages étaient en eau. Comme les niveaux d'eau aux différents points de mesure ne variaient que très peu malgré les grandes distances qui les séparaient, on pouvait supposer la présence d'une masse d'eau uniforme à env. 1'713 m d'altitude dans la zone des trois puits d'aspiration concernés. Celle-ci n'atteignait toutefois pas la base de la décharge, mais reposait sur une couche pas ou très peu perméable du corps de la décharge. En 2014, on a en outre constaté que les quatre puits d'aspiration des secteurs 1 et 2 avaient subi des efforts de cisaillement ou étaient bouchés à env. 1 m en dessous du niveau de l'eau, et qu'il ne restait donc plus que deux courts tronçons crépinés. Comme cette situation concernait une grande surface, le dégazage actif a été très limité dans l'ensemble du secteur 2 et dans une partie du secteur 1.

Les efforts entrepris jusqu'à présent n'ont pas permis d'abaisser durablement le niveau de l'eau. La tentative d'abaisser le niveau d'eau à l'aide d'une pompe submersible n'a pas apporté le succès escompté, et la réalisation d'un forage oblique depuis le bas n'a pas permis d'obtenir un drainage durable. L'évacuation verticale des eaux vers le drainage de base via des nouveaux puits d'aspiration ne fonctionne pas non plus comme prévu. Il semble que le corps de la décharge recèle plusieurs couches très peu perméables. Les mesures de débit effectuées dans les forages indiquent une très mauvaise perméabilité (k_f entre 2.4 et $4.2 \cdot 10^{-8}$ m/s).

Les boues d'épuration stockées dans la décharge sont probablement l'une des principales causes de ce problème (Figure 7). Leur proportion est par endroits si élevée qu'il est impossible de drainer le corps de la décharge ou l'eau liée aux boues. La quantité de gaz aspirée des secteurs 1 et 2 représente donc toujours seulement un tiers de la quantité aspirée du secteur 0.

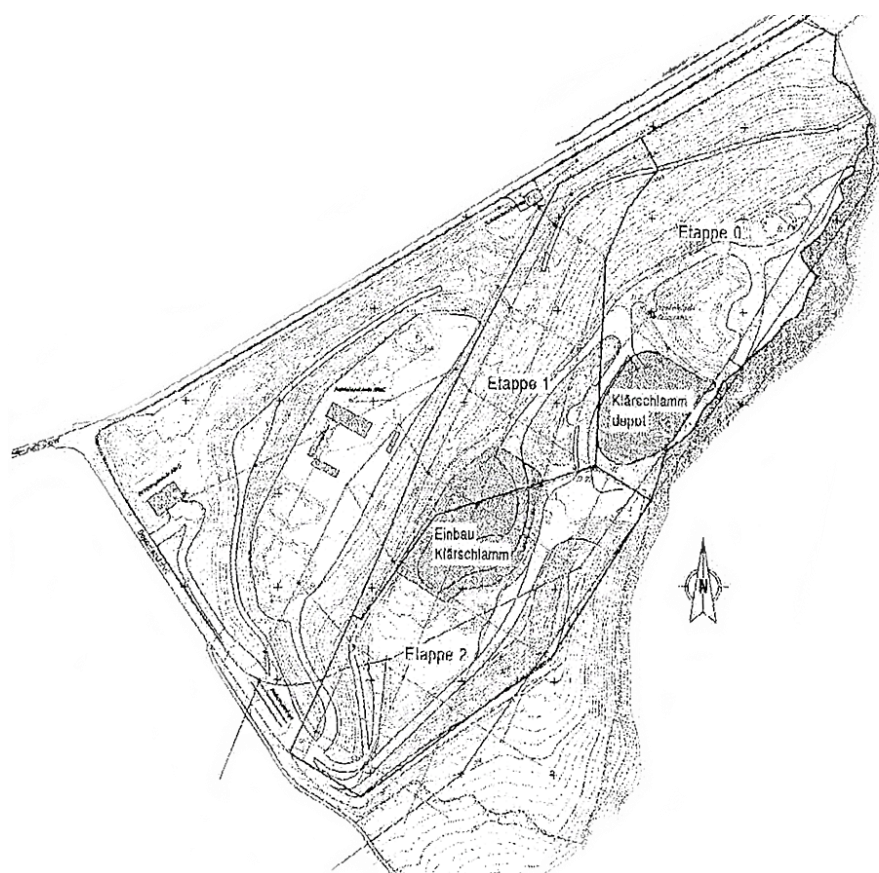


Figure 7 : Boues d'épuration stockées dans les secteurs 1 et 2

3.6.6 Coûts

Investissements

Les investissements suivants ont été nécessaires à ce jour :

Phase 1 (2007, aérobisation et dégazage en filières séparées, devis estimatif)	
Assainissement secteur 0	CHF 668'000.-
Adaptation du dégazage secteurs 1/2	CHF 495'000.-
Phase 2 (2011, fusion des deux flux gazeux, y.c. projet pour le climat)	CHF 118'000.-
Phase 3 (2016, optimisation de l'installation avec brûleur FLOX, y.c. projet pour le climat)	CHF 355'000.-

Coûts d'exploitation

Les coûts moyens annuels d'exploitation 2017-2021 se sont élevés à

pour l'assainissement et le dégazage	CHF 85'400.-
pour le projet climat volontaire	CHF 26'800.-

Indemnisation par le projet climat

Les indemnités versées dans le cadre du projet climatique pour les années 2017 à 2021 ont totalisé CHF 658'080.-.

3.7 Résultats de l'assainissement

Émissions gazeuses

L'atteinte de l'objectif « air interstitiel » n'a pas encore été vérifiée, car cela ne peut se faire qu'après une longue interruption de l'aspiration.

Les processus d'aspiration et d'aérobisation actuellement en cours permettent d'extraire en continu la matière organique du corps de décharge. La quantité de carbone organique extraite chaque année se calcule sur la base du volume d'aspiration, de la concentration en méthane et de la concentration en carbone (voir Figure 8).

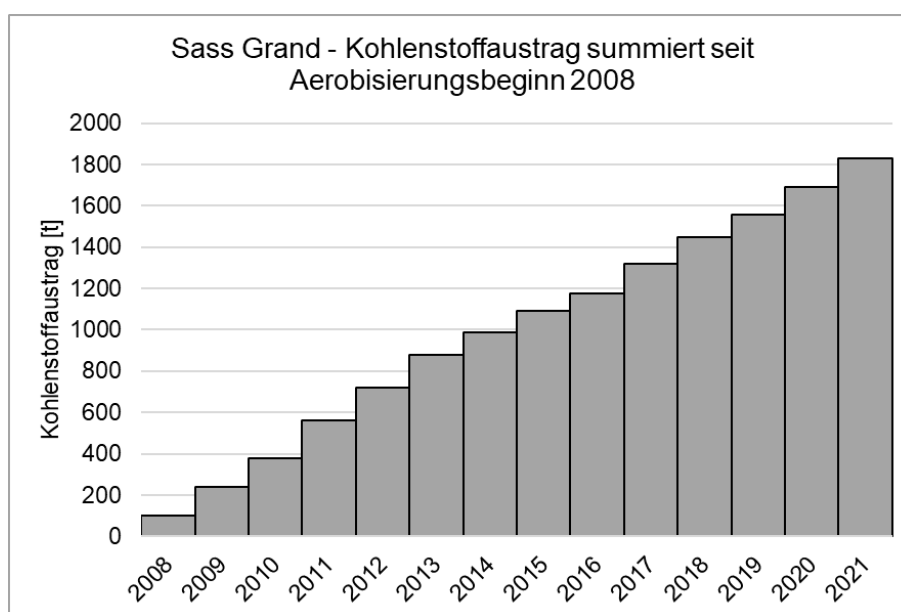


Figure 8 : Extraction cumulée de carbone par aérobisation, décharge de Sass Grand

Comme on ne connaît pas la quantité de matière organique qui était présente dans le corps de la décharge au début de l'aérobisation, on ne peut pas évaluer combien de temps il faudra pour atteindre l'objectif d'assainissement pour le gaz de décharge. Une fois que l'objectif d'assainissement concernant les eaux souterraines aura été atteint, on arrêtera donc l'installation d'aspiration, analysera l'air interstitiel après quelques mois puis évaluera la situation.

Eaux souterraines

Une analyse complète des effets de l'aérobisation sur la pollution des eaux souterraines a été réalisée dans le cadre de l'évaluation des risques [11]. Pour ce faire, on a représenté les courbes décrivant l'évolution de tous les paramètres relevés à la station 11A et tracé les tendances d'évolution avant et après le début du traitement par aérobisation. Les diagrammes sont représentés au complet à l'annexe 4. Certains diagrammes choisis, en particulier ceux qui sont pertinents pour la réalisation des objectifs d'assainissement, sont présentés ici :

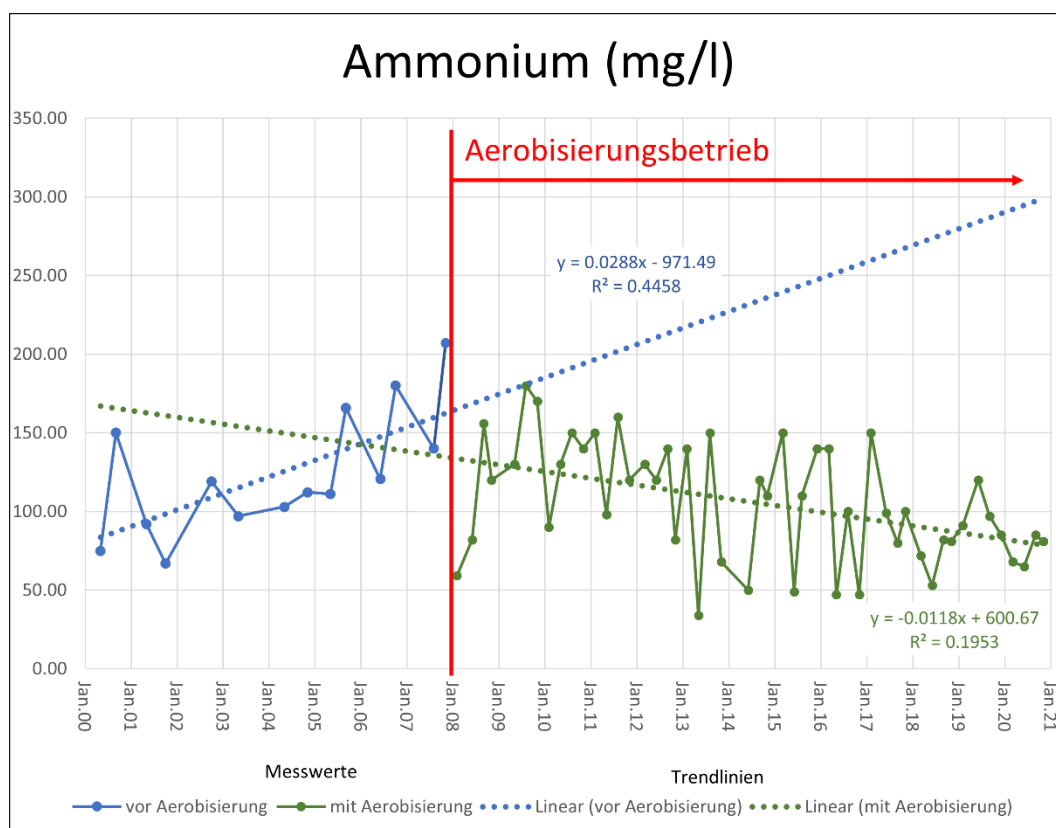


Figure 9 : *Diagramme de tendance au point de mesure 11A, Sass Grand, ammonium*

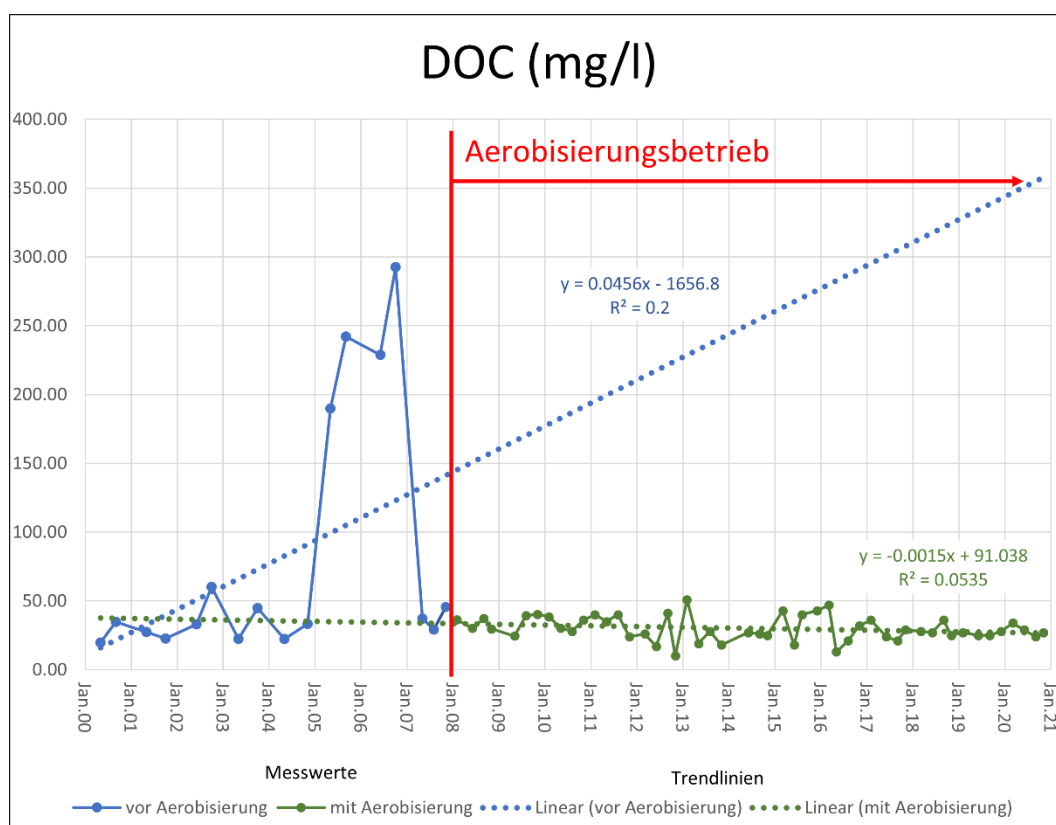


Figure 10 : *Diagramme de tendance au point de mesure 11A, Sass Grand, COD*

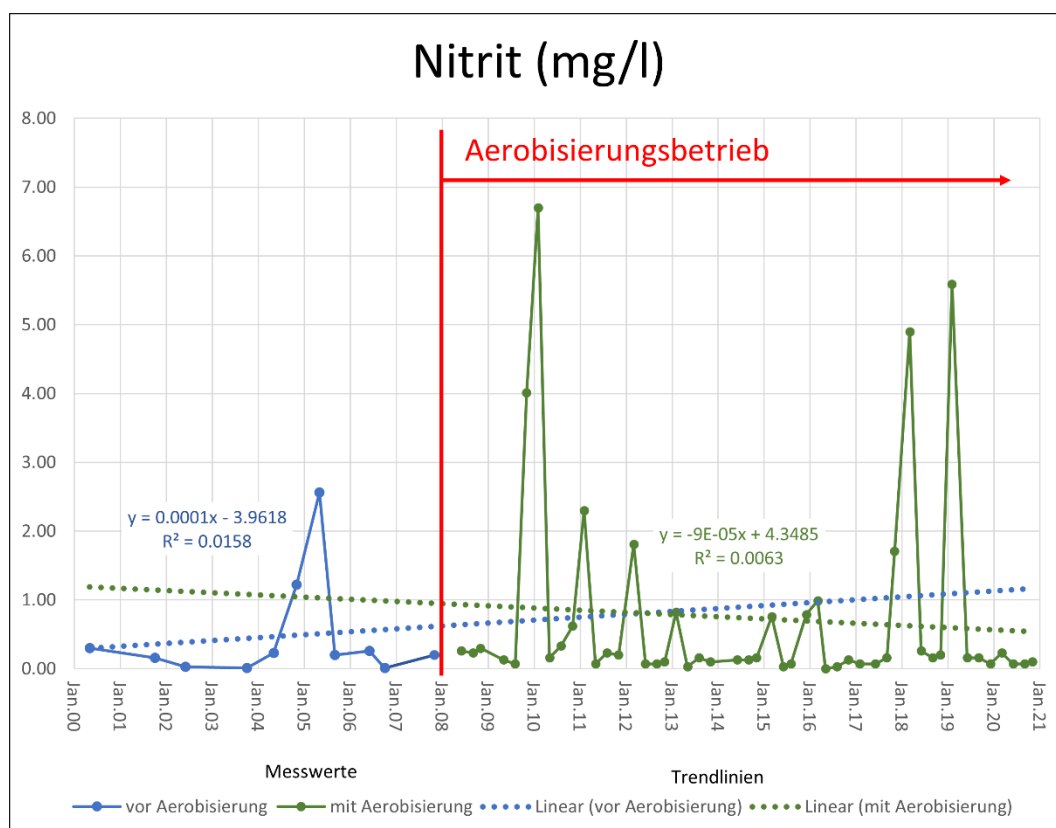


Figure 11 : Diagramme de tendance au point de mesure 11A, Sass Grand, nitrite

Même si la corrélation linéaire n'est pas toujours bonne, on constate un net changement de tendance pour la plupart des paramètres au début de l'aérobisation, ce qui permet de tirer des conclusions sur l'efficacité de ce procédé.

Les fluctuations des courbes indiquent une périodicité annuelle. Pour de nombreux paramètres, les charges sont plutôt élevées en hiver et faibles en été. Cela peut s'expliquer par l'effet de dilution dû aux eaux de fonte, qui est plus faible en hiver que pendant les autres saisons.

Pour les paramètres soumis à un objectif d'assainissement, on peut constater ce qui suit :

- COD (objectif d'assainissement : 10 mg/l) : alors qu'on enregistrerait des pics allant jusqu'à 300 mg/l avant le début de l'assainissement, les valeurs sont depuis lors systématiquement inférieures à 50 mg/l. Ces trois dernières années, les valeurs se situaient entre 20 et 30 mg/l, avec une légère tendance à la baisse.
- Ammonium (objectif d'assainissement : 10 – 20 mg/l) : la charge tend à baisser depuis le début de l'aérobisation. La moyenne des valeurs mesurées en 2020 est toutefois encore de 74 mg/l.

- Nitrite (objectif d'assainissement : 0.05 mg/l) : la plupart des valeurs mesurées se situent entre 0.07 et 0.2 mg/l, avec une occurrence répétée de valeurs extrêmes. Il est frappant de constater que pour ce paramètre, les valeurs aberrantes se produisent exclusivement en période hivernale.

L'importante dégradation de la matière organique par aérobisation aurait laissé supposer une baisse plus importante de la charge en COD. En revanche, la diminution des charges en ammonium et en nitrites s'explique bien par la meilleure disponibilité en oxygène dans le corps de la décharge.

On observe une réaction particulière pour le sulfate : la charge en sulfate a augmenté brusquement après le début de l'aérobisation, et diminue depuis lors de manière continue. Cela s'explique par le fait que le soufre se présente sous forme réduite en conditions anaérobies (p. ex. sulfite ou sulfure), et qu'il se dissout sous forme de sulfate lorsque les conditions deviennent aérobies.

Il reste une question ouverte - celle de savoir si le processus d'aérobisation est capable de faire pénétrer l'oxygène dans l'ensemble du corps de décharge. Comme le pied de la décharge en secteur 0 baigne dans la nappe phréatique, il se peut que l'aérobisation n'agisse pas jusque dans les derniers décimètres en fond de décharge et que les émissions proviennent maintenant encore principalement de cette zone.

Eaux superficielles (Isellasbach)

Dans l'Isellasbach (point de mesure 3B), seul l'ammonium n'atteint pas l'objectif d'assainissement. La teneur en ammonium fluctue entre 0.05 et 5.5 mg/l depuis le début de l'aérobisation. On ne constate pas de diminution claire de l'ammonium dans l'Isellasbach depuis le début de l'aérobisation. Depuis la transformation de l'installation en 2017 avec une augmentation du taux d'aspiration, on a toutefois mesuré à plusieurs reprises des valeurs conformes à l'objectif d'assainissement.

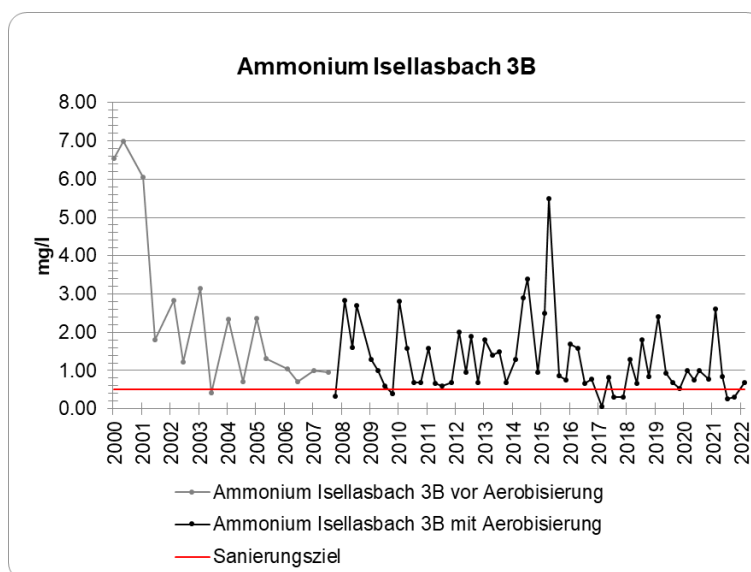


Figure 12 : Ammonium dans l'Isellasbach, point de mesure 3B

Le cours du ruisseau Isellasbach suit le pied de la décharge. Il est parfois pollué par les eaux de pente qui s'échappent de la décharge et par les eaux souterraines qui s'infiltrant depuis sous la décharge. Comme le pied de la décharge du secteur 0 se trouve au niveau de la nappe phréatique et que l'aérobisation n'a que peu d'effet dans cette zone inférieure, la pollution peut provenir de là.

Durée de l'assainissement et atteinte des objectifs d'assainissement

Selon le projet, la durée de l'assainissement a été évaluée à entre 6 et 15 ans [23]. Même s'il est évident que l'aérobisation permet de réduire substantiellement la charge, il s'avère que cette prévision était trop optimiste. En suivant les lignes de tendance, on voit que l'objectif d'assainissement pour le nitrite devrait être atteint vers 2030, celui pour l'ammonium entre 2035 et 2040, et celui pour le COD entre 2045 et 2050 à condition que l'aérobisation se poursuive au même rythme. Ces prévisions comportent toutefois des incertitudes et il n'est pas non plus exclu que les objectifs soient atteints avant.

La seule mesure envisageable pour raccourcir encore la durée de l'assainissement serait de réaliser de nouveaux forages visant une meilleure aération de la base de la décharge.

Même si les informations dont on dispose aujourd'hui sur la durée de l'assainissement avaient été connues au moment du choix des variantes, on aurait opté pour l'aérobisation en raison des avantages qu'offre ce procédé.

4 Décharge de Kehlhof

4.1 Aperçu et historique

La décharge de Kehlhof se trouve sur le territoire de la commune politique de Berg, dans le canton de Thurgovie.

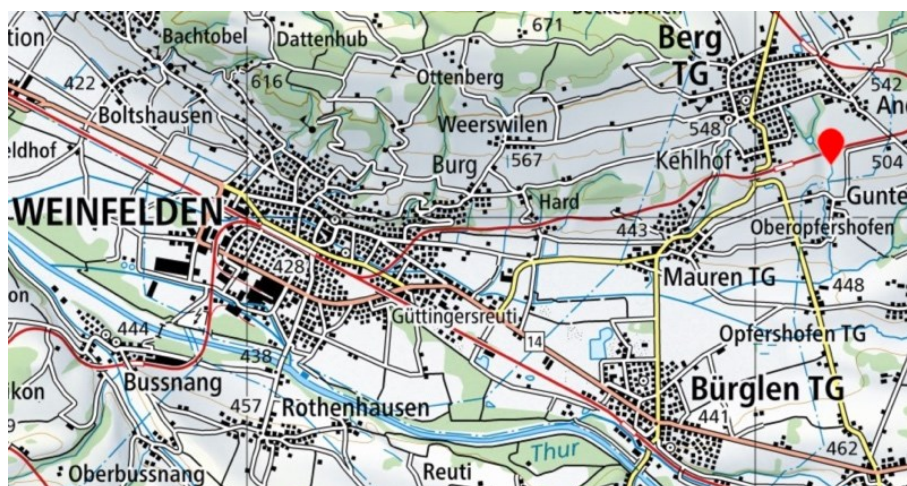


Figure 13 : Situation de la décharge de Kehlhof

La décharge consiste en un ravin de ruisseau comblé par des déchets. Le ruisseau qui s'écoule dans le ravin Mühletobel a été mis sous terre au fur et à mesure de l'avancée de la décharge et recouvert de déchets. La Figure 14 présente une coupe longitudinale schématique de la décharge, ce qui permet de retracer une grande partie de son histoire :

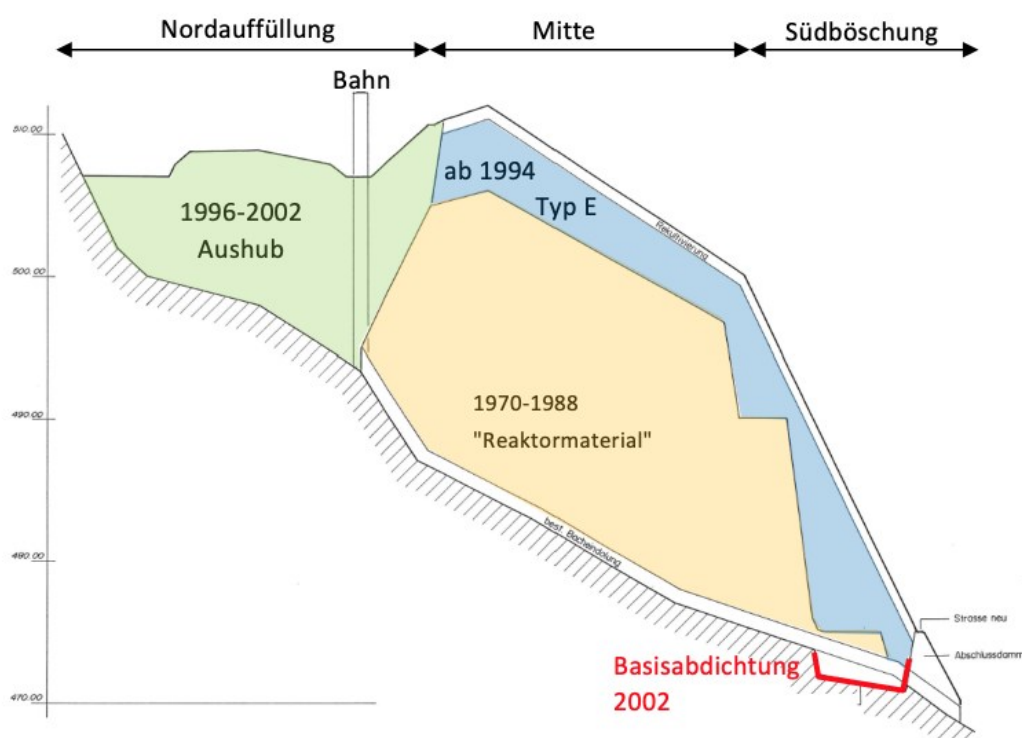


Figure 14 : Coupe le long du ruisseau enterré

La décharge a été mise en service en 1970. Compte tenu de la géologie jugée favorable et conformément à l'état de la technique de l'époque, on a renoncé à étanchéifier la base de la décharge. Jusqu'en 1977, les lixiviats du corps de la décharge s'infiltraient directement dans le Mühletobelbach. A partir de 1977, les lixiviats ont été captés et acheminés vers la station d'épuration des eaux usées de Weinfelden. L'exploitation de la décharge a été interrompue de 1989 à 1994. En 1994, la décharge a été réouverte comme décharge bioactive conformément à l'OTD. L'autorisation d'aménager et d'exploiter se basait sur un projet de décharge qui prévoyait notamment la réalisation d'une étanchéité de base dans la partie inférieure de la décharge, et la remise à ciel ouvert ainsi que la dérivation du cours du Mühletobelbach (qui suivait jusqu'alors la base de la décharge) autour de la décharge. Pour ce faire, il a été nécessaire de combler la partie nord de la décharge avec des déblais.

Aujourd'hui, la majeure partie de la décharge a été remise en culture, notamment les zones qui contiennent de grandes quantités de matières organiques. La partie sud de la décharge est encore ouverte et en activité. On y dépose des matériaux de type E de composition essentiellement minérale. La décharge devrait être entièrement comblée d'ici à 2032.

4.2 Déchets stockés

Le tableau suivant donne un aperçu des déchets déposés dans la décharge :

Tableau 9 : Déchets stockés dans la décharge de Kehlhof

Période	Indications sur la quantité	Indications sur la qualité																														
1970-1974	108'000 t (90'000 m³)	<p>Gravats et ordures ménagères</p> <p>Durant cette période, c'est-à-dire jusqu'à la mise en service des usines d'incinération des ordures ménagères, tous les déchets urbains des communes membres de l'association de la décharge de Kehlhof y ont été déposés.</p> <p><i>Conditions édictées le 2.3.1972 par l'Office de la protection de l'environnement et de la gestion des eaux (Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft) : les cadavres, huiles usagées, acides, produits chimiques toxiques et boues liquides ne peuvent pas être mis en décharge... En février 1975, le laboratoire de l'Office cantonal de la protection de l'environnement et de la gestion des eaux (kantonales Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft) a analysé les lixiviats de la décharge existante. Il s'est avéré que le lixiviat, avec un pH de 8.4, présentait une forte teneur en ammoniac, chlorures, sulfates et fer, ainsi qu'une forte teneur en carbone inorganique et une demande chimique élevée en oxygène. Un test toxicologique a montré qu'en diluant ces lixiviats de manière appropriée, il serait possible de les traiter sans difficulté à la STEP de Weinfelden.</i></p>																														
1974-1989	547'000 t (330'000 m³)	<p>Décharge mixte de classe III</p> <p>selon directive fédérale sur les décharges</p> <p>Gravats, déchets industriels, matériaux de démolition, gros encombrants</p> <p><u>Exemple : analyse des quantités mises en décharge en 1987 :</u></p> <table><tr><td>Déchets de démolition et de chantier</td><td>24'100 m³</td></tr><tr><td>Déchets industriels et de transformation (env. 50% / 50%)</td><td>23'600 m³</td></tr><tr><td>Carton et plastique (Model AG)</td><td>13'000 m³</td></tr><tr><td>Encombrants, déchets verts, services des travaux publics (communes)</td><td>8'900 m³</td></tr><tr><td>Mâchefers d'ordures ménagères (UIOM Hefenhofen / Müllheim)</td><td>8'500 m³</td></tr><tr><td>Boîtes de conserve et déchets alimentaires (Conservi Bischofszell)</td><td>3'800 m³</td></tr><tr><td>Déchets de construction et déchets encombrants des particuliers</td><td>2'400 m³</td></tr><tr><td>RBA (recyclage des voitures Schwarzenbach)</td><td>2'000 m³</td></tr><tr><td>Sable de fonderie (GMB Romanshorn)</td><td>1'500 m³</td></tr><tr><td>Élagage des arbres (entreprises paysagères)</td><td>800 m³</td></tr><tr><td>Déchets de tannerie et de plastique (Kappeler, Frauenfeld)</td><td>600 m³</td></tr><tr><td>Sable de traitement des boues d'huile (RBI Bazenhaid)</td><td>500 m³</td></tr><tr><td>Déchets plastiques (Thurnheer, Weinfelden)</td><td>400 m³</td></tr><tr><td>Résidus de dessablage (STEP)</td><td>300 m³</td></tr><tr><td>Total</td><td>90'400 m³</td></tr></table>	Déchets de démolition et de chantier	24'100 m³	Déchets industriels et de transformation (env. 50% / 50%)	23'600 m³	Carton et plastique (Model AG)	13'000 m³	Encombrants, déchets verts, services des travaux publics (communes)	8'900 m³	Mâchefers d'ordures ménagères (UIOM Hefenhofen / Müllheim)	8'500 m³	Boîtes de conserve et déchets alimentaires (Conservi Bischofszell)	3'800 m³	Déchets de construction et déchets encombrants des particuliers	2'400 m³	RBA (recyclage des voitures Schwarzenbach)	2'000 m³	Sable de fonderie (GMB Romanshorn)	1'500 m³	Élagage des arbres (entreprises paysagères)	800 m³	Déchets de tannerie et de plastique (Kappeler, Frauenfeld)	600 m³	Sable de traitement des boues d'huile (RBI Bazenhaid)	500 m³	Déchets plastiques (Thurnheer, Weinfelden)	400 m³	Résidus de dessablage (STEP)	300 m³	Total	90'400 m³
Déchets de démolition et de chantier	24'100 m³																															
Déchets industriels et de transformation (env. 50% / 50%)	23'600 m³																															
Carton et plastique (Model AG)	13'000 m³																															
Encombrants, déchets verts, services des travaux publics (communes)	8'900 m³																															
Mâchefers d'ordures ménagères (UIOM Hefenhofen / Müllheim)	8'500 m³																															
Boîtes de conserve et déchets alimentaires (Conservi Bischofszell)	3'800 m³																															
Déchets de construction et déchets encombrants des particuliers	2'400 m³																															
RBA (recyclage des voitures Schwarzenbach)	2'000 m³																															
Sable de fonderie (GMB Romanshorn)	1'500 m³																															
Élagage des arbres (entreprises paysagères)	800 m³																															
Déchets de tannerie et de plastique (Kappeler, Frauenfeld)	600 m³																															
Sable de traitement des boues d'huile (RBI Bazenhaid)	500 m³																															
Déchets plastiques (Thurnheer, Weinfelden)	400 m³																															
Résidus de dessablage (STEP)	300 m³																															
Total	90'400 m³																															
1989-1994	Décharge fermée																															
1994-2015	200'800 t	Décharge bioactive conformément à l'OTD																														
2016-2021	51'600 t	Décharge de type E selon OLED																														

Les besoins de l'aérobisation portent surtout sur la fraction organique des déchets. La majeure partie des déchets organiques a été mise en décharge entre 1970 et 1989.

4.3 Buts de l'aérobisation

Contrairement à la décharge de Sass Grand, le choix de l'aérobisation n'a pas été motivé par une obligation d'assainissement de site contaminé. L'association Kehr-richtverwertung Thurgau a fait assainir sa décharge par aérobisation sur proposition de Dplus AG pour les raisons suivantes :

- L'association KVA Thurgau concentre les efforts internes à son entreprise sur une élimination et une valorisation des déchets respectueuses de l'environnement. Elle réduit les émissions de CO₂ là cela est possible moyennant un investissement proportionné.
- L'aérobisation permet d'accélérer les processus de dégradation dans le corps de la décharge, et de réduire ainsi la durée du suivi.
- Le fait de participer au programme KliK de gestion des gaz de décharge offrait une chance d'obtenir des indemnités de réduction susceptibles de couvrir une grande partie des coûts d'investissement et d'exploitation de l'aérobisation. Cela s'est confirmé par la suite.

4.4 Choix du procédé

Le procédé d'aérobisation avec puits d'aspiration crépinés en profondeur (procédé Dplus) a été choisi pour les mêmes raisons que celles mentionnées pour la décharge de Sass Grand au chap. 3.5.2.

4.5 Concept d'aérobisation et fonctionnement

4.5.1 Aperçu chronologique

Le tableau ci-dessous donne un aperçu de la préparation, de la mise en service et du déroulement de l'aérobisation :

Tableau 10 : Déroulement de l'aérobisation, décharge de Kehlhof

Année	Étapes
2014/15	Forages et essais préliminaires
2016	Construction de l'installation d'aspiration, début de l'exploitation
depuis 2017	Installation d'aérobisation en service, sans torche
2019	Réalisation de deux forages supplémentaires

L'exploitation de l'installation a été confiée à la société Dplus AG, Weinfelden. Le traitement par aérobisation est toujours en cours ; il est documenté chaque année dans le rapport annuel de la décharge.

4.5.2 Conception de l'installation et données d'exploitation

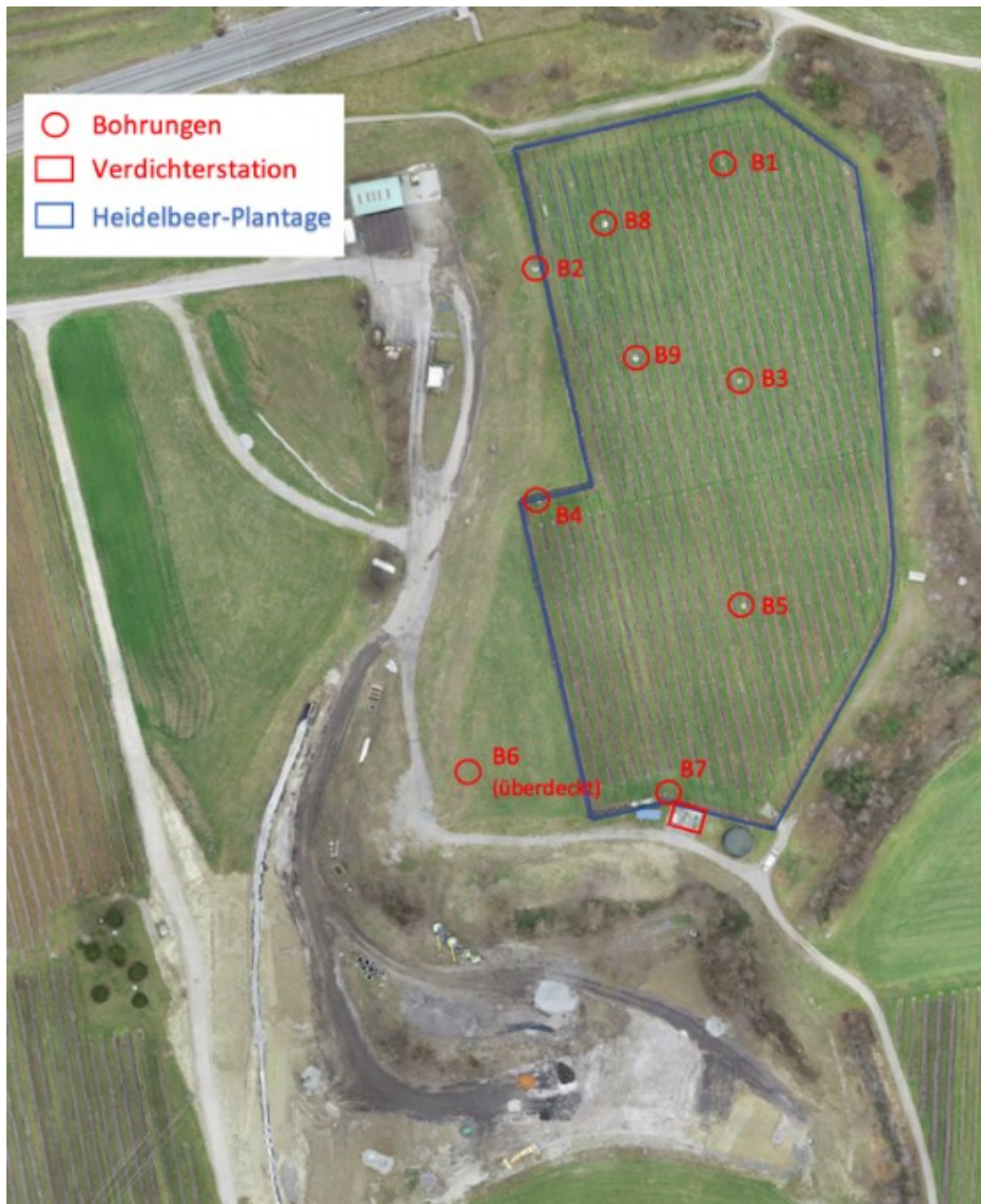


Figure 15 : Vue générale de la décharge de Kehlhof

La station de compression et les forages ont été réalisés dans la partie de la décharge déjà remise en culture. Après la mise en service de l'aérobisation, le propriétaire du terrain a décidé d'aménager une plantation de myrtilles. Les forages se trouvent maintenant à l'intérieur de la zone protégée par un filet contre les oiseaux et les insectes, mais cela n'entraîne de désavantages pour aucune des deux parties.

La surface de décharge remise en culture est étanchéifiée (voir Figure 16). La couche de dégazage (15 cm de gravillons) mise en place sous l'étanchéité (géotextile) permet tout de même d'aspirer de l'air frais.

Il était initialement prévu d'éliminer le méthane contenu dans l'air aspiré en utilisant une torche à gaz faible. Mais comme la concentration de méthane a fortement baissé en l'espace de quelques mois, contrairement aux prévisions des essais préliminaires (voir chapitre 4.6), la torche a été mise hors service.

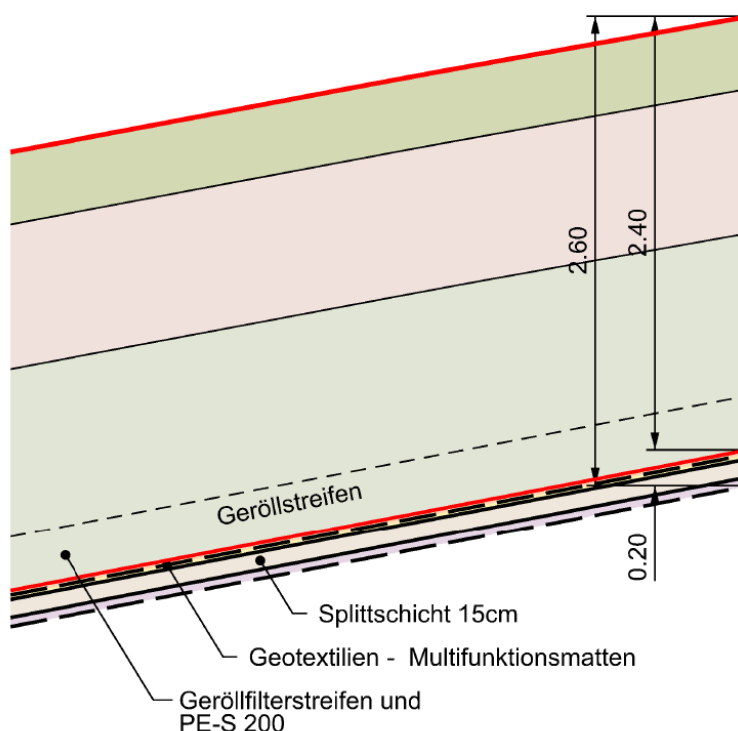


Figure 16 : Structure de la couche supérieure, décharge de Kehlhof

Les données caractéristiques d'exploitation sont constantes depuis plusieurs années :

Tableau 11 : Kehlhof : données caractéristiques d'exploitation 2022

Année d'exploitation 2022		Total
Volume de gaz aspiré	m3/h	380
Concentration en CH ₄	%	1.5
Concentration en CO ₂	%	6.0

4.6 Émissions gazeuses

Les émissions de gaz qui s'échappent par la surface de la décharge sont mesurées périodiquement par FID, la dernière fois en novembre 2018.

Avant la mise en service de l'aérobisation, la production annuelle de méthane était estimée à environ 100-150 tonnes par an. Avec la mise en service de l'aspiration en profondeur, la décharge est passée, du moins en partie, à un état aérobie. Actuellement, environ 380 Nm³ de gaz de décharge sont aspirés chaque heure avec une concentration en méthane de 1.5 % et une concentration en CO₂ de 6.0 %. Depuis le début de l'aérobisation fin 2019, environ 1100 tonnes de carbone ont été extraites de la décharge de Kehlhof (Figure 17).

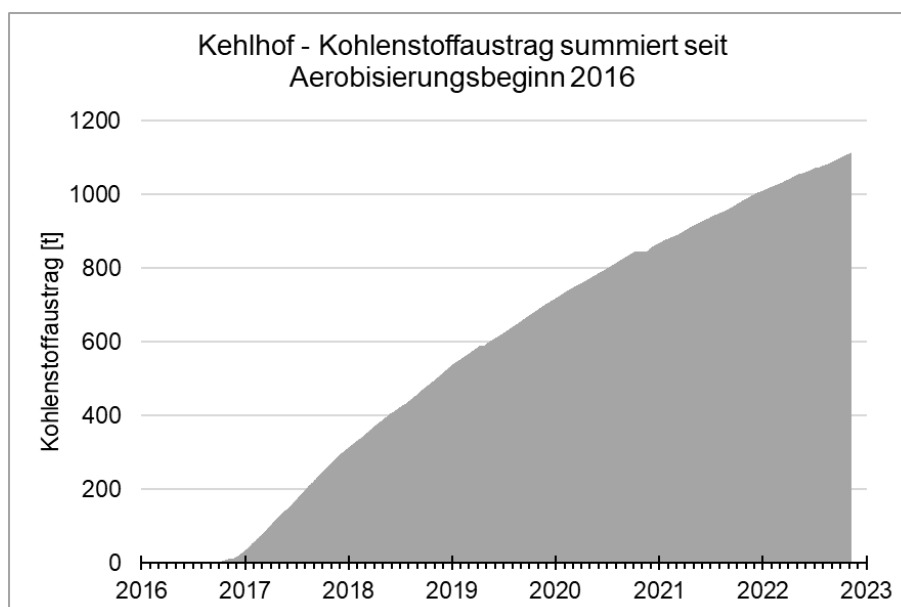


Figure 17 : Extraction cumulée de carbone par aérobisation, décharge de Kehlhof

Il faut partir du principe que l'aérobisation ne peut pas atteindre toutes les fractions organiques présentes dans le corps de la décharge. Les mesures FID montrent toutefois qu'il n'y a pratiquement plus d'émission de gaz par la surface de la décharge. Il reste une seule source d'émission de gaz de décharge : l'air vicié de l'aérobisation. Celui-ci n'est pas traité car sa teneur en méthane est trop faible. Une légère odeur est parfois perceptible à proximité de l'installation, mais n'entraîne pas de nuisances.

Le processus d'aérobisation et la décomposition forcée de la matière organique qui en résulte font augmenter la température à l'intérieur de la décharge. Combinée à l'augmentation du débit d'air à travers la décharge, cette situation favorise l'évaporation de l'eau présente dans la décharge. Ce phénomène n'est pas quantifiable car la teneur en eau du gaz aspiré n'est pas mesurée. Il est en principe souhaitable de réduire la quantité d'eau contenue dans le corps de décharge, car cela permet de diminuer la quantité de lixiviats et d'améliorer la stabilité.

4.7 Lixiviats

Selon les prescriptions de l'OLED, la décharge doit atteindre, dans les 50 ans suivant sa fermeture, un état tel que ses lixiviats puissent être rejetés dans le ruisseau.

Comme critère principal, les lixiviats doivent respecter les prescriptions de l'annexe 3.3, ch. 25 de l'ordonnance sur la protection des eaux [1]. Cette ordonnance spécifie les conditions auxquelles il est possible de déverser des lixiviats de décharge dans les eaux. L'étude réalisée en 2021 dans le cadre de l'évaluation des risques pour la décharge s'est basée sur l'annexe A-4 de l'aide à l'exécution [1] ; celle-ci contient, outre les critères de l'OEaux, des critères de la législation sur les sites contaminés.

L'annexe 6 du présent rapport montre une comparaison entre les valeurs mesurées dans la décharge de Kehlhof et les objectifs de l'aide à l'exécution. Les lixiviats de la décharge de Kehlhof respectent les valeurs cibles à quelques exceptions près. Il convient d'accorder une attention particulière à l'évolution des paramètres azotés (nitrate et ammonium) :

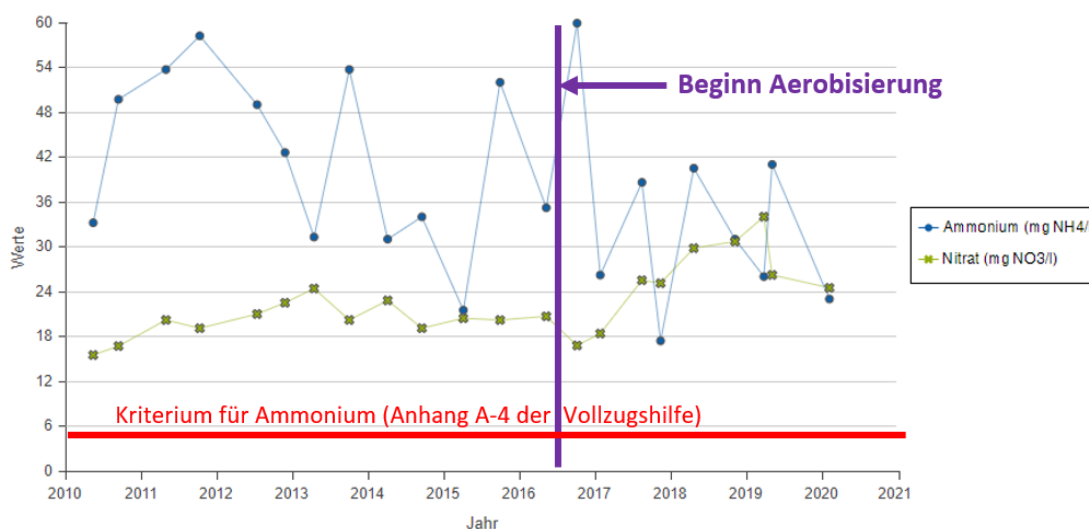


Figure 18 : Évolution des paramètres azotés dans la décharge de Kehlhof

La concentration en ammonium se situe actuellement entre 20 et 40 mg NH₄/l et dépasse donc encore clairement le critère pour l'ammonium fixé à 5 mg NH₄/l. On observe toutefois une tendance à la baisse depuis le début de l'aérobisation. Une comparaison avec les concentrations en nitrates montre que celles-ci augmentent depuis que la décharge est aérobisée. Manifestement, les conditions aérobies présentes dans la décharge font que l'azote s'échappe désormais davantage sous forme oxydée. Lorsqu'il est sous forme de nitrate, l'ammonium ne pose pas de problème. Nous parlons du principe que cette évolution se poursuivra au fur et à mesure de l'aérobisation et que les concentrations en ammonium continueront à baisser.

Prévisions sur l'évolution future

Jusqu'à nouvel ordre, il faudra continuer à évacuer les lixiviats via les canalisations. Pour le paramètre ammonium, il se peut que la valeur cible selon l'annexe 4 de l'aide à l'exécution soit atteinte d'ici la fin du suivi.

4.8 Coûts

Investissements

Les investissements suivants ont été nécessaires à ce jour :

Réalisation de l'installation y.c. travaux préparatoires (2016/17)	CHF 789'000
Réalisation de deux forages supplémentaires (2019)	CHF 70'000

Coûts d'exploitation

Première année d'exploitation (2017)	CHF 113'000
Années suivantes (2018-21, en moyenne par année, y.c. gestion projet climatique)	CHF 48'000

Indemnisation par le projet climat

Les indemnités versées dans le cadre du projet climatique pour les années 2017 à 2021 ont totalisé CHF 1'299'000.

5 Constatations particulières

5.1 Matériaux en décharge, porosité et débit d'aspiration

L'aérobisation donne ses meilleurs résultats lorsqu'un maximum d'air extérieur pénètre dans le corps de la décharge et qu'il traverse tout le volume de la décharge. La porosité des matières stockées joue un rôle décisif. Dans les décharges / secteurs où nous avons pratiqué l'aérobisation, les volumes d'aspiration présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau 12 : Données actuelles pour les décharges de Sass Grand et Kehlhof

Données actuelles 2022		Sass Grand Secteur 0	Sass Grand Secteur 1/2	Kehlhof
Dépression appliquée	mbar	130	130	125
Volume de gaz aspiré	m3/h	105	33	380

Pour maximiser le débit volumétrique, il faut régler la dépression au niveau le plus haut possible en veillant toutefois à ce qu'aucune liaison directe ne s'établisse entre la surface de la décharge et la partie crépinée du forage. Cela se remarquerait à une augmentation de la concentration d'oxygène dans l'air aspiré. Compte tenu de ces conditions, nous appliquons actuellement une dépression d'environ 130 mbar dans les deux décharges.

Bien que la même dépression soit appliquée partout, on constate d'importantes différences dans les volumes de gaz aspirés. Cela s'explique en grande partie par les variations de porosité dans le corps de la décharge, porosité qui dépend elle-même fortement du matériau stocké et du compactage lors de la mise en décharge. La décharge-ravin de Kehlhof, où les déchets ont été déversés jusqu'en 1990 sans être compactés, réagit remarquablement bien à l'aérobisation ; il est donc possible d'en retirer des quantités de gaz relativement importantes par aspiration et le rapport CH_4/CO_2 a nettement diminué peu après le début de l'aérobisation.

On observe le contraire pour les secteurs 1/2 de la décharge de Sass Grand, qui libèrent seulement 33 m^3 de gaz par heure. Le corps de la décharge contient beaucoup plus de matériaux fins, notamment des boues d'épuration. L'aérobisation du secteur 0 fonctionne par contre relativement bien.

5.2 Forages

L'épaisseur de la couche de déchets atteint environ 20 à 30 m dans les deux décharges. La réalisation des forages et la mise en place des tubes crépinés en profondeur selon le schéma du chap. 2.3 se sont en grande partie bien passés. Un incident est toutefois survenu lors de l'installation d'un forage dans la décharge de Kehlhof, où le tubage n'a pas pu être fixé en raison de vides dans le corps de la décharge ; certaines pièces ont disparu dans les cavités et le forage a dû être répété.

Au cours de l'exploitation, il s'est avéré que les forces horizontales à l'intérieur de la décharge déformaient les tubes de forage utilisés (PE 100 S8). Un forage à 20-30 m nécessite manifestement des tubes beaucoup plus résistants. Jusqu'à présent, on n'a observé aucun cisaillement des tubes existants et l'aspiration continue de fonctionner. Par contre, les pompes de forage ne peuvent plus être remontées pour l'entretien en raison des déformations.

5.3 Eau et pompage

Certains forages ont révélé la présence de nappes d'eau interconnectées dans la décharge, notamment dans les secteurs 1/2 de la décharge de Sass Grand et dans la décharge de Kehlhof. Il n'est pas possible d'aérobiser la décharge aux endroits où les espaces interstitiels sont remplis d'eau. Des pompes de forage pneumatiques de la société Viridian ont donc été installées dans la décharge de Kehlhof pour drainer la décharge.



Figure 19 : Pompe de forage du fabricant Viridian

Ce système a bien fonctionné pendant les premières années d'exploitation et le pompage a permis de drainer et d'aérobiser certaines parties de la décharge. Comme l'eau de la décharge contient de nombreuses particules fines, ces pompes nécessitaient un entretien régulier. Mais suite à la déformation des tubes dans le corps de la décharge, les pompes se sont retrouvées coincées dans les trous de forage et n'ont plus pu être remontées pour l'entretien. Les pompes de forage sont donc hors service et la décharge ne peut pas être entièrement drainée.

Tableau 13 : Eau et pompage

Bohrung	Zustand Anfangsphase				Zustand heute		
	Zeitpunkt	Wasser im Bohrlöh	Pumpe im Einsatz	Gasgängigkeit	Wasser im Bohrlöh	Pumpe im Einsatz	Gasgängigkeit
Sass Grand, Etappe 0							
SP0	2016	ja	nein	gut	ja	nein	gut
SP1oben	2004	nein	nein	gut	wenig	nein	schlecht
SP1 unten	2004	nein	nein	gut	nein	nein	sehr gut
SP2	2007	nein	nein	schlecht	wenig	nein	gut
SP2 Ersatz	2016	wenig	nein	gut	nein	nein	gut
SP10 oben	2007	nein	nein	schlecht	ja	nein	schlecht
SP 10 unten	2007	ja	nein	schlecht	nein	nein	schlecht
D3	2007	ja	nein	gut	nein	nein	gut
D6 oben	2007	nein	nein	gut	keine Daten	nein	gut
D6 unten	2007	nein	nein	gut	keine Daten	nein	gut
D7	2007	nein	nein	gut	nein	nein	sehr gut
Sass Grand, Etappe n 1/2							
SP3 oben	2007	nein	nein	keine Daten	ausser Betrieb (überdeckt)		
SP3 unten	2007	nein	nein	keine Daten	ausser Betrieb (überdeckt)		
SP4 oben	2007	nein	nein	keine Daten	ausser Betrieb (überdeckt)		
SP4 unten	2007	ja	nein	keine Daten	ausser Betrieb (überdeckt)		
KB 1-14	2014	ja	nein	schlecht	ja	nein	schlecht
KB 2-14	2014	ja	nein	gut	ja	nein	gut
KB 3-14	2014	ja	nein	schlecht	keine Daten	nein	schlecht
Deponie Kehlhof							
B1	2015	ja	ja	sehr gut	ja	nein*)	sehr gut
B2	2014	ja	ja	gut	ja	nein*)	nichts
B3	2015	ja	ja	gut	ja	nein*)	gut
B4	2014	ja	ja	gut	ja	nein*)	schlecht
B5	2015	ja	ja	gut	ja	nein*)	sehr gut
B6	2014	ja	ja	schlecht	ausser Betrieb (überdeckt)		
B7	2014	wenig	nein	schlecht	wenig	nein	schlecht
B8	2020	nein	nein	schlecht	nein	nein	nichts
B9	2020	nein	nein	schlecht	nein	nein	schlecht

*) Die Pumpe ist im Bohrlöh eingeklemmt oder der Pumpbetrieb wird nicht aufrechterhalten, da zu häufig Störungen auftreten, deren Behebung aufwändig ist.

5.4 Tassements

Des tassements de plusieurs décimètres ont été constatés dans les forages de la décharge de Sass Grand. Il est évident que ces tassements ont été causés par le processus d'aérobisation, mais il n'est pas possible de le prouver.

Dans le cas de la décharge de Kehlhof, en revanche, toute la surface sous laquelle a lieu l'aérobisation a été remise en culture ; on y trouve actuellement une culture de myrtilles. Les seuls tassements observés à ce jour depuis le début de l'aérobisation se limitent à une surface de quelques mètres carrés, avec une amplitude d'environ 30 centimètres. Apparemment, l'effet de voûte présent dans le corps de la décharge a empêché que des tassements importants ne se produisent en surface malgré la dégradation de la matière organique.

5.5 Température dans le corps de la décharge

La température du gaz de décharge aspiré permet de déduire la température et l'intensité des processus de dégradation organique dans le corps de la décharge. La Figure 20 indique la concentration en CO_2 dans le gaz aspiré et la température du gaz avant le compresseur de la décharge de Kehlhof. La température du gaz et la concentration en CO_2 ont fortement augmenté avec l'aérobisation. Des températures avoisinant les 50 degrés ont ainsi pu être mesurées dans le gaz de certains forages, même en hiver. Après avoir atteint un pic, les deux paramètres tendent maintenant à la baisse, ce qui indique une diminution des processus de dégradation aérobie. Le capteur de température se trouve à l'extérieur, en partie exposé au rayonnement solaire direct ; cela explique les variations annuelles dans la série de mesures.

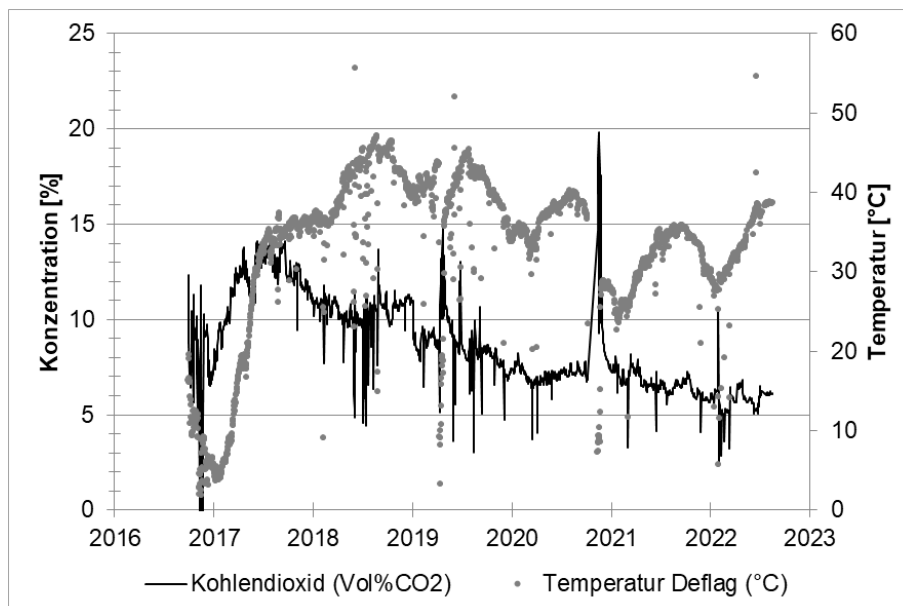


Figure 20 : Concentration en CO_2 dans le gaz de décharge et température du gaz avant le compresseur de la décharge de Kehlhof

6 Recommandations

Selon les expériences que nous avons faites avec des projets concrets, le procédé d'aérobisation se prête à l'assainissement des sites pollués sous certaines conditions, notamment pour réduire la charge polluante dans les eaux souterraines et de surface.

Dans le tableau de l'annexe 7, nous avons rassemblé les critères permettant de déterminer si un assainissement par aérobisation est approprié ou non.

Pour prendre une décision définitive, il est nécessaire de réaliser des essais d'aspiration sur un objet concret. Mais avant de procéder à de tels essais, il faut tenir compte d'une première série de critères permettant de déterminer si une aérobisation est envisageable ou non (groupe de critères 1). En général, l'investigation préalable du site contaminé permet déjà de répondre à cette question. Si les critères ne sont pas remplis, on peut renoncer aux essais d'aspiration.

Le groupe 2 énumère les critères à évaluer dans le cadre des essais d'aspiration, et qui permettront de décider définitivement si un assainissement par aérobisation est adapté à la situation. Les essais d'aspiration sont aussi utiles pour la planification ultérieure de l'installation.

Werner Meier

Patrick Eicher

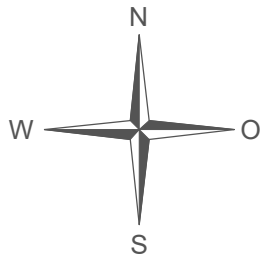
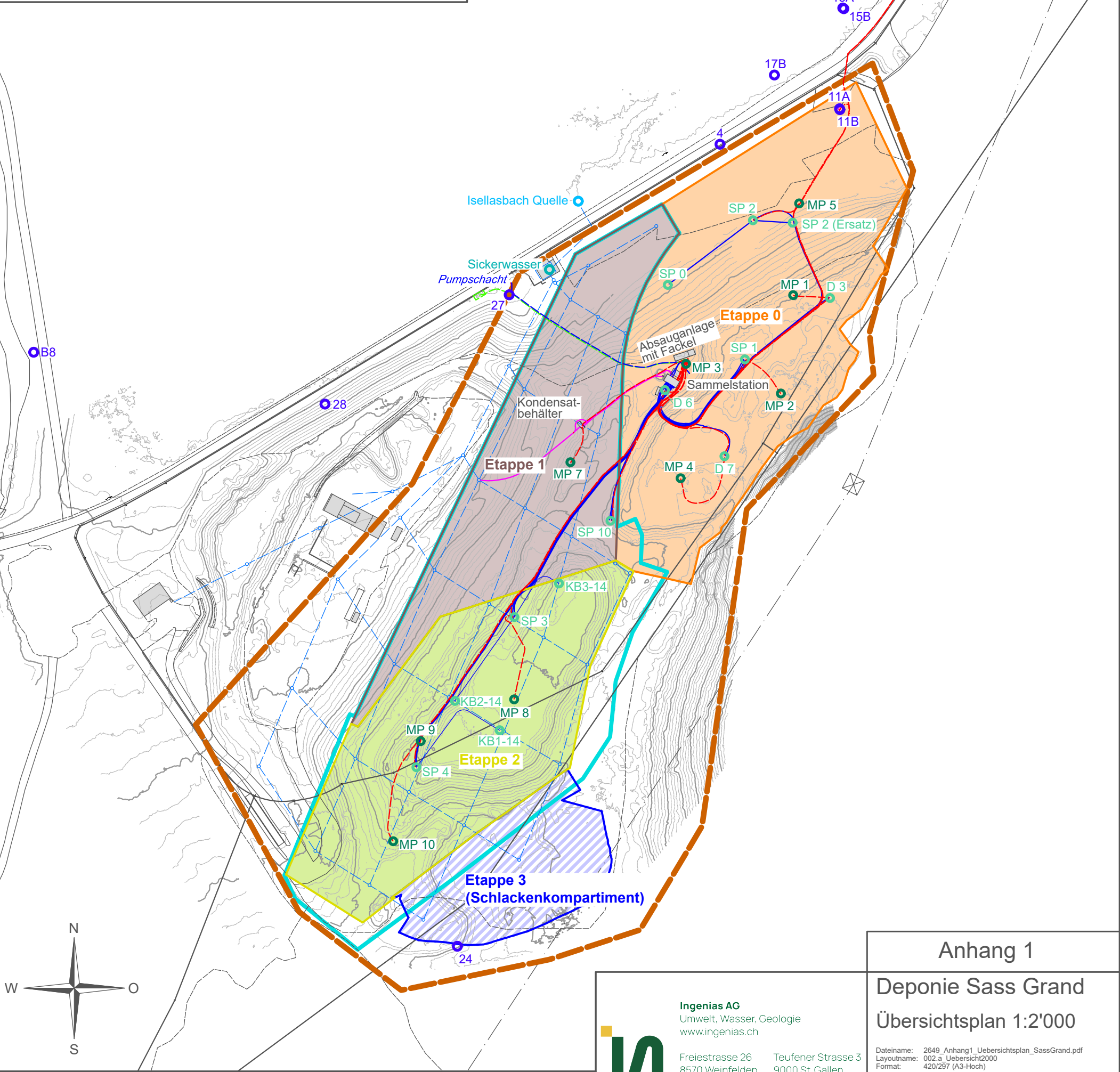


Annexe 1

Décharge de Sass Grand : plan de situation

Legende:

-
- Deponieperimeter
-
-
- 5 m Höhenkurven (Ist-Zustand)
-
-
- 1 m Höhenkurven (Ist-Zustand)
-
-
- Etappe 0
-
-
- Etappe 1
-
-
- Etappe 2
-
-
- Etappe 3 (Schlackenkompartiment)
-
-
- Rand Basisabdichtung
-
-
- best. Sickerwasser-Hauptsammelleitungen
-
- Isellasbach
- Entnahmestelle / Monitoring Isellasbach
-
- 4 17B
- Entnahmestelle / Monitoring Grundwasserpegel
-
- Sickerwasser
- Entnahmestelle / Monitoring Sickerwasser
-
- SP 10 KB3-14 D 7
- Saugpegel
-
- MP 3
- Messpegel
-
-
- best. Saugleitungen (Gas)
-
-
- best. Abwasser
-
-
- best. Kabelschutzrohre
-
-
- best. Steuerkabel
-
-
- best. Wasserversorgung
-
-
- best. Telefon



0m 50m 100m 150m 200m 250m



Ingenias AG
Umwelt, Wasser, Geologie
www.ingenias.ch

Freiestrasse 26
8570 Weinfelden
T +41 71 626 51 11

Teufener Strasse 3
9000 St. Gallen
T +41 71 227 30 00

Anhang 1

Deponie Sass Grand
Übersichtsplan 1:2'000

Dateiname: 2649_Anhang1_Uebersichtsplan_SassGrand.pdf
Layoutname: 002_a_Uebersicht2000
Format: 420/297 (A3-Hoch)

And.:	Gez.:	Kontr.:	Datum:
	Bo	Mei	01.03.2021



Annexe 2 Décharge de Sass Grand : inventaire des déchets

(approximativ)

[illegible]

1 Basis: Bericht Bauprojekt Deponieentgasung, Gasprognose, BfKA Rubigen, 2000
2 Angaben aus Jahresrechnungen ABVO (Deponieerträge in CHF, umgerechnet mit Tarif)
3 VASA-Abgabedeklaration



Annexe 3

Décharge de Sass Grand : historique

Anhang 3

Deponie Sasss Grand, Bever

Schematische Darstellung der Deponiegeschichte

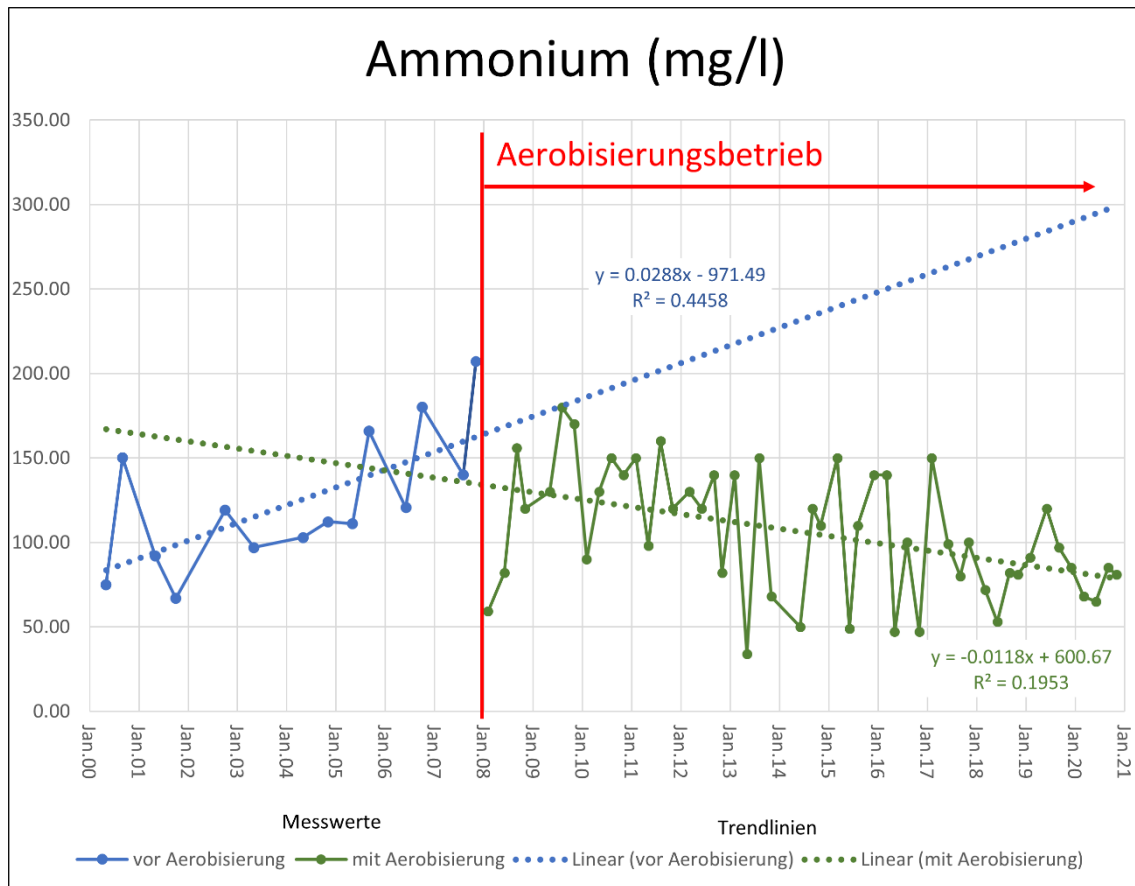


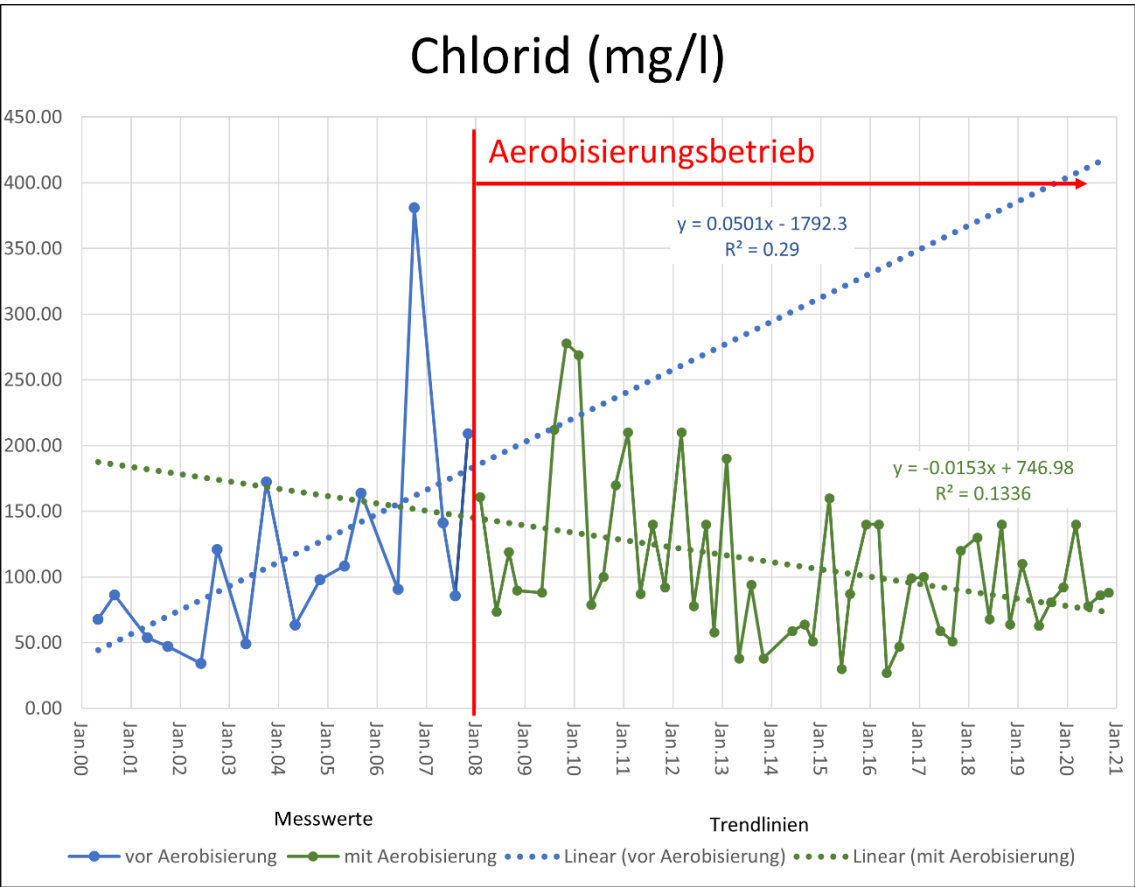
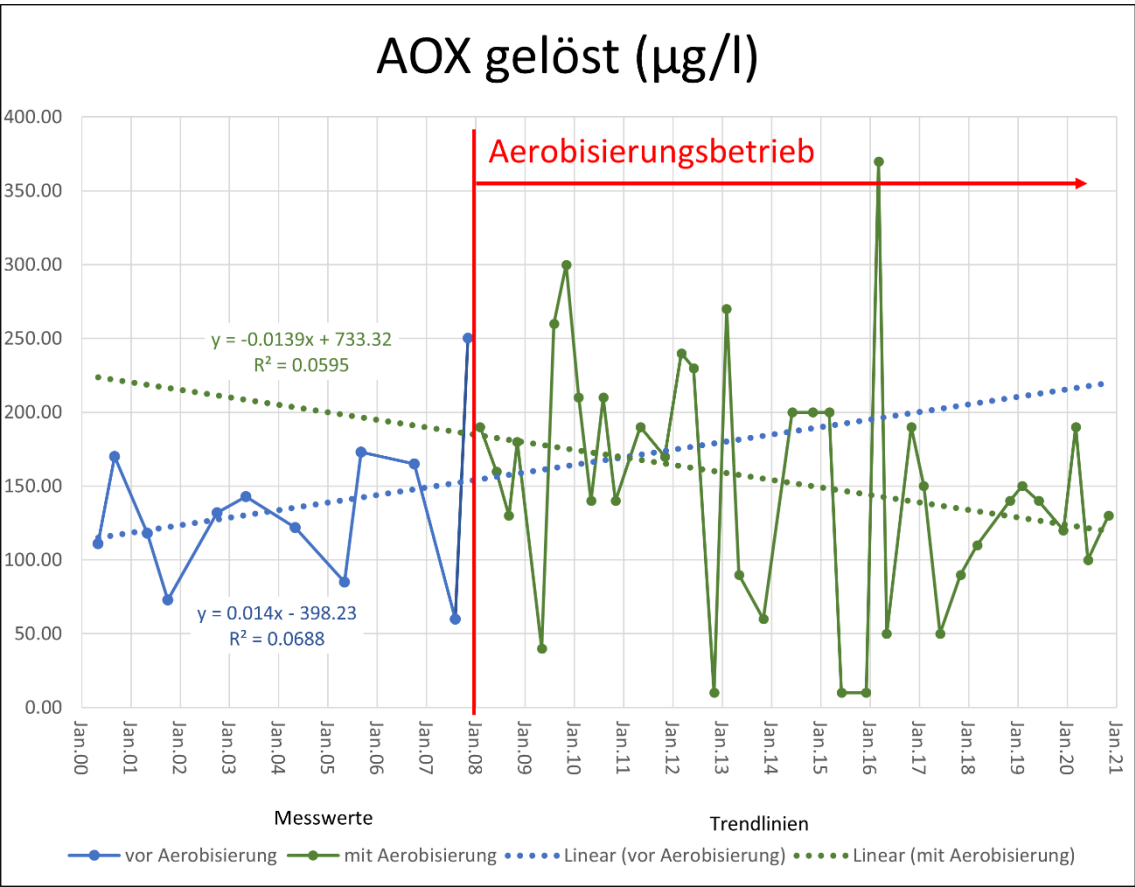
	Jahre	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Organisation																																																									
Deponieinhaber: Kehrichtbeseitigungsverband Oberengadin KVO																																																									
Deponieinhaber: Abfallbewirtschaftungsverband Oberengadin ABVO																																																									
Deponieinhaber: Region Maloja																																																									
Betrieb Trenn- und Sortierstelle (Bernina Recycling AG)																																																									
Betrieb Abfallumschlagstation Cho d'Punt Samedan																																																									
Ablagerungsgeschichte																																																									
Verfüllung Etappe 0																																																									
Verfüllung Etappe 1																																																									
Verfüllung Etappe 2																																																									
Rechtliche Voraussetzungen																																																									
Rechtliche Grundlage Eidg. Deponierichtlinie																																																									
Rechtliche Grundlage: TVA																																																									
Rechtliche Grundlage: VVEA																																																									
Ablagerung von Hauskehricht, brennbarem Mulden- und Sperrgut																																																									
Bau und Infrastruktur																																																									
Abwasseranschluss an ARA Sax																																																									
Abwasseranschluss an ARA Oberengadin																																																									
Bau Basisabdichtung Etappen 1 + 2																																																									
Umsetzung Sanierungsmassnahmen - Aerobisierungsbetrieb																																																									

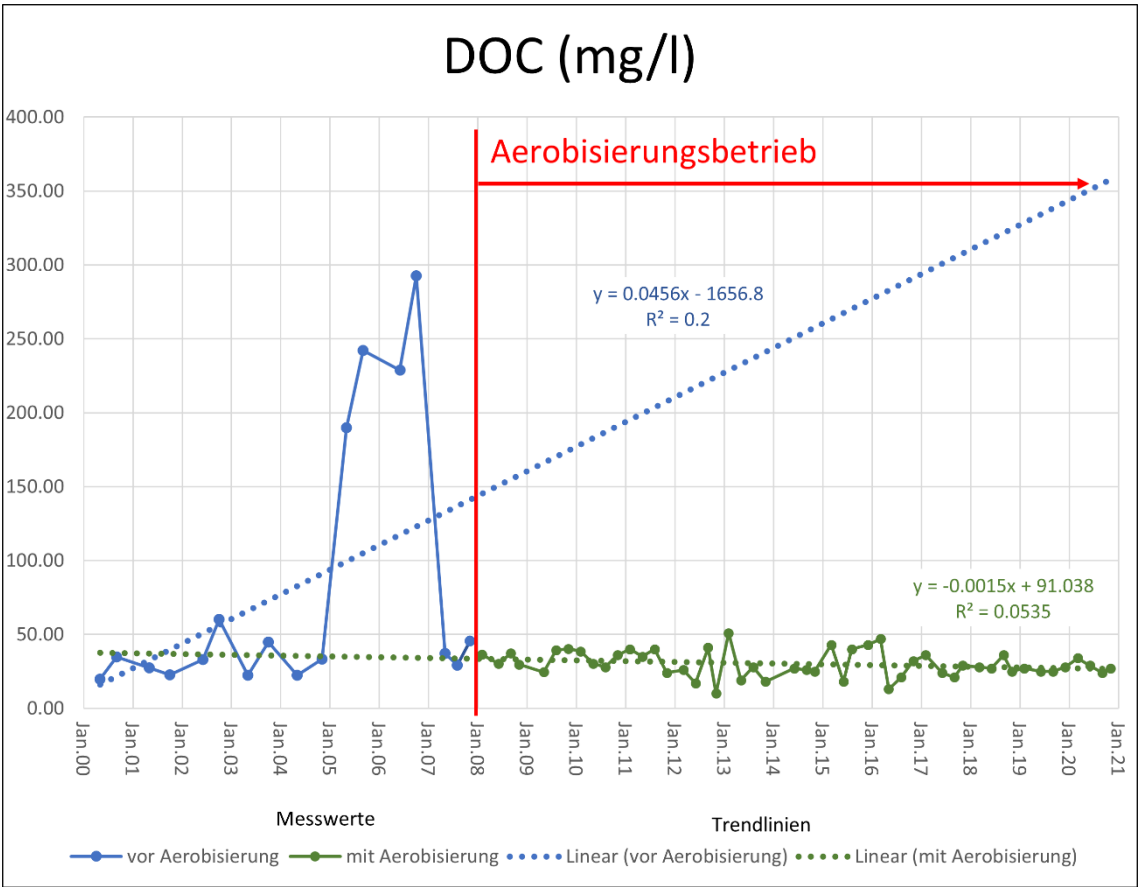
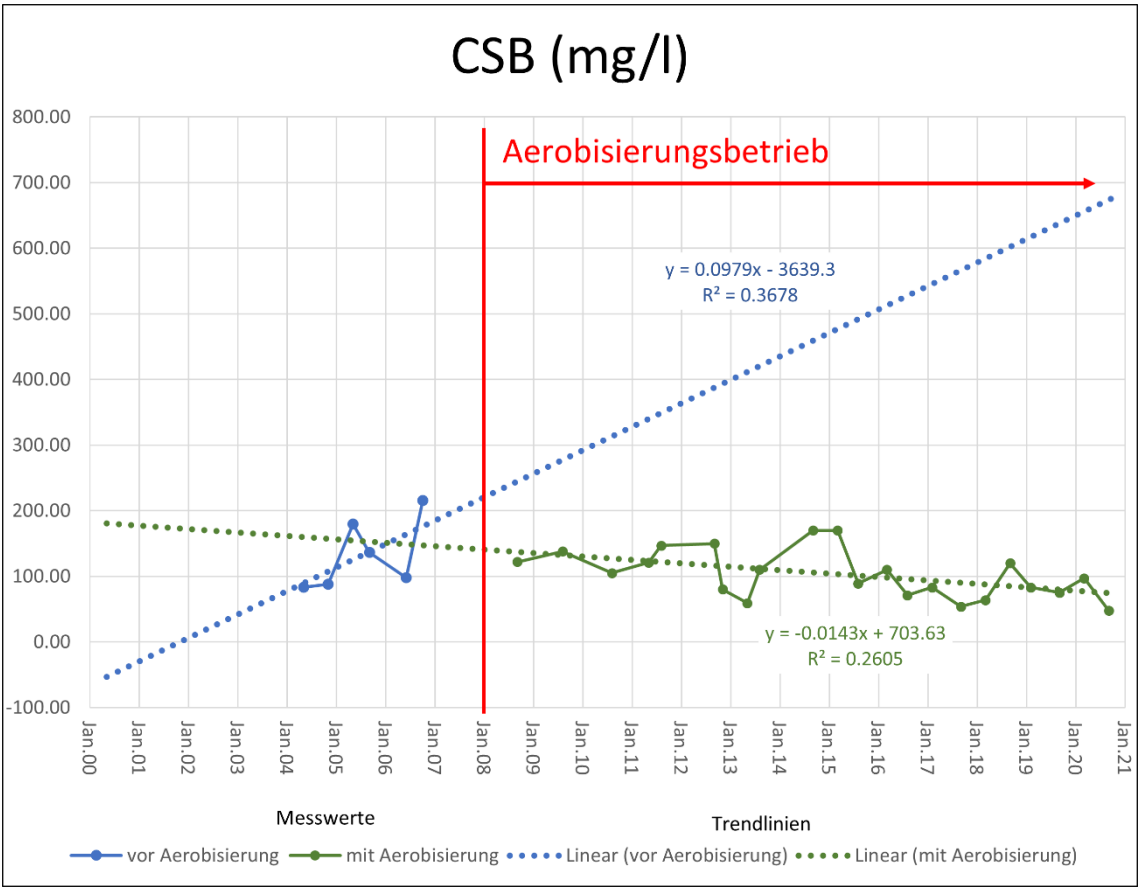


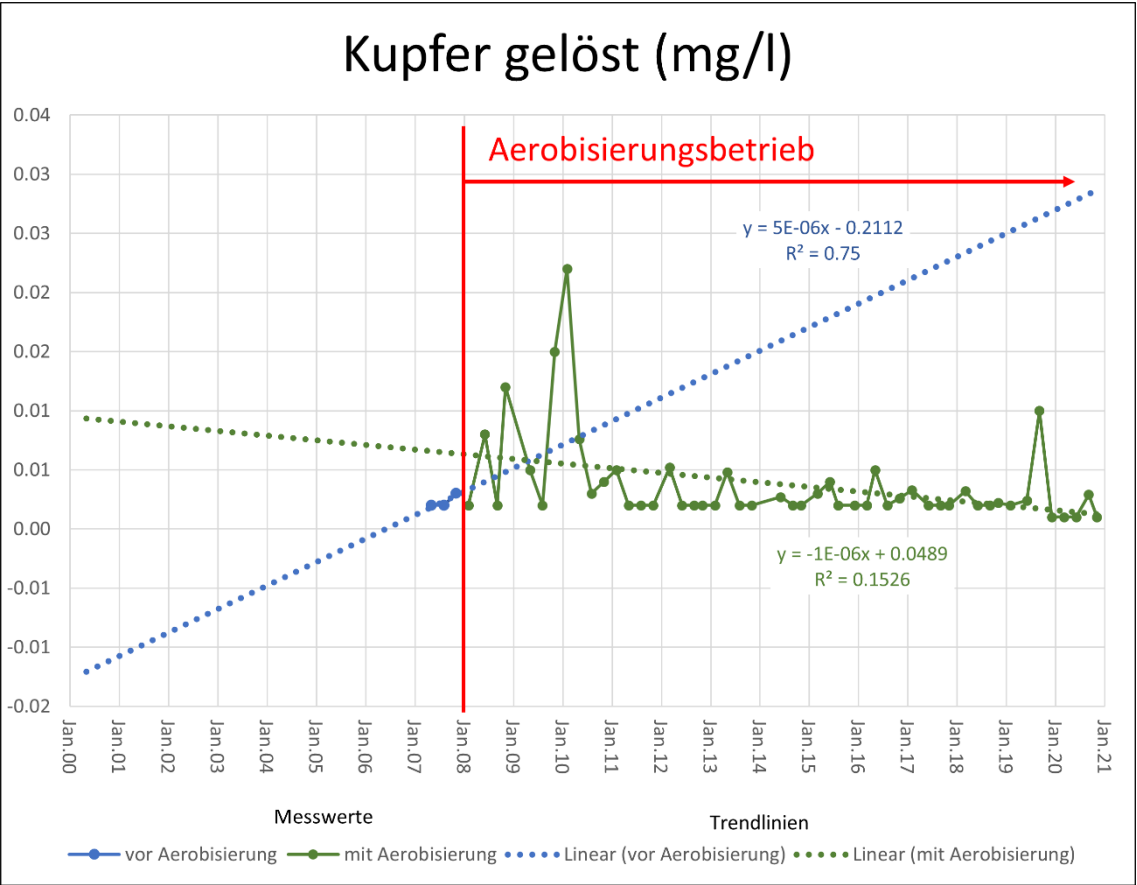
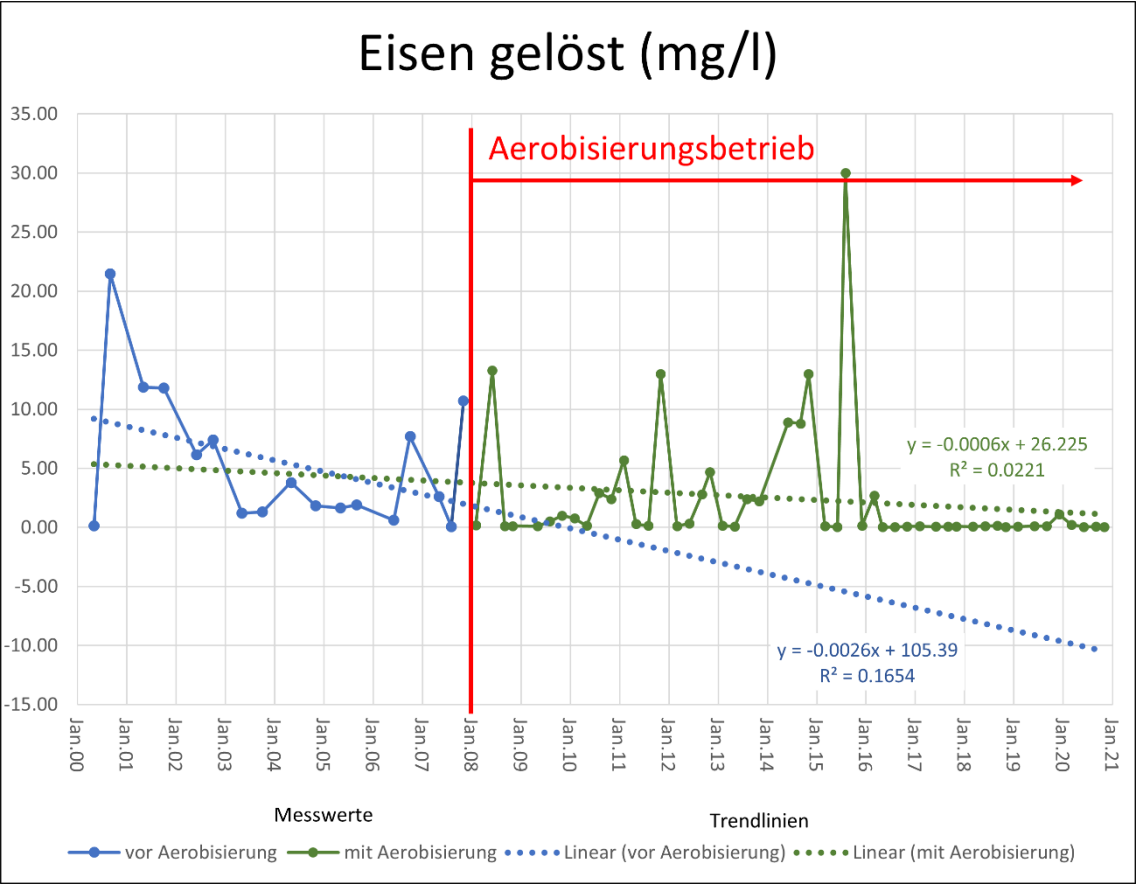
Annexe 4 Décharge de Sass Grand : pollution des eaux souterraines

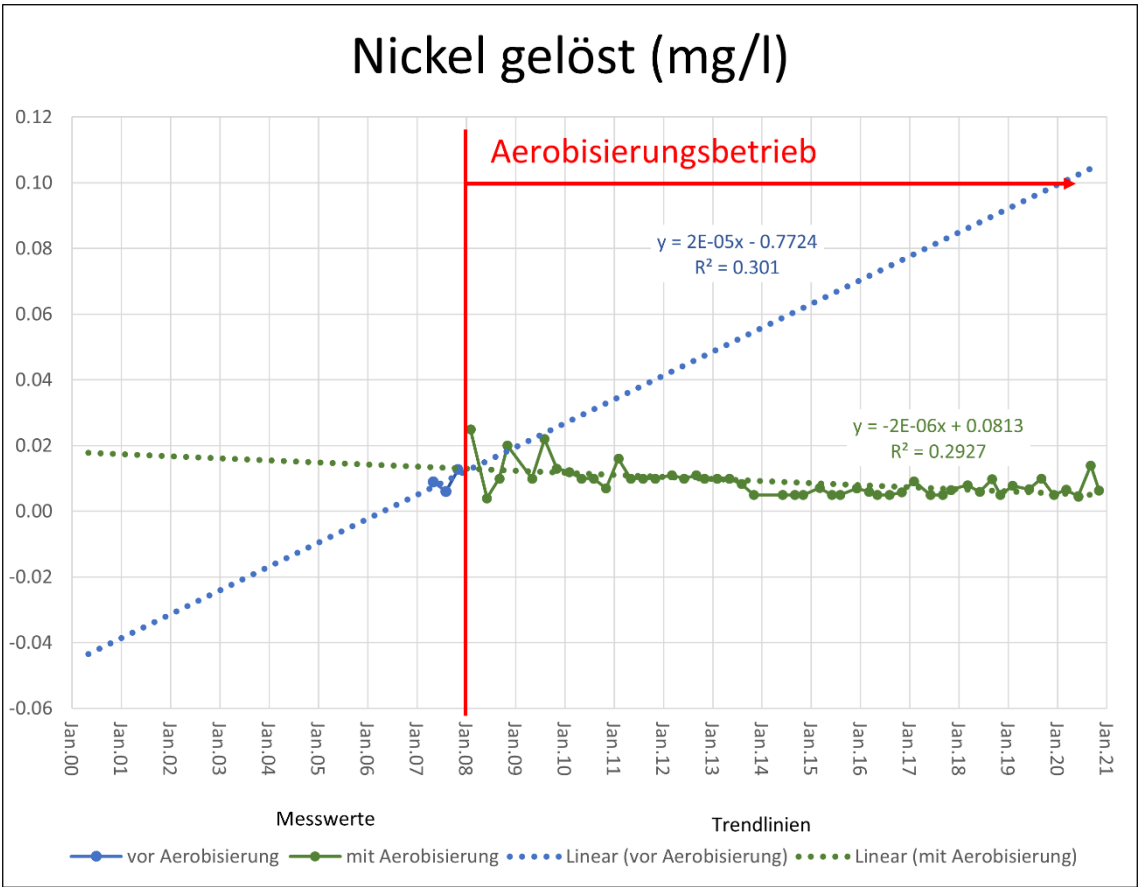
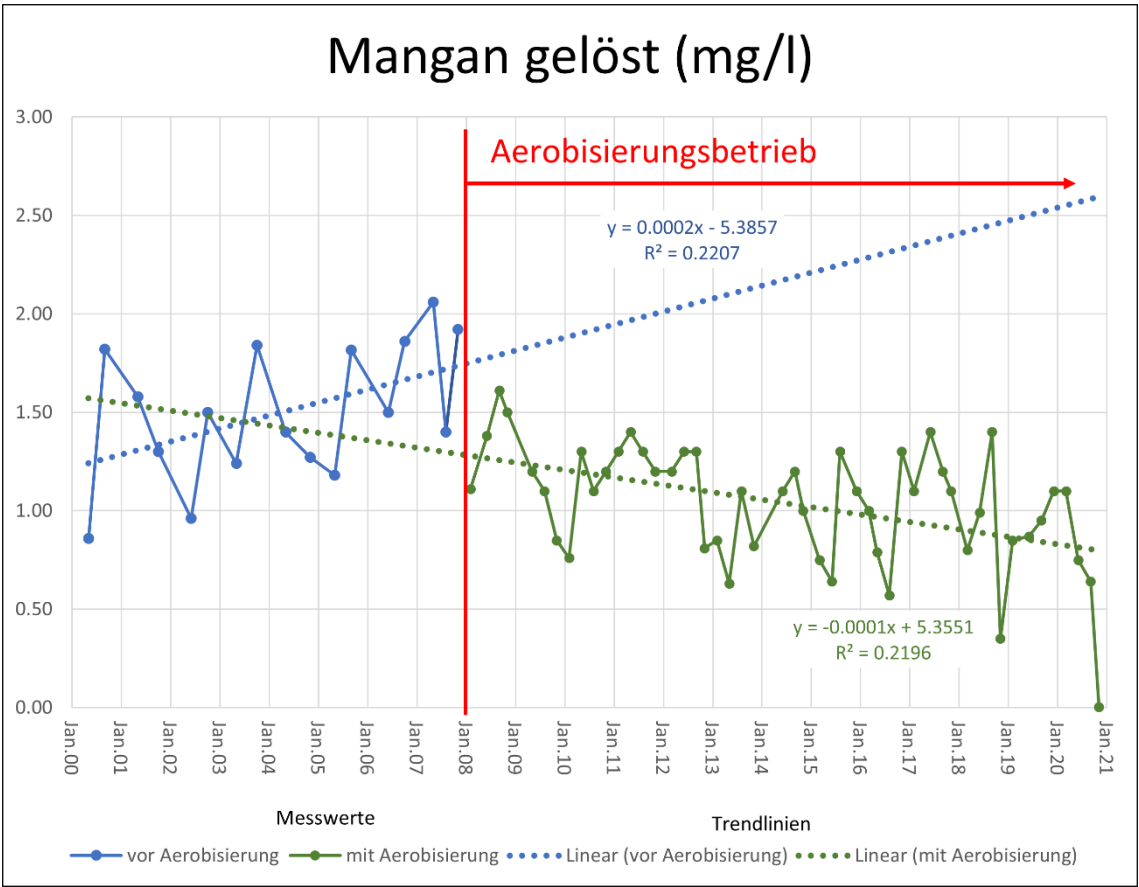
Sass Grand 11A:

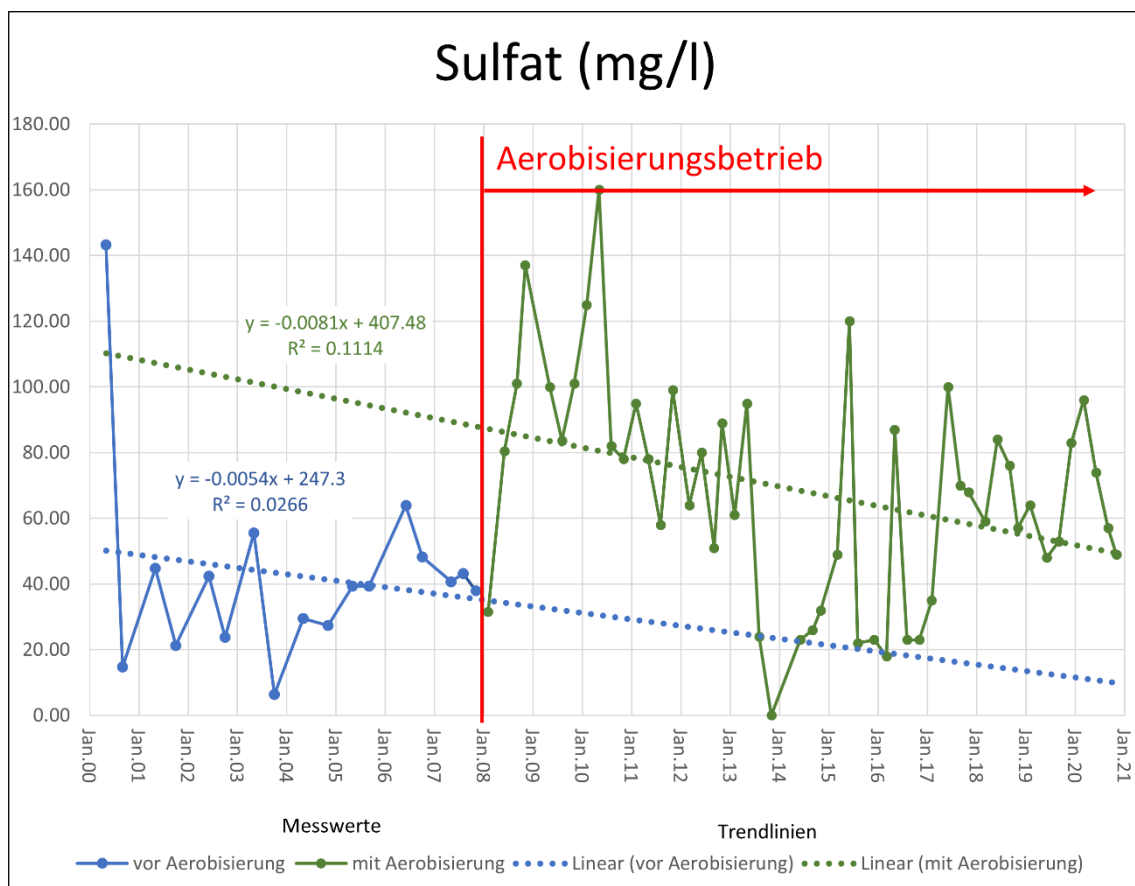
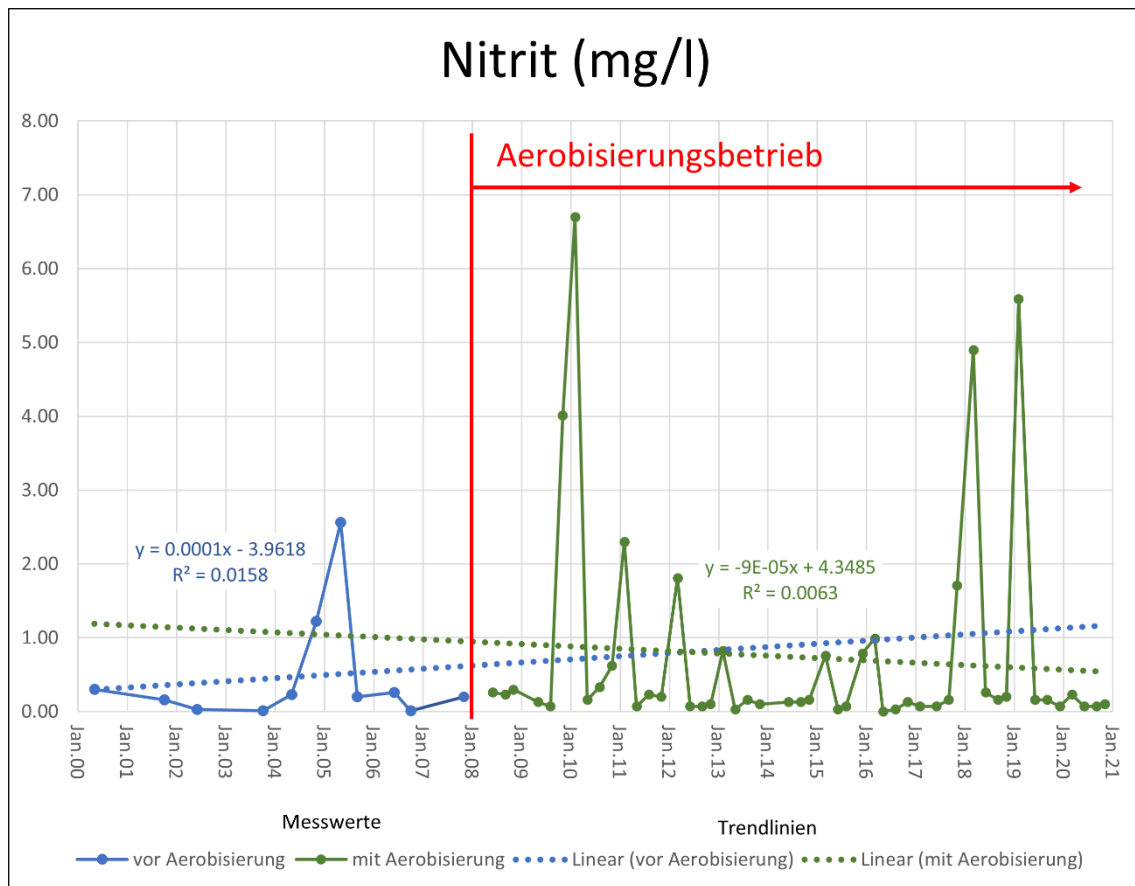


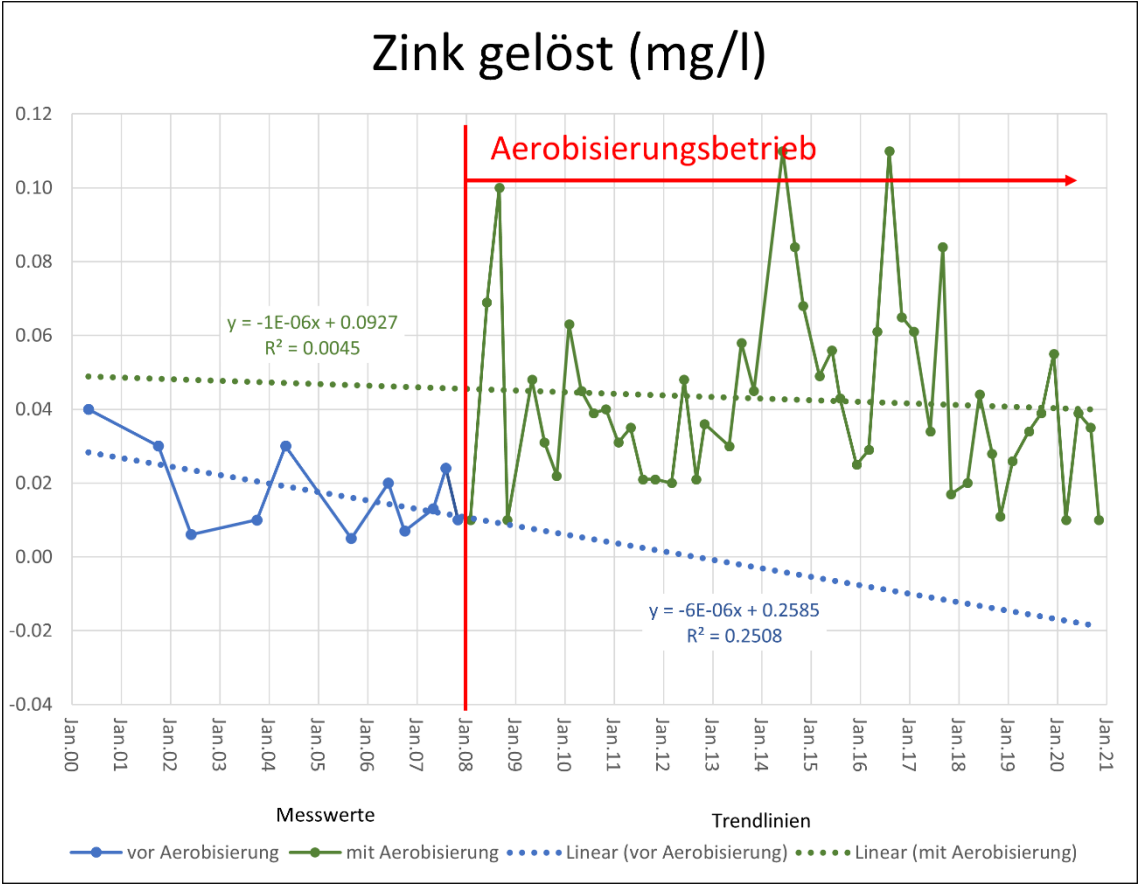


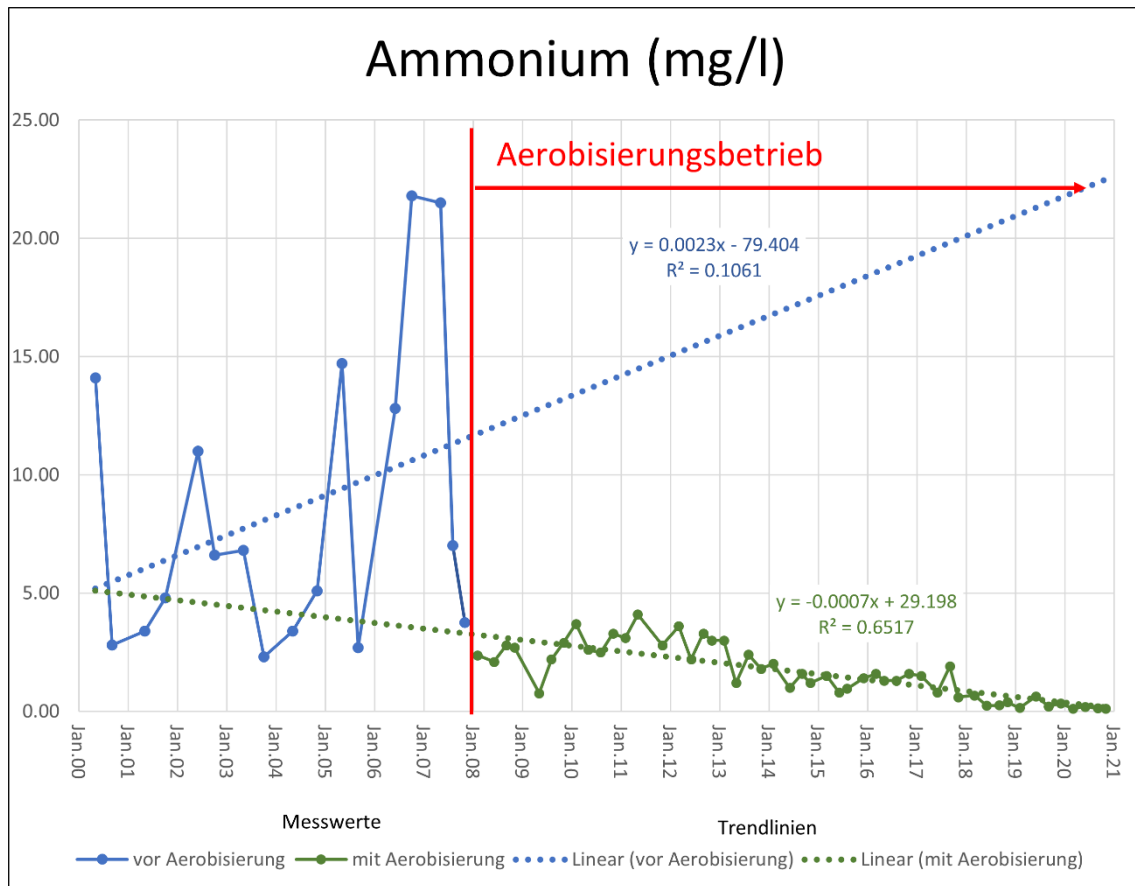


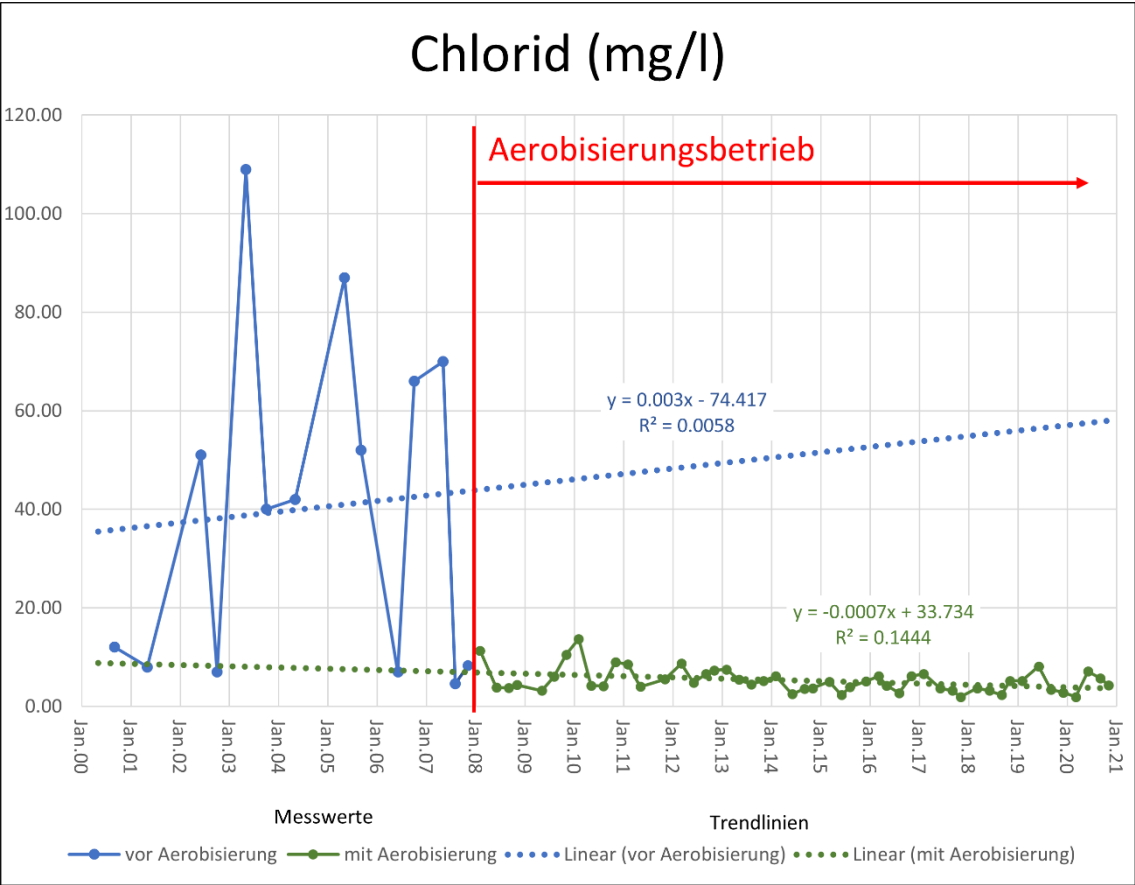
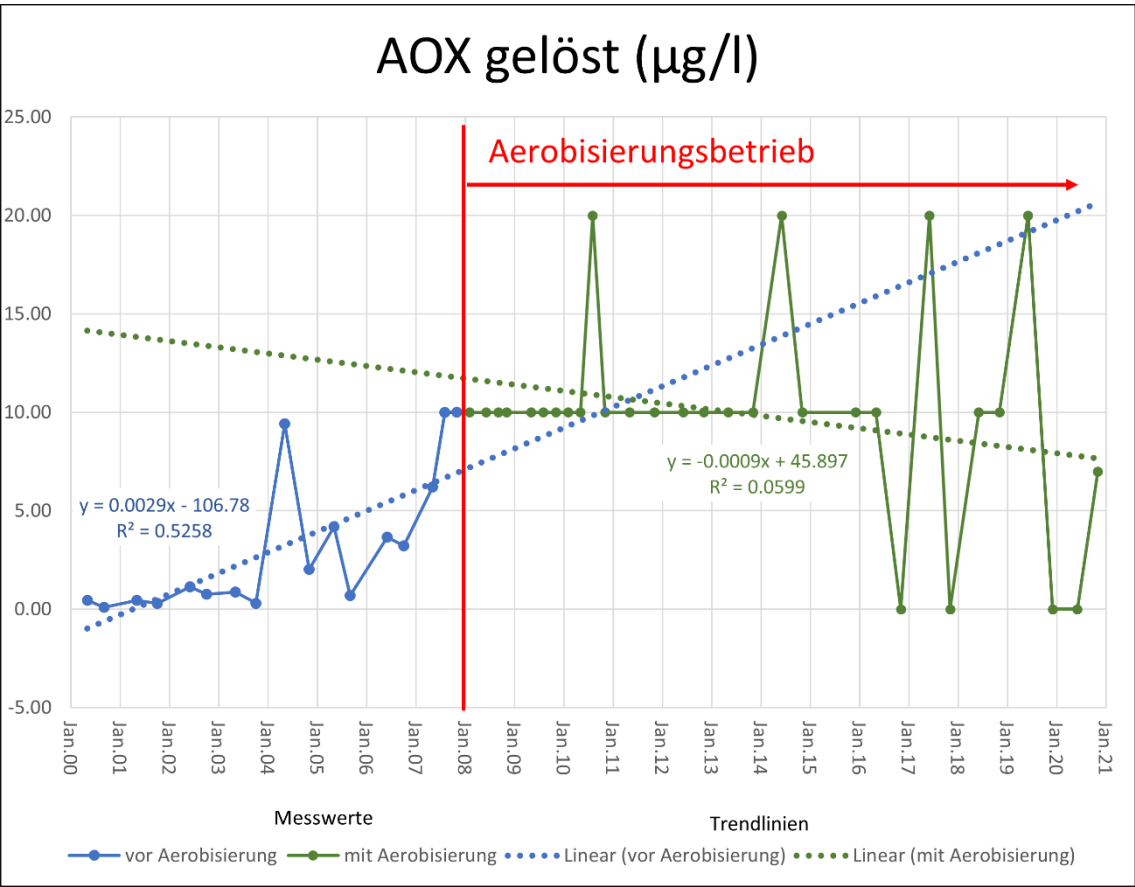


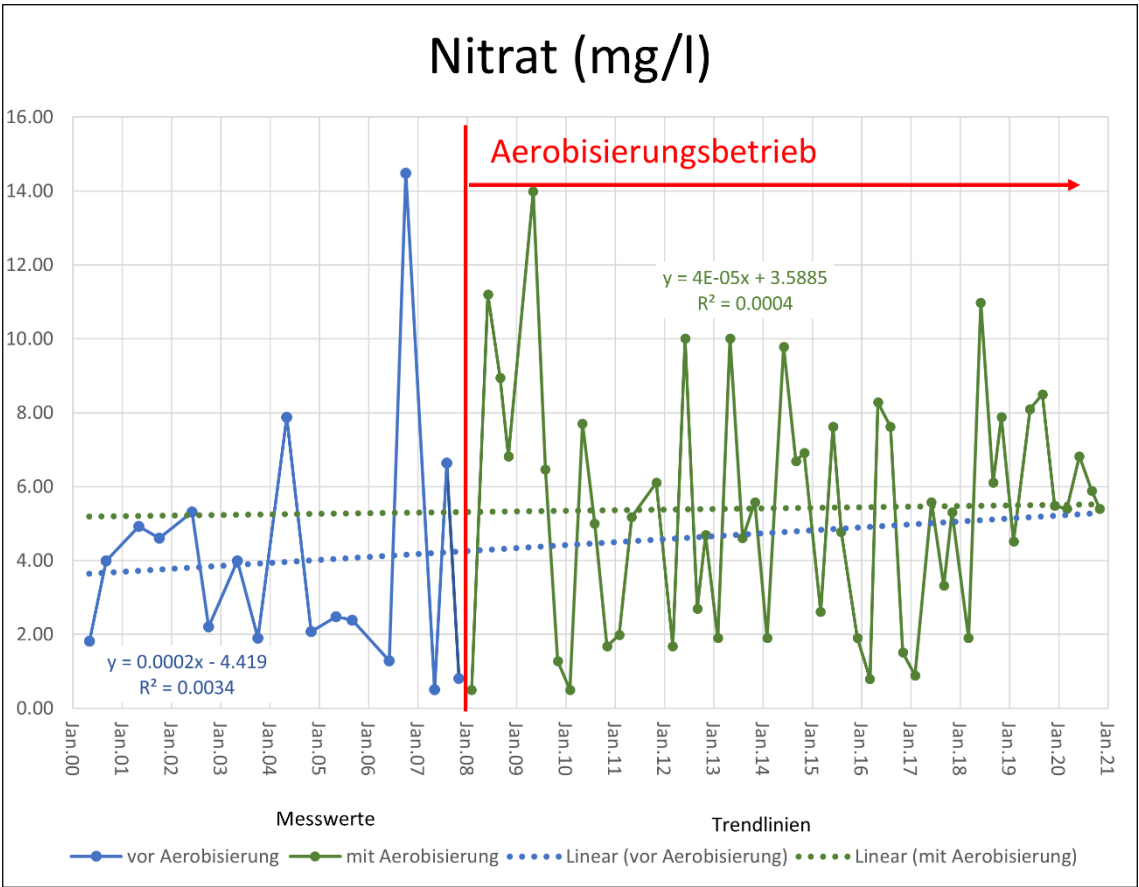
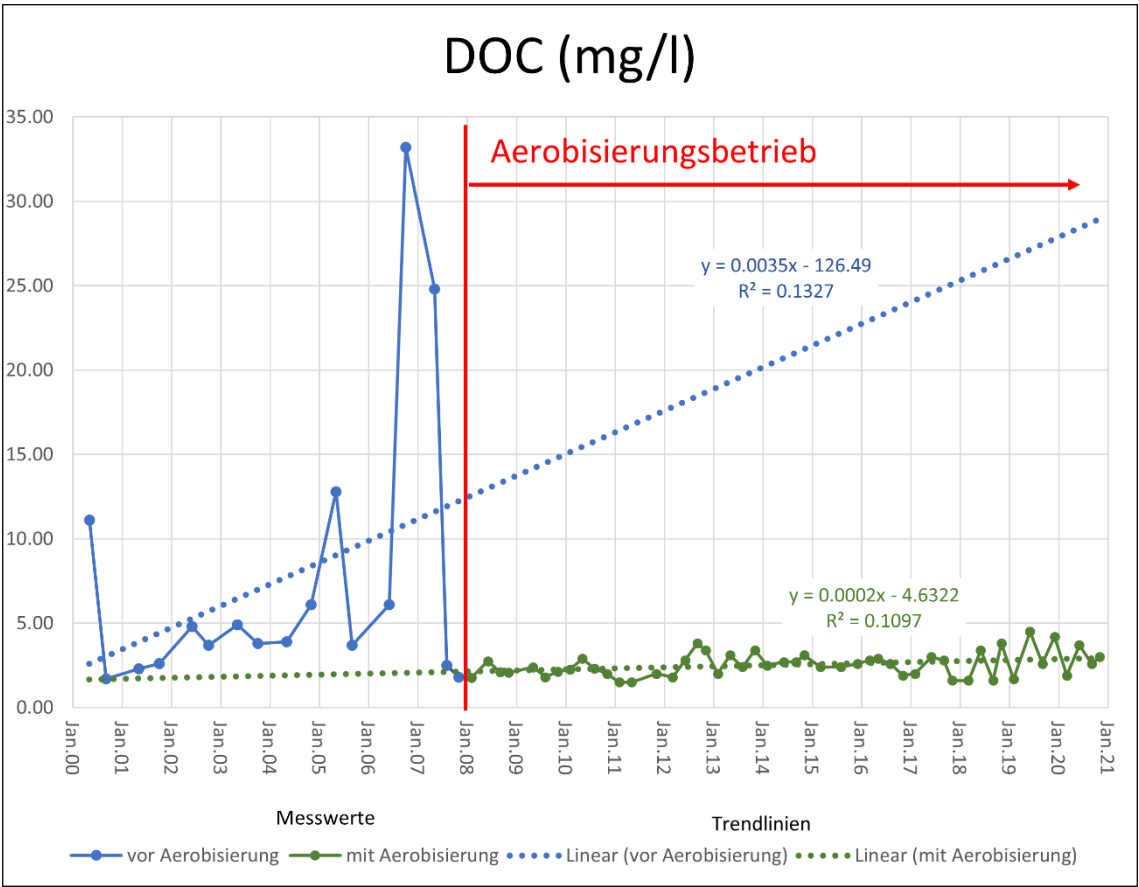


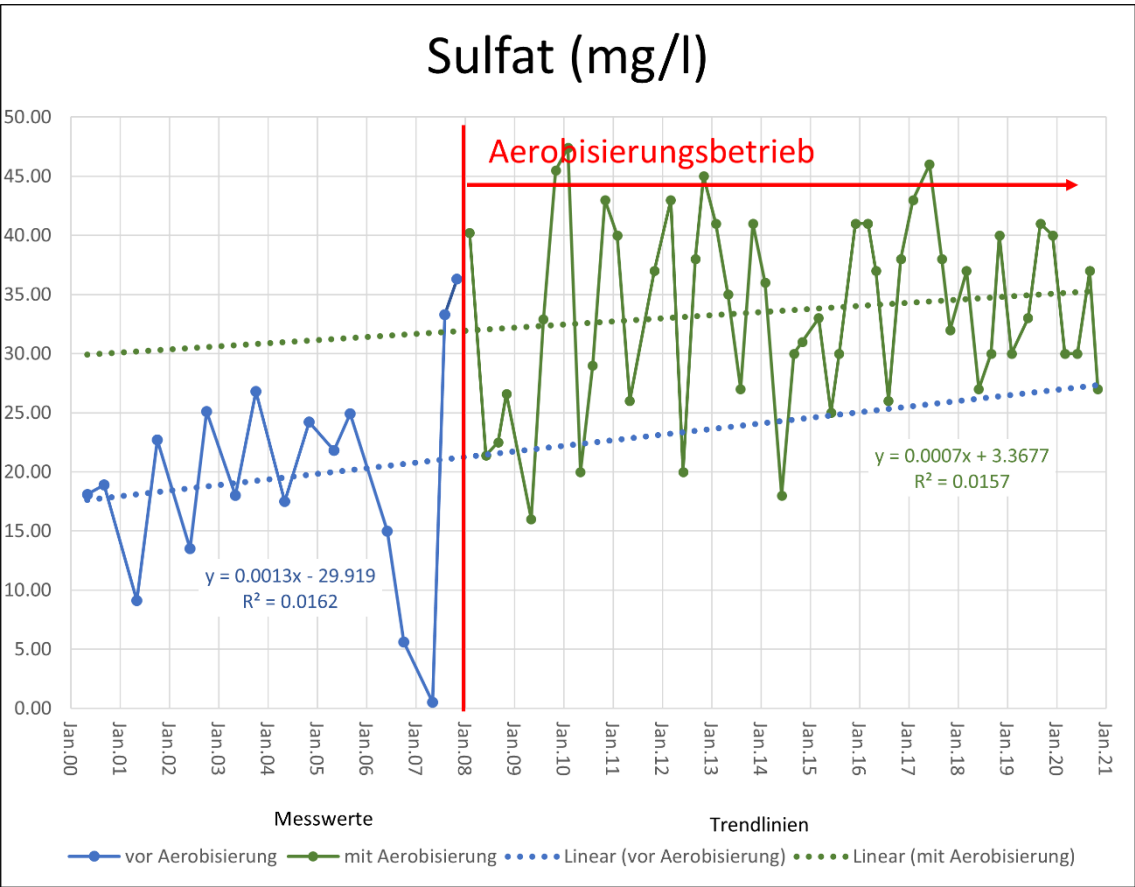
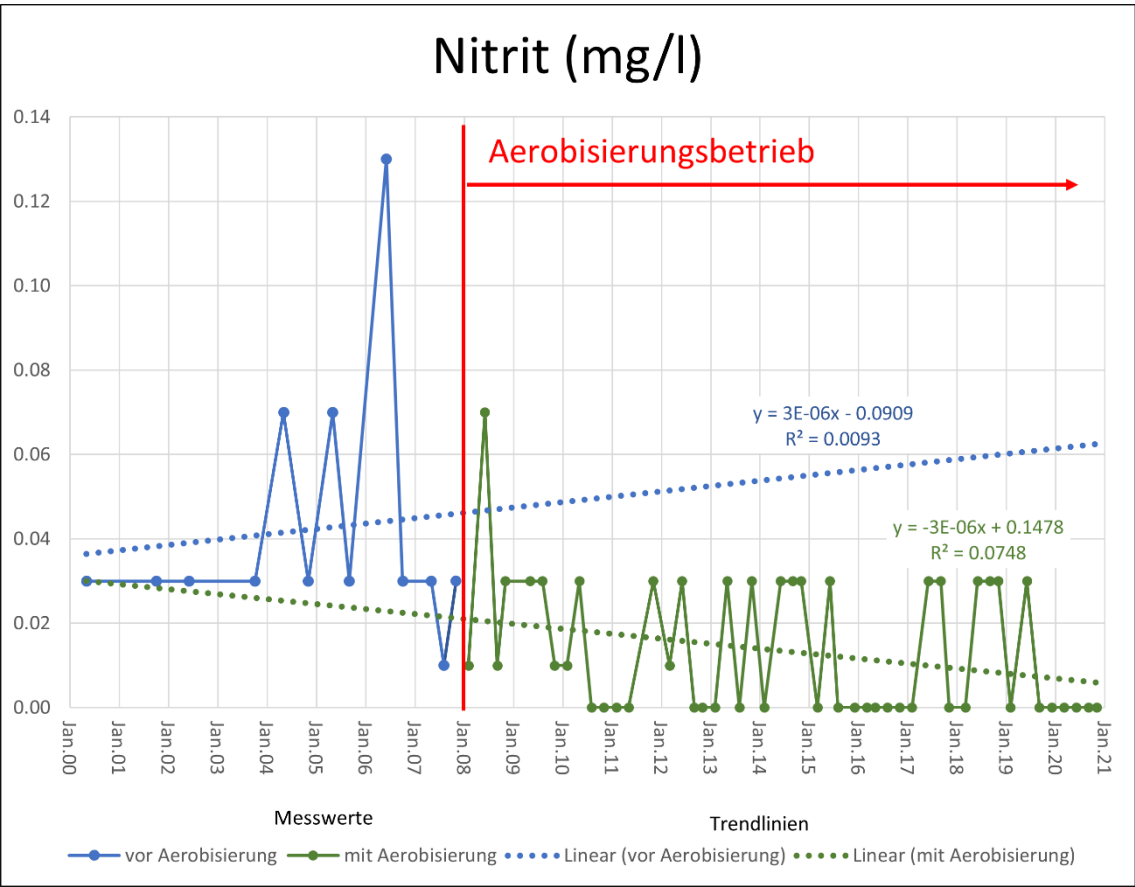




Sass Grand 19A/29A:

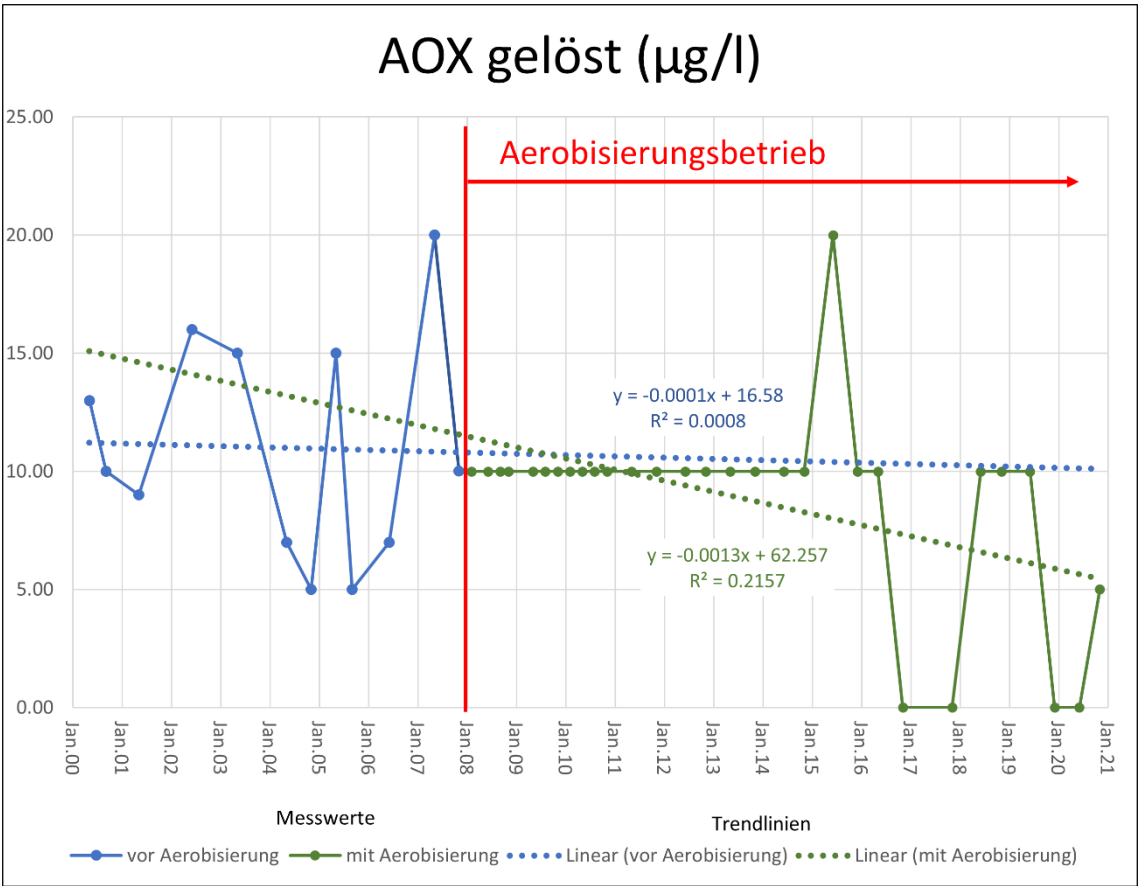
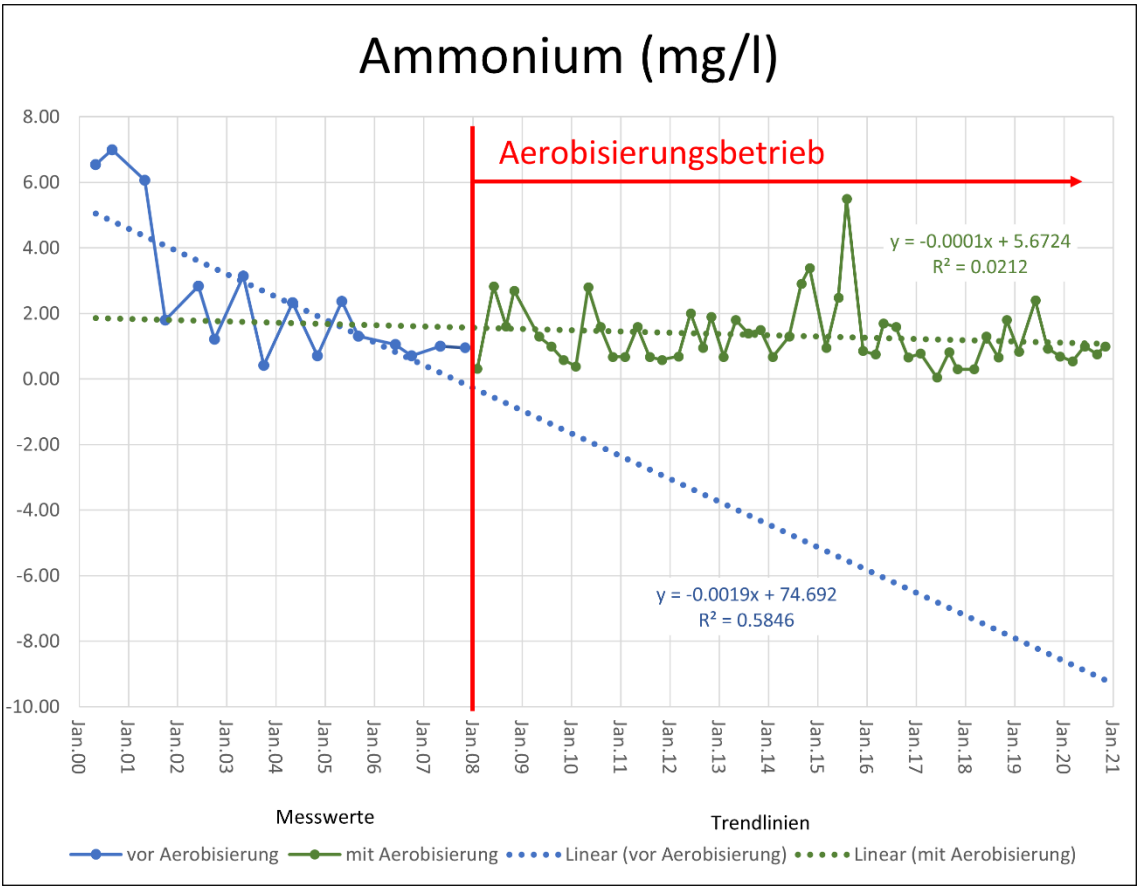


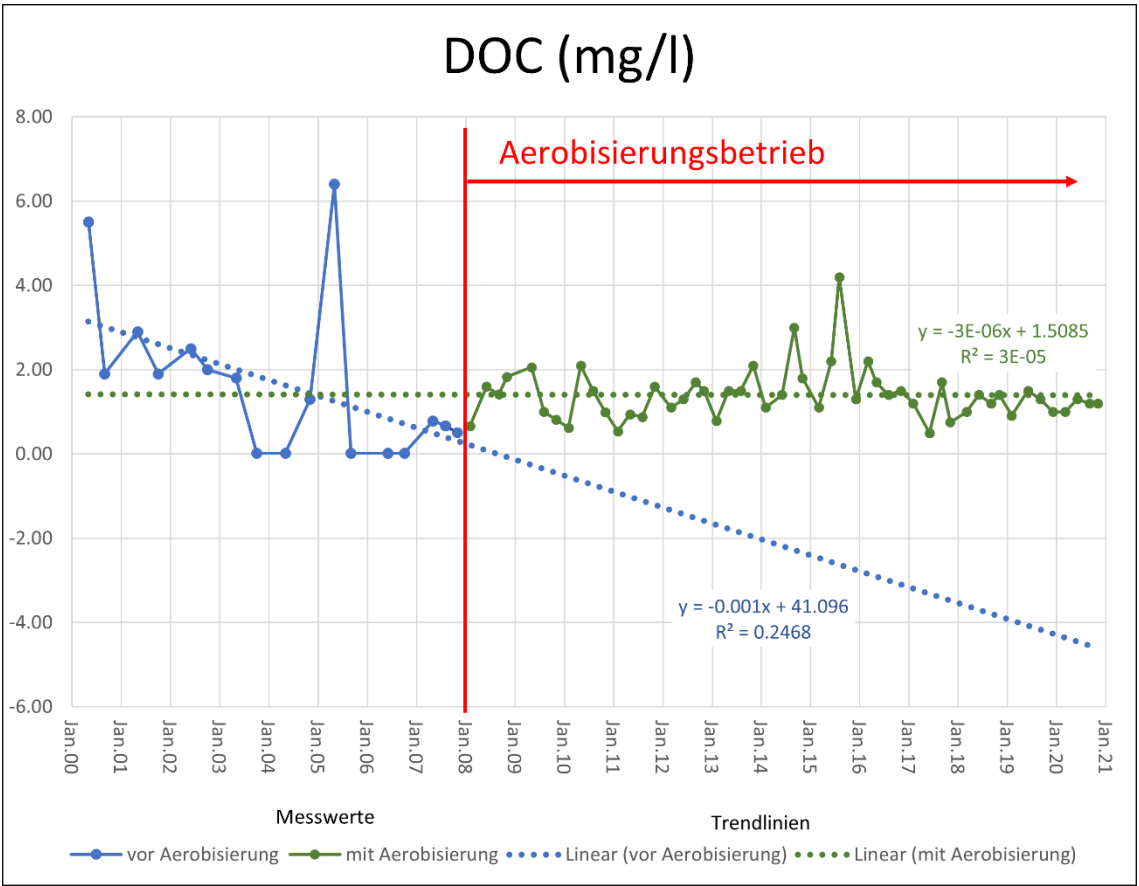
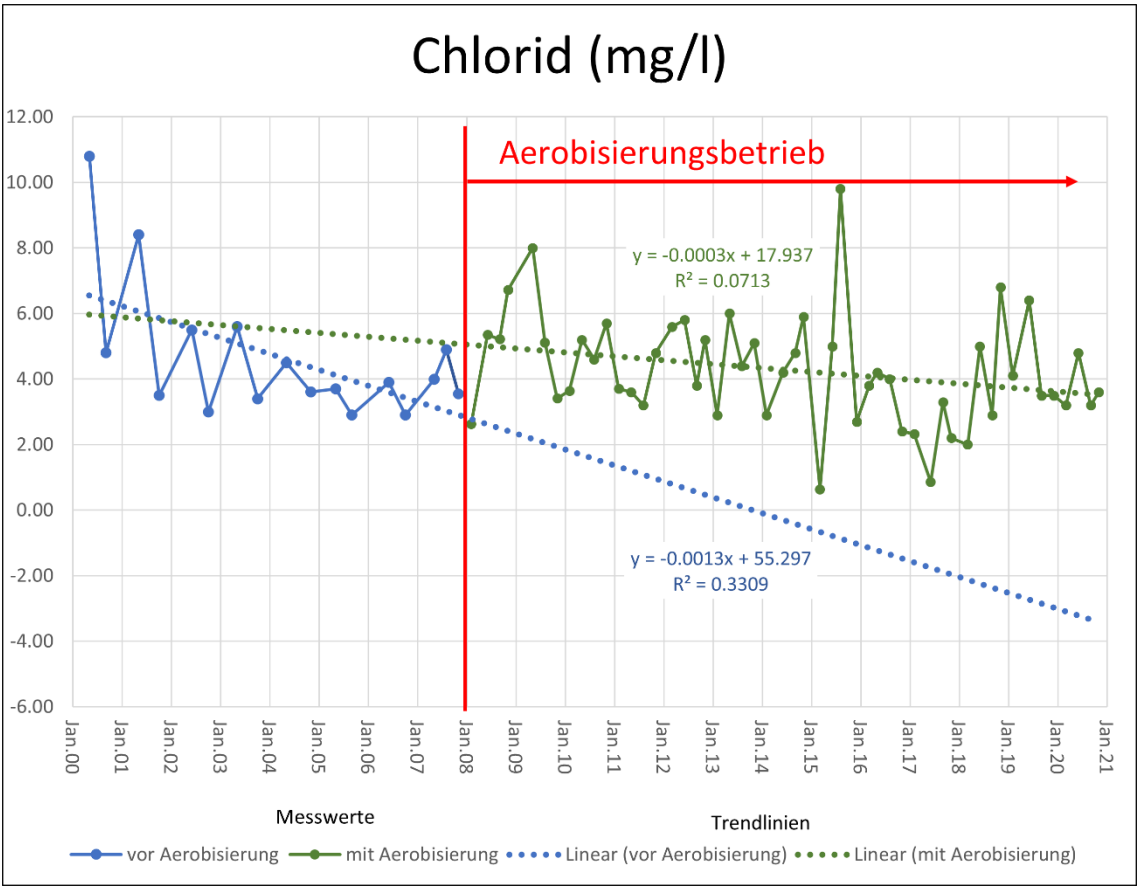


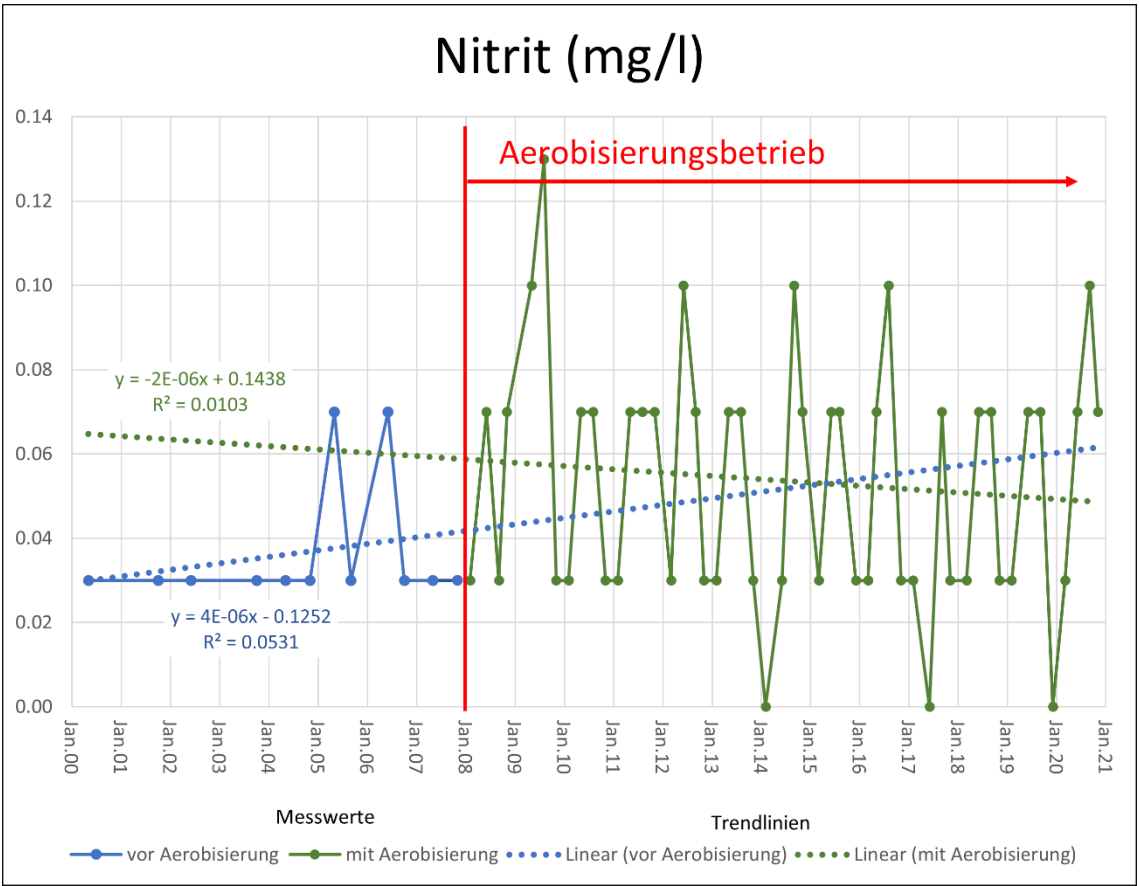
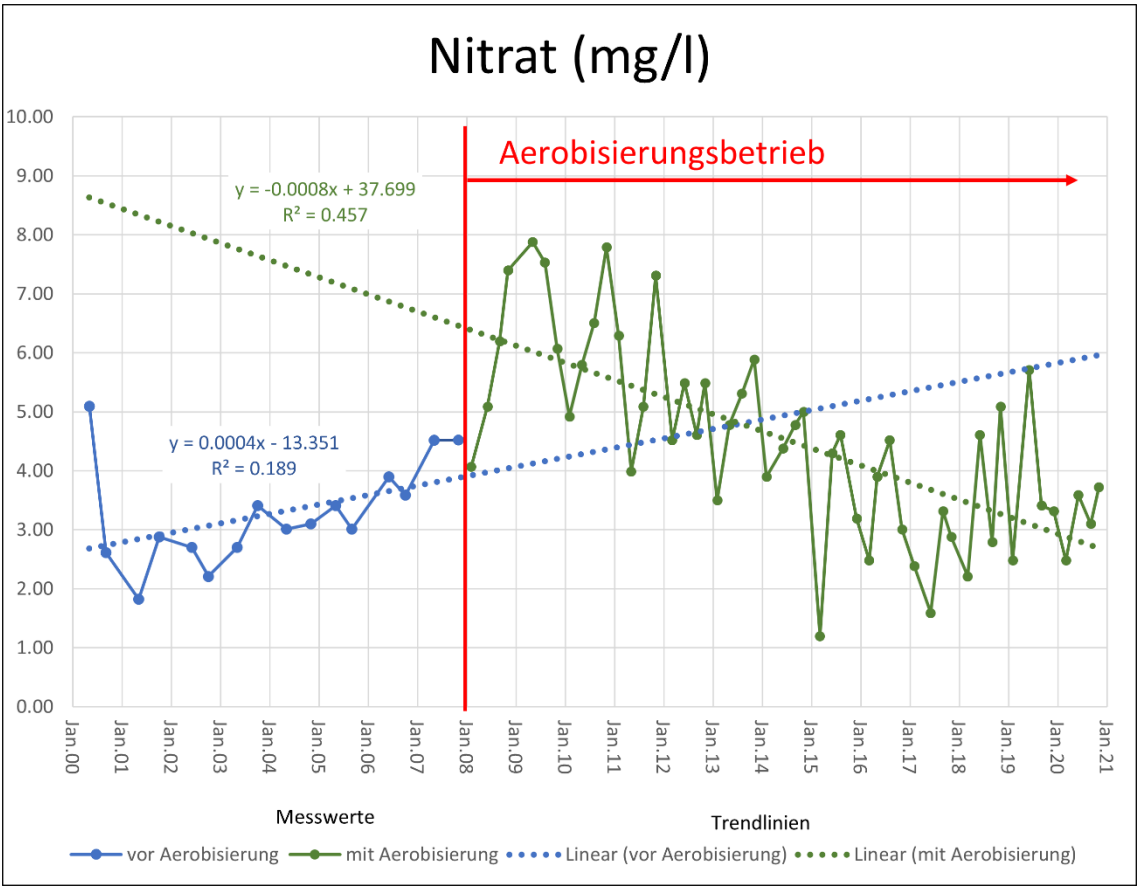


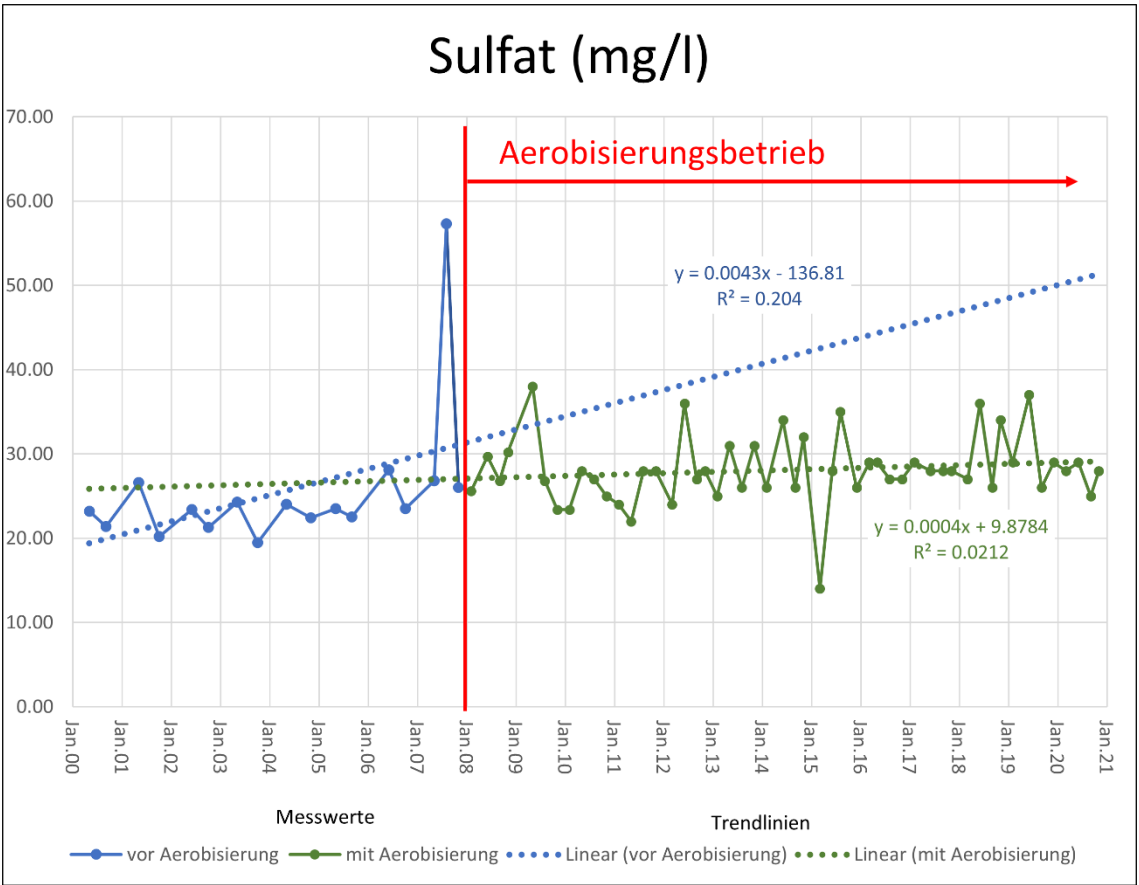


Annexe 5 Décharge de Sass Grand : pollution de l'Isellasbach



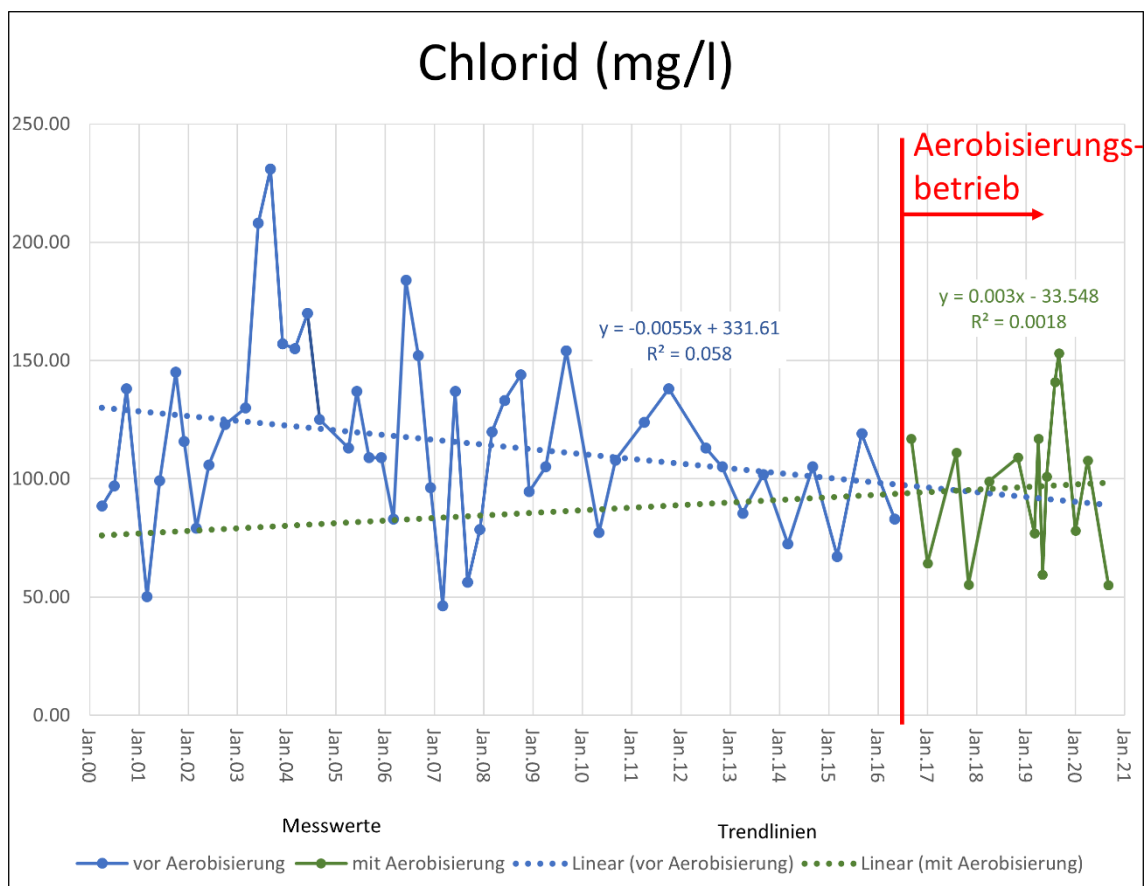
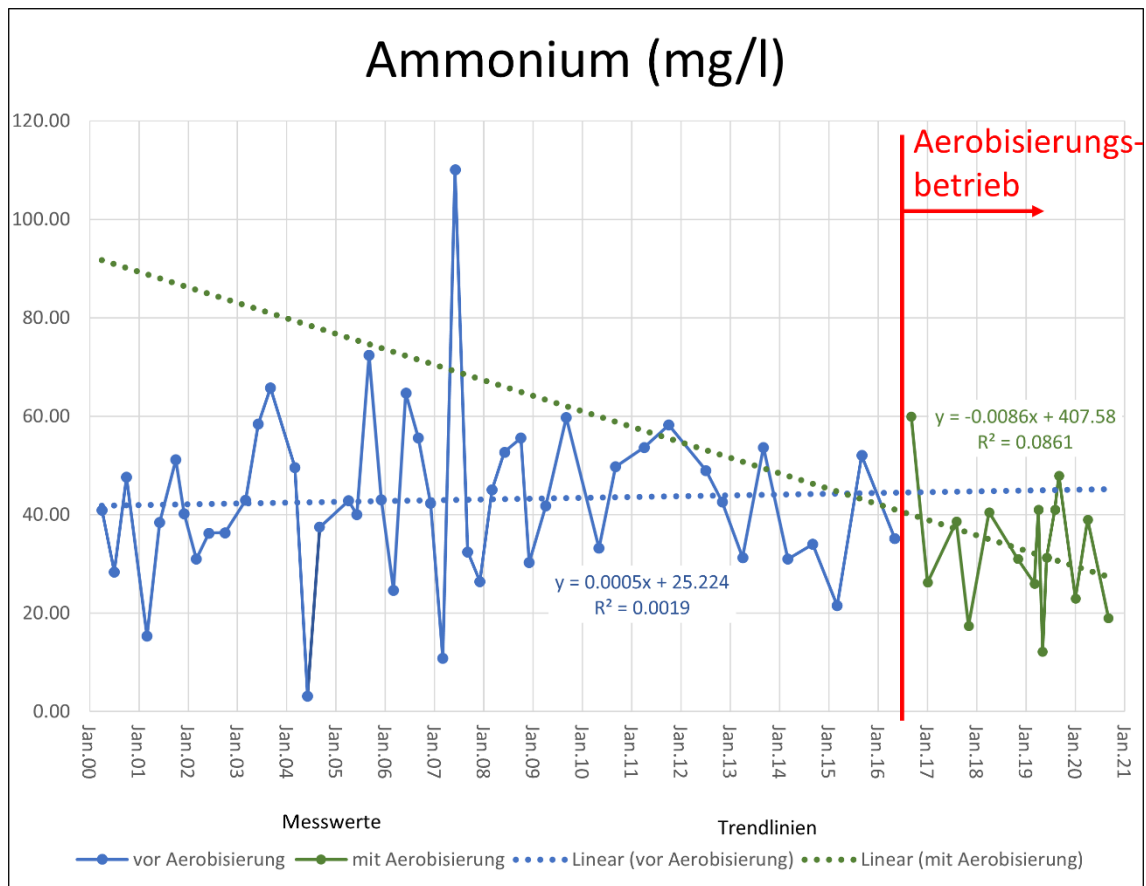


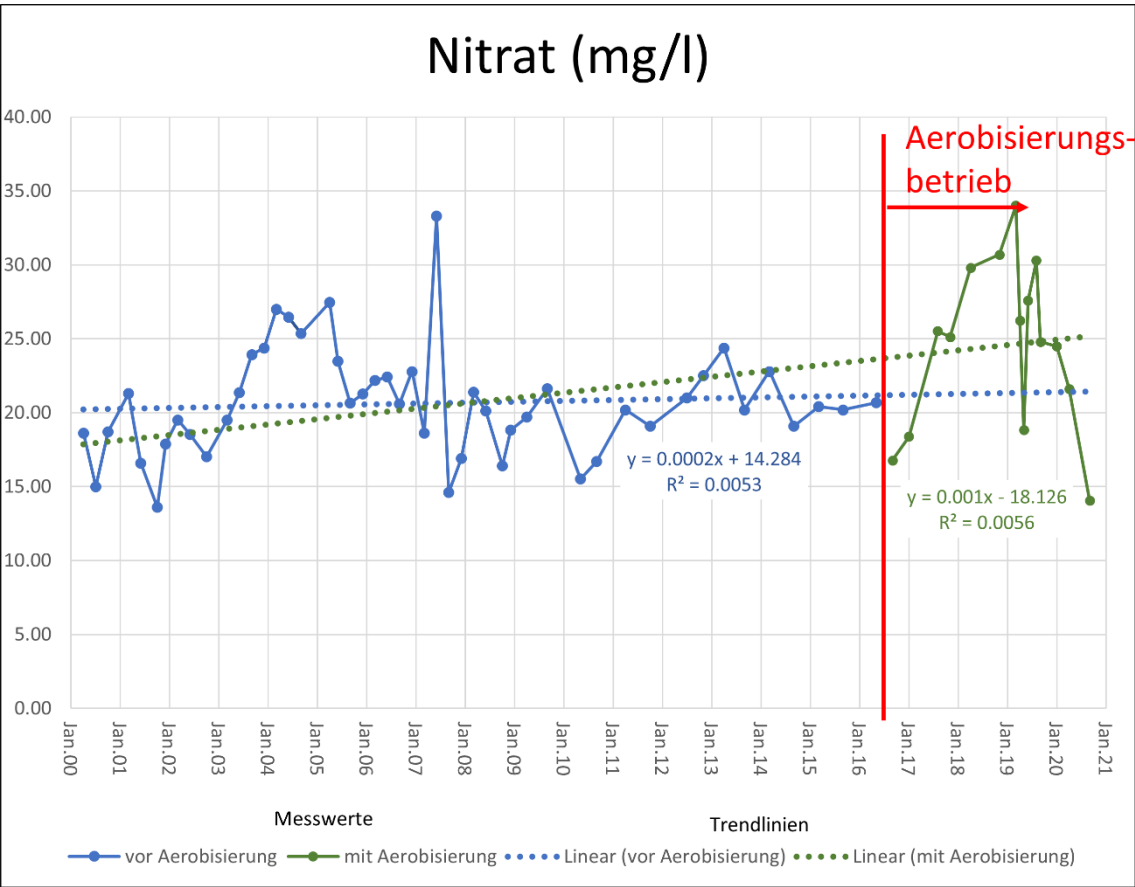
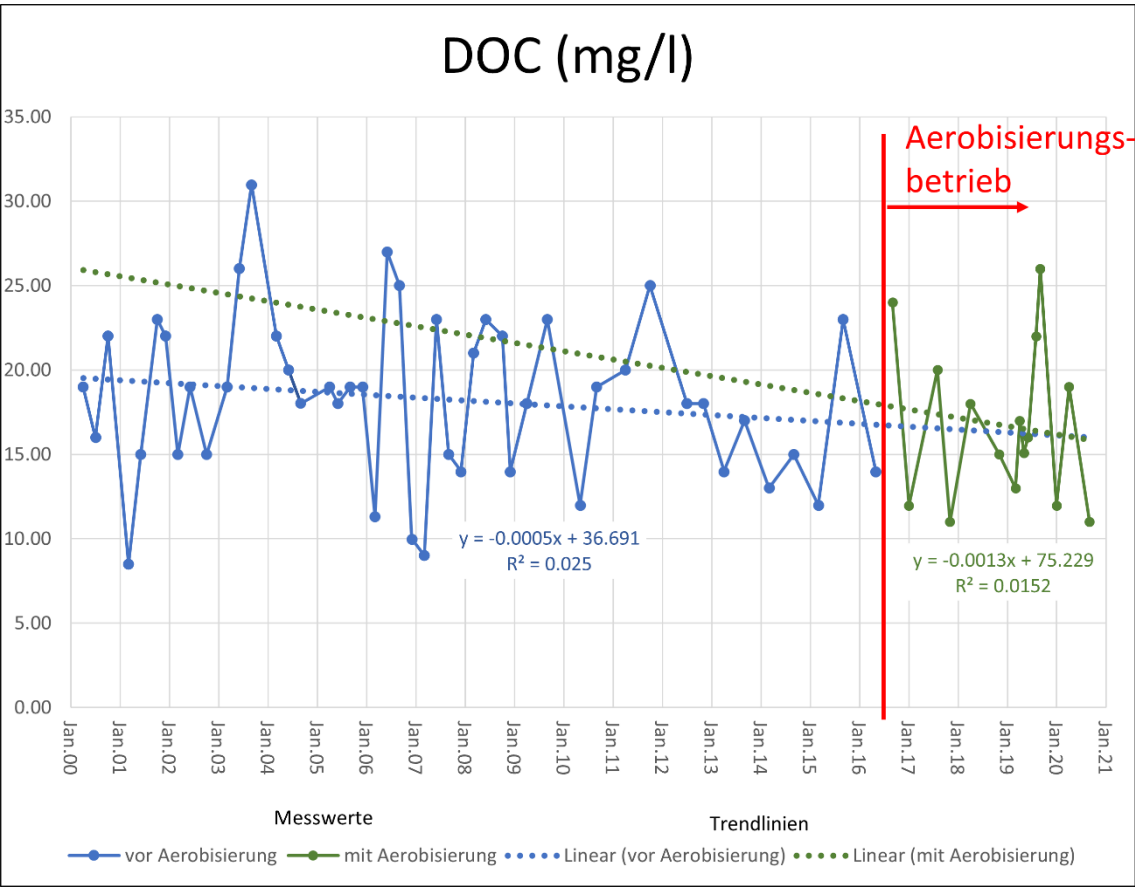


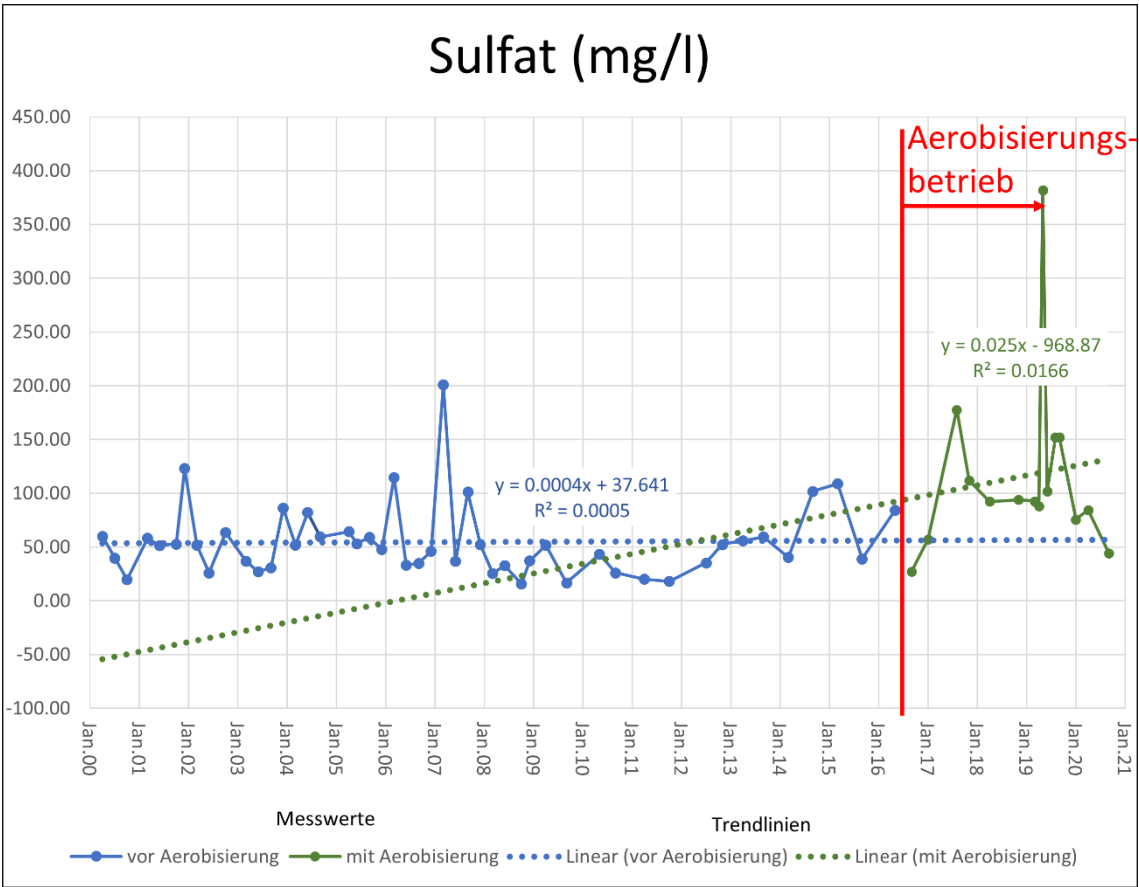
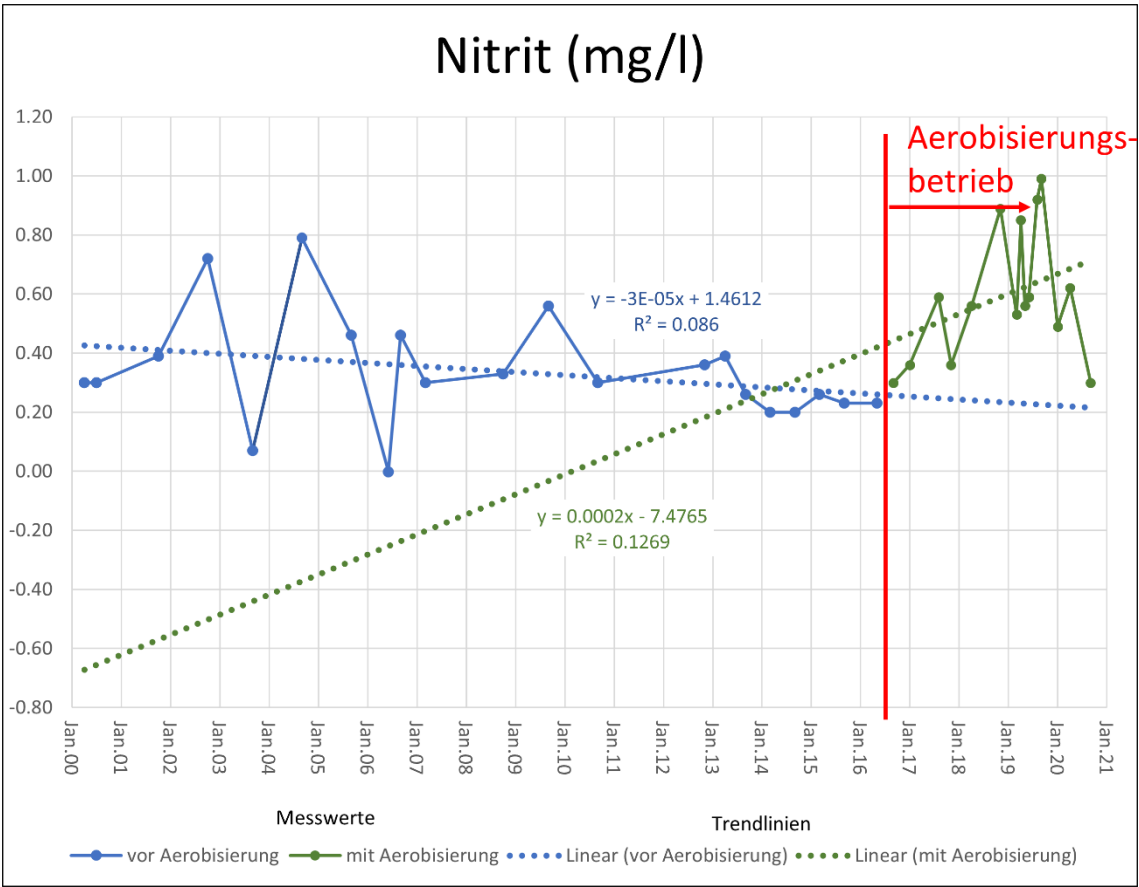




Annexe 6 Décharge de Kehlhof : charge polluante des lixiviats







Annexe 7 Assainissement par aérobisation - critères de décision

Groupe de critères 1 – Réponse possible avant les essais d'aspiration

Critère	Pertinence / remarques
Polluants	Un assainissement par aérobisation entre en ligne de compte lorsque les polluants concernés sont organiques et dégradables (par ex. méthane, ammonium, nitrite, BTEX, HCC). Cette méthode convient aussi particulièrement bien pour réduire la pollution des eaux souterraines et de surface. L'aérobisation peut aussi être combinée à d'autres procédés.
Eau	Il n'est pas possible d'aérobiser une décharge si ses pores sont remplis d'eau. Si la décharge est en eau, une aérobisation est tout de même envisageable si le corps de la décharge peut être drainé. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître la perméabilité hydraulique des matériaux stockés dans la décharge. Le drainage peut se faire par forages horizontaux en base de décharge ou en installant des pompes dans des puits d'aspiration verticaux. Dans ce dernier cas, il faut néanmoins tenir compte du fait que les longs tubes peuvent fléchir ou se plier, ce qui empêche le pompage. Selon les conditions, il peut être nécessaire de renforcer les puits par des mesures constructives.
Dimensions de la décharge	L'aérobisation nécessite des investissements de plusieurs centaines de milliers de francs. D'autres méthodes peuvent s'avérer plus économiques pour les très petites décharges.
Profondeur de la décharge	Si la décharge est peu profonde (< 3 m), il faut tenir compte du risque de court-circuit. On peut éventuellement résoudre le problème en installant des tuyaux d'aspiration horizontaux en base de décharge au lieu des forages verticaux.
Accès	Le corps de la décharge doit être accessible pour les travaux de sondage et de construction.
Affectation de la surface de la décharge	La présence de bâtiments ou autres installations importantes sur le corps de la décharge peuvent constituer un obstacle à l'aérobisation en raison du risque de tassement.

Groupe de critères 2 – Réponse possible seulement après les essais d'aspiration

Critère	Pertinence / remarques
Perméabilité à l'air	À l'aide d'essais d'aspiration, il faut déterminer si une proportion suffisante du corps de la décharge offre une perméabilité adaptée pour l'aérobisation.
Risque de court-circuit	Les conduites existantes dans le corps de la décharge peuvent générer des courts-circuits et faire échouer l'aérobisation. Les courts-circuits se manifestent par des teneurs élevées en oxygène dans le gaz aspiré.
Composition du gaz et quantités	Les essais d'aspiration doivent permettre de déterminer l'ampleur des conditions anaérobies à l'intérieur de la décharge, et quelles sont les dépressions ou les volumes d'aspiration à appliquer pour aérobiser le corps de la décharge. Cela permet également de dimensionner l'installation.