

Erfahrungsbericht Aerobisierung

Erfahrungen aus der Aerobisierung der Deponien
Sass Grand, Bever GR und Kehlhof, Berg TG

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Abteilung Boden und Biotechnologie, Sektion Altlasten

Projekt-Nr. 2649

Datum Weinfelden, 14. November 2022



Deponie Sass Grand (Bever GR)



Deponie Kehlhof (Berg TG)

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Abteilung Boden und Biotechnologie, Sektion Altlasten

Auftragnehmer Ingenias AG, Weinfelden

Autoren Werner Meier, dipl. Ing. ETH, MSc. (Stanford)
Patrick Eicher, MSc ZFH in Engineering
Simon Griesser, dipl. Geograf, UZH
Bruno Weilenmann, dipl. Ing. HTL

Datum 07.12.2022

Begleitung durch BAFU Christiane Wermeille, Reto Tietz, André Laube

Disclaimer Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Projektgebiet Deponie Sass Grand 2'788'992,1'158'555
Deponie Kehlhof 2'730'611,1'270'509

Dplus AG Die Dplus AG (www.dplus.ch) betreibt in der Schweiz seit mehreren Jahren Aerobisierungsprojekte. Sie ist eine Tochterfirma der Ingenias AG (www.ingenias.ch), und ihre Tätigkeit ist auf den Aerobisierungsbetrieb beschränkt. Die Ingenias AG ist eine Beratungsunternehmung für Altlasten und Deponien und beurteilt die Anwendbarkeit des Verfahrens und wertet die Ergebnisse aus. Sie wurde vom Bundesamt für Umwelt BAFU beauftragt, den vorliegenden Erfahrungsbericht zu verfassen.

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Bemerkungen
v01	20.09.22	Zwischenbericht / Entwurf z.Hd. BAFU
v02	16.11.22	Schlussbericht

Inhalt

1	Einleitung	7
1.1	Ausgangslage	7
1.2	Ziel	7
1.3	Vorgehen	7
2	Grundlagen	8
2.1	Gesetzliche und projektbezogene Grundlagen	8
2.2	Aerobisierung	8
2.3	Dplus-Verfahren	9
3	Deponie Sass Grand	10
3.1	Übersicht	10
3.2	Abgelagerte Abfälle	11
3.3	Meilensteine in der Deponiegeschichte	11
3.4	Ziele der Aerobisierung auf der Deponie Sass Grand	11
3.5	Verfahrenswahl	12
3.5.1	Ausgangslage	12
3.5.2	Sanierungsvarianten	13
3.5.3	Variantenentscheid	15
3.6	Sanierungsbetrieb	15
3.6.1	Überblick über den zeitlichen Ablauf	15
3.6.2	Vorversuche	16
3.6.3	Sanierungsverfügung	17
3.6.4	Anlagenkonzeption und Betriebsdaten	18
3.6.5	Unwegsamkeiten	21
3.6.6	Kosten	22
3.7	Sanierungserfolg	23
4	Deponie Kehlhof	27
4.1	Übersicht und Geschichte	27
4.2	Abgelagerte Abfälle	29
4.3	Ziele der Aerobisierung	30
4.4	Verfahrenswahl	30
4.5	Aerobisierungskonzept und -betrieb	30
4.5.1	Überblick über den zeitlichen Ablauf	30
4.5.2	Anlagenkonzeption und Betriebsdaten	31
4.6	Gasförmigen Emissionen	33
4.7	Sickerwasser	34
4.8	Kosten	35

5	Besondere Erkenntnisse	35
5.1	Deponiegut, Porosität und Volumenstrom	35
5.2	Bohrungen	36
5.3	Wasser und Pumpbetrieb	37
5.4	Setzungen	38
5.5	Temperatur im Deponiekörper	39
6	Empfehlungen	40

Anhänge

Anhang 1	Deponie Sass Grand: Übersichtsplan
Anhang 2	Deponie Sass Grand: Abfallinventar
Anhang 3	Deponie Sass Grand: Deponiegeschichte
Anhang 4	Deponie Sass Grand: Belastung Grundwasser
Anhang 5	Deponie Sass Grand: Belastung Isellasbach
Anhang 6	Deponie Kehlhof: Belastung Sickerwasser
Anhang 7	Kriterien für die Anwendung der Aerobisierung

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Sass Grand: Messwerte im Grundwasser	12
Tabelle 2:	Sass Grand: Messwerte im Isellasbach	12
Tabelle 3:	Sass Grand: Messwerte Gasanalyse 1994	13
Tabelle 4:	Aerobisierungsvarianten	14
Tabelle 5:	Ablauf der Sanierung Etappe 0 Deponie Sass Grand	15
Tabelle 6:	Sass Grand: Charakteristische Betriebsdaten 2010	18
Tabelle 7:	Sass Grand: Charakteristische Betriebsdaten 2016	19
Tabelle 8:	Sass Grand: Charakteristische Betriebsdaten 2021	20
Tabelle 9:	Abgelagerte Abfälle Deponie Kehlhof	29
Tabelle 10:	Ablauf der Aerobisierung auf der Deponie Kehlhof	30
Tabelle 11:	Kehlhof: Charakteristische Betriebsdaten 2022	32
Tabelle 12:	Aktuelle Daten der Deponien Sass Grand und Kehlhof	35
Tabelle 13:	Wasser und Pumpbetrieb	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Dplus-Verfahrens	9
Abbildung 2: Lage der Deponie Sass Grand, Bever GR	10
Abbildung 3: Deponiematerial nach 50 Jahren	16
Abbildung 4: Anlagenkonzeption 2007-2011	18
Abbildung 5: Sass Grand: Anlagenkonzeption 2011-2016	19
Abbildung 6: Sass Grand: Anlagenkonzeption seit 2016	20
Abbildung 7: Klärschlammeynlagerungen in Etappe 1 und 2	22
Abbildung 8: Summierter Kohlenstoffaustrag durch die Aerobisierung aus der Deponie Sass Grand.	23
Abbildung 9: Trenddiagramm Messstelle 11A Sass Grand 11A, Ammonium	24
Abbildung 10: Trenddiagramm Messstelle 11A Sass Grand 11A, DOC	24
Abbildung 11: Trenddiagramm Messstelle 11A Sass Grand 11A, Nitrit	25
Abbildung 12: Ammonium im Isellasbach 3B	26
Abbildung 13: Lage der Deponie Kehlhof	27
Abbildung 14: Schnitt entlang der Bacheindolung	28
Abbildung 15: Übersicht Deponie Kehlhof	31
Abbildung 16: Aufbau Oberfläche Deponie Kehlhof	32
Abbildung 17: Summierter Kohlenstoffaustrag durch die Aerobisierung aus der Deponie Kehlhof.	33
Abbildung 18: Entwicklung Stickstoffparameter in der Deponie Kehlhof	34
Abbildung 19: Bohrlochpumpe des Fabrikats Viridian	37
Abbildung 20: CO ₂ -Konzentration im Deponiegas und Gastemperatur vor dem Verdichter der Deponie Kehlhof.	39

Grundlagenverzeichnis

Allgemeine Grundlagen

- [1] Gefährdungsabschätzung bei Deponien. Teil des Moduls Deponien der Vollzugshilfe zur VVEA, Bundesamt für Umwelt, 2019.
- [2] Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201).
- [3] Technische Verordnung über Abfälle (TVA, SR 814.600, ausser Kraft).
- [4] Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV, SR 814.680).
- [5] Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA, SR 814.600).

Projektbezogene Grundlagen Deponie Sass Grand

- [6] Amt für Natur und Umwelt Kanton Graubünden. Sanierungsverfügung vom 10. März 2006, Chur.
- [7] Dplus AG. Deponiesee, Bericht vom 11. April 2012, St.Gallen.
- [8] Dplus AG Entwässerungsbohrungen, Bericht vom 23. Februar 2015, St.Gallen.
- [9] Dplus AG. Pumpversuche, Bericht vom 29. Juni 2015, St.Gallen.
- [10] Dplus AG. Umbau Aerobisierungsanlage Sass Grand, Bericht vom 8. Juni 2016, St.Gallen.
- [11] Meier und Partner AG. Sanierungsprojekt, Bericht Nr. 154.6 vom 18. Juli 2005, St.Gallen.
- [12] Meier und Partner AG. Vorversuche Aerobisierung, Auswertung, Bericht Nr. 154.4 vom 19. August 2005, St.Gallen.
- [13] Meier und Partner AG. Gefährdungsabschätzung Deponie Sass Grand, Bericht vom, 15. November 2021, Weinfelden.

Projektbezogene Grundlagen Deponie Kehlhof

- [14] Dplus AG. Vorprojekt Aerobisierung Deponie Kehlhof, Bericht Nr. 555.06 vom 17. Juli 2014, St.Gallen.
- [15] Dplus AG. Baugesuch mit Technischem Bericht und Plänen vom 28. März 2017, St.Gallen.
- [16] Meier und Partner AG. Gefährdungsabschätzung Deponie Kehlhof, Bericht vom 30. November 2021, Weinfelden.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In der Schweiz gibt es knapp 15'000 alte Ablagerungsstandorte, wovon etwas weniger als die Hälfte Siedlungsabfalldeponien sind, die unterschiedliche Anteile an organischen Abfällen enthalten. Siedlungsabfälle, gewisse Industrieabfälle, Grüngut, Strassenwischgut und -schlämme, Sperrgut und andere Holzabfälle verrotten über mehrere Jahrzehnte im Untergrund. Die Abbauprodukte dieser Abfälle (z. B. Ammonium, Nitrit, Kohlendioxid und Methan) sind häufig Auslöser eines Sanierungsbedarfs gemäss Altlasten-Verordnung (AltIV) betreffend die Schutzgüter Grundwasser, Oberflächengewässer oder Luft. Methan und Kohlendioxid sind zudem klimarelevante Gase, welche – wenn nicht gefasst und behandelt – über viele Jahre in die Atmosphäre entweichen. Bei der Evaluation von Sanierungsvarianten ist die Aerobisierung des Deponiekörpers in Betracht zu ziehen. Mit der Aerobisierung können kurzfristig die klimaschädigenden Deponiegasemissionen und mittel- bis langfristig die Sickerwasseremissionen reduziert werden.

1.2 Ziel

Das Bundesamt für Umwelt BAFU möchte mit dem vorliegenden Bericht eine Antwort auf die Frage, wann sich eine Aerobisierung als Sanierungsverfahren eignet, erhalten. Das BAFU hat dazu im Pflichtenheft die folgenden Punkte festgehalten:

1. *Beschrieb der beiden Deponien, bei denen eine Aerobisierung erfolgt*
2. *Warum wurde damals das Aerobisierungsverfahren für diese Standorte ausgewählt?*
3. *Warum wurde die Aerobisierungstechnik (Übersaugung) gewählt?*
4. *Aktuelle Bilanz:*
 - a) *Entwicklung der gasförmigen Emissionen?*
 - b) *Entwicklung der Sickerwasserqualität?*
 - c) *Gemäss den ursprünglich festgelegten Zielen?*
 - d) *Wie lange wird voraussichtlich die Aerobisierung der beiden Deponien noch fortgesetzt?*
 - e) *Kosten*
5. *Welche Optimierungen wären sinnvoll?*
6. *Zusammenfassung und Empfehlungen:*
 - f) *Welche Standortkenntnisse sind zur Evaluation der Aerobisierung unabdingbar?*
 - g) *Wann und zu welchen Zwecken sollte das Aerobisierungsverfahren eingesetzt werden (und wann ist es offensichtlich, dass man darauf verzichten sollte)?*

1.3 Vorgehen

Die Bearbeitung des Auftrags erfolgte in den folgenden Schritten:

- Beschreibung der Aerobisierung nach dem Dplus-Verfahren (Kapitel 2.3)

- Beschreibung der Deponien, des Entscheidungsprozesses für die Verfahrenswahl, der Umsetzung des Aerobisierungsverfahrens und der Entwicklung der Emissionen, getrennt nach den beiden Deponien Sass Grand und Kehlhof (Kapitel 3 und 4)
- Darstellung unserer Erkenntnisse aus den bisherigen Arbeiten und Entwicklungen (Kapitel 5)
- Ausarbeitung von Empfehlungen für die Eignung des Aerobisierungsverfahrens in einem Workshop, zusammen mit Experten des Altlastenteams der Ingenias AG und Darstellung der Ergebnisse (Kapitel 6)

2 Grundlagen

2.1 Gesetzliche und projektbezogene Grundlagen

Die gesetzlichen Grundlagen, auf denen dieser Bericht basiert, sind im Anschluss an das Inhaltsverzeichnis aufgeführt. Von den beiden Aerobisierungsprojekten Sass Grand, Bever GR und Kehlhof, Berg TG bestehen zahlreiche Grundlagen, die in diesen Bericht eingeflossen sind und die zusätzliche Detailinformationen enthalten. Der Bezug zu diesen Grundlagen ist in diesem Bericht mit eckigen Klammern aufgeführt.

2.2 Aerobisierung

Werden organische Abfälle abgelagert, wird der Luftsauerstoff im Deponiekörper in kurzer Zeit von aeroben Organismen aufgezehrt. Neuer Sauerstoff kann nur sehr beschränkt von aussen in den Deponiekörper eindringen. Folglich stellt sich in einem Deponiekörper nach der Ablagerung der Abfälle ein anaerobes Klima ein.

Mit der Aerobisierung wird mit mechanischen Hilfsmitteln Luftsauerstoff in den Deponiekörper gebracht und ein aerobes Klima hergestellt. Dadurch werden die Abbauprozesse der organischen Stoffe beschleunigt und Methanemissionen reduziert. Der aerobe Abbau läuft wesentlich schneller als der anaerobe.

Durch die Aerobisierung erreicht man eine Mineralisierung des organischen Materials und damit eine nahezu vollständige Reduktion der Emissionen über den Gas- und Wasserpfad. Zusammenfassend werden folgende Effekte erreicht:

- Nachhaltige Verminderung des Schadstoffpotenzials der Deponie und damit der Gas- und Sickerwasseremissionen
- Beschleunigung der Setzungsvorgänge
- Verkürzung der Nachsorgedauer
- Verminderung der Nachsorgekosten

2.3 Dplus-Verfahren

Das Ziel der Entgasung war bei den in der Vergangenheit eingesetzten Verfahren einerseits, die Gasemissionen durch die Deponieoberfläche zu reduzieren. Andererseits war die energetische Nutzung des gefassten Deponiegases oft ein zusätzliches Ziel. Dafür musste das abgesaugte Gas einen minimalen Methananteil haben, was zur Folge hatte, dass die Absaugrate (m^3 Gas pro Stunde) sich nach der Methanproduktion im Deponiekörper richtete. Die verbauten Rohre in den Gasbrunnen waren in der Regel über einen grossen Teil der Bohrlochlänge verfiltert. Mit diesem System konnte man die Gasemissionen durch die Deponieoberfläche effizient reduzieren, in tieferen Bereichen der Deponie erzeugten sie keine Wirkung. Hier herrschte nach wie vor ein anaerobes Klima.

Das Dplus-Verfahren hat als Hauptziel, **möglichst grosse Teile des Deponiekörpers in einen aeroben Zustand zu versetzen** und dadurch die Abbauprozesse zu beschleunigen. Dazu werden Rohre eingesetzt, die nur im untersten Abschnitt verfiltert sind. Durch ein starkes Übersaugen dringt Luftsauerstoff durch die Deponieoberfläche ein und gelangt auch in tiefere Schichten des Deponiekörpers (Abbildung 1). Eine anschauliche Darstellung des Dplus-Verfahrens ist in einem Kurzfilm auf www.dplus.ch verfügbar.

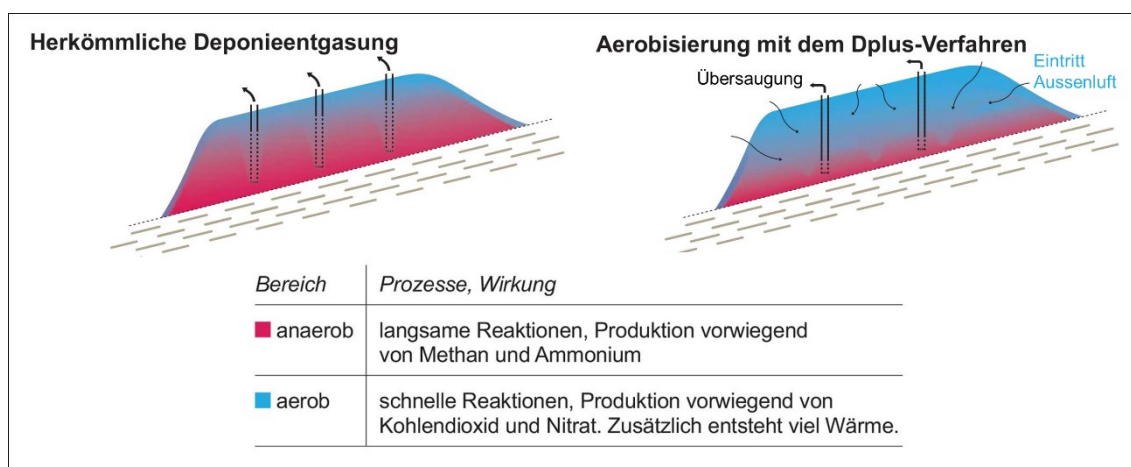


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Dplus-Verfahrens

3 Deponie Sass Grand

3.1 Übersicht

Die Deponie Sass Grand liegt im Gebiet der Politischen Gemeinde Bever im Kanton Graubünden (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Lage der Deponie Sass Grand, Bever GR

Die Ablagerungen erfolgen in den drei Etappen 0, 1 und 2. Etappierung und Infrastruktur sind im Plan in Anhang 1 dargestellt. Die Deponierung begann im Jahr 1967 in der Etappe 0. Heute wird noch in den Etappen 1 und 2 deponiert. Für diese beiden Etappen verfügt die Deponie über eine Betriebsbewilligung aus dem Jahr 1999, die damals auf der Basis der TVA [3] erteilt wurde. Damals galt die Deponie als Reaktordeponie, heute, aufgrund der VVEA [4] handelt es sich um eine Deponie vom Typ E gemäss VVEA. Die in Anhang 1 eingetragene Etappe 3 wurde ursprünglich für Kehrichtschlacke vorgesehen. Unterdessen wurde auf die Deponierung von Kehrichtschlacke verzichtet und die Basisabdichtung, die dazu erforderlich wäre, wurde nicht realisiert. Stattdessen ist in diesem Bereich Material vom Typ A gemäss VVEA deponiert worden.

Die Etappe 0 verfügt über keine Basisabdichtung. Das Sickerwasser aus dieser Etappe wird nicht gefasst und steht in direktem Kontakt mit dem Grundwasser des Inn. Die beiden Etappen 1 und 2 verfügen über eine TVA-konforme Basisabdichtung. Deren Sickerwasser wird gefasst und wurde früher der Abwasserreinigungsanlage Samedan zugeleitet. Heute wird es in der ARA Oberengadin in S-chanf behandelt.

Für die Fertigstellung der Deponie besteht noch kein bewilligtes Projekt. Es ist noch nicht entschieden, wie die Oberfläche technisch abgeschlossen werden soll und die Abfälle sind weder abgedeckt noch abgedichtet, sodass das entstehende Deponiegas durch die Oberfläche entweichen kann, sofern es nicht abgesaugt wird.

3.2 Abgelagerte Abfälle

Die bekannten Informationen zu den eingebauten Abfallarten und -mengen sind in Anhang 2 zusammengestellt.

In den ersten 13 Betriebsjahren, als ausschliesslich in der Etappe 0 geschüttet wurde, wurden insgesamt 180'000 Tonnen Siedlungsabfall abgelagert, nebst rund 60'000 Tonnen Sperrgut, Muldengut, Inertstoffen, Grünabfall und Klärschlamm. Die Deponierung von Siedlungsabfall setzte sich bis ins Jahr 1999 auch in der Etappe 1 fort.

Mit dem Inkrafttreten der TVA [3] ging der Gehalt an organischen Abfällen markant zurück. Heute werden in den Etappen 1 und 2 jährlich noch rund 10'000 bis 15'000 Tonnen Material vom Typ E gemäss VVEA deponiert. Ein wesentlicher Teil davon sind Materialien aus der Sanierung von Altlasten.

Im Zusammenhang mit der Aerobisierung muss ein besonderes Augenmerk auf den eingebauten Klärschlamm gelegt werden. Klärschlamm hat eine dichtende Wirkung und reduziert die Gas- und Wassergängigkeit stark. Klärschlamm wurde in allen drei Etappen eingebaut, insgesamt enthält die Deponie rund 40'000 Tonnen Klärschlamm. Auf das Thema Klärschlamm wird in Kapitel 0 eingegangen.

3.3 Meilensteine in der Deponiegeschichte

Die wichtigsten Meilensteine in der Geschichte der Deponie sind in Anhang 3 tabellarisch zusammengestellt.

3.4 Ziele der Aerobisierung auf der Deponie Sass Grand

Bei der Deponie Sass Grand war die **Sanierungsbedürftigkeit der Etappe 0** (Kapitel 3.5.1) Anlass für die Aerobisierung. Mit der Sanierungsverfügung (s. Kapitel 3.6.3) verlangte die kantonale Behörde zusätzlich die Entgasung der in Betrieb stehenden, nicht sanierungsbedürftigen Etappen 1 und 2.

3.5 Verfahrenswahl

3.5.1 Ausgangslage

Die Etappe 0 der Deponie Sass Grand wurde im Jahr 1999 durch den Kanton Graubünden als sanierungsbedürftiger Standort gemäss Altlasten-Verordnung hinsichtlich der Schutzgüter Grundwasser, Oberflächengewässer und Luft beurteilt [4]. Die Beurteilung erfolgte dazumal auf folgender Grundlage:

Grundwasser

Die Deponie Sass Grand befindet sich im Gewässerschutzbereich A_u. Nächste im Abstrom liegende Trinkwasserfassungen sind 2'780 m von der Deponie entfernt. Nach AltIV galt die Deponie als sanierungsbedürftig, da im Abstrombereich unmittelbar beim Standort der Gehalt an Ammonium den halben Konzentrationswert gemäss Anhang 1 AltIV von 0.25 mg NH₄/l überschritt¹. Zusätzliche Sanierungsziele wurden vom Kanton Graubünden für weitere Parameter wie zum Beispiel den Summenparameter DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) festgelegt. Die Tabelle 1 zeigt Messwertebereiche ausgewählter Parameter vor Sanierungsbeginn.

Tabelle 1: Sass Grand: Messwerte im Grundwasser

Parameter	Messwerte im Grundwasser (2002)		
	Oberhalb Deponie	Unterhalb Deponie Nahbereich	Unterhalb Deponie Fernbereich
NH ₄ (mg NH ₄ /l)	0	70-150	0.3-3
DOC (mg C/l)	0.5	20-35	3-15
SO ₄ (mg SO ₄ /l)	15	20-110	10-25

Oberirdische Gewässer

Der Isellasbach fliesst dem Deponiefuss entlang und wird durch zweitweise aus der Deponie austretendes Hangwasser und von unterhalb der Deponie infiltrierendes Grundwasser verunreinigt. Die Wassermenge des Isellasbach schwankt zwischen 10 und 30 l/s. Als problematischen Parameter wurden vom Kanton Graubünden Ammonium und DOC erkannt.

Tabelle 2: Sass Grand: Messwerte im Isellasbach

Parameter	Messwerte im Isellasbach (2002)	
	Oberhalb Deponie	Unterhalb Deponie
NH ₄ (mg NH ₄ /l)	0.01	2.83
DOC (mg C/l)	0.0	2.5

¹ Seit 2017 gilt der Konzentrationswert von Ammonium und Nitrit nur noch für oberirdische Gewässer.

Luftverunreinigungen

Im Jahr 1994 wurde im Rahmen der Projektierung einer ersten Absauganlage ein Entgasungsversuch durchgeführt. Dazu wurden Gasdome erstellt und während dreier Monate in einer Art Probetrieb Gas aus dem Deponiekörper abgesaugt und analysiert. Die kritischen Parameter waren:

Tabelle 3: *Sass Grand: Messwerte Gasanalyse 1994*

Parameter	Messwerte Gasanalyse 1994		
	mg/m ³	Umrechnung ml/m ³	
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	81.1	53.31
Benzol	C ₆ H ₆	18.0	5.16
Methan	CH ₄		430'000

3.5.2 Sanierungsvarianten

Im Rahmen des Sanierungskonzepts wurden die nachfolgend aufgeführten Sanierungsvarianten diskutiert:

Monitored Natural Attenuation (MNA)

Darunter werden verschiedene physikalische, chemische und biologische Prozesse verstanden, die ohne menschlichen Eingriff wirken und unter bestimmten Bedingungen zur Reduktion von Masse, Toxizität, Volumen und Konzentration von Schadstoffen im Boden und Grundwasser führen. Diese Prozesse führen u.a. zur Festlegung, Zerstörung oder Transformation von Schadstoffen. Die Überwachung erfolgt durch zeitlich gestaffelte Analysen. Da jedoch nicht zu erwarten war, dass die Emissionen kurzfristig unter die Sanierungsziele fielen, wurde diese Variante nicht weiterverfolgt.

Bauliche Sanierungsmassnahmen: Oberflächenabdichtung und Dichtwände

Eine alleinige Oberflächenabdichtung ohne weitere Massnahmen könnte dazu führen, dass Emissionsprobleme der geschlossenen, vorübergehend „trockenkonservierten“ Deponie auf zukünftige Generationen verlagert werden. Der Einbau von Dichtwänden im Grundwasserabstrom der Deponie zielt ebenfalls nicht auf eine dauerhafte Gefahrenbeseitigung hin, sondern lediglich auf eine Reduktion der Freisetzung bzw. der schädlichen Wirkungen. Zudem besteht bei beiden baulichen Massnahmen die Unsicherheit, ob damit Wasserzutritte in genügendem Mass wirkungsvoll verhindert werden können. Beide Sanierungsvarianten beseitigen weder die Ursache, noch ist eine Abschätzung der Sanierungsdauer möglich. Wegen fehlender Nachhaltigkeit kamen diese Varianten nicht in Betracht.

Umlagerung auf abgedichtete Etappen

Bei dieser Variante wird das in Etappe 0 gelagerte Material auf die abgedichteten Etappen 1 und 2 umgelagert, mit oder ohne Rückumlagerung auf eine neu zu erstellende Basisabdichtung in Etappe 0. Hauptprobleme bei dieser Variante sind das beschränkte verfügbare Volumen auf den Etappen 1 und 2, sowie die umfangreichen erforderlichen Immissions- und Arbeitsschutzmassnahmen. Aufgrund des hohen logistischen Aufwandes sowie der hohen voraussichtlichen Kosten wurde darauf verzichtet, diese Variante weiter zu verfolgen.

Totalsanierung

Eine Totalsanierung mit vollständigem Rückbau, Triage der Abfälle und Entsorgung brennbarer Anteile in thermischen Anlagen hätte Kosten von mehreren Dutzend Millionen Franken zur Folge. Zudem müsste ein grosser Teil des Materials wieder in einer Deponie Typ E entsorgt werden. Diese Variante wurde als unverhältnismässig beurteilt.

Aerobisierung

Das Grundprinzip sowie die Zielsetzungen der Aerobisierung sind in Kapitel 2.2 beschrieben. Im Zeitpunkt der Variantenwahl fielen folgende Verfahren mit der entsprechenden Beurteilung in Betracht:

Tabelle 4: Aerobisierungsvarianten

Niederdruckbelüftung

Beschreibung

Über Gaspegel wird Luft in die Deponie geblasen und bei anderen Pegeln wird das Gas wieder abgesaugt. Es werden so genannte GDA-Gasbrunnen verwendet. Sie haben üblicherweise einen Durchmesser von etwa 800 mm auf und sind abgesehen von einer oberen Abdichtung (ca. 2-4 m bindiges Material) über den gesamten Tiefenbereich mit gut durchlässigem Material verfiltert.

Beurteilung

Wird an einem Brunnen dieser Art ein Unterdruck angelegt, so strömt das Gas bevorzugt aus oberflächennahen Schichten nach. Mit grösserer Tiefe, grösserer Verdichtung wegen der Auflast und somit geringerer Porosität nimmt der Gasfluss bzw. die Reichweite kontinuierlich ab. Eine Aerobisierung wirkt damit kaum in grösserer Tiefe. Zudem führt das Einblasen von Luft über diese Brunnen zu einer grossen punktuellen Temperaturerhöhung und einer Austrocknung des Deponiematerials.

Tiefenverfilterte Saugbrunnen

Beschreibung

Über Saugpegel wird an tiefen Punkt des Deponiekörpers das Deponiegas abgesaugt. Dabei entsteht im Deponiekörper ein Unterdruck, wodurch Luft von der Deponieoberfläche her nachgesogen wird. Vgl. dazu die Beschreibung des Dplus-Verfahrens in 2.3.

Beurteilung

Das Absaugverfahren mit tiefenverfilterten Brunnen wirkt der Gefahr der pneumatischen Kurzschlüsse entgegen. Je nach Bedarf kann gezielt auf bestimmten Tiefen gesaugt werden. Aufgrund des grossflächigen Lufteintrittes über die gesamte Deponiefläche unter Unterdruck kann auf das Einblasen von Luft verzichtet werden, was keine punktuelle Temperaturerhöhung mit sich führt und die Anlagekosten reduziert.

Druckschwall-Verfahren

Beschreibung

Beim Druckschwall-Verfahren wird mit Hilfe von Hochdrucklanzen (mit Sauerstoff angereicherte) Luft in den Deponiekörper eingepresst und an anderer Stelle wieder abgesaugt.

Beurteilung

Es wurde abgeschätzt, dass im Falle der Etappe 0 rund 200 Lanzen zum Einsatz kämen. Ein derartiges Verfahren ist in zeitlicher Hinsicht sehr effizient, die Gesamtkosten sind gegenüber anderen Aerobisierungsvarianten erheblich erhöht.

3.5.3 Variantenentscheid

Nach Abwägung von Vor- und Nachteilen der verschiedenen Verfahren fiel der Entscheid zugunsten des **Absaugverfahrens mit tiefenverfilterten Brunnen** (Dplus-Verfahren) aus. In Absprache zwischen den Verantwortlichen des Kantons Graubünden sowie der Deponie-Inhaberin führten folgende Punkte zum Entscheid:

- Durch die Tiefenabsaugung tritt atmosphärischer Sauerstoff über die gesamte Deponiefläche und umliegende Flächen in den Deponiekörper ein. Dabei wird eine Luftströmung bis zum Absaugpunkt erzwungen, wodurch kein aktiver Sauerstoff- oder Lufteintrag notwendig wird.
- Im Gegensatz zu vollständig verfilterten Brunnen treten keine Probleme mit pneumatischen Kurzschlüssen zwischen Umgebungsluft und Saugbrunnen auf.
- Die Eintrittsgeschwindigkeit an der Deponieoberfläche ist gering. Dadurch wird eine moderate biologische Abbautätigkeit im mesophilen Bereich erreicht. Eine massive Erhitzung wie bei einem punktuellen Sauerstoffeintrag erfolgt nicht.
- Durch die Parallelität von aerobem und anaerobem Abbau wandert die Abbaufont langsam von der Deponieoberfläche bis zum Absaugpunkt.
- Das Gesamtsystem ist in der Anfangsphase auch für eine gesteigerte Deponiegasgewinnung einsetzbar.
- Die voraussichtlichen Kosten sind in einer vertretbaren Höhe.

3.6 Sanierungsbetrieb

3.6.1 Überblick über den zeitlichen Ablauf

Die nachfolgende Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die einzelnen Schritte der Sanierung:

Tabelle 5: Ablauf der Sanierung Etappe 0 Deponie Sass Grand

Jahr	Schritte
2005	Variantenentscheid
2005	Vorversuche
2006	Sanierungsverfügung Kanton
2008	Beginn Sanierungsbetrieb
2016	Umbau der Anlage (vergl. Kapitel 3.6.4)

Die Aerobisierung von Etappe 0 und die Entgasung der Etappen 1 und 2 wurde im Jahr 2008 in Betrieb genommen. Mit dem Betrieb der Anlage wurde die Firma Dplus AG, St.Gallen, beauftragt. Die Sanierung läuft noch und wird jährlich in einem ausführlichen Bericht dokumentiert.

3.6.2 Vorversuche

Bei den Vorversuchen wurden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Vertiefung der Kenntnisse über die Deponie
- Aussagen über den zu erwartenden Sanierungserfolg der Aerobisierung hinsichtlich der Emissionen über den Gas- und Wasserpfad
- Basis für die Genehmigung des definitiven Sanierungsprojektes durch die kantonalen Behörden sowie für ein Angebot zur Sanierung der Deponie

Zu Beginn der Vorversuche wurden ein neuer tiefenverfilterter Saugpegel sowie mehrere auf verschiedenen Tiefen der Deponie angebrachte Messpegel erstellt. Die Bohrungen lieferten aussagekräftige Informationen über den Aufbau der Deponie, die Abfallzusammensetzung, die Abfalleigenschaften sowie den Wasserhaushalt.

Nach Erstellung der zusätzlichen Pegel wurden verschiedene Absaugversuche durchgeführt. Dadurch konnte die Menge und Zusammensetzung des abgesaugten Gases abgeschätzt werden. Die Absaugversuche dauerten von Januar bis Juli 2005.

Aus den Vorversuchen wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Im Deponiekörper, insbesondere in tieferen Lagen, ist noch viel abbaubares organisches Material vorhanden. So fand man beispielsweise in 30 m Tiefe eine noch lesbare Zeitung aus den 60er-Jahren (s. Abbildung 3). Die schlechte Umsetzung der Abfälle steht in Zusammenhang mit nicht optimalen Bedingungen für den biologischen Abbau wegen der Verdichtung, dem fehlendem Luftaustausch und den tiefen Temperaturen im Deponiekörper.



Abbildung 3: Deponiematerial nach 50 Jahren

- Durch eine gezielte Absaugung können auch in tiefen Deponiebereichen optimale Bedingungen für den Abbau geschaffen werden können. Das angetroffene Bohrgut lässt vermuten, dass noch ein hohes Gasbildungspotential vorliegt, welches unter geeigneter Steuerung der Abbauprozesse im Deponiekörper ein brennbares Deponiegas liefern kann.
- Obwohl sehr kalte Aussenluft über die Deponieoberfläche eingetragen wurde, hat sich der Deponiekörper laufend erwärmt. Grund dafür können nur die dadurch initiierten Abbauprozesse sein.
- Mit dem vorgesehenen Verfahren können die Abbauprozesse im gesamten Deponiekörper beeinflusst, gesteuert und beschleunigt werden können. Dies legt die Aussage nahe, dass der Deponiekörper mittelfristig in einen nachhaltig emissionsärmeren Zustand gebracht werden kann.

3.6.3 Sanierungsverfügung

Mit Beschluss vom 10. März 2005 verfügte das Amt für Natur und Umwelt Kanton Graubünden die Sanierung der Etappe 0. Die wichtigsten Punkte der damaligen Sanierungsverfügung waren:

Sanierungsziele Etappe 0

- bezüglich Grundwasser:
 - Einhaltung von ausgewählten Konzentrationswerten am Deponiefuss (Messstelle 11A)
 - Einhaltung von Anforderungen für Trinkwasserqualität nach Anhang 2 Ziff. 22 GSchV [2] bei Messstelle 19A
- bezüglich Oberflächengewässer
 - Isellasbach: Einhaltung der Qualitätsziele gemäss Anhang 2 Ziff. 1 GSchV
 - Einhaltung der 10-fachen Konzentrationswerte nach Anhang 1 AltIV für das aus der Deponieböschung in den Isellasbach dringende Wasser

Sanierungsverfahren

Aerobe Stabilisierung mittels tiefenverfilterter Saugbrunnen gemäss Sanierungsprojekt.

Sanierungsfrist

Die Sanierungsziele müssen bis Ende 2013 erreicht werden (Abschätzung zur Sanierungsdauer im Kapitel 3.7).

Entgasung Etappen 1 und 2

Die Etappen 1 und 2 der Deponie sind gemäss Sanierungsprojekt zu entgasen.

Erfolgskontrolle

Es ist eine Erfolgskontrolle durchzuführen. Die Ergebnisse sind jährlich in einem schriftlichen Bericht festzuhalten. Je nach Ergebnissen kann das Amt weitere Massnahmen anordnen.

3.6.4 Anlagenkonzeption und Betriebsdaten

Die Anlagenkonzeption wurde im Laufe des Aerobisierungsbetriebs zweimal angepasst. In der ersten Betriebsphase ab dem Jahr 2007 wurden zwei Verdichter eingesetzt und das abgesaugte Gas aus dem Aerobisierungsbereich und Entgasungsbereich wurde in zwei komplett getrennten Linien geführt. Wenn die abgesaugten CO₂-Konzentrationen über den CH₄-Konzentrationen liegen, kann von aeroben Verhältnissen ausgegangen werden.

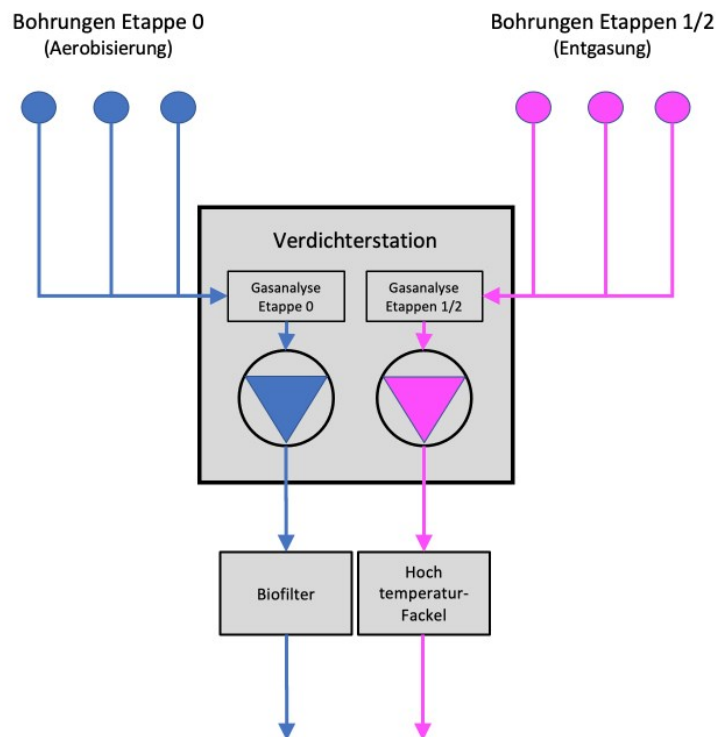


Abbildung 4: Anlagenkonzeption 2007-2011

Die charakteristischen Betriebsdaten waren:

Tabelle 6: Sass Grand: Charakteristische Betriebsdaten 2010

Betriebsjahr 2010		Etappe 0	Etappe 1/2
abgesaugte Gasmenge	m ³ /h	207	70
CH ₄ -Konzentration	%	5	28
CO ₂ -Konzentration	%	13	23

Aus der Betriebserfahrung der ersten Jahre konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass die CH_4 -Konzentration bei der Zusammenlegung der beiden Gasströme immer noch genügend hoch war, um eine Schwachgasfackel zu betreiben. Die Anlagenkonfiguration wurde deshalb entsprechend angepasst. Die Anpassung erlaubte es auch, das Methan aus der Aerobisierung, das bisher in die Atmosphäre entwichen war, zu oxidieren. Diese freiwillige Massnahme wurde als Klima-Kompensationsprojekt entschädigt.

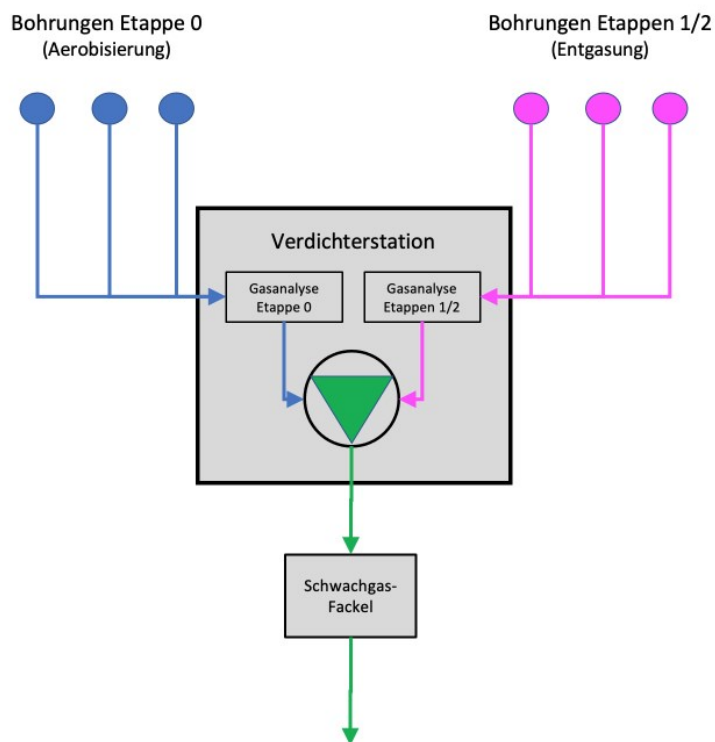


Abbildung 5: Sass Grand: Anlagenkonzeption 2011-2016

Mit der neuen Konzeption ergaben sich folgende charakteristischen Betriebsdaten:

Tabelle 7: Sass Grand: Charakteristische Betriebsdaten 2016

Betriebsjahr 2016		Etappe 0	Etappe 1/2	Gesamt
abgesaugte Gasmenge	m ³ /h	-	-	67
CH ₄ -Konzentration	%	12	26	21
CO ₂ -Konzentration	%	15	24	21

Um jedoch die Methanwerte für die Funktion der Fackel genügend hochzuhalten, musste die Absaugmenge allmählich massiv reduziert werden. Das hatte den Nachteil, dass die Wirkung der Aerobisierung in Etappe 0 reduziert wurde. Aus diesem Grund entschied man sich im Jahr 2016, die Schwachgasfackel durch einen Flox-Brenner, der wesentlich tiefere Methan-Konzentrationen zulässt, zu ersetzen. Die Fackel ist nun nur noch in Ausnahmefällen (z.B. nach einem längeren Stillstand) im Einsatz.

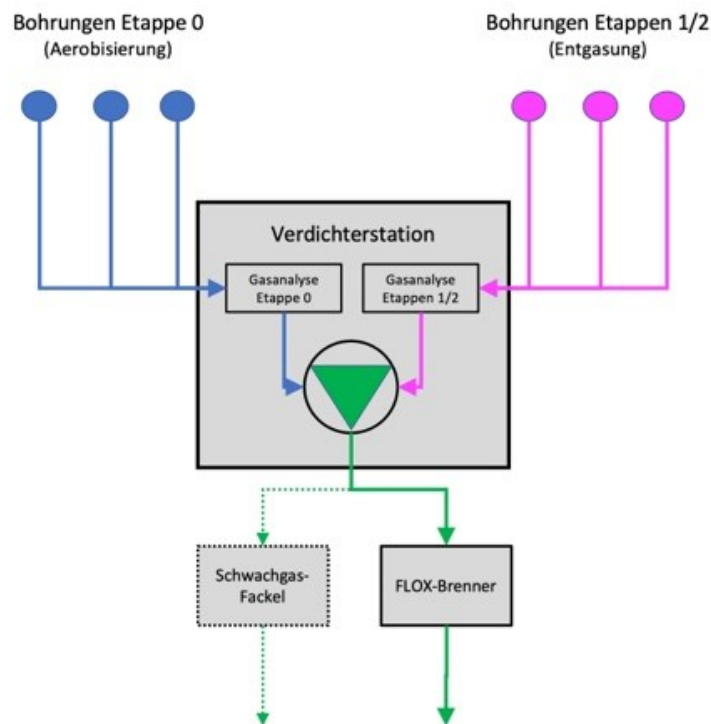


Abbildung 6: Sass Grand: Anlagenkonzeption seit 2016

Die charakteristischen Betriebsdaten sind nun:

Tabelle 8: Sass Grand: Charakteristische Betriebsdaten 2021

Betriebsjahr 2021		Etappe 0	Etappe 1/2	Gesamt
abgesaugte Gasmenge	m ³ /h	105	31	136
CH ₄ -Konzentration	%	9	11	10
CO ₂ -Konzentration	%	14	14	14

Durch die Erhöhung der Absaugmenge konnte nun erreicht werden, dass auch die Etappen 1 und 2 in einen aeroben Zustand wechseln.

3.6.5 Unwegsamkeiten

Im Laufe des Betriebs stellte man fest, dass aus Etappe 1 und 2 nur geringe Gasmen- gen abgesaugt werden konnten. Untersuchungen in den Jahren 2011 und 2012 liefer- ten die Erkenntnis, dass bei drei Bohrungen die Filterstrecken eingestaut waren. Da die Wasserstände der einzelnen Pegel trotz der grossen räumlichen Distanzen nur gering- fällig variierten, konnte man davon ausgehen, dass sich im Bereich der drei betroffe- nen Saugpegel eine zusammenhängende Wassermasse auf ca. 1'713 m ü. M. befin- det. Diese reichte jedoch nicht bis auf die Deponiebasis, sondern lag auf einer nicht oder nur äusserst gering durchlässigen Schicht im Deponiekörper. Im Jahre 2014 wurde weiter festgestellt, dass alle vier Saugpegel der Etappen 1 und 2 ca. 1 m unter- halb des Wasserspiegels abgesichert oder verstopft wurden und deshalb nur noch zwei kleine Filterstrecken vorhanden waren. Dieser Umstand führte aufgrund seiner grossen flächenmässigen Ausdehnung dazu, dass faktisch im Bereich der gesamten Etappe 2 und einem Teil der Etappe 1 nur eine sehr eingeschränkte aktive Entgasung stattfinden konnten.

Die bisherigen Bemühungen führten zu keiner dauerhaften Absenkung des Wasser- spiegels. Weder brachte der Versuch, den Wasserstand mit einer Tauchpumpe abzu- senkenden gewünschten Erfolg, noch gelang es mit einer Schrägbohrung von unten eine dauerhafte Entwässerung zu erzielen. Auch eine vertikale Ableitung des Wassers zur Basisentwässerung über neu erstellte Saugpegel funktioniert nicht wie erwartet. Es scheint, dass der Deponiekörper verschiedenen Schichten mit sehr geringer Durchläs- sigkeit aufweist. In den Bohrungen durchgeführte Durchflussmessungen zeigen eine sehr schlechte Durchlässigkeit (k_f von 2.4 bis $4.2 \cdot 10^{-8}$ m/s).

Ein wesentlicher Grund für dieses Problem dürfte der eingelagerte Klärschlamm sein (Abbildung 7). Dessen Anteil ist an verschiedenen Stellen so hoch, dass der Depo- niekörper bzw. das im Klärschlamm gebundene Wasser nicht drainiert werden kann. Die aus den Etappe 1 und 2 abgesaugte Gasmenge verbleibt deshalb nach wie vor auf einem Drittel der Menge aus Etappe 0.

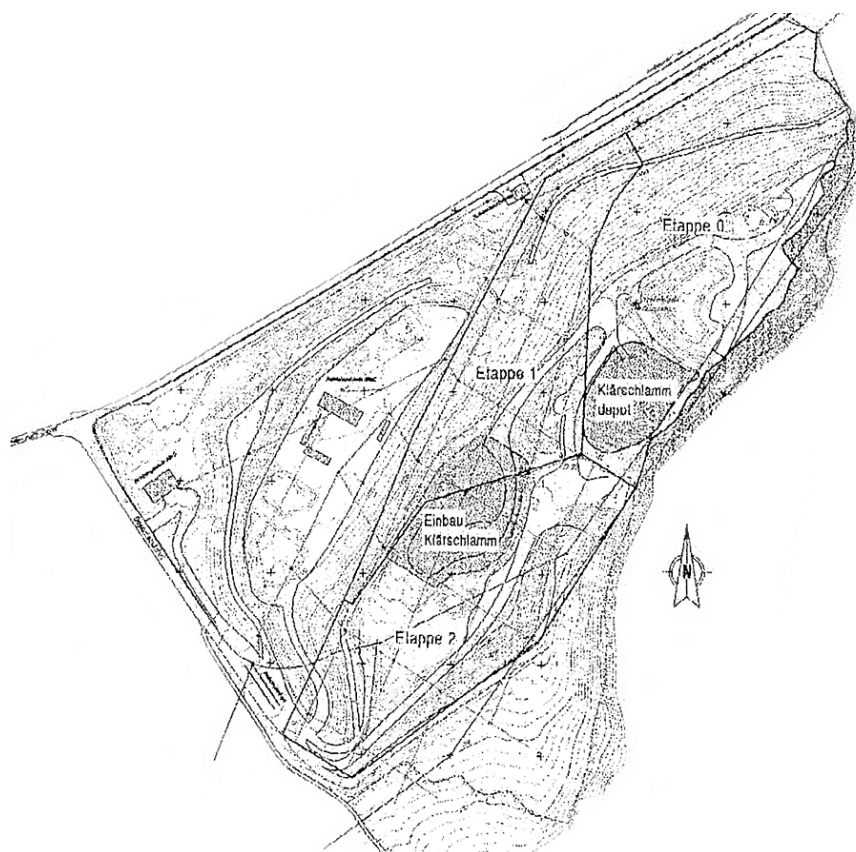


Abbildung 7: Klärschlammeinlagerungen in Etappe 1 und 2

3.6.6 Kosten

Investitionen

Bis zum heutigen Zeitpunkt waren folgende Investitionen erforderlich:

Phase 1 (2007, Aerobisierungs- und Entgasungsbetrieb getrennt, Kostenvoranschlag)	
Sanierung Etappe 0	CHF 668'000.-
Anpassung Entgasung Etappe ½	CHF 495'000.-
Phase 2 (2011, Zusammenlegung der beiden Linien, inkl. Klimaprojekt)	CHF 118'000.-
Phase 3 (2016, Anlagenoptimierung mit FLOX-Brenner, inkl. Klimaprojekt)	CHF 355'000.-

Betriebskosten

Die Betriebskosten im Zeitraum 2017-2021 betragen jährlich im Durchschnitt

für den Sanierungs- und Entgasungsbetrieb	CHF 85'400.-
für das freiwillige Klimaprojekt	CHF 26'800.-

Entschädigungen aus dem Klimaprojekt

Die Entschädigungen aus dem Klimaprojekt in den Jahren 2017 bis 2021 betragen insgesamt CHF 658'080.-.

3.7 Sanierungserfolg

Gasförmigen Emissionen

Die Überprüfung, ob das Sanierungsziel bezüglich Porenluft erreicht ist, hat bisher nicht stattgefunden, da sie nur erfolgen kann, wenn über längere Zeit kein Gas mehr abgesaugt wurde.

Mit dem aktuellen Absaug- und Aerobisierungsbetrieb erfolgt ein kontinuierlicher Austrag von organischer Substanz aus dem Deponiekörper. Aus der Absaugmenge, der Methan- und Kohlenstoffkonzentration lässt sich der jährliche Austrag von organischem Kohlenstoff berechnen (siehe Abbildung 8).

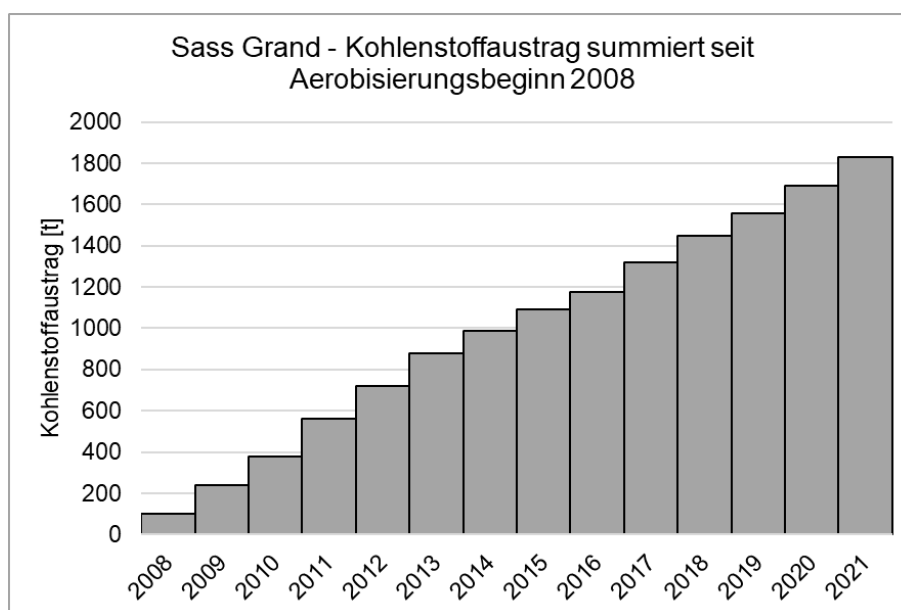


Abbildung 8: Summierter Kohlenstoffaustrag durch die Aerobisierung aus der Deponie Sass Grand.

Da die Menge an organischer Substanz, die bei Beginn der Aerobisierung im Deponiekörper vorhanden war, nicht bekannt ist, lässt sich auch nicht abschätzen, wie lange es dauert, bis das Sanierungsziel betreffend Deponiegas erreicht ist. Nach Erreichung des Sanierungsziels betreffend Grundwasser wird man deshalb die Absauganlage ausschalten, nach ein paar Monaten die Porenluft analysieren und dann die Situation beurteilen.

Grundwasser

Im Rahmen der Gefährdungsabschätzung [11] wurde eine umfassende Analyse der Auswirkung der Aerobisierung auf die Grundwasserbelastung vorgenommen. Dazu wurden für sämtliche an der Messstelle 11A erfassten Parameter die Gangliniendiagramme erstellt und die Entwicklungstrends vor und nach Beginn des Aerobisierungsbetriebs eingetragen. Die umfassende Darstellung sämtlicher Diagramme findet sich in Anhang 4. Ein paar ausgewählte Diagramme, insbesondere die für die Erfüllung der Sanierungsziele relevanten, sind hier dargestellt:

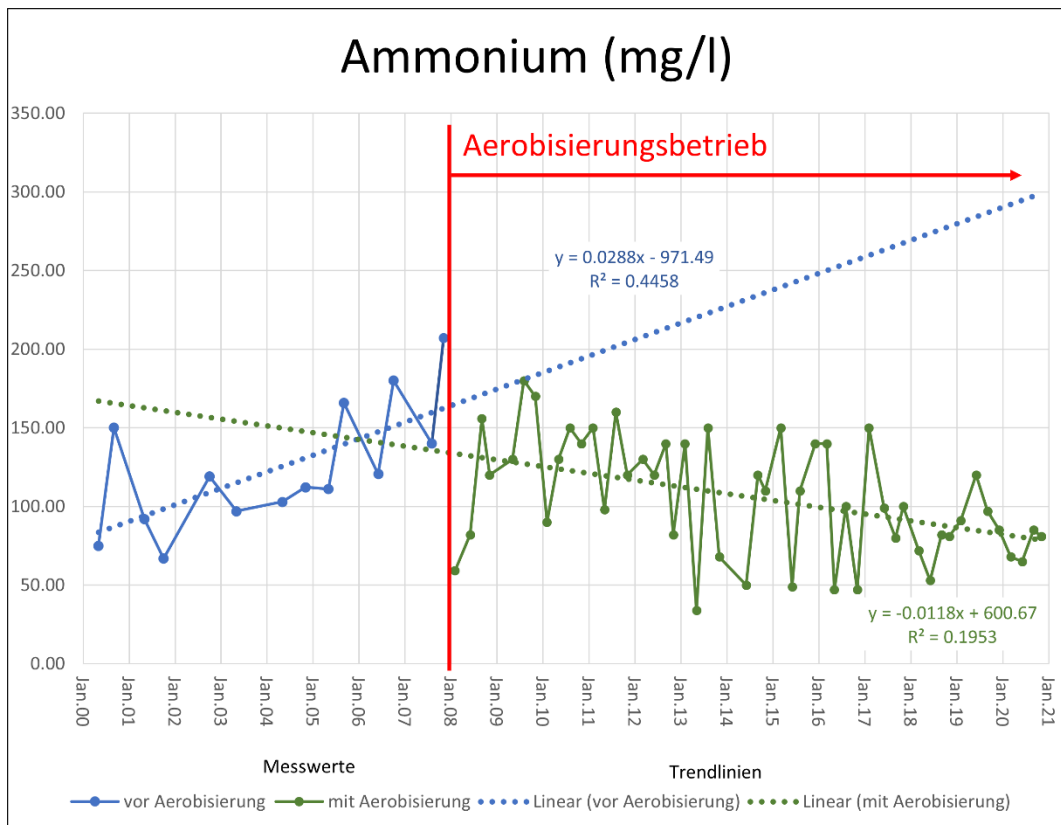


Abbildung 9: Trenddiagramm Messstelle 11A Sass Grand 11A, Ammonium

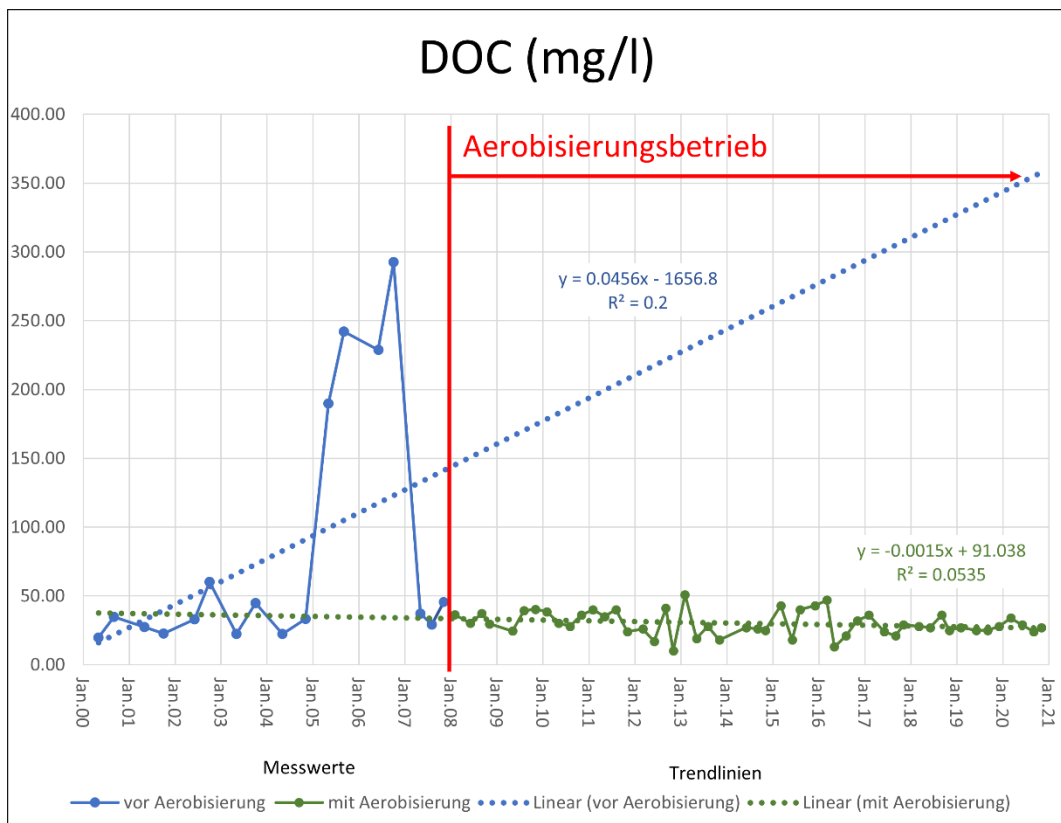


Abbildung 10: Trenddiagramm Messstelle 11A Sass Grand 11A, DOC

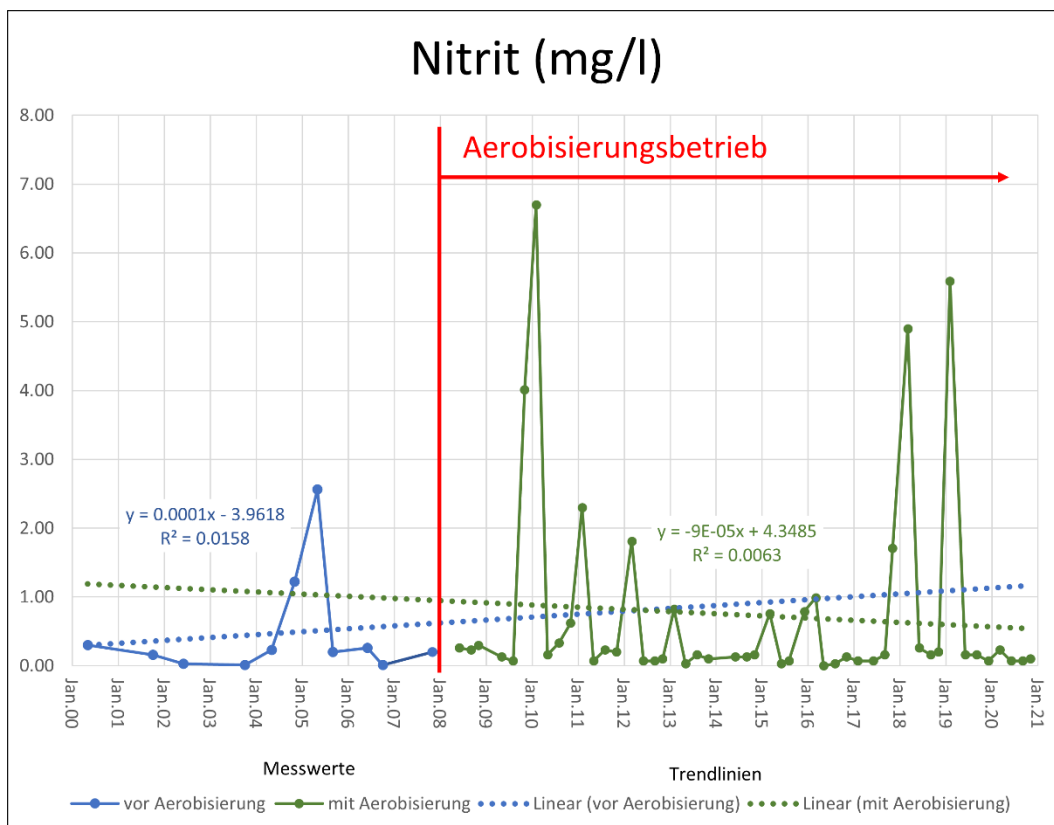


Abbildung 11: Trenddiagramm Messstelle 11A Sass Grand 11A, Nitrit

Auch wenn die lineare Korrelation zum Teil schwach ist, zeigt sich bei den meisten Parametern im Zeitpunkt des Aerobisierungsbeginns eine klare Trendwende, was Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Aerobisierung erlaubt.

Die Schwankungen in den Ganglinien weisen auf eine jährliche Periodizität hin. Bei vielen Parametern sind die Belastungen im Winter eher hoch und im Sommer tief. Dies lässt sich mit dem Verdünnungseffekt durch Schmelzwasser erklären, der im Winter tiefer ist als in den übrigen Jahreszeiten.

Betreffend die Parameter, bei denen ein Sanierungsziel vorgegeben wurde, lässt sich folgendes feststellen:

- DOC (Sanierungsziel: 10 mg/l): Während vor Sanierungsbeginn Ausschläge bis 300 mg/l zu verzeichnen waren, liegen die Werte seither durchwegs unter 50 mg/l. In den letzten drei Jahren liegen die Werte im Bereich von 20 – 30 mg/l, mit leicht sinkendem Trend.
- Ammonium (Sanierungsziel: 10 – 20 mg/l): Seit Beginn der Aerobisierung zeigt der Trend der Belastung nach unten. Der Mittelwert der Messwerte im Jahr 2020 liegt jedoch noch bei 74 mg/l.

- Nitrit (Sanierungsziel: 0.05 mg/l): Die meisten Messwerte liegen im Bereich 0.07 – 0.2 mg/l, wobei es immer wieder grosse Ausreisser nach oben gibt. Auffallend ist, dass bei diesem Parameter die Ausreisser ausschliesslich in den Wintermessungen erfolgen.

Mit dem verstärkten Abbau der organischen Substanz durch die Aerobisierung hätten wir bisher einen stärkeren Rückgang der DOC-Belastung erwartet. Die Abnahme der Ammonium- und Nitritbelastung lässt sich hingegen gut erklären mit der besseren Verfügbarkeit von Sauerstoff im Deponiekörper.

Eine besondere Reaktion ist beim Sulfat festzustellen: Die Sulfatbelastung ist nach Beginn der Aerobisierung sprunghaft angestiegen und nimmt seither wieder kontinuierlich ab. Die Erklärung hierfür ist, dass Schwefel bei anaeroben Verhältnissen in anderer Form (z.B. Sulfid oder Sulfid) vorliegt und bei aeroben Verhältnissen als Sulfat in Lösung geht.

Eine offene Frage ist, wie weit die Aerobisierung in der Lage ist, den gesamten Abfallkörper mit Sauerstoff zu durchsetzen. Da der Deponiefuss der Etappe 0 im Grundwasser steht, ist es denkbar, dass die Aerobisierung in den untersten Dezimetern der Deponie nur schlecht wirkt und die Belastungen nun hauptsächlich noch aus diesem Bereich stammen.

Oberflächengewässer (Isellasbach)

Im Isellasbach (Messtelle 3B) wird das Sanierungsziel nur noch von Ammonium nicht erreicht. Der Ammoniumgehalt schwankt seit dem Aerobisierungsbeginn zwischen 0.05 und 5.5 mg/l. Eine eindeutige Abnahme des Ammoniums im Isellasbach mit dem Aerobisierungsbeginn ist nicht erkennbar. Zu erkennen ist jedoch, dass seit dem Anlagenumbau 2017 und der damit verbundenen Erhöhung der Absaugrate das Sanierungsziel mehrfach unterschritten wurde.

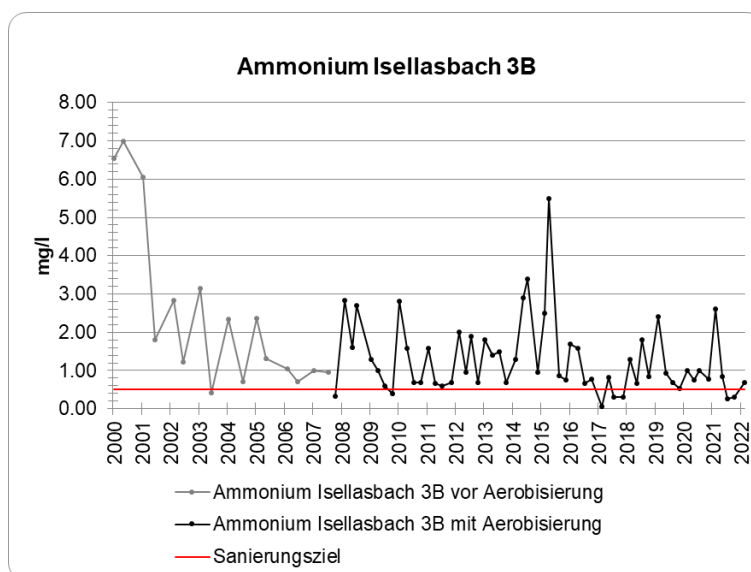


Abbildung 12: Ammonium im Isellasbach 3B

Der Isellasbach fliesst am Deponiefuss und wird durch zeitweise aus der Deponie austretendes Hangwasser und von unterhalb der Deponie infiltrierendes Grundwasser verschmutzt. Da der Deponiefuss der Etappe 0 sich auf dem Niveau der Grundwasserspiegel befindet und die Aerobisierung in diesem untersten Bereich nur bedingt wirkt, kann die Belastungen von diesem Bereich herrühren.

Sanierungsdauer und Erreichung der Sanierungsziele

Gemäss dem Sanierungsprojekt wurde die Sanierungsdauer auf 6 bis 15 Jahre geschätzt [23]. Auch wenn offensichtlich ist, dass mit der Aerobisierung eine wesentliche Reduktion der Belastung erzielt wird, zeigt es sich, dass diese Abschätzung zu optimistisch war. Folgt man den Trendlinien, so dürfte das Sanierungsziel bei Nitrit um das Jahr 2030, bei Ammonium zwischen 2035 und 2040, und bei DOC zwischen 2045 und 2050 erreicht sein, sofern die Aerobisierung im gleichen Mass weitergeführt wird. Diese Abschätzung enthält jedoch Unsicherheiten und es ist auch nicht ausgeschlossen, dass die Ziele vorher erreicht werden.

Als Massnahmen zur weiteren Verkürzung der Sanierungsdauer ist einzig das Einbringen weiterer Bohrungen mit einem Fokus auf eine bessere Durchlüftung der Deponiebasis denkbar.

Auch wenn im Zeitpunkt des Variantenentscheids zur Sanierung die heute vorhandenen Kenntnisse über die Sanierungsdauer bekannt gewesen wären, hätte man sich aufgrund der Vorteile des Verfahrens für die Aerobisierung entschieden.

4 Deponie Kehlhof

4.1 Übersicht und Geschichte

Die Deponie Kehlhof liegt im Gebiet der Politischen Gemeinde Berg im Kanton Thurgau.

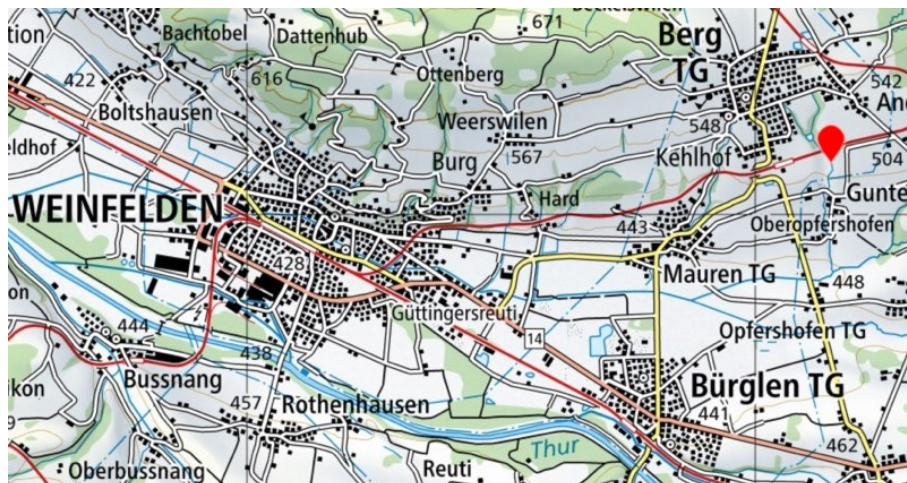


Abbildung 13: Lage der Deponie Kehlhof

Bei der Deponie handelt es sich um die Auffüllung eines Bachtobels. Der im Mühltobel verlaufende Bach wurde ab Schüttbeginn laufend eingedolt und mit Deponiematerial überdeckt. Abbildung 14 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch die Deponie, aus welchem die Deponiegeschichte weitgehend abgelesen werden kann:

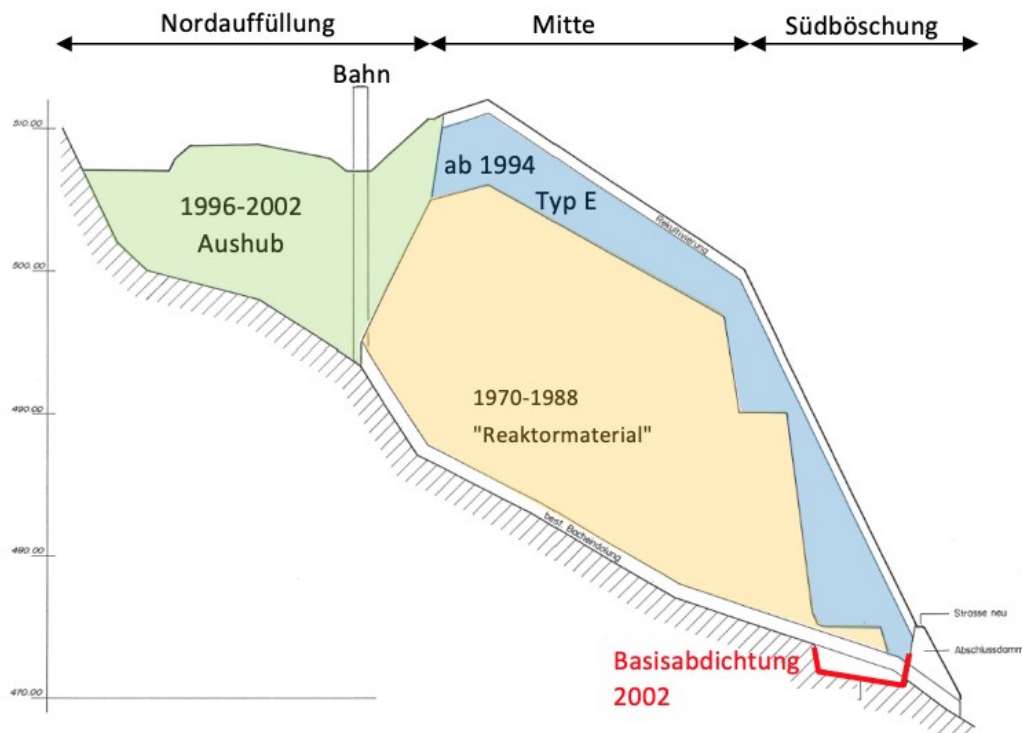


Abbildung 14: Schnitt entlang der Bacheindolung

Die Deponie wurde im Jahr 1970 in Betrieb genommen. Im Hinblick auf die als günstig beurteilte Geologie und entsprechend dem damaligen Stand der Technik wurde auf die Erstellung einer Basisabdichtung verzichtet. Bis im Jahr 1977 sickerte das Abwasser aus dem Deponiekörper direkt in den Mühltobelbach. Ab 1977 wurde das Sickerwasser gefasst und der Abwasserreinigungsanlage Weinfeldern zugeleitet. In den Jahren 1989 bis 1994 war der Betrieb eingestellt. Ab 1994 wurde die Deponie wieder eröffnet, als Reaktordeponie gemäss TVA. Die Errichtungs- und Betriebsbewilligung basierten auf einem Deponieprojekt, das unter anderem vorsah, dass im untersten Teil der Deponie eine Basisabdichtung erstellt wurde, und dass der bisher an der Deponiebasis geführte Mühltobelbach nun an der Oberfläche um die Deponie herumgeleitet wurde. Dazu war es erforderlich, den Nordteil der Deponie mit Aushub aufzufüllen. Heute ist der überwiegende Teil der Deponie, insbesondere die Bereiche, die grössere Mengen an organischem Material enthalten, rekultiviert. Der Südteil der Deponie ist noch offen und in Betrieb. Hier wird Material vom Typ E mit vorwiegend mineralischer Zusammensetzung eingelagert. Die Deponie ist voraussichtlich im Jahr 2032 vollständig verfüllt.

4.2 Abgelagerte Abfälle

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die auf der Deponie abgelagerten Abfälle:

Tabelle 9: Abgelagerte Abfälle Deponie Kehlhof

Zeitraum	Angaben zur Menge	Angaben zur Qualität																														
1970-1974	108'000 t (90'000 m ³)	Schutt und Hauskehricht In diesem Zeitraum, d.h. bis zur Inbetriebnahme der Kehrichtverbrennungsanlagen, wurden sämtliche Siedlungsabfälle aus den am Deponieverband beteiligten Gemeinden im Kehlhof deponiert. <i>Auflage des Amtes für Umweltschutz und Wasserwirtschaft am 2.3.1972: Kadaver, Abfallöl, Säuren, giftige Chemikalien und fließfähige Schlämme dürfen nicht abgelagert werden... Über die Beschaffenheit der Sickerwässer, die aus der bestehenden Deponie anfallen, sind im Februar 1975 Untersuchungen durch das Laboratorium des kantonalen Amtes für Umweltschutz und Wasserwirtschaft ausgeführt worden. Es zeigte sich, dass das Sickerwasser mit einem pH-Wert von 8.4 als stark ammoniak-, chlorid-, sulfat- und eisenhaltig bezeichnet werden muss, einen hohen Gehalt an anorganischem Kohlenstoff und einen hohen chemischen Sauerstoffbedarf ausweist. Ein toxikologischer Test zeigte, dass bei entsprechender Verdünnung eine Behandlung des Deponiesickerwassers in der ARA Weinfeldern ohne Schwierigkeiten wird erfolgen können.</i>																														
1974-1989	547'000 t (330'000 m ³)	Multikomponentendeponie Klasse III gemäss Eidg. Deponierichtlinie Bauschutt, Industrieabfälle, Abbruchmaterial, Grobsperrgut <u>Beispiel: Analyse der Anlieferungsmengen 1987:</u> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Abbruch- und Baustellenabfälle</td> <td style="text-align: right;">24'100 m³</td> </tr> <tr> <td>Industrie- und Umbauabfälle (je ca. 50%)</td> <td style="text-align: right;">23'600 m³</td> </tr> <tr> <td>Karton- und Plastikabfälle (Model AG)</td> <td style="text-align: right;">13'000 m³</td> </tr> <tr> <td>Sperrgut, Grüntour, Bauämter (Gemeinden)</td> <td style="text-align: right;">8'900 m³</td> </tr> <tr> <td>Kehrichtschlacke (KVA Hefenhofen / Müllheim)</td> <td style="text-align: right;">8'500 m³</td> </tr> <tr> <td>Büchsen und Lebensmittelabfälle (Conservi Bischofszell)</td> <td style="text-align: right;">3'800 m³</td> </tr> <tr> <td>Umbauabfälle und Sperrgut von Privaten</td> <td style="text-align: right;">2'400 m³</td> </tr> <tr> <td>RESH (Autoverwertung Schwarzenbach)</td> <td style="text-align: right;">2'000 m³</td> </tr> <tr> <td>Giessereisand (GMB Romanshorn)</td> <td style="text-align: right;">1'500 m³</td> </tr> <tr> <td>Baumschnitt (Gartenbaufirmen)</td> <td style="text-align: right;">800 m³</td> </tr> <tr> <td>Gerberei- und Plastikabfälle (Kappeler, Frauenfeld)</td> <td style="text-align: right;">600 m³</td> </tr> <tr> <td>Sand aus Oelschlammaufbereitung (RBI Bazenheid)</td> <td style="text-align: right;">500 m³</td> </tr> <tr> <td>Kunststoffabfälle (Thurnheer, Weinfeldern)</td> <td style="text-align: right;">400 m³</td> </tr> <tr> <td>Rückstände aus Sandfang (ARA)</td> <td style="text-align: right;">300 m³</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td style="text-align: right;">90'400 m³</td> </tr> </table>	Abbruch- und Baustellenabfälle	24'100 m ³	Industrie- und Umbauabfälle (je ca. 50%)	23'600 m ³	Karton- und Plastikabfälle (Model AG)	13'000 m ³	Sperrgut, Grüntour, Bauämter (Gemeinden)	8'900 m ³	Kehrichtschlacke (KVA Hefenhofen / Müllheim)	8'500 m ³	Büchsen und Lebensmittelabfälle (Conservi Bischofszell)	3'800 m ³	Umbauabfälle und Sperrgut von Privaten	2'400 m ³	RESH (Autoverwertung Schwarzenbach)	2'000 m ³	Giessereisand (GMB Romanshorn)	1'500 m ³	Baumschnitt (Gartenbaufirmen)	800 m ³	Gerberei- und Plastikabfälle (Kappeler, Frauenfeld)	600 m ³	Sand aus Oelschlammaufbereitung (RBI Bazenheid)	500 m ³	Kunststoffabfälle (Thurnheer, Weinfeldern)	400 m ³	Rückstände aus Sandfang (ARA)	300 m ³	Total	90'400 m³
Abbruch- und Baustellenabfälle	24'100 m ³																															
Industrie- und Umbauabfälle (je ca. 50%)	23'600 m ³																															
Karton- und Plastikabfälle (Model AG)	13'000 m ³																															
Sperrgut, Grüntour, Bauämter (Gemeinden)	8'900 m ³																															
Kehrichtschlacke (KVA Hefenhofen / Müllheim)	8'500 m ³																															
Büchsen und Lebensmittelabfälle (Conservi Bischofszell)	3'800 m ³																															
Umbauabfälle und Sperrgut von Privaten	2'400 m ³																															
RESH (Autoverwertung Schwarzenbach)	2'000 m ³																															
Giessereisand (GMB Romanshorn)	1'500 m ³																															
Baumschnitt (Gartenbaufirmen)	800 m ³																															
Gerberei- und Plastikabfälle (Kappeler, Frauenfeld)	600 m ³																															
Sand aus Oelschlammaufbereitung (RBI Bazenheid)	500 m ³																															
Kunststoffabfälle (Thurnheer, Weinfeldern)	400 m ³																															
Rückstände aus Sandfang (ARA)	300 m ³																															
Total	90'400 m³																															
1989-1994	Deponie geschlossen																															
1994-2015	200'800 t	Reaktordeponie gemäss TVA																														
2016-2021	51'600 t	Deponie Typ E gemäss VVEA																														

Für die Belange der Aerobisierung sind die organischen Anteile der Abfälle relevant. Der Hauptteil davon wurde in den Jahren 1970-1989 deponiert.

4.3 Ziele der Aerobisierung

Im Gegensatz zur Deponie Sass Grand war der Anlass für die Aerobisierung nicht eine Altlasten-Sanierungspflicht. Der Verband Kehrrechtverwertung Thurgau hat die Aerobisierung auf Vorschlag der Dplus AG aus folgenden Gründen in Auftrag gegeben:

- Der Verband KVA Thurgau konzentriert seine Anstrengungen im Unternehmen auf eine umweltschonende Entsorgung und Verwertung der Abfälle. Er reduziert CO₂-Emissionen, wo dies mit einem verhältnismässigen Aufwand möglich ist.
- Mit der Aerobisierung werden die Abbauprozesse im Deponiekörper beschleunigt. Dies dürfte dazu führen, dass sich die Dauer der Deponie-Nachsorge verkürzt.
- Durch die Teilnahme am KLIK-Deponiegasprogramm bestand die Chance, dass die Investitions- und Betriebskosten der Aerobisierung weitgehend durch die Reduktionsentschädigungen gedeckt werden können. Dies hat sich im Nachhinein auch bestätigt.

4.4 Verfahrenswahl

Der Entscheid über das Aerobisierungsverfahren fiel aus den gleichen Gründen, wie sie bei der Deponie Sass Grand aufgeführt sind (vgl. Kap. 3.5.2, auf die tiefenverfilterten Saugbrunnen (Dplus-Verfahren)).

4.5 Aerobisierungskonzept und -betrieb

4.5.1 Überblick über den zeitlichen Ablauf

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über Vorbereitung, Inbetriebnahme und Betrieb der Aerobisierung:

Tabelle 10: Ablauf der Aerobisierung auf der Deponie Kehlhof

Jahr	Schritte
2014/15	Bohrungen und Vorversuche
2016	Bau Absauganlage, Betriebsbeginn
seit 2017	Aerobisierungsbetrieb ohne Fackel
2019	Erstellung von zwei zusätzlichen Bohrungen

Mit dem Betrieb der Anlage wurde die Firma Dplus AG, Weinfelden, beauftragt. Die Aerobisierung läuft noch und wird jeweils im Rahmen des Deponie-Jahresberichts dokumentiert.

4.5.2 Anlagenkonzeption und Betriebsdaten

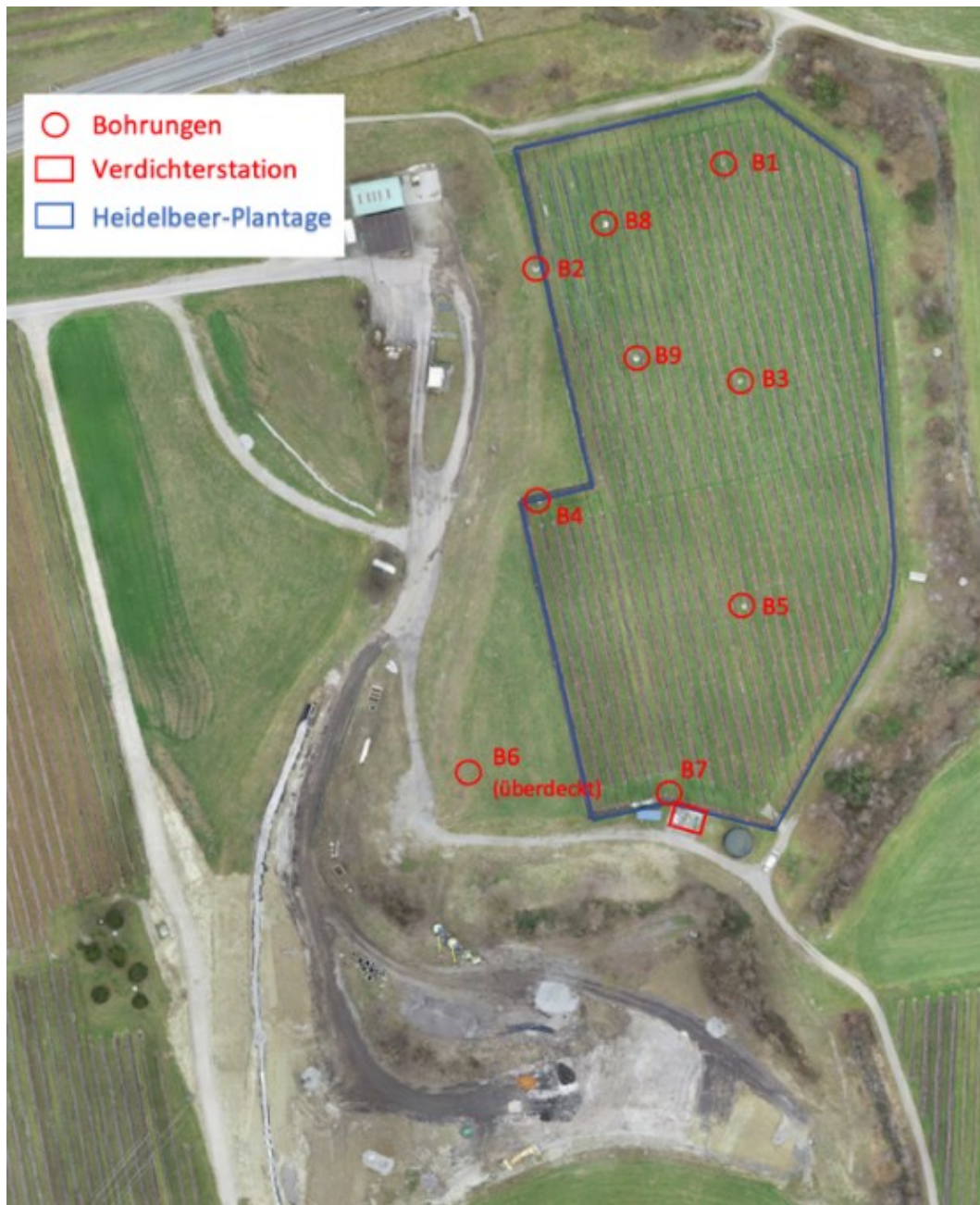


Abbildung 15: Übersicht Deponie Kehlhof

Die Verdichterstation und die Bohrungen wurden im Bereich des bereits rekultivierten Deponieteils erstellt. Als die Aerobisierung bereits in Betrieb war, hat sich der Grundeigentümer entschieden, eine Heidelbeerplantage einzurichten. Die Bohrungen sind nun innerhalb des Bereichs, der durch ein Vogel- und Insektenschutznetz eingehaust ist. Dies führt jedoch für keine der beiden Seiten zu Nachteilen.

Die rekultivierte Oberfläche der Deponie ist abgedichtet (vgl. Abbildung 16). Die unter der Abdichtung (Geotextil) eingebaute Entgasungsschicht (15 cm Splitt) ermöglicht, dass trotzdem Frischluft eingesaugt werden kann.

Ursprünglich war vorgesehen, den Methananteil in der abgesaugten Luft über eine Schwachgasfackel zu entsorgen. Da die Methankonzentration - entgegen den Erwartungen aus den Vorversuchen – jedoch innert weniger Monate massiv absank (vgl. Kapitel 4.6), wurde die Fackel wieder ausser Betrieb genommen.

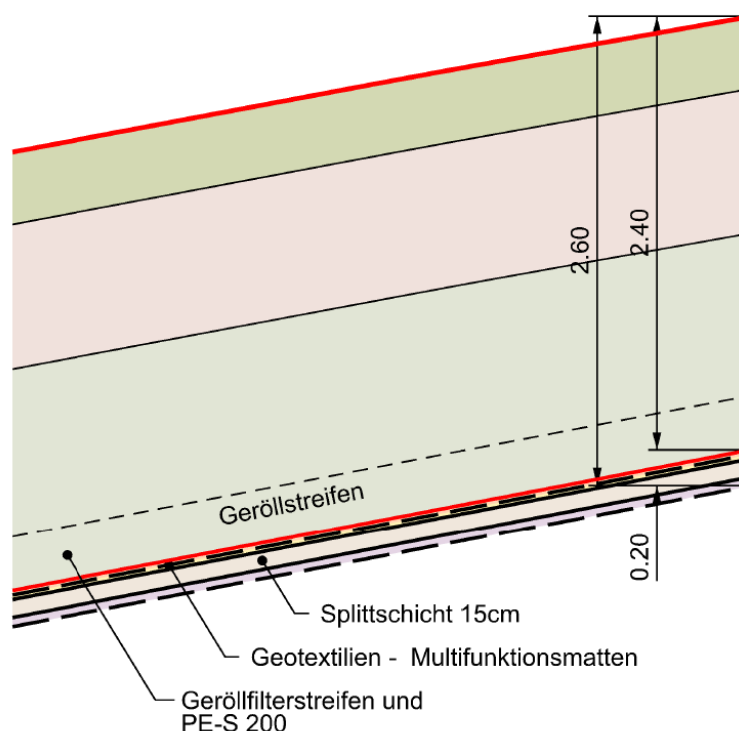


Abbildung 16: Aufbau Oberfläche Deponie Kehlhof

Die charakteristischen Betriebsdaten sind seit mehreren Monaten konstant:

Tabelle 11: Kehlhof: Charakteristische Betriebsdaten 2022

Betriebsjahr 2022		Gesamt
abgesaugte Gasmenge	m ³ /h	380
CH ₄ -Konzentration	%	1.5
CO ₂ -Konzentration	%	6.0

4.6 Gasförmigen Emissionen

Die Deponiegasemissionen über die Deponieoberfläche werden periodisch durch FID-Messungen erfasst, letztmals im November 2018.

Vor der Inbetriebnahme der Aerobisierung wurde die jährliche Methanproduktion auf rund 100-150 Tonnen Methan pro Jahr geschätzt. Mit der Inbetriebnahme der Tiefenabsaugung ist die Deponie zumindest teilweise in einen aeroben Zustand übergegangen. Aktuell werden rund 380 Nm³ Deponiegas pro Stunde mit einer Methankonzentration von 1.5 % und einer CO₂-Konzentration von 6.0 % abgesaugt. Seit Aerobisierungsbeginn Ende 2019 wurde aus der Deponie Kehlhof rund 1100 Tonnen Kohlenstoff ausgetragen (Abbildung 17).

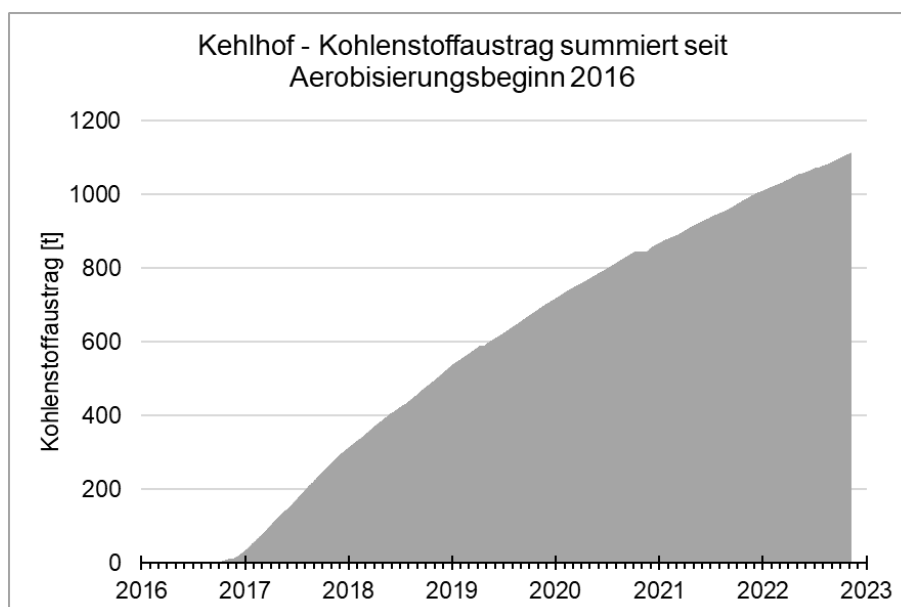


Abbildung 17: Summierter Kohlenstoffaustrag durch die Aerobisierung aus der Deponie Kehlhof.

Es muss davon ausgegangen werden, dass nicht sämtliche organischen Anteile im Deponiekörper von der Aerobisierung erfasst werden. Die FID-Messungen zeigen jedoch, dass praktisch kein Austrag von Deponiegas mehr über die Deponieoberfläche erfolgt. Die einzige Emissionsquelle von Deponiegas ist die Abluft aus der Aerobisierung. Aufgrund des geringen Methangehalts wird das abgesaugte Deponiegas nicht behandelt. Ein leichter Geruch ist zeitweise in der Nähe der Anlage wahrnehmbar, führt jedoch nicht zu Belästigungen.

Durch die Aerobisierung und den damit forcierten Abbau von organischer Substanz erhöht sich die Temperatur im Deponiekörper. Zusammen mit dem erhöhten Luftdurchsatz durch die Deponie führt dies zu einem zusätzlichen Austrag von Wasser. Eine Quantifizierung ist nicht möglich, da der Wassergehalt des abgesaugten Gases nicht gemessen wird. Eine Reduktion der im Deponiekörper enthaltenen Wassermenge ist grundsätzlich erstrebenswert. Sie führt zu einer Reduktion der Sickerwassermenge und hat eine Erhöhung der Stabilität zur Folge.

4.7 Sickerwasser

Gemäss den Vorgaben der VVEA soll die Deponie innerhalb von 50 Jahren nach Abschluss einen Zustand erreichen, in dem das Sickerwasser eine Qualität erreicht, dass es in den Bach eingeleitet werden kann.

Hauptkriterium für die Zulässigkeit der Einleitung sind die Vorgaben in Anhang 3.3, Zf. 25 der Gewässerschutzverordnung [1]. Darin ist festgelegt, unter welchen Bedingungen gefasstes Sickerwasser aus Deponien in ein Gewässer eingeleitet werden darf. Die Beurteilung im Rahmen der im Jahr 2021 für die Deponie durchgeführten Gefährdungsabschätzung erfolgt auf der Basis von Anhang A-4 der Vollzugshilfe [1]. Diese enthält nebst den Kriterien aus der GSchV auch Kriterien des Altlastenrechts. Die in der Deponie Kehlhof gemessenen Werte sind in Anhang 6 dieses Berichts den Zielvorgaben der Vollzugshilfe gegenübergestellt. Bis auf wenige Ausnahmen sind die Zielwerte im Sickerwasser der Deponie Kehlhof eingehalten. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Entwicklung der Stickstoffparameter Nitrat und Ammonium zu legen:

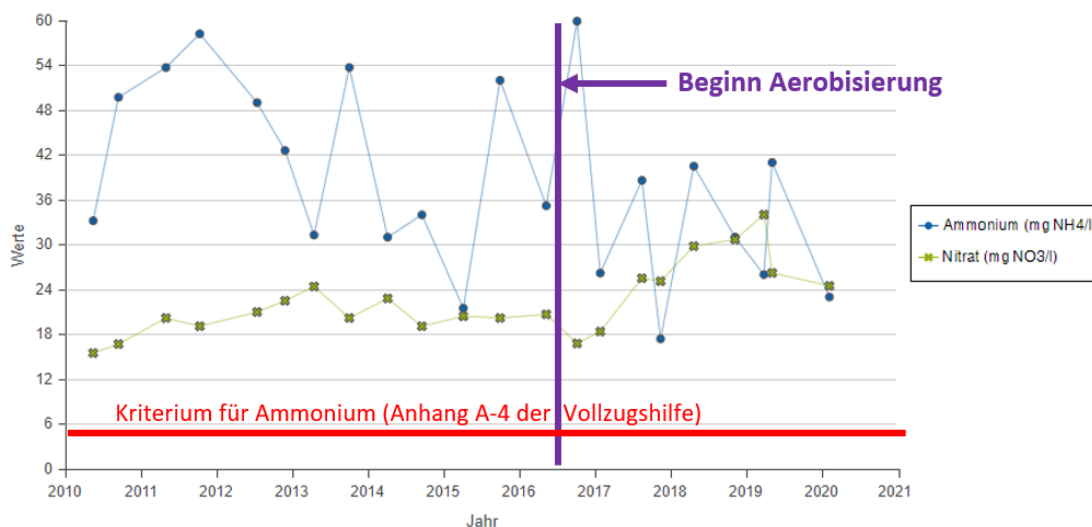


Abbildung 18: Entwicklung Stickstoffparameter in der Deponie Kehlhof

Die Ammonium-Konzentration liegt aktuell im Bereich von 20-40 mg NH₄/l. Das Kriterium für Ammonium liegt bei 5 mg NH₄/l und ist somit noch klar überschritten. Seit Beginn der Aerobisierung ist jedoch eine sinkende Tendenz erkennbar. Ein Vergleich mit den Nitratkonzentrationen zeigt, dass diese ansteigen, seit die Deponie aerobisiert wird. Offensichtlich führt der aerobe Zustand der Deponie dazu, dass der Stickstoff nun vermehrt in sauerstoffgebundener Form austritt. Als Nitrat erzeugt er keine Probleme, Wir gehen davon aus, dass diese Entwicklung unter dem Weiterbetrieb der Aerobisierung weitergeht und die Ammoniumkonzentrationen weiter abnehmen.

Beurteilung der weiteren Entwicklung

Bis auf weiteres wird es erforderlich sein, das Sickerwasser der Kanalisation zuzuführen. Beim Parameter Ammonium besteht die Chance, dass der Zielwert gemäss Anhang 4 der Vollzugshilfe bis zum Ende der Nachsorge erreicht wird.

4.8 Kosten

Investitionen

Bis zum heutigen Zeitpunkt waren folgende Investitionen erforderlich:

Erstellung Anlage inkl. Vorarbeiten (2016/17)	CHF 789'000
Erstellung von zwei zusätzlichen Bohrungen (2019)	CHF 70'000

Betriebskosten

Erstes Betriebsjahr (2017)	CHF 113'000
Nachfolgende Betriebsjahre (2018-21, im Durchschnitt pro Jahr, inkl. Administration Klimaprojekt)	CHF 48'000

Entschädigungen aus dem Klimaprojekt

Die Entschädigungen aus dem Klimaprojekt in den Jahren 2017 bis 2021 betragen insgesamt CHF 1'299'000.

5 Besondere Erkenntnisse

5.1 Deponiegut, Porosität und Volumenstrom

Der Erfolg der Aerobisierung ist am grössten, wenn möglichst viel Aussenluft in den Deponiekörper eindringt und das gesamte Deponievolumen durchströmt. Dabei spielt die Porosität des Deponiematerials eine entscheidende Rolle. Bei den von uns aerobisierten Deponien bzw. Etappen sind bezüglich Absaugvolumen folgende typischen Kennzahlen zu beobachten:

Tabelle 12: Aktuelle Daten der Deponien Sass Grand und Kehlhof

aktuelle Daten 2022		Sass Grand Etappe 0	Sass Grand Etappe 1/2	Kehlhof
angelegter Unterdruck	mbar	130	130	125
abgesaugte Gasmenge	m ³ /h	105	33	380

Um einen möglichst grossen Volumenstrom zu erreichen, wird der Unterdruck möglichst hoch angesetzt. Er darf jedoch nur so gross sein, dass keine direkten Verbindungen zwischen der Deponieoberflächen und der Filterstrecke im Bohrloch entstehen. Erkennbar wäre dies an einem Anstieg der Sauerstoffkonzentration in der abgesaugten Luft. Mit diesen Vorgaben saugen wir bei beiden Deponien aktuell mit einem Unterdruck von rund 130 mbar.

Obwohl überall mit dem gleichen Unterdruck gesaugt wird, zeigen sich bei der abgesaugten Gasmenge massive Unterschiede. Dies lässt sich grösstenteils durch die unterschiedliche Porosität des Deponiekörpers erklären, die massiv vom deponierten Material und der Verdichtung beim Einbau abhängig ist. Bei der Deponie Kehlhof, wo der Abfall bis ins Jahr 1990 locker in das Tobel geschüttet wurde, ist eine hervorragende Aerobisierungswirkung festzustellen, die zur Folge hat, dass verhältnismässig viel Gas abgesaugt werden kann und das Verhältnis CH_4/CO_2 bald nach Betriebsbeginn massiv zurückging.

Das Gegenteil ist bei den Etappen 1/2 der Deponie Sass Grand der Fall. Hier können nur 33 m^3 Gas pro Stunde abgesaugt werden. Der Deponiekörper enthält viel mehr feinporiges Material und insbesondere auch Klärschlamm. Etappe 0 hingegen lässt sich im Vergleich dazu ebenfalls relativ gut aerobisieren.

5.2 Bohrungen

In beiden Deponien hat der Abfall eine Mächtigkeit von rund 20 bis 30m. Die Erstellung der Bohrungen und der Einbau der Verrohrung mit Tiefenverfilterung gemäss dem Schema in Kap. 2.3 verlief grösstenteils ohne Probleme. Einzig auf der Deponie Kehlhof war es wegen Hohlräumen in einer Bohrung nicht möglich, die Verrohrung zu fixieren und Teile davon verschwanden aufgrund der vorhandenen Hohlräume im Deponiekörper, sodass die Bohrung wiederholt werden musste.

Im Verlaufe des Betriebs zeigte sich jedoch, dass die horizontal wirkenden Kräfte im Deponiekörper Verformungen an den eingesetzten Verrohrungen (PE 100 S8) verursachten. Offensichtlich sind bei einer Bohrtiefe von 20-30 Metern im Deponiekörper wesentlich stärkere Verrohrungen erforderlich. Bisher sind in den bestehenden Verrohrungen keine Abscherungen zu beobachten und die Absaugung funktioniert nach wie vor. Die Verformungen führen jedoch dazu, dass die eingesetzten Bohrlochpumpen nicht mehr zur Wartung hochgezogen werden können.

5.3 Wasser und Pumpbetrieb

Bei einem Teil der Bohrungen wurde festgestellt, dass in der Deponie zusammenhängende Wasservorkommen vorhanden sind. Dies betrifft insbesondere die Etappe 1/2 in der Deponie Sass Grand und die Deponie Kehlhof. Wo Wasser die Porenräume ausfüllt, ist es nicht möglich, die Deponie zu aerobisieren. Aus diesem Grund wurden in der Deponie Kehlhof pneumatische Bohrlochpumpen der Firma Viridian eingesetzt, um die Deponie zu entwässern.



Abbildung 19: Bohrlochpumpe des Fabrikats Viridian

In den ersten Jahren des Betriebs war dieses System erfolgreich und der Pumpbetrieb führte dazu, dass Teile der Deponie entwässert und aerobisiert werden konnten. Aufgrund der vielen Feinpartikel, die das Deponiewasser enthält, ist für diese Pumpen eine regelmässige Wartung erforderlich. Die Verformung der Verrohrungen im Deponiekörper führte jedoch dazu, dass die Pumpen in den Bohrlöchern eingeklemmt wurden und nicht mehr zu Wartung hochgezogen werden konnten. Aus diesem Grund sind keine Bohrlochpumpen mehr in Betrieb und die Deponie lässt sich nicht vollständig entwässern.

Tabelle 13: Wasser und Pumpbetrieb

Bohrung	Zustand Anfangsphase				Zustand heute		
	Zeitpunkt	Wasser im Bohrlöh	Pumpe im Einsatz	Gasgangigkeit	Wasser im Bohrlöh	Pumpe im Einsatz	Gasgangigkeit
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 Setzungen

Bei der Deponie Sass Grand wurden in den Bohrungen Setzungen von mehreren Dezimetern festgestellt. Dass diese durch die Aerobisierung verursacht wurden, ist naheliegend, lässt sich jedoch nicht beweisen.

Bei der Deponie Kehlhof hingegen ist die gesamte Oberfläche, unter der die Aerobisierung stattfindet, rekultiviert. Gegenwärtig steht darauf eine Heidelbeer-Kultur. Die einzigen Setzungen, die bisher seit dem Beginn der Aerobisierung beobachtet werden konnten, beschränken sich auf eine Fläche von wenigen Quadratmetern und Setzungsbeträge von rund 30 Zentimetern. Offensichtlich führte die Gewolbbewirkung im Deponeikorper dazu, dass bisher trotz Abbau von organischem Material keine wesentlichen Setzungen an der Deponieoberfläche entstanden sind.

5.5 Temperatur im Deponiekörper

Aus der Temperatur des abgesaugten Deponiegases lässt sich auf die Temperatur und die Intensität der organischen Abbauprozesse im Deponiekörper schließen. Abbildung 20 zeigt die CO₂-Konzentration im Deponiegas und die Gastemperatur vor dem Verdichter der Deponie Kehlhof. Mit der Aerobisierung ist die Gastemperatur und auch die CO₂-Konzentration massiv angestiegen. So konnten in einzelnen Bohrungen auch im Winter Gastemperaturen um die 50 Grad gemessen werden. Nach einem Peak weisen nun beide Parameter eine abnehmende Tendenz auf, was auf abnehmende aerobe Abbauprozesse hindeutet. Der Temperatursensor befindet sich im Freien und ist zum Teil direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt, was zu den jährlichen Schwankungen in der Messreihe führt.

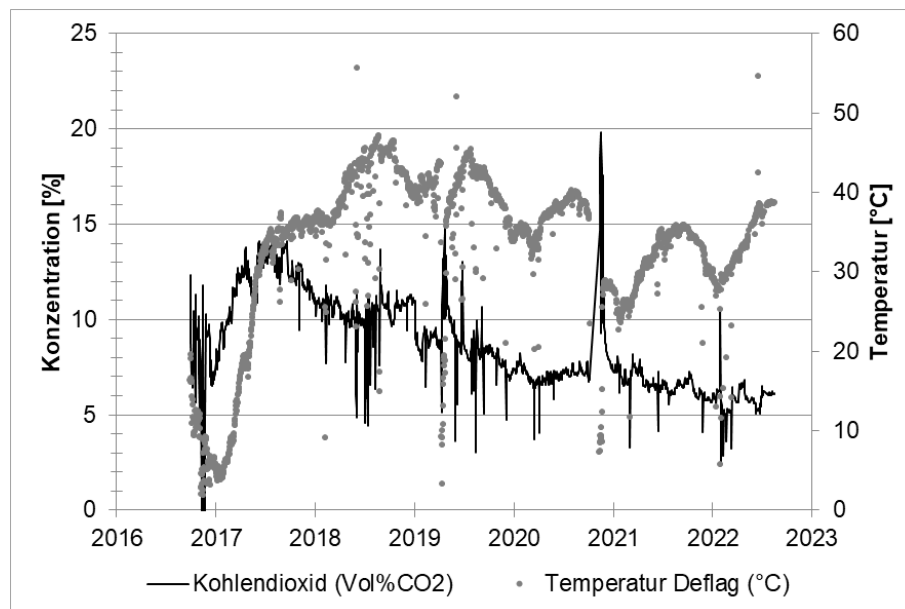


Abbildung 20: CO₂-Konzentration im Deponiegas und Gastemperatur vor dem Verdichter der Deponie Kehlhof.

6 Empfehlungen

Aufgrund unserer Erfahrungen mit konkreten Projekten ist die Aerobisierung als Verfahren zur Sanierung von belasteten Standorten unter gewissen Voraussetzungen grundsätzlich geeignet, insbesondere auch zur Reduktion von Schadstoffen in Grund- und Oberflächenwasser.

In der Tabelle in Anhang 7 haben wir die Kriterien zur Beurteilung, ob die Aerobisierung als Sanierungsmethode zum Einsatz kommen kann, zusammengestellt.

Ein definitiver Entscheid bedingt die Durchführung von Absaugversuchen am konkreten Objekt. Bevor diese Absaugversuche durchgeführt werden, gibt es jedoch bereits eine Reihe von Kriterien, anhand derer entschieden werden kann, ob eine Aerobisierung überhaupt in Betracht zu ziehen ist (Kriteriengruppe 1). Diese sind üblicherweise im Rahmen der Altlasten-Voruntersuchung bereits beantwortet. Falls diese nicht erfüllt sind, kann auf die Absaugversuche verzichtet werden.

In Gruppe 2 sind die Kriterien aufgeführt, die im Rahmen von Absaugversuchen beurteilt werden müssen, um definitiv zu entscheiden, ob sich die Aerobisierung als Sanierungsverfahren eignet. Die Absaugversuche dienen auch für die weitere Planung der Anlage.





















Werner Meier

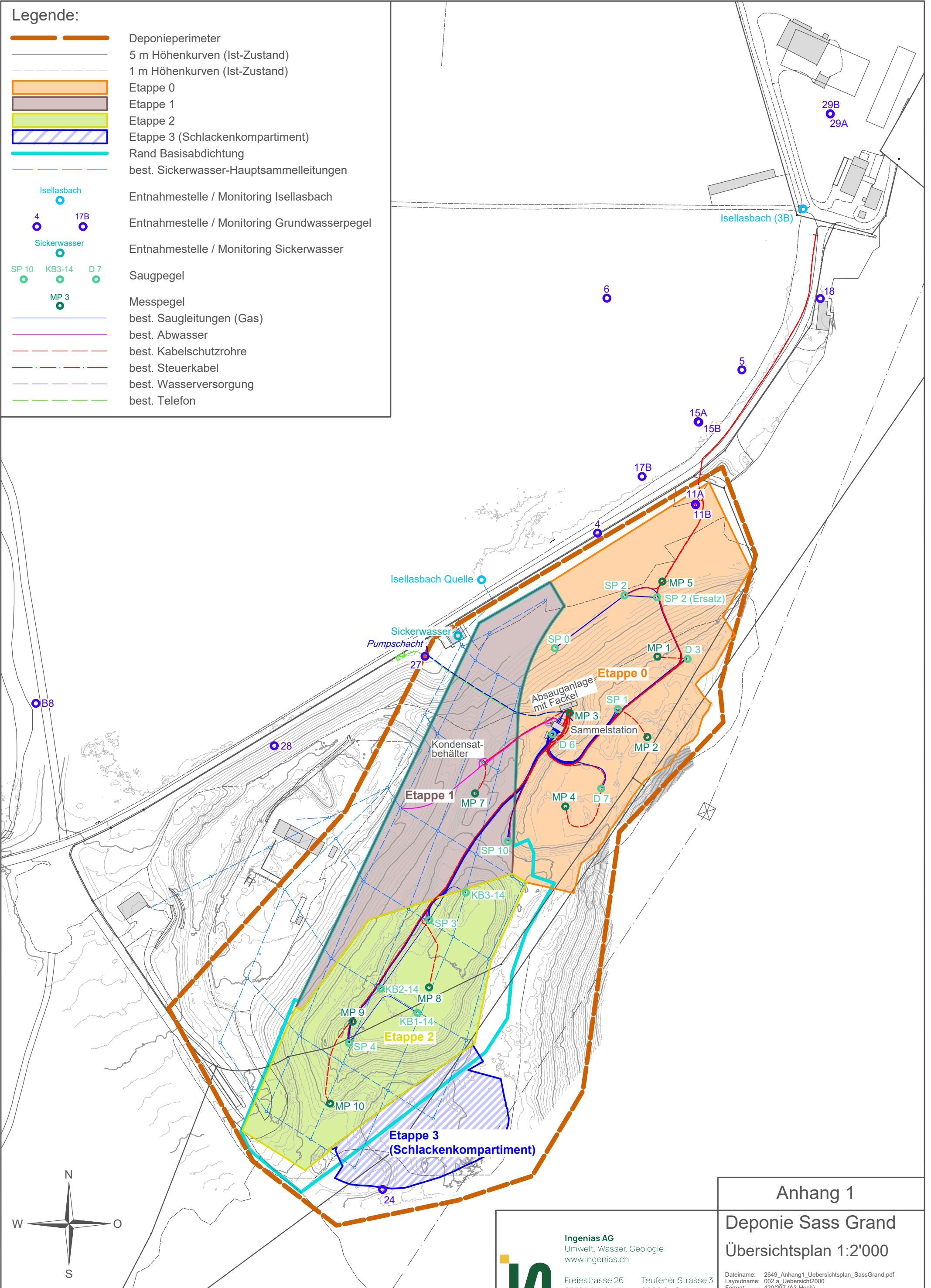
Patrick Eicher



Anhang 1 Deponie Sass Grand: Übersichtsplan

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



Anhang 1

**Deponie Sass Grand
Übersichtsplan 1:2'000**

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

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

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



Anhang 2 Deponie Sass Grand: Abfallinventar



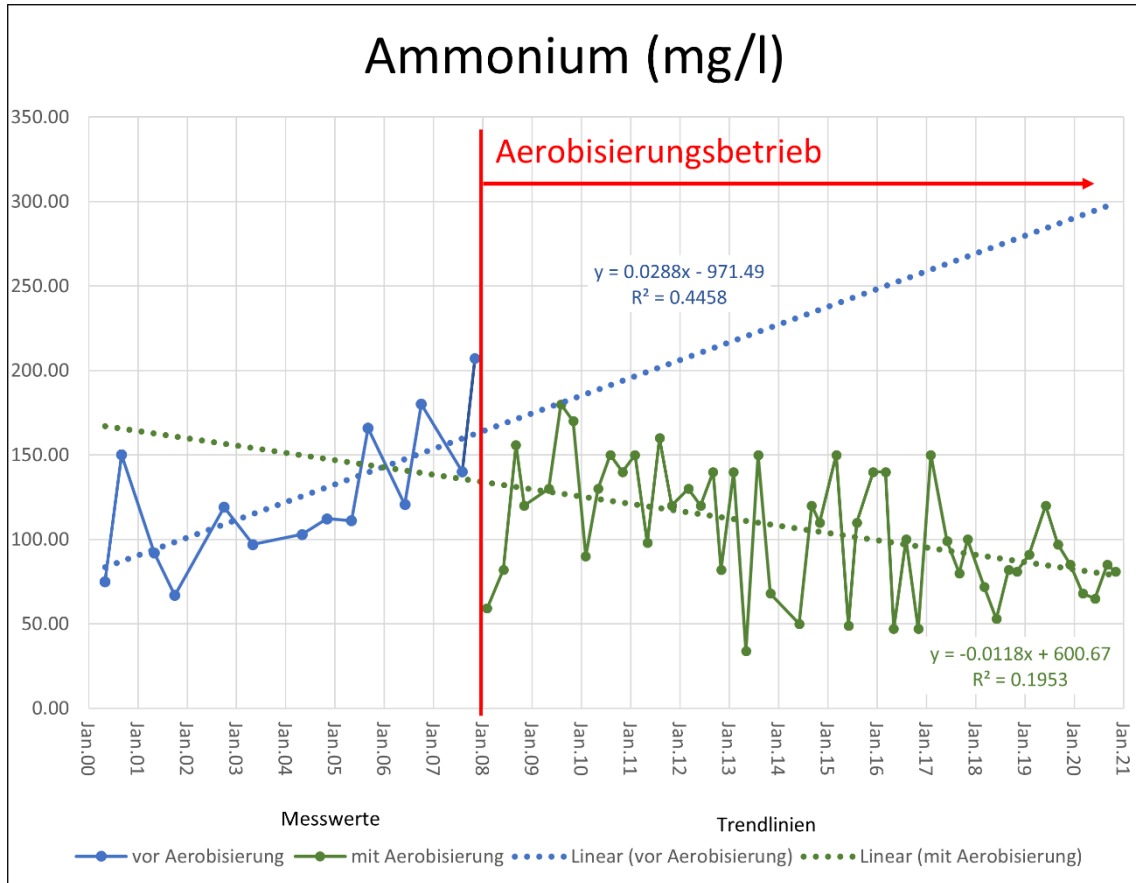
Anhang 3 Deponie Sass Grand: Deponiegeschichte

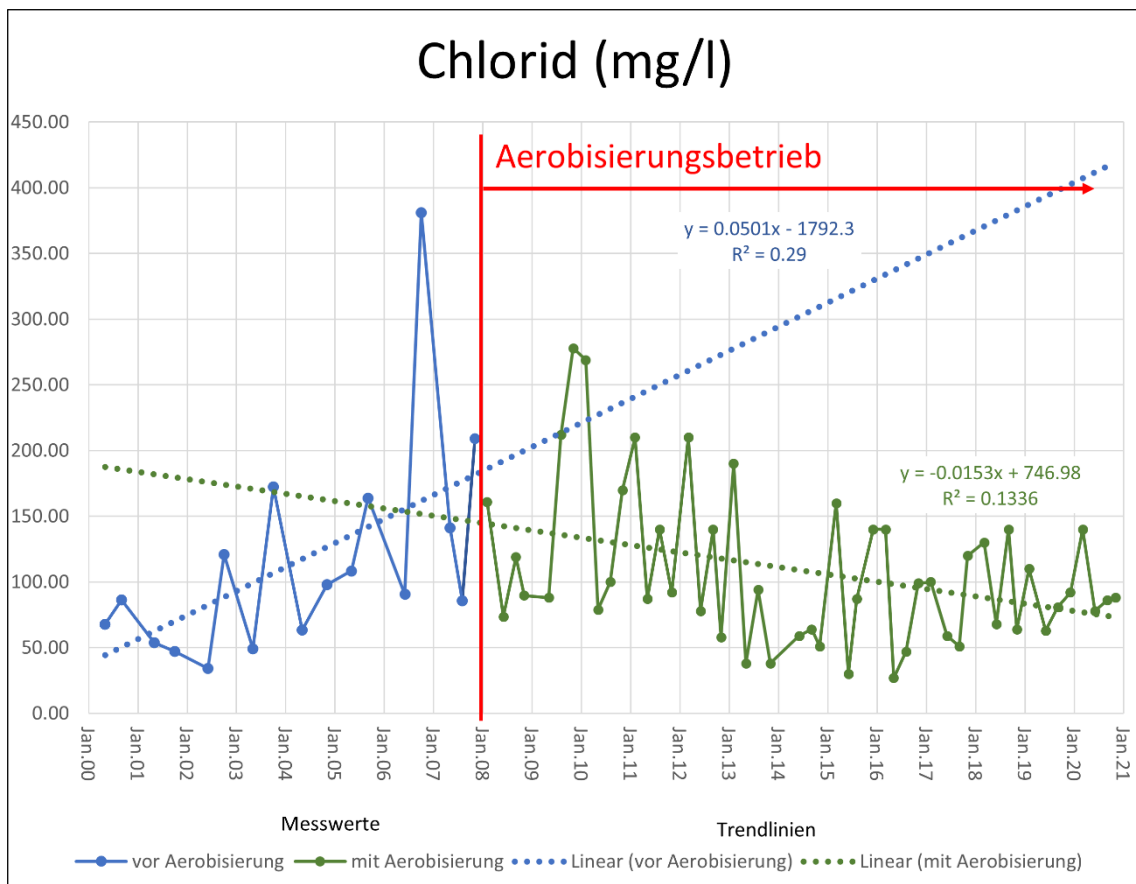
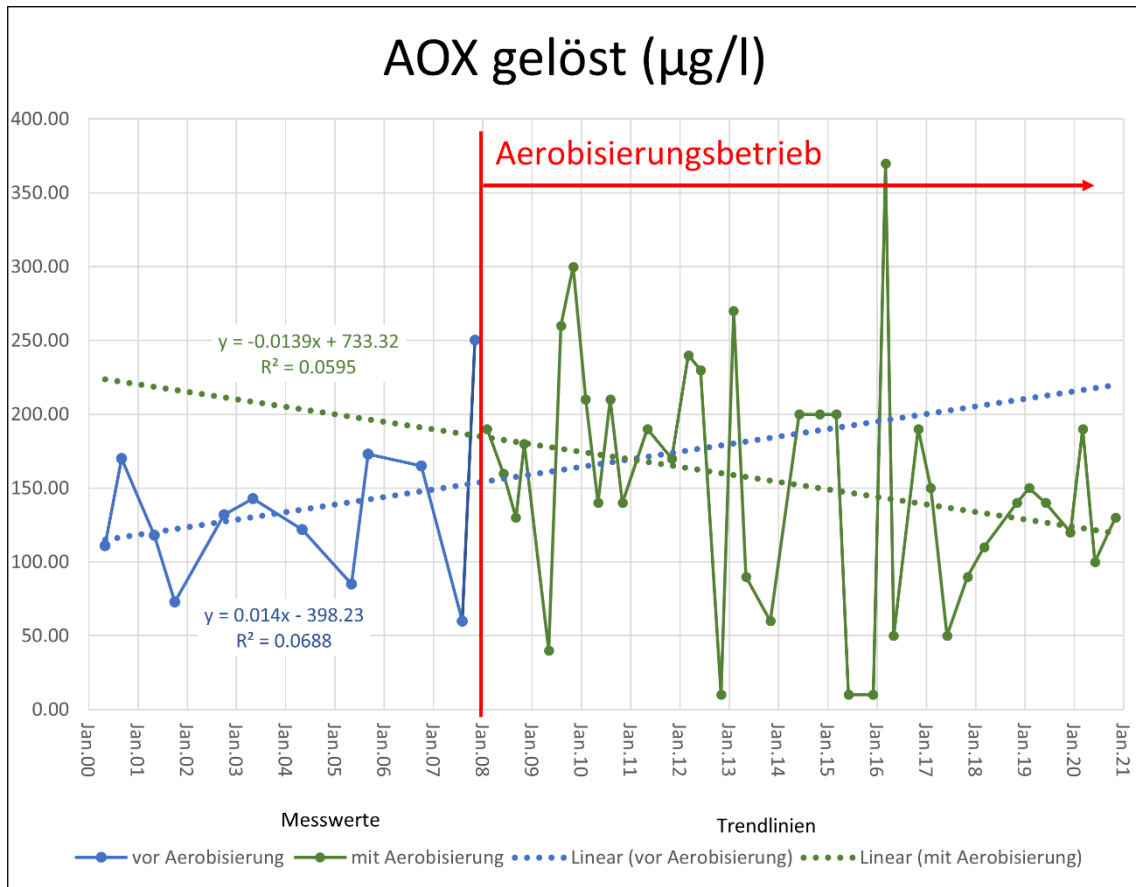


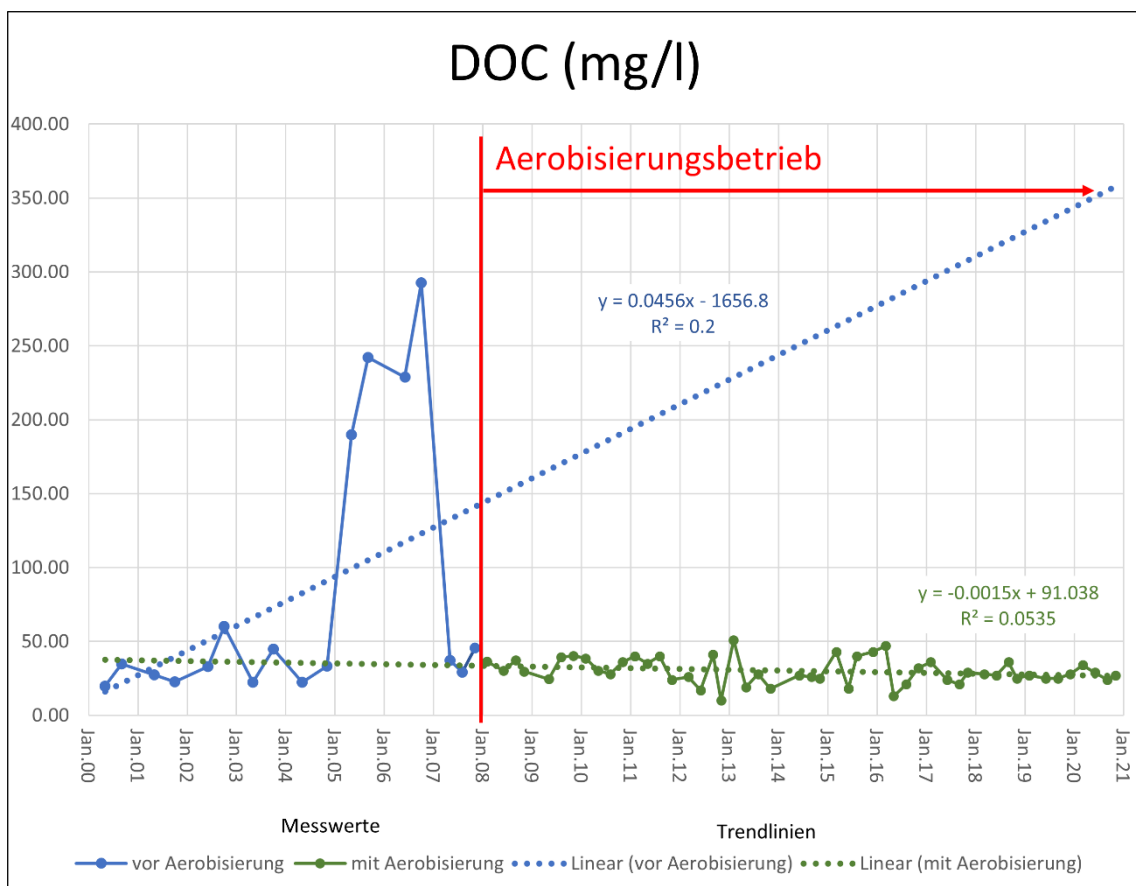
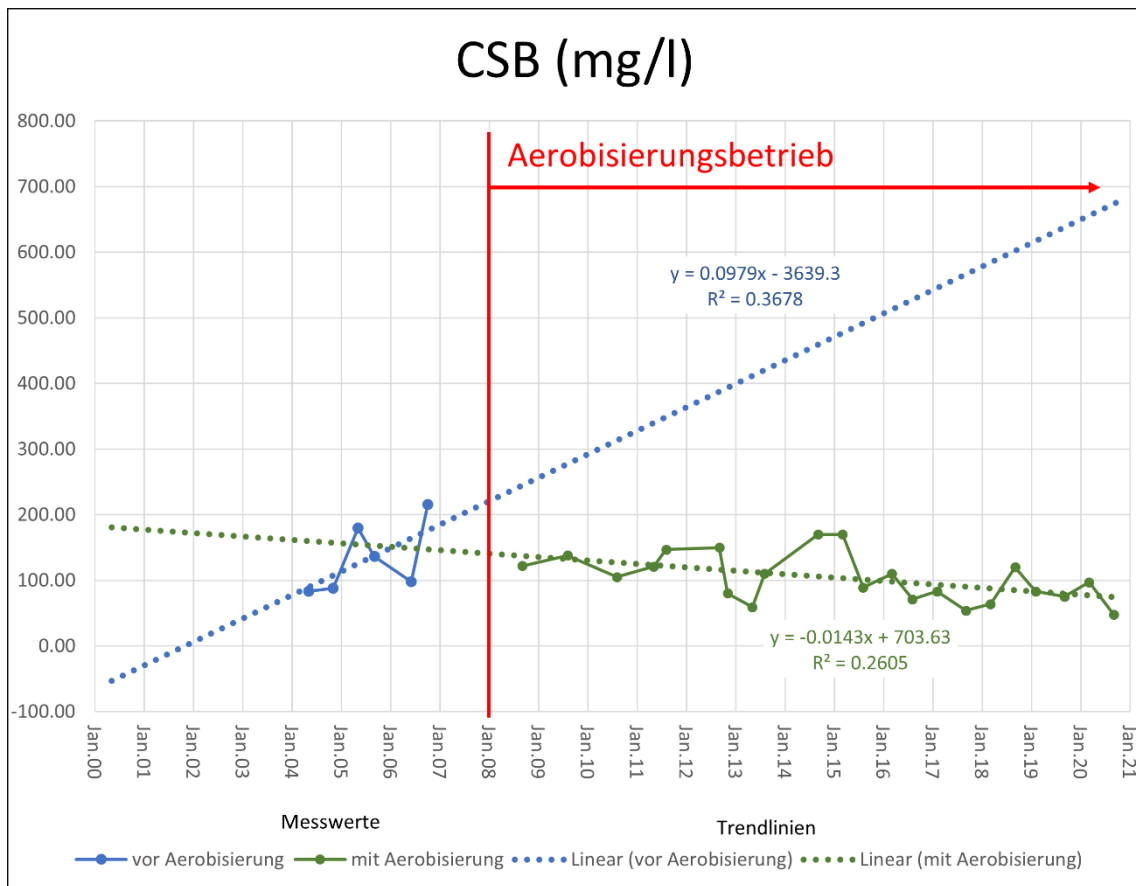
Anhang 4 Deponie Sass Grand: Belastung Grundwasser

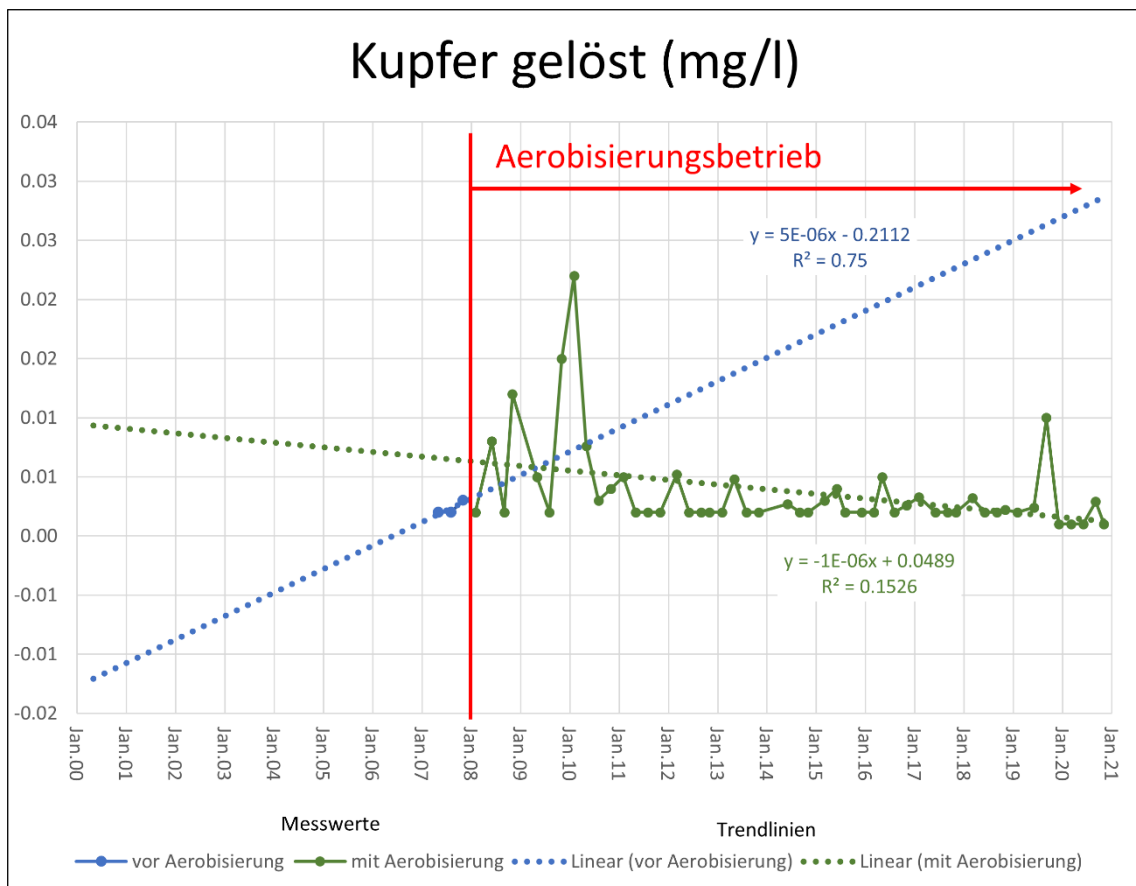
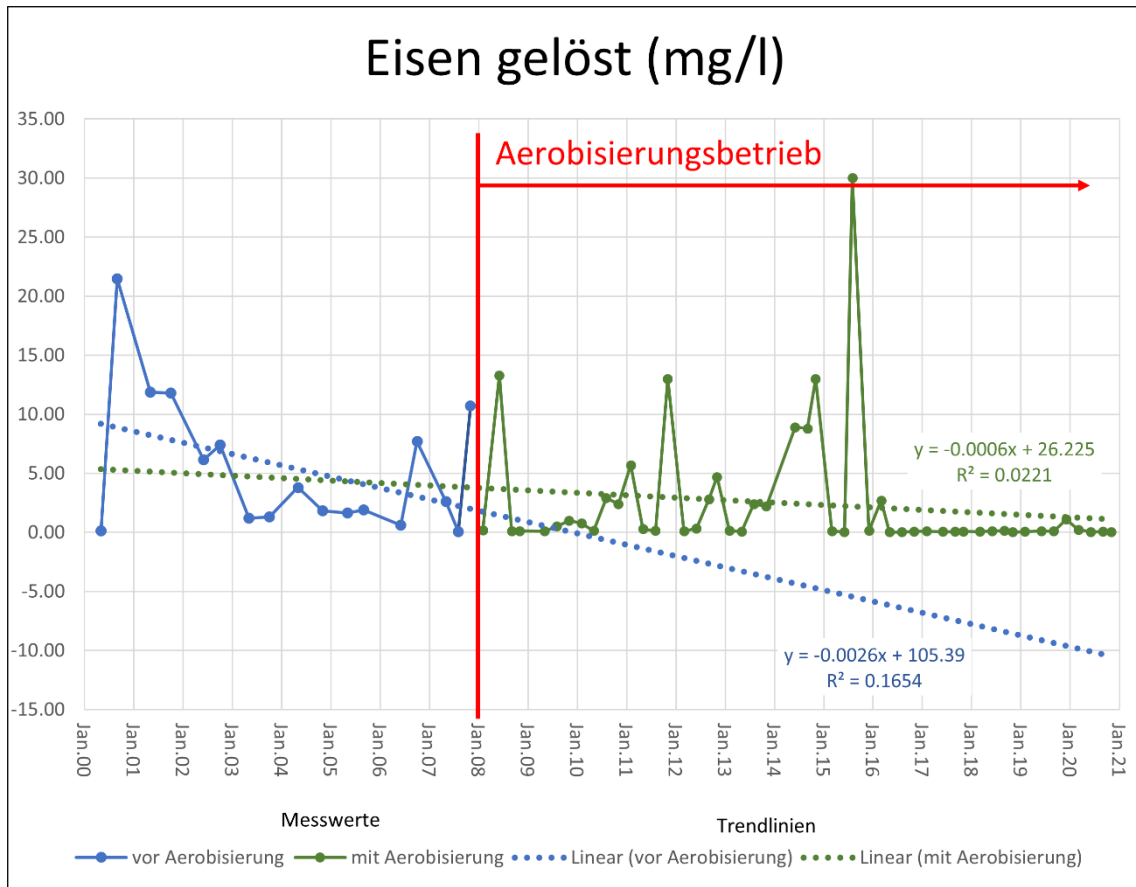


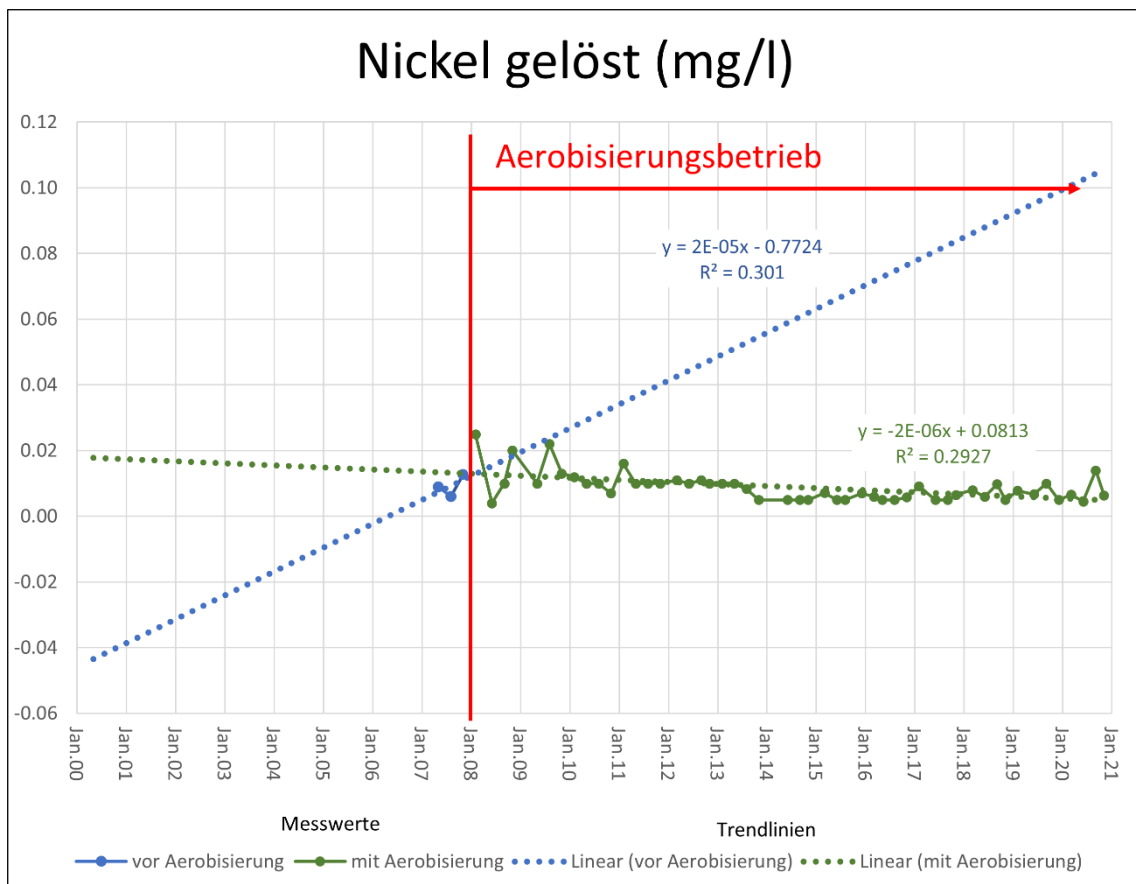
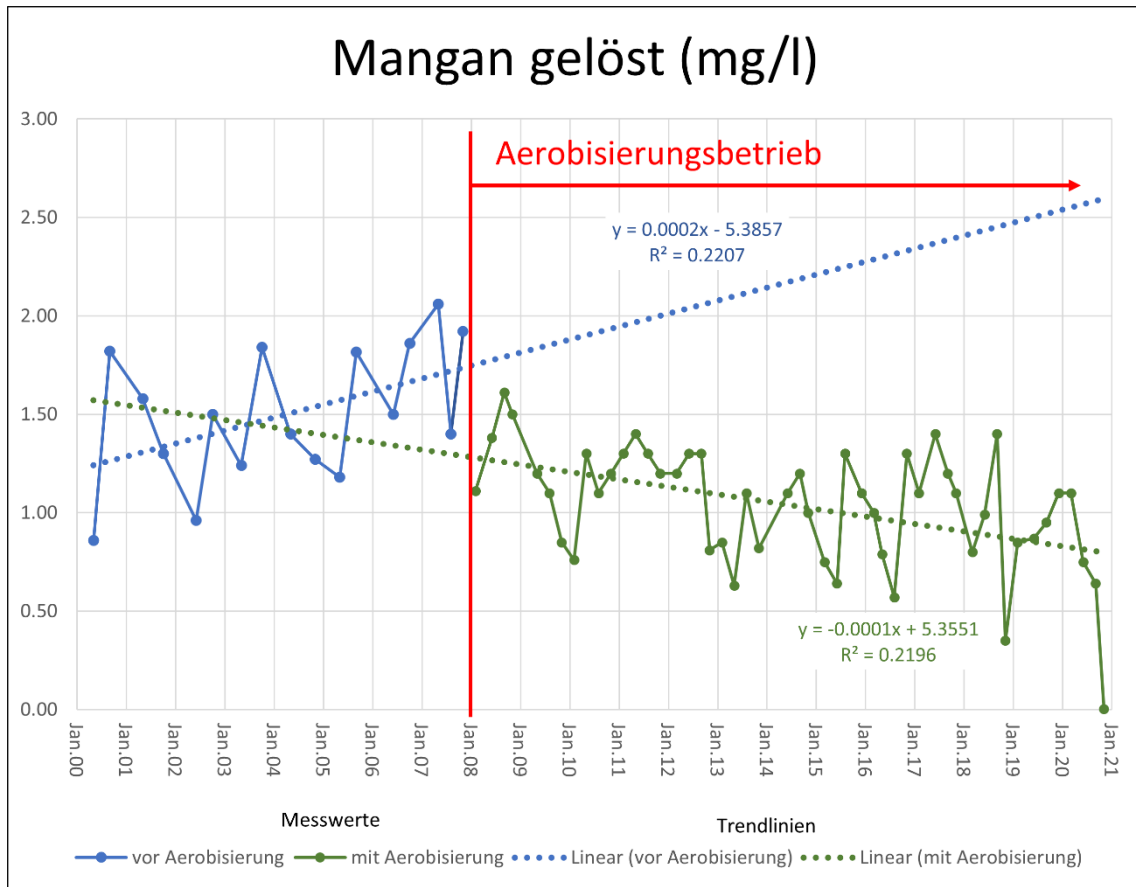
Sass Grand 11A:

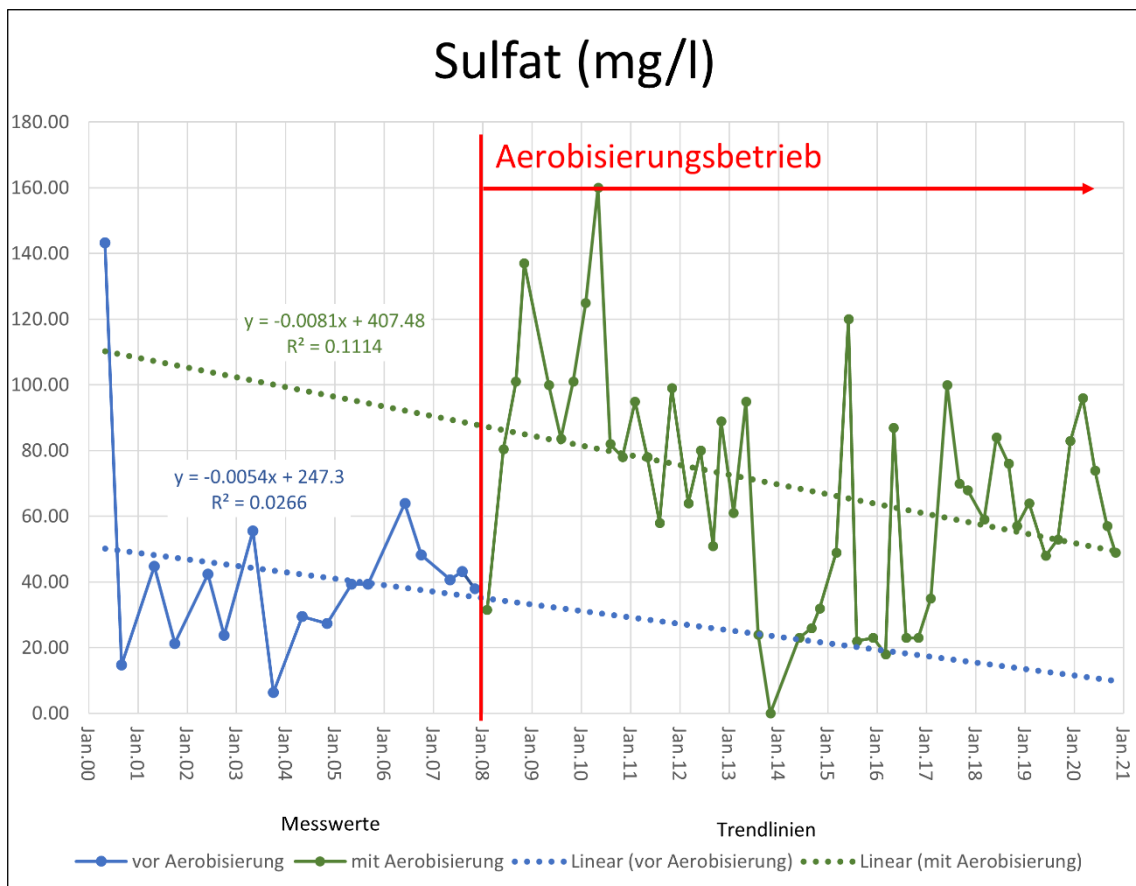
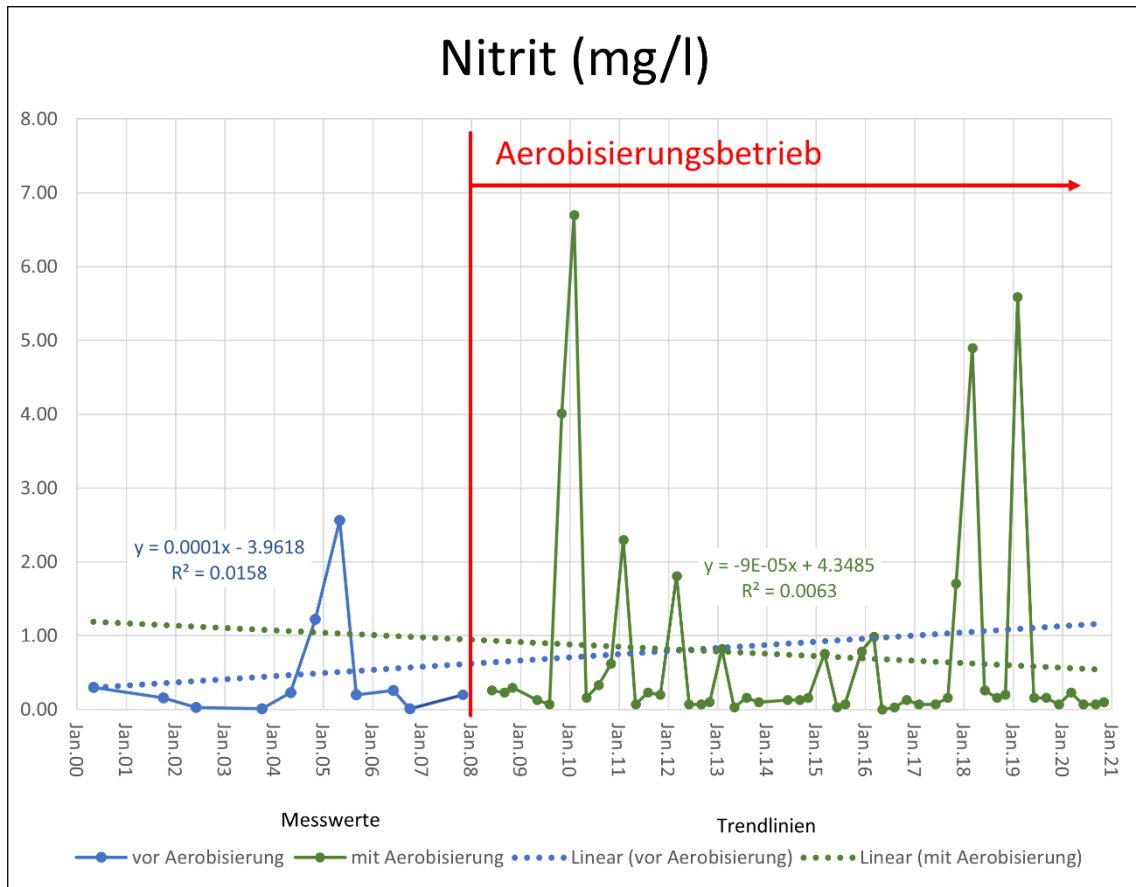


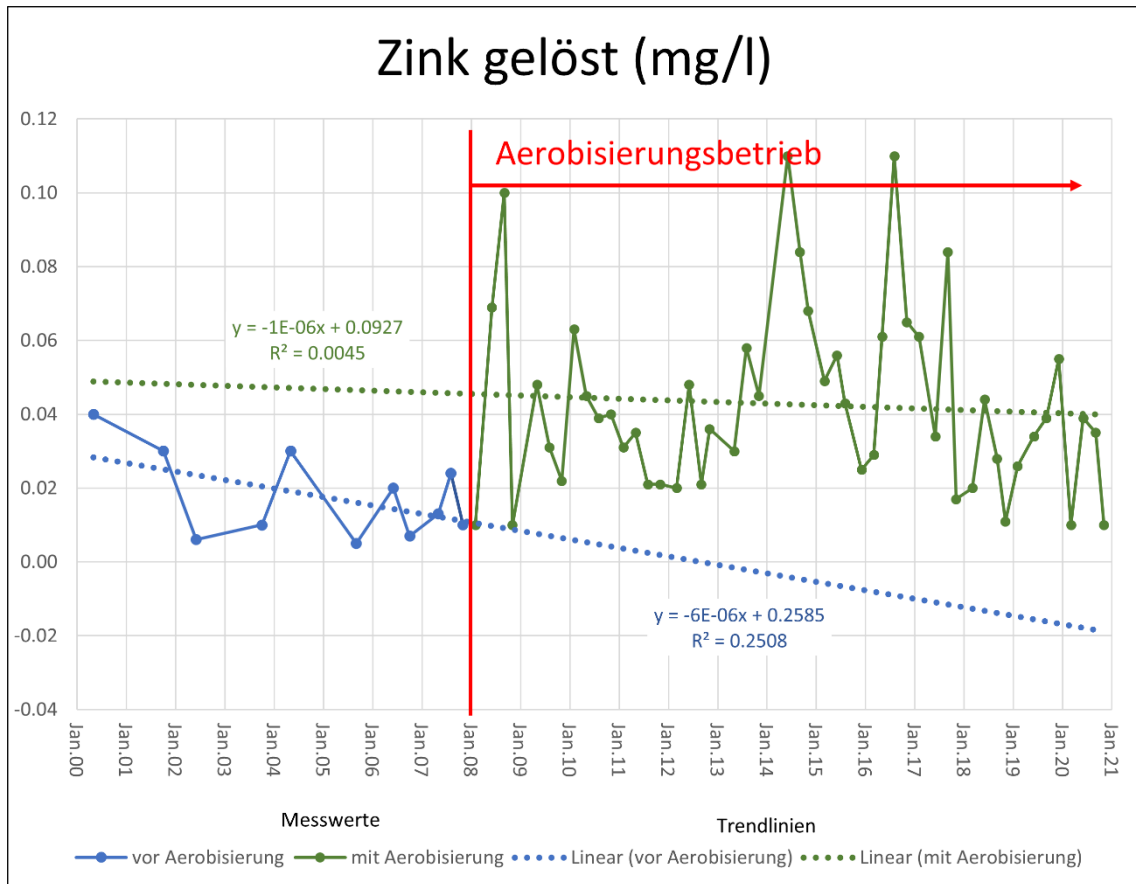




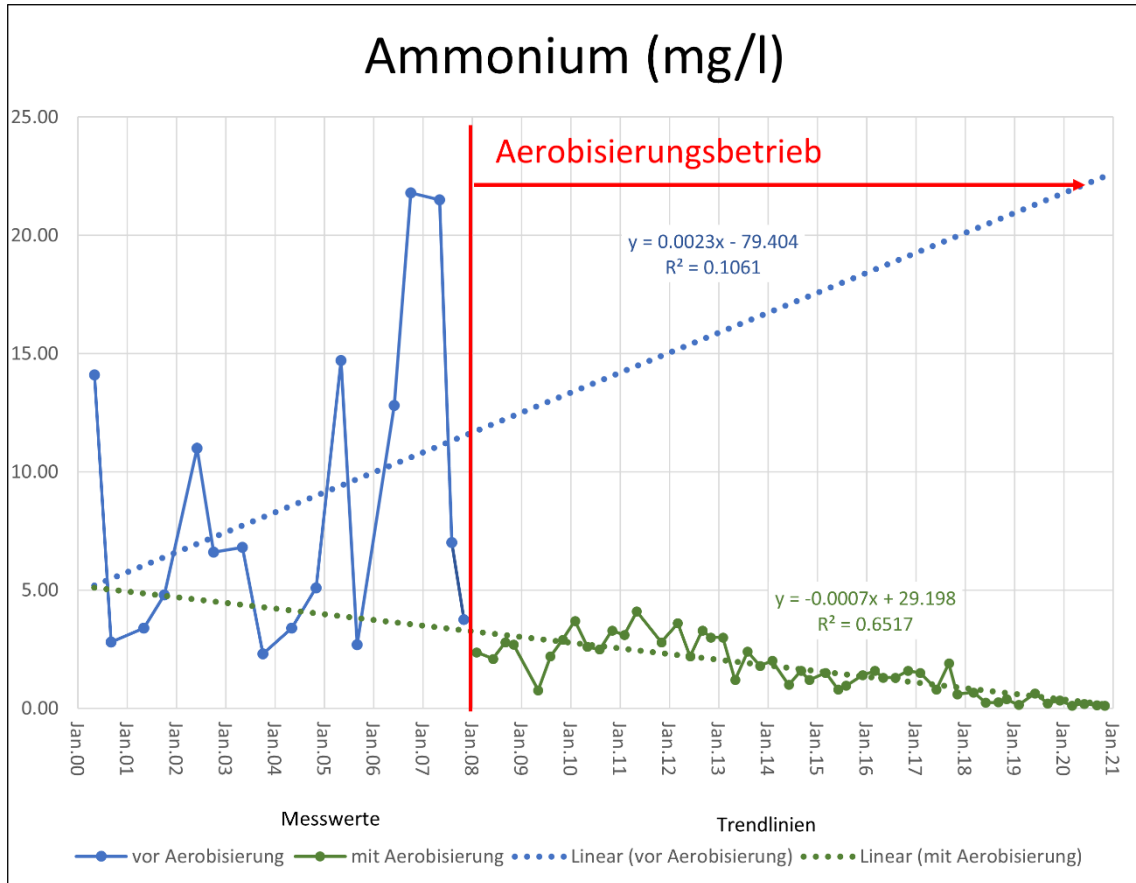


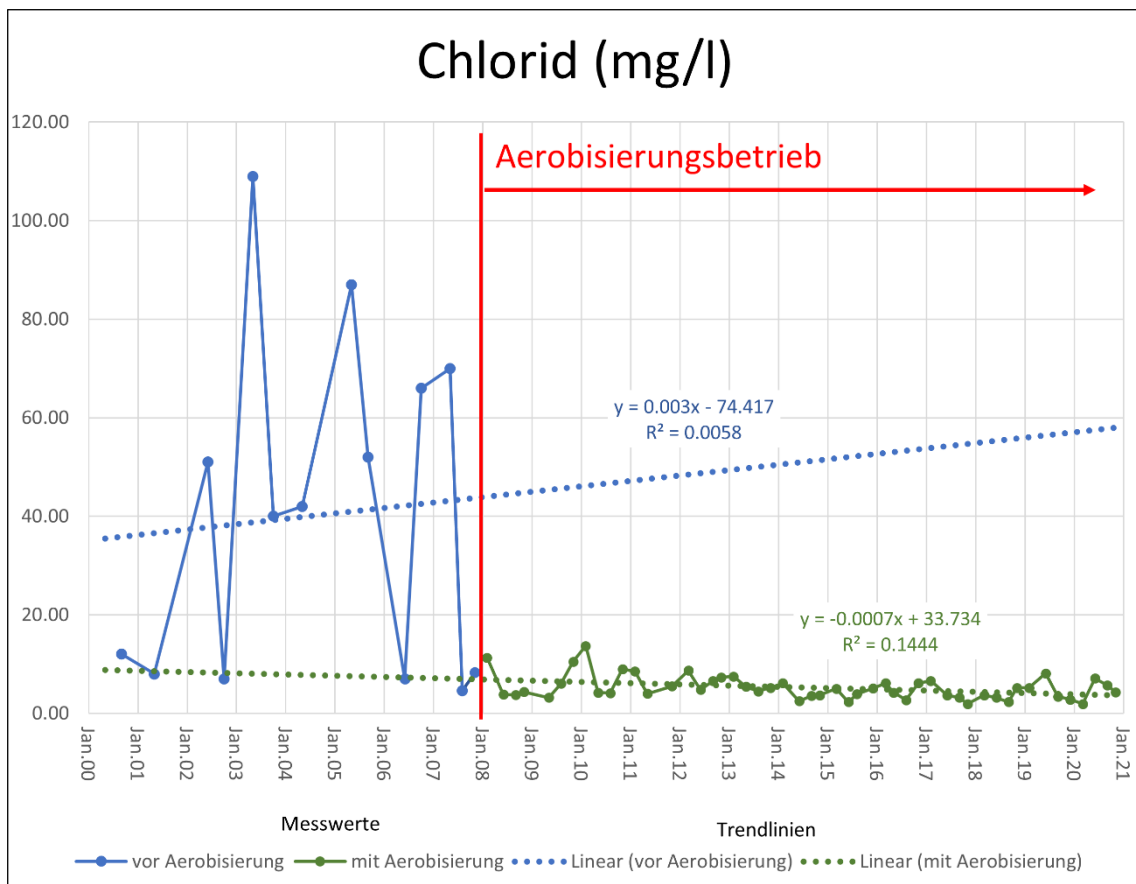
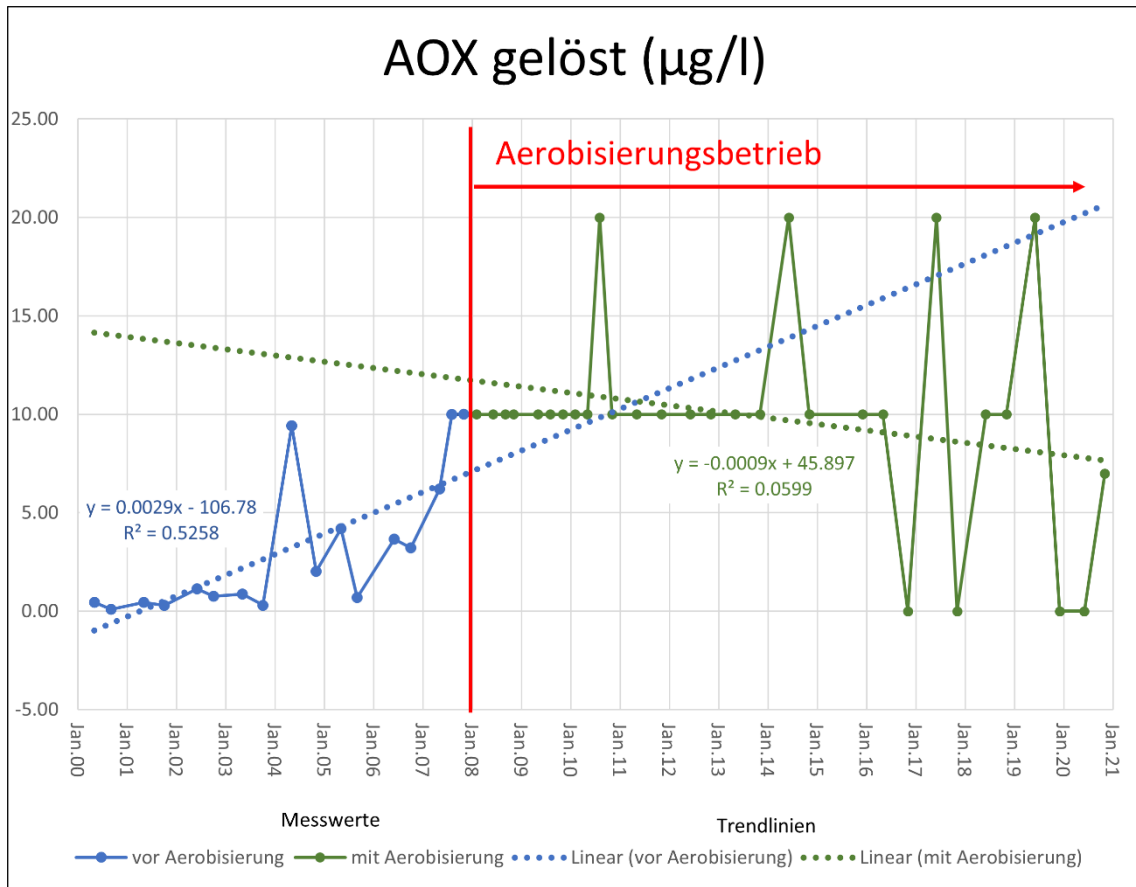


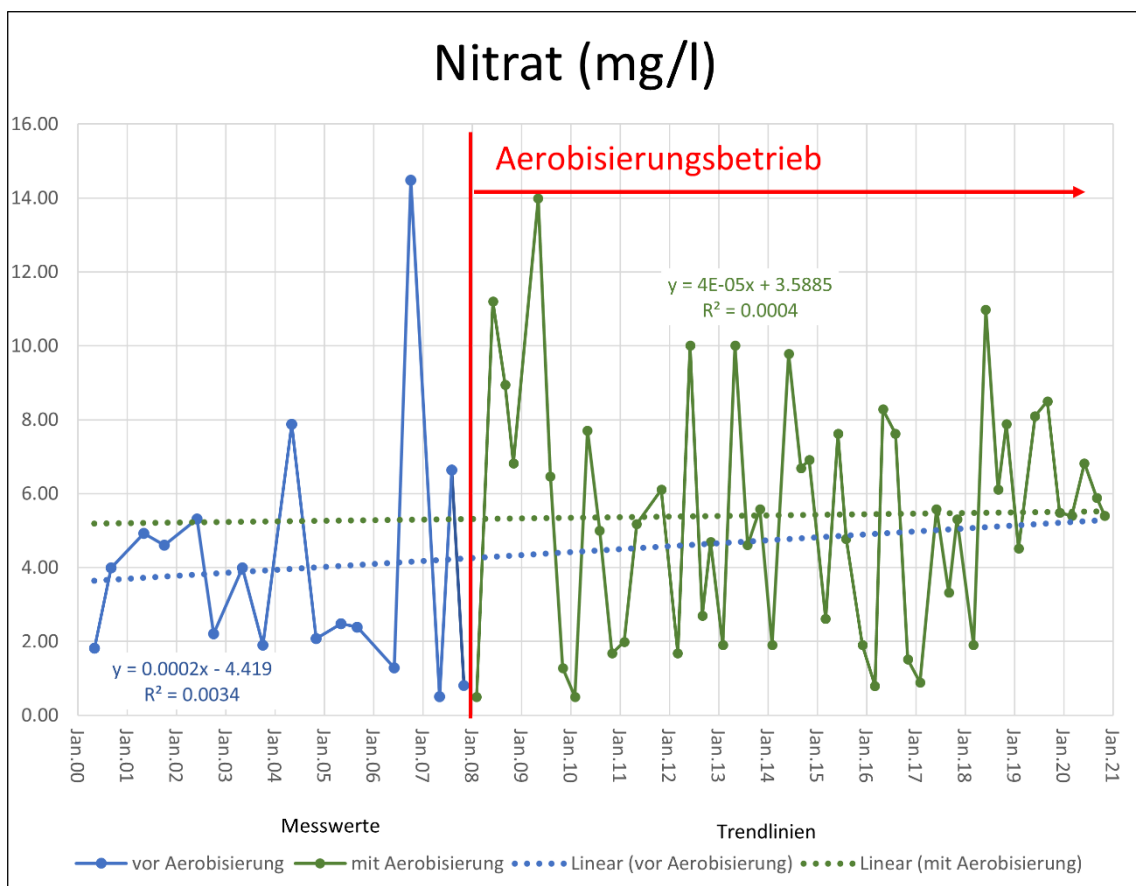
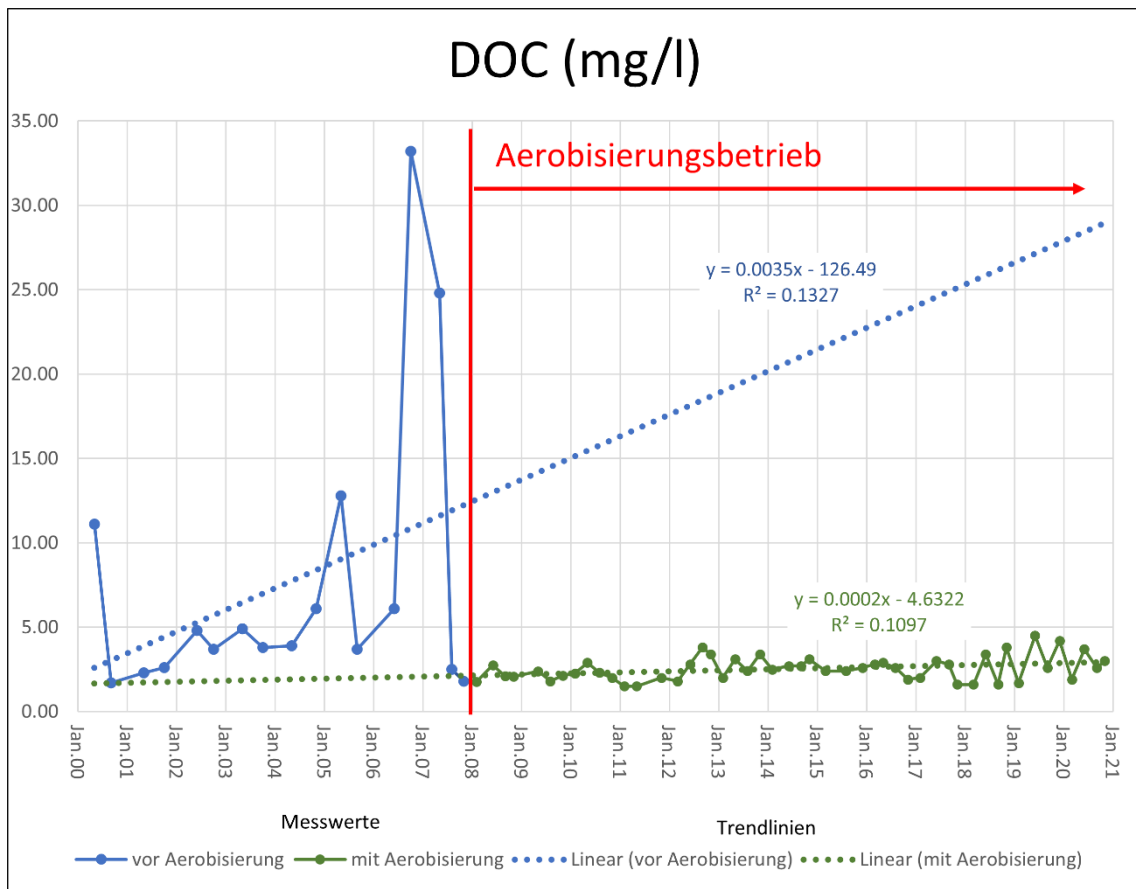




Sass Grand 19A/29A:

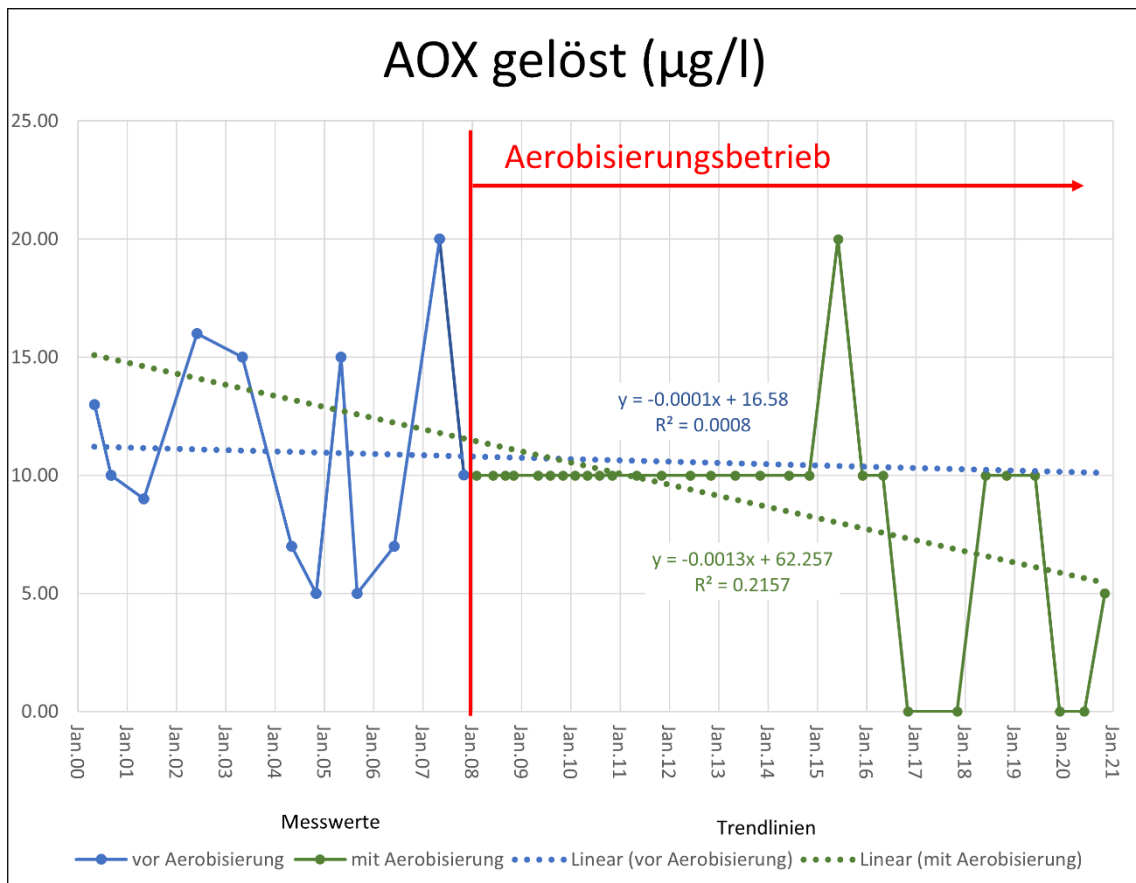
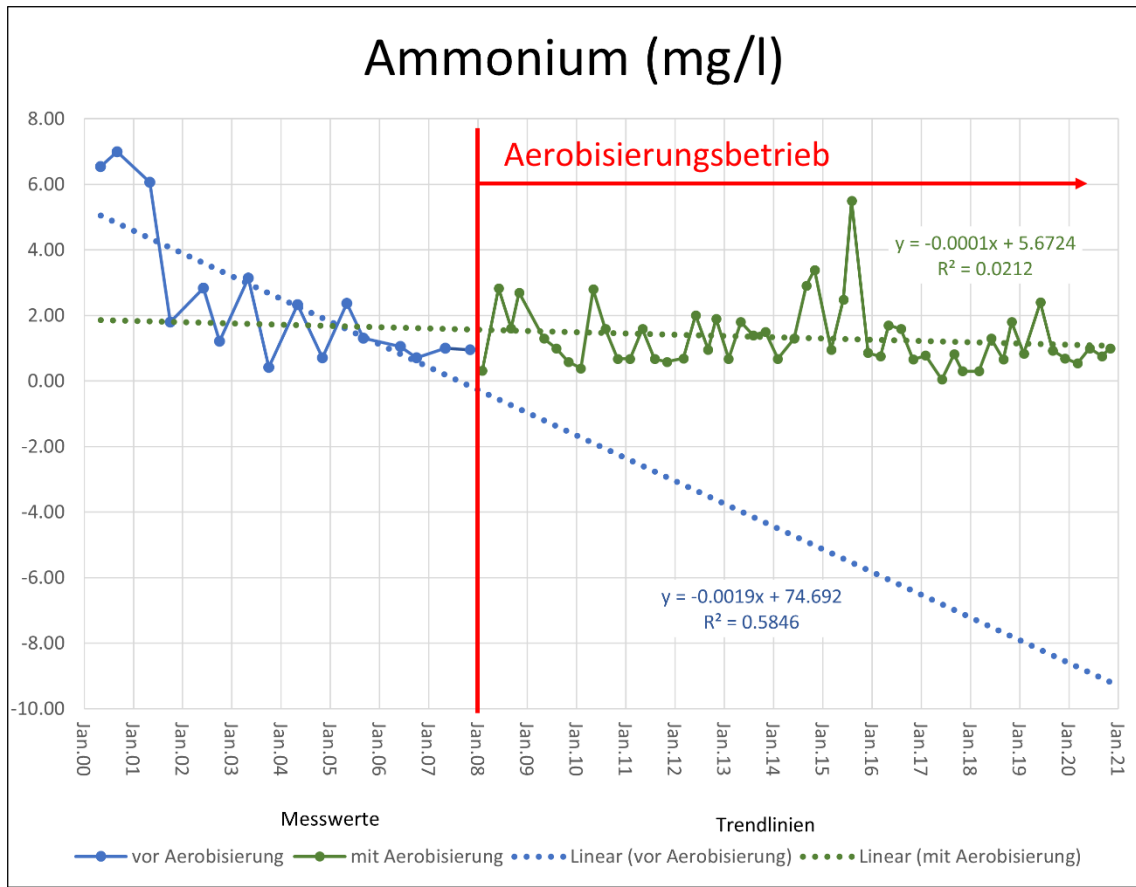


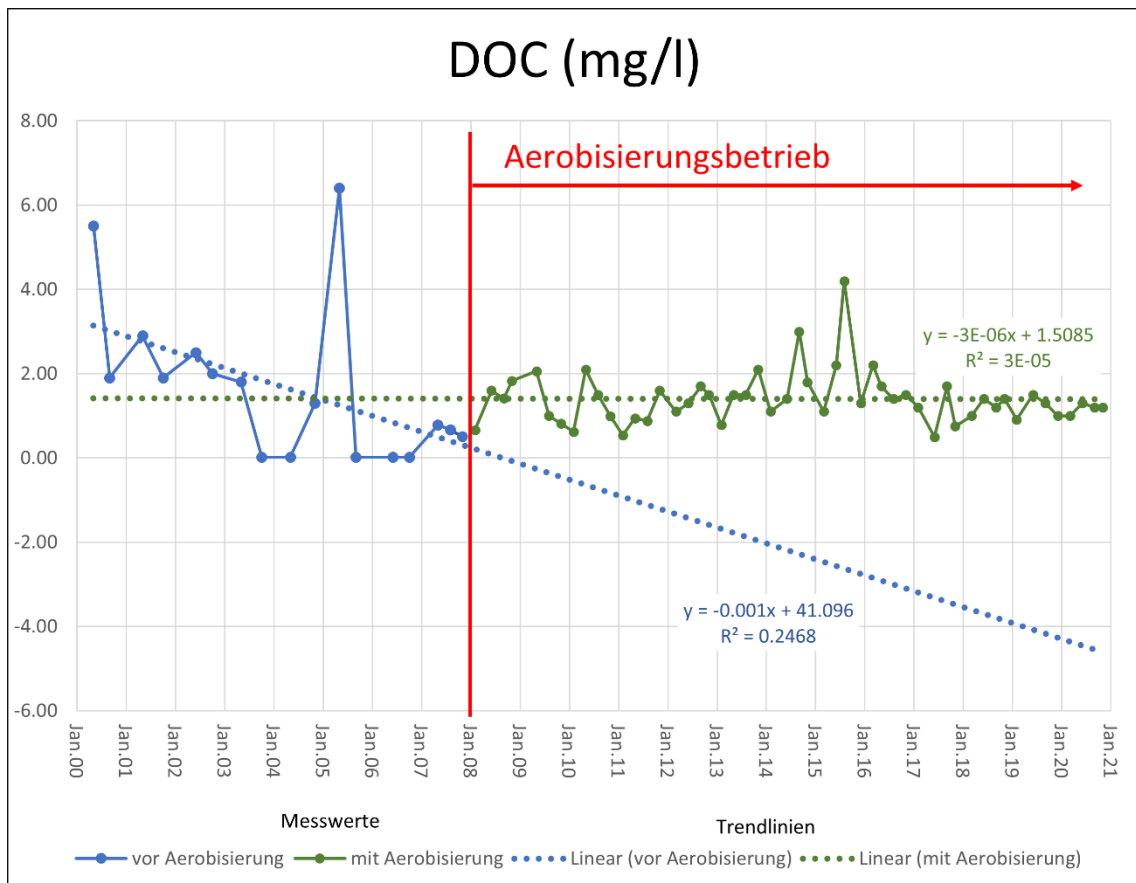
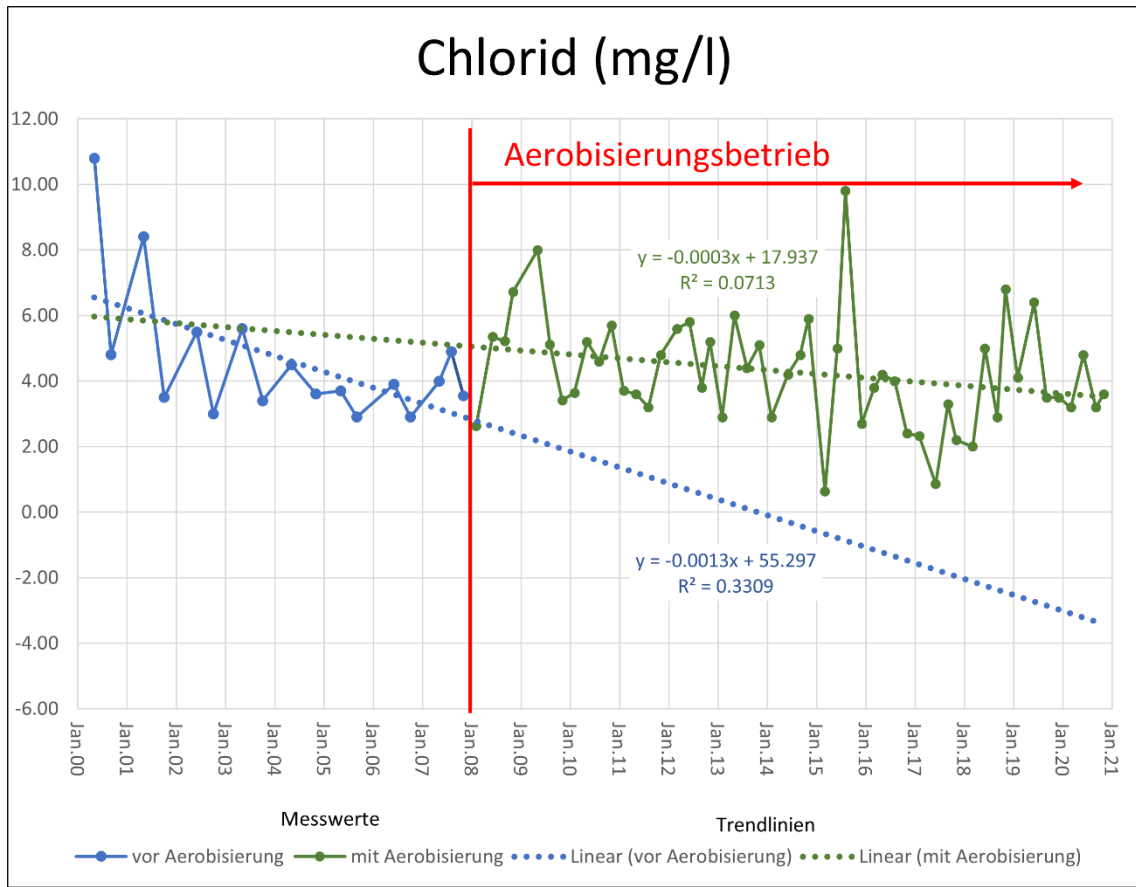


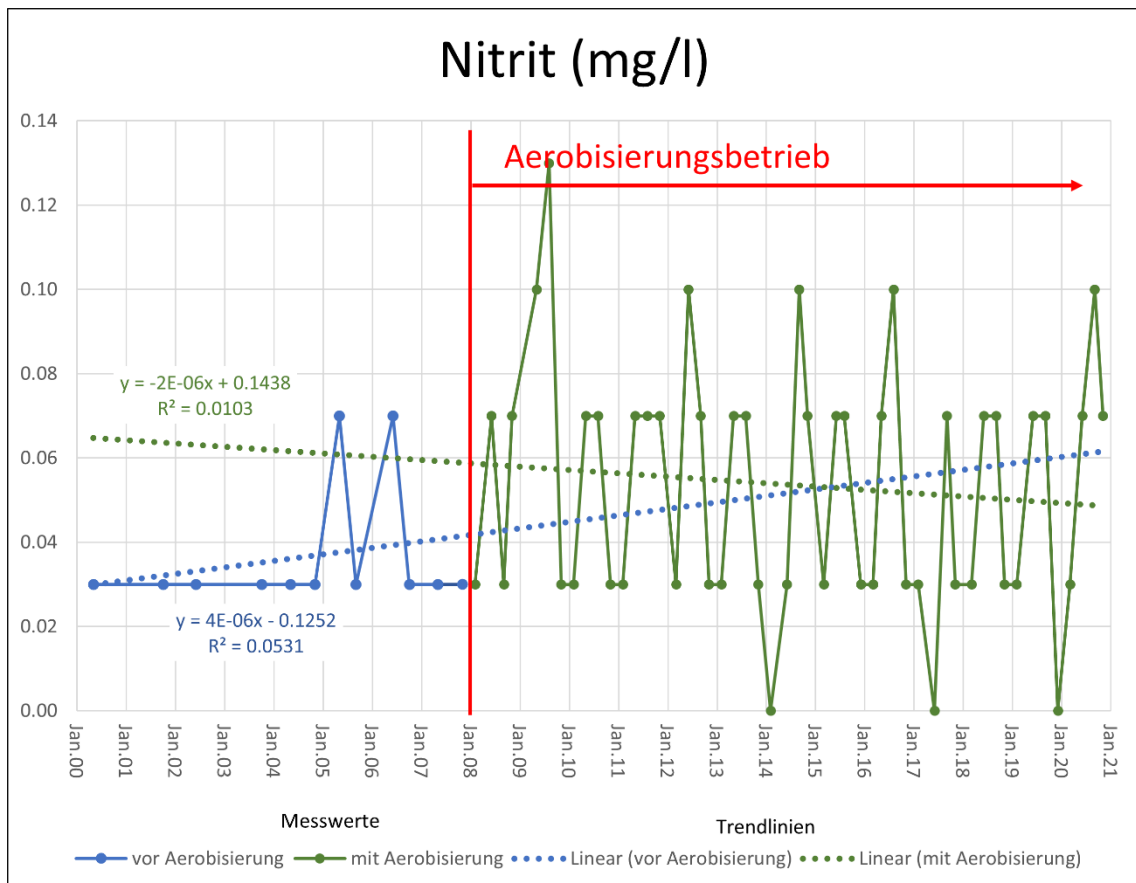
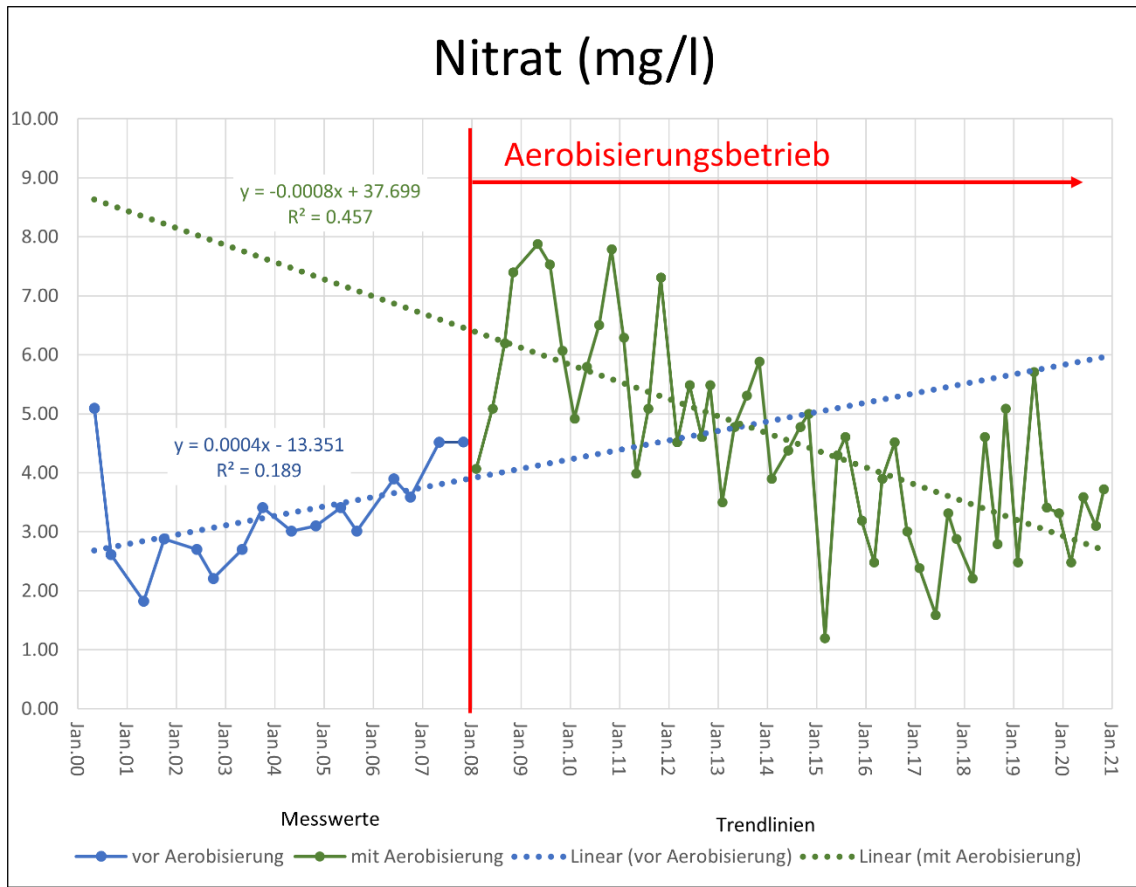


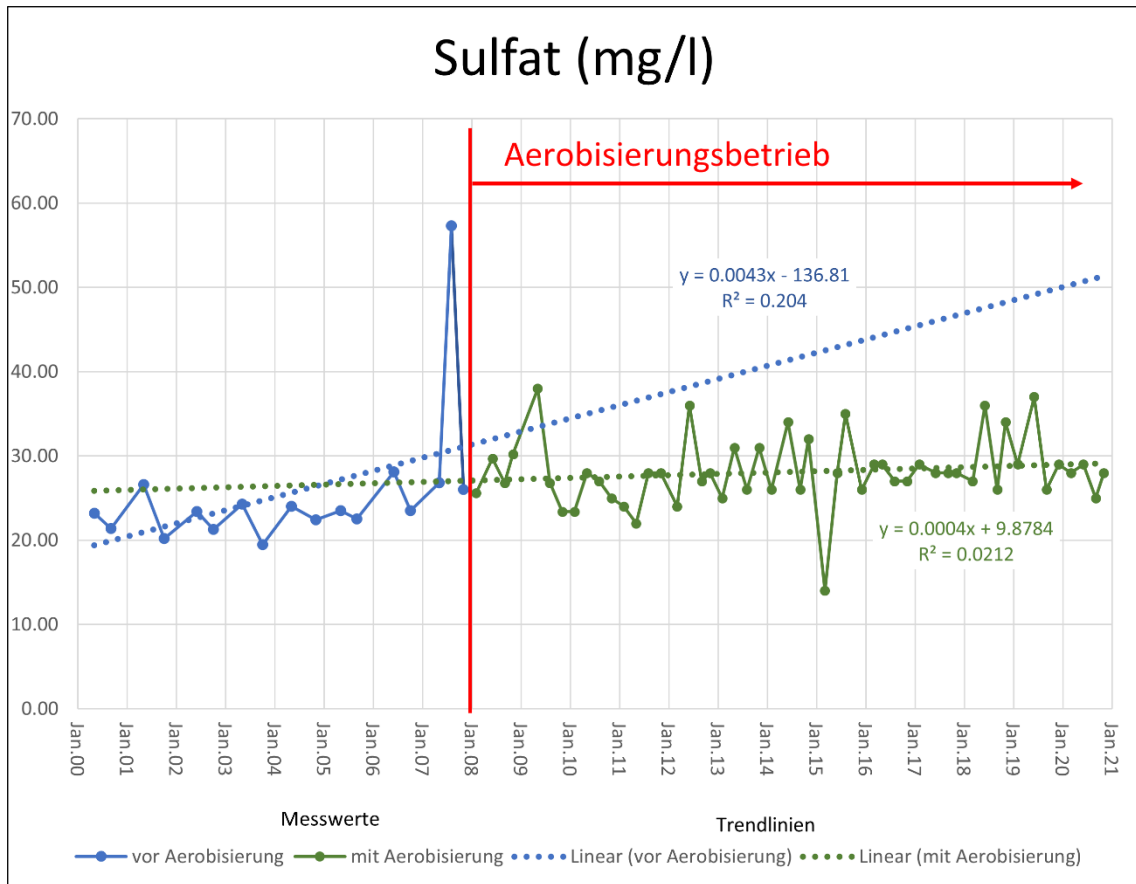


Anhang 5 Deponie Sass Grand: Belastung Isellasbach



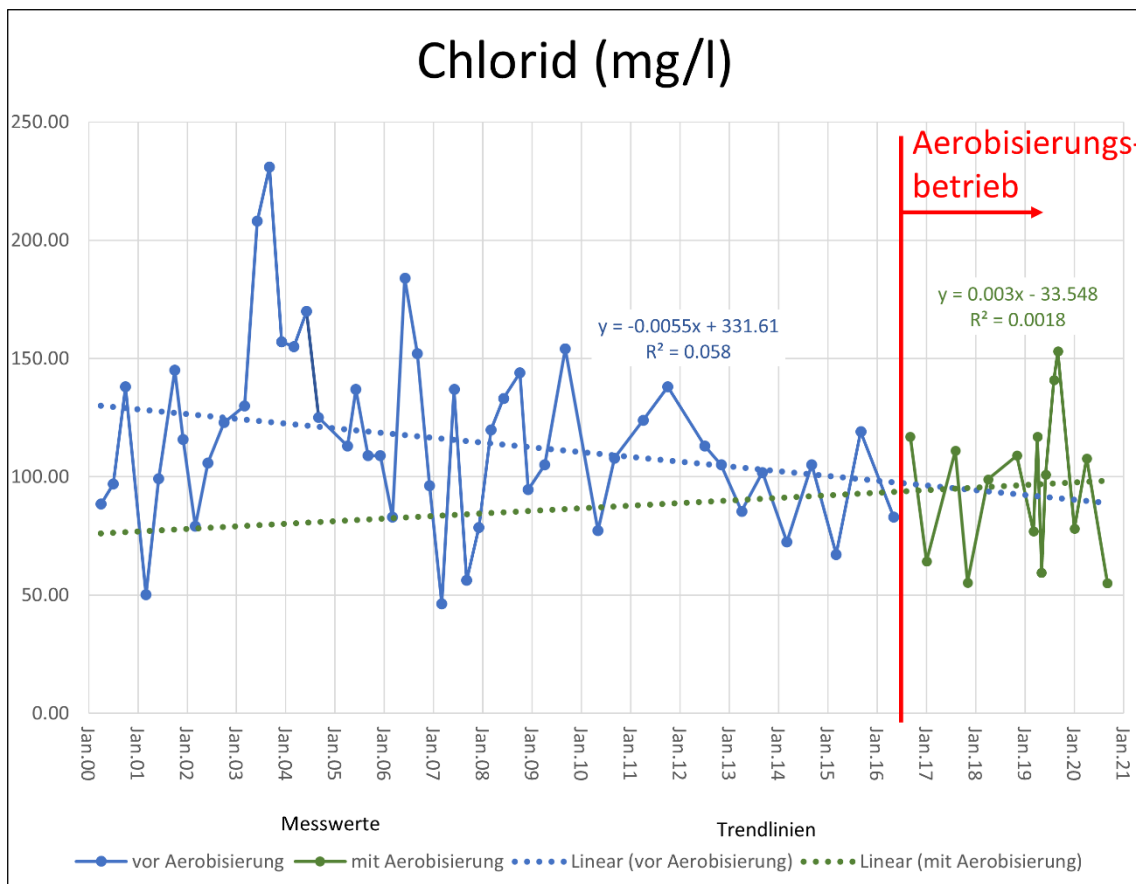
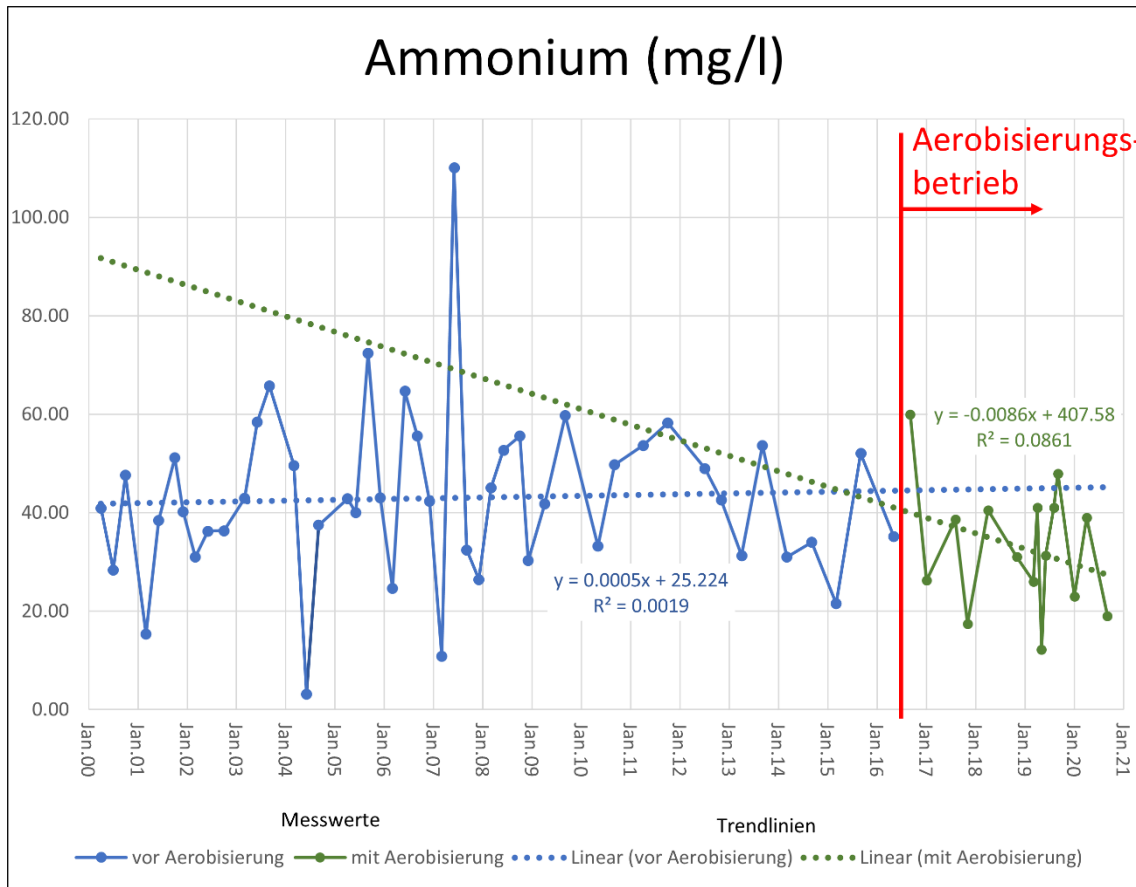


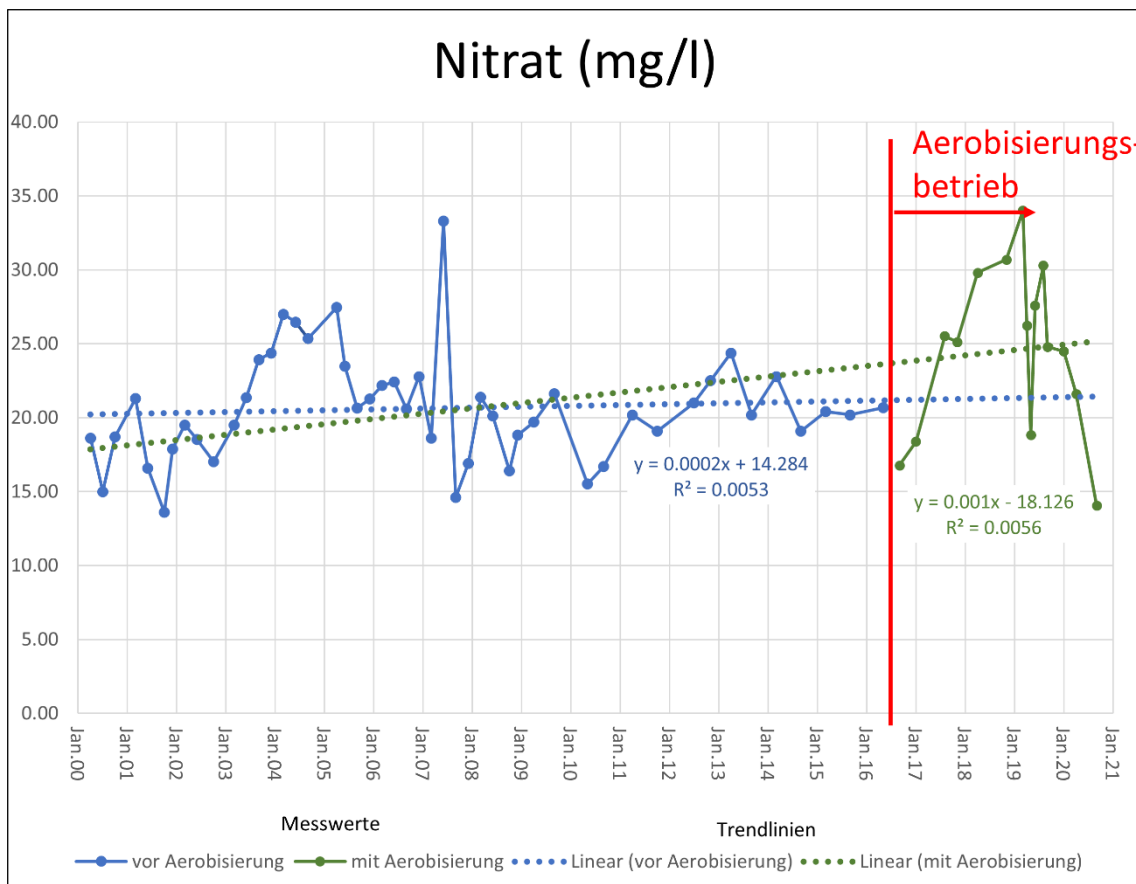
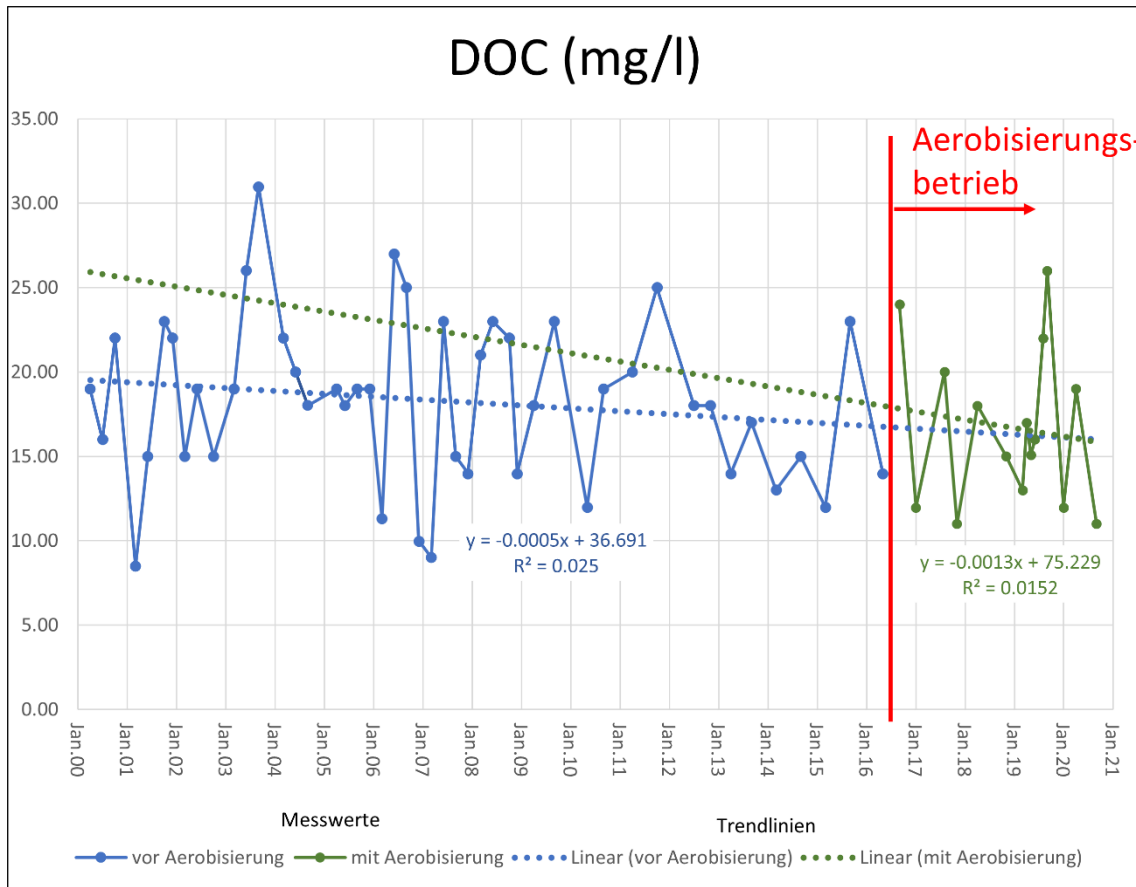


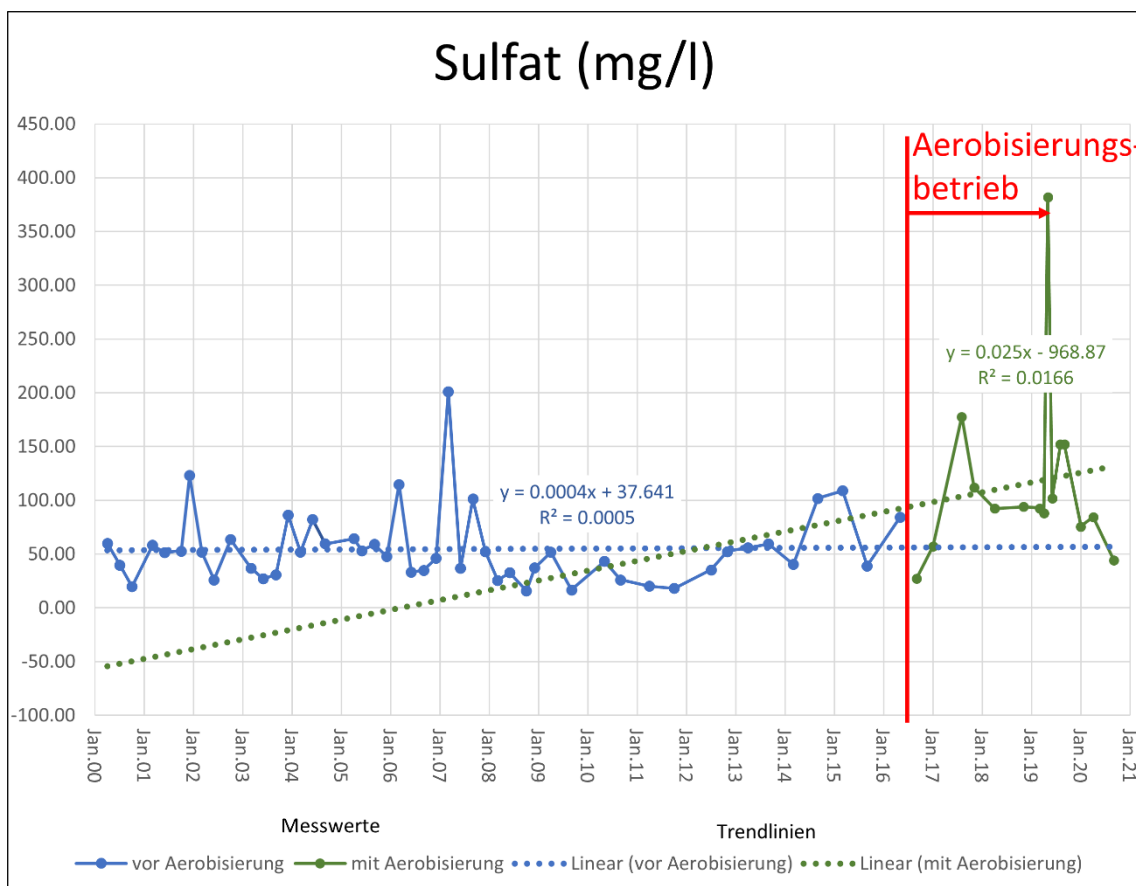
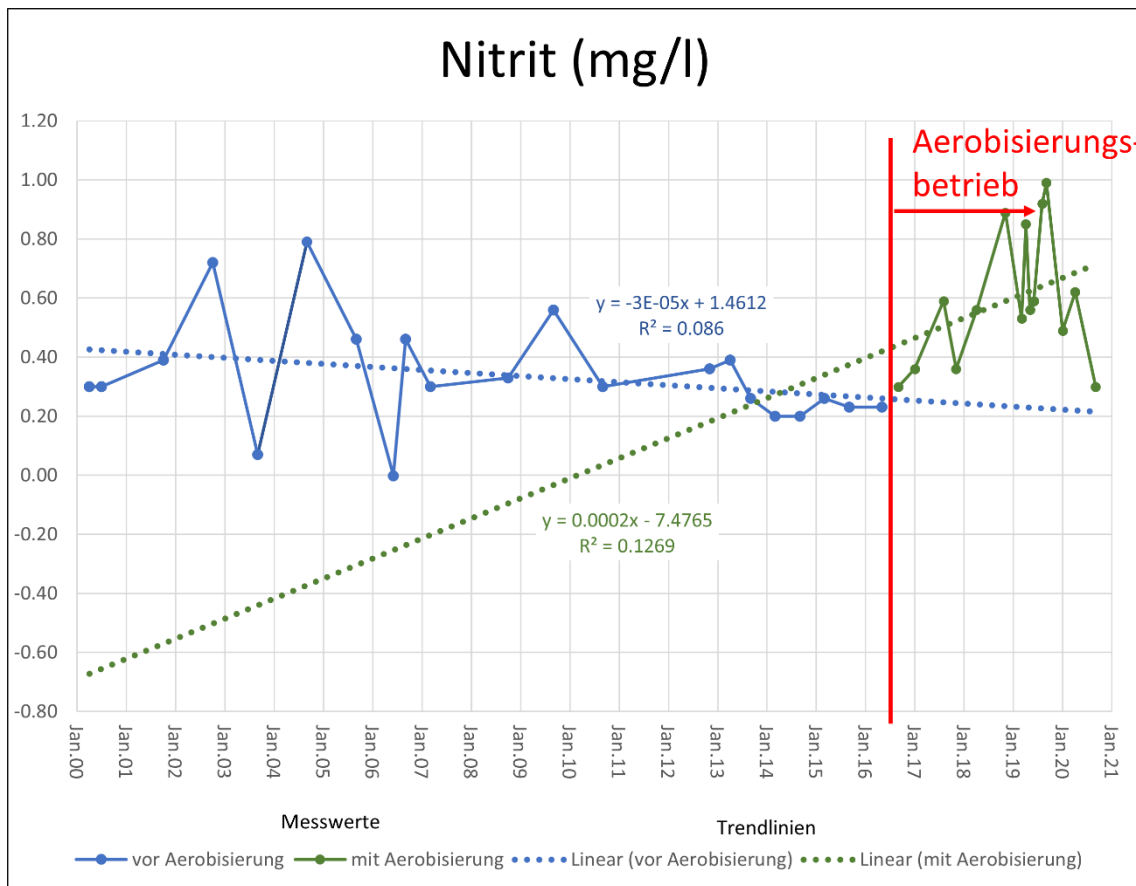




Anhang 6 Deponie Kehlhof: Belastung Sickerwasser







Anhang 7 Kriterien für die Anwendung der Aerobisierung

Kriteriengruppe 1 – Beantwortung vor Absaugversuchen möglich

Kriterium	Relevanz / Bemerkungen
Schadstoffe	Eine Aerobisierung kommt als Sanierungsmethode in Frage, wenn die relevanten Schadstoffe organisch abbaubar sind (z.B. Methan, Ammonium, Nitrit, BTEX, CKW). Die Methode eignet sich insbesondere auch, um Belastungen in Grund- und Oberflächenwasser zu reduzieren. Denkbar ist auch die Kombination der Aerobisierung mit anderen Verfahren.
Wasser	Eine Deponie lässt sich nicht aerobisieren, wenn die Poren wassergefüllt sind. Wenn die Deponie eingestaut ist, ist eine Aerobisierung trotzdem denkbar, sofern der Deponiekörper entwässert werden kann. Dazu sind Kenntnisse über die hydraulische Durchlässigkeit des eingelagerten Deponiematerials erforderlich. Möglichkeiten zur Entwässerung sind Horizontalbohrungen an der Deponiebasis oder die Einrichtung von Pumpen in vertikalen Saugpegeln. Beim Einrichten von Pumpen in vertikalen Saugpegeln ist jedoch in Betracht zu ziehen, dass lange Pegel sich durchbiegen oder knicken können, was einen Pumpbetrieb verhindert. Je nach Verhältnissen sind die Pegel baulich verstärkt auszuführen.
Deponiegrösse	Die Aerobisierung erfordert Investitionen von mehreren hunderttausend Franken. Für sehr kleine Deponien können andere Verfahren ökonomischer sein.
Deponiemächtigkeit	Bei einer wenig mächtigen Deponie (< 3m) ist das Risiko von Kurzschlüssen zu beachten. Anstelle von Vertikalbohrungen kann das Problem allenfalls durch horizontale Saugstränge an der Deponiebasis gelöst werden.
Zugänglichkeit	Der Deponiekörper muss für Sondier- und Bauarbeiten zugänglich sein.
Nutzung Deponiefläche	Gebäude oder andere wichtige Anlagen auf dem Deponiekörper können infolge der möglichen Setzungen ein Hindernis für die Aerobisierung sein.

Kriteriengruppe 2 – Beantwortung erst durch Absaugversuche möglich

Kriterium	Relevanz / Bemerkungen
Luftdurchlässigkeit	Im Rahmen von Absaugversuchen muss geklärt werden, ob genügend grosse Anteile des Deponiekörpers so luftdurchlässig sind, dass sie aerobisiert werden können.
Kurzschlusspotential	Bestehende Leitungen im Deponiekörper können Kurzschlüsse erzeugen und eine erfolgreiche Aerobisierung verhindern. Kurzschlüsse zeigen sich durch hohe Sauerstoffgehalte im abgesaugten Deponiegas.
Gaszusammensetzung und -mengen	In Absaugversuchen muss geklärt werden, wie weit im Deponiekörper anaerobe Verhältnisse bestehen und welche Unterdrücke bzw. Absaugmengen erforderlich sind, um den Deponiekörper zu aerobisieren. Damit kann auch die Anlagengösse dimensioniert werden.