

Universität für Bodenkultur
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt
Institut für Abfallwirtschaft



Nachsorgedauer von Baurestmassendeponien

Masterarbeit
Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieurin

eingereicht von
Stefanie Holy
H 066 431 / 01127182

betreut von
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Marion Huber-Humer

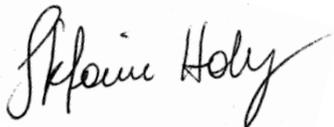
Wien, im März 2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig verfasst habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

A handwritten signature in black ink, reading "Stefanie Holy". The signature is written in a cursive style with a large initial 'S'.

Stefanie Holy

Wien, im März 2020

Kurzfassung

Die Bewirtschaftungsdauer einer Deponie geht meist weit über die Ablagerungsphase hinaus. In den letzten Jahrzehnten wurden viele Studien zum Thema Nachsorgedauer von Deponien verfasst, wobei der Fokus auf alten Hausmülldeponien bzw. Schlackedeponien liegt.

In der vorliegenden Arbeit werden Daten aus dem Mess- und Überwachungsprogramm von Baurestmassendeponien in Österreich erhoben, analysiert und mit Daten anderer Deponietypen aus der Literatur verglichen. Durch Anfrage bei Deponiebetreibern konnten Daten zu Ablagerungsmengen, Abfallarten, Sickerwasserkonzentrationen, klimatischen Bedingungen und baulichen Maßnahmen erhoben und anonymisiert ausgewertet werden. Die Auswertung der Daten gibt Aufschluss über die Qualität der Monitoringdaten von Baurestmassendeponien in Österreich und ermöglicht eine Abschätzung der langfristigen Entwicklung von Emissionen. Durch den Vergleich mit anderen Deponietypen aus internationalen Studien wird untersucht, ob eine Abgrenzung hinsichtlich der Nachsorgedauer möglich ist.

Es konnten Daten von 13 Baurestmassendeponien erhoben und ausgewertet werden. Die Auswertung der erhobenen Daten hat veranschaulicht, dass sich die Qualität bzw. die Verfügbarkeit der Monitoringdaten mit der DVO-Novelle im Jahr 2008 deutlich verbessert hat. Die statistische Analyse der Sickerwasserdaten zeigt, dass überwiegend die Grenzwerte von Sulfat (SO_4) und anorganischem Gesamtstickstoff (N_{ges}), zur direkten bzw. indirekten Einleitung in einen Vorfluter, überschritten werden. Durch die Betrachtung ausgewählter Sickerwasserkonzentrationen im Bezug zur Gesamtmenge an Baurestmassen konnten vor allem beim Sulfatgehalt im Sickerwasser höhere Werte bei einem Verhältnis abgelagerter Bauschutt zu Bodenaushub größer 1 beobachtet werden. Allerdings wurden auch bei Standorten, welche ein Verhältnis deutlich unter 1 aufweisen, Sulfatkonzentrationen über dem Grenzwert gemessen. In Bezug zum Wasser-Feststoff-Verhältnis konnten erwartungsgemäß geringere Konzentrationen löslicher Salze bei höherem Wasserdurchsatz beobachtet werden. Die Betrachtung der Emissionsverläufe nach Ablagerungsende hat veranschaulicht, dass auch zehn Jahre nach einer Oberflächenabdichtung die SO_4 -Konzentrationen weit über dem Grenzwert liegen. Der anorg. N_{ges} -Gehalt ist nach dieser Dauer unter den Grenzwertbereich abgesunken. Für drei Standorte wurden grobe Stoffbilanzen für ausgewählte Parameter erstellt. Diese haben aufgezeigt, dass die Stoffe überwiegend im Deponiekörper verbleiben.

Im Vergleich zu anderen Studien liegen $\text{NH}_4\text{-N}$, TOC, und Cl im Sickerwasser von Schlackedeponien deutlich höher als bei Baurestmassendeponien, die Konzentrationen an SO_4 , Cu, und Cr liegen in einem ähnlichen Bereich. Bei Massenabfalldeponien liegen die Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ und TOC deutlich darüber. Die Gegenüberstellung zeigt, dass es im Sickerwasser von Baurestmassendeponien bei weniger Parametern zu Grenzwertüberschreitungen kommt.

Da das untersuchte Datenmaterial zeigt, dass es bei Baurestmassendeponien doch zu deutlich weniger Grenzwertüberschreitungen im Sickerwasser als bei Reststoff- bzw. Massenabfalldeponien kommt, könnte die Gleichstellung dieser Deponietypen hinsichtlich Nachsorgedauer eventuell neu diskutiert und überdacht werden.

Abstract

The aftercare period of a landfill extends far beyond the deposition phase. In the past many studies have been written on the subject of aftercare duration of landfills, whereby mostly old municipal solid waste landfill or landfills with incineration residues have been examined in more detail.

In the present work data from the measurement and monitoring program of construction and demolition waste landfills (C&D landfills) in Austria were collected, analysed and compared with other types of landfill from different studies. By inquiring at landfill operators data on deposits, types of waste, leachate concentrations, climatic conditions and construction measures could be collected and evaluated anonymously. Evaluating the data is intended to provide information about the quality of the monitoring data from C&D landfills in Austria. In addition, the long-term behavior of the emissions should be examined. The comparison with other landfill types from international studies should show whether it makes sense to differentiate the aftercare duration of C&D landfills from waste incineration slag and landfills made of mechanically and biologically treated (MBT) waste.

Data from 13 C&D landfill sites could be collected and analysed.

The evaluation of the monitoring data has shown that the quality and availability raised due to the reissue of the landfill ordinance in 2008. The statistical analysis of the leachate data shows that mainly the limit values of sulfate (SO_4) and total inorganic nitrogen (N_{ges}) for direct or indirect discharge into a receiving water are exceeded. The consideration of selected leachate concentrations in relation to the amount of construction waste has shown that higher values for the sulfate content were observed, at a C&D waste to soil ratio greater than 1. Indeed, sulfate contents far above the limit were also measured at sites where the ratio is significantly below 1. In relation to the water-solid (w/s) ratio lower concentrations of soluble salts were observed at higher w/s. The evaluation of the leachate concentrations after the end of deposition has shown that ten years after surface sealing the SO_4 concentrations are still far above the maximum permissible value. After this period the inorganic N_{ges} content dropped below the limit value. Rough material balances for selected parameters were analyzed for three C&D landfill sites. These have indicated that the substances mostly remain in the landfill body.

In comparison to other studies the $\text{NH}_4\text{-N}$, TOC and Cl of the slag landfills are significantly higher than those of C&D waste landfills. The concentrations of SO_4 , Cu and Cr are at a similar range. At MBT landfills the parameters $\text{NH}_4\text{-N}$ and TOC are significantly higher. The comparison shows that there are fewer parameters in the leachate of C&D waste landfills that exceeded the maximum permissible values.

As fewer leachate concentration data of C&D waste landfills exceed the regulatory limit values, particularly compared to slag or MBT landfills, the equality in terms of the duration of aftercare should be discussed and reconsidered.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1	Hintergrund und Motivation	1
1.2	Ziel und Forschungsfragen der Arbeit	2
2.	Allgemeine Grundlagen	4
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen für die Deponierung von Abfällen in Österreich	4
2.2	Definition unterschiedlicher Deponietypen	9
2.2.1	Bodenaushubdeponie	9
2.2.2	Inertabfalldeponie	10
2.2.3	Deponie für nicht gefährliche Abfälle	10
2.2.3.1	<i>Baurestmassendeponie</i>	11
2.2.3.2	<i>Reststoff- und Massenabfalldeponie</i>	11
2.3	Rechtlicher Rahmen zur Beendigung der Deponienachsorge	12
2.3.1	Finanzielle Sicherstellungen	13
2.4	Allgemeine Prozesse in Deponien	14
2.5	Entstehung und Zusammensetzung von Sickerwasser	15
2.5.1	Kritische Parameter zur Beurteilung von Deponieemissionen	17
2.6	Deponieverhalten unterschiedlicher Substanzen	19
2.6.1	Deponieverhalten organischer Substanzen (MAD)	19
2.6.2	Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken (RSD).....	21
2.6.3	Deponieverhalten von Baurestmassen (BRMD)	23
2.7	Einfluss auf die Prozesse in Deponien	24
2.7.1	Art und Zusammensetzung abgelagerter Abfälle	24
2.7.2	Klimatische Bedingungen am Standort	25
3.	Methodik.....	27
3.1	Datenerhebung	27
3.1.1	Auswahl der Deponiestandorte	27
3.2	Aufbereitung der Daten	28
3.3	Auswertung der Daten	30
3.3.1	Ermittlung des Wasser/Feststoff-Verhältnisses von Deponien.....	30
3.3.2	Ermittlung der mittleren Ablagerungsdauer.....	31
3.3.3	Ermittlung des Verhältnisses Bauschutt zu Bodenaushub.....	32
3.3.4	Abschätzung von Stoffbilanzen.....	32
4.	Ergebnisse und Interpretation	34
4.1	Auswertung der Anfragen	34
4.2	Datengrundlage	34
4.2.1	Qualität der erhobenen Daten.....	36
4.3	Beschreibung der erhobenen Deponiestandorte	39
4.3.1	Standort D1.....	39
4.3.2	Standort D2.....	40
4.3.3	Standort D3.....	42
4.3.4	Standort D4, D5, D6 und D8	43
4.3.5	Standort D7.....	43
4.3.6	Standort D9.....	45
4.3.7	Standort D10.....	45

4.3.8	Standort D11.....	46
4.3.9	Standort D12.....	46
4.3.10	Standort D13	47
4.4	Vergleich der erhobenen Standorte	49
4.4.1	Abfallzusammensetzung der erhobenen Baurestmassendeponien	49
4.4.2	W/F-Verhältnis der erhobenen Standorte	50
4.4.3	Parameterbereiche der Sickerwasserkonzentrationen.....	51
4.5	Darstellung der Daten	53
4.5.1	Ausgewählte Sickerwasserparameter der erhobenen Deponiestandorte in Bezug zur mittleren Ablagerungsdauer.....	53
4.5.2	Ausgewählte Sickerwasserparameter bezogen auf das Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub.....	60
4.5.3	Ausgewählte Sickerwasserparameter bezogen auf das W/F - Verhältnis.....	61
4.5.4	Frachtverlauf ausgewählter Sickerwasserparameter bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer.....	63
4.5.5	Stoffbilanzen	65
4.5.6	Boxplots ausgewählter Parameter im Sickerwasser bezogen auf die Jahre nach Abdichtung der Standorte/Kompartimente	68
4.6	Gegenüberstellung der erhobenen Daten mit Literaturdaten	70
4.6.1	Beschreibung der vergleichenden Literatur	70
4.6.2	Vergleich ausgewählter Sickerwasserparameter der erhobenen Deponien mit Daten aus der Literatur in Bezug auf die Ablagerungsdauer	72
4.6.3	Vergleich ausgewählter Sickerwasserparameter in Form von Box-Plots	74
4.6.4	Vergleich Stoffbilanzen	78
4.6.5	Vergleich untersch. Deponietypen über die Betriebsdauer	80
5.	Zusammenfassende Betrachtung.....	85
6.	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	89
	Literaturverzeichnis	90
	Abbildungsverzeichnis	93
	Tabellenverzeichnis.....	97
	Anhang	

Abkürzungsverzeichnis

AAEV	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung
anorg.	anorganisch
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Kohlenstoffe
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BMFLUW	Bundesministerium für Forst-, Landwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Bezeichnung bis 2018)
BRMD	Baurestmassendeponie
BS/BA	Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub [-]
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Cr _{ges}	Chrom-gesamt
C&D	construction and demolition
DVO	Deponieverordnung
EDM	Elektronisches Datenmanagement - Umwelt
F	Feststoff [kgTS]
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)
mAd	mittlere Ablagerungsdauer
MAD	Massenabfalldeponie
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung
MBT	mechanical biological treatment
MVA	Müllverbrennungsanlage
M%	Masseprozent
N _{ges}	anorganischer Gesamtstickstoff
NH ₄	Ammonium
NO ₂	Nitrit
NO ₃	Nitrat
org.	organisch
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und verbringungsregister).
RSD	Reststoffdeponie
SN	Schlüsselnummer nach Abfallverzeichnisverordnung
SO ₄	Sulfat
TK	Transferkoeffizient
TN _b	Gesamter gebundener Stickstoff (org. und anorg. Anteil)

TOC	Total Organic Carbon – gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
TS	Trockensubstanz
TWV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
V%	Volumsprozent
W	Wasser [l]
W/F _N	Wasser/Feststoff-Verhältnis ermittelt anhand der Infiltration des Niederschlags in den Deponiekörper
W/F _{SWA}	Wasser/Feststoff-Verhältnis ermittelt anhand der Sickerwassermenge, welche aus dem Deponiekörper abfließt
WRG	Wasserrechtsgesetz

1. Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Die Beseitigung von Abfällen auf Deponien ist trotz immer effizienter werdender Recyclingmaßnahmen eine Notwendigkeit, die generationsübergreifend relevant ist. Sind Stoffe aus technischer, ökologischer oder ökonomischer Sicht nicht rezyklierbar, ist die Deponie als letzte Senke unverzichtbar. Deponien, die nach dem Stand der Technik konzipiert werden, sollten ein umweltverträgliches Maß an Emissionen nicht überschreiten – vor allem über den Zeitraum der Abfallablagerung hinaus. Abbildung 1-1 zeigt eine schematische Darstellung der Bewirtschaftungsphasen einer Deponie.

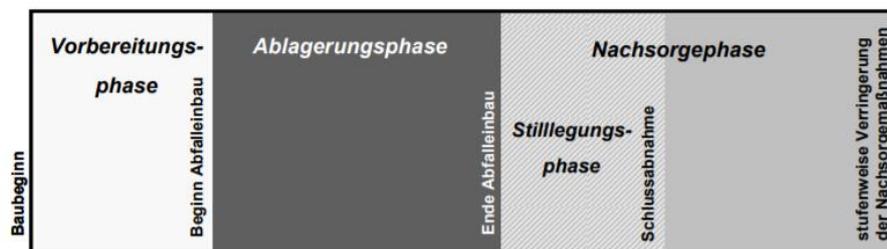


Abbildung 1-1: Bewirtschaftungsphasen einer Deponie (Fellner et al., 2008)

Nach Ende der Ablagerungsphase beginnt die Nachsorgephase. Das Mess- und Überwachungsprogramm gemäß Deponieverordnung (DVO 2008) muss aufrechterhalten werden. Diese Maßnahmen sind im Wesentlichen die Erfassung und Behandlung der bestehenden Emissionen, die Kontrolle des Deponiekörpers sowie die der technischen Einrichtungen und alle dafür notwendigen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Der Deponiebetreiber ist für die Aufrechterhaltung dieser Maßnahmen so lange verantwortlich, wie es die zuständige Behörde unter Berücksichtigung jenes Zeitraumes verlangt, in dem von der Deponie Gefährdungen ausgehen können (Rat der EU, 1999).

Die Ablagerung von Bau- und Abbruchabfällen macht mit rund 17 % (abgesehen von Bodenaushubdeponien) den relevantesten Deponietyp in Österreich aus (BAWP, 2017). Da jeder Mensch auf infrastrukturelle bzw. bauliche Maßnahmen angewiesen ist, gibt dies einmal mehr Anlass dazu den Betrieb dieses Deponietyps nicht nur aus Sicht der Deponiebetreiber, sondern auch aus gesellschaftlicher Sicht umweltverträglich und ökonomisch zu gestalten und Lösungsansätze zur Verringerung der Deponieemissionen zu erarbeiten.

Die notwendige Bewirtschaftungsintensität einer Deponie ist je nach Abfallinventar und Emissionen, technischen Barrieren, sowie Umgebungssituation unterschiedlich (Laner et al., 2011). Obwohl sich zahlreiche Studien mit der Umweltverträglichkeit und dem Emissionsverhalten von Deponien befassen, sind nur wenige Daten aus dem Monitoring von Baurestmassendeponien vorhanden.

Dies liegt wahrscheinlich daran, dass im Hinblick auf die Gefährdung von Mensch und Umwelt bei Baurestmassendeponien von geringerem Potential auszugehen ist, als dies für ehemalige Hausmüll- bzw. Massenabfalldeponien sowie Schlackedeponien der Fall ist. Deshalb wurde weniger Aufmerksamkeit auf diesen Deponietyp gelegt (Laner et al., 2011).

Zudem war die Verfügbarkeit der benötigten Daten für Baurestmassendeponien in der Vergangenheit meist nicht in ausreichendem Umfang vorhanden, um Emissionsverläufe hinreichend analysieren zu können.

Durch die Novellierung der Deponieverordnung im Jahr 2008 sind Aufzeichnungspflichten in Kraft getreten, die Zeitreihen aus dem Monitoring von Deponien sicherstellen. Zudem ist durch die Abfallverzeichnisverordnung gewährleistet, dass jegliche Abfallarten eine genaue Zuweisung erhalten und so über einen längeren Zeitraum nachvollziehbar sind.

Auf Basis dieser Vorgaben sollten durch Auswertung der jeweiligen Deponiejahresberichte folgende Daten vorliegen:

- Wasserhaushalt, und damit die anfallende Sickerwassermenge in Bezug auf die meteorologischen Bedingungen am Standort
- Analyseprotokolle der Sickerwässer, und damit eine Zeitreihe der Sickerwasserkonzentrationen
- Abfallmengen und Abfallarten gegliedert nach Abfallschlüsselnummern und zeitlicher Einbringung
- Vermessungsdaten des Abfallkörpers und damit die Gesamtkubatur der eingebrachten Abfälle
- Alter, bauliche Maßnahmen, Genehmigungsbescheide

Diese Informationen bilden zusammen mit Daten aus der Literatur die Grundlage für die vorliegende Arbeit.

1.2 Ziel und Forschungsfragen der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es durch Anfrage bei Betreibern von Baurestmassendeponien Primärdaten aus dem Monitoring der jeweiligen Deponien zu beschaffen, um Datensätze zu erhalten, die eine Analyse des Emissionsverhaltens zulassen.

Die Analyse dieser Daten soll durch die Zusammenschau mit internationalen Daten aus veröffentlichten Studien und Fachliteratur eine Basis für eine wissenschaftliche Beurteilung des Emissionsverhaltens möglich machen. Durch die Auswertung der abgelagerten Abfallarten und deren Mengen in Bezug auf die Sickerwasserkonzentrationen am jeweiligen Standort kann untersucht werden, welche Zusammenhänge bestehen.

Die Ergebnisse aus der Auswertung der anonymisierten Praxisdaten werden dann mit Daten von Reststoff- und Massenabfalldeponien (Literaturdaten) verglichen, und sollen eine Beurteilung zur Abgrenzung hinsichtlich der Nachsorgedauer möglich machen.

Die Forschungsfragen dieser Arbeit lauten:

- Wie hat sich die Qualität der verfügbaren Daten aus dem Monitoring von Baurestmassendeponien seit der Novellierung der DVO im Jahr 2008 entwickelt?
- Wie stellt sich die langfristige Entwicklung der Emissionen von BRM-Deponien im Vergleich zu RS-/MA-Deponien dar?

- Kann aufgrund des Emissionsverhaltens von Baurestmassendeponien eine Differenzierung hinsichtlich der anzusetzenden Nachsorgedauer gegenüber Reststoff- und Massenabfalldeponien erfolgen?

2. Allgemeine Grundlagen

Abgelagertes Material ist ständigen Alterungs-, bzw. Umwandlungsprozessen unterzogen. Je nach Ausgangsmaterial und Umwelteinflüssen (Klima, äußere/innere Einwirkungen) finden unterschiedliche Prozesse statt und produzieren umweltrelevante Emissionen. Die Faktoren, die diese Prozesse beeinflussen, die Bedingungen, unter welchen Abfälle in Österreich der Deponierung zugeführt werden können und die Regelung des langfristigen Umgangs mit deponierten Abfällen wird im Folgenden beschrieben.

2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Deponierung von Abfällen in Österreich

Die Ablagerung von Abfällen und der Umgang mit den daraus resultierenden Emissionen werden im Abfallwirtschaftsgesetz (AWG), in der Deponieverordnung (DVO), im Wasserrechtsgesetz (WRG), in der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (AAEV) und in der Abwasseremissionsverordnung Deponiesickerwasser (AEV Deponiesickerwasser) behandelt. Nachstehend wird ein Überblick gegeben, welche Pflichten im Zusammenhang mit der Ablagerung von Abfällen zu erfüllen sind.

Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002)

Nach § 15 Abs. 3 darf eine Ablagerung von Abfällen nur auf hierfür genehmigten Deponien erfolgen. Gemäß § 17 Abs. 3 hat der Inhaber einer Deponie, getrennt für jedes Kalenderjahr, fortlaufende Aufzeichnungen über die Art, Menge und Herkunft der Abfälle (einschließlich der Abfallerzeuger bzw. der Abfallsammler bei Abfällen aus Haushalten und bei Abfällen vergleichbarer Art oder Zusammensetzung), das Datum der Anlieferung, die charakteristischen Eigenschaften der Abfälle, die Untersuchungen der Abfälle, die Abfallannahme, die genaue Lage (Einbaustelle) der Abfälle auf der Deponie und die gemäß den Mess- und Überwachungsmaßnahmen vorliegenden Ergebnisse zu führen. Inhaber einer Deponie haben bei der Annahme der Abfälle sicherzustellen, dass ihnen die für die Aufzeichnungen erforderlichen Daten von den Übergebern der Abfälle bekannt gegeben werden. Diese Aufzeichnungen sind nach Maßgabe einer Verordnung gemäß § 23 Abs. 3 elektronisch zu führen.

Nach § 21 Abs. 4 haben Deponieinhaber die Messergebnisse des Mess- und Überwachungsverfahrens (§ 47 Abs. 2 Z 2) der im vorangegangenen Kalenderjahr vorgenommenen Messungen bis spätestens 10. April jeden Jahres der für die Überwachung zuständigen Behörde zu melden.

- Auf Basis dieser Vorgaben liegen fortlaufend für jedes Betriebsjahr Informationen zur Abfallart, Zeitpunkt und Lage des Einbaus auf dem jeweiligen Deponiestandort vor.

Deponieverordnung (DVO 2008)

Die Deponieverordnung 1996 wurde im Jahr 2004 und letztmals im Jahr 2008 novelliert.

Nach § 4 werden folgende Deponieklassen festgelegt:

1. Bodenaushubdeponie
2. Inertabfalldeponie
3. Deponie für nicht gefährliche Abfälle
 - a. Baurestmassendeponie
 - b. Reststoffdeponie
 - c. Massenabfalldeponie
4. Deponie für gefährliche Abfälle (nur als Untertagedeponie)

Nach § 28 Abs. 1 ist für jede Deponie, ausgenommen Bodenaushubdeponien, ein Basisentwässerungssystem, bestehend aus einem Flächenfilter und darin verlegten Sickerwasserleitungen, zu errichten. Durch das Basisentwässerungssystem ist die dauerhafte Erfassung und Ableitung des anfallenden Deponiesickerwassers zu gewährleisten. Gemäß § 30 Abs. 2 ist für jede Deponie, ausgenommen Bodenaushubdeponien, sicherzustellen, dass Deponiesickerwasser, verunreinigtes Oberflächenwasser des Deponiekörpers und Kondensat aus dem Deponiegas getrennt von den sonstigen im Deponiebereich anfallenden, nicht verunreinigten Wässern erfasst werden. § 30 Abs. 6 legt fest, dass für jede Deponie, ausgenommen Bodenaushubdeponien, die Niederschlagsmengen mittels geeigneter Messgeräte als Monatssumme zu ermitteln sind. Weiters sind die standortspezifischen Verdunstungsraten zu ermitteln. Die Verwendung von Daten nächstgelegener meteorologischer Messstationen betreffend Niederschlagsmengen und Verdunstungsraten ist zulässig. Wasserbilanzen sind wie folgt zu erstellen: Die aus dem Deponiekörper abfließenden Deponiesickerwassermengen sind als prozentueller Anteil der durch Niederschläge und Sickerwasserrückführung insgesamt in den Deponiekörper eingetragenen Wassermengen darzustellen (Monatssummen). Zusätzlich ist bei offenen Deponiekörpern die standortspezifische Verdunstung in die Bilanz aufzunehmen.

Gemäß § 36 Abs. 3 hat der Deponiebetreiber nachteilige Emissionen während des Betriebes wie z.B. Staub, Aerosolbildung, Geruch, Lärm, vom Wind verwehtes Material und Insekten-, Vogel- oder Nagetiermassenentwicklung durch eine gezielte Einbautechnik oder durch sonstige Vorkehrungen, z.B. Abdeckung, so gut wie möglich zu unterbinden. Wenn erforderlich, sind Maßnahmen zu treffen, um die Entstehung von Bränden zu verhindern.

Laut § 38 Abs. 5 hat der Deponieinhaber dafür Sorge zu tragen, dass gesammeltes Deponiesickerwasser mengenmäßig zu erfassen, regelmäßig zu beproben und zu analysieren ist. Die Häufigkeit und die Zeitpunkte der Beprobungen und die zu analysierenden Parameter sind entsprechend der Art der abgelagerten Abfälle und der vorgesehenen Behandlung des Deponiesickerwassers unter Anwendung des Anhangs 3 Kapitel 6.4. bei der Genehmigung festzulegen. Hinsichtlich Probenahme und Analysemethoden sind die gemäß WRG 1959 vorgesehenen Methoden einzuhalten. Sämtliche Untersuchungsergebnisse sind fortlaufend aufzuzeichnen und übersichtlich darzustellen. Die für die Sickerwasserüberwachung als zweckmäßig ausgewählten Parameter sind jedenfalls auch graphisch in der langfristigen Entwicklung darzustellen.

Nach § 29 Abs. 1 ist nach Ende der Ablagerungsphase bei allen Deponien eine Deponieoberflächenabdeckung herzustellen. Diese soll Rekultivierbarkeit und Erosionsschutz gewährleisten. Bei Inertabfall-, Baurestmassen-, Reststoff- und Massenabfalldeponien muss die Deponieoberflächenabdeckung zur Minimierung des Niederschlagseintrages über eine Oberflächendichtung und eine Oberflächenentwässerung oder eine Wasserhaushaltsschicht gemäß Anhang 3 Kapitel 4.3. lit. f verfügen. Für die Herstellung der Deponieoberflächenabdeckung ist Anhang 3 Kapitel 4 anzuwenden.

Nach Anhang 3 Kapitel 4.3 lit. b ist es erforderlich den Niederschlagseintrag in den Deponiekörper so zu minimieren, dass die jährliche Sickerwasserneubildungsrate weniger als 5 % des Jahresniederschlages beträgt (ausgenommen Deponien mit vertikaler Umschließung).

Gemäß § 29 Abs. 2 ist es erforderlich bei Kompartimenten, welche mit Abfällen mit hohen biologisch abbaubaren Anteilen befüllt wurden, insbesondere Siedlungsabfälle, unter Beachtung von Anhang 3 Kap. 6.1 eine temporäre Oberflächenabdeckung auf maximal 20 Jahre zu errichten um den Wasserhaushalt zu steuern und den Deponiegaserfassungsgrad zu steigern.

In Anhang 3 Kapitel 6.1 DVO 2008 werden besondere Bestimmungen für Deponien mit biologisch abbaubaren Abfällen beschrieben. Bewässerungsmaßnahmen und temporäre Oberflächenabdeckungen dienen zur Steuerung des Wasserhaushaltes und den damit verbundenen biologischen Prozessen. So soll eine überschaubare Nachsorgedauer für derartige Standorte erreicht werden. Eine endgültige Oberflächenabdeckung einschließlich Oberflächenabdichtung ist erst nach Abschluss der aktiven Stabilisierungsmaßnahmen und nach Abklingen der Hauptsetzungen aufzubringen. In Kapitel 6.3 wird die Verwendung von Deponiesickerwasser behandelt. Dieses ist nur zu betrieblichen Zwecken im jeweiligen Kompartiment gestattet und nur zur Förderung biologischer Abbauprozesse im Deponiekörper gemäß Anhang 3 Kapitel 6.1, sowie zur Staubminimierung unter bestimmten Voraussetzungen zulässig. Die Verwendung von Konzentraten aus der Sickerwasserbehandlung ist jedenfalls unzulässig.

Nach § 39 Abs. 1 hat der Deponieinhaber den Deponiekörper, einschließlich der technischen Einrichtungen, und die Beweissicherungssysteme (z.B. Grundwasserkontrollsonden) regelmäßig auf Bestand und Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Dies gilt insbesondere für:

1. Das Gesamtausmaß des Abfalleinbaus (Volumen der Abfälle) entsprechend dem zeitlichen Fortschritt unter Berücksichtigung von Auflagen, z.B. betreffend Einbauflächenmaße, Einbauhöhen, Böschungsneigungen und Bermen
2. Abdeckungs-, und Rekultivierungsmaßnahmen
3. Lage-, Höhen- und Formveränderungen des Deponiekörpers und der technischen Einrichtungen, z.B. Sickerwasserleitungen
4. Einrichtungen zur Erfassung und Behandlung von Deponiesickerwasser und Deponiegas
5. Ableitungssysteme für niederschlags-, Oberflächen- und Grundwasser
6. Außenanlagen, Verkehrswege und Umzäunung
7. Grundwasserbeobachtungseinrichtungen

- Folglich liegen fortlaufend Informationen zu den klimatischen Verhältnissen am Standort vor. Diese sind mit dem mengenmäßig erfassten Sickerwasser in Beziehung zu setzen.
- Informationen zur Sickerwassermenge und zur -zusammensetzung liegen ebenfalls für jedes Kalenderjahr vor.
- Durch die fortlaufende Kontrolle des Deponiekörpers muss die jährliche Entwicklung der Deponie als Bauwerk erfasst und dokumentiert werden. Daraus lassen sich Informationen zur offenen bzw. rekultivierten Deponiefläche ableiten, welche wesentlich für die Betrachtung der in den Deponiekörper infiltrierten Wassermenge sind.

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG)

Kommt es zur Einleitung von Sickerwasser in ein Gewässer (direkt) oder in eine Kanalisation (indirekt) sind die Anforderungen des Wasserrechtsgesetzes 1959 einzuhalten.

Gemäß § 32 (1) dürfen Einwirkungen auf Gewässer, die unmittelbar oder mittelbar mit deren Beschaffenheit (§ 30 Abs. 3) beeinträchtigen, nur nach wasserrechtlicher Bewilligung erfolgen.

Als Indirekteinleiter gilt nach § 32b (1) jemand, der Einleitungen in eine wasserrechtlich bewilligte Anlage eines anderen vornimmt. In diesem Fall sind die gemäß § 33b Abs. 3 vom Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erlassenen Emissionsbegrenzungen einzuhalten.

Bezüglich dieser Emissionsbegrenzungen ist in § 33b Abs.1 WRG festgelegt, dass die Behörde bei der Bewilligung von Abwassereinleitungen in Gewässer oder in eine bewilligte Kanalisation die nach dem Stand der Technik möglichen Auflagen zur Begrenzung von Frachten und Konzentrationen schädlicher Abwasserinhaltsstoffe vorzuschreiben hat.

§ 33b (2) legt fest, dass die Einleitung gefährlicher Abwasserinhaltsstoffe nur so weit bewilligt werden darf, soweit nach dem Stand der Technik die Vermeidung nicht möglich ist und die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse (bestehende Nutzungen, vorhandene Belastungen) eine Einleitung zulassen.

Der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft hat gemäß § 33b (3) durch Verordnung Emissionsbegrenzungen für die Abwassereinleitung festzulegen.

§ 33b Abs. 4 besagt, dass die Auswahl schädlicher und gefährlicher Abwasserinhaltsstoffe, sowie die Festlegung von Emissionswerten (Abs. 3) unter Bedachtnahme auf Art, Herkunft und spezifische Besonderheiten der Abwässer und der zu ihrer Reinigung dienenden Anlagen zu erfolgen hat.

Abwasseremissionsverordnung (AAEV)

Die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV) wurde aufgrund der Rechtsbasis der §§ 33b Abs. 3, 4 ,5 und 7 sowie 33c Abs.1 WRG 1959 verordnet.

Nach § 4 Abs. 3 AAEV sind für Abwässer aus jenen Herkunftsbereichen gemäß § 4 (2), Emissionsbegrenzungen durch gesonderte Verordnungen festzulegen. Die

AAEV stellt die Rahmenvorschrift dar. Ist in der Spartenverordnung für einen Inhaltsstoff oder eine Eigenschaft eines Abwassers keine Emissionsbegrenzung festgelegt, ist auf die Rahmenvorschrift Bezug zu nehmen.

Der Begriff Abwasser ist in der gegebenen Fassung nicht im WRG 1959 definiert. Gemäß § 1 Abs. 3 AAEV ist Abwasser jenes Wasser, das infolge der Verwendung in Aufbereitungs-, Veredelungs-, Weiterverarbeitungs-, Produktions-, Verwertungs-, Konsumations- oder Dienstleistungs- sowie in Kühl-, Lösch-, Reinigungs-, Desinfektions- oder sonstigen nicht natürlichen Prozessen in seinen Eigenschaften derart verändert wird, dass es Gewässer in ihrer Beschaffenheit (§ 30 WRG 1959) beeinträchtigen oder schädigen würde. Da Deponiesickerwässer keine Folge von Prozessen der Verwendung darstellen, sind es keine Abwässer im Sinne der Definition. Allerdings sind Eigenschaften von Abwässern aus bestimmten Abfalldeponien aus Sicht des Gewässerschutzes als wesentlich umweltgefährdender zu bewerten. Folglich behandelt die AEV Deponiesickerwasser (Begrenzung von Sickerwasseremissionen aus Abfalldeponien, Verordnung Nr. 263 (2003)) als Spartenverordnung den Umgang mit Abwässern aus Abfalldeponien.

§ 1 (2) der AEV Deponiesickerwasser legt fest, dass für Sickerwasser aus Deponien, in denen Abfälle gelagert werden, die einen Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC) von mehr als 5 Masseprozent aufweisen, die in Anhang A festgelegten Emissionsbegrenzungen vorzuschreiben sind. Dazu zählen:

1. Deponien für gemischten Siedlungsabfall (unbehandelt oder behandelt)
2. Deponien für biochemisch stabilisierten Klärschlamm aus der Abwasserreinigung
3. Deponien für Kompost
4. Deponien für sonstige in Ziffer 1 bis 3 nicht genannte Abfälle, deren Anteil an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC) mehr als fünf Prozent der Trockenmasse ausmacht
5. Deponien für Gemische der eben genannten Abfälle

Für Abwässer aus anderen Deponien gelten gemäß § 1 Abs. 3 AEV Deponiesickerwasser die Emissionsbegrenzungen nach Anhang A der AAEV und für die Parameter Toxizität, Ammoniak und gesamter gebundener Stickstoff sind die Begrenzungen nach Anhang A AEV Deponiesickerwasser einzuhalten.

Zusammenfassend kann man sagen, dass:

- für Sickerwasser aus Deponien für Abfälle mit TOC > 5 M% Anhang A – AEV Deponiesickerwasser und
- für Sickerwasser aus anderen Deponien Anhang A der AAEV + Grenzwerte für die Parameter Toxizität, Ammoniak und gesamter gebundener Stickstoff (TNb) gemäß Anhang A AEV Deponiesickerwasser gilt.

Da, nach DVO 2008, keine Abfälle mit einem TOC-Gehalt größer 5 M% mehr abgelagert werden dürfen, greift ersteres für ältere Deponien.

Tabelle 2-1 zeigt die in der AEV Deponiesickerwasser bzw. AAEV und der TWV festgelegten Grenzwerte unterschiedlicher Deponietypen für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit betrachteten Parameter im Sickerwasser:

Tabelle 2-1: Emissionsgrenzwerte für Abwässer aus Abfalldeponien gemäß AEEV bzw. AEV Deponiesickerwasser und TWV

Parameter	Einheit	Deponien TOC > 5 M%		Deponien TOC < 5 M%		TWV
		direkt	indirekt	direkt	indirekt	
CSB	[mg/l]	50	*	75	-	-
TOC	[mg/l]	20	*	25	-	-
AOX	[mg/l]	0,5	0,5	0,5	0,5	-
TN _b	[mg/l]	50	-	50	-	50
NH ₄ -N	[mg/l]	10	200	10	***	0,5
Cl	[mg/l]	Toxizität	-	G _A , G _D , G _F	-	200
SO ₄	[mg/l]	-	-	**	200	250
Sulfid (S)	[mg/l]	0,5	2	0,1	1	-
Cu	[mg/l]	0,5	0,5	0,5	0,5	2
Cr _{ges}	[mg/l]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05

*Die Einleitung von Sickerwasser aus Deponien mit Abfällen TOC-Gehalt > 5 M% ist nur zulässig, wenn für die Gesamtheit der Inhaltsstoffe des Sickerwassers ein biologischer Abbaugrad von zumindest 75% (65% bei Sickerwasser aus Deponien für biochem. stabilisierten Klärschlamm und Kompost) im Abbauteil nachgewiesen wird. Die Anforderung für den biologischen Abbaugrad gilt nicht, wenn das Sickerwasser vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation einer Reinigung unterzogen wird, sodass es danach einen TOC-Gehalt von nicht größer als 120 mg/l und einen CSB-Gehalt von nicht größer als 300 mg/l aufweist (AEV Deponiesickerwasser)

**Im Bedarfsfall festzulegen (AAEV)

***Im Einzelfall bei Gefahr von Geruchsbelästigungen oder bei Korrosionsgefahr für zementgebundene Werkstoffe im Kanalisations- und Kläranlagenbereich (ÖNORM B 2503, Sept. 1992) festlegen (AAEV)

G_A .. Argentozizität, G_D .. Daphnientoxizität, G_F .. Fischtoxizität

Wenn das Ziel zur Beendigung der Nachsorge einer Deponie keine umweltrelevanten Emissionen ist, wäre eine akzeptable Beeinflussung der Umgebung jedenfalls dann gegeben, wenn bestimmte Parameter im Sickerwasser die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung einhalten.

2.2 Definition unterschiedlicher Deponietypen

Gemäß dem BMFLUW 2016 - Erläuterungen zur Deponieverordnung 2008, dürfen den Deponieklassen und -unterklassen Abfälle wie im Folgenden zugeordnet werden.

2.2.1 Bodenaushubdeponie

Auf der Bodenaushubdeponie dürfen ausschließlich nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial und nicht verunreinigte Bodenbestandteile abgelagert werden. Welche Anforderungen das Material zur Ablagerung auf Bodenaushubdeponien erfüllen muss, wird in Anhang 4 Teil 2 in Verbindung mit Anhang 1 geregelt. Tunnelausbruchmaterial gilt dabei „ex lege“ als Bodenaushubmaterial (vgl. § 3 Z 55 sowie Anhang 4 Teil 2 Kapitel 1.5), natürliche Sedimente (z.B. Bach- und Flusssedimente) sowie Geschieberäumgut sind ebenso unter dem Begriff „Bodenaushubmaterial“ zu subsumieren.

Demnach darf Bodenaushub mit Hintergrundbelastung (SN 31411 29), Bodenaushub Klasse A1 (SN 31411 30), Bodenaushub Klasse A2 (SN 31411 31), Bodenaushub Klasse A2G (SN 31411 32) und Bodenaushub Inertabfallqualität (SN 31411 33) bei Einhaltung der Grenzwerte für Bodenaushubdeponien abgelagert werden. Bodenaushubmaterial sowie ausgehobenes Schüttmaterial, sonstig verunreinigt, nicht gefährlich (SN 31424 37) darf im Fall der Überschreitung der Eluatgrenzwerte für Ammonium, Nitrit, Nitrat oder Phosphat bei Ablagerung ausschließlich auf ein konkretes Kompartiment mit entsprechend genehmigten, erhöhten Grenzwerten

gemäß § 8 und unter Einhaltung aller sonstigen Grenzwerte für Bodenaushubdeponien abgelagert werden.

Abzugrenzen von „Bodenaushubmaterial“ sind „Bodenbestandteile“. Diese sind aus abfallwirtschaftlicher Sicht Bestandteile von Böden oder vom Untergrund, welche aufgrund der Art oder Herkunft kein Bodenaushubmaterial sind und weniger als 5 V% anorganische, bodenfremde Bestandteile (z.B. Baurestmassen) und nicht mehr als 1 V% organische Abfälle (z.B. Kunststoffe) enthalten. Letzteres gilt nicht für Anteile an natürlichen organischen Abfällen wie Holz Biomasse etc. Die Einhaltung der Grenzwerte für Bodenaushubdeponien gemäß Tabelle 1 und 2 Anhang 1 ist nachzuweisen.

2.2.2 Inertabfalldeponie

Die Deponieklasse wurde nach Vorgaben der EU neu eingeführt und stellt gewissermaßen eine „Baurestmassendeponie light“ dar.

Gemäß des § 3 Abs. 30 Deponieverordnung 2008 sind Inertabfälle jene Abfälle, die keinen wesentlichen physikalischen, chemischen oder biologischen Veränderungen unterliegen. Inertabfälle lösen sich nicht auf, brennen nicht und reagieren nicht in anderer Weise physikalisch oder chemisch. Sie bauen sich nicht biologisch ab und beeinträchtigen keine anderen Materialien, mit denen sie in Kontakt kommen, in einer Weise, die zu einer Umweltbeeinträchtigung führen oder sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken könnte. Das Sickerwasser darf insbesondere Oberflächenwasser oder Grundwasser nicht gefährden.

Die Höhe der Grenzwerte und die Auswahl der Parameter erfolgt in Umsetzung der EU-Vorgaben (Deponieentscheidung). Für die Begrenzung der Gehalte im Feststoff (auch für Gehalte anthropogenen Ursprungs) wurde grundsätzlich die Spalte II¹ der Bodenaushubdeponie herangezogen. Auf der Inertabfalldeponie können jedoch bei geogen bedingt höheren Feststoffgehalten (anorganische Stoffe) Bodenaushubmaterial, Bodenbestandteile und technisches Schüttmaterial ohne Begrenzung abgelagert werden, siehe § 5 Abs. 2 in Verbindung mit Anhang 4 Teil 2 Tabelle 2.

Es dürfen nur bestimmte ausgewählte Baurestmassen (sh. Anhang 2 Pkt. 1) ohne analytische Untersuchung abgelagert werden. Mörtel, Gips, Asphalt, Bitumen oder Straßenaufbruch sind davon jedenfalls nicht umfasst.

In der Praxis macht Bodenaushubmaterial, welches nicht den Anforderungen einer Bodenaushubdeponie entspricht, einen wesentlichen Anteil auf Inertabfalldeponien aus.

2.2.3 Deponie für nicht gefährliche Abfälle

Eine Deponie für nicht gefährliche Abfälle ist mit einer Aufnahmekapazität von über 10 Tonnen Abfall pro Tag oder einer Gesamtkapazität von über 25.000 Tonnen eine IPPC²-Behandlungsanlage (vgl. Anhang 5 Teil 1 Z 4 AWG 2002). Insbesondere ist bei der Genehmigung oder einer wesentlichen Änderung eine Öffentlichkeitsbeteiligung durchzuführen. Dieser Anlagentypus unterliegt auch der PRTR³-Meldepflicht (vgl. § 60 AWG 2002)

¹Der Parameterumfang für die Erstanalyse von Boden ist in Anhang 4 DVO, Tabelle 2 dargestellt und kann ebenso für die Bestimmung bei Inertabfalldeponien herangezogen werden.

²"Integrated Pollution Prevention and Control" - "Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung". Bei diesem Anlagentypus ist eine integrierte Anlagengenehmigung, das heißt

eine Genehmigung, die sich über alle Umweltmedien erstreckt (Luft, Wasser, Abfall, Boden, Energie), erforderlich (WKO, online 2019).

³PRTR - Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und Verbringungsregister). Das Österreichische PRTR ist eine allgemein zugängliche elektronische Datenbank mit Informationen von großen österreichischen Industriebetrieben und Kläranlagen (UBA online, 2019).

2.2.3.1 *Baurestmassendeponie*

Abfälle, die gemäß Anhang 2 Pkt. 2 DVO 2008 - sofern sie keine untypischen umweltgefährdenden Verunreinigungen enthalten und die Bedingungen des Anhang 2 erfüllt sind, sowie Asbestabfälle gemäß § 10 – dürfen ohne Untersuchung abgelagert werden und stellen einen wesentlichen Anteil der abzulagernden Abfälle auf Baurestmassendeponien dar. Auf diesem Deponietyp ist ein TOC-Gehalt im Abfall von maximal 3 M% zulässig.

Im Wesentlichen sind das entsprechend Anlage 5 der Abfallverzeichnisverordnung:

- Bauschutt (keine Baustellenabfälle) SN 31409
Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik, Glas, Natursteine, Kies, Sand, gebrochene natürliche Materialien und Kalksandstein, Mörtel und Verputze, Faserzement, magnesit- und zementgebundene Holzwolledämmbauplatten und zementgebundener Holzspanbeton.
- Straßenaufbruch SN 31410
- Schamotte SN 31414
Kaminsteine und Schamotte, sofern sie nicht aus Gewerbe- oder Industrieanlagen stammen
- Mineralfasern SN 31416
Mineralwolle (Glas- und Steinwolle)
- Gips SN 31438
Auch Mauersteine auf Gipsbasis, Mörtel und Verputze, Stuckaturmaterial, Gipskartonplatten
- Bitumen Asphalt SN 54912
Auch Dachpappe auf Bitumenbasis

2.2.3.2 *Reststoff- und Massenabfalldeponie*

Auf der Reststoffdeponie dürfen jene Abfälle abgelagert werden, welche über höhere Gehalte an anorganischen Stoffen verfügen, sofern diese nur wenig auslaugbar sind. Die wesentliche Begrenzung stellen organische Stoffe und der Parameter Abdampfdruckstand als Maß für die Summe der löslichen Anteile dar. Ein TOC-Gehalt von maximal fünf Masseprozent (5 M%) der Abfälle muss eingehalten werden.

Rückstände aus thermischen Prozessen dürfen nur auf einer Reststoffdeponie abgelagert werden (ausgenommen Rückstände aus der Verbrennung von Biomasse). Für die Ablagerung von frischen, reaktiven Rückständen aus thermischen Prozessen mit pH-Werten größer 12 gelten explizite Bestimmungen (vgl. § 9 sowie die Möglichkeit zur Genehmigung höherer Grenzwerte gemäß § 8 Abs. 5).

Teerhaltiger Straßenaufbruch bzw. Straßenunterbau darf auf Reststoffdeponien gemäß den Vorgaben des § 10a abgelagert werden.

Bei der Massenabfalldeponie müssen Abfälle die Begrenzung von Gehalten im Feststoff, ergänzt um Eluatwerte, einhalten. Letztere entsprechen im Wesentlichen jenen Werten zur Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP-15 (vgl. Annex 3 der Abfallrahmenrichtlinie in Zusammenhang mit der Abfallverzeichnisverordnung idgF).

Nach § 3 Z 36 sind Abfälle aus der mechanisch biologischen Behandlung der Massenabfalldeponie zuzuordnen (vgl. § 7 Z 7 lit. f). Der TOC-Gehalt für Abfälle darf auch für diesen Deponietyp 5 M% nicht überschreiten. Massenabfalldeponien mit der Möglichkeit zur Ablagerung von Abfällen aus der mech.-bio. Behandlung sind zumindest mit einer passiven Entgasung (vgl. § 3 Z 42) auszustatten.

Derzeit gibt es kaum Schlackemonodeponien in Österreich. Der jährliche Anteil am Gesamtabfallaufkommen der Aschen und Schlacken aus der thermischen Abfallbehandlung und aus Feuerungsanlagen von 1,8 % wird auf Reststoffdeponien abgelagert.

2.3 Rechtlicher Rahmen zur Beendigung der Deponienachsorge

Wie bereits in der Einleitung beschrieben durchläuft das Bauwerk Deponie mehrere Bewirtschaftungsphasen. Welche Bedingungen seitens Deponiebetreiber während des Betriebes und darüber hinaus einzuhalten sind, ist im Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) und in der Deponieverordnung (DVO 2008) geregelt. § 1 DVO setzt als Ziel fest, die negativen Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen, mit denen während des gesamten Bestehens der Deponie zu rechnen ist, möglichst zu vermeiden oder zu vermindern. Es sollen keine Auswirkungen auf die Umwelt (Oberflächenwässer, Grundwasser, Boden, Luft und die globale Umwelt) entstehen, und damit verbundene Risiken für die menschliche Gesundheit darstellen. Technische und betriebliche Anforderungen für die Nachsorge einer Deponie sind in Abschnitt 6 und 7 der DVO festgelegt. Abschnitt 6 umfasst Standards bezüglich der Deponietechnik. Standsicherheit, Basisentwässerung, Oberflächenabdeckung, Wasserhaushalt und Deponiegasbehandlung sind jene Anforderungen, die nicht nur während des Betriebes, sondern auch nach Beendigung der Abfallablagerung zu gewährleisten sind. Unter den in Abschnitt 7 festgelegten Standards bzgl. des Deponiebetriebes sind vor allem Emissions- und Immissionskontrolle, die Kontrolle des Deponiekörpers und die finanziellen Sicherstellungen für die Nachsorgephase von Bedeutung.

Die Nachsorgephase ist in § 3 DVO definiert als *„Zeitraum vom Ende der Ablagerungsphase eines Kompartiments bis zum behördlich festgestellten Ende der Nachsorgephase für dieses Kompartiment; die Dauer der Nachsorgephase richtet sich nach dem Zeitraum in dem für das Kompartiment noch Nachsorgemaßnahmen erforderlich sind.“* (DVO 2008)

Konkret beinhalten die bestehenden Regelungen zur Nachsorge von Deponien in Österreich, abgesehen von der Forderung, keine Gefahr für Mensch und Umwelt darzustellen, keine Anforderungen, welche für die Entwicklung quantitativer Kriterien zur Beendigung der Nachsorge herangezogen werden können (Laner et al., 2011).

Die vorangestellte EU-Richtlinie zur Deponierung von Abfällen (Rat der EU, 1999) legt ebenso als Ziel fest, dass negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt durch die Ablagerung von Abfällen über alle Phasen der Deponie weitestgehend vermieden bzw. vermindert werden sollen. Nach Artikel 13 c der EU-Deponierichtlinie hat der Betreiber nach der endgültigen Stilllegung einer Deponie sowohl für die Wartungsarbeiten, als

auch die Mess- und Überwachungsmaßnahmen während der Nachsorge solange die Verantwortung, wie es die zuständige Behörde unter Berücksichtigung des Zeitraumes von dem von der Deponie Gefährdungen ausgehen können, verlangt. Wie diese Gefährdung quantitativ zu beurteilen ist, oder wie die Vorgehensweise wäre, wird im Rahmen der Richtlinie nicht näher erläutert. In Anhang 1 wird für Sickerwasser beschrieben, dass die Feststellung der Behörde, ob eine Deponie eine Gefährdung für Boden, Grundwasser oder Oberflächenwasser darstellt, basierend auf einer Bewertung der Risiken für die Umwelt erfolgen soll.

Geht man davon aus, dass eine Deponie nach Beendigung der Abfallablagerung abgedichtet wird und praktisch kein Wasser mehr in den Deponiekörper infiltriert, sollte nach einem gewissen Zeitraum kein weiteres Sickerwasser anfallen. Folgt man Anhang 1 der EU-Deponierichtlinie würde eine Bewertung der Umweltrisiken anhand des Sickerwassers nicht mehr möglich sein, bzw. keine Emissionen mehr über den Sickerwasserweg ausgetragen werden.

2.3.1 Finanzielle Sicherstellungen

Aus den Erläuterungen zur Deponieverordnung 2008 (BMLFUW, 2016) geht hervor, dass gemäß § 44 Abs. 1 DVO der Inhaber einer Deponie finanzielle Sicherstellungen zu leisten hat. Diese Sicherstellungsleistung soll gewährleisten, dass der Deponiebetreiber der Erfüllung der Auflagen und Verpflichtungen während des Betriebes und in der Nachsorgephase in jedem Fall nachkommt. Entsprechend der Deponierichtlinie hat diese so lange zu erfolgen, bis die Behörde feststellt, dass keine umweltrelevante Gefährdung mehr von der Deponie ausgeht.

Die Höhe der finanziellen Sicherstellung richtet sich nach dem Aufwand der jeweiligen Maßnahmen. Gemäß Anhang 8 DVO sind während der Betriebs- und Nachsorgephase die Herstellung einer Oberflächenabdeckung, die Deponiegaserfassung und -behandlung, Mess- und Überwachungsverfahren, Sickerwasserfassung und -behandlung, Emissions- und Immissionskontrolle die Kontrolle des Deponiekörpers und die Kosten für externe Dokumentation sowie Wartung und Instandsetzung der Sickerwasserleitungen, -schächte und -stollen und die Deponieaufsicht zu besichern.

Für die Berechnung einer Sicherstellung sind gemäß Anhang 8 DVO für Nachsorgemaßnahmen entsprechend dem Gefährdungspotential je nach Deponieklasse unterschiedliche Zeiträume anzusetzen. Für die Deponieunterklassen Reststoff-, Massenabfall- und Baurestmassendeponien sind 30 Jahre festgelegt.

Damit ist nur die Zeitvorgabe für die Berechnung festgelegt. Wann eine Sicherstellung tatsächlich nicht mehr erforderlich ist, ist abhängig von dem Zeitraum, für den Nachsorgemaßnahmen erfüllt werden müssen.

An dieser Stelle wirft sich die Frage auf, ob die einheitliche Betrachtung hinsichtlich des anzusetzenden Zeitraumes für Nachsorgemaßnahmen fair erscheint, wenn man berücksichtigt, dass von den unterschiedlichen Deponieunterklassen unterschiedliches Gefährdungspotential zu erwarten ist.

Die Höhe der Sicherstellungsleistung richtet sich nach der aktiven Deponiefläche. Durch die Art, wie die Deponiefläche bewirtschaftet wird, können die Beträge von Standort zu Standort sehr unterschiedlich ausfallen.

2.4 Allgemeine Prozesse in Deponien

In Hutterer et al. (2000) werden im Wesentlichen sechs Prozesse, die in allen Deponietypen unabhängig vom abgelagerten Material ablaufen und in unterschiedlichen Verläufen zur Mobilisierung bzw. Immobilisierung von Stoffen führen, beschrieben.

- Physikalische Prozesse: Auswaschung von Salzen, Absorption von Anionen oder Kationen an Oberflächen
- Biochemische Prozesse: aerobe und anaerobe Umsetzung von org. Kohlenstoff, Huminstoffbildung, Mineralisierung leicht abbaubarer Stoffe
- Chemische Prozesse: Säure-Basen-Reaktionen, Redox-Reaktionen, Fällungsreaktionen, Neubildung von Mineralphasen, Mobilisierung von Schwermetallen durch Komplexbildner, Ionenaustauschreaktionen
- Geotechnische Prozesse: Setzungen und Sackungen im Deponiekörper
- Geochemische Prozesse: Phasenumwandlungen, Verwitterungsreaktionen von Mineralien
- Geologische Prozesse: Verwitterung (von Gestein) und Erosion

Wann diese Reaktionen einsetzen und wie lange sie andauern ist unter anderem von der Konzentration und der Einbindung der Stoffe in das abgelagerte Material abhängig. Die Geschwindigkeit, mit der diese Reaktionen ablaufen, bleibt für alle Deponietypen zumindest ähnlich. Physikalische, biochemische und geotechnische Prozesse können kurzfristig beschrieben werden. Als mittelfristig werden chemische und geochemische Prozesse eingestuft, langfristig setzen ebenso geochemische und geologische Prozesse ein.

Emissionen aufgrund kurzfristiger Prozesse:

- Auswaschung von leicht löslichen Salzen (Chlorid, Sulfat), diese ist pH-Wert unabhängig und wird von der Löslichkeit bestimmt
- Biochemischer Abbau von organischem Kohlenstoff führt unter aeroben Bedingungen zur Bildung von Kohlendioxid und unter anaeroben Bedingungen zur Bildung von vorwiegend Methan und CO₂, zudem treten erhöhte Konzentrationen von TOC, CSB und BSB₅ im Sickerwasser auf

Emissionen aufgrund mittelfristiger Prozesse:

- Auswaschung von mittelschwer bis schwer löslichen Salzen auf Basis physikalischer Prozesse
- Ausklingen der biochemischen Prozesse und der mit ihnen verbundenen Emissionen

Emissionen aufgrund langfristiger Prozesse:

- Auswaschung schwer löslicher Salze auf Basis physikalischer Prozesse
- Freisetzung von Schwermetallen, zum einen wird durch Absinken des pH-Wertes auf einen Wert unter 7 aufgrund chemischer Prozesse das Milieu oxisch (Luftsauerstoff dringt in den Deponiekörper ein), die Mobilität von

Schwermetallen im Sickerwasser steigt stark an, zum Anderen geschieht das über die Verwitterung von Gesteinen (Mineralien) und gesteinsähnlichen Gütern (z.B. Beton) und Erosionsprozessen

- Erhöhung der organischen Emissionen durch Etablierung aerober Verhältnisse bei Deponien mit organischem Material

2.5 Entstehung und Zusammensetzung von Sickerwasser

Die Entstehung und Zusammensetzung von Sickerwasser aus Deponien wird maßgeblich durch den Wassergehalt des eingebauten Materials, durch in das Kompartiment eingedrungenes infolge von Auslaugprozessen angereichertes Niederschlagswasser und durch infolge von Reaktionsprozessen entstandenes Sickerwasser bestimmt (DVO 2008).

Das Wasserhaushaltsmodell einer Hausmülldeponie ist in Abbildung 2-1 schematisch dargestellt. Klimatische Bedingungen wie Niederschlag, Evaporation (Verdunstung von Wasserflächen und Flächen ohne Bewuchs), Transpiration (Verdunstung von der Oberfläche des Bewuchses), Interzeption (Rückhalt von Niederschlägen auf der Vegetationsoberfläche), sowie chemisch-physikalische Bedingungen, wie Oberflächenabfluss, Wasserrückhalt im Deponiekörper und Abbauprozesse, werden berücksichtigt. Gleichung 2.1 zeigt die Summenformel der Sickerwasserneubildung.

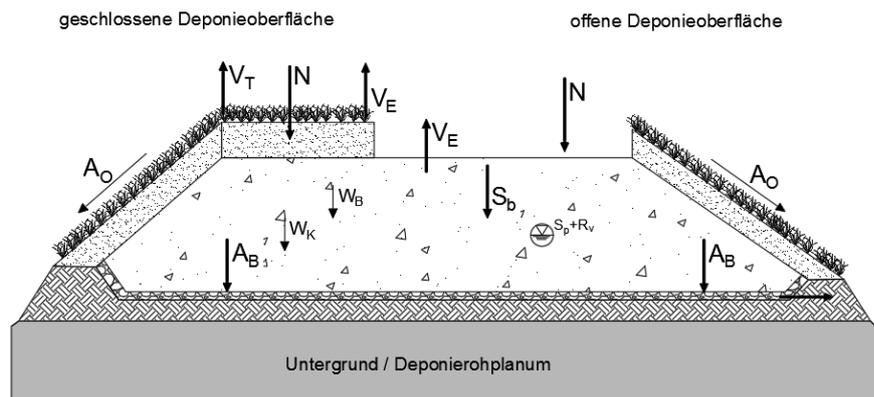


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung des Wasserhaushaltes eines Deponiekörpers (nach Heyer et al., 2000) N = Niederschlag, V_E = Evaporation, V_T = Transpiration, A_O = Oberflächenabfluss, S = Speicherung, R = Rückhalt, W_B = biolog. Wasserbedarf/-verbrauch, W_K = Wasser infolge Konsolidation, A_B = Abfluss des Sickerwassers an der Basis

$$\sum SIWA = N - V_E - V_T - A_O - S \pm R \pm W_B + W_K \quad (2.1)$$

Vereinfacht stellt Ramke (1993) die klimatische Sickerwasserneubildung S_b dar. Jener Niederschlagsanteil, welcher nach Abzug der Evapotranspiration (Summe aus Evaporation und Transpiration) und des Oberflächenabflusses in den Deponiekörper eindringt führt zur Sickerwasserbildung.

$$N - ET_a - A_O = S_b \quad (2.2)$$

Da in Baurestmassendeponien kaum biologische Abbauprozesse stattfinden (vgl. 2.6.3), scheint die vereinfachte Betrachtung nach Ramke (Gleichung 2.2) ausreichend.

Neben der Sickerwassermenge ist auch die Zusammensetzung ein entscheidender Parameter zur Beurteilung des Emissionsverhaltens von Deponien. Diese wird in erster Linie durch die Abfallarten, die Durchsickerungsstrecke und den Ablagerungszeitraum beeinflusst. In der Regel besteht der abgelagerte Abfall aus sehr unterschiedlichen Fraktionen, weshalb sich im Sickerwasser eine sehr komplexe Fracht von Schadstoffen wiederfindet. Organische Stoffe werden oft in Form von Summenparametern TOC, CSB, BSB₅ und AOX bestimmt. Daneben ist insbesondere die Stickstofffracht von Bedeutung. Diese liegt zumeist in Form von Ammonium-Stickstoff oder organisch gebundenem Stickstoff vor. Die Konzentrationsabnahme im Sickerwasser erfolgt sehr langsam (Abbildung 2-2). Bis der Grenzwert von 70 mg/l für Gesamtstickstoff eingehalten werden kann, wird eine Nachsorgezeit von 120-450 Jahren prognostiziert (Koss und Trapp, 2003). Demnach ist Stickstoff nach heutigen Maßstäben der relevante Parameter für die Dauer der Nachsorge.

Ein wesentliches Beurteilungsmerkmal für das Restemissionspotential von Siedlungsabfalldéponien stellt der CSB dar. Dieser steht für schwer abbaubare organische Stoffe im SIWA und sein Wert kann lange Zeit sehr hoch sein. Jene Stoffe, die mit dem Summenparameter AOX erfasst werden, werden als gefährlich eingestuft und ihre Grenzwerte sind auch für Indirekteinleiter einzuhalten. Im unbehandelten Sickerwasser liegt die AOX-Konzentration vielfach über dem Grenzwert von 0,5 mg/l, weshalb diesem Parameter ein besonderer Stellenwert zuzuschreiben ist. Sickerwasser von Déponien, auf welchen überwiegend anorganische Abfälle abgelagert werden, zeichnet sich durch große Mengen an Salzbildnern wie Chlorid, Sulfat, Hydrogencarbonat und Natrium aus (Schachermayer und Lampert, 2009).

2.5.1 Kritische Parameter zur Beurteilung von Deponieemissionen

In Laner et al. (2011) werden primäre und sekundäre Parameter sowohl von Sickerwasserqualitäten, als auch von abgelagertem Material und dem Wasserhaushalt von Deponiestandorten beschrieben.

Tabelle 2-2: Leitparameter zur Beurteilung des Abfallemissionsverhaltens nach Laner et al. (2011)

Sickerwasser - Hauptparameter		Sickerwasser - Nebenparameter	
Sickerwasserkonzentrationen		elektrische Leitfähigkeit	EC
Ammonium	NH ₄	Abflussverhältnisse bei Probenahme	
Nitrat	NO ₃	pH-Wert, Redox, Temperatur	
Nitrit	NO ₂	BSB ₅ /CSB-Verhältnis (<0,1 typisch für stabile Methanphase)	
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB		
Totaler Organischer Kohlenstoff	TOC	Organische Sickerwasserinhaltsstoffe (BTEX, AOX, Kohlenwasserstoffe, PAK)	
Chlorid	Cl		
Sulfat	SO ₄	Weitere Sickerwasserinhaltsstoffe	
Eisen	Fe		
Zink	Zn		
Chrom	Cr		
andere Metalle	...		
Sickerwassermengen			
Sickerwasseranfall	m ³		
Deponiegas - Hauptparameter*		Deponiegas - Nebenparameter*	
Gasproduktionsrate und Gasabsaugrate (gemessen bzw. berechnet)		CH ₄ /CO ₂ -Verhältnis	
CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N ₂ (in V%)		Spurengase (z.B. H ₂ S, FCKWs)	
Abfallkörper - physische Faktoren		Abfallkörper - Qualität	
Abfallmaterialien (Korngrößen, Heterogenität, Durchlässigkeit)		Abfallzusammensetzung (chemisch), Stoffbilanzen	
Wasser-Feststoff-Verhältnis		Untersuchungen:	
Heterogenität der Wasserströmung und -verteilung		- löslicher Abfallanteile (in Abh. des pH-Wertes)	
Setzungsverhalten		- biochemische Mobilisierbarkeit organischer Abfallanteile*	

*Parameter überwiegend für alte Hausmülldeponien relevant

Je nach Art der abgelagerten Abfälle weisen Emissionen unterschiedliche Charakteristika auf und sind je nach Deponietyp unterschiedlich zu beurteilen. Deponien für Müllverbrennungsschlacke weisen im Sickerwasser vor allem in den ersten Jahrzehnten hohe Konzentrationen löslicher Salze auf, aber auch TOC oder NH₄ liegen teilweise über den Einleitgrenzwerten. Im Sickerwasser von Baurestmassendeponien lassen sich vor allem hohe SO₄-Konzentrationen beobachten, auch erhöhte TOC-, N- und Cl-Gehalte sind im Sickerwasser vorhanden. Letzteres ist insbesondere dann der Fall, wenn der Vorsortierungsgrad beziehungsweise die Sortenreinheit der abgelagerten Baurestmassen gering ist. Auch unter Betrachtung genereller Trends für die einzelnen Deponietypen, können Beurteilungen zu erwartender Emissionen aus dem Abfallkörper nur einzelfallspezifisch gemacht werden. Zum Beispiel müssen Aspekte wie die Qualität der abgelagerten Abfälle, die Heterogenität des Abfallkörpers und der

Wasserströmungsverhältnisse oder deponietechnische Faktoren wie Schütthöhe und Einbautechnik in entsprechenden Modellen berücksichtigt werden. Tabelle 2-2 zeigt Leitparameter, welche als Basis für die Ableitung entsprechender Emissionsmodelle herangezogen werden können. (Laner et al., 2011).

Auf Basis der zuvor beschriebenen Prozesse und Einflussfaktoren werden die kritischen Parameter im Sickerwasser in Bezug auf umweltrelevante Eigenschaften nach Deponieunterklasse zusammengefasst. Auf die Beschreibung von Bodenaushub- und Inertstoffdeponien wird hier verzichtet, da diese in der vorliegenden Arbeit nicht genauer betrachtet werden.

Massenabfalldeponien: Vor allem NH_4 und TOC, CSB aufgrund des organischen Anteils, Cl und AOX

Reststoffdeponien: Hohe Konzentrationen löslicher Salze (Cl, SO_4), NH_4 und geringe Konzentrationen TOC

Baurestmassendeponien: Hohe SO_4 -Konzentrationen, Cl, N, TOC, vereinzelt Schwermetalle (Eisen, Zink)

2.6 Deponieverhalten unterschiedlicher Substanzen

2.6.1 Deponieverhalten organischer Substanzen (MAD)

Je nach Bedingungen stellen Deponien über lange Zeiträume eine potentielle Schadstoffquelle in der Umwelt dar. Die Freisetzung von Schadstoffen ist im Wesentlichen von den vorherrschenden Deponiebedingungen und dem Emissionspotential der Deponie abhängig, und verändert sich über die Zeit. Grundsätzlich kann eine Deponie als offenes System betrachtet werden, welches von veränderlichen chemischen, physikalischen und biologischen Bedingungen beeinflusst wird. Diese Bedingungen bestimmen das Emissionsverhalten der enthaltenen Abfallmaterialien (Laner et al., 2011).

Durch fortschreitendes Ablagern und Verdichten der Abfälle sind im Inneren der Deponien anaerobe Milieubedingungen vorhanden. Lediglich an den Grenzschichten zur Atmosphäre bilden sich geringwertig aerobe Horizonte aus. Neben Lösungs-, Oxidations- und Reduktionsprozessen wird der Abbau organischer Substanz von mikrobiellen Abbau- und Umbauprozessen bestimmt. Diese laufen in charakteristischen Phasen ab (Heiss-Ziegler, 2000).

Farquhar und Rovers (1973) haben eines der ersten Modelle zur schematischen Beschreibung von Emissionen einer idealisierten Reaktordeponie entwickelt. Basierend auf der Analyse der Gasproduktion, bedingt durch den anaeroben Abbau organischer Substanz, wird zwischen vier verschiedenen Emissionsphasen von Deponien unterschieden. Auf eine aerobe Initialphase (I) folgt eine anaerobe Phase ohne Methanproduktion - saure Phase (II). Anschließend stellt sich die instabile Methanphase (III) ein, auf welche als letzte die stabile Methanphase folgt (IV). Die Abfolge dieser Phasen konnte auch bei Laborversuchen von Simulationsreaktoren beobachtet und durch darauffolgende Arbeiten bestätigt werden (Stegmann, 1981, Christensen und Kjeldsen, 1989). Zur besseren Beschreibung des Langzeitverhaltens wurde von Kjeldsen et al. (2002), auf Basis theoretischer Überlegungen, eine langfristige Ausklingphase beschrieben. Diese gliedert sich in drei einzelne Phasen und ist gemeinsam mit den ersten Phasen in Abbildung 2-2 dargestellt. Diese schematische Darstellung geht von einem homogenen Abfallkörper aus, in dem überall ähnliche Abbaubedingungen vorherrschen.

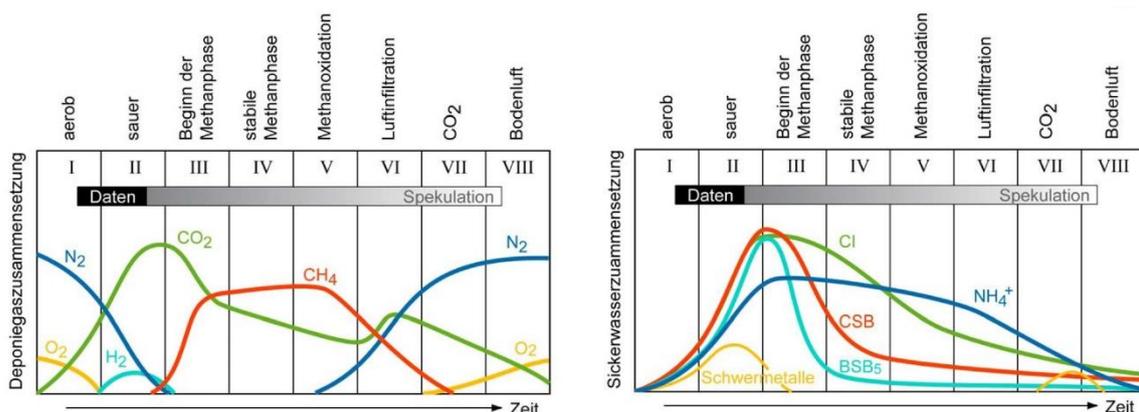


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung der Deponiegasemissionen und der Sickerwasseremissionen über das Bestehen einer Siedlungsabfalldeponie (Kjeldsen et al., 2002, nach Farquhar & Rovers, 1973)

- Phase I: Kurz nach Ablagerung des Materials ist noch Sauerstoff im Porenraum vorhanden, durch den beginnenden Abbau von organischer Substanz wird dieser verbraucht und ist je nach Abfall, Verdichtung und Einbautechnik nach wenigen Tagen aufgebraucht. Es stellen sich anaerobe Verhältnisse im Abfallkörper ein. Drei Bakteriengruppen bedingen den anaeroben Abbau organischer Substanz: hydrolysierende und fermentative Bakterien lassen organische Säuren und Alkohole entstehen, acetogene Bakterien wandeln diese zu Acetaten, Wasserstoff und CO_2 um. Methanogene Bakterien bauen diese Endprodukte der acetogenen Reaktion zu CH_4 und CO_2 ab.

- Phase II: Die saure Gärungsphase zeichnet sich durch ein Ungleichgewicht zwischen hydrolysierenden/fermentativen Bakterien und acetogenen Bakterien aus. Dieses Ungleichgewicht bedingt die Anreicherung kurzkettiger, organischer Säuren (Essigsäure, Buttersäure, Propionsäure usw.) und bringt den pH-Wert in den sauren Bereich. Durch Absinken des pH-Wertes steigt die Löslichkeit der Schwermetalle, was sich neben dem hohen TOC-Gehalt charakteristisch für diese Phase im Sickerwasser zeigt. Bis zum Austrag der organischen Säuren über das Sickerwasser herrschen hemmende Bedingungen für methanogene Bakterien und es findet keine signifikante Methanbildung statt. Je nach Deponie und Einbautechnik kann die Dauer dieser Phase bis zu 5 Jahre betragen (Krümpelbeck, 2000).

- Phase III: Die Methanbildung setzt ein und das Deponiegas enthält messbare Konzentrationen an CH_4 . Methanogene Bakterien bauen die akkumulierten organischen Säuren zu Kohlendioxid und Methan ab.

Phase IV: Die Methanproduktion erreicht ein Maximum und die CH_4 -Konzentration im Deponiegas liegt typischerweise zwischen 50 und 70 Prozent. Die organische Belastung im Sickerwasser sinkt (TOC) und es verbleiben vorwiegend schwer abbaubare organische Verbindungen. Die Gasbildungsrate in der stabilen Methanphase geht mit fortschreitendem Abbau organischer Substanz zurück und es wird davon ausgegangen, dass immer mehr Luft in den Deponiekörper infiltriert. Wie bereits erwähnt, stützen sich die Beschreibung der Phasen VI-VII auf Annahmen, da keine Deponien bekannt sind, bei denen dieser Zustand vorliegt (Kjeldsen et al., 2002).

Heutzutage werden auf Massenabfalldeponien überwiegend Abfälle aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung abgelagert (siehe Kapitel 2.2.3.2). Der hohe Anteil organischer Abfälle beeinflusst das Emissionsverhalten maßgeblich.

Der Abbau organischer Substanz führt zur Produktion von Deponiegas (CH_4 und CO_2) und zur organischen Belastung des Sickerwassers. Diese Prozesse bestimmen während des Betriebes und in den ersten Jahrzehnten danach das Emissionsverhalten (vgl. Kapitel 2.5), zudem kommt es durch Auswaschung löslicher Salze und von Ammonium sowie zur Stofffreisetzung über den Sickerwasserspfad (Laner et al., 2011).

Durch die Einführung der Deponieverordnung im Jahr 1996 wurde die Ablagerung von unbehandelten, organischen Abfällen unterbunden (Begrenzung des TOC-Gehaltes auf 5 M%). Das Emissionsverhalten von Massenabfalldeponien wird dennoch maßgeblich durch Umwandlungsprozesse organischer Substanzen bestimmt.

2.6.2 Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken (RSD)

Bestehende Studien haben gezeigt, dass eine Vielzahl von Reaktionen in Schlackedeponien ablaufen, welche teilweise mit umweltrelevanten Emissionen verbunden sind (Belevi et al., 1992, Förstner und Hirschmann 1997). Zudem kommt es zu einer Vielzahl exothermer Reaktionen (Hydratation von Schlackephase, Metallkorrosion, Kalziumsilikatbildung), welche zu einem starken Temperaturanstieg im Schlackekörper führen (Laner et al., 2010).

MVA-Schlacke wird aufgrund der silikatischen Matrix oft als erdkrustenähnliches Material bezeichnet, jedoch unterscheidet sich dieses in einigen Punkten wesentlich von natürlichem Gestein. Die Metalle Kupfer, Eisen, Zink, Blei und Aluminium sind in frischer Schlacke weitgehend in elementarer Form enthalten. Diese werden bei Kontakt mit Sauerstoff rasch oxidiert. Auch kann es bei der Reaktion von elementarem Aluminium, Eisen und Zink mit Wasser zur Entstehung von Wasserstoffgas kommen. Die in der Schlacke enthaltenen basischen Metalloxide wie Calcium- oder Magnesiumoxid bilden beim Kontakt mit Wasser in einem exothermen Prozess Hydroxide. Neben Salzen in löslicher Form (Chloride, Sulfate) und in unlöslicher Form (Sulfide, Phosphate, Schwermetallhydroxide) finden sich auch Schwermetalle in einem breiten Spektrum in MVA-Schlacke wieder. In der Schlacke befinden sich Reste an organischem Kohlenstoff. Bis zu welchem Grad dieser mikrobiell verfügbar ist, bisher wenig bekannt (Huber et al., 1996).

Nach der Verbrennung stellt sich unter den gegebenen Sauerstoff- und Temperaturbedingungen in den Verbrennungsrückständen ein thermodynamisches Gleichgewicht ein. Die im Ofen gebildeten metastabilen Phasen wandeln sich in stabile Mineralphasen um. Diese Bedingungen haben zur Folge, dass in einem Deponiekörper eine Vielzahl von ungesteuerten chemischen und physikalischen Prozessen abläuft (Setzungen, Auslaugung, Ausfällung, Komplexbildung, Säure-Basen-Reaktionen, Redox-Reaktionen sowie Sorption/Desorption). Bei glasig erstarrten Schmelzphasen beginnen durch den Kontakt mit Wasser schon nach wenigen Tagen Hydratationsreaktionen, welche letztlich zur Rekristallisation der Gläser führt. Basische Metalloxide (z.B. Kalziumoxid) werden durch den Kontakt mit Wasser in entsprechende Hydroxide übergeführt und gehen zum Teil in Lösung. Durch das Lösen von Kalziumhydroxid steigt der pH-Wert des Sickerwassers stark an (pH 11- 12). Treten die glasigen Bestandteile mit alkalischem, Ca-reichem Sickerwasser in Kontakt, werden neue Mineralphasen gebildet und freie Porenräume werden teilweise bzw. vollständig aufgefüllt. Innerhalb von Monaten kommt es aufgrund dieser Prozesse zu einer Verfestigung der Ablagerung. Drei kristalline Phasen können charakterisiert werden: Eine Ca/Si-reiche, kristalline Phase, eine Ca/Al-reiche Phase (Kalziumaluminiumsilikathydrat) und eine Si/Al-reiche Phase (Tonminerale). Zeitgleich findet in der frischen Schlacke eine zweite Reaktion statt, welche in Konkurrenz zur Bildung der vorhin genannten Phasen steht. In kalziumhydroxidreichem Sickerwasser kommt es beim Kontakt mit CO₂-haltigem Sickerwasser zur Ausfällung von Calciumcarbonat. CO₂ wird entweder aus der Luft in den Deponiekörper eingetragen oder entstammt dem Abbau organischer Substanz. Zudem kommt es nach Ablagerung der Schlacke zur Umsetzung der elementar vorliegenden Stoffe. Aluminium reagiert in stark basischem Milieu zu Aluminiumhydroxid, wobei auch größere Mengen an Wasserstoff freigesetzt werden. Eisenhydroxid wird durch die Reaktion von Eisen mit Sauerstoff und Wasser gebildet. Zusätzlich finden die Mineralisierung von organischem Material und die Oxidation von Eisensulfid statt. Der mikrobielle Abbau von organischem Kohlenstoff kann erst nach Absinken des pH-Wertes einsetzen. In welchem Umfang dieser Abbau erfolgen kann,

ist abhängig von der mikrobiellen Verfügbarkeit des Rest-TOC und bisher noch wenig bekannt. Das Deponiegas, welches bei der Alterung von Schlacke entsteht, setzt sich hauptsächlich aus Wasserstoffgas und Wasserdampf zusammen. Die Bildung von Kohlendioxid und Methan aus dem mikrobiellen Abbau von organischem Kohlenstoff kann vernachlässigt werden, da im Gegensatz zum Abbau in einer Restmülldeponie der Abbau von organischem Kohlenstoff sehr langsam abläuft. Dadurch kann das aus dem aeroben Abbau gelöste CO_2 im Sickerwasser zur Bildung von $\text{Ca}(\text{CO})_3$ beitragen. Bei Experimenten an gemahlene Schlacken (Huber et al., 1997) konnten keine anaeroben Abbauvorgänge und somit keine Methanproduktion beobachtet werden (Hutterer et al., 2000).

Im Sickerwasser von Schlackedeponien konnten vor allem in den ersten Jahrzehnten hohe Konzentrationen löslicher Salze beobachtet werden, aber auch der Gehalt von TOC oder NH_4 konnte - bezogen auf Einleitergrenzwerte - nicht eingehalten werden (Laner et al., 2011).

2.6.3 Deponieverhalten von Baurestmassen (BRMD)

Im Jahr 2015 fielen rund 10 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an. Diese setzen sich aus Aushubmaterialien, mineralischen Abfällen, organisch/metallischen Abfällen und gefährlichen Abfällen zusammen (BAWP, 2017). Welche Abfallgruppen zur Deponierung auf Baurestmassendeponien gelangen dürfen, wurde in Kapitel 2.2.3 genauer erläutert, demnach werden als Baurestmassen im allgemeinen Sinne „Materialien, die bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallen, ausgenommen Baustellenabfälle“ verstanden. Demnach können Baurestmassen aus Asphaltaufbruch, Betonabbruch, Boden, Mauerwerksabbruch, Gips und Ziegelabbruch bestehen. Bauwerksbestandteile wie Metalle, Kunststoff, Holz, Papier, Kork etc. dürfen nur mit einem Volumsanteil von maximal 10 % enthalten sein (DVO 2008).

Je nach Bestandsdauer der Baurestmassendeponien kann die Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle stark variieren. Einerseits ist dies auf den technologischen Wandel in der Baubranche zurückzuführen, andererseits auf die im Laufe der Zeit geänderten gesetzlichen Bestimmungen. So hat zum Beispiel die im Jahr 2016 eingeführte Recycling-Baustoff-Verordnung (RBV) zum Ziel, gemäß den EU-Vorgaben ein qualitativ hochwertiges Recycling von Bau- und Abbruchabfällen zu fördern. Bei Bau- und Abbruchtätigkeiten sind gefährliche von nicht gefährlichen Abfällen immer vor Ort zu trennen, fallen mehr als 750 Tonnen Bau und Abbruchabfälle an (ausgenommen Bodenaushub), ist jedenfalls eine Schad- und Störstofferkundung durch eine rückbaukundige Person durchzuführen sowie ein Rückbaukonzept vorzulegen. Die Trennung der anfallenden Materialien vor Ort sollte in die Fraktionen Bodenaushub, mineralische Abfälle, Ausbauasphalt, Holzabfälle, Metallabfälle, Kunststoffabfälle und Siedlungsabfälle erfolgen (Westermayer und Rosenberger, 2018). Dementsprechend ist zu erwarten, dass jüngere Baurestmassendeponien über ein geringeres Emissionspotential verfügen, da ein höherer Vorsortierungsgrad den mobilisierbaren Anteil an Schadstoffen herabsetzen sollte.

Auch durch eine Vorsortierung und Aufbereitung der Baurestmassen können Beimengungen nicht gänzlich vermieden werden. So beeinflussen zum Beispiel Materialien wie Holz, Kartonagen, Papier, Pappe und Plastik den Parameter des organisch gebundenen Kohlenstoffs - TOC. Belastetes Sickerwasser steht in Bezug auf das Emissionsverhalten im Vordergrund, Gasemissionen können aufgrund der geringen Organik in Baurestmassendeponien vernachlässigt werden (Denner et al., 2005).

Maßgeblich für die Konzentration der Schadstoffe im Sickerwasser ist die durch den Deponiekörper durchgesetzte Wassermenge, die Heterogenität oder Wasserströmungsverhältnisse des Abfallkörpers. Zudem müssen deponietechnische Faktoren (Schütthöhe, Einbautechnik) berücksichtigt werden. Bei Betrachtung der Emissionen aus Baurestmassendeponien lassen sich vor allem hohe Sulfatkonzentrationen im Sickerwasser messen, auch erhöhte TOC-, N-, und Cl-Gehalte konnten beobachtet werden. Auch der Gehalt von Schwermetallen wie Eisen, Zink oder spezifische organische Schadstoffe (z.B. PAK) im Sickerwasser können von Bedeutung sein. Zudem sind durch den Sauerstoffeintrag in das Sickerwasser auch hohe Gesamtstickstoffwerte anzutreffen (Laner et al., 2011).

Erhöhte Sulfatgehalte können auf das Vorhandensein von Gips, Gipsmauersteinen, Gipskartonplatten oder Heraklith (bei Verwendung von Gips als Bindemittel) zurückgeführt werden. Die Ablagerung von Asphalt, Bitumen, Teerpappe oder Kamin beeinflussen das Vorhandensein polyzyklisch aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) im Sickerwasser (Denner et al., 2005).

2.7 Einfluss auf die Prozesse in Deponien

Da die zuvor genannten Prozesse maßgeblich von den vorherrschenden Bedingungen am Standort beeinflusst werden, wird im Folgenden ein Überblick darüber gegeben.

Nach Stegmann et al. (2006) wird das Emissionspotential maßgeblich vom Deponietyp bzw. der Art der abgelagerten Abfälle mit ihren über den Wasser- und Gaspfad mobilisierbaren Anteilen bestimmt. Die Hauptfaktoren, welche das Emissionsverhalten von Deponien bestimmen, sind:

- Art und Zusammensetzung unterschiedlicher Abfallgruppen (Deponietyp)
- Klimatische Bedingungen am Deponiestandort
- Einbautechnik und bauliche Maßnahmen

2.7.1 Art und Zusammensetzung abgelagerter Abfälle

Wie bereits in Kapitel 2.4 erwähnt, hängt der mobilisierbare Anteil von Stoffen wesentlich von der Konzentration und der Einbindung dieser im abgelagerten Material ab.

In der Zusammensetzung der Abfallgruppen bestehen die Unterschiede hauptsächlich bei den organischen Anteilen, beim Stickstoff, den Salzen und den Schwermetallen (Stegmann et al., 2006).

Tabelle 2-3 zeigt unterschiedliche Parameter in Gramm pro Kilogramm Trockensubstanz der Stoffzusammensetzung von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, von Schlacke nach der Lagerung und von Bauschutt. Die größten Differenzen der betrachteten Abfallgruppen ergeben sich für den Parameter Kohlenstoff, welcher für Outputmaterial einer MBA deutlich über den Werten für Schlacke und Bauschutt liegt. Diese Differenzen spiegeln sich auch im Sickerwasser der unterschiedlichen Deponietypen wieder. Hier ist allerdings zu erwähnen, dass mit Inkrafttreten der DVO-Novelle im Jahr 2008 der TOC-Gehalt abzulagernder Abfälle auf Massenabfalldeponien mit 5 M% begrenzt worden ist. Die Parameter der Abfallgruppe Bauschutt liegen zum Teil deutlich unter jenen des MBA-Materials bzw. der Schlacke. Vor allem Metalle wie Chrom, Eisen, Kupfer oder Zink liegen einige Größenordnungen darunter. Die Angaben für den Parameter Calcium liegen für Bauschutt über den Werten der verglichenen Deponieklassen. Für Chlorid sind keine Angaben gemacht worden, vermutlich liegt dieser Parameter aber auch deutlich höher.

Tabelle 2-3: Ausgewählte Parameter der Stoffzusammensetzung unterschiedlicher Abfallgruppen (zitiert in Stegmann et al., 2006; MBA: Kaartinen et al., 2005; Schlacke: Hirschmann et al., 1997; MBT, 1992; Bauschutt: Bode, 2005, Düser, 2003)

Parameter [g/kgTS]	MBA-Output	Schlacke (nach Lagerung)	Bauschutt
Kohlenstoff	240	10,3	13
Chlorid	5,9	2,7	1,5 ¹
Schwefel	6,8	6,6	5,9 ¹
Calcium	39	47,2	59,6
Kalium	10	20,6	9,91
Chrom	0,2	0,229	0,019
Eisen	16	51,2	9,4
Kupfer	0,8	3,7	0,021
Zink	1,7	4,2	0,071
Stickstoff	-	0,3-0,5 ²	1,05*

¹Schachermayer et al., 1998, ²Laner et al., 2011; ³Obernosterer und Reiner, 2003

Wie sich die Stoffzusammensetzung auf die Belastung im Sickerwasser auswirkt, ist von mehreren Faktoren abhängig. Abbau organischer Substanz, Auswaschungsprozesse und pH-Wert sind nur ein paar der Einflussfaktoren, welche in Kapitel 2.4 genauer beschrieben wurden.

2.7.2 Klimatische Bedingungen am Standort

Da der Stoffaustrag über das Sickerwasser bei Deponien unmittelbar vom Wasserhaushalt abhängig ist, welcher wiederum von der klimatischen Sickerwasserbildung, dem durchströmten Abfallkörper und der Ablagerungsmächtigkeit bestimmt wird, kann zur Beschreibung des Restemissionspotentials das (unkorrigierte) „Wasser-Feststoffverhältnis“ (W/F) ermittelt werden (Stegmann et al., 2006).

Das W/F-Verhältnis gibt Auskunft darüber, von wieviel Wasser der Abfallkörper durchflossen wurde.

Dieses berechnet sich nach Allgaier & Stegmann (2002) aus der infiltrierten Wassermenge in die offene bzw. rekultivierte Deponie über die gesamte Dauer, bezogen auf die Masse der Trockensubstanz im Deponieausschnitt mit der Grundfläche von 1 m²:

$$\frac{W}{F} = \frac{(I_o * a_o) + (I_R * a_R)}{(1-w) * m_{FS}} = \left[\frac{1}{\text{kgTS}} \right] \quad (2.3)$$

W ... Wasser

F ... Feststoff

I_o ... Infiltration in die offene Deponie

I_R ... Infiltration in die rekultivierte Deponie

a_o ... Dauer der offenen Ablagerung

a_R ... Dauer der geschlossenen, rekultivierten Ablagerung

w ... Wassergehalt des Abfalls

m_{FS} ... Masse in kg des Abfalls im Deponieausschnitt mit der Grundfläche von 1 m²

Wieviel Schadstoffe tatsächlich über den Wasserweg ausgetragen werden können, hängt unter anderem von der Wasserverteilung innerhalb der Ablagerung ab. Für Altablagerungen hausmüllähnlichen Inhalts gilt: je inhomogener die Wasserströmung, desto geringer das aktuelle Emissionsniveau, allerdings desto höher das konservierte Restemissionspotential. Um die Tatsache zu berücksichtigen, dass bei mächtigen Ablagerungen nicht die gesamte Schüttung wasserdurchströmt wird, sondern nur ein Teil (ζ) davon, ist das W/F-Verhältnis mit dem Homogenitätsgrad $\zeta(h)$ zu korrigieren (Döberl et al., 2005).

Der Quotient aus dem wasserdurchströmten Volumen V_{wd} und dem gesamten Ablagerungsvolumen V_{ges} definiert den Homogenitätsgrad:

$$\zeta = \frac{V_{wd}}{V_{ges}} \quad (2.4)$$

Das unkorrigierte Wasser-Feststoff-Verhältnis kann nach Döberl et al. (2005) folgendermaßen korrigiert werden:

$$\left(\frac{W}{F}\right)_{\text{corr}(\zeta)} = \frac{W/F}{\zeta(h)} \quad (2.5)$$

Nach Einschätzung eines Experten (Döberl Gernot, 2019) ist der Abfallkörper von Baurestmassendeponien, vor allem von jüngeren Standorten, als grundsätzlich homogener Abfallkörper zu betrachten, das unkorrigierte W/F-Verhältnis scheint zweckmäßig.

Wie das Wasser/Feststoff-Verhältnis für die erhobenen Baurestmassendeponien ermittelt wurde, ist in Kapitel 3.3.1 genauer beschrieben.

3. Methodik

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, sind Deponiebetreiber dazu verpflichtet Emissionen aus dem Deponiekörper zu überwachen und zu protokollieren. Die Ergebnisse sind in einem jährlichen Deponiebericht der Behörde zu übermitteln. Zusätzlich muss eine Jahresbilanz über die eingebrachten Materialien erfolgen und gemeldet werden.

3.1 Datenerhebung

Das Ziel der Datenerhebung bestand darin, Informationen unterschiedlicher Baurestmassendeponien zu erhalten, um eine Auswertung hinsichtlich des Emissionspotentials durchführen zu können. Dafür wurden Primärdaten zur anonymisierten Auswertung herangezogen. Um diese Daten zu erheben, wurde bei Betreibern von Baurestmassendeponien in Österreich angefragt. Zunächst war es irrelevant ob die jeweilige Deponie noch in Betrieb ist, oder sich bereits in der Nachsorge befindet.

Folgende Daten wurden bei den Deponiebetreibern angefragt:

- Grundlegende Standortinformationen (Alter, Bedingungen am Standort)
- Ablagerungshistorie (Mengen, Art, Zeitpunkt des Einbaus)
- Klimatische Verhältnisse (Niederschlag, Verdunstung)
- Bautechnische Aufzeichnungen (offene/rekultivierte Deponiefläche)
- Sickerwasserqualität (Ergebnisse aus der Analyse des Sickerwassers) und Sickerwassermenge

3.1.1 Auswahl der Deponiestandorte

Unter dem Link www.edm.gv.at gelangt man zum „EDM-Portal“. Über das Tool Standortsuche nach Anlagentypen wurde eine Auflistung der in Österreich registrierten Baurestmassendeponien exportiert. Diese Liste enthält mit Stand 04.07.2018 126 Standorte. Zunächst wurden ein Motivationsschreiben und ein Expose der Arbeit verfasst. Anschließend wurden die Kontaktdaten der jeweiligen Deponiebetreiber beziehungsweise der zuständigen Personen mittels Internetrecherche und durch Telefonate erhoben. Zudem konnten bei einem fachspezifischen ÖWAV-Seminar weitere Ansprechpartner gefunden werden.

Da in der Auflistung aus dem EDM-Portal keine Informationen zu Deponiegröße, Betriebsdauer oder darüber ob sich die Standorte noch in Betrieb oder bereits in der Nachsorge befinden hervorgehen, wurde die Liste zunächst nach Erreichbarkeit der jeweiligen Personen (telefonisch bzw. per E-Mail) durchgearbeitet.

Nach einigen Anfragen und Telefonaten stellte sich heraus, dass viele der gelisteten Standorte für die Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit nicht in Frage kommen. Hierfür waren in den meisten Fällen die Größe der Deponie ausschlaggebend. Von einigen Betreibern wurde angegeben die Deponie nur mit sehr geringen Mengen zu verfüllen. Zudem zeigte sich, dass zum Teil einzelne gelistete Positionen als ein Standort zu betrachten waren bzw. keine getrennte Sickerwasserfassung erfolgt.

Die Rückmeldung der jeweiligen Ansprechpersonen der Standorte erfolgte oftmals erst nach mehreren Wochen. Um die Relevanz der Standorte einzugrenzen, wurde eine Anfrage auf Umweltinformationen in Bezug auf § 4, Abschnitt 2 des Umweltinformationsgesetzes auf Informationen über Wasser, Boden und Luft sowie Informationen über Emissionen, welche nach § 2, Z2 UIG erfasst werden, an das Umweltbundesamt gestellt.

Im Rahmen dieser Anfrage wurde eine Beschreibung der Ziele der Masterarbeit und eine Auflistung der benötigten Informationen übermittelt. In dieser Auflistung wurde um

- Informationen zu: Standort und Betreiber (bzw. Geschäftsleitung),
- Datum des Ablagerungsbeginns, Ablagerungsdauer,
- jährliche Ablagerungsmenge,
- Parameter der chemischen Analysen des Sickerwassers und
- Art (Schlüsselnummer) der abgelagerten Abfälle erbeten.

Da die meisten Informationen betriebliche Daten sind, unterliegen diese dem Datenschutzgesetz und durften nicht übermittelt werden.

Vom Umweltbundesamt wurde eine Liste mit 51 Standorten von Baurestmassendeponien in Österreich mit der Information zum Jahr der Inbetriebnahme übermittelt. Die Wahl der Standorte ist auf die Beurteilung des Umweltbundesamtes hinsichtlich der Beschreibung der Arbeit zurück zu führen. Auf Grundlage dieser Liste wurden dann die weiteren Standorte kontaktiert.

3.2 Aufbereitung der Daten

Nach Lechner und Dreier (1995) liegt das spezifische Gewicht für Bauschutt zwischen 1.400 und 2.000 kg/m³. Im Mittel hat sich nach Gegenüberstellung der Aufzeichnungen aus Wiegung und Vermessung aus den Deponiejahresberichten eine mittlere Dichte von rund 1.800 kg/m³ ergeben. Dieser Wert wurde in der gegenständlichen Arbeit für die Umrechnung von Ablagerungsmasse und –kubatur herangezogen. Wenn keine vollständigen Zeitreihen über die Ablagerungsmasse zur Verfügung standen, wurde über die gesamte abgelagerte Kubatur rückgerechnet.

Waren Zeitreihen der Sickerwasserkonzentrationen mit mehreren Messungen pro Jahr vorhanden, so wurden Mittelwerte für das jeweilige Jahr gebildet. Werte unter der Bestimmungsgrenze wurden mit dem jeweiligen Wert der Bestimmungsgrenze angenommen.

In den meisten Fällen sind die Stickstoffparameter Ammonium, Nitrat und Nitrit als in den jeweiligen Verbindungen enthaltener Stickstoff angegeben. Also in der Form NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N. Teilweise sind die anorganischen Stickstoffparameter bei der chemischen Analyse als Ammonium NH₄, Nitrat NO₃ oder Nitrit NO₂ angegeben. Analog dazu verhält es sich mit den Angaben zu und Phosphor PO₄ und Ortho-Phosphat PO₄-P. Für die Erstellung von Stoffbilanzen ausgewählter Stoffe ist der Schwefelgehalt im Sickerwasser relevant. Auch hier wurde der in der Verbindung Sulfat enthaltener Schwefel ermittelt.

Um die Daten vergleichbar zu machen, wurden diese mittels eines Faktors in die jeweils gleiche Form umgerechnet. Die Ermittlung dieses Faktors erfolgte anhand der molaren Massen aus dem Periodensystem der Stoffe Stickstoff N, Wasserstoff H, Phosphor P, Sauerstoff O und Schwefel S.

Tabelle 3-1: Molare Masse ausgewählter Elemente

Element	Wert	Einheit
Stickstoff N	14,007	g/mol
Wasserstoff H	1,008	g/mol
Phosphor P	30,978	g/mol
Sauerstoff O	15,999	g/mol
Schwefel S	32,07	g/mol

Die molare Masse der Verbindungen errechnet sich nach Kurzweil (2012) wie folgt:

$$\text{NH}_4 = 14,007 + 4 * 1,008 = 18,039 \text{ g/mol} \quad (3.1)$$

$$\text{NO}_3 = 14,007 + 3 * 15,999 = 62,004 \text{ g/mol} \quad (3.2)$$

$$\text{NO}_2 = 14,007 + 2 * 15,999 = 46,005 \text{ g/mol} \quad (3.3)$$

$$\text{PO}_4 = 30,978 + 4 * 15,999 = 94,970 \text{ g/mol} \quad (3.4)$$

$$\text{SO}_4 = 32,07 + 4 * 15,999 = 96,066 \text{ g/mol} \quad (3.5)$$

Da es sich bei der Angabe $\text{NH}_4\text{-N}$ um den in Form von Ammonium enthaltenen Stickstoff handelt, können die Verbindungen über ihre molare Masse [g/mol] miteinander in Beziehung gesetzt und der entsprechende Faktor herausgerechnet werden.

Faktor für die Umrechnung von Ammonium zu Ammonium-Stickstoff:

$$\frac{c(\text{NH}_4\text{-N})}{c(\text{NH}_4)} = \frac{14,007}{18,039} = 0,776484 \quad (3.6)$$

Faktor für die Umrechnung Nitrat zu Nitrat-Stickstoff:

$$\frac{c(\text{NO}_3\text{-N})}{c(\text{NO}_3)} = \frac{14,007}{62,004} = 0,225905 \quad (3.7)$$

Faktor für die Umrechnung Nitrit zu Nitrit Stickstoff:

$$\frac{c(\text{NO}_2\text{-N})}{c(\text{NO}_2)} = \frac{14,007}{46,005} = 0,304467 \quad (3.8)$$

Faktor für die Umrechnung Phosphat zu Phosphor:

$$\frac{c(\text{PO}_4\text{-P})}{c(\text{PO}_4)} = \frac{30,97376199}{94,96976} = 0,326143 \quad (3.9)$$

Faktor für die Umrechnung Sulfat zu Schwefel:

$$\frac{c(\text{S})}{c(\text{SO}_4)} = \frac{32,07}{96,066} = 0,33382 \quad (3.10)$$

Diese Faktoren wurden herangezogen, um sowohl erhobene Primärdaten, als auch Daten aus der Literatur vergleichbar zu machen. Der anorganische Gesamtstickstoff errechnet sich aus der Summe von $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und wird in der gegenständlichen Arbeit als N_{ges} bezeichnet.

Für die Darstellung der Sickerwasserkonzentrationen in Bezug zum Wasser/Feststoff-Verhältnis und zur mittleren Ablagerungsdauer wurden jene Kompartimente, die bereits geschlossen sind und über eine eigene Sickerwasserfassung verfügen, mit bereits stillgelegten Standorten zusammengefasst und als stillgelegte Deponien betrachtet.

Zudem wurden die Messungen der Sickerwasserkonzentrationen von Ausreißern bereinigt. So lag zum Beispiel der Nitratgehalt an einem Standort bei knapp 2500 mg/l,

bei einer zweiten Messung 5 Monate später bei rund 120 mg/l, dies entspricht dem Durchschnittswert über die Messreihe an diesem Standort. Hier wurde von einem Messfehler ausgegangen.

3.3 Auswertung der Daten

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Ermittlung der Parameter W/F-Verhältnis, BS/BA-Verhältnis, mittlere Ablagerungsdauer sowie die Erstellung grober Stoffbilanzen erfolgt. Diese dienen zur Darstellung und Interpretation der Sickerwasserkonzentrationen der erhobenen Deponien. Eine Tabelle mit den jeweiligen Werten ist im Anhang dargestellt.

3.3.1 Ermittlung des Wasser/Feststoff-Verhältnisses von Deponien

Um zu untersuchen, wie sich die klimatischen Bedingungen und der Wassereintrag in den Deponiekörper auf die Sickerwasserkonzentrationen von Baurestmassendeponien auswirken, wurden ausgewählte Parameter mit dem W/F-Verhältnis zum Zeitpunkt der Messung in Beziehung gesetzt. Zudem können so unterschiedliche Standorte miteinander verglichen werden. Wie das Wasser-Feststoff-Verhältnis grundsätzlich ermittelt werden kann, wurde in Kapitel 2.7.2 beschrieben.

Der Wassergehalt der abgelagerten Abfälle wurde mit 12 % angenommen. Dieser Wert ergibt sich als Mittelwert des Wassergehaltes mehrerer Eingangskontrollen aus den Jahresberichten der erhobenen Baurestmassendeponien.

Die potentielle Gebietsverdunstung kann für unterschiedliche Messstellen in Österreich aus den Aufzeichnungen vom Hydrographischen Dienst entnommen werden. Diese ist für die jeweiligen Standorte in Tabelle 4-1 dargestellt. Die Tabelle veranschaulicht lediglich die klimatischen Bedingungen der verschiedenen Standorte, da zur Berechnung die tatsächliche Verdunstung herangezogen wird.

Da die tatsächliche Verdunstung jedoch nicht an den jeweiligen Standorten bestimmt wird, wurde für die Ermittlung des W/F-Verhältnis eine mittlere Jahresverdunstung von 225 mm angenommen. Dies wird, gemäß dem Arbeitsbehelf zur Ermittlung der Sickerwasserbelastung an kontaminierten Standorten (Wimmer und Döberl, 2011), zur Ermittlung der Sickerwasserrate einer vegetationslosen Fläche angenommen. Teilversiegelte Flächen konnten durch einen flächenspezifischen Infiltrationsbeiwert berücksichtigt werden. Dieser Beiwert ergibt sich, je nach Oberflächenbeschaffenheit, für Asphalt mit starken Schäden und Pflasterungen mit durchlässigen Fugen zu 40-80 % Versickerung vom Jahresniederschlag (Wimmer und Döberl, 2011).

Die Differenz aus Niederschlag und Evapotranspiration ergibt die in den Abfallkörper infiltrierte Wassermenge (Ramke, 1993, Döberl et al., 2005).

Abgedichtete und rekultivierte Deponieflächen müssen eine maximale Infiltrationsrate von 5 % des Jahresniederschlags einhalten (DVO, 2008).

Fortschreitende Ablagerung und Einbautechnik führen zu unterschiedlicher Durchlässigkeit der Deponieoberfläche. Auf Basis der DVO und der soeben genannten Literatur wurden zur Ermittlung des W/F-Verhältnisses unterschiedliche Infiltrationsraten je nach Oberflächenbeschaffenheit im jeweiligen Jahr kombiniert:

- bei offenen Flächen mit Teilschüttung wurden 50 % des Jahresniederschlags berücksichtigt,
- stark geneigte Flächen wurden mit 15 % angenommen,

- abgedeckte Flächen mit 10 % und
- rekultivierte Flächen mit 5 %.

Der Oberflächenabfluss wurde vernachlässigt. Die so abgeminderte Niederschlags-höhe wurde dann fortlaufend über die Jahre aufsummiert. Ebenso die abgelagerte Masse bezogen auf die Deponiefläche von 1 m² für das jeweilige Jahr.

Auf Basis der Formel 2.1, welche in Kapitel 2.7.2 genauer beschrieben wird, ist nach den zuvor genannten Annahmen die jährliche Infiltration in den Deponiekörper bestimmt worden. Aus der Beziehung zur kumulierten Abfallmasse - bezogen auf 1 m² - ergibt sich für jeden Standort das auf Basis des Niederschlags ermittelte W/F-Verhältnis W/F_N (Abbildung 3-1).

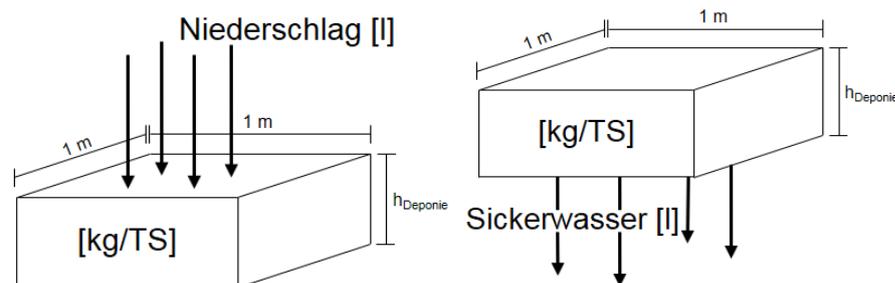


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der ermittelten Größen W/F_N (links) und W/F_{SWA} (rechts)

Für jene Standorte, an denen Zeitreihen der Sickerwassermengenmessung vorhanden waren, konnte zusätzlich das W/F-Verhältnis auf Basis des Sickerwasserabflusses bestimmt werden - W/F_{SWA} (Abbildung 3-1). Um einen jährlichen Sickerwasseranfall pro Quadratmeter Deponiefläche zu erhalten, wurde die Sickerwassermenge mit der offenen Deponiefläche in Beziehung gesetzt. Anschließend wurde diese Menge über die Jahre aufsummiert und anschließend im jeweiligen Jahr auf die kumulierte Trockenmasse des Abfallkörpers bezogen. Der grafische Vergleich der beiden berechneten Größen ist in den jeweiligen Kapiteln der Deponiestandorte angeführt.

3.3.2 Ermittlung der mittleren Ablagerungsdauer

Da Schlacken in der ersten Phase nach der Ablagerung starken chemischen und physikalischen Umwandlungsprozessen ausgesetzt sind (Kapitel 2.6.2), scheint eine Betrachtung des W/F-Verhältnisses bei Reststoffdeponien - wenn weiterhin frische Schlacken abgelagert werden - wenig sinnvoll (Laner et al., 2011).

Um verschiedene Schlackedeponien mit fortschreitender Ablagerung vergleichbar zu machen, erfolgt in Laner et al. (2011) eine Auswertung der Sickerwasserparameter in Bezug auf die mittlere Ablagerungsdauer (= Zeitraum in dem die durchschnittliche Tonne Abfall bereits auf der Deponie lagert).

Um diese zu ermitteln wird die jährliche Abfallmasse [kg] mit der Dauer [a] die sie auf der Deponie lagert multipliziert. Die jeweiligen Produkte werden dann über den gesamten Ablagerungszeitraum aufsummiert und auf die gesamte abgelagerte Masse bezogen. Die mittlere Ablagerungsdauer [a] ergibt sich nach Gleichung 3.11 wie folgt:

$$mAd [a] = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot (n - (i - 1))}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.11)$$

n ... Ablagerungsdauer [a]

m_i ... Ablagerungsmasse im i-ten Jahr [kg]

3.3.3 Ermittlung des Verhältnisses Bauschutt zu Bodenaushub

Nach Stegmann et al. (2006) sind Art und Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle einer der Hauptfaktoren für das Emissionsverhalten von Deponien.

Da auf demselben Deponietyp Abfallarten in unterschiedlichen Verhältnissen zueinander abgelagert werden, lässt diese Zusammensetzung unterschiedliches Emissionsverhalten verschiedener Standorte vermuten.

Auf Basis der erhobenen Daten wurde das Verhältnis von Bauschutt zu Bodenaushub im jeweiligen Jahr für jeden Standort ermittelt. Anschließend wurden ausgewählte Sickerwasserparameter damit in Beziehung gesetzt. Dadurch soll der Zusammenhang unterschiedlicher Zusammensetzung der Abfälle mit ausgewählten Sickerwasserparametern veranschaulicht werden.

Für die Ermittlung des Parameters (BS/BA) wurde die abgelagerte Menge an Bauschutt und Bodenaushub bis zum jeweiligen Jahr aufsummiert. Anschließend wurde die Summe an abgelagertem Bauschutt durch die Summe an abgelagertem Bodenaushub dividiert und so für jedes Betriebsjahr das Verhältnis der beiden auf dem Standort lagernden Abfallarten ermittelt. Liegt das Verhältnis über eins, lagert mindestens so viel Bauschutt wie Bodenaushub auf dem Standort, nimmt der Wert eine Größenordnung unter eins an, überwiegt der Anteil von Bodenaushub gegenüber Bauschutt. Wurde gar kein Bodenaushub abgelagert, würde das Verhältnis nicht ermittelbar sein bzw. den Wert des abgelagerten Bauschutts in Tonnen annehmen. In diesem Fall wurde das BS/BA-Verhältnis mit 100 begrenzt.

3.3.4 Abschätzung von Stoffbilanzen

Für die Beurteilung des Anteils jener Stoffe, die über den Sickerwasserweg ausgetragen wurden, und jenes der im Deponiekörper verbleibt, werden grobe Stoffbilanzen im Sinne einer Stoffflussanalyse erstellt.

Das Massenerhaltungsgesetz dient als Grundlage für die Massenbilanz zur Beschreibung eines Prozesses und kann mit folgender Formel abgeschätzt werden:

Güter und Stoffflüsse der einzelnen Systeme und Prozesse werden bilanziert (Baccini und Bader, 1996). Als Input wird das Produkt der gesamten über den Beobachtungszeitraum abgelagerten Menge und der Gesamtkonzentration des jeweiligen Stoffes angesetzt. Den Output bildet die Summe des betrachteten Stoffes die über den Sickerwasserweg im Beobachtungszeitraum ausgetragen wurde. Das Lager definiert den im Deponiekörper verbleibenden Anteil des jeweiligen Stoffes (Gleichung 3.12).

$$\sum_i \text{Input}_i = \sum_j \text{Output}_j + \Delta \text{Lager} \quad (3.12)$$

Als räumliche Systemgrenze wird der Deponiekörper definiert, die zeitliche bildet der Ablagerungsbeginn am jeweiligen Standort bis zum Ablagerungsende bzw. zum Erhebungszeitpunkt (2018) von aktiven Standorten.

Wie sich die Ablagerungsmengen an den jeweiligen Standorten zusammensetzen, geht aus der Ablagerungshistorie hervor. Hier wurden die Zeitreihen, wenn nötig, durch Mittelwerte der bekannten Jahre vervollständigt. Auch die Zeitreihen der Sickerwasserkonzentrationen und –mengen wurden durch die Annahme gemittelter

Werte punktuell ergänzt. Die stoffliche Zusammensetzung wurde anhand von Literaturwerten angenommen und festgelegt (Tabelle 2-3).

Die Informationen zur jährlichen Ablagerungsmenge in Verbindung mit der stofflichen Zusammensetzung dienen zur Bestimmung der Inputmenge ausgewählter Stoffe. Die Zeitreihen der Sickerwasserkonzentrationen in Verbindung mit den Sickerwassermengenmessungen bilden die Grundlage zur Abschätzung der Outputmenge.

Nach Baccini und Brunner, (1991) ist der Transferkoeffizient $k_{x,j}$ definiert als:

$$k_{x,j} = \frac{\text{Output}_{xj}}{\sum_i \text{Output}_{xj}} \quad (3.13)$$

Anhand des Transferkoeffizienten wird die Fraktion des gesamten in den Prozess eingebrachten Stoffes x , die in das Gut j transferiert wird, beschrieben. Die Stofftransferkoeffizienten zählen zu den Systemparametern, da sie unabhängig von der Zusammensetzung des Gesamtinputs sind. Der TK ist eine konstante, prozessspezifische Kenngröße, die maßgeblich von der Betriebsweise der Anlage bestimmt wird (Brunner und Daxbeck, 2003).

4. Ergebnisse und Interpretation

4.1 Auswertung der Anfragen

Die Rücklaufquote der Anfragen und welche Hürden bei der Datenerhebung aufgetreten sind ist im Folgenden erläutert. Abbildung 4-1 zeigt die Auswertung der Anfragen an Standorte, die aus dem EDM-Portal exportiert wurden, sowie jener die vom UBA übermittelt wurden.

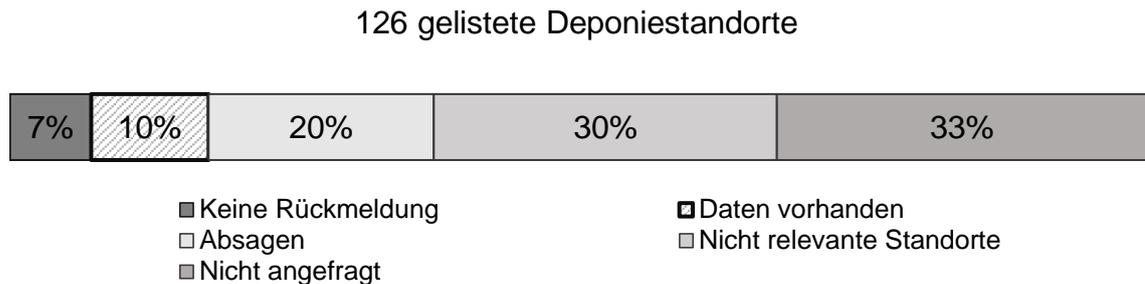


Abbildung 4-1: Auswertung der Anfragen der bei Baurestmassendeponien in Österreich

Von 7 % der gelisteten Standorte kam keine Rückmeldung auf die Anfrage. 10 % der Standorte konnten Daten zur Verfügung stellen, 20 % hatten kein Interesse an einer Zusammenarbeit und 30 % der Standorte erwiesen sich im Laufe der Anfrage aufgrund verschiedener Gegebenheiten als nicht relevant (z.B. keine getrennte SIWA-Fassung). Bei 33 % wurde nicht angefragt, da diese entweder aufgrund des Alters, ihrer Größe oder von fachkundigen Personen (UBA, Experten) als nicht relevant eingestuft wurden.

Hürden bei der Datenerhebung

Obwohl eine Betrachtung des Emissionsverhaltens von Baurestmassendeponien wahrscheinlich auch im Interesse der Betreiber liegt, war die Bereitschaft einer Zusammenarbeit in vielen Fällen nicht gegeben. Dies ist auf mehrere Gründe zurück zu führen:

- Wahrung von Betriebsgeheimnissen
- mangelnde zeitliche Ressourcen
- Wechsel der Geschäftsführung
- Vorhandensein analoger Daten
- Keine getrennte SIWA-Fassung am Standort

4.2 Datengrundlage

Tabelle 4-1 zeigt eine Übersicht der Standortinformationen der erhobenen Deponien. Insgesamt wurden Daten von 13 Standorten erhoben. Vier dieser Standorte, bzw. bestimmte Kompartimente davon, befinden sich bereits in der Stilllegungs- oder Nachsorgephase. Der Datenumfang der Standorte D4-6 sowie D8 war nicht ausreichend, um diese in eine umfangreichere Auswertung miteinzubeziehen. Lediglich in der Auswertung der Parameterbereiche wurden diese berücksichtigt. Im Mittel sind die Standorte 16,6 Jahre betrieben worden, 8 davon wurden vor der DVO-

Novelle im Jahr 2008 in Betrieb genommen. Die mittlere Ablagerungsdauer der Standorte beträgt 10,5 Jahre. Das abgelagerte Volumen liegt zwischen rund 42.000 m³ und 1,8 Mio m³.

Tabelle 4-1: Übersicht der erhobenen Baurestmassendeponien

Deponie	Betriebsbeginn	Alter [a] ²	Stilllegungs-dauer [a] ²	mAd [a]	V [m ³]	N [mm/a]	V [mm/a]	SIWA Parameter /Probenahmen
D1	1995	23	1	14,3	1.870.080	699	455	38/41
D2	1997	21	-	13,7	757.600	1307	418	64/16
D3	2010	8	-	4,4	452.801	855	426	16/16
D4¹	1997	21	-	-	-	560	-	20/17
D5¹	1995	23	-	-	-	573	-	18/7
D6¹	1998	20	-	-	-	-	-	18/5
D7	1992	26	-	13,5/9,6 ³	430.288	598	647	81/18
D8¹	2009	9	-	-	-	-	-	14/5
D9	2013	5	1	2,6	240.486	765	618	61/16
D10	1993	25	4	11,7	246.181	765	618	66/9
D11	2014	4	-	2,2	510.559	522	472	62/12
D12	1993	25/8	7/-	18,7/4,7 ³	70.500/ 42.300	975	426	29/19 bzw. 8
D13	2000	18/13	-	16,1/6 ³	474.958	493	654	53/26

¹ Die zur Verfügung gestellten Daten sind zu gering für eine umfangreiche Auswertung.

² bezogen auf das Jahr 2018

³ Verfüllabschnitt 1 / Verfüllabschnitt 2

Da die klimatischen Bedingungen einen wesentlichen Einfluss auf das Deponieverhalten von Abfällen haben (siehe Kapitel 2.5), werden der mittlere Niederschlag und die mittlere Verdunstung über die Betriebsdauer der erhobenen Deponiestandorte in Abbildung 4-2 dargestellt. Die Daten für den Niederschlag an den jeweiligen Standorten wurden vom Service des hydrografischen Dienstes (ehyd.gv.at) entnommen. Die jeweiligen Verdunstungshöhen stammen aus den hydrografischen Jahrbüchern. Die Daten zur potentiellen Gebietsverdunstung waren frühestens ab dem Jahr 2004 und längstens bis zum Jahr 2016 verfügbar. Die Daten zu den jeweiligen Niederschlagshöhen konnten bis einschließlich 2016 ausgewertet werden. Falls der Niederschlag für die Jahre 2017/18 nicht am Standort bestimmt und aus den Jahresberichten entnommen werden konnte, wurde der Mittelwert aus den Vorjahren angenommen.

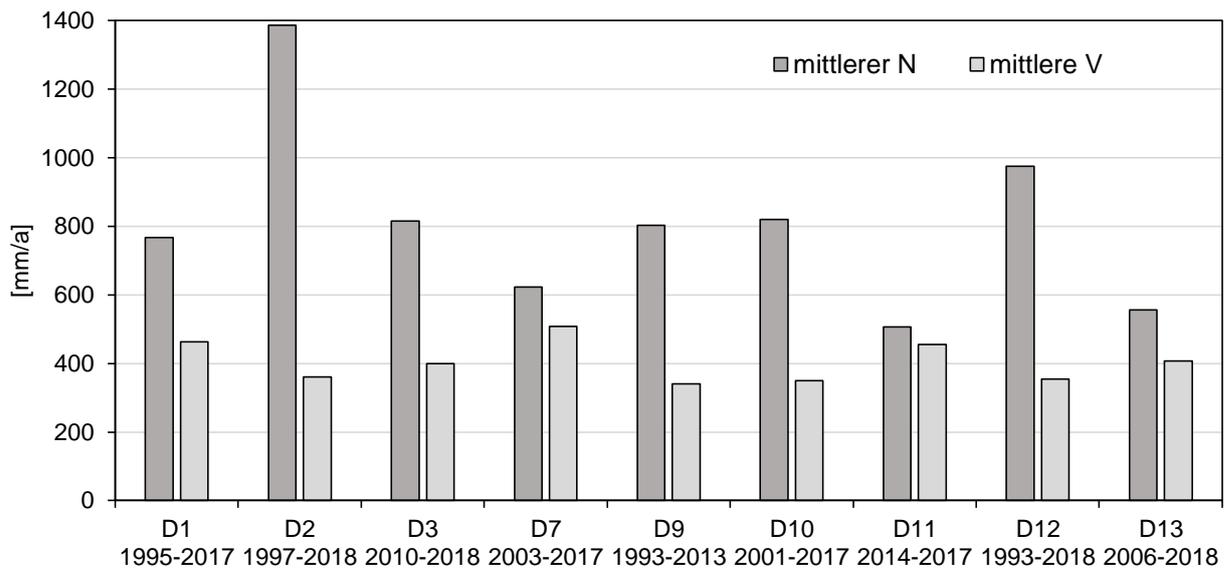


Abbildung 4-2: Mittlerer Niederschlag und mittlere potentielle Gebietsverdunstung über die Betriebsdauer der erhobenen Standorte

Aus Abbildung 4-2 geht hervor, dass an den meisten Standorten der mittlere jährliche Niederschlag zwischen 500 und knapp über 800 mm pro Jahr liegt. Der niederschlagärmste Standort ist mit 506 mm/a D11, der Standort D2 liegt mit 1386 mm/a im niederschlagreichsten Gebiet. An den Standorten D7 und D11 liegt die mittlere jährliche Gebietsverdunstung fast so hoch, wie der mittlere jährliche Niederschlag, was einen geringen Sickerwasseranfall in Abhängigkeit des Niederschlags vermuten lässt. Da für die Berechnung des Wasserhaushaltes am Standort die tatsächliche Verdunstung herangezogen werden sollte, diese aber nicht an den jeweiligen Standorten bestimmt wurde, wird gemäß dem Arbeitsbehelf zur Ermittlung der Sickerwasserbelastung an kontaminierten Standorten (Wimmer und Döberl, 2011) eine mittlere Verdunstung für Österreich von 225 mm/a angenommen (siehe Kapitel 3.3.1).

4.2.1 Qualität der erhobenen Daten

Um einen Überblick über die Vollständigkeit der erhobenen Daten zu erhalten, wurde die Anzahl der Datenpunkte für jeden Standort ausgewertet und in Beziehung zur Betriebsdauer gesetzt. Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4 zeigen eine grafische Darstellung des Datenumfanges für jeden Standort. Berücksichtigt wurden Informationen zu den jährlichen Ablagerungsmengen, aufgeteilt nach Schlüsselnummern (blau), sowie zur jährlichen Sickerwassermenge (grün), zur Sickerwasserkonzentration (dunkelgrau), zum jährlichen Niederschlag (rot) und, den Deponieflächen (hellgrau) im jeweiligen Jahr. Tabelle 4-2 gibt jenen Prozentsatz an, den die tatsächlich vorhandene Menge von der theoretisch vorhandenen Menge an Datenpunkten einnimmt. Die theoretische Menge an Datenpunkten entspricht den 5 zuvor beschriebenen Parametern multipliziert mit der Anzahl der Betriebsjahre bzw. dem Beobachtungszeitraum für den jeweiligen Standort.

Wieviele Parameter der Sickerwasserkonzentration an den jeweiligen Standorten bestimmt wurden, ist in dieser Beurteilung nicht berücksichtigt worden.

Tabelle 4-2: Anteil der tatsächlichen Menge an Messdaten der erhobenen Baurestmassendeponien

Standort	Anteil der Menge an Messdaten
D1	97%
D2	74%
D3	93%
D7.1	45%
D7	78%
D9	76%
D10	22%
D11	98%
D12.1	28%
D12	66%
D13.1	17%
D13	98%

Obwohl der Standort D1 zu den ältesten innerhalb dieser Betrachtung zählt, (siehe Tabelle 4-1) ist die Deponie über die Jahre gut dokumentiert. Die Daten wurden in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Bei den Standorten D7.1, D10, D12.1 und D13.1 liegt der Anteil jeweils unter 50 %, teilweise auch weit darunter. Das liegt vor allem daran, dass diese Standorte bzw. Kompartimente vor 2008 betrieben wurden und Aufzeichnungen teilweise nicht vorhanden waren oder nur mit großem Aufwand ausgewertet hätten werden können. Der Anteil der tatsächlich vorhandenen Daten an den Standorten D2, D3, D7, D11, D12 und D13 liegt meist über 70 %, manche mit nahezu einhundert Prozent der betrachteten Kriterien auch weit darüber.

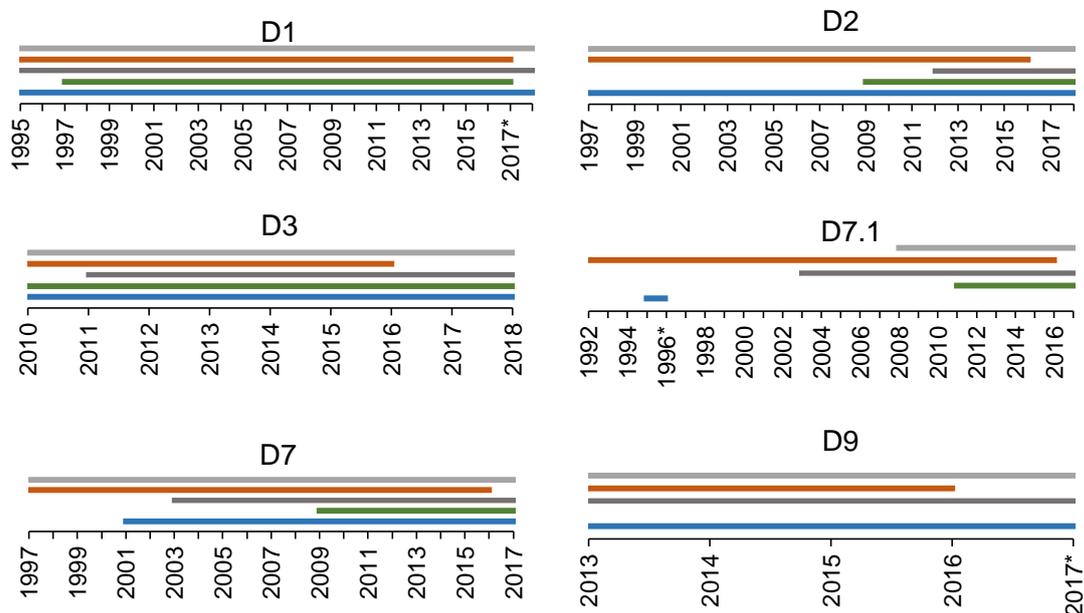


Abbildung 4-3: Zeitreihen der Verfügbarkeit unterschiedlicher Messdaten der erhobenen Baurestmassendeponien D1 bis D9, *Stillgelegt; v.u.n.o.: Ablagerungsmenge: blau, SIWA-Menge: grün, SIWA-Konz.: grau, N: rot, Ablagerungsfläche: hellgrau

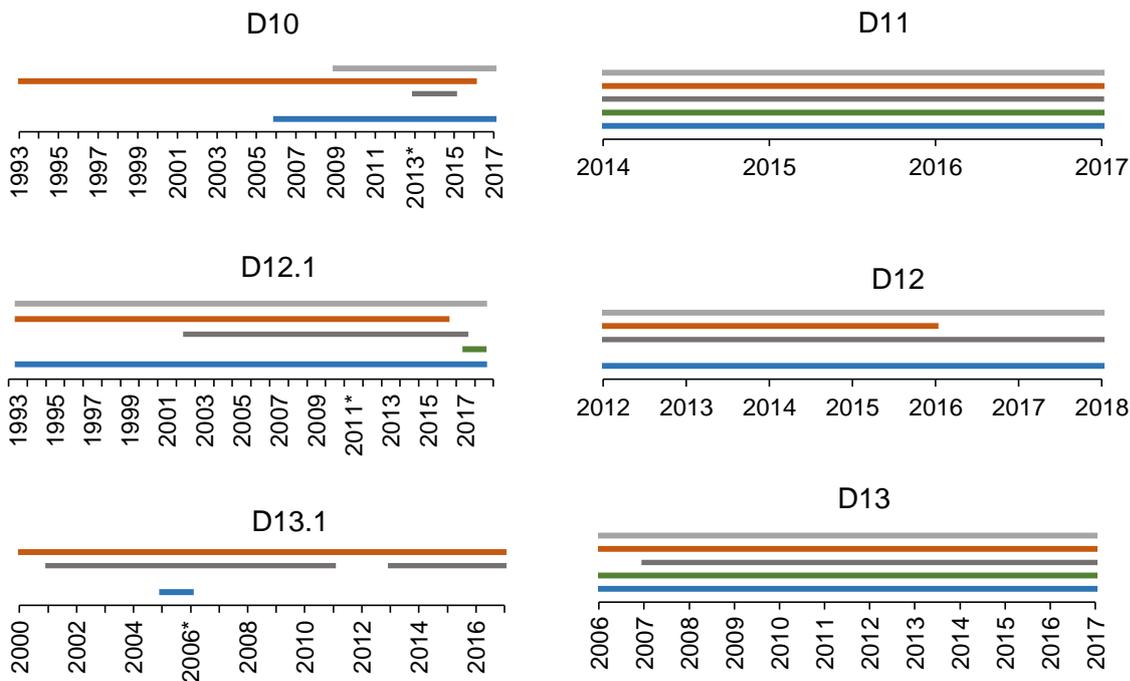


Abbildung 4-4: Zeitreihen der Verfügbarkeit unterschiedlicher Messdaten der erhobenen Baurestmassendeponien D10 bis D13, *Stillgelegt; v.u.n.o.: Ablagerungsmenge: blau, SIWA-Menge: grün, SIWA-Konz.: grau, N: rot, Ablagerungsfläche: hellgrau

Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4 zeigen Zeitreihen der Daten, die für die Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt wurden. Jene Jahre, die auf der x-Achse mit einem „*“ versehen sind, kennzeichnen den Zeitpunkt der Stilllegung. Im besten Fall verlaufen alle Balken geschlossen über den gesamten Beobachtungszeitraum. Die Grafiken machen deutlich, dass die Vollständigkeit der Daten sehr stark vom Ablagerungsbeginn abhängt. Mit Ausnahme von D1, ist an allen Standorten bzw. Kompartimenten, welche vor dem Jahr 2008 betrieben wurden, ein sichtlich geringerer Datenumfang vorhanden. Niederschlagsdaten (rot) sind praktisch über den gesamten Zeitraum aller Standorte vorhanden, da hier auf die Daten des hydrografischen Dienstes zurückgegriffen wurde. Lediglich für die Jahre 2017/18 stehen derzeit noch keine Informationen zu Niederschlagshöhen frei zur Verfügung. Verfügt ein Standort über eine eigene Messstelle, so sind auch für diese Jahre Daten vorhanden (D1, D13). Vor allem die Zeitreihen der Sickerwassermenge (grün), aber auch jene der Sickerwasserkonzentrationen (dunkelgrau) sind in den Jahren vor 2008 lückenhaft, beziehungsweise konnten nicht zur Verfügung gestellt werden, da die Bereitstellung analoger Daten zu aufwändig gewesen wäre. Informationen über die abgelagerten Mengen (blau) sind fast nur an jüngeren Standorten vollständig vorhanden. Bei den Standorten D2, D7.1 und D13.1 sind lediglich die Abfallmengen, nicht aber die -zusammensetzungen bekannt.

4.3 Beschreibung der erhobenen Deponiestandorte

4.3.1 Standort D1

Der Standort D1 wurde im Jahr 1995 als Baurestmassendeponie genehmigt. Bis zum Jahr 2017 wurden rund 1,8 Mio. m³ abgelagert. Bodenaushub (SN 31411) wurde mit einem Anteil von 75 % auf dem Standort abgelagert, Bauschutt (SN 31409) macht 20 % der gesamten abgelagerten Menge aus. Alle anderen Abfallarten liegen zum Teil weit unter 5 %. Im Jahr 2017 wurde die Deponie fertig verfüllt, abgedichtet und befindet sich aktuell in der Stilllegungsphase. Das Sickerwasser wird auf dem Standort in einem Filterbecken gesammelt, behandelt und in den nahegelegenen Vorfluter abgeleitet. Die Proben zur Bestimmung der Sickerwasserkonzentrationen wurden aus dem Zulauf zum Filterbecken von der Deponie bis zum Jahr 2011 zweimal jährlich ermittelt, danach wurde die Konzentration einmal pro Jahr bestimmt. Die Zeitreihe der Messungen beginnt im Jahr 1997, demnach liegen theoretisch 36 Messpunkte zur Auswertung vor. Jedoch wurde der gesamte Parameterumfang nicht bei jeder Messung abgedeckt, wonach diese nicht immer lückenlos dargestellt werden konnten. Zur Auswertung der Daten wurde aus jenen Jahren, in denen zweimal gemessen wurde, der Mittelwert gebildet.

Der mittlere Jahresniederschlag über die Betriebsdauer des Standortes beträgt 768 mm/a, die mittlere Verdunstung liegt bei 462 mm/a.

Aufgrund der Gegebenheiten (Hangdeponie) variierte die offene bzw. abgedeckte und geneigte Deponiefläche stark im Laufe der Jahre. Die Abmessungen konnten überschlägig aus den jährlichen Vermessungsplänen entnommen werden.

Die Sickerwassermenge wurde viermal wöchentlich durch eine Schöpfprobe ermittelt und als l/d dokumentiert, der Jahresmittelwert wurde auf die jährliche Sickerwassermenge hochgerechnet. Für die Jahre 1996, 1997, 2002 und 2011 liegen nur Momentaufnahmen vor (l/s), welche auf das jeweilige Jahr hochgerechnet wurden. Verglichen mit den Jahreswerten aus dem Mittel der täglichen Messungen liegen diese meist um 30 % höher. Die jährliche Sickerwassermenge der Jahre 2012 bis 2017 wurde den Jahresberichten entnommen.

In Abbildung 4-5 ist die Gegenüberstellung der Niederschlagsmenge (bezogen auf die offene Deponiefläche im jeweiligen Jahr) und der jährlichen Sickerwassermenge ersichtlich. Der Standort wurde durch bauliche Maßnahmen während des Betriebes fortlaufend abgedichtet. Die Darstellung macht deutlich, dass nur ein sehr geringer Anteil des Niederschlags in Form von Sickerwasser zum Abfluss kommt. Im Mittel liegt der Sickerwasserabfluss bei 5 % des jährlichen Niederschlags.

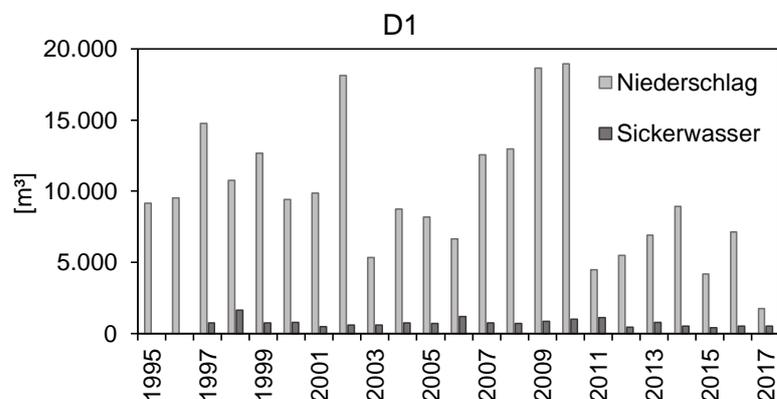


Abbildung 4-5: Jährliche Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge der erhobenen Baurestmassendeponie D1, keine SIWA-Daten für die Jahre 1995/1996 vorhanden

Abbildung 4-6 zeigt das ermittelte Wasser/Feststoff-Verhältnis auf Basis von Niederschlagsdaten (W/F_N) im Vergleich zu jenem, ermittelt auf Basis der jährlichen Sickerwassermenge (W/F_{SIWA}). Das W/F_{SIWA} liegt einige Größenordnungen unter dem W/F_N , dies ist auf bauliche Maßnahmen während des Betriebes zurückzuführen. Praktisch kam es zu mehr Oberflächenabfluss und weniger Infiltration von Niederschlagswasser, als bei der Berechnung des W/F -Verhältnisses berücksichtigt wurde. Für die Betrachtung der Sickerwasserkonzentrationen in Bezug zum W/F -Verhältnis wurde das W/F_{SIWA} herangezogen.

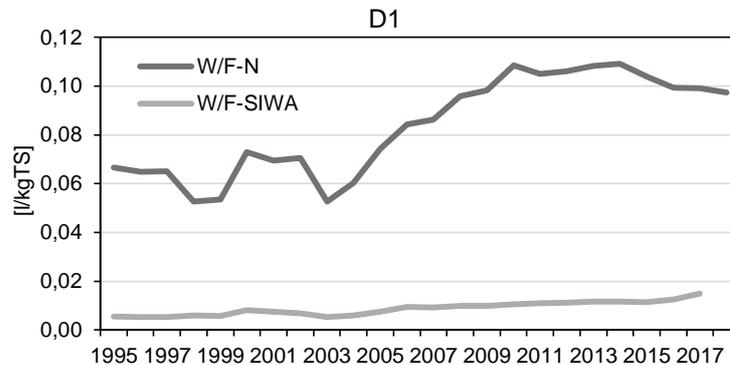


Abbildung 4-6: Vergleich W/F -Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F -Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D1

4.3.2 Standort D2

Auf dem Standort D2 wurde im Jahr 1997 mit der Deponierung von Baurestmassen begonnen. Bis zum Jahr 2018 wurden dort rund 1,37 Mio. Tonnen abgelagert. In welche Abfallarten sich die Ablagerungsmenge gliedert, ist nicht bekannt. In den Jahren 2011-2013 wurden nur sehr wenige Baurestmassen abgelagert. In den Jahren 2014 und 2015 gar keine Abfälle. Die Deponie liegt im niederschlagreichsten Gebiet der erhobenen Standorte, im Mittel fielen dort über die Dauer des Deponiebetriebes 1386 mm/a. Die potentielle Verdunstung liegt bei 361 mm/a. Der Sickerwasseranfall wird über einen Wasserzähler gemessen, hier liegen Daten ab dem Jahr 2009 vor. Informationen zur offenen bzw. rekultivierten Deponiefläche liegen über den gesamten Zeitraum vor. Die mittlere Ablagerungsdauer beträgt im Jahr 2018 13,7 Jahre und das W/F_{SIWA} liegt bei 0,62 l/kgTS. Die Sickerwasserkonzentrationen wurden zweimal jährlich bestimmt und sind ab dem Jahr 2012 vorhanden. Die Probenahme erfolgte aus dem Sickerwasserbecken.

Abbildung 4-7 zeigt den Niederschlag bezogen auf die Deponiefläche im jeweiligen Jahr als Niederschlagsmenge in m^3 und die jährliche Sickerwassermenge in m^3 . Die Sickerwassermengen in den Jahren 2009-2018 wurden anhand von Aufzeichnungen ausgewertet. Auf Basis dieser Daten wurde jener Anteil ermittelt, den die jährliche Sickerwassermenge von der jährlichen Niederschlagsmenge (Niederschlagshöhe bezogen auf die Deponiefläche im jeweiligen Jahr) ausmacht. Dieser gemittelte Anteil von 52 % wurde auf die Niederschlagsmengen der Jahre 1997-2008 angewendet, um eine theoretische Sickerwassermenge dieser Jahre für den Standort zu erhalten. Da sich das W/F_{SIWA} für das jeweilige Jahr aus den in den Vorjahren summierten Sickerwassermengen errechnet, wurde anhand von Mittelwerten eine theoretische Sickerwassermenge für jene Jahre bestimmt, in denen keine Messdaten vorlagen.

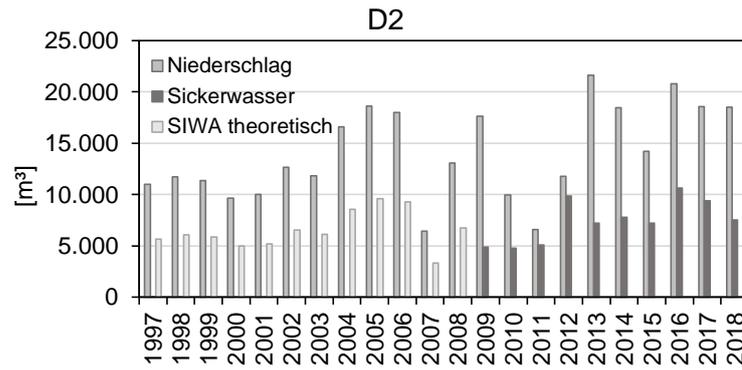


Abbildung 4-7: Jährliche Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge der erhobenen Baurestmassendeponie D2, Niederschlagshöhe 2017/18 mit Mittelwerten der Vorjahre angenommen

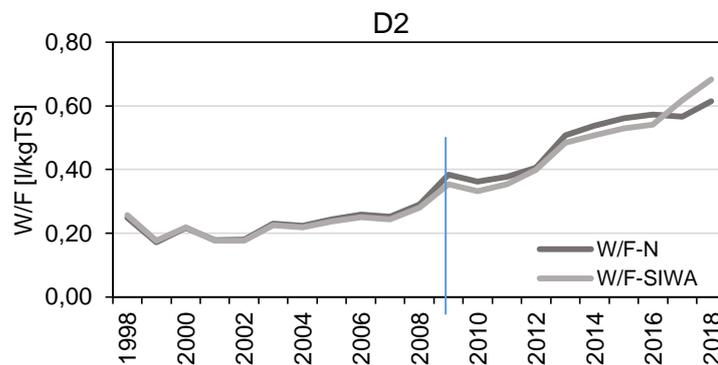


Abbildung 4-8: Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D2. Die Sickerwassermenge 1998-2008 wurde als Anteil vom jährlichen Niederschlag angenommen.

In Abbildung 4-8 ist das W/F_N mit der dunkelgrauen Linie und das W/F_{SIWA} durch eine hellgraue Linie dargestellt. Da die Sickerwassermengen in den Jahren 1998-2008 als Anteil der jährlichen Niederschlagsmengen angenommen wurden, ist aus den beiden Kurven in den ersten Jahren keine Differenz ersichtlich. Diese Differenz würde die Speicherkapazität des Abfallkörpers zeigen. Das W/F_N auf Basis des Niederschlags liegt ab jenem Jahr, ab dem die Messungen vorliegen, etwas höher. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass aus rekultivierten Flächen kein Niederschlagseintrag in den Deponiekörper erfolgt, wurden diese Flächen gemäß DVO 2008 mit 5 % Infiltration berücksichtigt (siehe auch Kapitel 3.3.1). Die senkrechte Linie im Jahr 2009 trennt die Zeitreihen Sickerwassermenge theoretisch (links der Linie) und Sickerwasser gemessen (rechts der Linie). Der Vergleich scheint plausibel und die Kurven stimmen gut überein. In den letzten beiden Jahren des Beobachtungszeitraumes wurden für den Niederschlag Mittelwerte aus den Vorjahren angenommen, weshalb das W/F_{SIWA} gegen Ende etwas höher liegt. Für die Betrachtung der Sickerwasserkonzentrationen in Abhängigkeit des W/F-Verhältnisses wurde das W/F_{SIWA} herangezogen, da es vor allem für die letzten beiden Jahre, in denen die Niederschlagshöhe nur angenommen werden konnte, genauer scheint.

4.3.3 Standort D3

Der Standort D3 ist seit dem Jahr 2010 als Baurestmassendeponie in Betrieb. Bis zum Jahr 2018 wurden dort rund 450.000 m³ Baurestmassen abgelagert. Mit 30 % machen sonstige verunreinigte Böden (SN 31424) den mengenmäßig größten Anteil der Ablagerungsmenge aus. Bodenaushub liegt mit 28 % knapp darunter, Bauschutt lagert auf dem Standort mit einem Anteil von 14 %. Die Entwässerung der Verfüllabschnitte erfolgt in ein Sickerwassersammelbecken, das Sickerwasser wird behandelt und in den nahegelegenen Vorfluter abgeleitet. Die Sickerwasserkonzentration wurde zweimal jährlich bestimmt, die Proben wurden aus dem Sickerwassersammelbecken entnommen. Die bereits fertig verfüllten Abschnitte wurden abgedichtet, jedoch nicht rekultiviert. Der mittlere jährliche Niederschlag in diesem Gebiet liegt bei 815 mm/a, die mittlere jährliche Verdunstung beträgt 399 mm/a. Die mittlere Ablagerungsdauer liegt im Jahr 2018 bei 4,3 Jahren, das W/F-Verhältnis bei 0,14 l/kgTS. Da dieser Standort nach dem Jahr 2008 in Betrieb genommen wurde, und somit ein entsprechendes Monitoring nach der DVO 2008 vorliegt, sind vollständige Zeitreihen über Ablagerungsmengen, Sickerwasseranfall und Maßnahmen auf der Deponie vorhanden. Auf dem Standort werden weiterhin Baurestmassen abgelagert.

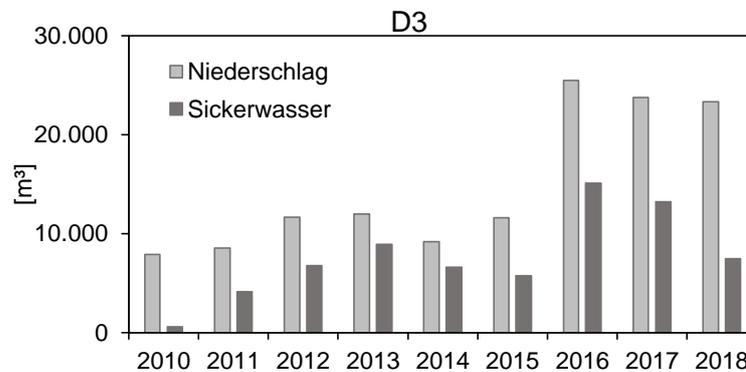


Abbildung 4-9: Jährliche Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge der erhobenen Baurestmassendeponie D3, Niederschlagshöhe 2017/18 mit Mittelwerten der Vorjahre angenommen

In Abbildung 4-9 sind die jährliche Niederschlagsmenge und die jährliche Sickerwassermenge angeführt. Die geringe Sickerwassermenge im Vergleich zur N-Menge im ersten Jahr resultiert aus dem Wasserrückhalt im Abfallkörper (vgl. Abbildung 4-10). Im Mittel sind über die Jahre des Beobachtungszeitraumes 53 % des Niederschlages als Sickerwasser abgeflossen. Das Wasser/Feststoff-Verhältnis wurde sowohl auf Basis der Niederschlagsmenge, als auch auf Basis der Sickerwassermenge bestimmt. Die ermittelten Größen sind in Abbildung 4-10 dargestellt. Das W/F_{SWA} liegt vor allem im ersten Jahr deutlich unter dem W/F_N , was auf die Speicherkapazität des Abfallkörpers zurückzuführen ist. Nach 4 Jahren entspricht der Sickerwasserabfluss der klimatischen Sickerwasserneubildung und die beiden ermittelten Größen verlaufen annähernd parallel.

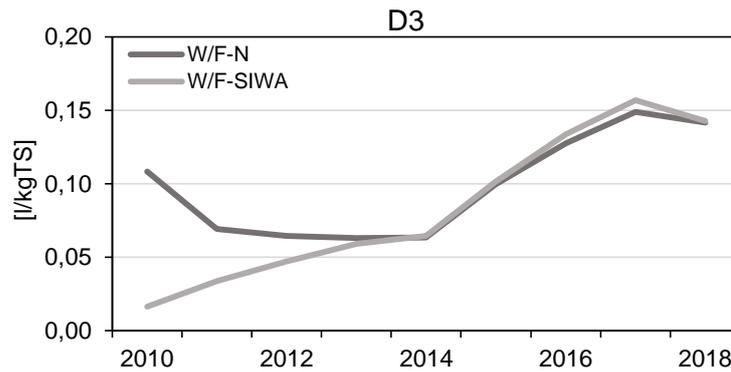


Abbildung 4-10: Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D3

4.3.4 Standort D4, D5, D6 und D8

Die Standorte D4, D5, D6 und D8 konnten aufgrund unvollständiger Daten nicht umfangreicher ausgewertet werden. Lediglich die Messungen der Sickerwasserkonzentrationen wurden in der statistischen Gesamtauswertung der Sickerwasserparameter berücksichtigt.

4.3.5 Standort D7

Auf dem Standort D7 wurde bereits im Jahr 1992 mit der Ablagerung von Baurestmassen begonnen, aktuell wird der Standort weiterhin mit Baurestmassen verfüllt. Bis zum Jahr 2017 wurden rund 430.000 m³ abgelagert. Aufzeichnungen über die Art der abgelagerten Abfälle sind ab dem Jahr 2003 vorhanden. Die Auswertung dieser Aufzeichnungen hinsichtlich der jährlichen Abfallzusammensetzung hat gezeigt, dass über den Zeitraum 2003 bis 2017 Bauschutt mit rund 54 % knapp über die Hälfte aller auf dem Standort abgelagerten Abfälle ausmacht. Bodenaushub macht einen Anteil von rund 23 % aus, sonstige verunreinigte Böden wurden mit einem Anteil von 16 % abgelagert. Alle anderen Abfallarten liegen jeweils unter 10 % der Gesamtmenge. Für die Jahre vor 2003 sind keine jährlichen Ablagerungsmengen bekannt. Aus der Vermessung und Berechnung im Jahresbericht 2012 geht die gesamte bis zum Betrachtungszeitpunkt abgelagerte Menge hervor. Diese Menge wurde, nach Abzug der Mengen jener Jahre die bekannt waren, auf die Jahre 1992 bis 2002 gemittelt aufgeteilt, um eine theoretische jährliche Ablagerungsmenge über den gesamten Zeitraum zu erhalten. Diese Annahme schmälert womöglich die Aussagekraft des W/F-Verhältnisses in den ersten Jahren, was sich jedoch mit Ablagerungsende ausgleicht.

Der Deponiebetrieb erfolgt auf mehreren Abschnitten, welche über mehrere Sickerwasserbecken verfügen. Diese wurden schrittweise im Laufe der Jahre in Betrieb genommen. Einer dieser Abschnitte, welcher über ein eigenes Sickerwassersammelbecken verfügt, wurde bereits im Jahr 1996 fertig verfüllt, im Jahr 2006 abgedeckt und 2008 rekultiviert. Dieser Abschnitt mit der Bezeichnung D7.1 wird in dieser Arbeit als eigener, stillgelegter Deponieabschnitt betrachtet. Für diesen Abschnitt liegen keine Informationen über die jährliche Ablagerungsmenge vor. Es ergibt sich eine theoretische mittlere Ablagerungsdauer von 13,5 Jahren. Das ermittelte W/F-Verhältnis lag, in jenem Jahr in dem die Rekultivierungsschicht

aufgebracht wurde, bei 0,15 l/kgTS. Die Gesamtkubatur von rund 75.000 m³ ist bekannt.

Die übrigen Abschnitte des Standortes D7 entwässern mit Stand 2017 in drei Sickerwasserbecken. Diese Abschnitte werden seit dem Jahr 1997 verfüllt, die mittlere Ablagerungsdauer beträgt 9,6 Jahre. Da kein genauer zeitlicher Verlauf über den Abfalleinbau je nach Abschnitt erfasst werden konnte, erfolgt die Betrachtung als eine gesamte Ablagerungsfläche mit gemittelten Werten der Sickerwasserkonzentrationen. Die Proben wurden aus den Sickerwassersammelbecken entnommen.

Der jährliche mittlere Niederschlag liegt über den Zeitraum von 1992 bis 2016 bei 607 mm/a und die jährliche mittlere Verdunstungshöhe bei 507 mm/a. Daten über die jährlichen Sickerwassermengen liegen ab dem Jahr 2009 vor, zudem wird Sickerwasser als Prozesswasser im Deponiebetrieb unter Einhaltung der zulässigen Salzfracht rückgeführt. Die jährliche Sickerwassermenge machte in den Jahren, in denen Informationen vorhanden sind, im Mittel einen Anteil von 9 % des jährlichen Niederschlags aus. Wobei hier zu erwähnen ist, dass es auch Jahre gab in denen gar kein Sickerwasser zum Abfluss kam, was auf die klimatischen Bedingungen am Standort zurückzuführen ist (siehe Abbildung 4-2). Auf eine Darstellung des Sickerwasserabflusses und der Niederschlagsmenge am Standort wurde verzichtet, da keine vollständigen Zeitreihen vorliegen.

Abbildung 4-11 zeigt den Verlauf des W/F_N am Standort D7 aufgeteilt auf aktive und abgeschlossene Kompartimente. Die dunkelgraue Kurve beschreibt das geschlossene Kompartiment. Der Standort wurde 2008 rekultiviert, das W/F -Verhältnis war ab diesem Zeitpunkt annähernd konstant. Die hellgraue Kurve zeigt das W/F -Verhältnis der aktiven Kompartimente. Da weiterhin Abfallablagerungen und Erweiterungen auf dem Standort stattfinden, steigt die Kurve stetig an.

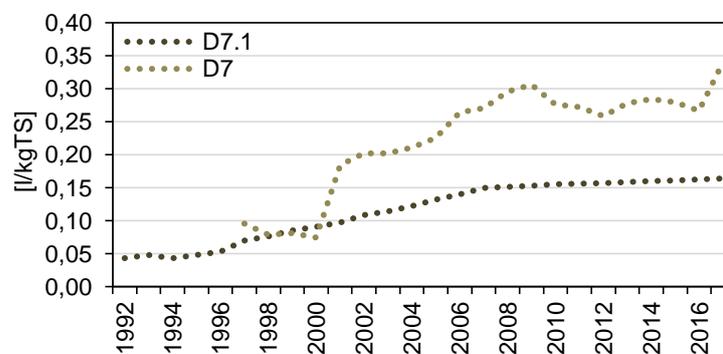


Abbildung 4-11: Ermittelttes W/F -Verhältnis auf Basis des Niederschlags der Kompartimente D7.1 (geschlossen 1996, abgedichtet 2008) und D7 (aktiv)

Auf dem Standort D7 wurden überwiegend Baurestmassen abgelagert. Es befinden sich 60 % der gesamten Abfallmenge als Bauchschutt auf dem Standort. Diese Gegebenheit lässt sich auch bei dem Parameter Sulfat der Sickerwasserkonzentration erkennen.

4.3.6 Standort D9

D9 wurde als Baurestmassendeponie im Jahr 2013 in Betrieb genommen und bis zum Jahr 2017 verfüllt. Im Erhebungsjahr wurde der Standort für die Stilllegung vorbereitet. In 5 Jahren Deponiebetrieb wurden rund 240.000 m³ Baurestmassen abgelagert. Die mittlere Ablagerungsdauer liegt bei 2,5 Jahren. Mit 36 % Anteil an der Gesamtmasse macht Bauschutt knapp den größten Anteil aus. Sonstige verunreinigte Böden wurden mit einem Anteil von 34 % abgelagert, 22 % entfallen auf Bodenaushub. Andere Abfallarten wurden mit einem Anteil unter 1 % der gesamten abgelagerten Menge eingebaut. Die mittlere Ablagerungsdauer beträgt im Jahr 2017 2,44 Jahre. Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt 765 mm/a und die mittlere jährliche Verdunstung liegt bei 618 mm/a. Das ermittelte W/F-Verhältnis beträgt im Jahr der Schließung 0,095 l/kg TS. Die Probenahme zur Bestimmung der Sickerwasserkonzentrationen erfolgt jährlich aus dem Sickerwassersammelbecken. Die jährliche Sickerwassermenge wurde nur durch eine rechnerische Bilanz vom Betreiber ermittelt, weshalb auf eine Darstellung in Bezug zur Niederschlagsmenge verzichtet und das W/F_{SMA} nicht ermittelt wurde.

4.3.7 Standort D10

Auf dem Standort D10 wurde im Jahr 1993 mit der Ablagerung von Baurestmassen begonnen. Bis zum Jahr 1998 war ein Verfüllvolumen von 80.000 m³ genehmigt, danach wurde die Deponie auf ein zulässiges Volumen von 240.000 m³ erweitert. Die maximale Ablagerungskubatur wurde im Jahr 2013 erreicht, der Standort wurde abgedichtet und rekultiviert. Demnach befindet sich die Deponie zum heutigen Zeitpunkt bereits in der Nachsorge. Die mittlere Ablagerungsdauer lag im Jahr der Schließung bei 12,1 Jahren.

Für den Standort liegen Daten über die jährlichen abgelagerten Mengen ab dem Jahr 2006 vor. Die Aufteilung der Massen erfolgt gemittelt über die Ablagerungsjahre auf Basis der bekannten Daten. Die Flächenverhältnisse auf dem Standort wurden aus den Übersichtsplänen entnommen und für die vorangegangenen Jahre den Deponiejahresberichten entsprechend angenommen.

Von 2006 bis 2013 wurden auf dem Standort D10 47 % Bodenaushub und 17 % Bauschutt abgelagert. Sonstige verunreinigte Böden und ölverunreinigte Böden machen jeweils einen Anteil von 7 % aus. Informationen über die Sickerwasserkonzentrationen sind ab dem Jahr 2012 zweimal jährlich vorhanden, die Proben wurden aus dem Sickerwasserbecken entnommen. Für das Jahr 2016 gibt es keine Daten über die Zusammensetzung des Sickerwassers, weshalb in Summe nur 5 gemittelte Messungen zur Auswertung vorliegen. Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt 765 mm/a, die mittlere jährliche Verdunstung liegt bei 618 mm/a. Das W/F_N lag im Jahr 2013 bei 0,61 l/kgTS.

Da keine vollständigen Informationen über die jährlichen Sickerwassermengen zur Auswertung vorhanden sind, wird auf eine Darstellung der Sickerwassermenge gegenüber der jährlichen Niederschlagsmenge sowie auf die Ermittlung des W/F_{SMA} verzichtet.

4.3.8 Standort D11

D11 wurde als Baurestmassendeponie im Jahr 2014 in Betrieb genommen und ist somit der am kürzesten betriebene Standort, welcher im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird. Bis zum Jahr 2017 wurden rund 510.000 m³ abgelagert. An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass 62 % der abgelagerten Menge auf sonstige verunreinigte Böden, 31 % auf Bodenaushub, 4 % auf rohölverunreinigtes Erdreich (SN 54504) und lediglich 0,4 % auf Bauschutt entfallen. Die mittlere Ablagerungsdauer lag im Jahr 2017 bei 2,2 Jahren. Die Sickerwasserkonzentration wurde über den Zeitraum zweimal bzw. viermal jährlich gemessen. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 574 mm/a und die mittlere jährliche Verdunstung beträgt 455 mm/a. Für das Jahr 2017 lagen Niederschlagsdaten einer eigenen Messstelle am Standort vor.

Für die vier Jahre Deponiebetrieb sind vollständige Aufzeichnungen über offene/abgedeckte Deponieflächen und Sickerwassermengen vorhanden. Die Auswertung der beiden Größen W/F_N und W/F_{SIVA} ist in Abbildung 4-12 ersichtlich. Das W/F_N scheint im ersten Jahr konstant, dies ist auf den Beginn der Ablagerungen im letzten Quartal des Jahres 2014 zurück zu führen. Der Wasserrückhalt im Abfallkörper ist aus der Differenz der beiden Kurven im ersten Jahr ablesbar. In den Jahren 2015 und 2016 gleichen sich die Kurven an, im letzten Jahr liegt das W/F_N höher, was auf bauliche Maßnahmen am Standort zurück zu führen ist. Für die Betrachtung der Sickerwasserkonzentrationen in Abhängigkeit vom W/F -Verhältnis wird das W/F_{SIVA} herangezogen. Dieses beträgt im Jahr 2017 0,021 l/kgTS. Im Mittel sind über den erhobenen Beobachtungszeitraum 33 % des Niederschlags als Sickerwasser angefallen. Dieser Wert wurde auf Basis der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe und der mittleren jährlichen Gebietsverdunstung geringer erwartet (siehe Abbildung 4-2).

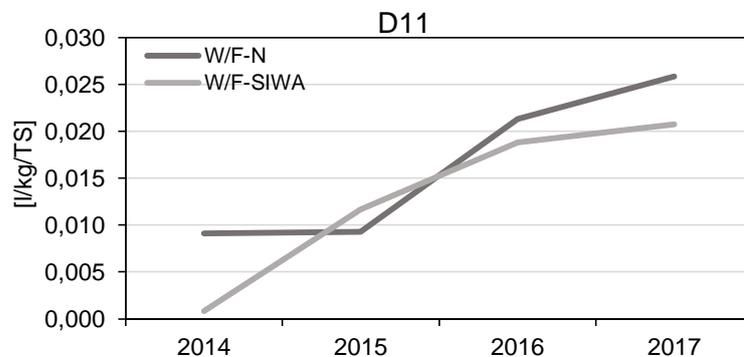


Abbildung 4-12: Vergleich W/F -Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F -Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D11

4.3.9 Standort D12

Der Standort D12 gliedert sich in 3 Abschnitte und verfügt über zwei Sickerwassersammelschächte. Abschnitt 1 ist zum Zeitpunkt der Betrachtung noch nicht in Betrieb und ist nicht an die Sickerwassersammelleitung angeschlossen. Abschnitt 3 wurde in den Jahren 1993-2011 vollständig verfüllt und anschließend abgedichtet, das Sickerwasser wird in einem eigenen Schacht gesammelt, die Beprobung erfolgt aus diesem. Abschnitt 2 entwässert ebenfalls in einen eigenen Sammelschacht und ist seit dem Jahr 2012 in Betrieb. Der Standort wird hinsichtlich der Auswertung in zwei Bereiche geteilt. D12.1 beschreibt den bereits fertig verfüllten Abschnitt 3, Abschnitt 2 folgt der Bezeichnung D12. Auf D12.1 wurden bis zum Jahr

2011 rund 70.500 m³ Baurestmasse abgelagert. Die Abfallzusammensetzung gliedert sich wie folgt: Bodenaushub 50%, Bauschutt 34 %, Asbestzement 10%. Auf D12 wurden bis einschließlich 2018 rund 42.300 m³ Abfälle abgelagert. Der größte Anteil davon entfällt mit 44 % auf Bauschutt, sonstige verunreinigte Böden machen 24 % der abgelagerten Kubatur aus und 12 % lagern in Form von Asbestzement auf dem Standort. Die mittlere Ablagerungsdauer für das geschlossene Kompartiment D12.1 beträgt im Jahr der Schließung 8,7 Jahre, das aktive Kompartiment hat im Jahr 2018 eine mittlere Ablagerungsdauer von 4,7 Jahren. Informationen über die Sickerwasserzusammensetzung liegen ab dem Jahr 2002 vor. Der Sickerwasseranfall wird über die Höhe im jeweiligen Sammelschacht bestimmt, diese Messungen stehen nicht in vollständigen Zeitreihen zur Verfügung, weshalb auf eine Darstellung der Niederschlags- und Sickerwassermenge sowie auf die Ermittlung des $W/F_{S\text{IWA}}$ verzichtet wurde. In den Jahren 1993-2016 sind am Standort im Mittel 975 mm/a in Form von Niederschlag gefallen, die jährliche Verdunstung liegt bei 426 mm/a. Das W/F_N liegt für den Standort D12.1 im Jahr der Schließung bei 0,34 l/kgTS und für den Standort D12 im Jahr der Datenerhebung bei 0,27 l/kgTS.

Am Kompartiment D12.1 ist aktuell kein Sickerwasseranfall zu verzeichnen, auch eine Dichtheitsprobe des Sammelschachtes und eine Befahrung der Sickerwasserleitungen zeigte keine Schäden auf. Theoretisch gehen von diesem Standort über den Sickerwasserweg aktuell keine Emissionen aus.

4.3.10 Standort D13

Der Standort D13 wurde im Jahr 2000 in Betrieb genommen. Hier erfolgte eine Umlagerung des alten, ersten Abschnittes auf einen neuen mit Basisabdichtung ausgebauten Abschnitt. Dieser verfügt über einen Sickerwassersammelschacht aus dem die Proben zur Bestimmung der Sickerwasserkonzentration entnommen werden. Der frei gewordene Abschnitt wurde nach Umlagerung ebenfalls mit einer Basisdichtung versehen, und als weiterer Verfüllabschnitt betrieben. Der erste Abschnitt wurde im Jahr 2005 fertig verfüllt und abgedichtet. Steigt das Sickerwasser des ersten Abschnittes über den Pegel im Sammelschacht, wird das Sickerwasser in das Sammelbecken von Abschnitt 2 gepumpt. Abschnitt 3 entwässert ebenfalls in das Sickerwasserbecken, befindet sich allerdings noch in der Bauphase. Bis zum Jahr 2018 wurden auf dem Abschnitt 1 und 2 rund 470.000 m³ abgelagert. Am Standort beträgt der mittlere jährliche Niederschlag über den Beobachtungszeitraum 555 mm/a und die mittlere jährliche Verdunstung liegt bei 407 mm/a. Die Betrachtung der beiden Abschnitte erfolgt im Rahmen dieser Arbeit getrennt. Der erste Abschnitt, welcher bereits fertig verfüllt und rekultiviert ist, wird mit der Bezeichnung D13.1 geführt. Der zweite Abschnitt, welcher sich am Ende der Ablagerungsphase befindet, wird mit D13 bezeichnet. Genaue Angaben zu den abgelagerten Mengen und Abfallarten liegen ab dem Jahr 2008 vor. Im Zeitraum von 2008 bis 2018 wurden 36 % der gesamten abgelagerten Menge als Bauschutt und 28 % als Bodenaushub abgelagert. Die Anteile der anderen Abfallarten lagen in diesen Jahren jeweils unter 10 %.

Die Sickerwassermengenmessung erfolgte über den Pegelstand im Sickerwasserbecken und wurde jährlich bestimmt (laut Angaben des Betreibers fällt aus dem Abschnitt D13.1 kaum Sickerwasser an). Abbildung 4-13 zeigt sowohl die jährliche Niederschlagsmenge, als auch die jährliche Sickerwassermenge am aktiven Kompartiment D13. Die Niederschlagshöhen wurden für die Jahre 2017/18 an einer Gebietseigenen Messstelle bestimmt und den Jahresberichten entnommen. Über den

erhobenen Beobachtungszeitraum fielen am Kompartiment D13 im Mittel 36 % der jährlichen Niederschlagsmenge als Sickerwassermenge an.

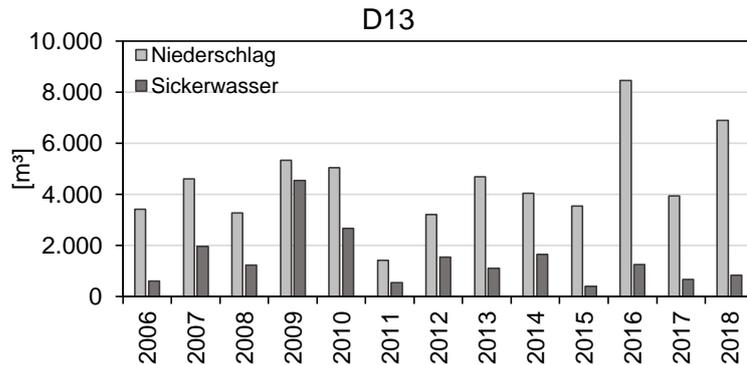


Abbildung 4-13: Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge am Abschnitt D12 über den Beobachtungszeitraum

In Abbildung 4-14 ist der Vergleich der beiden Verhältnisse W/F_N und W/F_{SIWA} für das aktive Kompartiment D13 ersichtlich. Auch hier zeigt sich in den ersten Jahren ein geringeres W/F -Verhältnis, was auf den Wasserrückhalt im Abfallkörper zurückzuführen ist. Ab dem Jahr 2009 nähern sich die Kurven gut an, die Differenzen ab dem Jahr 2015 ergeben sich durch bauliche Maßnahmen am Standort, da die Kapazität des Abschnittes erreicht ist. Zur Betrachtung ausgewählter Parameter der Sickerwasserkonzentration wird das W/F_{SIWA} herangezogen.

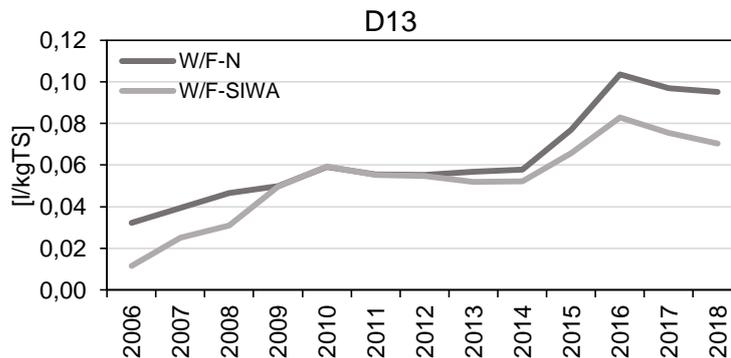


Abbildung 4-14: Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am aktiven Kompartiment D13

4.4 Vergleich der erhobenen Standorte

4.4.1 Abfallzusammensetzung der erhobenen Baurestmassendeponien

Vergleicht man die ausgewählten Deponien hinsichtlich der Abfallzusammensetzung, zeigen sich sehr große Unterschiede. So wurden auf manchen Standorten überwiegend Bodenaushub bzw. verunreinigte Böden eingebracht. Im Gegensatz dazu machen bei anderen Deponien Baurestmassen den mengenmäßig größten Anteil ausmachen.

Abbildung 4-15 zeigt die prozentuellen Anteile, über 10%, der abgelagerten Materialien Bauschutt, Bodenaushub und sonst. verunreinigte Böden. Diese wurden über den gesamten Zeitraum (bei geschlossenen Deponien) beziehungsweise über den erhobenen Zeitraum (bei bestehenden Deponien) auf den jeweiligen Standorten abgelagert. Liegt der Anteil einer Abfallart unter 10 % von der gesamten abgelagerten Menge, so wurde dieser vernachlässigt und im Folgenden nicht dargestellt.

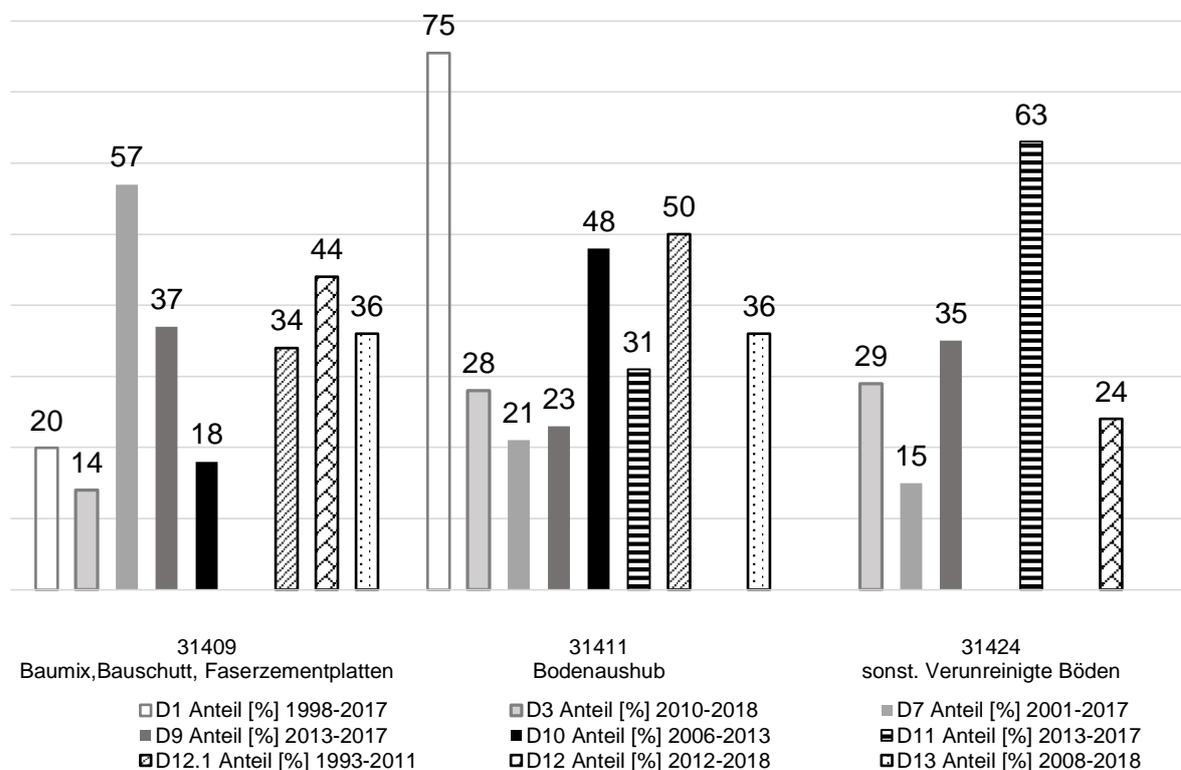


Abbildung 4-15: Abfallzusammensetzung der ausgewerteten Deponiestandorte für die verfügbaren Jahre

Auf dem Standort D1 lagert mit 75 % der größte Anteil in Form von Bodenaushub, der Bauschuttanteil liegt bei 25 %. Für den Standort D2 konnten keine Informationen zur Abfallzusammensetzung zur Verfügung gestellt werden. Der Deponiestandort D3 wurde bis zum Zeitpunkt der Erhebung mit 29 % sonst. verunreinigten Böden, 28 % Bodenaushub und Bauschutt mit einem Anteil von 14 % verfüllt. Auf dem Kompartiment D7 lagert mit 57 % mehr als die Hälfte der Kubatur in Form von Bauschutt. Hier machen Bodenaushub 21 % und sonst. verunreinigte Böden 15 % der Gesamtmenge aus. Bei dem Standort D9 entfallen 37 % auf Bauschutt, 35 % auf sonstige verunreinigte Böden und 23 % auf Bodenaushub. In den letzten 7 Jahren Ablagerungsphase des Standortes D10 wurden 48 % der Gesamtmenge in Form von

Bodenaushub und 18 % als Bauschutt abgelagert. Mit 63 % sonstigen verunreinigten Böden und 31 % Bodenaushub lagern auf dem Standort D11 kaum Baurestmassen. Auf dem bereits geschlossenen Kompartiment D12.1 wurden 50 % der Gesamtmenge als Bodenaushub und 34 % als Bauschutt abgelagert. Das Kompartiment D12 wurde über die Bestandsdauer mit 44 % Baurestmassen und 24 % sonstigen verunreinigten Böden befüllt. Auf D13 wurden im erfassten Zeitraum 36 % Bauschutt und 36 % Bodenaushub abgelagert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass auf den Standorten D7, D9, D12.1, D12 und D13 Baurestmassen mit einem Anteil von mehr als 30 % lagern.

Wie bereits in Kapitel 3.3.3 beschrieben, wurde für die erhobenen Standorte das Verhältnis von Bauschutt zu Bodenaushub ermittelt. Folgende Tabelle zeigt dieses Verhältnis am Ende der Ablagerung an den unterschiedlichen Standorten bei geschlossenen Deponien bzw. bis zum letzten erhobenen Zeitpunkt bei bestehenden Deponien. Die gesamte Auswertung ist im Anhang dargestellt.

Tabelle 4-3: Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub der erhobenen Standorte am Ende des Beobachtungszeitraumes

Standort	Jahr	BS/BA[-]
D1	2017	0,23
D3	2018	0,48
D7.1	1996	30*
D7	2017	2,4
D9	2017	1,64
D10	2013	0,33
D11	2017	0,01
D12.1	2011	0,69
D12	2018	7,21
D13	2018	1,02

* Hier wurde ausschließlich Bauschutt abgelagert, das Verhältnis würde also null bzw. die Höhe der Ablagerungsmasse annehmen und wurde mit 30 begrenzt.

Für den Standort D7.1 liegen keine genaueren Informationen zur Abfallzusammensetzung vor, hier wurde ein Anteil von 30 aufgrund des Alters (Ablagerung von 1992-1996) und Informationen seitens des Betreibers angenommen. Beim Standort D7 liegt das Verhältnis im Jahr 2017 bei 2,4. Hier ist zu erwähnen, dass in den ersten Jahren der Ablagerung das BS/BA-Verhältnis deutlich über 50 lag (Anhang

Tabelle-Anhang 1). Das Verhältnis von 0,33 für die Deponie D10 ergibt sich aus den Jahren, in denen die Zusammensetzung bekannt war (2006-2013). Vermutlich würde das Verhältnis höher liegen, da in den Jahren um 1993 vermutlich eher weniger Bodenaushub abgelagert wurde. Für den Standort D2 konnte kein Verhältnis ermittelt werden, da keine Informationen zur Abfallzusammensetzung vorliegen. Eine Darstellung der gemessenen Sickerwasserparameter in Abhängigkeit des Bauschutt/Bodenaushub-Verhältnisses erfolgt in Kapitel 4.5.2.

4.4.2 W/F-Verhältnis der erhobenen Standorte

Die Grafiken jener Standorte an denen die Ermittlung des W/F-Verhältnis sowohl auf Basis des Niederschlags als auch auf Basis der Sickerwassermenge bestimmt werden

konnte (Kapitel 4.3.1 bis 4.3.10) zeigen, mit Ausnahme von D1 gute Übereinstimmung. Im ersten Jahr liegt jenes W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge niedriger, was auf die Speicherkapazität des Abfallkörpers zurückzuführen ist. In den Jahren 2017/18 gehen die Werte wieder ein wenig auseinander. Dies liegt womöglich daran, dass für die beiden Jahre keine Niederschlagsmessungen an den jeweiligen Standorten zur Verfügung standen. Hier wurde auf Mittelwerte aus den Vorjahren zurückgegriffen. Zudem wurden zum Teil Abdeckungs- bzw. Abdichtungsmaßnahmen gesetzt, die nicht berücksichtigt werden konnten. Am Standort D1 liegt das W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge deutlich unter jenem auf Basis der infiltrierten Niederschlagsmenge. Dies ist auf bauliche Maßnahmen am Standort zurückzuführen. Hier kam es in der Praxis zu weit mehr Oberflächenabfluss als in der Berechnung berücksichtigt werden konnte.

4.4.3 Parameterbereiche der Sickerwasserkonzentrationen

Tabelle 4-4 zeigt eine Übersicht der Sickerwasserparameter aller erhobenen Standorte. Hier wurden auch die Standorte D4, D5, D6 und D8 berücksichtigt.

Tabelle 4-4: Statistische Kenngrößen der erhobenen Sickerwasserdaten

Parameter	Einheit	Anz. Depo- nien	Anz. Mess- werte	MW	Median	Min.	Max	Quantile				AAEV-GW (dir./indir.)
								95%	75%	25%	5%	
pH-Wert	-	13	252	8,13	8,10	6,84	9,69	9,23	8,40	7,80	7,30	6,5-8,5/ 6,5-9,5
Leit- fähigkeit	[mS/m]	13	248	619,43	308,00	52,20	7.390	2.121,50	460,25	233,00	134,87	-/-
EC	[uS/cm]	14	248	6.194	3.080	522	73.900	21.215	4.603	2.330	1.349	-/-
CSB	[mgO ₂ /l]	11	201	62,34	54,00	15,10	361,00	129,70	71,00	39,00	25,00	75/-
TOC	[mgC/l]	10	110	19,14	15,00	4,00	130,00	38,10	19,95	11,25	6,87	25/-
NH ₄ -N	[mg/l]	13	237	0,32	0,12	0,01	6,44	1,24	0,30	0,05	0,02	10/-
NO ₃ -N	[mg/l]	12	223	47,48	20,58	0,10	921,00	132,79	43,87	11,80	1,00	*/-
NO ₂ -N	[mg/l]	8	193	1,76	0,10	0,00	91,00	5,19	0,20	0,02	0,01	1/10
N-Gesamt anorg.	[mg/l]	7	190	53,29	22,68	0,12	921,20	169,64	49,17	10,47	0,51	*/*
Phosphat- P	[mg/l]	4	42	0,18	0,15	0,05	1,00	0,34	0,21	0,10	0,08	2/-
ortho- Phosphat	[mg/l]	6	85	0,39	0,18	0,01	4,53	1,50	0,34	0,07	0,02	
Chlorid	[mg/l]	12	180	298,75	239,00	0,01	1.240,00	753,90	410,75	110,00	29,23	Toxizität
Sulfat	[mg/l]	11	203	1.604,7	1.180,00	62,00	7.676,00	3.772,00	2.129,50	685,00	233,60	*/200
Calcium	[mg/l]	10	165	358,93	324,00	54,50	1.075,00	747,84	448,00	237,50	112,00	-/-
AOX	[mg/l]	6	101	0,23	0,02	0,001	10,00	0,11	0,05	0,01	0,01	0,5/0,5
Eisen	[mg/l]	6	141	0,07	0,03	0,001	0,54	0,24	0,08	0,01	0,001	2/abs.St.
Cadmium	[mg/l]	8	146	0,002	0,001	0,0002	0,01	0,01	0,0022	0,0002	0,0002	0,1/0,1
Kupfer	[mg/l]	10	177	0,03	0,02	0,001	0,19	0,09	0,03	0,01	0,001	0,5/0,5
Zink	[mg/l]	10	184	0,08	0,02	0,001	1,80	0,34	0,05	0,01	0,003	2/2
Arsen	[mg/l]	5	76	0,005	0,003	0,0001	0,04	0,01	0,004	0,002	0,001	0,1/0,1
Blei	[mg/l]	8	167	0,01	0,01	0,001	0,10	0,05	0,01	0,001	0,001	0,5/0,5
Chrom ges.	[mg/l]	8	153	0,03	0,02	0,001	0,23	0,14	0,03	0,004	0,001	0,5/0,5
Nickel	[mg/l]	8	161	0,02	0,01	0,001	0,10	0,05	0,03	0,01	0,001	0,5/0,5
Queck- silber	[mg/l]	8	154	0,001	0,0003	0,0001	0,01	0,003	0,001	0,0001	0,0001	0,01/0,01
Bor	[mg/l]	6	41	0,87	0,71	0,06	2,90	2,50	1,20	0,33	0,17	-/-
Summe KW	[mg/l]	6	50	0,20	0,05	0,03	1,10	1,00	0,23	0,05	0,05	5/15
KW-Index	[mg/l]	4	30	0,09	0,09	0,01	0,31	0,26	0,10	0,04	0,01	

Die Probenahme des Sickerwassers an den erhobenen Standorten erfolgte unter verschiedenen Gegebenheiten. An drei Standorten wurden die Proben aus den

Zuläufen zum Sammelbecken bzw. aus den Sammelschächten, an zehn Standorten aus dem offenen Sickerwasserbecken entnommen.

Betrachtet man die Maxima und den Median der gemessenen Parameter im Sickerwasser im Vergleich zu den Einleitergrenzwerten, zeigt sich bei mehreren Parametern Überschreitungen der Grenzwerte zur direkten bzw. indirekten Einleitung.

Die organische Belastung im Sickerwasser gemessen an den Parametern CSB und TOC liegt vereinzelt weit über dem Grenzwert, was auf Messungen an älteren Standorten zurückzuführen ist. Für den Parameter CSB liegt der Grenzwert für die Einleitung in ein Fließgewässer bei 75 mg/l, dieser wird mit einem Maximalwert von 361 mg/l deutlich überschritten, jedoch liegt der Median der erhobenen CSB-Konzentrationen im SIWA mit 54 mg/l darunter. Auch das 75 %-Quantil liegt mit einem Wert von 71 mg/l knapp darunter. Für die Einleitung in die Kanalisation ist für diesen Parameter kein Grenzwert festgelegt.

Der gesamte organische Kohlenstoff (TOC) erreicht bei den erhobenen Baurestmassendeponien im Sickerwasser einen Maximalwert von 130 mg/l, was den Grenzwert für die Direkteinleitung (25 mg/l) weit überschreitet. Der Median liegt bei rund 15 mg/l, 75 % der Werte liegen unter 19,95 mg/l. Für die indirekte Einleitung gibt es auch für diesen Parameter keinen festgelegten Grenzwert.

Die maximale Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der erhobenen BRMD liegt mit 6,4 mg/l unter dem Grenzwert zur direkten Einleitung in ein Fließgewässer, zudem liegen 95 % aller Werte unter 1,24 mg/l.

Die Nitratkonzentration $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde mit einem Maximalwert von 921 mg/l gemessen. Der unter anderen daraus resultierende anorganische Gesamtstickstoff (Addition $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$) erreicht im Sickerwasser der Deponien einen Maximalwert von rund 921,2 mg/l, wobei der Median bei rund 21 mg/l liegt. Der Grenzwert für die direkte Einleitung von Gesamt-Stickstoff ist mit 50 mg/l festgelegt. 75 % der Messwerte von anorganischem Gesamtstickstoff unterschreitet mit 49,17 mg/l diesen Wert nur knapp.

Die Sulfatkonzentration im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien liegt mit einem Maximum von 7.676 mg/l weit über dem Grenzwert von 200 mg/l für die indirekte Einleitung in ein Fließgewässer. Der Median liegt bei 1.180 mg/l, was den Grenzwert ebenso um ein Vielfaches überschreitet.

Die Werte der AOX-Konzentration liegen mit Maxima von 10 mg/l deutlich über dem Grenzwert von 0,5 mg/l. Der Medianwert liegt bei 0,02 mg/l und 95 % der gemessenen Werte liegen unter 0,11 mg/l.

Schwermetalle wie Chrom und Kupfer liegen deutlich unter dem Grenzwert, auch bei den Konzentrationen von Eisen und Arsen konnten keine Überschreitungen beobachtet werden.

Bei dieser Betrachtung der Sickerwasserkonzentrationen werden weder das Alter, die Ablagerungsmenge noch die klimatischen Bedingungen am Standort berücksichtigt. Diese sind aber wesentlich für eine Beurteilung hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes dieser Konzentrationen. In Kapitel 4.5 folgt eine Auswertung der Sickerwasserkonzentrationen in Bezug zu unterschiedlichen Parametern.

4.5 Darstellung der Daten

Wie aus Kapitel 2.6.3 hervorgeht, sind die kritischen Parameter zur Beurteilung des Emissionsverhaltens von Baurestmassendeponien vor allem Chlorid und Sulfat. Aber auch Stickstoff (v.a. in Form von Ammonium) gilt in Bezug auf Baurestmassendeponien als umweltrelevant. Sowie die Schwermetalle Chrom und Kupfer, welche bereits diskutiert wurden. Im Folgenden werden die soeben genannten Parameter mit den Größen mittlere Ablagerungsdauer, W/F-Verhältnis und Bauschutt/Bodenaushub-Verhältnis in Beziehung gesetzt und dargestellt. Für ausgewählte Parameter wurde der Frachtverlauf in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer ausgewertet und dargestellt. Für drei Standorte wurden grobe Stoffbilanzen ermittelt und dargestellt.

4.5.1 Ausgewählte Sickerwasserparameter der erhobenen Deponiestandorte in Bezug zur mittleren Ablagerungsdauer

Die grafische Darstellung der Sickerwasserparameter wurde in aktive bzw. erst kürzlich geschlossene Standorte und bereits geschlossene Standort/Kompartimente aufgeteilt.

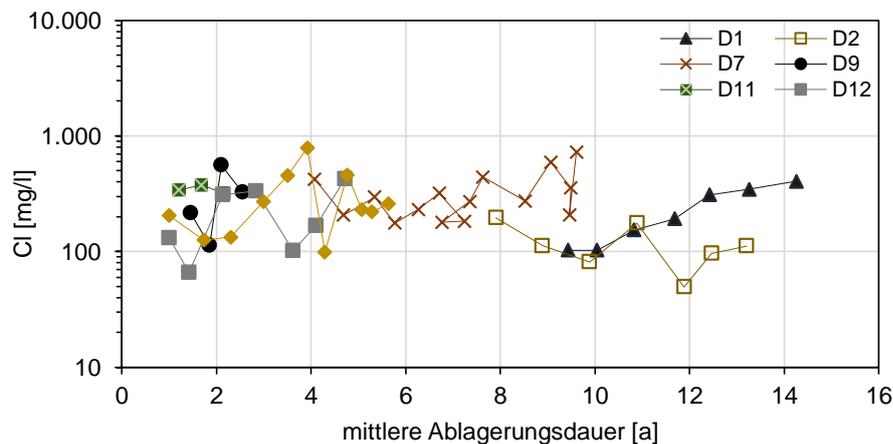


Abbildung 4-16: Chlorid im Sickerwasser aktiver bzw. kürzlich geschlossener Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Die Chloridkonzentrationen im Sickerwasser der aktiven Standorte bzw. Kompartimente (siehe Abbildung 4-16) bewegen sich über den gesamten Beobachtungszeitraum in einem Bereich von 50 bis 900 mg/l. Die Chloridkonzentrationen im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. geschlossenen Kompartimente (Abbildung 4-17) liegen im gleichen Größenordnungsbereich. Es ist also kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Mit Ausnahme des Standortes D10, hier wurden Werte deutlich unter 100 mg/l gemessen. An diesem Standort machen Baurestmassen nur 18 % der Gesamtmenge aus. Ein klarer Trend mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer ist nicht zu erkennen. Die Betrachtung der Frachtverläufe von Chlorid an einzelnen Standorten (siehe Kapitel 4.5.4) zeigt, mit Ausnahme von D7, tendenziell sinkende Verläufe mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer.

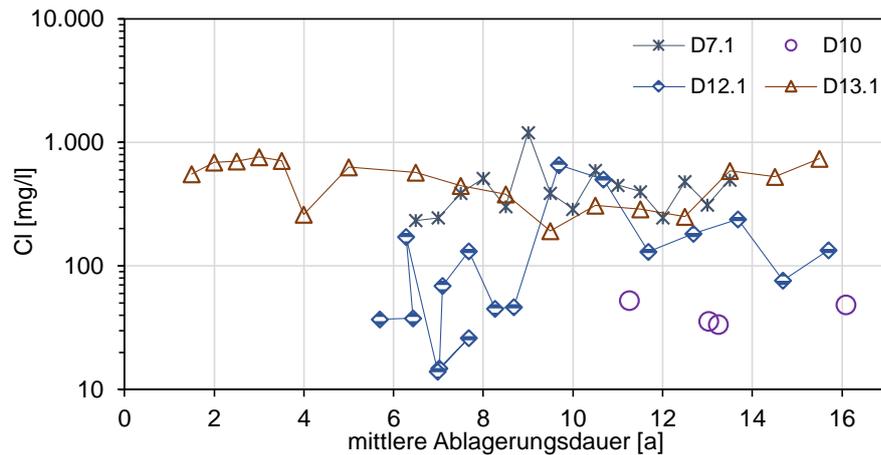


Abbildung 4-17: Chlorid im Sickerwasser geschlossener Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet

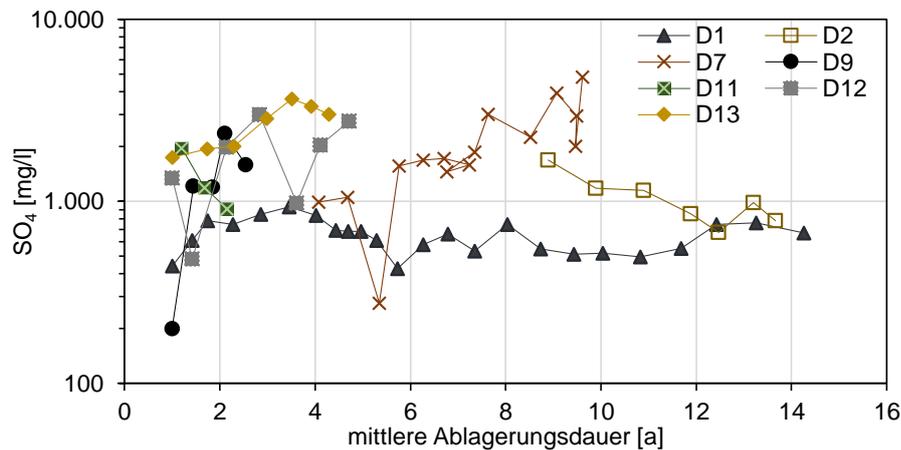


Abbildung 4-18: Sulfatkonzentration im Sickerwasser aktiver bzw. kürzlich geschlossener Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Abbildung 4-18 zeigt die Sulfatkonzentration im Sickerwasser jener Kompartimente, auf denen weiterhin Baurestmassen abgelagert werden. An allen Standorten wird der Grenzwert der AAEV von 200 mg/l für die indirekte Einleitung weit überschritten. Das Maximum bilden Werte knapp unter 5.000 mg/l. Am Standort D1 wurden über den gesamten Zeitraum weniger als 30 % Baurestmassen abgelagert, hier bleiben die Werte relativ konstant unter 1.000 mg/l. Am Standort D7 wurden überwiegend Baurestmassen abgelagert, hier ergeben sich mit rund 4.800 mg/l auch die höchsten Konzentrationen im Sickerwasser. Am Standort D2 lässt sich eine abnehmende Tendenz mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer beobachten, ob dies auf eine verminderte Ablagerung bestimmter Abfallfraktionen zurückzuführen ist, ist aus den vorliegenden Daten nicht ersichtlich. Auch hier zeigt die Auswertung der Frachtverläufe (Kapitel 4.5.4) sinkende Frachten mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer.

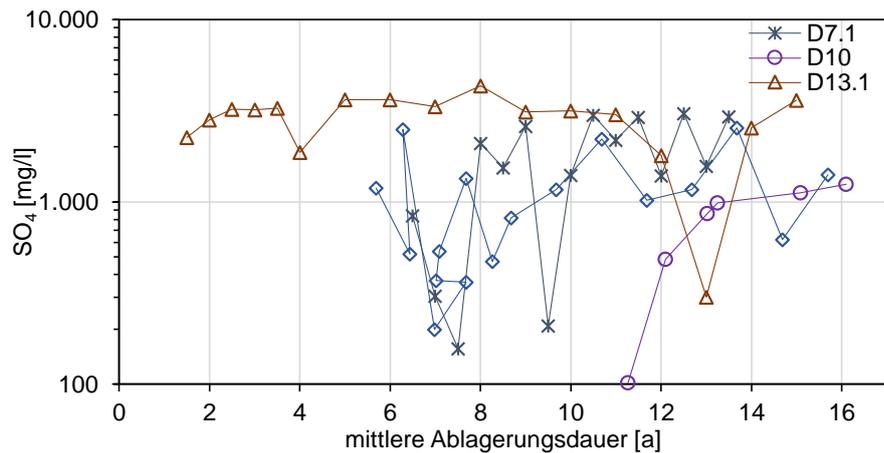


Abbildung 4-19: Sulfatkonzentration im Sickerwasser geschlossener Baurestmassendeponien bzw.-Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet

In Abbildung 4-19 ist die Sulfatkonzentration der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer aufgetragen. Am Standort D7.1 wurde bei 7,5 Jahren eine Oberflächenabdeckung aufgebracht und bei 9 Jahren rekultiviert. Die Sulfatkonzentration nach diesen Maßnahmen schwankt zwischen 1.000 und 3.000 mg/l und zeigt eine steigende Tendenz. Am Standort D10 und D12.1 steigt die Sulfatkonzentration ebenfalls nach den Abdeckungs- bzw. Abdichtungsmaßnahmen an. Am Standort D13.1 bleibt die Konzentration relativ konstant nach den Abdichtungsmaßnahmen im 4. Jahr, abgesehen von einer Abweichung bei 13 Jahren. Worauf diese zurückzuführen ist, kann nicht genauer begründet werden. Insgesamt zeigt die Auswertung steigende Sulfatkonzentrationen im Sickerwasser nach Aufbringen von Abdichtungsmaßnahmen, dies ist auf die Aufkonzentrierung von Sickerwasserinhaltsstoffen aufgrund der geringeren Wasserinfiltration zurückzuführen. Theoretisch müssten die Frachten dennoch abnehmen, aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit konnten für diese Standorte keine Frachtverläufe ermittelt werden.

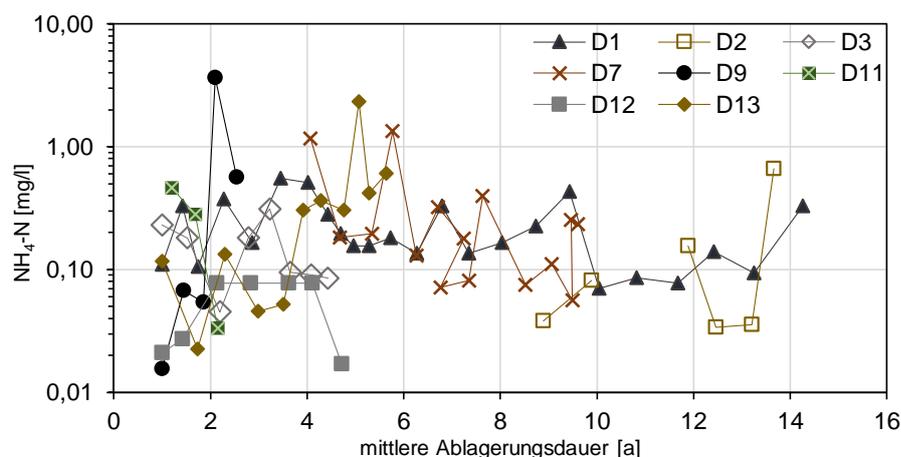


Abbildung 4-20: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Standorte der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Die Ammoniumkonzentrationen im Sickerwasser der aktiven Standorte bzw. Kompartimente (Abbildung 4-20) liegen in einem Bereich von 0,02-3,4 mg/l. Der Grenzwert von 10 mg/l für die direkte Einleitung wird von allen Standorten eingehalten.

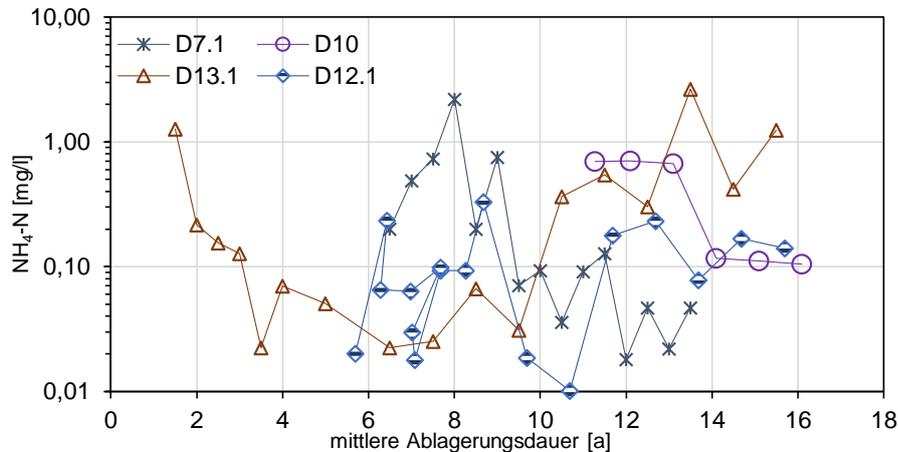


Abbildung 4-21: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der geschlossenen Baurestmassendeponien bzw. -Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet

Abbildung 4-21 zeigt die Ammoniumkonzentrationen im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente. Auch hier liegen die Werte mit 0,01-2,2 mg/l deutlich unter dem Grenzwert für die direkte Einleitung von 10 mg/l.

Da die meisten Standorte in offene Sickerwasserbecken entwässern, ist die N_{ges} -Konzentration meist aussagekräftiger als die Anteile $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ (Laner et al., 2011).

Eine entsprechende Auswertung des anorganischen Gesamtstickstoff-Gehaltes im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien ist in den Abbildung 4-22 und Abbildung 4-23 dargestellt.

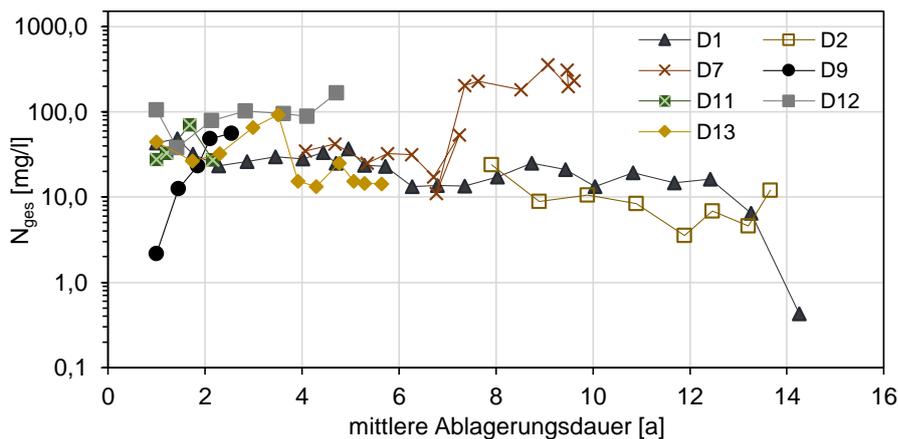


Abbildung 4-22: Anorganischer Gesamt-Stickstoff im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Standorte der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

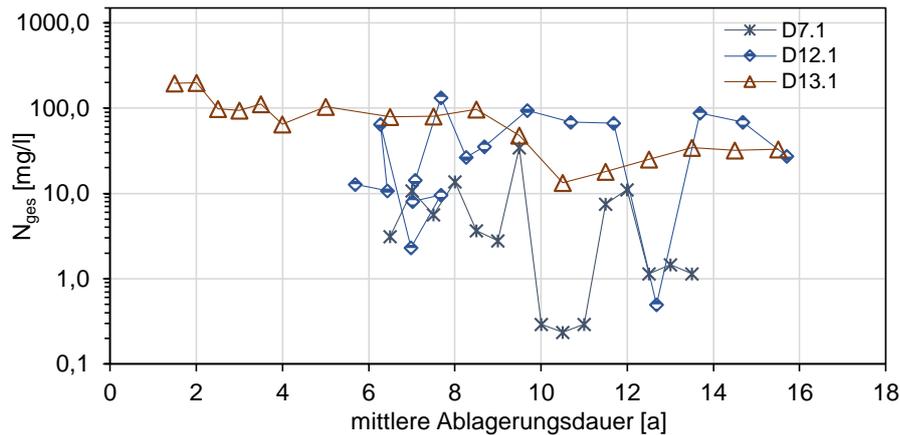


Abbildung 4-23: Anorganischer Gesamt-Stickstoff im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet

Obwohl Baurestmassen vergleichsweise über geringe Stickstoffkonzentrationen verfügen (vgl. Kapitel 2.7.1), fallen die Werte für anorganischen Gesamtstickstoff im Sickerwasser zum Teil sehr hoch aus. Die Werte der aktiven Standorte liegen in einem Bereich zwischen 10-100 mg/l, wobei ein Standort auch Werte bis 360 mg/l erreicht. Der anorganische Gesamtstickstoff der geschlossenen Kompartimente ist in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer dargestellt. Die Werte schwanken stärker im Gegensatz zu den aktiven Kompartimenten, reichen allerdings nur bis 200 mg/l. Ein leichter Trend zu geringeren anorganischen Gesamtstickstoffkonzentrationen mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer ist zu erkennen. Am Standort D13 steigt die Ammoniumkonzentration an, während die anorganische Gesamtstickstoffkonzentration abnimmt. Dieser Gegensatz ergibt sich aus der sinkenden Nitrat-Konzentration im Sickerwasser. Möglicherweise kam es zu einer geringeren Aerobisierung des Sickerwassers und der anorganische Stickstoff liegt vermehrt in Form von Ammonium vor. Am Standort D7 Steigt die Konzentration an anorganischem Gesamtstickstoff mit zunehmender Ablagerungsdauer stark an. Auch hier ist das Vorhandensein von Nitrat im Sickerwasser der ausschlaggebende Parameter. Möglicherweise kam es zu geringeren Aerobisierungsvorgängen im Sickerwasser, was auch die gleichzeitig sinkende Tendenz des Ammonium-Gehaltes erklären würde.

Der Grenzwert für den gesamten gebundenen Stickstoff (TN_b) liegt laut AEV Deponiesickerwasser bei 50 mg/l für die direkte Einleitung in ein Fließgewässer, dieser wird allein vom anorganischen Anteil an allen Standorten überschritten. An den Standorten D1, D12.1, D12 wird das Sickerwasser zur Beprobung aus dem Zulauf der Deponie bzw. einem Sammelschacht entnommen. Trotz der Annahme einer verminderten Aerobisierung des Sickerwassers, liegen die Werte für den anorganischen Gesamtstickstoff im Bereich jener Standorte, an denen Sickerwasserproben aus offenen Sammelbecken entnommen wurden.

Da auch Schwermetalle bei Emissionen von Baurestmassendeponien immer wieder diskutiert werden, sind die Messergebnisse der erhobenen Baurestmassendeponien hinsichtlich der Metalle Kupfer und Chrom-Gesamt dargestellt. Sowohl für Kupfer, als auch für Chrom liegen die Grenzwerte für die direkte und für die indirekte Einleitung bei 0,5 mg/l. Die Abbildung 4-24 bis Abbildung 4-27 zeigen die Kupfer- und Chrom-Gesamtkonzentrationen im Sickerwasser der aktiven bzw. inaktiven Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer. Der maximale Wert der Kupferkonzentrationen liegt bei 0,15 mg/l, wobei sich die meisten unter 0,1 mg/l bewegen.

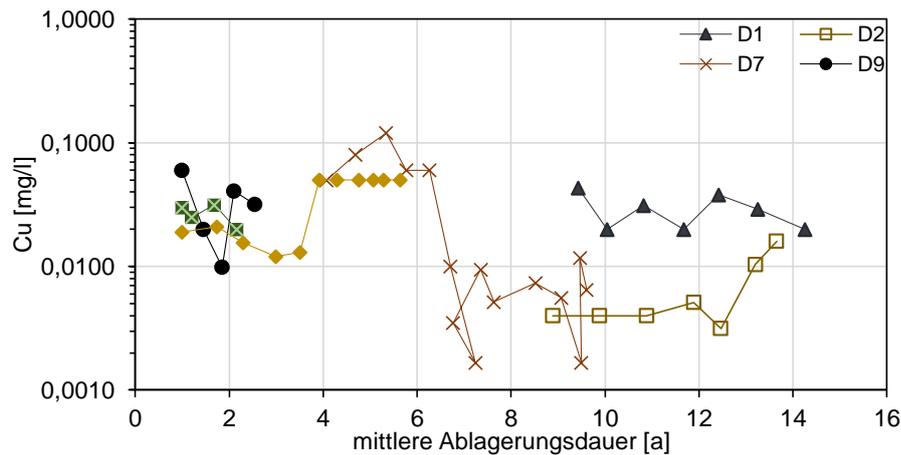


Abbildung 4-24: Kupferkonzentration im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

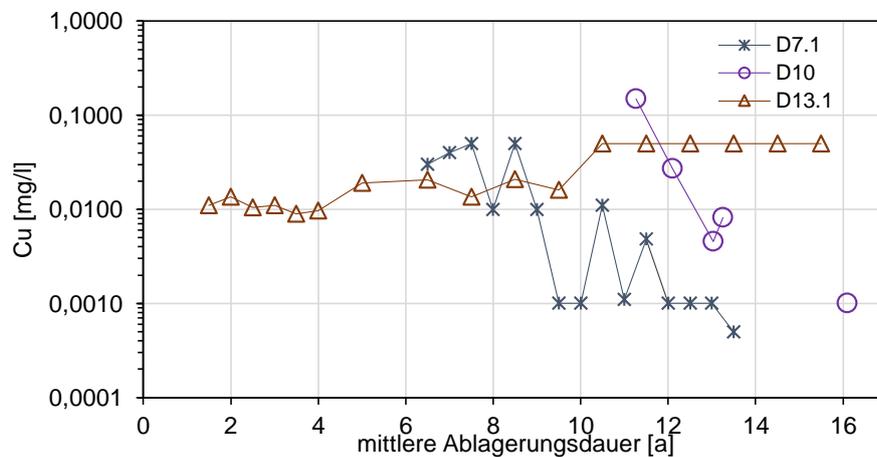


Abbildung 4-25: Kupferkonzentration im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Bis auf eine Abweichung liegen die Werte für Chrom-Gesamt über den gesamten Beobachtungszeitraum im Sickerwasser der aktiven Kompartimente unter 0,1 mg/l. Bei den geschlossenen Kompartimenten wurde ein Maximalwert von 0,23 mg/l 10 Jahre nach Abdeckung erreicht. Ein klarer Trend der Kupfer- und Chrom-Gesamtkonzentrationen in Bezug zur mittleren Ablagerungsdauer ist nicht abzulesen.

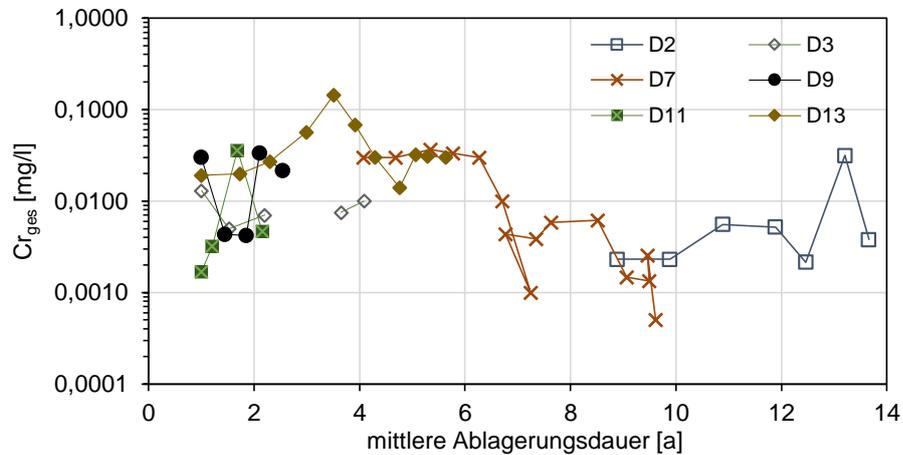


Abbildung 4-26: Chrom-Gesamt im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

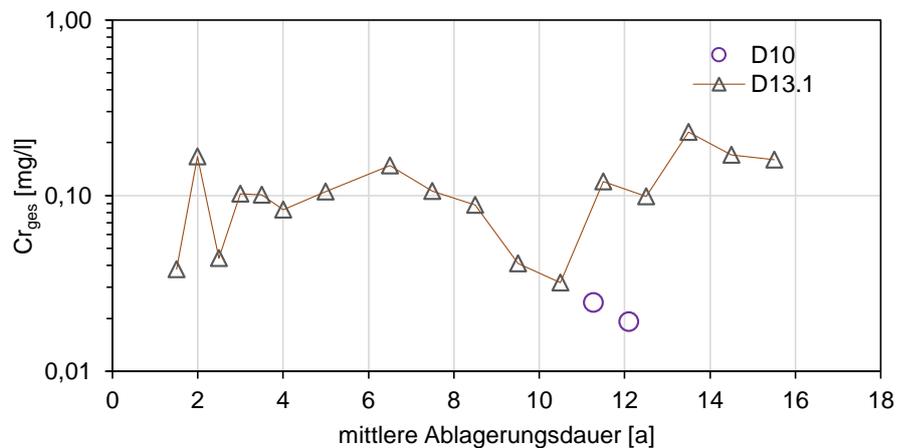


Abbildung 4-27: Chrom-Gesamt im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

4.5.2 Ausgewählte Sickerwasserparameter bezogen auf das Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub

Da, wie in Kapitel 2.7 bereits erwähnt, das Emissionsverhalten unter anderem auch wesentlich von der Art der abgelagerten Abfälle bestimmt wird, folgt eine Darstellung ausgewählter Parameter im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf das Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub. Wie dieses Verhältnis bestimmt wurde, ist in Kapitel 3.3.3 beschrieben. Sulfat gilt als kritischer Parameter in Bezug auf Baurestmassendeponien (vgl. Kapitel 2.5.1), daher wurde dieser für die Betrachtung ausgewählt.

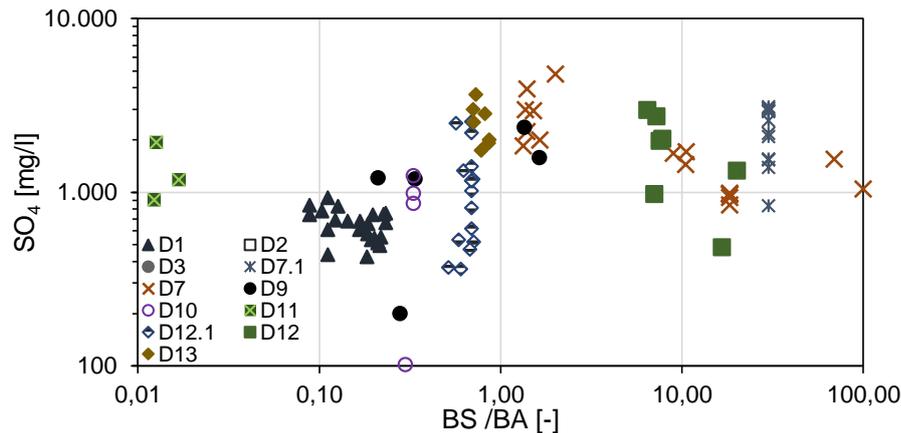


Abbildung 4-28: Sulfatgehalt im Sickerwasser der erhobenen Standorte bezogen auf das Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub

Abbildung 4-28 zeigt den Sulfatgehalt der erhobenen Standorte in Abhängigkeit zum Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub. Es zeichnet sich eine Tendenz zu höheren Sulfatkonzentrationen bei zunehmender Menge an abgelagertem Bauschutt ab. Während jene Standorte mit einem Verhältnis größer 1 Sulfatkonzentrationen im Sickerwasser von meist 1.000 bis ca. 5.000 mg/l aufweisen, liegt die Konzentration bei jenen mit einem Verhältnis kleiner 1 meist unter 1.000 mg/l und reicht nur vereinzelt bis 2.000 mg/l. Der Grenzwert der Sulfatkonzentration für indirekte Einleitung, also die Einleitung in eine öffentliche Kanalisation, ist mit 200 mg/l festgesetzt und wird sowohl von den Standorten mit einem Verhältnis kleiner 1 (auch deutlich unter 1) als auch von jenen Standorten über 1 weit überschritten. Hier ist hervorzuheben, dass am Standort D11 weniger als 10 % der gesamten Ablagerungsmenge in Form von Bauschutt lagern und Werte für Sulfat bis 2.000 mg/l gemessen wurden.

4.5.3 Ausgewählte Sickerwasserparameter bezogen auf das W/F - Verhältnis

Da das Vorhandensein von Wasser einen wesentlichen Einfluss auf chemische und physikalische Prozesse hat, sind im Folgenden die Konzentrationen der Parameter Chlorid, Sulfat, Ammonium und anorganischer Gesamtstickstoff im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente bezogen auf das W/F-Verhältnis grafisch dargestellt. Je höher W/F ist, umso mehr Wasser hat den Deponiekörper durchflossen.

Auf eine Auswertung der aktiven Standorte in Bezug zum W/F-Verhältnis wird verzichtet, da frische Ablagerungen die Aussagekraft longitudinaler Auswertungen reduziert (Laner et al., 2011).

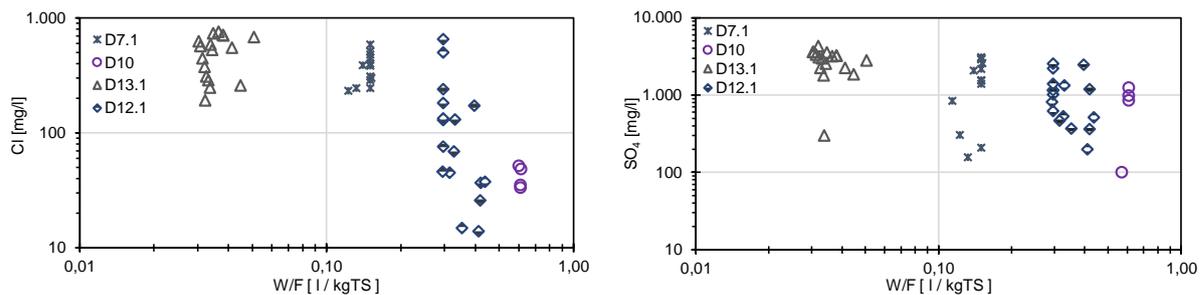


Abbildung 4-29: Chlorid und Sulfat im Sickerwasser der geschlossenen Deponien bezogen auf das W/F-Verhältnis

Abbildung 4-29 zeigt die Chlorid- und Sulfatkonzentration der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente. Da Chlorid zu den leicht löslichen Salzen zählt, ist die Chloridkonzentration im Sickerwasser vorwiegend auf Auswaschungsprozesse zurückzuführen (vgl. Kapitel 2.4). Geht man davon aus, dass das W/F-Verhältnis nach entsprechenden Abdichtungsmaßnahmen konstant bleibt, sollte die Chloridkonzentration durch Aufkonzentration ansteigen. Das konnte bei den Standorten D7.1 und D13.1 beobachtet werden. Hier liegen die Werte nach Abdichtung bei rund 200 mg/l und steigen dann bis 700 mg/l an. Die Frachten sollten sich aufgrund des geringeren Sickerwasseranfalls durch die Abdichtungsmaßnahmen dennoch verringern. Da es sich bei den Standorten um Altbestände handelt, konnten keine Frachten ermittelt werden die diese Aussage bekräftigen könnten. Am Standort D12.1, liegen die Werte kurz nach Abdichtung bei rund 600 mg/l und sinken dann auf Werte bis 80 mg/l ab. Die sehr geringen Werte von knapp 15 mg/l wurden bereits einige Jahre vor Abdichtung gemessen. Hier könnten höhere Niederschläge eine Verdünnung des Sickerwassers verursacht haben. Für den Standort D10 liegen nur wenige Messpunkte vor, diese wurden nach entsprechenden Abdichtungsmaßnahmen durchgeführt und liegen zu Beginn bei 33 mg/l und am Ende der Messreihe bei knapp 50 mg/l.

Ähnlich verhält es sich mit den Sulfatkonzentrationen, wobei diese weniger Schwankungsbereich aufweisen. Die Werte liegen bei allen Standorten ähnlich hoch und deutlich über dem Grenzwert von 200 mg/l. Eine Abnahme der Sulfatkonzentration mit zunehmendem W/F-Verhältnis konnte nicht beobachtet werden.

Sowohl Ammonium als auch anorganischer Gesamtstickstoff (Abbildung 4-30) im Sickerwasser liegen bei unterschiedlichem W/F-Verhältnis ähnlich verteilt. Ausgenommen Standort D13.1. Hier schwankt die Ammoniumkonzentration über einen Bereich von drei Zehnerpotenzen, während der anorganische Gesamtstickstoff weitgehend konstant bleibt. Ein klarer Trend der Sickerwasserkonzentrationen bezogen auf den Wasserdurchsatz im Abfall lässt sich hier nicht zeigen.

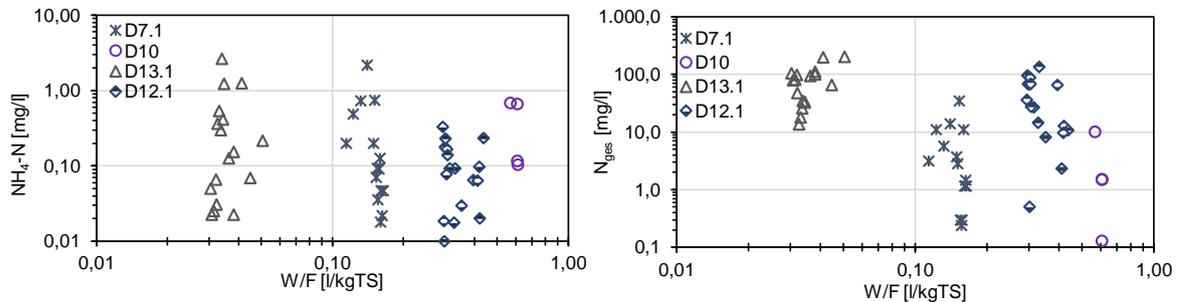


Abbildung 4-30: Ammonium und anorganischer Gesamtstickstoff im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf das W/F-Verhältnis

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich die oben angeführten Parameter im Sickerwasser in einem ähnlichen Bereich bewegen, obwohl sich das errechnete W/F-Verhältnis teilweise um das zehnfache unterscheidet. Beim Chloridgehalt der Standorte D12.1 und D10 liegen die Werte bei höherem W/F-Verhältnis niedriger. Obwohl Sulfat ebenso zu den löslichen Salzen zählt, und bei höherem Wasserdurchsatz in geringerer Konzentration verbleiben sollte, verhält sich dieser Parameter nicht analog. Dies kann auf biochemische Umwandlungsprozesse, welche wiederum vom Redox-Milieu und der Sauerstoffversorgung abhängig sind, zurückzuführen sein. Diese Bedingungen können wiederum durchaus vom Wassergehalt abhängen.

4.5.4 Frachtverlauf ausgewählter Sickerwasserparameter bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Für jene Standorte, für die Zeitreihen der Sickerwassermengenmessung vorhanden waren, sind die Frachtverläufe der Parameter Chlorid, Sulfat, anorganischer Gesamtstickstoff und Ammonium-Stickstoff bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer ausgewertet und in der Abbildung 4-31 und Abbildung 4-32 dargestellt. Die Parameter im Sickerwasser wurden auf eine Tonne Trockensubstanz pro Jahr bezogen. Die Informationen der geschlossenen Kompartimente waren für eine Auswertung nicht ausreichend. Es ist zu erwähnen, dass die Daten durch mangelnde Vollständigkeit mit Unsicherheiten behaftet sind. So ist zum Beispiel die rückverregnete Sickerwassermenge von einigen Standorten nicht lückenlos bekannt und wurde punktuell durch gemittelte Werte ergänzt.

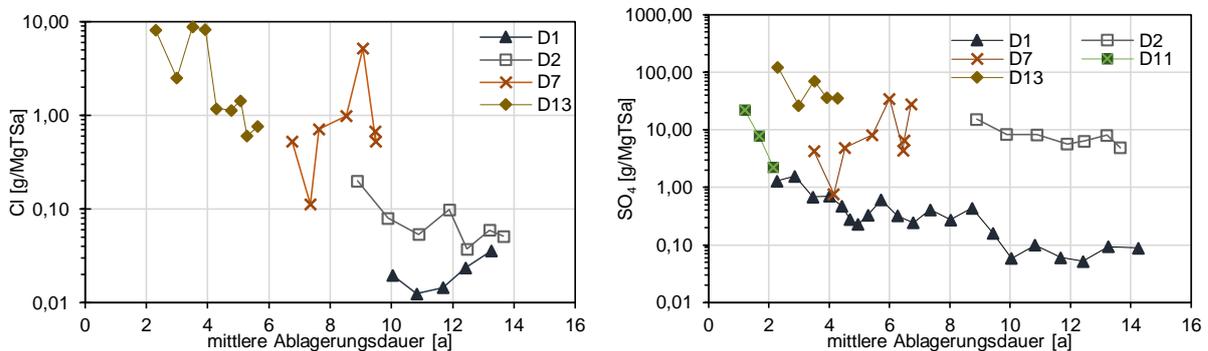


Abbildung 4-31: Chloridfracht und Sulfatfracht im Sickerwasser ausgewählter Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Sowohl für den Frachtverlauf des Chlorids im Sickerwasser, als auch für Sulfat, zeigen sich sinkende Verläufe. Die Betrachtung der Konzentrationsverläufe von Chlorid und Sulfat in Kapitel 4.5.1 zeigt relativ konstante Verläufe. Am Standort D7 zeigen sich sowohl für Chlorid als auch Sulfat steigende Frachtverläufe. Auch die Konzentrationsverläufe dieser Parameter im Sickerwasser steigen an diesem Standort mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer an.

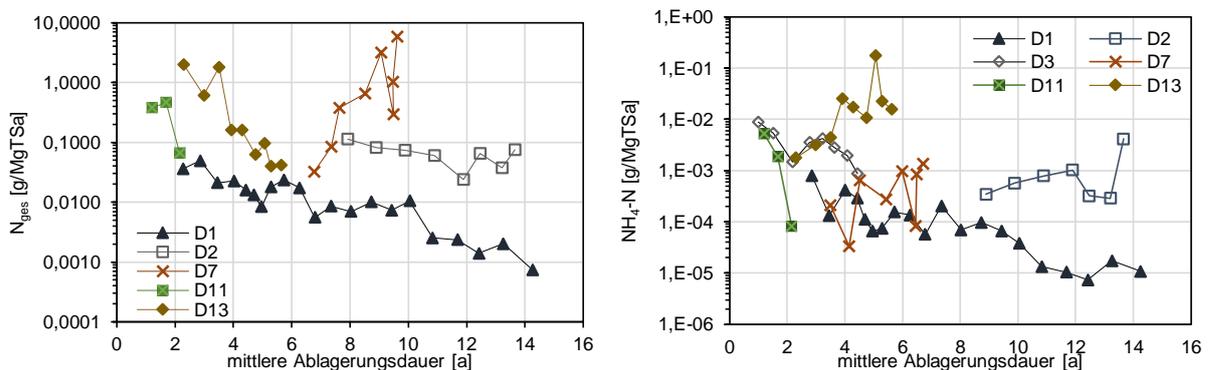


Abbildung 4-32: Anorganische Gesamtstickstofffracht und Ammoniumfracht im Sickerwasser ausgewählter Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer

Bei den meisten Standorten zeigt sich eine Abnahme der anorganischen Stickstofffrachten mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer. Steigende Tendenzen lassen sich beim Standort D7 beobachten, was auf die offenen Kompartimente zurückzuführen ist. Während die anorganische Gesamtstickstofffracht

am Standort D 13 sinkt, steigt jene des Ammonium-Stickstoffs. Der sinkende Verlauf von N_{ges} ergibt sich aus der fallenden $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration im Sickerwasser. Worauf der Anstieg des Ammonium-Gehaltes und das Absinken des Nitrat-Gehaltes zurückzuführen ist, konnte nicht genauer erläutert werden. Der Standort D2 zeigt bei der letzten vorliegenden Messung einen deutlichen Anstieg der Ammonium-Stickstofffracht, ob hier ein Messfehler ausschlaggebend ist, müsste anhand weiterer Messungen betrachtet werden.

4.5.5 Stoffbilanzen

Die Erstellung von Stoffbilanzen gibt auch einen Überblick über die Menge von Stoffen, die über den Sickerwasserweg ausgetragen werden. Die Grundlage der Bilanzierung ist in Kapitel 3.3.4 beschrieben. Aufgrund der Datenverfügbarkeit konnten ausschließlich (grobe) Bilanzen für die Standorte D1, D2 und D13 erstellt werden. Die stoffliche Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle wird anhand von Literaturdaten abgeschätzt (Kapitel 2.7.1). Nach Stegmann et al. (2006), Schachermayer et al. (1998), Laner et al. (2011) und Obernosterer und Reiner (2003) wurde für die Gesamtkonzentration an Schwefel in Baurestmassen 5,9 g/kgTS, für Chlorid 1,5 g/kgTS für org. Kohlenstoff 13 g/kgTS, für Stickstoff 1,05 g/kgTS für Kupfer 0,021 g/kgTS und für Zink 0,071 g/kgTS angenommen.

Tabelle 4-5 zeigt die Input- und Outputmengen verschiedener Stoffe der Standorte D1, D2 und D13.

Tabelle 4-5: Input- und Outputmenge ausgewählter Stoffe, MW=Mittelwert

D1	S	Cl	C	N	Cu	Zn
[g/kgTS]						
Input	5,9	1,5	13	1,05	0,021	0,071
Output MW	0,004	0,004	0,0002	0,0005*	0,000005	0,000003

mittl. Ablagerungsdauer: 14,3a; mittl. jährl. Niederschlag: 699 mm/a; W/F: 0,097 l/kgTS; *anorganisch

D2	S	Cl	C	N	Cu	Zn
[g/kgTS]						
Input	5,9	1,5	13	1,05	0,021	0,071
Output MW	0,83	4,8	0,028	0,022*	0,005	0,0001

mittl. Ablagerungsdauer: 13,7a; mittl. jährl. Niederschlag: 1307 mm/a; W/F: 0,68 l/kgTS *anorganisch

D13	S	Cl	C	N	Cu	Zn
[g/kgTS]						
Input	5,9	1,5	13	1,05	0,021	0,071
Output MW	0,13	0,043	-	0,006*	0,00003	0,000003

mittl. Ablagerungsdauer: 6a; mittl. jährl. Niederschlag: 493 mm/a; W/F: 0,095 l/kgTS, *anorganisch

Die mittlere Ablagerungsdauer der Standorte D1 und D2 ist mit rund 14 Jahren gleich, der mittlere jährliche Niederschlag am Standort D1 ist mit 699 mm/a nur halb so hoch wie am Standort D2 mit knapp 1.300 mm/a. Auch das W/F-Verhältnis unterscheidet sich um ein Vielfaches, ebenso die errechneten Outputgrößen der verschiedenen Stoffe. Am geringsten ist der Niederschlag am Standort D13 mit 493 mm/a, auch die mittlere Ablagerungsdauer beträgt mit 6 Jahren knapp die Hälfte der anderen beiden Standorte. Vergleicht man die ausgetragene Menge der Stoffe an den Standorten D1 und D13 fällt auf, dass D1 eine weitaus geringere Fracht trotz höherem mittleren jährl. Niederschlag hat. Das ist vermutlich auf die hohe Verdichtung am Standort D1 zurückzuführen. Verhältnismäßig entsteht hier wenig Sickerwasser (Kapitel 4.3.1). Eine bessere Übersicht der Bilanzen zeigt die grafische Darstellung der Transferkoeffizienten in der Abbildung 4-33 bis Abbildung 4-35.

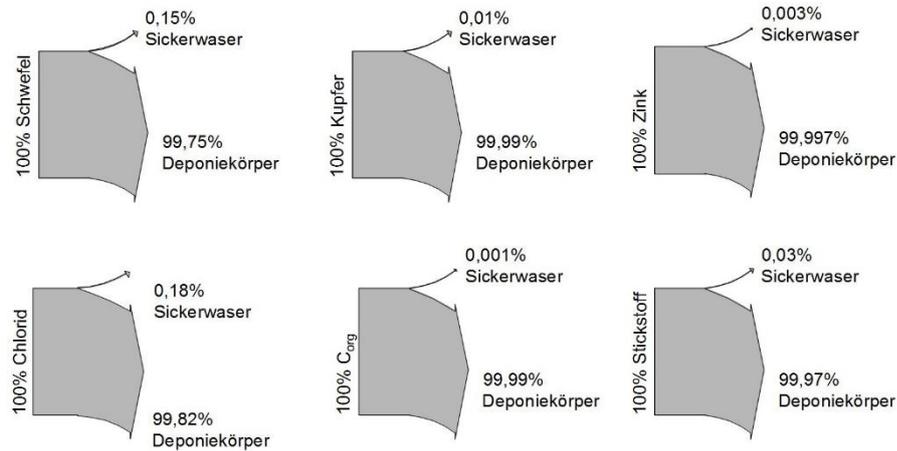


Abbildung 4-33: Transferkoeffizienten Standort D1, mAd: 14,3a, N: 699 mm/a, W/F: 0,095 l/kgTS, der Stickstoffaustrag bezieht sich auf den anorganischen Anteil

Am Standort D1 wurden kaum Stoffe über den Sickerwasserweg ausgetragen, selbst die Anteile der löslichen Salze Sulfat und Chlorid liegen unter einem Prozent. Das geringe W/F-Verhältnis auf dem Standort ist auf die Einbautechnik zurückzuführen. Die fortlaufende Abdichtung am Standort führt zu geringen Sickerwassermengen (5 % des jährlichen Niederschlages), einem geringen W/F-Verhältnis und damit zum Rückhalt der Stoffe im Deponiekörper.

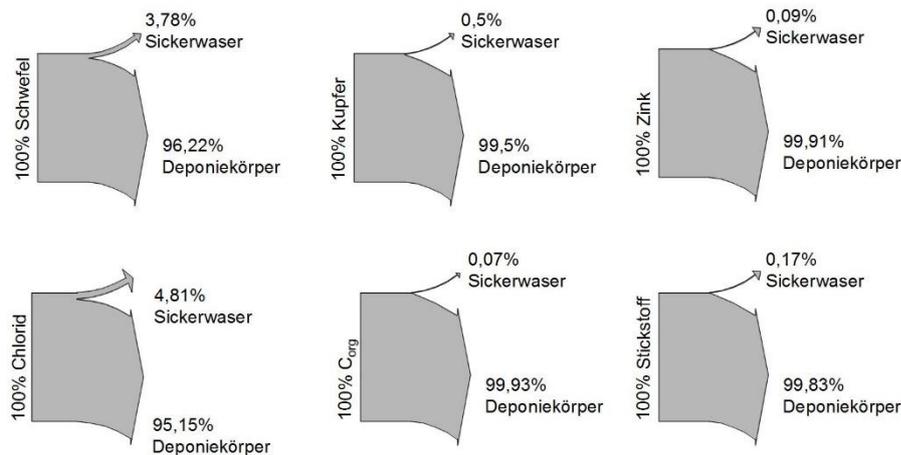


Abbildung 4-34: Transferkoeffizienten Standort D2, mAd: 13,7a, N: 1368 mm/a, W/F: 0,68 l/kgTS, der Stickstoffaustrag bezieht sich auf den anorganischen Anteil

Der Standort D2 liegt im niederschlagsreichsten Gebiet der erhobenen Standorte und weist mit 0,68 l/kgTS das höchste Wasser/Feststoff-Verhältnis auf. Auch hier liegen die Werte an ausgetragenem Kupfer, Zink, organischem Kohlenstoff und anorganischem Gesamtstickstoff unter einem Prozent. Der im Sulfat enthaltene Schwefel wurde mit nur 3,78 % des gesamten Schwefelinputs ausgetragen, auch der Anteil an Chlorid beträgt nur 4,81 % des gesamten Inputs. Obwohl im Mittel 52 % des Niederschlages am Standort als Sickerwasser anfallen, ist der Austrag löslicher Salze sehr gering.

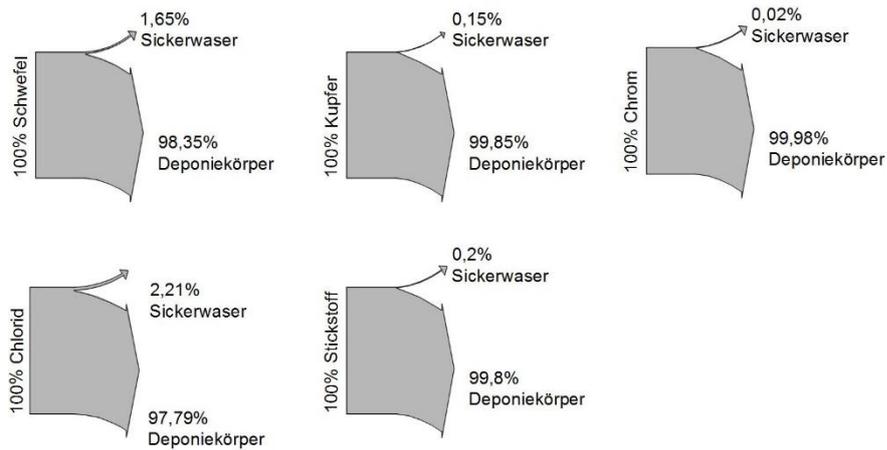


Abbildung 4-35: Transferkoeffizienten Standort D13, mAd: 6a, N: 493 mm/a, W/F: 0,097 l/kgTS, der Stickstoffaustrag bezieht sich auf den anorganischen Anteil

Beim Standort D13 ist das W/F-Verhältnis mit rund 0,1 l/kgTS ähnlich dem Standort D1, allerdings kommen hier im Mittel 36 % des Jahresniederschlages zum Abfluss in Form von Sickerwasser. Die ausgetragenen Frachten von Kupfer, Chrom und anorganischem Gesamtstickstoff liegen unter 1 % der gesamten eingebrachten Stoffmenge. Die Menge an ausgetragenem Schwefel ist mit 1,65 % gering, und auch die Chlorid-Menge verbleibt mit 97,8 % überwiegend im Deponiekörper.

4.5.6 Boxplots ausgewählter Parameter im Sickerwasser bezogen auf die Jahre nach Abdichtung der Standorte/Kompartimente

Da die Nachsorgedauer mit Ablagerungsende beginnt, scheint eine Betrachtung ausgewählter Sickerwasserparameter bezogen auf Dauer, die nach Abdichtung der Standorte/Kompartimente verstrichen ist, sinnvoll. Sulfat, Ammonium-Stickstoff sowie anorganischer Gesamtstickstoff im Sickerwasser jener vier Standorte, die bereits stillgelegt wurden, werden im Folgenden in Form von Boxplots in Abhängigkeit der Dauer nach Aufbringung einer Oberflächenabdichtung dargestellt. Die Darstellung erfolgt in Form von Boxplots, wobei eine Klasse zwei Jahre umfasst. Der mittlere Querstreifen kennzeichnet den Median des Datensatzes, 50 % der Daten sind kleiner oder gleich diesem Wert. Das obere Quartil kennzeichnet die kleinsten 75 % der Datenwerte die kleiner oder gleich diesem Wert sind und das untere Quartil die kleinsten 25 % der Datenwerte die kleiner oder gleich diesem Wert sind. Die Whisker kennzeichnen den Minimal- bzw. Maximalwert des Datensatzes. Die Parameter Sulfat, Chlorid und anorganischem Gesamtstickstoff wurden ausgewählt, da diese bei der Betrachtung der Parameterbereiche (Tabelle 4-4) im Mittel über den festgesetzten Grenzwerten liegen.

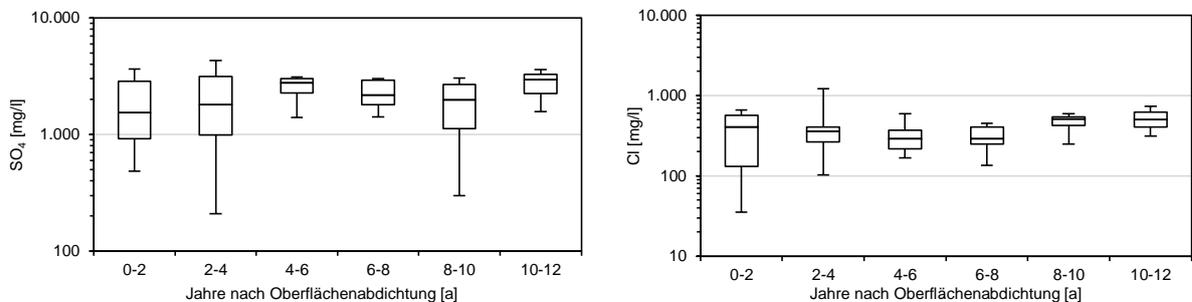


Abbildung 4-36: Boxplots der Sulfat- und Chloridkonzentrationen im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente bezogen auf die Dauer nach Abdichtungsmaßnahmen der Oberfläche, n=29

Der Sulfatgehalt bleibt über die Jahre relativ konstant, der Median schwankt in einem Bereich zwischen 1.500 und 3.000 mg/l (Abbildung 4-36). Der Wert liegt bis zwei Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung bei rund 1500 mg/l, steigt dann leicht an und liegt nach 10-12 Jahren bei rund 2900 mg/l, wodurch der Grenzwert von 200 mg/l bei weitem überschritten wird.

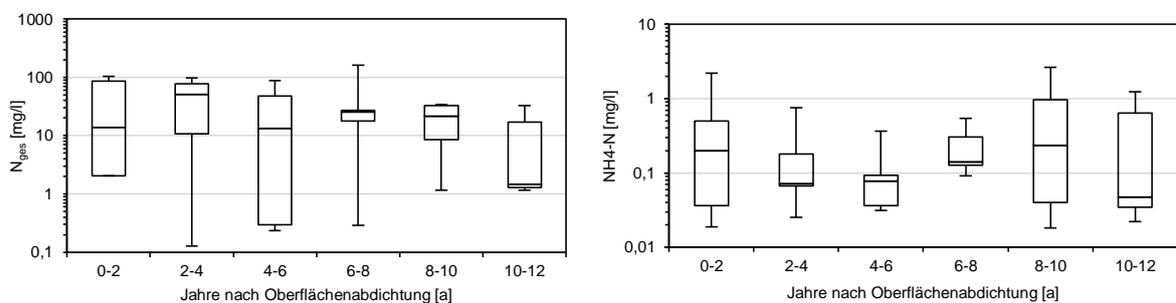


Abbildung 4-37: Boxplots der anorganischen Gesamtstickstoff- und Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente bezogen auf die Dauer nach Abdichtungsmaßnahmen, n=29

Die Konzentration von anorganischem Gesamtstickstoff und Ammonium im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente ist in Abbildung 4-37 dargestellt. 2-4 Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung liegen die Werte für

N_{ges} noch über dem Grenzwert von 50 mg/l für TN_b , danach zeigt sich eine abfallende Tendenz. Nach 6-8 Jahren wird der Grenzwert zur Einleitung in ein Fließgewässer vom Parameter anorganischer Gesamt-Stickstoff eingehalten. Die Ammoniumkonzentration liegt, mit Ausnahme einiger Ausreißer, über den gesamten Betrachtungszeitraum unter 1 mg/l. Dies unterschreitet den Grenzwert zur direkten Einleitung von 10 mg/l.

Anzumerken ist, dass nur vier Standorte hinsichtlich dieser Fragestellung ausgewertet werden konnten und die Grundgesamtheit von 29 Sickerwasserparametern, die aus der Auswertung der im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten stammen, für eine fundierte Aussage erweitert werden müsste. Zudem konnten Werte für Schwermetallgehalte im Sickerwasser nicht analysiert werden, da der Datenumfang für diese Parameter zu gering war.

4.6 Gegenüberstellung der erhobenen Daten mit Literaturdaten

4.6.1 Beschreibung der vergleichenden Literatur

In diesem Kapitel wird das Emissionsverhalten nach Stand des Wissens mit Literatur aufgearbeitet, und die kritischen Parameter zur Beurteilung des Abfallemissionsverhaltens für die Betrachtung in dieser Arbeit beschrieben. Es erfolgt eine kurze Zusammenfassung der Schwerpunkte der betrachteten Studien.

- Laner et al., 2011 – SKUDENA Studie

Das Ziel der Studie liegt darin qualitative und quantitative Kriterien zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen, hinsichtlich der Beendigung der Deponienachsorge, unter Einbeziehung von standortspezifischen Gegebenheiten, abzuleiten. Die Vorgehensweise umfasst eine umfangreiche Literaturrecherche und eine methodische Auseinandersetzung mit bestehenden Ansätzen zur Beurteilung von Deponieemissionen. Die Erhebung und Auswertung von Deponiedaten, die Entwicklung einer Methode zur Ableitung von Kriterien für die Beurteilung der langfristigen Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen und die Anwendung der entwickelten Methode an konkreten Deponiestandorten. Es wurden Daten über Emissionen, Ablagerungshistorie, klimatische Verhältnisse und, sofern vorhanden, Informationen über Feststoffanalysen erhoben und ausgewertet. Diese Daten wurden von alten Hausmülldeponien, Schlackemonodeponien und Baurestmassendeponien erhoben. Letztere zwei sind zur Betrachtung innerhalb der vorliegenden Arbeit relevant. Da in Österreich zu dieser Zeit kaum Schlackemonodeponien betrieben wurden, wurden Daten von vier Schweizer Deponien, auf denen ausschließlich Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen abgelagert wurden, erhoben. Diese Standorte befanden sich zu dieser Zeit alle in Betrieb. Da aufgrund chemischer Prozesse bei der Schlackealterung (v.a. Hydratisierung) auf eine Auswertung hinsichtlich des W/F-Verhältnisses verzichtet wurde, erfolgt eine Darstellung über die mittlere Ablagerungsdauer. Daten zu Baurestmassendeponien wurden von insgesamt 12 Deponien erhoben, hier waren aufgrund der Vollständigkeit der Daten nur 3 Standorte für eine umfangreiche Auswertung geeignet. Alle drei Standorte wurden zum Zeitpunkt der Datenerhebung weiterhin mit Baurestmassen befüllt. Diese sind zum Teil Deckungsgleich mit den Daten der gegenständlichen Arbeit (siehe Kapitel 4.6.3). Eine Darstellung der Daten erfolgt ebenfalls in Bezug auf die mittlere Ablagerungsdauer.

- Stegmann et al., 2006 - Deponienachsorge – Handlungsoptionen

Ziel dieser Studie ist es Grundlagen und Vorschläge für konkrete Handlungsoptionen geeigneter Stilllegungs- und Nachsorgemaßnahmen sowie die Abschätzung von Nachsorgezeiträumen bereitzustellen. Die Arbeit ist auf einer Vielzahl von Messungen, Erfahrungen und Forschungsergebnissen zum Verhalten unterschiedlicher Deponietypen aufgebaut. Der Schwerpunkt dieser Studie liegt auf der Betrachtung des Emissionsverhaltens von Deponien, von Stilllegung und Nachsorge bei Deponien mit und ohne qualifizierter Basisabdichtung. Auch Kostenschätzungen und –vergleiche, von rechtlichen Bedingungen und quantitativen Kriterien für die Entlassung von Deponien aus der Nachsorge werden analysiert. Zur Betrachtung der Sickerwassercharakteristik wurden Literaturdaten von alten Hausmülldeponien, verschiedener MBA-Deponien, MVA-Schlackedeponien und von Baurestmassendeponien dargestellt.

- Schachermayer und Lampert, 2010 – Behandlung von Deponiesickerwasser

Diese Studie befasst sich mit der Behandlung von Deponiesickerwasser in Österreich. Es wurden alle Arten von Deponieklassen und –unterklassen in die Untersuchung miteinbezogen, in denen Sickerwasser anfällt, welches einer Behandlung bedarf. Es wurden vor allem Massenabfalldeponien, aber auch Reststoffdeponien und Baurestmassendeponien analysiert. Auf Anfrage konnten anonymisierte Zeitreihen der Sickerwasseranalysen für die Verwendung in dieser Arbeit zur Verfügung gestellt werden. Es handelt sich um alte Hausmülldeponien, die teilweise als Massenabfalldeponien oder Reststoffdeponien weitergeführt wurden. Die Sickerwasseranalysen stammen aus den Jahren 1997/98 bis 2007. Um die Daten anhand ihrer Betriebsdauer vergleichbar zu machen, wurde angenommen, dass im Jahr 1980 mit der Ablagerung begonnen wurde.

- Lorber et al., 2004 – Versuchskompartimente Allerheiligen

Ziel dieser Forschungsarbeit war das Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen unter realen Deponiebedingungen zu ermitteln. Vor allem das Gasbildungsverhalten wurde bis zur Durchführung dieser Studie unter normalen Deponiebedingungen noch nicht untersucht. Eine Modelldeponie wurde auf rund 120 m² errichtet. Die wesentlichen Grundsätze zur Errichtung einer Deponie wurden beim Bau der Versuchsfelder (Kompartimente) berücksichtigt. Die vier Kompartimente verfügen über ein maximales Volumen von 75 m³. Diese wurden aufgrund unterschiedlicher Bedingungen der Behandlungsanlage mit einer Mischung aus Rottegut nach 22 Wochen und nach 14 bzw. 18 Wochen Rottephase befüllt. Der obere Heizwert des Materials lag knapp 7 % über dem zulässigen Grenzwert. Es liegen Messdaten zu ausgewählten Sickerwasserparametern für 5 Jahre Modellbetrieb vor, danach musste aufgrund von Undichtheiten der Kompartimente die Beprobung abgebrochen werden. Auf 2 Versuchsfeldern wurde Sickerwasser rückgeführt, die anderen beiden wurden ohne Rückführung betrieben.

- Böhm et al., 2013 - Modelldeponie A

Massenabfalldeponie, Ablagerungsbeginn 1979 – Zeitreihen der Sickerwasseranalysen wurden anonymisiert zur Verfügung gestellt.

4.6.2 Vergleich ausgewählter Sickerwasserparameter der erhobenen Deponien mit Daten aus der Literatur in Bezug auf die Ablagerungsdauer

Da Sulfat im Sickerwasser von Baurestmassendeponien als der kritische Parameter angesehen wird (vgl. Kapitel 2.6.3) und Ammonium in Bezug auf Massenabfalldeponien immer wieder diskutiert wird, wurden diese beiden Parameter für den Literaturvergleich herausgearbeitet und im Folgenden dargestellt.

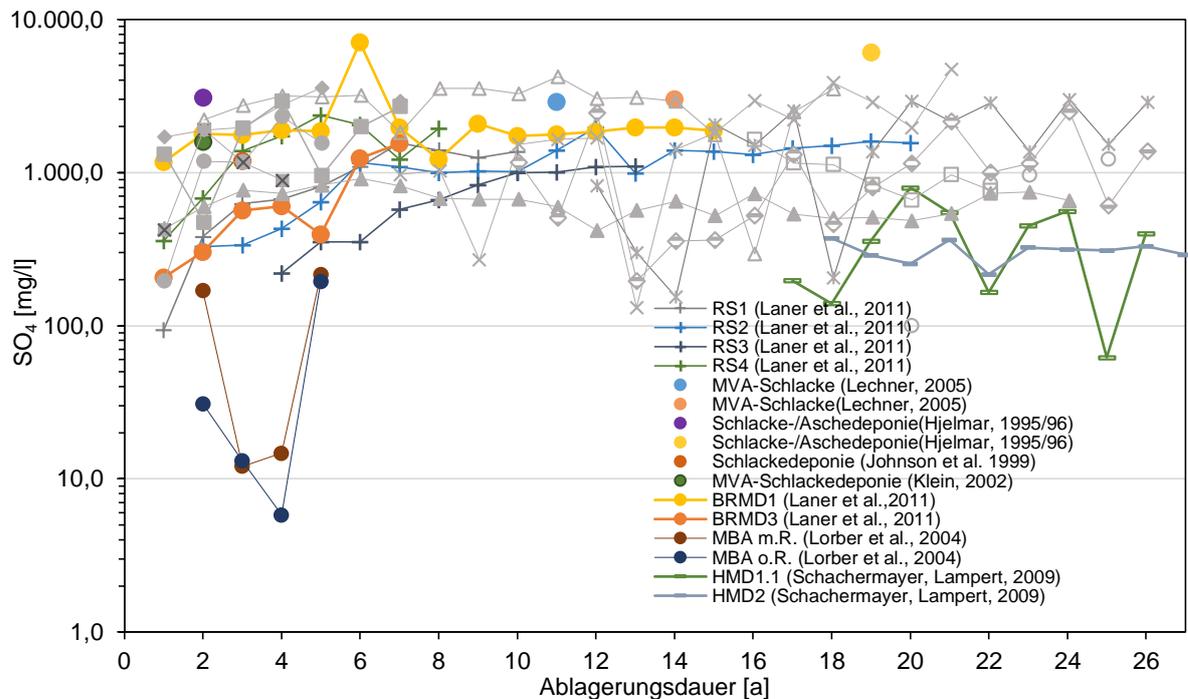


Abbildung 4-38: Sulfatkonzentration im Sickerwasser von unterschiedlichen Deponietypen aus der Literatur im Vergleich zu den erhobenen Baurestmassendeponien (grau) bezogen auf die Ablagerungsdauer

Abbildung 4-38 zeigt in grauer Schattierung jene Sulfatkonzentrationen, die im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien gemessen wurden. Die farbig dargestellten Werte sind einerseits Angaben über Mittelwerte der Sulfatkonzentration im Sickerwasser von Reststoff- und Massenabfalldeponien, andererseits Zeitreihen aus den vorhin genannten Studien. Eine deutliche Abgrenzung ist bei den Massenabfall- bzw. alten Hausmülldeponien zu beobachten. Für die MBA-Modelldeponie liegen die Werte knapp über 100 mg/l, bei den alten Hausmülldeponien bewegen sich die Werte in einem Bereich von 100 bis 800 mg/l. Die Werte der Reststoff- bzw. Schlackedeponien liegen ähnlich den Baurestmassendeponien in einem Bereich zwischen 200 und 5.000 mg/l, zum Teil auch darüber.

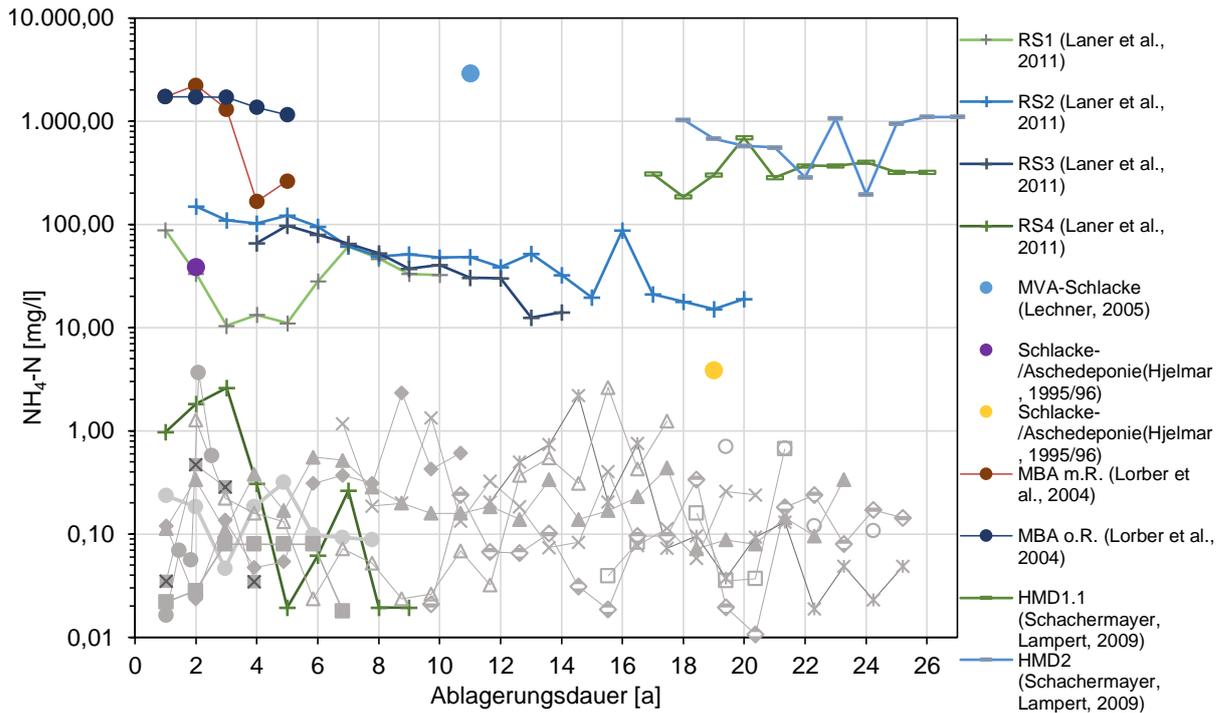


Abbildung 4-39: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser von unterschiedlichen Deponietypen aus der Literatur im Vergleich zu den erhobenen Baurestmassendeponien (grau) bezogen auf die Ablagerungsdauer

In Abbildung 4-39 ist die Ammoniumkonzentration von Reststoff-, Massenabfall- und alten Hausmülldeponien sowie der erhobenen Baurestmassendeponien in Abhängigkeit der Ablagerungsdauer zu sehen. Für eine bessere Übersicht wurden die Baurestmassendeponien grau schattiert dargestellt. Mit Ausnahme der RS4 liegen alle anderen Deponietypen deutlich über den Werten, welche bei den Baurestmassendeponien erhoben wurden. Weshalb der Ammoniumkonzentrationsverlauf am Standort RS4 genau im Bereich der BRMD liegen, konnte aus den Daten nicht heraus gelesen werden. Die Werte der Reststoffdeponien liegen (mit einer Ausnahme) in einem Bereich von 10-100 mg/l, die der Massenabfall- und Hausmülldeponien zwischen 100 und 1100 mg/l und damit deutlich über dem Grenzwert für die direkte Einleitung in einen Vorfluter.

4.6.3 Vergleich ausgewählter Sickerwasserparameter in Form von Box-Plots

Die folgenden Abbildungen zeigen die Konzentrationsverläufe ausgewählter Sickerwasserparameter in Abhängigkeit von Klassen mittlerer Ablagerungsdauer. Die Darstellung erfolgt in Form von Boxplots, wobei eine Klasse zwei Jahre umfasst. Der mittlere Querstreifen kennzeichnet den Median des Datensatzes, 50 % der Daten sind kleiner oder gleich diesem Wert. Das obere Quartil kennzeichnet die kleinsten 75 % der Datenwerte, die kleiner oder gleich diesem Wert sind und das untere Quartil die kleinsten 25 % der Datenwerte, die kleiner oder gleich diesem Wert sind. Die Whisker kennzeichnen den Minimal- bzw. Maximalwert des Datensatzes. Ausgenommen der Dauer 12-15 Jahre, welche aufgrund der Datenlage aus der Literatur drei Jahre enthält. Die schwarzen Darstellungen bilden die Daten der im Rahmen der vorliegenden Arbeit erhobenen Baurestmassendeponien ab. Hier liegt die mittlere Ablagerungsdauer der Standorte zwischen 2,2 und 16,1 Jahren und die mittlere Niederschlagshöhe bei rund 800 mm/a.

Die blauen Boxplots zeigen die Auswertungen von vier Schweizer Schlackemonodeponien mit einer mittleren Ablagerungsdauer von 3,8 bis 14,5 Jahren und Niederschlagshöhen um ca. 1.100 mm/a. Die braunen Boxplots zeigen Sickerwasserkonzentrationen von drei Baurestmassendeponien mit einer mittleren Ablagerungsdauer von 2,1 bis 7,9 Jahren und Niederschlagshöhen um 1000 mm/a (Laner et al., 2011).

Abbildung 4-40 zeigt den Verlauf der Chlorid-Konzentration der drei Deponietypen. Die Cl-Konzentration der Baurestmassendeponien verläuft relativ konstant. Die Werte bewegen sich in einem Bereich von knapp über 100 mg/l bis 800 mg/l. Der Chloridgehalt im Sickerwasser der Schlackedeponien zeigt ebenso einen konstanten Bereich. Die Konzentrationen liegen am Beginn des Beobachtungszeitraumes bei knapp 10.000 mg/l und am Ende in einem Bereich um 5.000 mg/l. Allgemein liegt die Chloridkonzentration im Sickerwasser der Schlackedeponien um fast eine Zehnerpotenz höher, als bei den erhobenen Baurestmassendeponien.

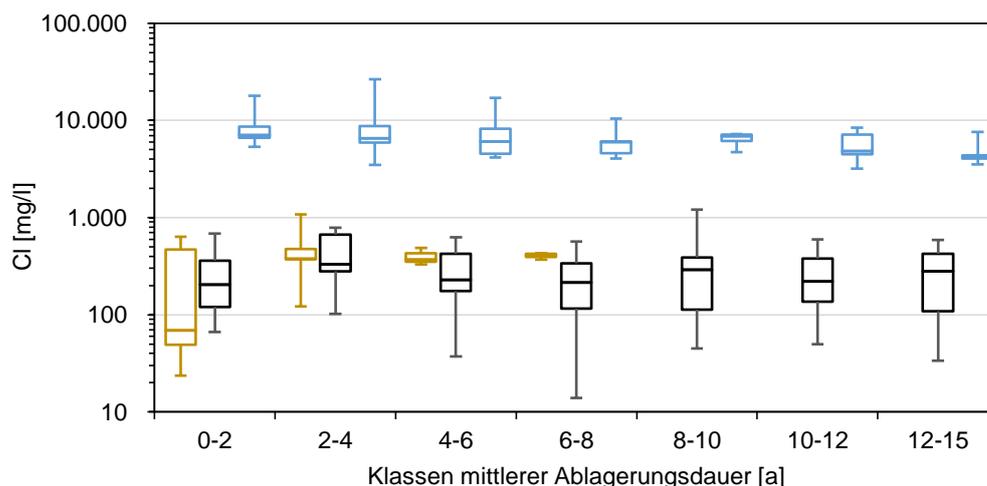


Abbildung 4-40: Box-Plots der Cl-Konzentrationen der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=108) von Schlackedeponien* (blau, n=46) und Baurestmassendeponien* (braun, n=22) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)

Der Verlauf der Sulfatkonzentration (Abbildung 4-41) steigt bei beiden Deponietypen mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer an. Die Medianwerte liegen über den gesamten Beobachtungszeitraum zwischen 800 und 2.000 mg/l. Der Maximalwert von 8000 mg/l wurde bei einer Baurestmassendeponie mit einer mittleren Ablagerungsdauer von 2-4 Jahren gemessen. Die Sulfatkonzentration im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien sinkt gegen Ende des Beobachtungszeitraumes leicht ab, der Grenzwert von 200 mg/l wird jedoch noch weit überschritten. Allgemein betrachtet, sind die Verläufe der beiden Deponietypen ähnlich anzusehen.

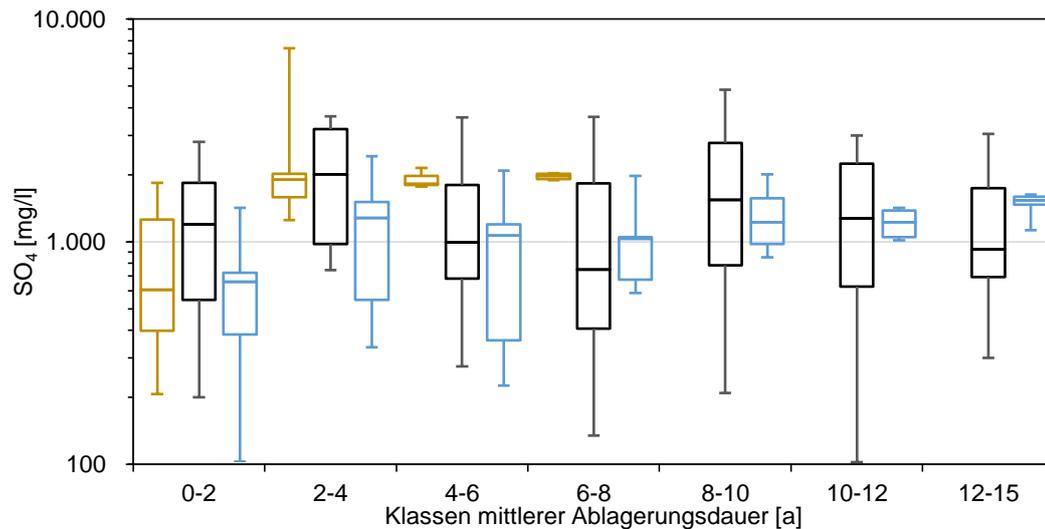


Abbildung 4-41: Box-Plots der Sulfatkonzentration der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=73) von Schlackedeponien* (blau, n=48) und Baurestmassendeponien* (braun, n=21) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)

Die Abbildung 4-42 und Abbildung 4-43 veranschaulichen den Konzentrationsverlauf der Schwermetalle Cr_{ges} und Kupfer im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien und von Schlackemonodeponien. Während der Gehalt der Metalle im Sickerwasser der RSD mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer sinkt, steigt der Gehalt bei den erhobenen Baurestmassendeponien zum Ende des Beobachtungszeitraumes hin leicht an. Die Konzentrationen der Schlackemonodeponien liegen zu Beginn bei 0,1-0,5 mg/l und am Ende bei rund 0,01 mg/l, bei den Baurestmassendeponien liegt der Cr_{ges} -Gehalt zu Beginn bei etwas über 0,01 mg/l und gegen Ende des Beobachtungszeitraumes bei 0,1 mg/l bzw. leicht darüber. Ähnlich verhält sich die Kupfer-Konzentration im Sickerwasser, wobei hier die Schwankungsbreite ggü. dem Cr_{ges} -Gehalt nicht stark ausfällt. Anfänglich liegt die Kupferkonzentration bei den BRMD etwas über 0,01 mg/l und gegen Ende in einem Bereich von 0,05 mg/l. Wobei der pH-Wert der erhobenen Baurestmassendeponien relativ konstant in einem Bereich von 7,5-8,5 über den gesamten Beobachtungszeitraum liegt. Die Betrachtung von Frachtverläufen der jeweiligen Parameter könnte Aufschluss darüber geben, wie sich der Austrag der Schwermetalle unter Berücksichtigung von Niederschlagseintrag bzw. Sickerwasserverdünnung verhält. Allerdings konnte aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit für diese Parameter Cr_{ges} und Cu keine Frachtverläufe bestimmt werden.

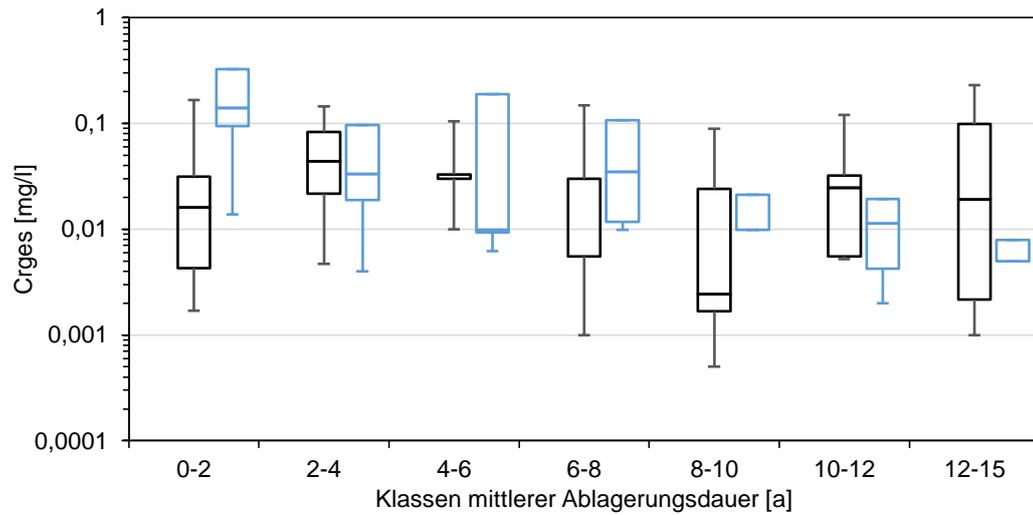


Abbildung 4-42: Box-Plots der Cr_{ges} -Konzentrationen der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=73) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=48) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)

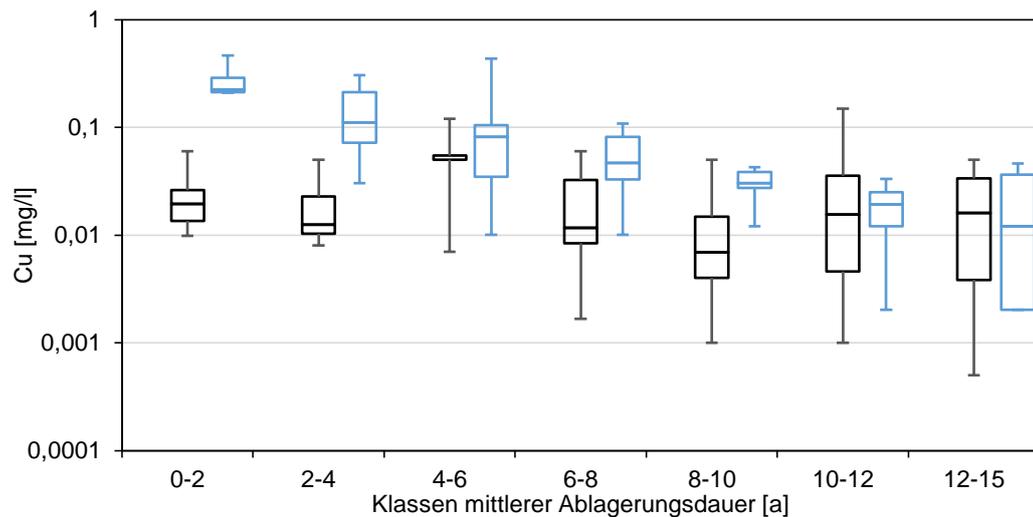


Abbildung 4-43: Box-Plots der Kupferkonzentrationen der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=89) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=48) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)

Der Verlauf der organischen Sickerwasserbelastung (Abbildung 4-44), gemessen als org. Kohlenstoff, zeigt für beide Deponietypen einen sehr ähnlichen Verlauf, wobei der Gehalt an Kohlenstoff im Sickerwasser der Schlackedeponien für jede Klasse mittlerer Ablagerungsdauer im Mittel um 30 % höher liegt.

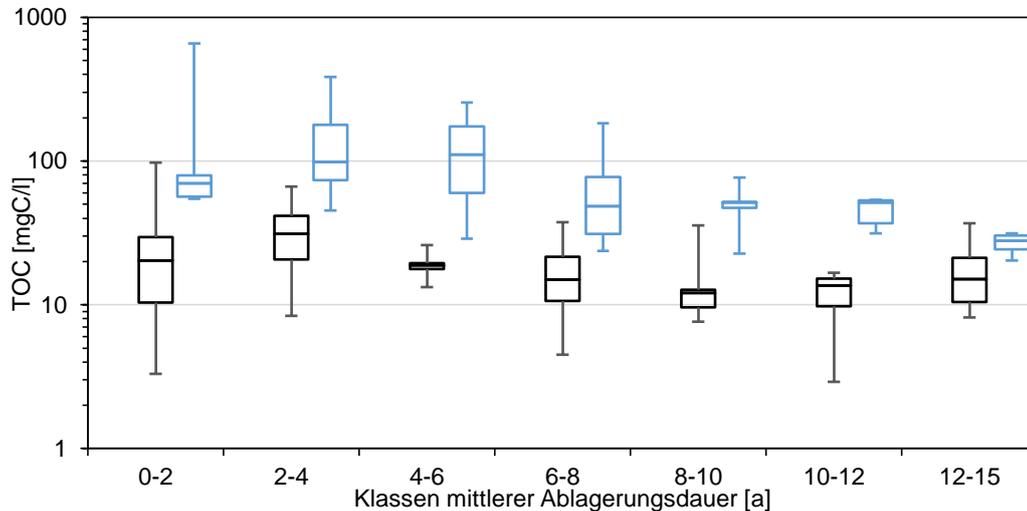


Abbildung 4-44: Box-Plots der TOC-Gehalts im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=65) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=49) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)

Die Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der betrachteten Schlackedeponien (Abbildung 4-45) liegt über den gesamten Betrachtungszeitraum um fast zwei Zehnerpotenzen über jener der erhobenen Baurestmassendeponien.

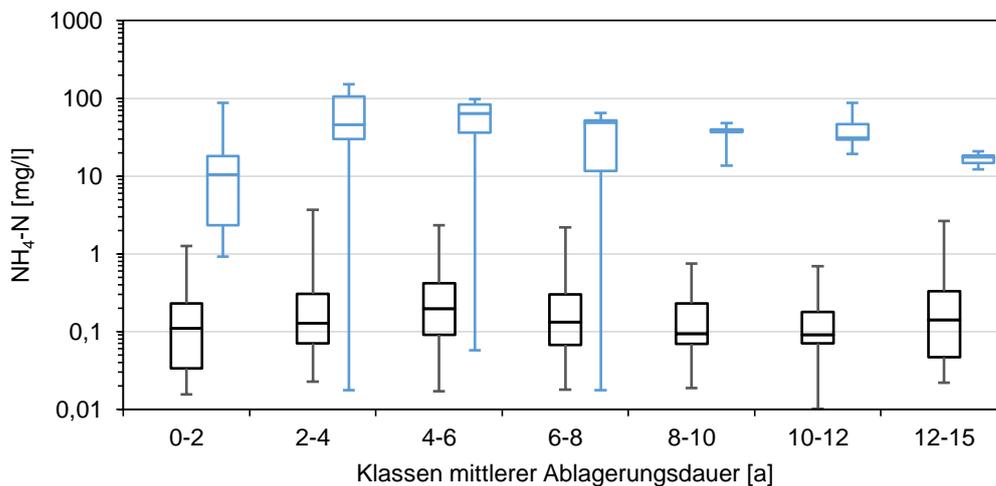


Abbildung 4-45: Box-Plots Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=132) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=49) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)

4.6.4 Vergleich Stoffbilanzen

Laner et al. (2011) haben Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe zweier Schlackedeponien bestimmt. Für den Literaturvergleich wurde die in der Studie genannte Schlackedeponie RS2 herangezogen, da die mittlere Ablagerungsdauer und der mittlere jährliche Niederschlag am Standort zumindest ähnlich sind. Die Abbildung 4-46 zeigt die Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe der Schlackedeponie RS2, in Abbildung 4-47 sind die TK der im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Baurestmassendeponie D2 abgebildet.

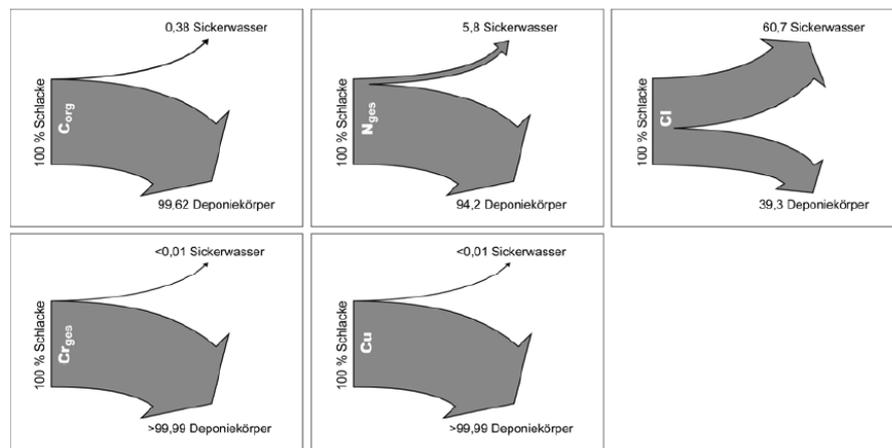


Abbildung 4-46: Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe für eine Schlackedeponie (mAd: 14a, N:1117 mm/a, W/F: 0,37 l/kgTS) (Laner et al., 2011)

Am meisten wird aus der Schlacke RS2 Chlorid mit einem Anteil von 60,7 % ausgewaschen. Mit 94,2 % verbleibt der Anteil an anorganischem Gesamtstickstoff überwiegend im Deponiekörper. Organischer Kohlenstoff, Chrom-Gesamt und Kupfer verbleiben fast zur Gänze im Deponiekörper.

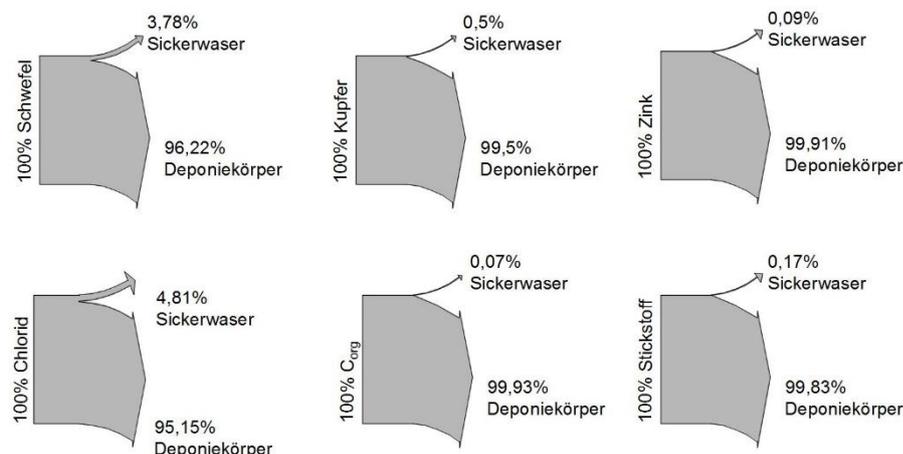


Abbildung 4-47: Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe für den Standort D2, mAd: 13,7a, N: 1368 mm/a, W/F: 0,68 l/kgTS

Auch am Standort D2 (Abbildung 4-47) macht Chlorid den größten Anteil ausgewaschener Stoffe aus, allerdings fällt der Anteil am gesamten Input mit 4,81 % im Gegensatz zu 60,7 % bei der Schlackedeponie sehr gering aus. Kupfer wurde aus der Baurestmassendeponie mit einem Anteil von 0,5 % ausgetragen, der TK für Kupfer der Schlackedeponie liegt mit <0,01 % noch geringer. Auch anorganischer

Stickstoff und org. Kohlenstoff verbleiben bei beiden Deponietypen bei einer mittleren Ablagerungsdauer von rund 14 Jahren überwiegend im Deponiekörper.

4.6.5 Vergleich untersch. Deponietypen über die Betriebsdauer

In den folgenden Abbildungen sind ausgewählte Parameter im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Form von Boxplots in Abhängigkeit der Betriebsdauer dargestellt. Ein Boxplot stellt die Daten der Standorte in Bezug zu einem Betriebsjahr dar. Der mittlere Querstreifen kennzeichnet den Median des Datensatzes, 50 % der Daten sind kleiner oder gleich diesem Wert. Das obere Quartil kennzeichnet die kleinsten 75 % der Datenwerte, die kleiner oder gleich diesem Wert sind und das untere Quartil die kleinsten 25 % der Datenwerte, die kleiner oder gleich diesem Wert sind. Die Whisker kennzeichnen den Minimal- bzw. Maximalwert des Datensatzes.

Eine Darstellung in Bezug zur mittleren Ablagerungsdauer war aufgrund des mangelnden Datenumfangs nicht möglich. Es wurde keine Unterscheidung bzgl. aktiver bzw. geschlossener Kompartimente gemacht.

Die grünen Boxplots zeigen die Daten eines Modellversuchs mit mechanisch biologisch vorbehandeltem Abfall (Lorber et al., 2004). Alte Hausmülldeponien, welche in etwa mit Beginn der achtziger Jahre in Betrieb genommen wurden, sind in rot dargestellt. Diese Standorte werden heute zum Teil als Reststoff- bzw. Massenabfalldeponien weiterbetrieben (Schachermayer und Lampert, 2010, Modelldeponie Allerheiligen). Da für diese Standorte nur begrenzt Daten vorhanden waren, beginnt der Beobachtungszeitraum bei 18 Jahren. Die blauen Boxplots zeigen Sickerwasserdaten von Schweizer Schlackemonodeponien (Laner et al., 2011). Die grau gefärbten Grafiken zeigen die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erhobenen Sickerwasserparameter, sowie die Daten der Baurestmassendeponien in Laner et al. (2011).

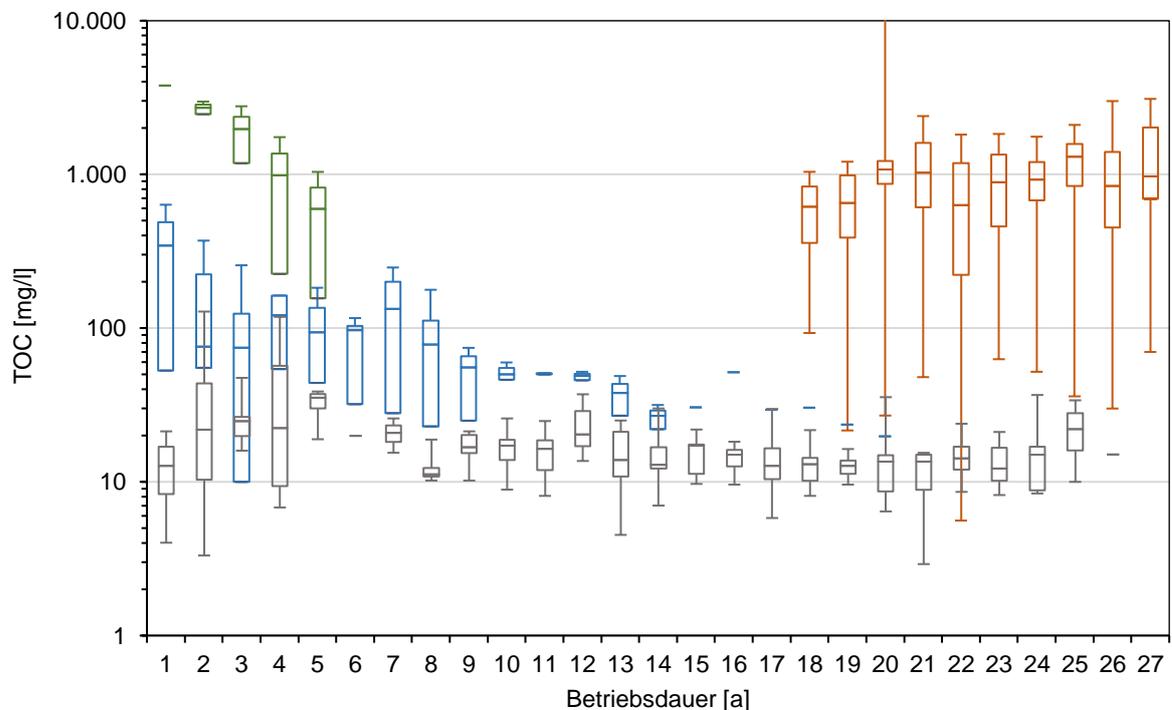


Abbildung 4-48: TOC-Gehalt im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; MAD-Modellversuch (grün, n=8), RSD (blau, n=50), BRMD (grau, n=134), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=131)

In Abbildung 4-48 ist der TOC-Gehalt im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Form von Boxplots bezogen auf die Betriebsdauer dargestellt. Medianwerte um 1.000 mg/l werden von den Deponietypen MAD und HMD erreicht. Wobei die Werte der MAD in den ersten Jahren deutlich absinken, wurde auf diesen Versuchskompartimenten ab dem ersten Jahr kein weiteres Material mehr abgelagert. Der Median des TOC-Gehaltes im Sickerwasser der Schlackemonodeponien liegt im ersten Jahr bei 250 mg/l. In den darauffolgenden Jahren sinkt der Wert auf unter 100 mg/l. Der TOC-Gehalt zeigt einen abfallenden Verlauf mit steigender Betriebsdauer. Der Medianwert des TOC-Gehaltes der Baurestmassendeponien steigt in den ersten Jahren leicht an, sinkt dann wieder ab. Über die Dauer des Beobachtungszeitraumes liegt der Median zwischen 10-30 mg/l.

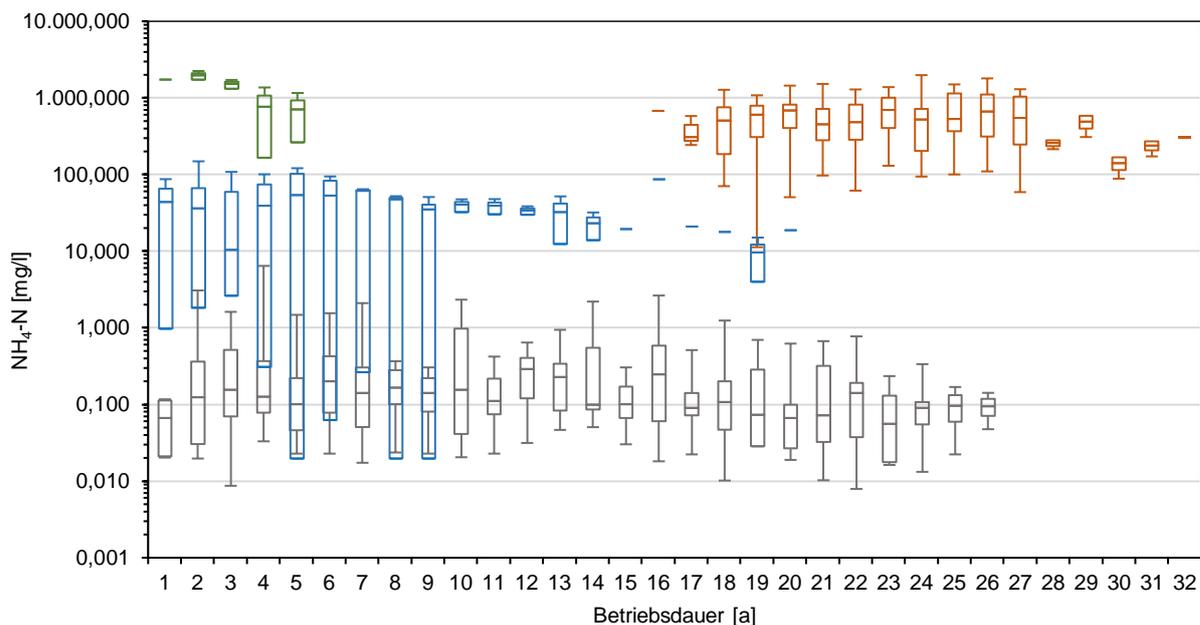


Abbildung 4-49: Ammonium-Stickstoffkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; MAD (grün, n=10), RSD (blau, n=51), BRMD (grau, n=263), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=173)

Abbildung 4-49 zeigt die Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der unterschiedlichen Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer. Die Medianwerte der Massenabfalldeponien liegen in den ersten Jahren bei knapp 2.000 mg/l und sinken in den darauffolgenden Jahren auf rund 800 mg/l ab. Die Medianwerte der alten Hausmülldeponien liegen in den ersten zehn Jahren des Beobachtungszeitraumes in einem Bereich zwischen 500-700 mg/l, in den letzten Jahren sinken die Werte auf unter 500 mg/l. Bei den Schlackemonodeponien lässt sich in den ersten neun Jahren ein großer Schwankungsbereich beobachten, wobei die Medianwerte um 50 mg/l liegen. In den darauffolgenden Jahren liegen die Medianwerte auch im Bereich von 50 mg/l. Die geringere Schwankungsbreite ist auf die schmalere Datenlage älterer Standorte zurückzuführen. In den letzten Jahren des Beobachtungszeitraumes liegen die Werte bei rund 20 bzw. 10 mg/l. Hier ist zu erwähnen, dass eine Betriebsdauer über 14 Jahre nur an einem Standort gegeben war. Die Medianwerte der Ammoniumkonzentration der Baurestmassendeponien liegen über den gesamten Beobachtungszeitraum zwischen 0,08 und 0,3 mg/l. Ein klarer Trend mit zunehmender Betriebsdauer zeichnet sich nicht ab.

Da bei den meisten Baurestmassendeponien die Proben für die Sickerwasseranalyse aus offenen Sammelbecken entnommen werden, sollte zur Beurteilung des Emissionsverhaltens auch der anorganische Gesamtstickstoffgehalt betrachtet werden.

In Abbildung 4-50 ist die Sulfatkonzentration im Sickerwasser der unterschiedlichen Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer dargestellt.

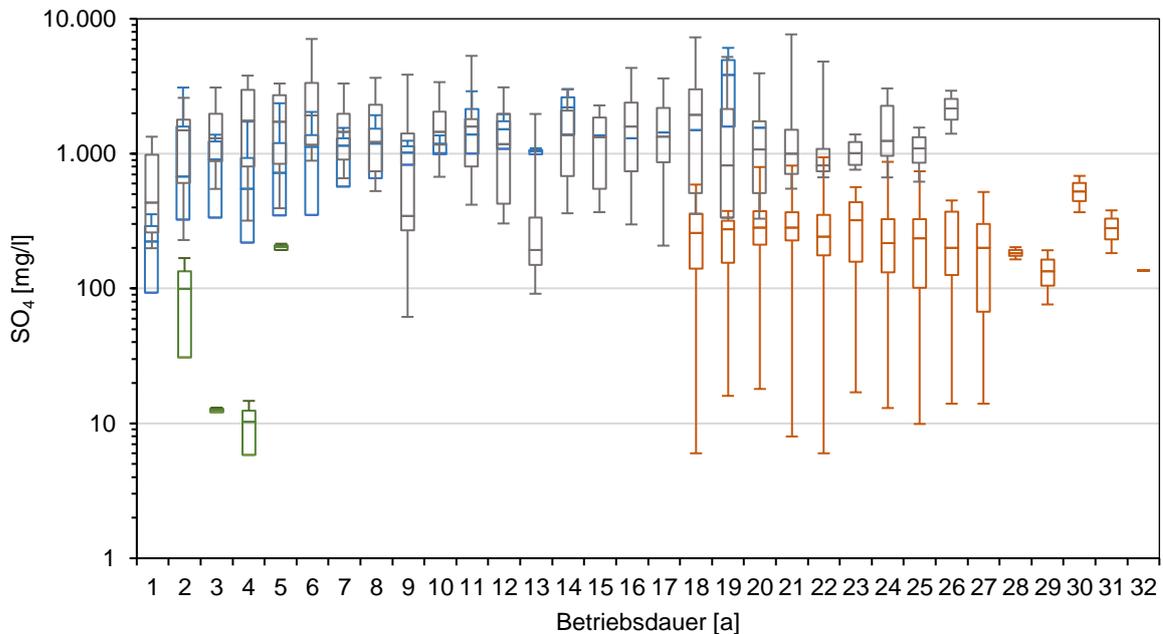


Abbildung 4-50: Sulfatkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; MAD (grün, n=8), RSD (blau, n=53), BRMD (grau, n=251), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=161)

Die Medianwerte im Sickerwasser der Schlackedeponien liegen auf einem ähnlichen Niveau wie jene der Baurestmassendeponien. In den ersten Jahren liegt der Median der Schlackemonodeponien bei rund 200 mg/l SO_4 , mit zunehmender Betriebsdauer steigen die Werte an und liegen nach 6 Jahren knapp über 1.000 mg/l. Der Medianwert der Sulfatkonzentration im Sickerwasser der beobachteten Baurestmassendeponien liegt bereits im zweiten Betriebsjahr bei knapp 1.500 mg/l. Einzelne Messwerte liegen in den darauffolgenden Jahren mit knapp 8.000 mg/l weit über dem zulässigen Grenzwert. Der geringe Medianwert bei 13 Jahren von rund 200mg/l ergibt sich aus der Analyse von zwei Standorten, an denen in diesem Jahr sowohl geringe Materialablagerungen, als auch höhere Niederschläge beobachtet wurden. Mit zunehmender Ablagerungsdauer steigen bzw. fallen die Medianwerte der Baurestmassendeponien nur leicht und bewegen sich in einem Bereich von 1.300 bis knapp 2.000 mg/l, einzelne Werte auch darüber. Die Medianwerte der Sulfatkonzentrationen im Sickerwasser der alten Hausmülldeponien liegen über den Beobachtungszeitraum zwischen 200 und 400 mg/l, wobei aber die Minimalwerte weit darunter liegen. Die Sulfatkonzentration im Sickerwasser der Versuchskompartimente für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle sinkt in den ersten Jahren um eine Zehnerpotenz ab und steigt im letzten Jahr wieder stark auf knapp 200 mg/l an. Hier könnte der Anstieg auf eine Veränderung der Milieubedingungen in Deponiekörper zurückzuführen sein. Über den gesamten Beobachtungszeitraum liegt die

Sulfatkonzentration im Sickerwasser aller Deponietypen (ausgenommen MAD) deutlich über den Grenzwerten für die indirekte Einleitung in eine Kanalisation. Die Konzentrationen der Schwermetalle Kupfer und Chrom-gesamt im Sickerwasser der unterschiedlichen Deponietypen sind in den Abbildung 4-51 Abbildung 4-52 dargestellt.

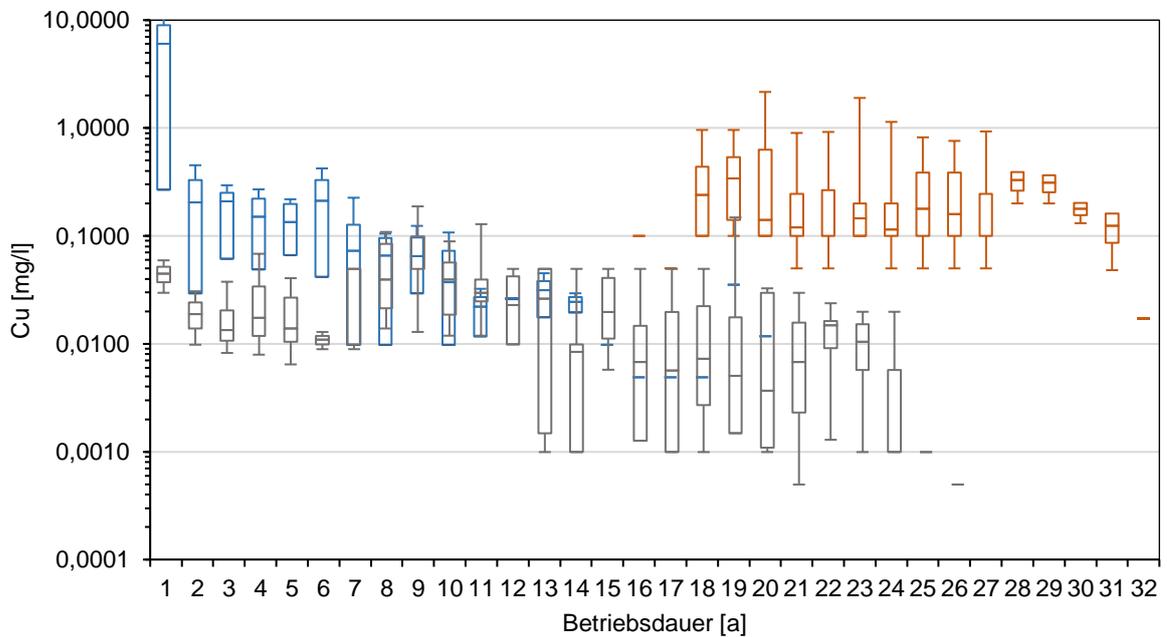


Abbildung 4-51: Kupferkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; RSD (blau, n=49), BRMD (grau, n=177), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=164)

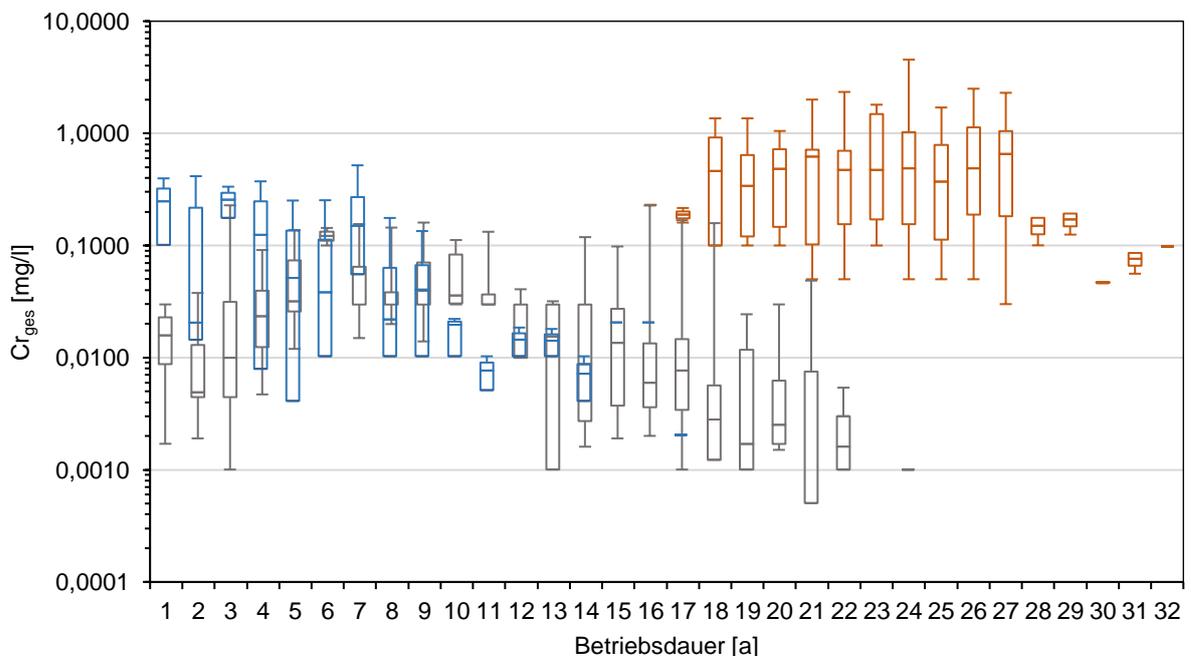


Abbildung 4-52: Chrom-Gesamtkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; RSD (blau, n=44), BRMD (grau, n=153), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=164)

Die drei Deponietypen Schlackedeponien, alte Hausmülldeponien und Baurestmassendeponien zeigen mit zunehmender Betriebsdauer abnehmende Schwermetallgehalte. Der Grenzwert von 0,5 mg/l wird - abgesehen vom ersten Betriebsjahr der Schlackedeponien - von den Baurestmassendeponien und den Schlackedeponien über den gesamten Beobachtungszeitraum eingehalten. Die Werte der alten Hausmülldeponien liegen knapp über dem Grenzwert, die Maximalwerte erreichen auch eine Größenordnung über dem festgesetzten Grenzwert. In den letzten Jahren des Beobachtungszeitraumes sinken die Werte auf rund 0,1 mg/l bzw. liegen knapp darunter.

5. Zusammenfassende Betrachtung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Daten aus dem Monitoring von österreichischen Baurestmassendeponien erhoben. Da Baurestmassen nach heutigem Stand der Technik nicht vollständig recycelt werden können, werden auch in Zukunft Anlagen zur Deponierung von Bau- und Abbruchabfällen relevant sein. Um die langfristige Entwicklung der Emissionen abschätzen zu können, bedarf es weiterer Forschungen im Labor, um Prozesse genauer abbilden zu können (Laner et al., 2011). Ausreichende Monitoringdaten aus dem Deponiebetrieb sind ebenfalls notwendig und können wichtige Informationen für weitere Forschungsarbeiten liefern. Obwohl die wissenschaftliche Betrachtung von Emissionen aus Baurestmassendeponien unter anderem auch im Sinne der Betreiber sein sollte, war die Bereitschaft für eine Zusammenarbeit eher gering. Rund 55 % der Betreiber von relevanten Standorten hatten kein Interesse, Daten zur Verfügung zu stellen. Am häufigsten wurde die Wahrung der Geschäfts- und Betriebsgeheimnisse genannt. Bei älteren Standorten war das Vorliegen der Daten in analoger Form und der daraus resultierende Zeitaufwand ein Hindernis. Aus diesen Gegebenheiten lässt sich auch die unterschiedliche Qualität der Daten der jeweiligen Standorte ableiten. Wie in Kapitel 4.2.1 bereits beschrieben, liegt bei rund einem Drittel der erhobenen Standorte bzw. Kompartimente der Datenumfang mit knapp 50 % Vollständigkeit (hinsichtlich des angefragten Datenumfangs) und zum Teil auch weit darunter vor. Diese Standorte wurden meist vor dem Jahr 2008 betrieben. Hingegen konnten jene Standorte bzw. Kompartimente, welche den Betrieb in den Jahren danach aufgenommen hatten, Daten fast vollständig in digitaler Form zur Verfügung stellen. Der Aufwand zur Datenaufbereitung variierte deutlich zwischen den unterschiedlichen Betreibern. Während in einigen Jahresberichten die wichtigsten Informationen übersichtlich auf den ersten Seiten zusammengefasst vorliegen, sind bei anderen die Daten herauszuarbeiten.

Betrachtet man die Maximalwerte bestimmter Parameter im Sickerwasser von BRMD (Tabelle 4-4), zeigen sich Überschreitungen der festgesetzten Grenzwerte nicht nur beim Sulfatgehalt. Auch CSB, TOC, Chlorid und AOX liegen zum Teil weit darüber. Betrachtet man den Mittelwert bzw. Median ist lediglich bei dem Parameter Sulfat und anorganischem Gesamtstickstoff eine Grenzwertüberschreitung für die direkte Einleitung in ein Fließgewässer zu beobachten.

Um die abgelagerte Menge in die Betrachtung miteinzubeziehen und verschiedene Standorte miteinander vergleichbar zu machen, wird die abgelagerte Menge mit der Ablagerungsdauer in Beziehung gesetzt und so jener Zeitraum ermittelt, den die durchschnittliche Tonne Abfall auf dem Standort lagert (=mittlere Ablagerungsdauer) (Laner et al., 2011). Die Darstellung ausgewählter Sickerwasserparameter in Bezug auf die mittlere Ablagerungsdauer (Kapitel 4.5.1) ist in aktive und geschlossene Standorte bzw. Kompartimente aufgeteilt. Die Chloridkonzentrationen im Sickerwasser liegen sowohl bei den geschlossenen Standorten, als auch bei den aktiven überwiegend zwischen 100-1000 mg/l. Für den Parameter Sulfat lassen sich deutliche Unterschiede zwischen den Standorten beobachten. Während an manchen Standorten zum Teil über den gesamten Beobachtungszeitraum Werte unter 1.000 mg/l veranschaulicht werden, liegen andere mit bis zu 4800 mg/l weit darüber. Bezieht man die Hintergrundinformationen der jeweiligen Standorte mit ein, so lässt sich ein deutlicher Zusammenhang der abgelagerten Materialzusammensetzung und der Sulfatkonzentrationen im Sickerwasser verzeichnen. Dieser wird in Kapitel 4.5.2

genauer beschrieben. An den beiden Standorten D10 und D12.1 zeigt sich ein Anstieg der Sulfatkonzentrationen nach Abdichten der Deponieoberfläche, was auf eine Aufkonzentrierung durch geringeren Wassereintrag zurückzuführen ist. Die Ammoniumkonzentration liegt bei allen betrachteten Standorten über den gesamten Beobachtungszeitraum unter dem Grenzwert von 10 mg/l. Da durch Aerobisierung des Sickerwassers in offenen Sammelbecken Stickstoff in Form von Nitrat bzw. Nitrit vorliegen kann, scheint eine Betrachtung des anorganischen Gesamtstickstoffgehaltes sinnvoll. Jener Grenzwert von 50 mg/l (AEV Deponiesickerwasser) wird nur von den Standorten D1 und D2 unterschritten, wobei sich abnehmende Werte mit zunehmender mittlerer Ablagerungsdauer vor allem bei den geschlossenen Kompartimenten zeigen. Die Konzentration der Schwermetalle Kupfer und Chrom liegt bei allen Standorten (Ausnahme D13.1) über den gesamten Beobachtungszeitraum unter 0,1 mg/l, zudem verringern sich die Werte mit fortschreitender mittlerer Ablagerungsdauer. Eine Abgrenzung jüngerer bzw. älterer Standorte anhand der Schwermetallkonzentrationen lässt sich nicht beobachten. Zusammenfassend kann man festhalten, dass vor allem die leicht löslichen Salze Chlorid und Sulfat über den gesamten Beobachtungszeitraum ziemlich konstante Werte im Sickerwasser zeigen.

Da bei Baurestmassendeponien, vor allem bei jüngeren Standorten, von einem homogeneren Wasserströmungsverhältnis auszugehen ist, bietet die Ermittlung des W/F-Verhältnisses nach Allgaier und Stegmann (2002) einen wertvollen Parameter zur Betrachtung von Emissionscharakteristika unter Berücksichtigung verschiedener Standorteigenschaften. Die Auswertung der Sickerwasserdaten in Bezug zum W/F-Verhältnis erfolgt in Kapitel 4.5.3. Da fortschreitende Materialablagerung und Wassereintrag immer wieder frische Auswaschungsprozesse in Gang setzen, wird auf eine Auswertung der aktiven Standorte verzichtet. Vor allem bei bereits geschlossenen Standorten liegen Daten aus dem Monitoring überwiegend in analoger Form vor, weshalb lediglich vier Standorte diesbezüglich ausgewertet werden konnten. Ein klarer Trend einzelner Sickerwasserparameter mit zunehmendem W/F-Verhältnis konnte nicht beobachtet werden. Die Werte unterliegen einer großen Streuung, wobei sich die Standorte untereinander bei der Ausprägung der Parameter kaum unterscheiden. So liegen vor allem die Werte der Salze Chlorid und Sulfat bei unterschiedlich durchströmter Wassermenge in einem ähnlichen Bereich. Lediglich zwei Standorte zeigten sinkende Cl⁻ und SO₄⁻-Konzentrationen bei höherem W/F-Verhältnis.

Einen beachtlichen Unterschied zeigt die Betrachtung der eingebrachten Materialien hinsichtlich der Schlüsselnummern. In Kapitel 4.4.1 wurden jene 3 Materialgruppen betrachtet, die mengenmäßig den größten Anteil der abgelagerten Abfälle über den Beobachtungszeitraum der jeweiligen Standorte ausmachten. Zum Beispiel lagern am Standort D7 Baurestmassen mit einem Anteil von 57 % der Gesamtmenge, hingegen lagern am Standort D11 sonst. verunreinigte Böden mit einem Anteil von 63 %, Baurestmassen liegen unter einem Prozent. Diese Differenzen lassen sich auch bei der Auswertung der Sickerwasserkonzentrationen beobachten. Hierzu wurde das Verhältnis von Bauschutt zu Bodenaushub im jeweiligen Jahr ermittelt und mit ausgewählten Parametern der Sickerwasserkonzentrationen in Beziehung gesetzt. Bei jenen Standorten, die ein BS/BA-Verhältnis kleiner 1 aufweisen (es lagert mehr Bodenaushub als Bauschutt auf dem Standort), liegt der Sulfatgehalt mit Maximalwerten von 3.000 mg/l eine Größenordnung unter jenen Standorten mit einem BS/BA-Verhältnis größer 1. Demnach könnte zur einzelfallspezifischen Beurteilung in Bezug auf die Nachsorgedauer auch die Betrachtung der gesamten eingebrachten Menge an Bauschutt zweckmäßig sein, da Sulfat im Sickerwasser zu den höchsten Grenzwertüberschreitungen führt.

Um die ausgetragenen Frachten der Standorte zu analysieren werden ausgewählte Sickerwasserparameter mit der Ablagerungsmenge in Bezug gesetzt, auf die jährliche Ablagerungsmenge bezogen und in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer dargestellt (Kapitel 4.5.4). Aufgrund unterschiedlicher Standorteigenschaften schwanken die Werte stark, jedoch ist bei allen Standorten (mit Ausnahme einzelner Ausreißer) ein absinkender Trend zu verzeichnen. An einem Standort kommt es bereits vier Jahre nach Abdichtungsmaßnahmen der Oberfläche zu keinem weiteren Austrag von Sickerwasser, was die Fracht für diesen praktisch auf null setzt und kein weiterer Emissionsaustrag über den Sickerwasserpfad stattfindet.

Um zu veranschaulichen, wie sich bestimmte Parameter nach Ablagerungsende und entsprechender Abdichtung der Deponieoberfläche entwickeln, werden die Sickerwasserdaten jener Standorte bzw. Kompartimente, die bereits geschlossen sind, zusammengefasst. Diese werden dann nach Klassen von zwei Jahren in Form von Boxplots ausgewertet (Kapitel 4.5.6). Die Parameter Sulfat und Chlorid zeigen konstant hohe bzw. leicht ansteigende Konzentrationen mit zunehmender Dauer. Da die infiltrierende Wassermenge durch Abdichtungsmaßnahmen stark verringert wird, kommt es vermutlich zu einer Aufkonzentrierung der Stoffe und somit zu einem Anstieg der Parameter im Sickerwasser. Der anorganische Gesamtstickstoffgehalt im Sickerwasser liegt in den ersten Jahren nach Aufbringung der Oberflächenabdichtung noch über dem Grenzwert zur Indirekteinleitung, nach sechs Jahren wird dieser eingehalten. Da nur vier Standorte in diese Richtung ausgewertet werden konnten, bedarf es für eine aussagekräftige Beurteilung einen größeren Datenumfang. Zudem wäre es sinnvoll das Alter der Deponien zu berücksichtigen, da der Vorsortierungsgrad jüngerer Deponien höher ist.

Stoffbilanzen geben eine grobe Abschätzung der ausgetragenen und im Deponiekörper verbleibenden Stoffe. Die Bilanzierung ausgewählter Stoffe hat gezeigt, dass überwiegend lösliche Salze über den Sickerwasserweg ausgetragen werden. Bei Standorten, an denen wenig Anteil des Niederschlages als Sickerwasser anfällt, werden auch entsprechend weniger Salze ausgewaschen. Die Auswertung der Standorte hat gezeigt, dass weniger als 10 % (zum Teil auch sehr viel weniger) des eingebrachten Schwefels und Chlorids über den Sickerwasserweg ausgetragen werden. Schwermetalle wie Kupfer, Chrom und Zink verbleiben fast zur Gänze im Deponiekörper, auch anorganischer Stickstoff und org. Kohlenstoff werden nur spärlich ausgetragen. Die Gegenüberstellung der Transferkoeffizienten einer Schlackemonodeponie aus der Literatur und einer Baurestmassendeponie konnte veranschaulichen, dass die Stoffe Kupfer, Chrom und org. Kohlenstoff in ähnlichem Ausmaß im Deponiekörper verbleiben. Der Anteil an Chlorid, der ausgewaschen wurde, liegt bei der Schlackedeponie um ein Vielfaches höher als bei der Baurestmassendeponie. Einbautechnik und Abfallbeschaffenheit haben offensichtlich einen maßgeblichen Einfluss auf Auswaschungsprozesse.

Um das Emissionsverhalten von Baurestmassendeponien und jenes von Reststoff- und Massenabfalldeponien zu vergleichen, werden Sickerwasserdaten aus der Literatur mit den erhobenen Daten grafisch verglichen. Laner et al. stellten 2011 Sickerwasserdaten von Reststoffdeponien und Baurestmassendeponien in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer dar. In Kapitel 4.6.3 werden diese mit den im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Baurestmassendeponien verglichen.

Die höchsten Sulfatwerte haben sich im Vergleich bei den Reststoffdeponien und bei den Baurestmassendeponien gezeigt, diese liegen auf einem ähnlich hohen Niveau. Die Ammoniumkonzentration im Sickerwasser ist bei Reststoff und Massenabfall und

alten Hausmülldeponien zehnfach höher, als bei den Baurestmassendeponien. Die höchsten Chloridwerte wurden im Sickerwasser von Reststoffdeponien bestimmt. Bei Chrom und Kupfer zeigen sich zwischen BRMD und RSD eher gegensätzliche Verläufe, wobei der Grenzwert von 0,5 mg/l von beiden Deponietypen eingehalten wird.

Kapitel 4.6.4 zeigt alle Daten aus der Literatur und die erhobenen Daten ausgewertet in Form von Boxplots der verschiedenen Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer. Bei den Parametern TOC, NH₄-N, Kupfer und Chrom liegen die Werte der Baurestmassendeponien zum Teil weit unter jenen der Reststoff- und Massenabfalldeponien, sowie unter den Grenzwerten zur indirekten Einleitung. Auch in dieser Gegenüberstellung sind die Sulfatwerte im Sickerwasser der Baurestmassendeponien am höchsten und nahezu konstant über den gesamten Beobachtungszeitraum.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ausarbeitung der zur Verfügung gestellten Daten hat gezeigt, dass vor allem Standorte nach 2008 gut dokumentiert sind und Messdaten überwiegend elektronisch zur Verfügung gestellt werden können. Die Form der Aufzeichnungen variierte sehr stark, was die Dauer der Aufarbeitung wesentlich beeinflusste. Eine Checkliste zur Darstellung von Daten aus dem Monitoring der Jahresberichte ist bereits verfügbar (Iordanopoulos-Kisser et al., 2020).

Die Meldung der Sickerwasserparameter in einer Art „Emissionsdatenbank“, kann zur wissenschaftlichen Ausarbeitung zielführend sein. Nicht zuletzt, weil nicht ausschließlich Laborversuche zum langfristigen Emissionsverhalten von Deponien Aufschluss geben können, sondern auch Daten aus dem Monitoring wertvoll sind. Ähnlich der jährlichen Abfallbilanz wären so wichtige Eingangsdaten zur Bearbeitung verschiedener Forschungsfragen alle Deponietypen betreffend verfügbar.

In dieser Arbeit konnten nur vier BRMD-Standorte bzw. Kompartimente bezüglich des Emissionsverhaltens nach Ablagerungsende ausgewertet werden. Vor allem der Sulfatgehalt bleibt demnach konstant hoch und liegt oft noch zehn Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung weit über dem Einleitergrenzwert. Dies bildet auch den größten Unterschied zu Reststoff- und Massenabfalldeponien. Während bei diesen Deponietypen sowohl der Gehalt an Sulfat, als auch organischem Kohlenstoff und Ammonium deutlich über den Grenzwerten liegen, überschreiten bei Baurestmassendeponien hauptsächlich die Sulfatkonzentrationen die Grenzwerte für die indirekte Einleitung.

Was die Berücksichtigung der tatsächlichen Menge an Bauschutt, die am Standort lagert angeht, ließ sich ein Anstieg der Sulfatkonzentration im Sickerwasser mit zunehmender Menge beobachten. Allerdings zeigte die Auswertung, dass bei Standorten, die weniger als 10 % der Gesamtmenge in Form von Bauschutt einbringen, die Sulfatkonzentrationen im Sickerwasser den Grenzwert für die indirekte Einleitung in einen Vorfluter zum Teil auch um das Fünffache überschreiten.

In Zukunft könnten sich Baurestmassendeponien stärker hinsichtlich ihrer notwendigen Nachsorgedauer von Reststoff- und Massenabfalldeponien abgrenzen. Vor allem, wenn man davon ausgeht, dass aufgrund eines höheren Vorsortierungsgrades - nicht zuletzt aufgrund schärferer Rückbaukonzepte und Vorgaben - und eines ausgeweiteten Recyclings von Baurestmassen weniger sulfathaltige Materialien (v.a. Gipskartonplatten) zur Ablagerung kommen werden.

Was trotzdem zu gleichen Teilen bestehen bleiben wird, ist der monetäre Aufwand zur kontinuierlichen Kontrolle und dem Monitoring der Standorte. Denn ob auf einer Baurestmassendeponie oder auf einer Reststoffdeponie Sickerwasserproben genommen und Untersuchungen durchgeführt werden, macht finanziell kaum einen Unterschied.

Literaturverzeichnis

- Allgaier G., Stegmann R., 2002 Evaluierung von Altdeponien im standardisierten Verfahren – Ergebnisse aus dem EU-Projekt EVAPASSOLD. In: Stegmann, R., Rettenberger, G., Bidlingmaier, W. & Ehrig, H.-J. (Hrsg.): Deponietechnik 2002, Hamburger Berichte, 18, 329-355.
- AWG, 2002 - Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002). Fassung vom: 12.11.2018.
- Baccini P.; Bader H.-P., 1996 Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.
- BMLFUW, 2016 Erläuterungen zur Deponieverordnung 2008, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien.
- BAWP, 2017 Bundeabfallwirtschaftsplan - Teil 1. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien.
- Böhm K., Hrad M., Huber-Humer M., Mostbauer P., Ottner R., 2013 Erhebung des Emissionspotenzials anhand von Feststoffuntersuchungen sowie Simulation des Langzeitverhaltens der Massenabfalldeponie Allerheiligen in Säulenversuchen, Universität für Bodenkultur Wien Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt Institut für Abfallwirtschaft
- Brunner P.H., Daxbeck H., 2003 ÖWAV Regelblatt 514: Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien
- AAEV, 1996 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Fassung vom: 04.07.2018.
- AEV Deponiesickerwasser, 2003 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von Sickerwasseremissionen aus Abfalldeponien (AEV Deponiesickerwasser). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Fassung vom: 27.11.18.
- Döberl G, 2019 Umweltbundesamt – Abteilung Altlasten, Persönliche Mitteilung per E-Mail am 19.09.2019
- DVO, 2008 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008 – DVO 2008). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Fassung vom: 11.06.2018.
- Christensen T., Kjeldsen P., 1989 Basic biochemical Processes in Landfills. In Sanitary Landfill Process, Technology and Environmental Impact '89, edited by T. H. Christensen, et al.: Academic Press.
- Laner D., Fellner J., Brunner P.H., 2011 Standortbezogene Kriterien zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer (SKUDENA). Technische Universität Wien.

- Denner M., Schachermayer E., Scheibengraf M., 2005 Grundlagen zur Charakterisierung und Beurteilung des potenziellen Risikos bei der Ablagerung. Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- Döberl G., Fellner J., Allgaier G., Brunner P., Stegmann R., 2005 Eine neue Methode zur Charakterisierung des Stabilisierungsgrades großer Altablagerungen (EMSA). Wien: Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft.
- Farquhar G., Rovers F., 1973 Gas production during refuse decomposition. *Water, Air, & Soil Pollution* 2(4): 483-495.
- Fellner J, Prantl R., 2008 ÖWAV-Positionspapier, Konzeptionelle Überlegungen zur Entlassung aus der Deponienachsorge, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5
- Heiss-Ziegler C., 2000 Stabilisierung organischer Substanz und Stickstoffeinbindung bei der mechanisch-biologischen Behandlung und Ablagerung von Restmüll, Dissertation an der Universität für Bodenkultur.
- Heyer K.-U., Hupe K., Stegmann R., 2000 Kontrollierte Befeuchtung und Bewässerung von Abfallablagerungen. *VKS-News*, 5-8.
- Huber H., Jaros M., Lechner P., 1996 Auswirkungen der künstlichen Alterung von MVASchlacke auf deren Emissionsverhalten - Endbericht. Universität für Bodenkultur, Abteilung für Abfallwirtschaft.
- Huber H., Jaros M., Lechner P., 1997 Auswirkungen der künstlichen Alterung von MVASchlacke auf deren Emissionsverhalten. Im 2. Statusdeponieseminar „Deponiekörper“. Wuppertal.
- Hutterer H., Brunner P., Schönböck W., Frühwirth W., Wöginiger H., Döberl G., Huber R., Eder Michael, Pierrard R., Hutterer H., Stark W., Baumeler A., Rechberger H., Faßbender S., Prinz C., 2000 Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie. GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH; Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien; Institut für Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik der TU Wien, Wien.
- Iordanopoulos-Kisser M., Poosch-Böckl F., 2020 ÖWAV Ausschusspapier: DAO-Checkliste Für höherwertige Deponien, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien
- Kjeldsen P., Barlaz M., Rooker A., Baun A., Ledin A., Christensen T., 2002 Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32(4): 297 - 336.
- Koss K., Trapp M., 2003 Entwicklung und Tendenzen der Sickerwasserbehandlung in NRW. In: Tagungsband in der Reihe Forum Siedlungswirtschaft und Abfallwirtschaft Universität Essen, Shaker Verlag. ISBN 3-8322-1201-9.
- Krümpelbeck I., 2000 Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien. Dissertation thesis, Fachbereich Bauingenieurwesen, Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal, Wuppertal.
- Kurzweil P., Scheipers P., 2012 Chemie - Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente, ISBN: 978-3-8348-8280-6, Wiesbaden.
- Lechner P., Dreier P., 1995 Baurestmassen – Vermeidung, Verwertung, Behandlung, Bundesministerium für Umwelt

- Lorber K., Müller P., Novak J., Raber G., 2004 Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Modelldeponie Allerheiligen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/3, Stubenbastei 5, 1010 Wien.
- Obernosterer R., Reiner I., 2003 „Stickstoffbilanz Österreich“. Beitrag der Abfallwirtschaft zum Stickstoffhaushalt Österreichs, Ressourcen Management Agentur (RMA), Argentinierstrasse 48 / 2. Stock, 1040 Wien
- ÖWAV, 2020 ÖWAV-Ausschusspapier: DAO-Checkliste für höherwertige Deponien (von Baurestmassen aufwärts), Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5
- Ramke H.-G., 1993 Abschätzung des Sickerwasseranfalls von Siedlungsabfalldeponien in: Sickerwasser aus Mülldeponien, 8. ZAF-Seminar, Braunschweig Veröffentlichungen des Zentrums für Abfallforschung, Heft 8 Technische Universität Braunschweig.
- Rat der EU, 1999 - Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien.
- Schachermayer E., Lampert C., 2009 Aufkommen und Behandlung von Deponiesickerwasser, Wien.
- Stegmann R., 1981 Beschreibung eines Verfahrens zur Untersuchung anaerober Umsetzungsprozesse von festen Abfallstoffen im Labormaßstab. Müll und Abfall 2: 35 - 39.
- Stegmann R., Heyer K.-U., Hupe K., Willand A., 2006 Deponienachsorge - Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge. Dessau: Umweltbundesamt.
- TWV - Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Fassung vom: 14.08.2019.
- UBA, 2019 Erläuterung PRTR. <https://www.umweltbundesamt.at/prtr/> (Zugriff am:14.08.19).
- Westermayer A., Rosenberger R., 2018 Leitfaden zum richtigen Umgang mit Baurestmassen auf Baustellen. <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/broschuere-baurestmassen.pdf> (Zugriff am:09.01.2020).
- Wimmer B., Döberl G., 2011 Arbeitshilfe zur Abschätzung von Sickerwasserbelastungen an kontaminierten Standorten. Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien.
- WKO, 2019 Erläuterung IPPC. <https://www.wko.at/service/umwelt-energie/IPPC-Anlagen.html> (Zugriff am:14.08.19).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Bewirtschaftungsphasen einer Deponie (Fellner et al., 2008).....	1
Abbildung 2-1:	Schematische Darstellung des Wasserhaushaltes eines Deponiekörpers (nach Heyer et al., 2000) N = Niederschlag, V_E = Evaporation, V_T = Transpiration, A_O = Oberflächenabfluss, S = Speicherung, R= Rückhalt, W_B = biolog. Wasserbedarf/-verbrauch, W_K = Wasser infolge Konsolidation, A_B = Abfluss des Sickerwassers an der Basis.....	15
Abbildung 2-2:	Schematische Darstellung der Deponiegasemissionen und der Sickerwasseremissionen über das Bestehen einer Siedlungsabfalldeponie (Kjeldsen et al., 2002, nach Farquhar & Rovers, 1973).....	19
Abbildung 3-1:	Schematische Darstellung der ermittelten Größen W/F_N (links) und W/F_{SIWA} (rechts).....	31
Abbildung 4-1:	Auswertung der Anfragen der bei Baurestmassendeponien in Österreich.....	34
Abbildung 4-2:	Mittlerer Niederschlag und mittlere potentielle Gebietsverdunstung über die Betriebsdauer der erhobenen Standorte.....	36
Abbildung 4-3:	Zeitreihen der Verfügbarkeit unterschiedlicher Messdaten der erhobenen Baurestmassendeponien D1 bis D9, *Stillgelegt; v.u.n.o.: Ablagerungsmenge: blau, SIWA-Menge: grün, SIWA-Konz.: grau, N: rot, Ablagerungsfläche: hellgrau	37
Abbildung 4-4:	Zeitreihen der Verfügbarkeit unterschiedlicher Messdaten der erhobenen Baurestmassendeponien D10 bis D13, *Stillgelegt; v.u.n.o.: Ablagerungsmenge: blau, SIWA-Menge: grün, SIWA-Konz.: grau, N: rot, Ablagerungsfläche: hellgrau	38
Abbildung 4-5:	Jährliche Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge der erhobenen Baurestmassendeponie D1, keine SIWA-Daten für die Jahre 1995/1996 vorhanden....	39
Abbildung 4-6:	Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D1.....	40
Abbildung 4-7:	Jährliche Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge der erhobenen Baurestmassendeponie D2, Niederschlagshöhe 2017/18 mit Mittelwerten der Vorjahre angenommen	41
Abbildung 4-8:	Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D2. Die Sickerwassermenge 1998-2008 wurde als Anteil vom jährlichen Niederschlag angenommen.	41
Abbildung 4-9:	Jährliche Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge der erhobenen Baurestmassendeponie D3, Niederschlagshöhe 2017/18 mit Mittelwerten der Vorjahre angenommen	42
Abbildung 4-10:	Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D3.....	43
Abbildung 4-11:	Ermitteltes W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags der Kompartimente D7.1 (geschlossen 1996, abgedichtet 2008) und D7 (aktiv).....	44
Abbildung 4-12:	Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am Standort D11.....	46
Abbildung 4-13:	Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge am Abschnitt D12 über den Beobachtungszeitraum.....	48
Abbildung 4-14:	Vergleich W/F-Verhältnis auf Basis des Niederschlags ggü. W/F-Verhältnis auf Basis der Sickerwassermenge am aktiven Kompartiment D13	48

Abbildung 4-15: Abfallzusammensetzung der ausgewerteten Deponiestandorte für die verfügbaren Jahre	49
Abbildung 4-16: Chlorid im Sickerwasser aktiver bzw. kürzlich geschlossener Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	53
Abbildung 4-17: Chlorid im Sickerwasser geschlossener Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet	54
Abbildung 4-18: Sulfatkonzentration im Sickerwasser aktiver bzw. kürzlich geschlossener Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	54
Abbildung 4-19: Sulfatkonzentration im Sickerwasser geschlossener Baurestmassendeponien bzw. –Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet.....	55
Abbildung 4-20: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Standorte der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	55
Abbildung 4-21: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der geschlossenen Baurestmassendeponien bzw. –Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1: Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet.....	56
Abbildung 4-22: Anorganischer Gesamt-Stickstoff im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Standorte der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	56
Abbildung 4-23: Anorganischer Gesamt-Stickstoff im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer; D7.1:Ablagerungsende bei 3 Jahren mAd, rekultiviert bei 9 Jahren mAd; D10: rekultiviert bei 12,1 Jahren mAd; D12.1: abgedeckt nach 9,7 Jahren mAd; D13.1: nach 4 Jahren mAd abgedichtet.....	57
Abbildung 4-24: Kupferkonzentration im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer.....	58
Abbildung 4-25: Kupferkonzentration im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	58
Abbildung 4-26: Chrom-Gesamt im Sickerwasser der aktiven bzw. kürzlich geschlossenen Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer.....	59
Abbildung 4-27: Chrom-Gesamt im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	59
Abbildung 4-28: Sulfatgehalt im Sickerwasser der erhobenen Standorte bezogen auf das Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub	60
Abbildung 4-29: Chlorid und Sulfat im Sickerwasser der geschlossenen Deponien bezogen auf das W/F-Verhältnis	61

Abbildung 4-30: Ammonium und anorganischer Gesamtstickstoff im Sickerwasser der geschlossenen Standorte bzw. Kompartimente der erhobenen Baurestmassendeponien bezogen auf das W/F-Verhältnis	62
Abbildung 4-31: Chloridfracht und Sulfatfracht im Sickerwasser ausgewählter Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer.....	63
Abbildung 4-32: Anorganische Gesamtstickstofffracht und Ammoniumfracht im Sickerwasser ausgewählter Baurestmassendeponien bezogen auf die mittlere Ablagerungsdauer	63
Abbildung 4-33: Transferkoeffizienten Standort D1, mAd: 14,3a, N: 699 mm/a, W/F: 0,095 l/kgTS, der Stickstoffaustrag bezieht sich auf den anorganischen Anteil	66
Abbildung 4-34: Transferkoeffizienten Standort D2, mAd: 13,7a, N: 1368 mm/a, W/F: 0,68 l/kgTS, der Stickstoffaustrag bezieht sich auf den anorganischen Anteil	66
Abbildung 4-35: Transferkoeffizienten Standort D13, mAd: 6a, N: 493 mm/a, W/F: 0,097 l/kgTS, der Stickstoffaustrag bezieht sich auf den anorganischen Anteil	67
Abbildung 4-36: Boxplots der Sulfat- und Chloridkonzentrationen im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente bezogen auf die Dauer nach Abdichtungsmaßnahmen der Oberfläche, n=29.....	68
Abbildung 4-37: Boxplots der anorganischen Gesamtstickstoff- und Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der geschlossenen Kompartimente bezogen auf die Dauer nach Abdichtungsmaßnahmen, n=29	68
Abbildung 4-38: Sulfatkonzentration im Sickerwasser von unterschiedlichen Deponietypen aus der Literatur im Vergleich zu den erhobenen Baurestmassendeponien (grau) bezogen auf die Ablagerungsdauer	72
Abbildung 4-39: Ammoniumkonzentration im Sickerwasser von unterschiedlichen Deponietypen aus der Literatur im Vergleich zu den erhobenen Baurestmassendeponien (grau) bezogen auf die Ablagerungsdauer	73
Abbildung 4-40: Box-Plots der Cl-Konzentrationen der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=108) von Schlackedeponien* (blau, n=46) und Baurestmassendeponien* (braun, n=22) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)	74
Abbildung 4-41: Box-Plots der Sulfatkonzentration der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=73) von Schlackedeponien* (blau, n=48) und Baurestmassendeponien* (braun, n=21) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011)	75
Abbildung 4-42: Box-Plots der C_{ges} -Konzentrationen der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=73) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=48) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011).....	76
Abbildung 4-43: Box-Plots der Kupferkonzentrationen der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=89) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=48) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011).....	76
Abbildung 4-44: Box-Plots der TOC-Gehalts im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=65) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau, n=49) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011).....	77
Abbildung 4-45: Box-Plots Ammoniumkonzentration im Sickerwasser der erhobenen Baurestmassendeponien (schwarz, n=132) im Vergleich zu Schlackedeponien* (blau,	

n=49) in Abhängigkeit der mittleren Ablagerungsdauer *(Quelle: Laner et al., 2011).....	77
Abbildung 4-46: Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe für eine Schlackedeponie (mAd: 14a, N:1117 mm/a, W/F: 0,37 l/kgTS) (Laner et al., 2011).....	78
Abbildung 4-47: Transferkoeffizienten ausgewählter Stoffe für den Standort D2, mAd: 13,7a, N: 1368 mm/a, W/F: 0,68 l/kgTS.....	78
Abbildung 4-48: TOC-Gehalt im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; MAD-Modellversuch (grün, n=8), RSD (blau, n=50), BRMD (grau, n=134), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=131).....	80
Abbildung 4-49: Ammonium-Stickstoffkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; MAD (grün, n=10), RSD (blau, n=51), BRMD (grau, n=263), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=173)	81
Abbildung 4-50: Sulfatkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; MAD (grün, n=8), RSD (blau, n=53), BRMD (grau, n=251), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=161).....	82
Abbildung 4-51: Kupferkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; RSD (blau, n=49), BRMD (grau, n=177), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=164).....	83
Abbildung 4-52: Chrom-Gesamtkonzentration im Sickerwasser unterschiedlicher Deponietypen in Abhängigkeit der Betriebsdauer; RSD (blau, n=44), BRMD (grau, n=153), HMD z.T. mit Übergangsbestimmungen zu RSD bzw. MAD (rot, n=164).....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Emissionsgrenzwerte für Abwässer aus Abfalldeponien gemäß AEEV bzw. AEV Deponiesickerwasser und TWV	9
Tabelle 2-2: Leitparameter zur Beurteilung des Abfallemissionsverhaltens nach Laner et al. 2011	17
Tabelle 2-3: Ausgewählte Parameter der Stoffzusammensetzung unterschiedlicher Abfallgruppen (zitiert in Stegmann et al., 2006; MBA: Kaartinen et al., 2005; Schlacke: Hirschmann et al., 1997; MBT, 1992; Bauschutt: Bode, 2005, Düser, 2003).....	25
Tabelle 3-1: Molare Masse ausgewählter Elemente	29
Tabelle 4-1: Übersicht der erhobenen Baurestmassendeponien.....	35
Tabelle 4-2: Anteil der tatsächlichen Menge an Messdaten der erhobenen Baurestmassendeponien.....	37
Tabelle 4-3: Verhältnis Bauschutt zu Bodenaushub der erhobenen Standorte am Ende des Beobachtungszeitraumes.....	50
Tabelle 4-4: Statistische Kenngrößen der erhobenen Sickerwasserdaten	51
Tabelle 4-5: Input- und Outputmenge ausgewählter Stoffe, MW=Mittelwert	65

Anhang

Tabelle-Anhang 1: Übersicht der ermittelten Parameter W/F-Verhältnis, mittlere Ablagerungsdauer, Bauschutt/Bodenaushub der Standorte D1, D2, D3, D7, D9

Jahr	D1			D2			D3			D7.1			D7			D9		
	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd
1992										1	0,04	1,0						
1993										2	0,05	1,5						
1994										3	0,04	2,0						
1995	1	0,07	1,0							4	0,05	2,5						
1996	2	0,06	1,4							5	0,05	3,0						
1997	3	0,07	1,7	1	1,1	1,0				6	0,07	3,5	1	0,1	1,0			
1998	4	0,05	2,3	2	0,26	1,1				7	0,08	4,0	2	0,08	1,5			
1999	5	0,05	2,9	3	0,18	1,5				8	0,09	4,5	3	0,08	2,0			
2000	6	0,07	3,5	4	0,22	1,9				9	0,09	5,0	4	0,07	2,5			
2001	7	0,07	4,0	5	0,18	2,3				10	0,10	5,5	5	0,18	2,9			
2002	8	0,07	4,4	6	0,18	2,2				11	0,11	6,0	6	0,2	3,4			
2003	9	0,05	4,7	7	0,23	2,9				12	0,11	6,5	7	0,2	4,1			
2004	10	0,06	5,0	8	0,22	3,5				13	0,12	7,0	8	0,21	4,7			
2005	11	0,07	5,3	9	0,24	4,4				14	0,13	7,5	9	0,23	5,3			
2006	12	0,08	5,7	10	0,25	5,2				15	0,14	8,0	10	0,26	5,8			
2007	13	0,09	6,3	11	0,24	5,4				16	0,15	8,5	11	0,27	6,3			
2008	14	0,10	6,8	12	0,28	5,6				17	0,15	9,0	12	0,3	6,7			
2009	15	0,10	7,4	13	0,35	6,3				18	0,15	9,5	13	0,31	7,2			
2010	16	0,11	8,0	14	0,33	6,9	1	0,02	1,0	19	0,16	10,0	14	0,28	6,8			
2011	17	0,10	8,7	15	0,35	7,9	2	0,03	1,2	20	0,16	10,5	15	0,27	7,4			
2012	18	0,11	9,4	16	0,4	8,9	3	0,05	1,7	21	0,16	11,0	16	0,26	7,6			
2013	19	0,11	10,0	17	0,48	9,9	4	0,06	2,4	22	0,16	11,5	17	0,28	8,5	1	0,01	1,0
2014	20	0,11	10,8	18	0,51	10,9	5	0,06	3,0	23	0,16	12,0	18	0,28	9,1	2	0,04	1,4
2015	21	0,10	11,7	19	0,53	11,9	6	0,1	3,5	24	0,16	12,5	19	0,28	9,5	3	0,05	1,9
2016	22	0,10	12,4	20	0,54	12,5	7	0,13	3,9	25	0,16	13,0	20	0,27	9,5	4	0,07	2,1
2017	23	0,10	13,3	21	0,62	13,2	8	0,16	4,3	26	0,16	13,5	21	0,34	9,6	5	0,1	2,5
2018	24	0,10	14,3	22	0,68	13,7	9	0,14	4,7									

Standort abgedichtet

Tabelle-Anhang 2: Übersicht der ermittelten Parameter W/F-Verhältnis, mittlere Ablagerungsdauer, Bauschutt/Bodenaushub der Standorte D10 bis D13

Jahr	D10			D11			D12.1			D12			D13.1			D13		
	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd	Alter	W/F	mAd
1992																		
1993	1	0,08	1,0				1	0,54	1,0									
1994	2	0,08	1,5				2	0,38	1,4									
1995	3	0,09	2,0				3	0,39	2,0									
1996	4	0,08	2,5				4	0,38	2,6									
1997	5	0,08	3,0				5	0,33	2,8									
1998	6	0,21	3,6				6	0,38	3,3									
1999	7	0,23	4,3				7	0,35	3,6									
2000	8	0,24	4,9				8	0,38	4,2				1	-	1,0			
2001	9	0,26	5,4				9	0,38	4,8				2	-	1,5			
2002	10	0,29	6,0				10	0,42	5,7				3	-	2,0			
2003	11	0,29	6,6				11	0,44	6,4				4	-	2,5			
2004	12	0,3	7,1				12	0,4	6,3				5	-	3,0			
2005	13	0,31	7,6				13	0,41	7,0				6	-	3,5			
2006	14	0,33	8,6				14	0,42	7,7				7	-	4,0			
2007	15	0,35	9,4				15	0,35	7,0				8	-	4,5	1	0,03	1,0
2008	16	0,36	10,1				16	0,33	7,1				9	-	5,0	2	0,04	1,7
2009	17	0,46	9,8				17	0,33	7,7				10	-	5,5	3	0,05	2,3
2010	18	0,58	9,9				18	0,31	8,3				11	-	6,0	4	0,05	3,0
2011	19	0,6	10,6				19	0,29	8,7				12	-	6,5	5	0,06	3,5
2012	20	0,57	11,3				20	0,3	9,7	1	0,27	1,0	13	-	7,0	6	0,06	3,9
2013	21	0,61	12,1				21	0,3	10,7	2	0,18	1,4	14	-	7,5	7	0,06	4,3
2014	22	0,04	13,1	1	0,001	1,0	22	0,3	11,7	3	0,2	2,1	15	-	8,0	8	0,06	4,8
2015	23	0,05	14,1	2	0,01	1,2	23	0,3	12,7	4	0,21	2,8	16	-	8,5	9	0,06	5,1
2016	24	0,05	15,1	3	0,02	1,7	24	0,3	13,7	5	0,23	3,6	17	-	9,0	10	0,08	5,3
2017	25	0,05	16,1	4	0,02	2,2	25	0,31	14,7	6	0,26	4,1	18	-	9,5	11	0,10	5,6
2018							26	0,31	15,7	7	0,27	4,7						

