

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



DIPLOMARBEIT
Master's Thesis

**Implementierung einer
abfallwirtschaftlichen Wissensbasis am
Beispiel der Umsetzung der
Deponieverordnung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

O. UNIV. PROF. DR. DIPL. NATW. PAUL H. BRUNNER
E226

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

CLEMENS KIELHAUSER

0125691

Laudongasse 34/1/17

1080 Wien

Wien, am 30. Oktober 2011

Eigenhändige Unterschrift

Abstract

For a goal-oriented and efficient waste management it is essential to gather the "right" information, i.e., the quantity (which parameters) and the quality (how accurate) have to be adapted to the problem examined. This thesis focuses on that question on the basis of the Austrian *Deponieverordnung 2008* (Austrian landfill ordinance). The present work is divided into four parts.

The first part focuses on the question, which goals are set by the Austrian landfill ordinance. To achieve this, the national legislation on waste as well as the landfill ordinance are screened systematically for the goals set.

The second part deals with formal aspects. Using the Flesch-Reading-Ease, the readability of the landfill ordinance is analysed and compared with other types of text. It also addresses the problem of using standards as a legal requirement.

The third part deals with content-related aspects. By the means of two theoretical case studies it is checked whether the requirements of the landfill ordinance are practically feasible. The first case study examines whether it makes sense to make inherently unsuitable sites for landfills suitable by technical means. This is carried out by the calculation of adapted partial safety factors. In the second case study, the process of sampling and analysis is investigated. The example of the demolition and disposal of a house contaminated with PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) is investigated. A Monte Carlo simulation is used to determine the probability that the analysis represents the real content of PAH $\pm 30\%$. Subsequently, an attempt is being made to derive a correlation between sample size and 'hit rate'.

In the fourth part, a summary and suggestions for improvement are given.

Kurzfassung

Im Rahmen einer zielgerichteten und effizienten Abfallwirtschaft ist es unerlässlich, die "richtigen" Informationen, das heißt die dem Ziel in Quantität (welche) und Qualität (wie genau) angepassten Parameter, zu bestimmen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich anhand der Deponieverordnung 2008 mit diesem Thema. Die Arbeit ist in vier Teile eingeteilt.

Der erste Teil beschäftigt sich mit der Frage, welche Ziele die Deponieverordnung überhaupt vorgibt. Dazu wird die Deponieverordnung systematisch auf Zielvorgaben durchleuchtet.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit formalen Aspekten. Mit Hilfe des Flesch-Wertes wird die Lesbarkeit der Deponieverordnung überprüft und mit jener von anderen Textsorten verglichen. Außerdem wird auf die Problematik der Verwendung von Normen als gesetzliche Vorgabe eingegangen.

Der dritte Teil beschäftigt sich mit inhaltlichen Aspekten. Im Rahmen von zwei Beispielen soll überprüft werden, ob die Anforderungen, die in der Deponieverordnung gestellt werden, praxistauglich sind. Im ersten Beispiel wird untersucht, ob es Sinn macht, von Natur aus für eine Deponie ungeeignete Standorte durch technische Maßnahmen tauglich zu machen. Dies wird mittels der Berechnung von adaptierten Teilsicherheitsbeiwerten durchgeführt. Im zweiten Beispiel wird der Vorgang der Probenahme und -analyse untersucht. Es wird ein mit PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) belastetes Haus betrachtet, welches abgerissen wird. Mittels Monte-Carlo-Simulation wird die Wahrscheinlichkeit ermittelt, dass die Analyse den tatsächlichen Gehalt $\pm 30\%$ trifft. Im Anschluss wird versucht, für dieses Beispiel einen Zusammenhang zwischen Probemenge und Trefferquote zu ermitteln.

Im vierten Teil werden neben der Zusammenfassung Anregungen zur Verbesserung abfallwirtschaftlicher Wissensbasen gegeben.

Vorwort

Zuerst die richtigen Dinge tun, dann die Dinge richtig tun!

Dieser Spruch beschreibt in einfachen Worten, was dem Grunde nach die oberste Maxime eines jeden Technikers sein soll. Doch leider gerät die Tugend, sich auf die wesentlichen Dinge zu konzentrieren, etwas außer Mode. Schließlich ist es mit Hilfe immer schneller werdender Computer und immer besser und komplexer werdender Software immer einfacher, hoch exakte Ergebnisse zu sehr vielen Fragestellungen zu bekommen.

Dies führt unter anderem zu einer bis jetzt noch nie dagewesenen "Datensammelwut". Die zu sammelnden Parameter werden immer umfangreicher, die Anforderungen an die Genauigkeit immer größer. Leider wird dabei manchmal übersehen, dass steigende Genauigkeit immer mit steigendem Aufwand verbunden ist. Ab irgendeinem Punkt übersteigt der Aufwand den Nutzen, den man aus der Genauigkeit ziehen kann.

Die Geschichte stellt dem Techniker eine Reihe von Werkzeugen zur Problemlösung zur Verfügung. Doch nicht immer ist das "neueste" Werkzeug das geeignetste, um ein Problem sinnvoll zu lösen. Schon in der griechischen Frühzeit bezeichnet $\tau\acute{\epsilon}\chi\nu\eta$ (technē) Verfahren und Methoden für bestimmte Tätigkeiten:

Als dieses praktische Wissen ermöglicht sie vorausplanende Berechnung und zielbewusstes Handeln: wo technē das Tun bestimmt, gibt es ein τέλος, ein Ziel, auf das hin gewirkt, etwas, das bewegt, ein Werk oder eine Tat, die verwirklicht werden sollen. Damit wird technē ein Mittel zur planvollen Erreichung eines Zieles. [LÖBL, Würzburg 1997, S. 211]

Genau dieses zielbewusste Handeln sollten wir Techniker uns wieder in Erinnerung rufen. Denn oft liefern die älteren, einfacheren Werkzeuge schon genügend genaue Informationen, und das mit weitaus geringerem Aufwand. Diese Diplomarbeit soll nun untersuchen, in welchem Verhältnis der Informationsgewinn zum dazugehörigen Mehraufwand steht.

Ich bedanke mich bei Herrn O. Univ. Prof. Dr. Dipl. natw. Dr. Paul H. Brunner für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit am Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft zu verfassen. Weiters möchte ich mich bei allen anderen Personen bedanken, die Zeit und ein offenes Ohr für mich und meine Fragen hatten.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Einleitung	5
I Überblick über die Deponieverordnung	7
1 Ziel der Deponieverordnung	9
2 Anforderungen der DVO	13
2.1 Umgebung der Deponie	13
2.1.1 Standortanforderungen	13
2.1.2 Untergrundanforderungen	14
2.1.3 Vorflut	14
2.2 Deponietechnik	14
2.2.1 Standsicherheit	14
2.2.2 Deponierohplanum	14
2.2.3 Deponiebasisdichtung	14
2.2.4 Basisentwässerung	15
2.2.5 Deponieoberflächenabdeckung und Zwischenabdeckungen	15
2.2.6 Wasserhaushalt	16
2.2.7 Deponiegasbehandlung	16
2.3 Abgelagerte Abfälle	16
2.4 Prozesse in der Deponie	19
2.5 Emissions- und Immissionskontrolle	19
2.6 Zusammenfassung	19
II Formale Angelegenheiten	23
3 Lesbarkeit	25
4 Zitierung von Normen	29
III Inhaltliche Angelegenheiten	37
5 Schaffung einer Wissensbasis - Beispiel 1	39
5.1 Theoretische Grundlagen	40

5.2	Annahmen und Voraussetzungen	43
5.3	Berechnung	48
5.4	Variation der Zeitdauer	51
5.5	Interpretation	52
6	Schaffung einer Wissensbasis - Beispiel 2	55
6.1	Szenario	55
6.2	Theoretische Grundlagen	60
6.2.1	Probenahmeverfahren entsprechend DVO	60
6.2.2	Mathematische Abbildung des Probenahmeverfahrens	61
6.2.3	Approximation mittels Monte-Carlo-Methode	63
6.3	Berechnung	68
6.3.1	Ermittlung der Treffergenauigkeit	68
6.3.2	Rückrechnung des benötigten Stichprobenumfangs	70
6.4	Interpretation	73
IV	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	75
7	Zusammenfassung	77
8	Schlussfolgerungen	79
9	Ausblick	83
	Anhang	87
	Literaturverzeichnis	93

Abkürzungsverzeichnis

Einleitung

AWG	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Kapitel 1

AWG	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)
EuGH	Europäischer Gerichtshof
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Kapitel 2

AK	Austauschkomplex
AOX	adsorbierbare organisch gebundene Halogene
AT ₄	Atmungsaktivität nach vier Tagen
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol
<i>c</i>	Kohäsion
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)
EOX	extrahierbare organisch gebundene Halogene
γ	Wichte in [Kraft/Volumen]
GB ₂₁	Gasbildung im Gärtest nach 21 Tagen

GS ₂₁	Gasspendensumme im Inkubationsversuch nach 21 Tagen
k	Permeabilität
k_f	hydraulische Leitfähigkeit
MBAS	methylenblauaktive Substanz
n	Porenzahl
φ	Winkel innerer Reibung
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	polychlorierte Biphenyle
POX	ausblasbare organisch gebundene Halogene
TM	Trockenmasse
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff
w	Wassergehalt

Kapitel 3

ASL	Durchschnittliche Satzlänge in Wörtern
ASW	Durchschnittliche Wortlänge in Silben
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)
FRE_{de}	Flesch-Wert für die deutsche Sprache

Kapitel 4

AWG	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)

Kapitel 5

α_E	Sensitivitätsfaktor Einwirkungsseite
α_R	Sensitivitätsfaktor Widerstandsseite
β	Sicherheitsindex
$\beta_{1,n}$	Sicherheitsindex für n Jahre, auf 1 Jahr bezogen

$\beta_{1,normal}$	Sicherheitsindex für 50 Jahre, auf 1 Jahr bezogen
$\beta_{1,500a}$	Sicherheitsindex für 500 Jahre, auf 1 Jahr bezogen
β_n	Sicherheitsindex für n Jahre
β_{500a}	Sicherheitsindex für 500 Jahre
γ_E	Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungsseite
$\gamma_{E,normal}$	Teilsicherheitsbeiwert für 50 Jahre, Einwirkungsseite
$\gamma_{E,500a}$	Teilsicherheitsbeiwert für 500 Jahre, Einwirkungsseite
γ_{Gl}	Teilsicherheitsbeiwert Global
$\gamma_{Gl,normal}$	Teilsicherheitsbeiwert für 50 Jahre, Global
$\gamma_{Gl,500a}$	Teilsicherheitsbeiwert für 500 Jahre, Global
γ_R	Teilsicherheitsbeiwert Widerstandsseite
$\gamma_{R,normal}$	Teilsicherheitsbeiwert für 50 Jahre, Widerstandsseite
$\gamma_{R,500a}$	Teilsicherheitsbeiwert für 500 Jahre, Widerstandsseite
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)
erf^{-1}	Inverse Gaußsche Fehlerfunktion
f	Vergrößerungsfaktor
$\Phi(x)$	Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion
HQ_{500}	500-jähriges Hochwasser
k_E	k-Faktor Einwirkungsseite
k_R	k-Faktor Widerstandsseite
n	Bezugszeitraum in Jahren
P_F	Versagenswahrscheinlichkeit
$Q_{0.05}$	5%-Quantil
$Q_{0.95}$	95%-Quantil
σ_{Bruch}	Bruchspannung
σ_E	Spannung Einwirkungsseite
σ_R	Spannung Widerstandsseite
$\sigma_{zulässig}$	Zulässige Spannung
$Var(x)$	Varianz
V_E	Variationskoeffizient Einwirkungsseite
V_R	Variationskoeffizient Widerstandsseite

Kapitel 6

c_{PAK}	Konzentration an PAK
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)
GCMS	Gaschromatograf-Massenspektrometer
m_{ges}	Gesamtmasse (Ziegel + Anstrich)
m_{PAK}	Masse PAK auf allen Ziegeln
$m_{PAK,1W\u00fcrfel}$	Masse PAK auf einem W\u00fcrfel
m_{SKT}	Masse Steinkohlenteer auf allen Ziegeln
$m_{W\u00fcrfel}$	Masse eines W\u00fcrfels
m_{Ziegel}	Masse aller Ziegel ohne Anstrich
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
s	Standardabweichung der Stichprobe
s^2	Varianz der Stichprobe
\bar{x}	Mittelwert der Stichprobe

Kapitel 7

AWG	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)

Kapitel 8

AWG	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
DVO	Deponieverordnung (2008, wenn nicht anders angegeben)

Einleitung

Eine hoch entwickelte Abfallwirtschaft braucht eine solide Wissensbasis (z.B. Kenndaten über Abfallmengen und deren Zusammensetzung, über Prozesse und deren Emissionen sowie Quantität und Zusammensetzung an Reststoffen, etc.). Diese Wissensbasis wird von verschiedenen Akteuren einerseits vorgeschrieben und andererseits mit Daten gefüllt. Um die Abfallwirtschaft als Ganzes zielorientiert und kostengünstig zu gestalten, ist immer wieder zu prüfen, inwiefern die richtigen (d.h. hinsichtlich der Ziele des AWG relevanten) Informationen gesammelt werden und ob diese Daten auch im notwendigen Umfang und mit hinreichender Genauigkeit geliefert und genutzt werden.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich am Beispiel der Deponieverordnung (DVO) mit der in der Einleitung erwähnten Fragestellung. In der DVO wird ein großes Wissen über die einzubauenden Abfälle wie auch die gesamte Deponie und deren Umfeld verlangt. Dieses umfassende Wissen muss vom Deponiebetreiber erhoben und den Behörden zur Verfügung gestellt werden. Ziel dieser Diplomarbeit ist es, zu prüfen, inwiefern die in der DVO verlangten Informationen hinsichtlich der Ziele des AWG die richtigen sind, ob es Defizite oder überflüssigen Luxus gibt, und wie sich in der Praxis die Umsetzung dieser Wissensbasis darstellt, ob es auch hier ein Optimierungspotential gibt.

Im Rahmen der Diplomarbeit sollen folgende Fragestellungen anhand einzelner Beispiele untersucht werden:

1. Welches Wissen verlangt der Gesetzgeber über
 - a. die Umgebung der Deponie?
 - b. die technische Ausrüstung der Deponie und Ihre Funktionstüchtigkeit?
 - c. abzulagernde Abfälle?
 - d. in der Deponie ablaufende Prozesse?
 - e. von der Deponie ausgehende Emissionen?
2. Entspricht das gesammelte Wissen den vorgegebenen Zielen?
 - a. Sind einzelne Forderungen unnötiger Luxus?
 - b. Sind überhaupt alle Forderungen erfüllbar?
 - c. Fehlen wichtige Informationen?

Generell ist diese Diplomarbeit in vier Abschnitte gegliedert:

Der erste Teil beschäftigt sich mit der Beantwortung der ersten Frage. Dazu wird die DVO in ihrer vollen Breite nach den verlangten Informationen untersucht.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit den formalen Angelegenheiten. Hier soll ebenfalls in die Breite gegangen werden. Besonderer Fokus wird hierbei auf die Lesbarkeit und die Verwendung von Normen gelegt, da diese Punkte während der Bearbeitung des ersten Teils besonders herausgestochen sind.

Im dritten Teil sollen - anhand zweier Beispiele - die in der DVO verlangten Forderungen durch technisch-naturwissenschaftliche Methoden auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden. Das erste der beiden Beispiele wurde gewählt, da - wie in Kapitel 1 angeführt - das AWG eine nachsorgefreie Deponie verlangt. (die DVO nicht) Die Wahl des zweiten Beispiels fiel auf die PAK, da diese in Bauschutt in einer Konzentration vorkommen, die im grenzwertnahen Bereich liegen kann, sofern Steinkohlenteerprodukte verwendet wurden.

Der vierte Teil stellt eine Zusammenfassung dar.

Teil I

Überblick über die Deponieverordnung

Kapitel 1

Ziel der Deponieverordnung

Um das Ziel der Deponieverordnung näher zu bestimmen, sollte man sich erst einmal mit dem Aufbau der österreichischen Rechtsordnung beschäftigen. Diese ist in sieben hierarchische Stufen gegliedert:

- 1 - *Leitende Verfassungsprinzipien* - Grundlegende Prinzipien der Verfassung
- 2 - *Primäres Gemeinschaftsrecht* - Gründungsverträge der europäischen Gemeinschaften samt Anhängen, Protokollen, Ergänzungen, unter Berücksichtigung späterer Änderungen.
- 3 - *Sekundäres Gemeinschaftsrecht* - das von den Organen der Europäischen Gemeinschaften nach Maßgabe der Gründungsverträge erlassene Recht (Verordnungen, Richtlinien und Erkenntnisse des EuGH)
- 4 - *"Einfaches" Bundesverfassungsrecht (Landesverfassungsgesetz)* - alle Gesetze des österreichischen Bundesverfassungsgesetzgebers, die nicht leitende Prinzipien darstellen.
- 5 - *Bundesgesetz (Landesgesetz)* - auch einfaches Bundesgesetz (im Verhältnis zum Verfassungsgesetz); die in der Praxis wichtigste Norm
- 6 - *Verordnung* - Erläutert oder ergänzt ein Gesetz
- 7 - *Einzelfallentscheidung* - Urteil, Beschluss, Bescheid

Abbildung 1.1: Stufenbau der österreichischen Rechtsordnung nach [RICHTERVEREINIGUNG.AT]

Eine Verordnung steht damit in der Rangreihenfolge unter einem Gesetz; vielmehr noch braucht sie ein übergeordnetes Gesetz, mit dem sie verknüpft ist. Sie soll dieses erläutern, ergänzen, und präzisieren.

Generell richtet sie sich *"an eine generell bestimmte Mehrheit"*. Wer ist nun diese generell bestimmte Mehrheit? Die einfachste Erklärung erfolgt durch das Formulieren des Gegenteils: Ein Kreis aus einzeln bestimmbar Individuen (z.B. alle Gesellschafter einer GmbH) lässt sich eindeutig und persönlich ermitteln (bei diesem Beispiel durch das Firmenbuch). Eine generell bestimmte Mehrheit hingegen nicht.

Die Deponieverordnung ist laut Präambel eine untergeordnete Verordnung zum Abfallwirtschaftsgesetz, genauer gesagt zu den §§ 4, 23 Abs. 1 u. 3 und §65 Abs. 1. In diesen wird die Aufgabe der Deponieverordnung genauer beschrieben:

AWG 2002 §23: Zur Verwirklichung der Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft, zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz und zur Sicherstellung der umweltgerechten Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung von Abfällen wird der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft ermächtigt [...] mit Verordnung festzulegen: [...]

3. Anforderungen an die Sammlung, Lagerung und Beförderung von Abfällen [...]

5. Aufzeichnungs-, Nachweis- und Meldepflichten, soweit diese für die Überprüfung der Verpflichtungen gemäß Z 1 bis 4 erforderlich sind. [...]

(3) Der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wird ermächtigt, zur Nachvollziehbarkeit der umweltgerechten Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung der Abfälle [...] mit Verordnung festzulegen: [...]

1. die Anforderung, dass Abfälle zur Zuordnung zu einer Abfallart oder zu bestimmten Qualitäten und Verwendungsmöglichkeiten zu untersuchen sind, und die Art der Probenahme und des Messverfahrens – einschließlich Art und Form der diesbezüglichen Aufzeichnungen; [...]

2. Art und Form der Aufzeichnungen [...]

3. Art und Form der Meldungen an die Behörden [...]

4. Schnittstellen und Nachrichten für elektronische Aufzeichnungen und Übermittlungen; [...]

Eine weitere Zielvorgabe findet sich in §1 der Deponieverordnung selbst:

Ziel dieser Verordnung ist es, durch die Festlegung betriebsbezogener und technischer Anforderungen in Bezug auf Deponien und Abfälle, Maßnahmen und Verfahren vorzusehen, mit denen während des gesamten Bestehens der Deponie negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen auf die Umwelt, insbesondere die Verschmutzung von Oberflächenwasser, Grundwasser, Boden und Luft, und auf die globale Umwelt, einschließlich des Treibhauseffekts, und alle damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit weitest möglich vermieden oder vermindert werden.

Das Ziel der Deponieverordnung lässt sich somit zu folgenden Schlagworten zusammenfassen:

- negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen auf die Umwelt vermeiden oder vermindern¹
- während des gesamten Bestehens der Deponie
- unter Rücksichtnahme auf Mensch (Risikobetrachtung!)
- nachvollziehbar (für einen nicht direkt bestimmbar Personenkreis!)

¹Im Vergleich zum AWG, welches diesen Punkt als Methode(!) und nicht als Ziel formuliert.

Dies soll durch folgende Mittel geschehen:

- Festlegung von betriebsbezogenen Anforderungen
- Festlegung von technischen Anforderungen
- Festlegung von Maßnahmen
- Festlegung von Verfahren

Zusammengefasst sollte die Deponieverordnung zum Einen eine Art "Handbuch" für Deponiebetreiber sein, in dem alle Verfahren, Maßnahmen und Anforderungen für einen rechtskonformen und umweltgerechten Betrieb zu finden sind. Außerdem soll sie ein Nachschlagewerk für alle anderen Personen sein, die einen Bedarf an Informationen über eine Deponie haben, wie zum Beispiel besorgte Nachbarn.

Bemerkenswert ist, dass die DVO keinen Bezug auf §1 des AWG nimmt. Gerade in diesem sind aber zwei wichtige Punkte festgeschrieben:

AWG §1. (1) *3. Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden, [...]*
5. nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.

Laut der Vorgabe in Absatz 3 soll Deponievolumen geschont werden, was eigentlich bedeuten würde, dass der meiste Abfall verbrannt werden sollte und nur mehr die Schlacke deponiert wird. Dies entspricht aber weder der gängigen Praxis, noch wird darauf in der DVO hingewiesen.

Absatz 5 verlangt wiederum eine "nachsorgefreie Deponie". Dies würde entweder voraussetzen, dass der gesamte Inhalt chemisch inert ist, oder dass die Abdichtung so lange standhält, bis die Deponie vollständig erodiert ist. Beide Varianten erscheinen mir nur schwer machbar.

Kapitel 2

Anforderungen der Deponieverordnung

An den Deponiebetreiber werden in der Deponieverordnung vom Gesetzgeber zu erfüllende Anforderungen formuliert. Um diesen Anforderungen zu entsprechen, sind bestimmte Informationen notwendig, die im Folgenden angeführt werden.

2.1 Umgebung der Deponie

Da die Deponieverordnung diesbezüglich keine Systematik enthält, werde ich die Anforderungen zunächst systematisch gliedern, um daraus die benötigten Informationen abzuleiten.

2.1.1 Standortanforderungen

Grundsätzlich teilt die Deponieverordnung mögliche Standorte in drei Gruppen ein:

1. Standorte, an denen ein Deponiebetrieb generell unmöglich ist
2. Standorte, an denen ein Deponiebetrieb nur unter speziellen Bedingungen möglich ist
3. Standorte, bei denen gewisse Dinge berücksichtigt werden müssen (§21. Abs. 1 DVO)

ad 1.: Sämtliche Anforderungen, die einen Deponiebetrieb jedenfalls verbieten, betreffen den Schutz von Wasservorkommen (§21. Abs.2 Z 1-3 sowie Abs.3 Z 1 und Abs. 4 Z 1,2,5 DVO)

ad 2.: Anforderungen, die einen Deponiebetrieb nur unter bestimmten Umständen erlauben, lassen sich in drei Gruppen teilen:

- Technische Anforderungen: Hier geht eine Bedrohung von natürlichen Gefahren aus, vor denen die Deponie durch technische Maßnahmen geschützt werden muss. (§21. Abs.2 Z 3-6 und Abs. 3 Z 2 DVO)
- Wasserwirtschaftliche Aspekte: Hier besteht die Gefahr, dass das Deponievorhaben in wasserwirtschaftliche Pläne eingreift. Deshalb sind keine Deponievorhaben erlaubt, die im Widerspruch zu diesen Plänen stehen. (§21. Abs. 2 Z 3 sowie Abs. 4 Z 3,4 DVO)
- Hydrologische Aspekte: Bei gespanntem Grundwasser kann es zu einer Grundwasserbeeinträchtigung kommen. (§21. Abs. 2 Z 7 DVO)

Daraus leitet sich ab, dass für die Standortwahl hauptsächlich wasserwirtschaftliche und hydrologische Informationen notwendig sind. Natürlichen Gefahren kann durch technische Maßnahmen begegnet werden, wobei hier nur die dafür anfallenden Kosten eine Information darstellen. Diese ist jedoch aus gesetzlicher Sicht nicht notwendig. Sie stellt aber eine bedeutsame Information für Überlegungen der Wirtschaftlichkeit dar.

2.1.2 Untergrundanforderungen

Die benötigten Informationen betreffen die Homogenität des Bodens und den k_f -Wert. (§22. Abs. 1-4 DVO) Da allerdings auch künstliche Barrieren zugelassen werden, ist der am Standort zu gewinnende Informationsgehalt nebensächlich. Bei der Verwendung alternativer Konstruktionen werden über diese mehr Informationen verlangt, da eine gleichwertige Schutzwirkung nachzuweisen ist. Bei einer Inertabfalldeponie sind die Informationen über den Untergrund gänzlich irrelevant. Trotzdem muss eine Untersuchung nach ÖNORM S 2074-1 und ÖNORM S 2074-2 durchgeführt werden.

2.1.3 Vorflut

Sickerwasser soll im freien Gefälle in eine entsprechende Vorflut oder ein Sammelbecken fließen können. (§24. Abs. 1-2 DVO) Deshalb müssen Informationen über Topographie, Vorflut und ihre entsprechenden Güteparameter vorhanden sein.

2.2 Deponietechnik

2.2.1 Standsicherheit

Betreffend die innere Standsicherheit sind Informationen sowohl über die "Bodenkennwerte" - Kohäsion c , Porenzahl n , innerer Reibungswinkel φ , Wassergehalt w , Wichte γ - des abgelagerten Abfalls und deren Änderung im Laufe der Zeit nötig, als auch über die Materialeigenschaften der Basisdichtung, des Entwässerungssystems und des Oberflächenabdeckungssystems. (Anhang 3 Kap. 1.1 DVO)

Für die äußere Standsicherheit sind zusätzliche Informationen über die Bodenparameter des Untergrundes notwendig. (Anhang 3 Kap. 1.2 DVO)

2.2.2 Deponierohplanum

Für das Deponierohplanum sind Informationen über den anstehenden Boden - Bodenart, Verdichtungsgrad und Verformbarkeit - verlangt. (Anhang 3 Kap. 1.3 DVO) Zudem muss dessen Lage vermessungstechnisch erfasst werden. (Ausnahme: Bodenaushubdeponien)

2.2.3 Deponiebasisdichtung

Bei Verwendung von mineralischen Dichtungsschichten müssen über diese folgende Informationen bekannt sein: k -Wert, Verdichtungsgrad nach Proctor, Kornabstufung, Kornform und TOC (Anhang 3 Kap. 2.1 DVO) Bei alternativen Dichtungssystemen sind Informationen über technische Gleichwertigkeit hinsichtlich Dichtheit und Beständigkeit zu erbringen. (§27. Abs. 4,5 DVO)

2.2.4 Basisentwässerung

Flächenfilter

Für die Wahl des Flächenfiltermaterials sind Informationen über die geplante Deponieauflast, die mineralische Zusammensetzung des Materials und die Filtergeschwindigkeit erforderlich. (Anhang 3 Kap. 3.1 DVO)

Sickerwasserleitungen

Zur Auswahl der Sickerwasserleitung sind Informationen über die geplante Deponieauflast und die chemische Zusammensetzung des Sickerwassers während der gesamten Zeit des Sickerwasseranfalls nötig. (Anhang 3 Kap. 3.2 DVO)

2.2.5 Deponieoberflächenabdeckung und Zwischenabdeckungen

Ausgleichsschicht

Für die Ausgleichsschicht sind alle Informationen, die auch für den abgelagerten Abfall gelten, zu bestimmen. Zusätzlich sind Information über die Gasdurchlässigkeit nötig. (Anhang 3 Kap. 4.1 DVO)

Gasdrainschicht

Für die Gasdrainschicht sind Informationen über die Mineralienzusammensetzung des verwendeten Materials oder, für alternative Systeme, Informationen über die Gleichwertigkeit gemäß ÖNORM S 2082 notwendig. (Anhang 3 Kap. 4.2 DVO)

Oberflächendichtung

Neben dem mittleren Jahresniederschlag, gebildet aus Daten von fünf dem Aufbringen der Oberflächendichtung direkt vorangegangenen Jahren, ist die Deponiesickerwasserneubildungsrate zu erfassen. Zusätzlich sind die zu erwartenden Setzungen zu bestimmen. Je nach Art der Oberflächendichtung sind noch zusätzliche Parameter zu bestimmen. (Anhang 3 Kap. 4.3 DVO)

Oberflächenentwässerung

Grundsätzlich sind die selben Informationen wie für Flächenfilter und Sickerwasserleitungen erforderlich. Bei geosynthetischen Drainagen ist zusätzlich die örtliche Frosttiefe zu ermitteln. Hydraulische Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit sind darüber hinaus über einen langfristigen Zeitraum nachzuweisen.

Rekultivierungsschicht

Für Erden aus Bodenaushub sind die in folgender Tabelle aufgelisteten Informationen nötig:

Wert	Einheit
Skelettgehalt > 2mm	Gewichts-% TM
Skelettgehalt > 63mm	Gewichts-% TM
TOC	Gewichts-% TM
TOC im Eluat	mg/kg TM
pH-Wert	-
elektrische Leitfähigkeit	mS/m
Gesamtstickstoff	Gewichts-% TM
Gesamtphosphor	Gewichts-% TM
Störstoffe (Kunststoff)	Gewichts-% TM
Störstoffe (Metall)	Gewichts-% TM

Tabelle 2.1: Parameter für Erden aus Bodenaushub

Bei Erden mit bodenfremden Bestandteilen aus technischer Herstellung sind zusätzlich die unten aufgeführten Parameter zu bestimmen:

Wert	Einheit
Tongehalt	Gewichts-% TM
Anteil austauschbarer Kationen am Austauschkomplex	
Ca	% von AK
Mg	% von AK
K	% von AK
Na	% von AK
C/N-Verhältnis	-
Wassergehalt bei Feldkapazität	Vol-%

Tabelle 2.2: zusätzliche Parameter für Erden mit bodenfremden Bestandteilen

2.2.6 Wasserhaushalt

Es sind Informationen über Sickerwassermengen und -qualitäten jedes Kompartiments, Menge des rückgeführten Sickerwassers, örtliche Niederschlagsmengen und örtliche Verdunstungsraten erforderlich.

2.2.7 Deponiegasbehandlung

Die Deponiegasbehandlung betreffend werden Informationen über erwartete Gasbildung der abzulagernden Abfälle und Zusammensetzung des Gases verlangt.

2.3 Abgelagerte Abfälle

Es werden eine Reihe chemischer Parameter zum Informationsgewinn benötigt (Anhang 4 Kap. 2 DVO): Folgende Tabelle zeigt die zu untersuchenden Parameter im Eluat:

Gehalte im Eluat	
pH-Wert	elektrische Leitfähigkeit
Abdampfrückstand	Aluminium (als Al)
Arsen (als As)	Barium (als Ba)
Beryllium (als Be)	Blei (als Pb)
Bor (als B)	Cadmium (als Cd)
Calcium (als Ca)	Chrom gesamt (als Cr)
Chrom(VI) (als Cr)	Cobalt (als Co)
Eisen (als Fe)	Kupfer (als Cu)
Magnesium (als Mg)	Mangan (als Mn)
Molybdän (als Mo)	Nickel (als Ni)
Quecksilber (als Hg)	Selen (als Se)
Silber (als Ag)	Thallium (als Tl)
Vanadium (als V)	Zink (als Zn)
Zinn (als Sn)	Ammonium (als N)
Chlorid (als Cl)	Cyanid gesamt (als CN)
Cyanid leicht freisetzbar (als CN)	Fluorid (als F)
Nitrat (als N)	Nitrit (als N)
Phosphat (als P)	Sulfat (als SO ₄)
Sulfid (als S)	gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) (als C)
extrahierbare organisch gebundene Halogene (EOX) (als Cl)	adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX) (als Cl)
Kohlenwasserstoff-Index, gesamt	Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK)
Tenside (als MBAS)	Phenolindex

Tabelle 2.3: Chemische Untersuchungsparameter für Abfälle -Eluat

Die untenstehende Tabelle listet die Untersuchungsparameter für den Abfall-Feststoff auf:

Gehalte im Feststoff	
Aluminium (als Al)	Arsen (als As)
Barium (als Ba)	Beryllium (als Be)
Blei (als Pb)	Bor (als B)
Cadmium (als Cd)	Calcium (als Ca)
Chrom gesamt (als Cr)	Chrom(VI) (als Cr)
Cobalt (als Co)	Eisen (als Fe)
Kupfer (als Cu)	Magnesium (als Mg)
Mangan (als Mn)	Molybdän (als Mo)
Nickel (als Ni)	Quecksilber (als Hg)
Selen (als Se)	Silber (als Ag)
Thallium (als Tl)	Vanadium (als V)
Zink (als Zn)	Zinn (als Sn)
gesamter organische Kohlenstoff (TOC) (als C)	Glühverlust
Summe von Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole (BTEX)	ausblasbare organisch gebundene Halogene (POX) (als Cl)

Gehalte im Feststoff	
Kohlenwasserstoff-Index, gesamt	Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK)
Phenolindex	Summe der polychlorierten Biphenyle (PCB)
Säureneutralisierungskapazität	

Tabelle 2.4: Chemische Untersuchungsparameter für Abfälle -Feststoff

Bei Abfällen aus mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen sind weiters zu untersuchen:

- Brennwert
- Atmungsaktivität nach vier Tagen (AT_4)
- die Gasspendensumme im Inkubationsversuch nach 21 Tagen (GS_{21}) oder die Gasbildung im Gärttest nach 21 Tagen (GB_{21})

Außerdem sind noch weitere Informationen über den Abfall verlangt:

Für alle Abfälle
Abfallart gemäß Abfallverzeichnis und Anlage 2 der AbfallverzeichnisVO i.d.g.F
Abfallquelle
Abfallherkunft
Abfallentstehung
Geruch
Farbe
physikalische Beschaffenheit
Konsistenz
Fotos (Abfall, Abfallort) falls erforderlich
Relevante Angaben über den Prozess, bei dem der Abfall anfällt
Abfallbesitzer
Abfallerzeuger
Abfallbehandlung oder Begründung warum diese entfällt
Verwertbarkeit
Homogenität
Abfallzusammensetzung
Auslaugverhalten
Angaben über ablagerungsrelevante Eigenschaften
Art und Entstehung einer allfälligen Kontamination
Darstellung des einbezogenen Vorwissens

Tabelle 2.5: Weitere Informationen für alle Abfälle

Zusätzlich sind für einige Abfallkategorien weitere Informationen nötig. Diese sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Abfallkategorie	Zusätzliche Informationen
Aushubmaterial	Sämtliche Angaben gem. Anhang 4 Teil 2 Kap. 1.2 DVO
Einmalig anfallende Abfälle	Gesamtmenge in kg
Abfallströme und wiederkehrend anfallende Abfälle	Jährliche Menge in kg
Siedlungsabfälle	Herkunftsgemeinde(n) und Sammelunternehmen

Tabelle 2.6: Zusätzliche Informationen für spezielle Abfallkategorien

2.4 Prozesse in der Deponie

Über Prozesse in der Deponie wird von Seiten der Deponieverordnung kein Wissen verlangt.

Dies verringert zwar den Aufwand der Wissenserhebung, allerdings gibt man damit einen bedeutenden Vorteil aus der Hand: durch das Wissen, was innerhalb der Deponie vor sich geht, ließen sich Deponien weitaus angepasster betreiben. Durch diese Sichtweise der Deponie als "Reaktor" könnte man die darin stattfindenden Reaktionen steuern und optimieren.

2.5 Emissions- und Immissionskontrolle

Befinden sich in hydrogeologischer Nähe der Deponie Oberflächengewässer oder Grundwasserkörper, so muss eine ausreichende Anzahl (wird in der Genehmigung festgelegt) an Messstellen errichtet werden.

Gesammelte Deponiesickerwässer und Deponiegase - bei Entgasungsanlagen - müssen beprobt und analysiert werden.

Die Häufigkeit der Messungen und die zu messenden Parameter werden in der jeweiligen Genehmigung der Deponie festgelegt.

Bei Deponiegasen sind jedenfalls folgende Parameter zu messen: O₂, CO₂ und CH₄.

2.6 Zusammenfassung

Die DVO schreibt prinzipiell einen großen Umfang an Parametern vor¹. In der praktischen Umsetzung existieren aber viele Möglichkeiten, die dies durch Ausnahmeregelungen wieder aufweichen. Die folgende Tabelle zeigt, bei welcher Deponie(unter)klasse in welchen Bereichen Ausnahmen gelten können, und wo die Vorgaben durch die Einzelgenehmigung bestimmt werden.

¹tabellarische Zusammenfassung auf Seite 87

Deponie(unter)klasse	Bodenaushub	Inertabfall	nicht gefährliche Abfälle				gefährliche Abfälle
			Baurestmassen	Reststoff	Massenabfall		
Standortanforderungen	○	○	○	○	○	○	
Untergundanforderungen	●	●	●	●	●	○	
Vorflut	●	●	●	●	●	-	
Standortsicherheit	○	○	○	○	○	○	
Roßplanum	●	○	○	○	○	○	
Basisdichtung	●	●	●	●	○	●	
Basisentwässerung	●	○	○	○	○	○	
Oberflächenabdeckung	●	●	●	●	●	●	
Wasserhaushalt	●	○	○	○	○	-	
Deponiegas	●	●	●	●	●	-	
Abgelagerte Abfälle	●	●	●	●	●	●	
Prozesse in der Deponie	-	-	-	-	-	○	
Emissionen / Immissionen	●	●	●	●	●	○	

Tabella 2.7: Übersicht über die Möglichkeit von Ausnahmen in der DVO

- keine Ausnahmen möglich
- Ausnahmen möglich
- nicht anwendbar

Wie man erkennt, ist die Anzahl von Ausnahmeregelungen nicht unerheblich. Diese lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Die erste Gruppe von Ausnahmeregelungen betrifft wegzulassende Informationen (z.B. nicht zu bestimmende Parameter). Die andere Gruppe besteht aus erweiterten Erlaubnissen (z.B. erhöhte Grenzwerte). Die Frage, die hier gestellt werden muss, ist folgende: Macht es Sinn, derart viele Parameter festzulegen, wenn später wieder Ausnahmeregelungen getroffen werden? Wäre es nicht viel besser, alles zu einer Anforderung zusammenzufassen?

Teil II

Formale Angelegenheiten

Kapitel 3

Lesbarkeit

Wie schon erwähnt, richtet sich die Deponieverordnung zwar hauptsächlich an eine spezielle Personengruppe, bei der entsprechendes Fachwissen vorauszusetzen ist. Jedoch soll sie auch für andere Personen zumindest verständlich sein.

Man muss sich vor Augen halten, dass die Personen mit dem geringsten Ausbildungsgrad, die die Deponieverordnung jedenfalls begreifen und befolgen müssen, eine Lehre der Chemielabortechnik (in Mindestausbildung: 4 Jahre Volksschule, 4 Jahre Hauptschule, 3.5 Jahre Lehre) abgeschlossen haben. Dies ergibt sich aus DVO §35 Abs.2 Z.2. Wenn man noch alle anderen Personen, die mit der DVO in Kontakt kommen könnten, hinzunimmt, muss man den vorauszusetzenden Ausbildungsgrad auf den Pflichtschulabschluss heruntersetzen.

Um nun die Lesbarkeit eines Textes zu überprüfen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Ich werde hier den Lesbarkeitsindex nach *Flesch und Amstad* benutzen. Dieser wurde von *Rudolf Flesch* für die englische Sprache entwickelt und von *Toni Amstad* auf die deutsche Sprache übertragen. Die Formel, welche die durchschnittliche Satzlänge (*ASL*) und die durchschnittliche Silbenanzahl (*ASW*) pro Wort berücksichtigt, sieht folgendermaßen aus:

$$FRE_{de} = 180 - ASL - ASW \cdot 58.5 \quad (3.1)$$

Mittels Online-Tool www.stilversprechend.de wurde die durchschnittliche Silbenanzahl sowie die durchschnittliche Satzlänge ermittelt.

Variable	Wert	Beschreibung
ASL	19.01	Durchschnittliche Satzlänge in Wörtern
ASW	2.24	Durchschnittliche Silbenanzahl pro Wort

Tabelle 3.1: Ergebnisse der Textanalyse

Damit kann der Flesch-Wert entsprechend Gleichung 3.1 bestimmt werden:

$$FRE_{de} = 180 - 19.01 - 2.24 \cdot 58.5 \approx 29 \quad (3.2)$$

Dieser Wert kann nun in Relation zu bekannten Werten für verschiedene Textniveaus gesetzt werden:

Flesch-Wert	Textniveau	Typisches Beispiel	Verständlich für
> 80	banal	Comic, Werbetext	11-jährige Schüler
71 - 80	sehr einfach	Boulevardzeitung	
61 - 70	einfach	Kochrezept, Weblog	15-jährige Schüler
46 - 60	durchschnittlich	Qualitätszeitung	
36 - 45	schwierig	AGB, Gesetzestext	
< 35	sehr schwierig	Doktorarbeit	Akademiker

Tabelle 3.2: Lesbarkeitsindex nach Flesch u. Amstad

Mit einem Wert von 29 liegt die DVO somit weit außerhalb des Bereichs von üblichen Gesetzestexten, und noch viel weiter von dem Verständlichkeitsgrad entfernt, der laut den Zielvorgaben der Leserschaft angepasst wäre.

Eine weiterführende Analysemöglichkeit wäre die vierte Wiener Sachtextformel¹. Auf diese wird hier aber lediglich verwiesen.

Ein weiterer Punkt, der das Lesen der DVO stark erschwert, ist die Tatsache, dass die DVO zahlreiche interne sowie externe Querverweise hat. Dies macht es fast unumgänglich, sich einzelne Teile herauszuschreiben, um den Text als Ganzes zu begreifen.

Um dies graphisch erfassbar zu machen, wurde für den Hauptteil (ohne Anhänge) ein Leseflussdiagramm erstellt. Dieses zeigt, wie sehr die DVO auf sich selbst und andere Dokumente verweist. Die 49 Kästchen in der Mitte repräsentieren den Hauptteil der DVO, der in seine 49 Paragraphen gegliedert wurde. Die Kästchen auf der rechten Seite stellen die Anhänge bzw. andere Dokumente dar, auf die verwiesen wird. Die grauen Kreisbögen stellen Querverweise zwischen den Paragraphen des Hauptdokuments dar. Die farbigen Linien repräsentieren Verweise auf die Anhänge 1 bis 8 sowie auf andere Dokumente.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass auch die Anhänge selbst Verweise enthalten. Da sich diese aber auf mehr als 60 Dokumente beziehen, wurden diese nicht dargestellt.

Eine Tabelle mit den in der Grafik verwendeten Abkürzungen findet sich auf Seite 28.

¹Ermittelt die Anzahl an Schuljahren, die ein Leser absolviert haben muss, um den analysierten Text zu verstehen

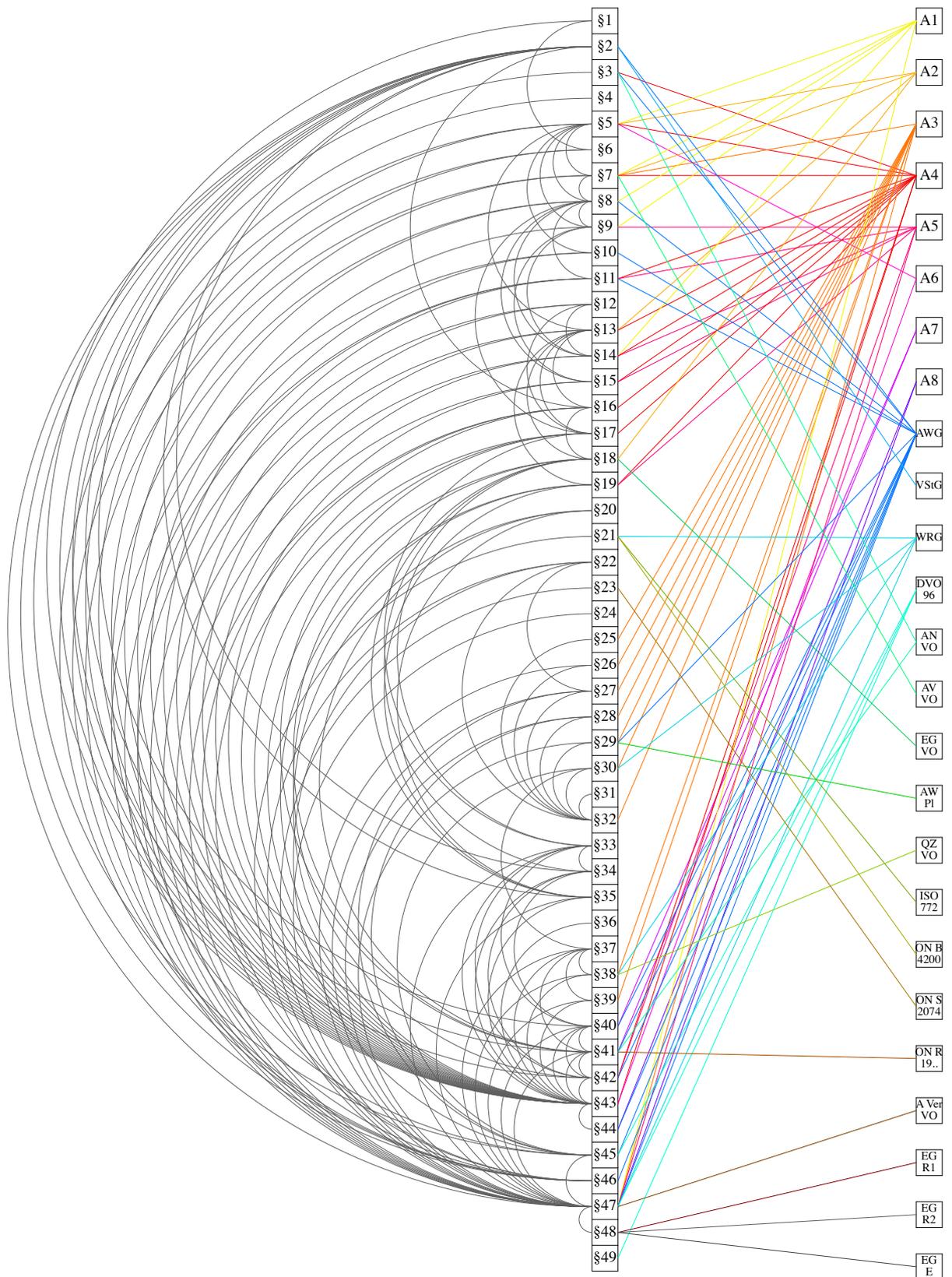


Abbildung 3.1: Leseflussdiagramm

Abkürzung	Bedeutung
A1	Deponieverordnung 2008, Anhang 1
A2	Deponieverordnung 2008, Anhang 2
A3	Deponieverordnung 2008, Anhang 3
A4	Deponieverordnung 2008, Anhang 4
A5	Deponieverordnung 2008, Anhang 5
A6	Deponieverordnung 2008, Anhang 6
A7	Deponieverordnung 2008, Anhang 7
A8	Deponieverordnung 2008, Anhang 8
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
VStG	Verwaltungsstrafgesetz 1991
WRG	Wasserrechtsgesetz 1959
DVO 96	Deponieverordnung 1996
AN VO	Abfallnachweisverordnung 2003
AV VO	Abfallverzeichnisverordnung
EG VO	EG-Verordnung Nr. 1013/2006
AW Pl	Bundesabfallwirtschaftsplan
QZ VO	Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer
ISO 722	ÖNORM EN ISO 772
ON B 4200	ÖNORM B 2400
ON S 2074	ÖNORM S 2074-1 und 2074-2
ON R 19..	ÖNORM Regel 192150
A Ver VO	Abfallverbrennungsverordnung
EG R1	EG Richtlinie 1999/31/EG
EG R2	EG Richtlinie 2006/12/EG
EG E	EG Entscheidung 2003/33/EG

Tabelle 3.3: Verwendete Abkürzungen im Leseflussdiagramm

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die DVO als Ganzes der Zielgruppe nicht angepasst ist. Durch die schlechte Lesbarkeit des Textes sowie die hohe Anzahl von Querverweisen stellt sie selbst für Akademiker eine Herausforderung dar. In diesem Punkt besteht großer Veränderungsbedarf.

Kapitel 4

Zitierung von Normen

In der Deponieverordnung werden 62 verschiedene Ö-/EN-/ISO-/. Normen zitiert. Die meisten davon beschreiben und regulieren Prüfverfahren. Im Grunde genommen ist dem gegenüber nichts einzuwenden. Jedoch führt ein bestimmter Satz in der DVO zu ungewollten Konsequenzen:

§2. (1) Diese Verordnung legt den Stand der Technik für Deponien gemäß §2 Abs.7 Z4 AWG 2002 fest.

Genau der Begriff "*Stand der Technik*" stellt das Problem dar.

Normen der verschiedenen Normungsinstitute werden dazu entwickelt, gewisse Standards festzulegen. Diese Standards sind als Hilfestellung zu verstehen, den Stand der Technik auf jeden Fall einzuhalten. Diese Tätigkeit des Erstellens von Normen lassen sich die Normungsinstitute finanziell vergüten. An und für sich ist dies kein Problem.

Das Problem beginnt aber an jenem Punkt, an dem der Stand der Technik nur mehr über Normen definiert wird. Grundsätzlich sollte jedem Anwender überlassen werden, ob er eine (kostenpflichtige) Norm zu Rate zieht, oder den Stand der Technik auch ohne entsprechende Norm erreicht. Diese Alternative ergibt sich aus dem Grundsatz, dass Gesetze und Verordnungen - bei diesen aber nicht explizit zwingend vorgeschrieben - frei zugänglich sein müssen. Wenn jedoch kostenpflichtige Normen notwendig sind, um eine Verordnung im ganzen Ausmaß begreifen zu können, begibt man sich in eine rechtliche Grauzone.

Nachfragen bei *Rudolf Thienel*¹ liefert folgende momentane Situation:

Es wird argumentiert, dass manche Verordnungen (hier: die DVO) nicht an die Allgemeinheit, sondern nur an eine bestimmte Personengruppe gerichtet sind, der der Erwerb der zugehörigen Normen zumutbar ist. Allerdings ist die Entscheidung, wie groß diese bestimmte Personengruppe maximal sein darf, noch nicht ausjudiziert.

¹Vizepräsident des österreichischen Verwaltungsgerichtshofes

Sollte entschieden werden, dass die Personengruppe der DVO zu groß wäre, bedeutet dies in letzter Konsequenz, dass entweder die DVO umgeschrieben werden muss (Qualitative Anforderungen statt Angabe der entsprechenden Norm), oder die entsprechenden Normen zu Allgemeingut (=Enteignung des Normungsinstitutes!) erklärt werden.

Da diese Entscheidung noch nicht ausjudiziert wurde, werde ich hier die Kosten² anführen, die bei Erwerb der in der Deponieverordnung zitierten Normen entstehen.

Bei elektronischem Bezug	4.292,89 €
Bei gedrucktem Bezug mit Selbstabholung	5.337,09 €
Bei gedrucktem Bezug mit Versand	5.342,09 €

Tabelle 4.1: Kosten für Normen

Die genaue Aufstellung und Berechnung findet sich auf den folgenden Seiten.

Zudem muss noch erwähnt werden, dass die ÖNORM B 4401-3 seit 1.Jänner 2007³ und die ÖNORM B 3303 seit 1.September 2010 zurückgezogen⁴ wurden. (Stand 19.10.2010)

²berechnet aus Daten des österr. Normungsinstituts (<http://www.as-plus.at/shop/>) vom 19.10.2010

³man beachte: Inkrafttreten der Deponieverordnung: 1.März 2008

⁴vom Normungsinstitut für ungültig erklärt

NORM	Bezeichnung	Preis Druck	Preis Download
CEN/TR 15310-1	Charakterisierung von Abfall - Probenahme - Teil 1: Richtlinien zur Auswahl und Anwendung von Kriterien für die Probenahme unter verschiedenen Bedingungen	142,00 €	113,60 €
CEN/TR 15310-5	Charakterisierung von Abfall - Probenahme - Teil 5: Verfahren zur Aufstellung eines Probenahmeplans	99,00 €	79,20 €
DIN 38414-17	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung von ausblasbaren und extrahierbaren, organisch gebundenen Halogenen (S 17)	36,80 €	33,12 €
DIN 53804-1	Statistische Auswertung - Teil 1: Kontinuierliche Merkmale	80,30 €	72,27 €
DIN 53804-1 Berichtigung	Berichtigungen zu DIN 53804-1:2002-04	0,00 €	0,00 €
EN 27888	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (ISO 7888:1985)	60,00 €	48,00 €
ISO 22155	Soil quality – Gas chromatographic determination of volatile aromatic and halogenated hydrocarbons and selected ethers – Static headspace method	75,00 €	60,00 €
ISO 7888:1985	Water quality – Determination of electrical conductivity	40,80 €	32,64 €
ÖNORM B 2503	Kanalanlagen - Ergänzende Bestimmungen für die Planung, Ausführung und Prüfung	132,00 €	105,60 €
ÖNORM B 3303	Prüfverfahren Beton (PVB) - Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe	232,00 €	185,60 €
ÖNORM B 4400	Geotechnik - Teil 1: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden - Regeln zur Umsetzung der ÖNORMEN EN ISO 14688-1 und -2 sowie grundlegende Symbole und Einheiten	429,00 €	343,00 €
ÖNORM B 4401-3	Erd- und Grundbau; Erkundung durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Protokollierung	70,00 €	56,00 €
ÖNORM B 4417	Erd- und Grundbau; Untersuchung von Böden; Lastplattenversuch	41,00 €	32,80 €
ÖNORM B 4418	Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau	52,00 €	41,60 €
ÖNORM B 4422-1	Erd- und Grundbau - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit - Laborprüfungen	91,00 €	72,80 €
ÖNORM B 4433	Erd- und Grundbau; Böschungsbruchberechnung	91,00 €	72,80 €

NORM	Bezeichnung	Preis Druck	Preis Download
ÖNORM CEN/TS 14405	Charakterisierung von Abfällen - Auslaugungsverhalten - Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom (unter festgelegten Bedingungen)	80,00 €	64,00 €
ÖNORM CEN/TS 14429	Charakterisierung von Abfällen - Untersuchung des Auslaugungsverhaltens - Einfluss des pH-Wertes unter vorheriger Säure/Base Zugabe	80,00 €	64,00 €
ÖNORM CEN/TS 15364	Charakterisierung von Abfällen - Untersuchung des Auslaugungsverhaltens - Prüfung der Säure- und Base-Neutralisierungskapazität	70,00 €	56,00 €
ÖNORM EN 12457-4	Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung - Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung)	80,00 €	64,00 €
ÖNORM EN 12506	Charakterisierung von Abfällen - Analyse von Eluaten - Bestimmung von pH, As, Ba, Cd, Cl-, Co, Cr, Cr (VI), Cu, Mo, Ni, NO ₂ -, Pb, Gesamt-S, SO ₄ ²⁻ , V und Zn	60,00 €	48,00 €
ÖNORM EN 12879	Charakterisierung von Schlämmen - Bestimmung des Glühverlustes der Trockenmasse	32,00 €	25,60 €
ÖNORM EN 13137	Charakterisierung von Abfall - Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) in Abfall, Schlämmen und Sedimenten	52,00 €	41,60 €
ÖNORM EN 13370	Charakterisierung von Abfällen - Chemische Analyse von Eluaten - Bestimmung von Ammonium, AOX, Leitfähigkeit, Hg, Phenolindex, TOC, leicht freisetzbarem CN-, F-	60,00 €	48,00 €
ÖNORM EN 13657	Charakterisierung von Abfällen - Aufschluss zur anschließenden Bestimmung des in Königswasser löslichen Anteils an Elementen in Abfällen	70,00 €	56,00 €
ÖNORM EN 14039	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung des Gehalts an Kohlenwasserstoffen von C10 bis C40 mittels Gaschromatografie	60,00 €	48,00 €
ÖNORM EN 14345	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung des Kohlenwasserstoffgehalts mittels Gravimetrie	60,00 €	48,00 €
ÖNORM EN 14346	Charakterisierung von Abfällen - Berechnung der Trockenmasse durch Bestimmung des Trockenrückstandes oder des Wassergehaltes	80,00 €	64,00 €

NORM	Bezeichnung	Preis Druck	Preis Download
ÖNORM EN 14899	Charakterisierung von Abfällen - Probenahme von Abfällen - Rahmen für die Erstellung und Anwendung eines Probenahmeplans	80,00 €	64,00 €
ÖNORM EN 14997	Charakterisierung von Abfällen - Untersuchung des Auslaugungsverhaltens - Einfluss des pH-Wertes auf die Auslaugung bei kontinuierlicher pH-Wert-Kontrolle	80,00 €	64,00 €
ÖNORM EN 15002	Charakterisierung von Abfällen - Herstellung von Prüfmengen aus der Laboratoriumsprobe	119,00 €	95,20 €
ÖNORM EN 903	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von anionischen oberflächenaktiven Substanzen durch Messung des Methylenblau-Index MBAS (ISO 7875-1:1984 modifiziert)	52,00 €	41,60 €
ÖNORM EN ISO 22475-1	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006)	193,00 €	154,40 €
ÖNORM EN ISO 7027	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Trübung (ISO 7027:1999)	41,00 €	32,80 €
ÖNORM EN ISO 9377-2	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des Kohlenwasserstoff-Index - Teil 2: Verfahren nach Lösemittelextraktion und Gaschromatographie (ISO 9377-2:2000)	91,00 €	72,80 €
ÖNORM EN ISO 9562	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung absorbierbarer organisch gebundener Halogene (AOX) (ISO 9562:2004)	80,00 €	64,00 €
ÖNORM L 1063	Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens mittels Drucktopf mit keramischer Platte	52,00 €	41,60 €
ÖNORM L 1083	Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Acidität (pH-Wert)	41,00 €	32,80 €
ÖNORM L 1200	Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden, Klärschlämmen und Komposten	111,00 €	88,80 €
ÖNORM Regel 192150	Datenstrukturen für den elektronischen Datenaustausch in der Abfallwirtschaft (Norm kann nicht downgeloadet werden, ist nur auf CD-Rom erhältlich)	48,00 € ⁵	48,00 €
ÖNORM S 2027-1	Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Teil 1: Atmungsaktivität (AT4)	60,00 €	48,00 €

⁵nicht gedruckt erhältlich

NORM	Bezeichnung	Preis Druck	Preis Download
ÖNORM S 2027-2	Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Teil 2: Gasspendensumme im Inkubationstest (GS21)	70,00 €	56,00 €
ÖNORM S 2027-3	Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen - Teil 3: Gasbildung im Gärttest (GB21)	70,00 €	56,00 €
ÖNORM S 2073	Deponien - Dichtungsbahnen aus Kunststoff - Anforderungen und Prüfungen	70,00 €	56,00 €
ÖNORM S 2074-1	Geotechnik im Deponiebau - Teil 1: Standorterkundung	52,00 €	41,60 €
ÖNORM S 2074-2	Geotechnik im Deponiebau - Teil 2: Erdarbeiten	70,00 €	56,00 €
ÖNORM S 2076-1	Deponien - Dichtungssysteme mit Abdichtungsbahnen aus Kunststoff - Teil 1: Verlegung	60,00 €	48,00 €
ÖNORM S 2076-2	Deponien - Dichtungssysteme mit Dichtungsbahnen aus Kunststoff - Teil 2: Systemanforderungen und Einbaubedingungen für geotextile Schutzlagen	52,00 €	41,60 €
ÖNORM S 2081-1	Deponien - Dichtungssysteme mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GBR-C) - Teil 1: Anforderungen und Prüfungen	60,00 €	48,00 €
ÖNORM S 2081-2	Deponien - Dichtungssysteme mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GBR-C) - Teil 2: Verlegung	52,00 €	41,60 €
ÖNORM S 2082	Deponien - Oberflächenabdeckungen - Systemanforderungen	41,00 €	32,80 €
ÖNORM S 2115	Bestimmung der Eluierbarkeit von Abfällen mit Wasser	23,00 €	18,40 €
ÖNORM S 2116-1	Untersuchung stabilisierter Abfälle - Teil 1: Herstellung der Probekörper	32,00 €	25,60 €
ÖNORM S 2116-2	Untersuchung stabilisierter Abfälle - Teil 2: Wasserlagerung	52,00 €	41,60 €
ÖNORM S 2116-3	Untersuchung stabilisierter Abfälle - Teil 3: Schnellkarbonatisierung	32,00 €	25,60 €
ÖNORM S 2116-4	Untersuchung verfestigter Abfälle - Elutionstests über 24 Stunden, 64 Tage, 2 Tage	80,00 €	64,00 €
ÖNORM S 2116-5	Untersuchung verfestigter Abfälle - Verfügbarkeitstest	41,00 €	32,80 €
ÖNORM S 2116-6	Untersuchung stabilisierter Abfälle - Teil 6: Schnellalterung	32,00 €	25,60 €
ÖNORM S 2116-7	Untersuchung stabilisierter Abfälle - Teil 7: Frostbeständigkeit	32,00 €	25,60 €

NORM	Bezeichnung	Preis Druck	Preis Download
ÖNORM S 2118-1	Probenahme und Probenaufbereitung von festen Abfällen für die Bestimmung des Brennwertes - Bestimmung des Brennwertes (Ho) von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen und vergleichbaren Materialien	70,00 €	56,00 €
ÖNORM S 2121	Probenahme von Böden für die Durchführung einer Abfalluntersuchung (konsolidierte Fassung)	70,00 €	56,00 €
ÖNORM S 2123-1	Probenahmepläne für Abfälle - Teil 1: Beprobung von Haufen	155,00 €	124,00 €
ÖNORM S 2123-2	Probenahmepläne für Abfälle - Teil 2: Beprobung fester Abfälle aus Behältnissen und Transportfahrzeugen	132,00 €	105,60 €
Zwischensumme		4.851,90 €	3.902,63 €
Umsatzsteuer (10%)		485,19 €	390,26 €
Summe		5.337,09 €	4.292,89 €
Versandkosten inkl. USt. 5,50 €		5.342,59 €	

Tabelle 4.2: Detaillierte Kosten für Normen

Teil III

Inhaltliche Angelegenheiten

Kapitel 5

Schaffung einer Wissensbasis - Beispiel 1

Das erste Beispiel soll sich der Frage widmen, ob die in der Deponieverordnung erwähnte technische Standortverbesserung tatsächlich machbar ist, da dies die Anzahl potentieller Deponiestandorte erweitern oder erheblich einschränken würde.

Falls es machbar und auch sinnvoll ist, Standorte durch technische Verbesserungsmaßnahmen deponietauglich zu machen, würde dies den Spielraum zukünftiger Deponiebetreiber erheblich vergrößern. Somit hängt die Suche nach einem geeigneten Standort deutlich weniger von geologischen und topographischen Gegebenheiten ab - von den erwähnten Ausschlussgebieten abgesehen. Diese sind jedoch in den Raumordnungsplänen verzeichnet und leicht eruierbar. Die Standortsuche würde sich dann eher auf gesellschaftliche Aspekte beschränken, d.h. in wie fern die lokale Bevölkerung ein Deponievorhaben in ihrer Nachbarschaft ablehnt (z.B. Befürchtungen wegen Lärm, Gestank), befürwortet (z.B. wegen Schaffung von Arbeitsplätzen in angeschlossenen Aufbereitungsbetrieben) oder ihm neutral gegenüber steht.

Sind jedoch technische Standortverbesserungsmaßnahmen nicht sinnvoll, würde das die Standortsuche auf jene Orte einschränken, die durch ihre geologische und topographische Beschaffenheit die benötigten Eigenschaften aufweisen. Dies bedeutet, dass auf die Wünsche der Bevölkerung nicht immer Rücksicht genommen werden kann, da ansonsten im schlimmsten Fall gar keine Deponie errichtet werden kann.

5.1 Theoretische Grundlagen

Das frühere Bemessungskonzept im Bauingenieurwesen, auch die Methode der zulässigen Spannungen oder deterministisches Bemessungskonzept genannt, beruht auf der Einhaltung eines gewissen Sicherheitsabstandes zwischen der Spannung, die durch eine Belastung hervorgerufen wird, und jener, bei der das Material versagt.

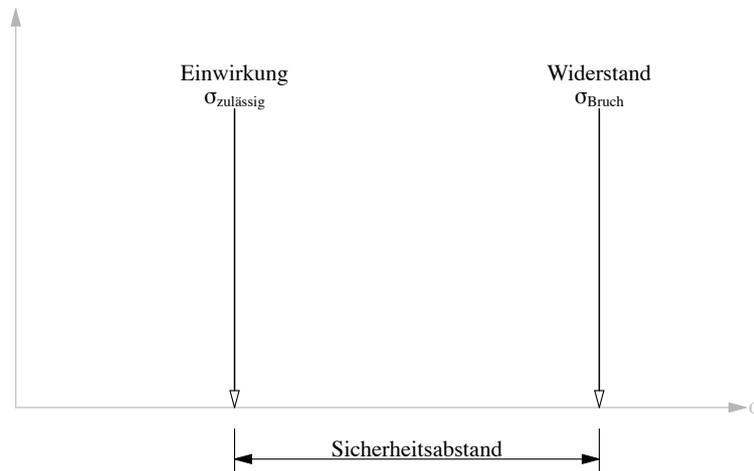


Abbildung 5.1: Deterministisches Sicherheitskonzept

Das Nachweiskonzept dieser Bemessungsmethode funktioniert folgendermaßen:

$$\frac{\text{Widerstand}}{\text{Einwirkung}} \leq (1 + \text{Sicherheitsabstand}) \quad (5.1)$$

Dieses Konzept basierte hauptsächlich auf Erfahrungswerten. Leider lässt es außer Acht, dass sowohl die Berechnungsmethoden für die Belastungen als auch die Materialeigenschaften gewisse Unsicherheiten haben.

Die Annahme der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte ist, dass diese Unsicherheiten statistisch verteilt sind, und dass diese Verteilung mathematisch erfassbar ist. Aufgrund der Gesetze der Wahrscheinlichkeitstheorie kann jeder beliebige Wert (wenn auch zum Teil mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit) vorkommen. Deshalb kann auch der Zustand eintreten, dass der Wert der Beanspruchung den Wert des Materialwiderstands überschreitet (=Versagen).

Wenn man die Wahrscheinlichkeitsverteilungen nun in obiges Diagramm mit hinein nimmt, dann sieht man, dass sich Teilbereiche der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen überschneiden. Die Fläche der Überschneidung ist stark von der Varianz der Dichtefunktionen abhängig, wie man in der folgenden Grafik sieht. Gleichzeitig ist diese Überschneidungsfläche ein Maß für die Versagenswahrscheinlichkeit.

Um der Nomenklatur treu zu bleiben, werden $\sigma_{zulässig}$ beziehungsweise σ_{Bruch} durch σ_E und σ_R ersetzt, wobei der Index E für Einwirkung und der Index R für Widerstand (engl./franz. resistance/résistance) steht. Entgegen der normalen statistischen Bezeichnung meint in diesen Grafiken der Buchstabe σ nicht die Standardabweichung sondern die Spannung laut Berechnung

oder laut Messung. Deshalb ist die Varianz auch durch $Var(x)$ gekennzeichnet und nicht durch σ^2 .

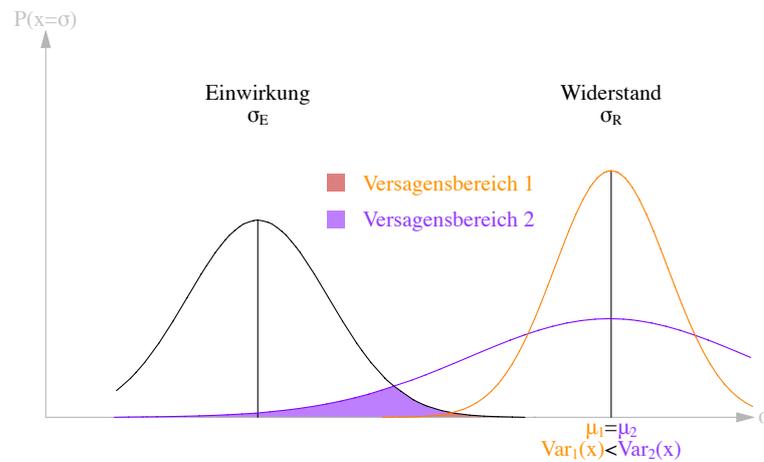


Abbildung 5.2: Einwirkung und Widerstand mit Wahrscheinlichkeitsdichte

Um die Versagenswahrscheinlichkeit berechnen zu können, müssen die Funktionen gefaltet werden. Um das Ganze leichter verständlich zu machen, wird in Abbildung 5.3 die gemeinsame Verteilungsdichte zweier Funktionen im 3-dimensionalen Raum dargestellt. Hier entspricht die Funktionsfläche dem Produkt der beiden Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen. Der rote Bereich zeigt den Versagensbereich, der grüne Bereich jenen ohne Versagen. Die Grenze zwischen beiden Bereichen nennt man Grenzzustandsfunktion. Das Volumen unter dem roten Bereich entspricht der Versagenswahrscheinlichkeit. Wichtig für die später folgenden Berechnungen ist der so genannte Sicherheitsindex β , der dem horizontalen Normalabstand zwischen Grenzzustandsfunktion und Maximum der Funktionsfläche entspricht.

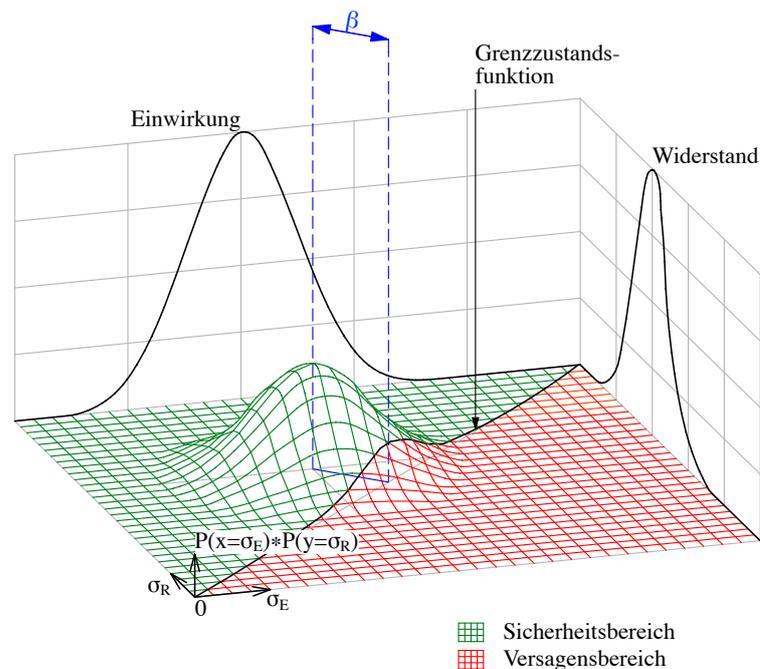


Abbildung 5.3: Gemeinsame Verteilungsdichte, adaptiert nach [FISCHER, 2010]

Da es zu einem sehr großen Aufwand führen würde, beide Wahrscheinlichkeitsfunktionen für jeden einzelnen Bauteil zu ermitteln, wird nun eine Art Mittelweg gewählt: Man bleibt bei dem alten deterministischen Bemessungssystem, kalibriert allerdings den Sicherheitsabstand anhand der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Aus diesem Grund wird das Bemessungssystem der Teilsicherheitsbeiwerte auch semi-probabilistisches Bemessungssystem genannt. Ziel des Ganzen ist, dass ein gewisses Sicherheitsniveau eingehalten wird, allerdings sollen die Berechnungsmethoden nicht erheblich kompliziert werden.

Dazu geht man folgendermaßen vor: Man definiert den Sicherheitsabstand als Abstand zwischen der 95-prozentigen Unterschreitungswahrscheinlichkeit der Einwirkungen $Q_{0,95}(\sigma_E)$ und der 5-prozentigen Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Widerstandes $Q_{0,05}(\sigma_R)$. Die eingeschlossene Fläche soll dann einer bestimmten Versagenswahrscheinlichkeit entsprechen.

Um eine Unabhängigkeit von Einwirkung und Widerstand zu erreichen, wird der Sicherheitsabstand als Produkt der Teilsicherheitsbeiwerte γ_E und γ_R definiert. Somit kann der Teilsicherheitsbeiwert γ_E der Einwirkungsseite für alle Materialien gleich gehalten werden und nur der Teilsicherheitsbeiwert γ_R für die Widerstandsseite ändert sich mit dem jeweiligen Material.

Die Abbildung 5.4 zeigt, in Anlehnung an Abbildung 5.2, die jeweiligen Quantilen der Einwirkungs- und Widerstandsseite, die Fläche der Versagenswahrscheinlichkeit sowie den neuen "Sicherheitsabstand".

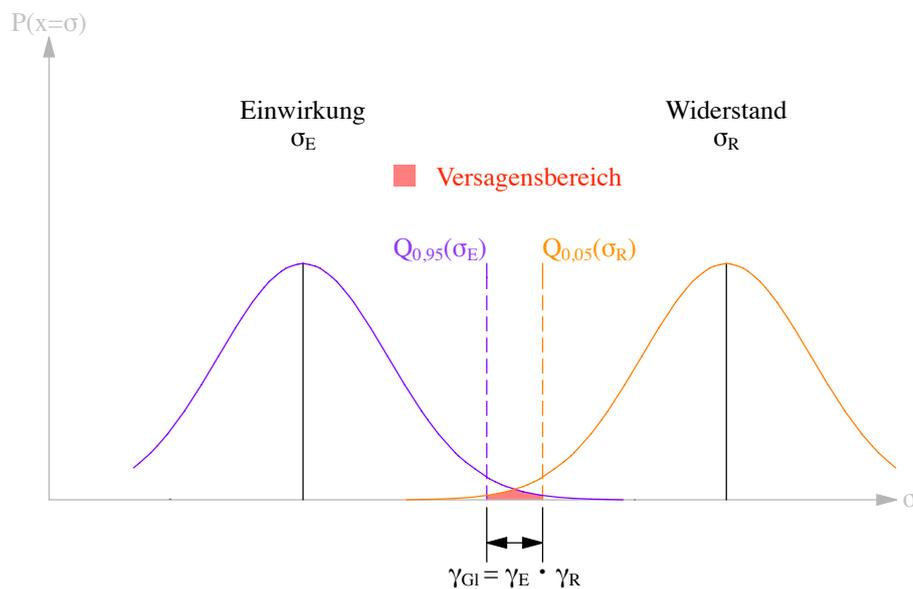


Abbildung 5.4: Definition des Sicherheitsabstandes "neu"

Damit sieht das Nachweisformat folgendermaßen aus:

$$\text{Einwirkung} \cdot \gamma_E \leq \frac{\text{Widerstand}}{\gamma_R} \quad (5.2)$$

5.2 Annahmen und Voraussetzungen

Um die Berechnung durchführen zu können, müssen zuerst einige Annahmen getroffen werden.

Als erstes muss ein Betrachtungszeitraum bestimmt werden. Die meisten Standortverbesserungsmaßnahmen bieten hauptsächlich Schutz vor Naturgewalten wie Hochwasser. Daher ist die wichtigste Überlegung, wie lange die Deponie Schutz vor diesen Naturgewalten braucht. Prinzipiell kommen verschiedene Zeiträume in Betracht.

Der erste ist derjenige, bis zu dem die Deponie durch geologische Vorgänge endgültig abgetragen ist. Dies entspricht dem Gedanken, die Deponie so lange zu schützen, solange sie existiert. Dies liegt naturgemäß jedenfalls auf der sicheren Seite. Um diesen Zeitraum abzuschätzen, wird eine mittlere Erosionsrate (die allerdings, klimatisch bedingt, stark schwanken kann) von 0.5 mm pro Jahr und eine mittlere Deponiehöhe (inkl. Oberflächenabdichtung, Rekultivierungsschicht etc.) von 25 Metern angenommen. Somit ergibt sich ein Betrachtungszeitraum von 50 000 Jahren.

Der zweite Zeitraum ist derjenige bis zur Umweltverträglichkeit der Emissionen. Dies folgt aus der Anforderung, die Deponie so lange zu schützen, bis von ihr keine Gefahr mehr für die Umwelt ausgeht. Um einen Anhaltspunkt für diesen Zeitraum zu finden, können die Berechnungen von [HEYER et al., 1997] herangezogen werden. Da diese aber Zeiträume für einzelne Parameter angeben, die im Bereich von einigen hundert Jahren liegen, möchte ich den Betrachtungszeitraum auf die nächste halbe Größenordnung aufrunden. Somit ergeben sich 500 Jahre.

Selbstverständlich ist es auch ein möglicher Ansatz, den Schutz über den gesamten Nachsorgezeitraum aufrechtzuerhalten. David Laner hat in [LANER, 2011] ein Modell entwickelt, den Nachsorgezeitraum zu bestimmen. Dieses beruht - kurz gesagt - auf der Betrachtung eines Immissionspunktes außerhalb der Deponie, bei dem der Grenzwert für bestimmte Parameter eingehalten werden muss. Da die in der Deponie vorhandenen potentiellen Schadstoffe gewisse Barrieren (Mobilisation in der Deponie, Abdichtungssysteme, Transportmechanismen in Boden und Wasser) überwinden müssen, kann auf diesem Wege der Nachsorgezeitraum bestimmt werden. Für die unter "Case Studies" angeführten drei Deponien wurden jeweils drei verschiedene Szenarien berechnet. In Summe also neun verschiedene mögliche Nachsorgezeiträume, die sich im Bereich von 0 bis 450 Jahren befinden. Dazu muss allerdings gesagt werden, dass es sich erstens um zwei verschiedene Deponietypen handelt, und der Wert von 0 Jahren nur bei der Baurestmassendeponie, und auch nur unter bestimmten Voraussetzungen gilt. Darüber hinaus sind diese Werte auch von den geologischen und topographischen Bedingungen des Deponiestandorts abhängig.

Für die nun folgende Berechnung möchte ich folgende Zeiträume betrachten:

Zeitraum	Bemerkung
50 Jahre	Regelbemessungsdauer im Bauingenieurwesen
500 Jahre	Umweltverträglichkeit der Emissionen
5000 Jahre	Zwischenwert
50000 Jahre	Deponie vollständig erodiert

Tabelle 5.1: Betrachtungszeiträume

Für den Zeitraum von 500 Jahren werde ich die Berechnung ausführlich anschreiben, für die anderen Zeiträume werde ich am Ende tabellarisch die Ergebnisse auflisten.

Nun gehört eine Grenze für das akzeptable Risiko - mathematisch gesprochen die Versagenswahrscheinlichkeit - festgelegt. Obwohl sie das Ergebnis naturgemäß stark beeinflusst, ist die Wahl des Wertes der Versagenswahrscheinlichkeit nicht von wissenschaftlichen Ergebnissen oder ähnlichem abhängig. Vielmehr ist es ein rein gesellschaftlicher Konsens, welches Risiko als gerade noch akzeptierbar angesehen werden kann. Die Wissenschaft stellt zwar einige Hilfsmittel zur Verfügung, wie zum Beispiel die Einteilung in Schadensfolgeklassen (Fragestellung: Wie groß sind die zu erwartenden Schäden für Menschenleben, andere Bauwerke, Volkswirtschaft, Umwelt, etc. bei Bauwerksversagen?) oder die zu erwartende Ausführungsgüte. Trotzdem bleibt es am Ende eine gesellschaftliche und damit auch politische Entscheidung.

Dazu muss noch gesagt werden, dass die im Bauingenieurwesen verwendeten Vorgaben für Versagenswahrscheinlichkeiten nur unter folgenden Voraussetzungen gelten:

- Die Wahl des Tragsystems und die Tragwerksplanung werden von dafür entsprechend qualifizierten und erfahrenen Personen durchgeführt.
- Die Bauausführung erfolgt durch geschultes und erfahrenes Personal.
- Sachgerechte Aufsicht und Überwachung werden während der Bauausführung sichergestellt.
- Die Verwendung der Baustoffe und Erzeugnisse erfolgt gemäß den Angaben in den entsprechenden Normen.
- Das Tragwerk wird sachgemäß instand gehalten.
- Das Bauwerk wird gemäß den Planungsannahmen genutzt.
- Die unmodifizierten Teilsicherheitsbeiwerte sind auf einen Zeitraum von 50 Jahren bezogen.

In dieser Arbeit werde ich die Versagenswahrscheinlichkeit mit 10^{-6} annehmen. Zur Begründung: Unter Einbeziehung der Schadensfolgeklassen sowie der Sicherheitsklassen kann man grob zusammenfassend folgendes festhalten:

Bauwerksbedeutung	Versagenswahrscheinlichkeit
niedrig	10^{-5}
mittel	10^{-6}
hoch	10^{-7}

Tabelle 5.2: Gängige Versagenswahrscheinlichkeiten bei bestimmten Bauwerksbedeutungen

Ich habe die 10^{-6} deshalb gewählt, weil eine Deponie in meinen Augen besondere Bedeutung hat, da sie ein Infrastrukturbauwerk darstellt, aber die Schäden nicht in so kurzer Zeit zu großen Folgen führen, wie z.B. bei dem Bruch einer Staumauer; das heißt, das eventuelle Schäden, wenn entdeckt, meistens noch rechtzeitig repariert werden können.

Weiters ist eine Grenze für den Vergrößerungsfaktor zu bestimmen, mit dem der Teilsicherheitsbeiwert der Widerstandsseite maximal multipliziert werden darf. In anderen Worten: ab wann ist eine Vergrößerung nicht mehr sinnvoll. Prinzipiell ist dieser Faktor frei wählbar, allerdings geht dieser linear in die Bauteildimensionen ein, was bei einem Damm (als Hochwasserschutzdamm wohl eine der häufigsten Standortverbesserungsmaßnahmen) sehr rasch zu einem sehr flachen aber sehr breiten Damm führt. (Faktor = 2 \Rightarrow doppelte Breite, Faktor = 3 \Rightarrow dreifache Breite etc.) Die Festlegung hängt natürlich von der Interessenabwägung Sicherheit gegen Kosten ab.

Wie man später sehen kann, ist der Vergrößerungsfaktor von verschiedenen Faktoren abhängig. Einige davon lassen sich mit Hilfe von naturwissenschaftlich-technischen Methoden berechnen. Jedoch gibt es zwei Werte, die durch gesellschaftlichen Konsens festgelegt werden müssen: Das Maß für das akzeptable Risiko und der Betrachtungszeitraum. Für das akzeptable Risiko gibt es wissenschaftliche "Hilfen" für die Entscheidungsträger. Damit bleibt als einzige zu wählende Variable der Betrachtungszeitraum übrig. Dieser entspricht dem Zeitraum, in dem das Schutzbauwerk standsicher sein soll. Aus diesem Grund werde ich die Berechnung für mehrere Zeiträume durchführen und das Ergebnis vergleichen.

Damit die in der Berechnung verwendeten Formeln, die aus [FISCHER, 2010] entnommen wurden, anwendbar sind, muss folgendes gelten:

Die Grenzzustandsfunktion¹ ist normalverteilt. Dies lässt sich allerdings nur im Nachhinein überprüfen. Für diese Überprüfung kann der *Satz von Cramér* angewendet werden. Laut diesem lässt sich eine normalverteilte Zufallsvariable nur in normalverteilte unabhängige Summanden zerlegen. Dies führt auf drei mögliche Fälle:

- a.) Durch Untersuchung von Schadensfällen stellt man fest, dass die Grenzzustandsfunktion normalverteilt ist. Das ist, aufgrund der sehr niedrig angesetzten Versagenswahrscheinlichkeit, kaum möglich, da nicht genug Schadensfälle für eine statistische Analyse zur Verfügung stehen.

¹Entsteht durch Faltung aller Teilverteilungsfunktionen, die die einzelnen Unsicherheiten bei Messung, Rechenmodell, Inhomogenitäten des Materials, etc. repräsentieren

- b.) Durch Untersuchung aller Teilverteilungsfunktionen stellt man fest, dass diese unabhängig und normalverteilt sind. Damit ist mit Hilfe des Satzes von Cramér auch die oben getroffene Annahme bewiesen.
- c.) Durch Untersuchung aller Teilverteilungsfunktionen stellt man fest, dass diese nicht unabhängig sind. Damit müssen alle Teilverteilungen durch Faltung zusammengeführt werden. Als Ergebnis kann (theoretisch) jede beliebige Verteilung herauskommen. Dann müsste überprüft werden, ob diese Verteilung eine Normalverteilung ist, oder zumindest einer Normalverteilung ausreichend nahe kommt.

Für diese Berechnung wird die Normalverteiltheit als gegeben angenommen. Dies ist notwendig, weil die gesamten Berechnungsformeln auf dieser Annahme basieren.

Da die Teilsicherheitsbeiwerte auch in die Formeln mit eingehen, müssen die Teilsicherheitsbeiwerte einer bestimmten "Bauingenieurdisziplin" herangezogen werden. Da die meisten Standortverbesserungsmaßnahmen in den Bereich des Grundbaus fallen, werde ich dessen Teilsicherheitsbeiwerte verwenden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte des Grundbaus sind stark variierend, weshalb ich auf der Einwirkungsseite einen Mittelwert gebildet habe. Auf der Widerstandsseite habe ich den maximal vorhandenen Wert für Böschungen genommen, da dieser (für einen Hochwasserschutzdamm) die maßgebende Größe ist.

	γ_E
ungünstig, ständig	1.1
ungünstig, wechselnd	1.5
Mittelwert	1.3

Tabelle 5.3: Teilsicherheitsbeiwerte auf Einwirkungsseite

	γ_R
Böschung, Scherwinkel undrainiert	1.4

Tabelle 5.4: Teilsicherheitsbeiwert auf Widerstandsseite

Als nächstes müssen die Sensitivitätsfaktoren festgelegt werden. Diese stellen das Verhältnis der Streuungen der Widerstands- und Einwirkungsseite dar. Die Bestimmung dieser Faktoren ist eine Wissenschaft für sich, da sie die Zuverlässigkeit des Systems entscheidend beeinflussen. Wie bei der Zulässigkeit der Annahme, dass die beteiligten Variablen normalverteilt sind, ist eine Bestimmung nur im Nachhinein möglich. Trotzdem können ungefähre Werte durch Berechnung von einfachen Szenarien abgeschätzt werden. Dies wurde zum Beispiel für die *DIN EN 1990:2002* durchgeführt. Die Sensitivitätsfaktoren für Einwirkungen und Widerstände werden deshalb nach *DIN EN 1990:2002* wie folgt festgelegt:

- $\alpha_E = -0.7$
- $\alpha_R = 0.8$

Außerdem müssen noch die k -Faktoren, die das gewählte Konfidenzniveau repräsentieren, festgelegt werden. Diese werden, wie schon auf Seite 42 erklärt, für das 95% bzw. das 5%-Quantil berechnet. Somit ergeben sich die k -Faktoren auf Einwirkungs- und Widerstandsseite zu:

- $k_E = -1.645$ für $p = 0.95$
- $k_R = 1.645$ für $p = 0.05$

Als letztes muss noch der Zielwert für den Zuverlässigkeitsindex ermittelt werden. Damit dieser zu den Sensitivitätsfaktoren passt, wird er, ebenfalls nach *DIN EN 1990:2002*, mit $\beta = 4.20$ angenommen. (mindestens zu erreichender Wert)

Zusammengefasst werden nun folgende Annahmen für die Berechnung getroffen:

Bezeichnung	Variable	Wert	Dimension
Betrachtungszeitraum	n	500	Jahre
Versagenswahrscheinlichkeit	P_F	10^{-6}	-
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungsseite	γ_E	1.3	-
Teilsicherheitsbeiwert Widerstandsseite	γ_R	1.4	-
Sensitivitätsfaktor Einwirkungsseite	α_E	-0.7	-
Sensitivitätsfaktor Widerstandsseite	α_R	0.8	-
k-Faktor Einwirkungsseite	$k_{E,p=0.95}$	-1.645	-
k-Faktor Widerstandsseite	$k_{R,p=0.05}$	1.645	-
Zuverlässigkeitsindex	β	4.20	-

Tabelle 5.5: Zusammenfassung der Annahmen

5.3 Berechnung

Wie schon erwähnt, ist das Ziel, einen Vergrößerungsfaktor f zu errechnen, mit dem der Teilsicherheitsbeiwert der Widerstandsseite modifiziert wird, um eine Standsicherheit für 500 Jahre sicherzustellen. Der Index *normal* steht für die normale Bemessungsdauer.

$$\gamma_{R,500a} = f \cdot \gamma_{R,normal} \quad (5.3)$$

Aufgelöst nach f ergibt das:

$$f = \frac{\gamma_{R,500a}}{\gamma_{R,normal}} \quad (5.4)$$

In der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten spielt der Zuverlässigkeitsindex β eine große Rolle. Dieser ist mathematisch definiert als Quotient von Mittelwert und Streuung der Grenzzustandsfunktion. Er steht mit der Versagenswahrscheinlichkeit P_F in folgendem Zusammenhang:

$$P_F = \Phi(-\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{-\beta} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad (5.5)$$

Um nun auf den Zuverlässigkeitsindex β zu kommen, benötigt man die inverse Funktion zur Φ -Funktion. Dies ist die so genannte *probit*-Funktion.

$$\Phi(z) = p \iff \text{probit}(p) = z \quad (5.6)$$

Diese Funktion ist leider nicht geschlossen lösbar. Um nun doch eine Formel für β zu finden, kann man die *probit*-Funktion durch die inverse Gaußsche Fehlerfunktion $erf^{-1}(x)$ ausdrücken.

$$\text{probit}(p) = \sqrt{2} \cdot erf^{-1}(2p - 1) \quad (5.7)$$

Die inverse Gaußsche Fehlerfunktion kann durch eine Taylorreihe dargestellt werden:

$$erf^{-1}(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sum_{m=0}^{k-1} \frac{c_m \cdot c_{k-1-m}}{(m+1)(2m+1)}}{2k+1} \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} x \right)^{2k+1} \quad \text{mit } c_0 = 1 \quad (5.8)$$

Die Kombination der Gleichungen 5.5 und 5.6 liefert nun eine weitere Formel für β :

$$\beta = -\text{probit}(P_F) \quad (5.9)$$

Zusammenführen der Gleichungen 5.8, 5.7 und 5.9 liefert einen berechenbaren Ausdruck für β .

$$\beta = - \left(\sqrt{2} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sum_{m=0}^{k-1} \frac{c_m \cdot c_{k-1-m}}{(m+1)(2m+1)}}{2k+1} \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} (2 \cdot P_F - 1) \right)^{2k+1} \right) \quad (5.10)$$

Einsetzen der Annahme $P_F = 10^{-6}$ in Formel 5.10 liefert mit Hilfe von Mathematiksoftware folgendes Ergebnis für β :

$$\beta = 4.75 \quad (5.11)$$

Laut Definition ist jedem β ein Zeitraum zugeordnet. Im betrachteten Fall sind dies (gemäß den Annahmen) 500 Jahre. Zur Veranschaulichung führt man nun den Index $500a$ ein. Somit gilt:

$$\beta_{500a} = 4.75 \quad (5.12)$$

Um den Zuverlässigkeitsindex β über verschiedene Zeiträume vergleichen zu können, muss dieser statt auf 500 Jahre auf 1 Jahr bezogen werden. Die *DIN 1055-100:2001* liefert hierfür folgende Näherungsformel, wobei n die Bezugsdauer in Jahren ist:

$$\Phi(\beta_n) \approx [\Phi(\beta_{1,n})]^n \quad (5.13)$$

Umformen und Einsetzen der 500 a als Bezugszeitraum in Gleichung 5.13 ergeben:

$$\Phi(\beta_{1,500a}) \approx \sqrt[500]{\Phi(\beta_{500a})} \quad (5.14)$$

Kombiniert mit Gleichung 5.5 und 5.6 erhält man:

$$\beta_{1,500} = \text{probit} \left(\sqrt[500]{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\beta_{500a}} e^{-\frac{1}{2}u^2} du} \right) \quad (5.15)$$

Führt man obige Gleichung nun noch mit den Ausdrücken 5.7 und 5.8 zusammen, ergibt sich eine Bestimmungsgleichung für $\beta_{1,500a}$.

$$\beta_{1,500a} = \sqrt{2} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sum_{m=0}^{k-1} \frac{c_m \cdot c_{k-1-m}}{(m+1)(2m+1)}}{2k+1} \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} \left(2 \cdot \left(\sqrt[500]{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\beta_{500a}} e^{-\frac{1}{2}u^2} du} \right) - 1 \right) \right)^{2k+1} \quad (5.16)$$

Eintippen in eine Mathematiksoftware liefert:

$$\beta_{1,500a} = 5.88 \quad (5.17)$$

Jetzt muss nur mehr der Parameter β in den Faktor f transformiert werden. Dazu werden die Formeln für die Teilsicherheitsbeiwerte angeschrieben.

$$\gamma_E = \frac{1 - \alpha_E \cdot \beta_{1,normal} \cdot V_E}{1 - k_E \cdot V_E} \quad (5.18)$$

$$\gamma_R = \frac{1 - k_R \cdot V_R}{1 - \alpha_R \cdot \beta_{1,normal} \cdot V_R} \quad (5.19)$$

Im Folgenden werden die beiden Formeln so umgeformt, dass man einen Ausdruck für den Variationskoeffizienten erhält.

$$V_E = \frac{-(\gamma_E - 1)}{\alpha_E \cdot \beta_{1,normal} - \gamma_E \cdot k_E} \quad (5.20)$$

$$V_R = \frac{\gamma_R - 1}{\alpha_R \cdot \beta_{1,normal} \cdot \gamma_R - k_R} \quad (5.21)$$

Zur Erinnerung: Es gelten laut den Annahmen folgende Werte:

Bezeichnung	Variable	Wert
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungsseite	γ_E	1.3
Teilsicherheitsbeiwert Widerstandsseite	γ_R	1.4
Sensitivitätsfaktor Einwirkungsseite	α_E	-0.7
Sensitivitätsfaktor Widerstandsseite	α_R	0.8
k-Faktor Einwirkungsseite	k_E	-1.645
k-Faktor Widerstandsseite	k_R	1.645
Zuverlässigkeitsindex	$\beta_{1,normal}$	4.20

Tabelle 5.6: Zusammenfassung der Annahmen

Werden nun die Werte für β , γ und k eingesetzt, erhält man die zugehörigen Variationskoeffizienten:

$$V_E = \frac{-(1.3 - 1)}{(-0.7) \cdot 4.20 - 1.3 \cdot (-1.645)} = 0.374 \quad (5.22)$$

$$V_R = \frac{1.40 - 1}{0.8 \cdot 4.20 \cdot 1.40 - 1.645} = 0.131 \quad (5.23)$$

Als nächstes schreibt man den Sicherheitsabstand, auch globaler Sicherheitsfaktor γ_{Gl} genannt, an. Zur Veranschaulichung sei auf Abbildung 5.4 auf Seite 42 hingewiesen.

Für die normale Bemessungsdauer:

$$\gamma_{Gl,normal} = \gamma_{E,normal} \cdot \gamma_{R,normal} \quad (5.24)$$

Für die 500 Jahre:

$$\gamma_{Gl,500a} = \gamma_{E,500a} \cdot \gamma_{R,500a} \quad (5.25)$$

γ_{Gl} kann laut [FISCHER, 2010] auch anders ausgedrückt werden:

$$\gamma_{Gl} = \frac{1 + V_R \cdot \Phi^{-1}(q_R)}{1 + V_E \cdot \Phi^{-1}(q_E)} \cdot \frac{1 + \beta \cdot \sqrt{V_R^2 + V_E^2 - \beta^2 \cdot V_R^2 \cdot V_E^2}}{1 - \beta^2 \cdot V_R^2} \quad (5.26)$$

Dividiert man Gleichung 5.25 durch Gleichung 5.24 ergibt sich:

$$\frac{\gamma_{Gl,500a}}{\gamma_{Gl,normal}} = \frac{\gamma_{E,500a} \cdot \gamma_{R,500a}}{\gamma_{E,normal} \cdot \gamma_{R,normal}} \quad (5.27)$$

Wegen dem "Gleichhalten" der Einwirkungsseite muss gelten:

$$\gamma_{E,normal} = \gamma_{E,500a} \quad (5.28)$$

Führt man nun die Gleichungen 5.28 und 5.27 zusammen und vergleicht diese mit Gleichung 5.4, erkennt man den Zusammenhang mit f .

$$\frac{\gamma_{Gl,500a}}{\gamma_{Gl,normal}} = \frac{\gamma_{E,normal} \cdot \gamma_{R,500a}}{\gamma_{E,normal} \cdot \gamma_{R,normal}} = \frac{\gamma_{R,500a}}{\gamma_{R,normal}} = f \quad (5.29)$$

Der Vergrößerungsfaktor f ergibt sich somit zu:

$$f = \frac{\gamma_{Gl,500a}}{\gamma_{Gl,normal}} = \frac{\frac{1+V_R \cdot \Phi^{-1}(q_R)}{1+V_E \cdot \Phi^{-1}(q_E)} \cdot \frac{1+\beta_{1,500} \cdot \sqrt{V_R^2+V_E^2-\beta_{1,500}^2 \cdot V_R^2 \cdot V_E^2}}{1-\beta_{1,500}^2 \cdot V_R^2}}{\frac{1+V_R \cdot \Phi^{-1}(q_R)}{1+V_E \cdot \Phi^{-1}(q_E)} \cdot \frac{1+\beta_{1,normal} \cdot \sqrt{V_R^2+V_E^2-\beta_{1,normal}^2 \cdot V_R^2 \cdot V_E^2}}{1-\beta_{1,normal}^2 \cdot V_R^2}} \quad (5.30)$$

Der folgende Vorfaktor

$$\frac{1+V_R \cdot \Phi^{-1}(q_R)}{1+V_E \cdot \Phi^{-1}(q_E)} \quad (5.31)$$

kommt sowohl im Zähler als auch im Nenner vor. Deshalb kann durch diesen gekürzt werden. Dies ergibt folgende vereinfachte Gleichung für f :

$$f = \frac{\frac{1+\beta_{1,500} \cdot \sqrt{V_R^2+V_E^2-\beta_{1,500}^2 \cdot V_R^2 \cdot V_E^2}}{1-\beta_{1,500}^2 \cdot V_R^2}}{\frac{1+\beta_{1,normal} \cdot \sqrt{V_R^2+V_E^2-\beta_{1,normal}^2 \cdot V_R^2 \cdot V_E^2}}{1-\beta_{1,normal}^2 \cdot V_R^2}} \quad (5.32)$$

Durch Einsetzen ergibt sich der gesuchte Faktor:

$$f = \frac{\frac{1+5.88 \cdot \sqrt{0.131^2+0.374^2-5.88^2 \cdot 0.131^2 \cdot 0.374^2}}{1-5.88^2 \cdot 0.131^2}}{\frac{1+4.20 \cdot \sqrt{0.131^2+0.374^2-4.20^2 \cdot 0.131^2 \cdot 0.374^2}}{1-4.20^2 \cdot 0.131^2}} = 1.8 \quad (5.33)$$

5.4 Variation der Zeitdauer

Werden nun die Zeiträume entsprechend Tabelle 5.1 variiert, ergeben sich folgende Faktoren:

Zeitraum	Faktor	Bemerkung
50 Jahre	1.0 ²	Regelbemessungsdauer im Bauingenieurwesen
500 Jahre	1.8	Umweltverträglichkeit der Emissionen
5000 Jahre	2.2	Zwischenwert
50000 Jahre	2.8	Deponie vollständig erodiert

Tabelle 5.7: Faktoren für verschiedene Betrachtungszeiträume

²Nicht berechnet, da 50 Jahre als Standardannahme gelten

5.5 Interpretation

Wie man sieht, beeinflusst die Wahl des Betrachtungszeitraumes das Ergebnis - den Vergrößerungsfaktor.

Mit dem Vergrößerungsfaktor steigen selbstverständlich auch die Kosten für das Bauwerk. Grob gesagt darf man annehmen, dass diese linear mit dem Faktor wachsen. Trotzdem sind große Schwankungsbreiten vorhanden. Dies kommt daher, dass die Baukosten stark von der verwendeten Baumethode abhängen. Deshalb sind die Kosten von Einzelfall zu Einzelfall gesondert zu betrachten.

Die Frage ist nun, was für ein Betrachtungszeitraum als akzeptabel angesehen wird. Dazu betrachten wir folgendes Gedankenmodell:

Eine Deponie befindet sich innerhalb eines Hochwassergefährdungsgebietes (HQ_{500}), aber sie ist gemäß DVO §21. Abs. 3 Z 2 durch einen Hochwasserschutzdamm gesichert. Wie lange soll nun der Damm "halten" und die Deponie schützen? Stellt man sich eine Deponieüberschwemmung bildlich vor, kann folgendes passieren: zum Einen könnte das Abdichtungssystem beschädigt werden. Dies würde zu unkontrollierten Sickerwasseraustritten führen. Außerdem würden sich die präferentiellen Sickerwege total verändern. Dies kann dazu führen, dass bis jetzt immobile Schadstoffe, die in "trockenen" Zonen zu liegen kamen, plötzlich mobilisiert werden. Unter Umständen in nicht ungefährlichen Konzentrationen. Es könnte aber auch gar nichts geschehen, wenn die Deponieabdichtung intakt bleibt.

Da es sich um eine HQ_{500} -Zone handelt, tritt das zu befürchtende Hochwasser sehr selten (im Schnitt alle 500 Jahre) auf, dafür ist es aber extrem stark.

Die Hydrologie stellt hierbei die entscheidende Informationsquelle dar. Allerdings ist das Problem etwas vielschichtiger. Es existieren jedenfalls Karten, auf denen entsprechende Risikogebiete verzeichnet sind. Jedoch müssen Hydrologen (im Sinne von Gutachten) nicht immer konsultiert werden. Dies hängt von dem jeweiligen Bewilligungsverfahren ab. Die generelle Fachmeinung der Hydrologen lässt sich aber in einem Satz zusammenfassen: Hochwasserrisikogebiete sind - so gut wie möglich - von Bauwerken aller Art freizuhalten, insbesondere von Infrastrukturbauwerken. Dies steht im starken Gegensatz zur Möglichkeit, Deponien in HQ_{500} -Gebieten zu errichten.

Trotzdem kann mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung eine Eintrittswahrscheinlichkeit - und die damit verbundenen Kosten - für verschiedene Überflutungsszenarien ausgerechnet werden. Grob gesagt: Je länger der Betrachtungszeitraum, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden eintritt. Allerdings nimmt mit der Zeit auch der mögliche Schaden ab, da durch die Deponiesickerwässer der Schadstoffgehalt in der Deponie reduziert wird. Für einen eventuell entstehenden Schaden muss aber auch irgendjemand aufkommen. Dies führt auf die Frage der Finanzierung. Müsste man die abgeschätzte Summe zu Beginn der Deponieerrichtung bereitstellen, würde dies die Abfallgebühren um ein Vielfaches erhöhen. Soll diese Summe erst beim Schadenseintritt verfügbar sein, wäre der vorzuhaltende Sicherstellungsbetrag - und damit deren auf die Abfallgebühren umgelegter Anteil - klein. Dafür dürfte der Schadensfall erst nach einem gewissen Zeitraum eintreten, da sonst eine Finanzierungslücke entsteht.

Wie immer man es auch betrachtet, jede Wahl eines Betrachtungszeitraumes hat ihre Risiken (Schadensrisiko, finanzielles Risiko). Das Einzige zu bedenkende dabei ist, dass die Folgen des aufgenommenen Risikos nicht von uns sondern von folgenden Generationen zu tragen sein werden. Gerade diese Tatsache sollte uns dazu anspornen, die Entscheidung über den Betrachtungszeitraum gewissenhaft und sorgfältig zu treffen. In diesem Beispiel wurde versucht, einen Anfang für eine verbesserte Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Jedoch sind, wie schon bei den Annahmen erwähnt, einige Unsicherheiten vorhanden, die durch weitere wissenschaftliche Beschäftigung mit dieser Thematik möglichst verringert werden sollen.

Kapitel 6

Schaffung einer Wissensbasis - Beispiel 2

In diesem Beispiel soll der Vorgang der Probenahme und nachfolgender Analyse untersucht werden. Es ist für eine funktionierende Abfallwirtschaft sehr wichtig, dass genügend Informationen über den Abfall vorhanden sind. Eine Quelle für Informationen stellt die chemische Analyse des Abfalls dar. Jedoch stößt die traditionelle chemische Analytik, wenn es um Abfälle geht, auf einige Schwierigkeiten. Die größte Schwierigkeit ist die extrem heterogene Zusammensetzung des Abfalls. Außerdem ist die "Körnung", d.h. der maximale Durchmesser von einzelnen festen Bestandteilen sehr groß. Es gibt zwar traditionelle Formeln, mit denen eine Probemenge bestimmt werden kann, diese liefern aber in der Regel nicht handhabbare Probemengen.

Anhand des Beispiels von PAK(polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)-haltigen Isolieranstrichen wird überprüft, ob eine Analyse entsprechend den Vorschriften gemäß DVO Ergebnisse liefert, um eine grenzwertrelevante PAK-Kontamination von Abbruchmaterial zu erkennen, auch wenn vor der Analyse kein Kontaminationsverdacht besteht.

6.1 Szenario

Ein typisches Haus aus den 70er Jahren soll abgerissen werden. Es wurde in Ziegelbauweise entsprechend den damals gültigen Regelbauweisen errichtet.

Diese Regelbauweise entspricht üblicherweise einem Ziegelmauerwerk in allen Geschossen, wobei als Ziegelformat der deutsche Normalformat-Vollziegel verwendet wird. Um die Berechnung zu vereinfachen, werden nur die Ziegel ohne Mörtelfugen betrachtet. Außerdem wird angenommen, dass die Ziegel beim Abbruch ganz bleiben.

Der grenzwertrelevante Parameter wird in der Abdichtung und damit auf den Ziegeln der Kelleraußenwand zu finden sein. Als Abdichtungsmaterial kamen Bitumen und Steinkohlenteer gleichermaßen zum Einsatz. Aufgrund ihrer sehr ähnlichen Eigenschaften (und die damalige Unkenntnis über die kanzerogene Wirkung von PAK) wurde in der Bezeichnung kaum ein Unterschied gemacht.

Die Abbildungen 6.1 und 6.2 auf der nächsten Seite zeigen die Grundrisse des Gebäudes, Tabelle 6.1 die Regelaufbauten der Wände. Aus diesen Daten kann man gemäß Tabelle 6.2 die Anzahl der verwendeten Ziegel bestimmen.

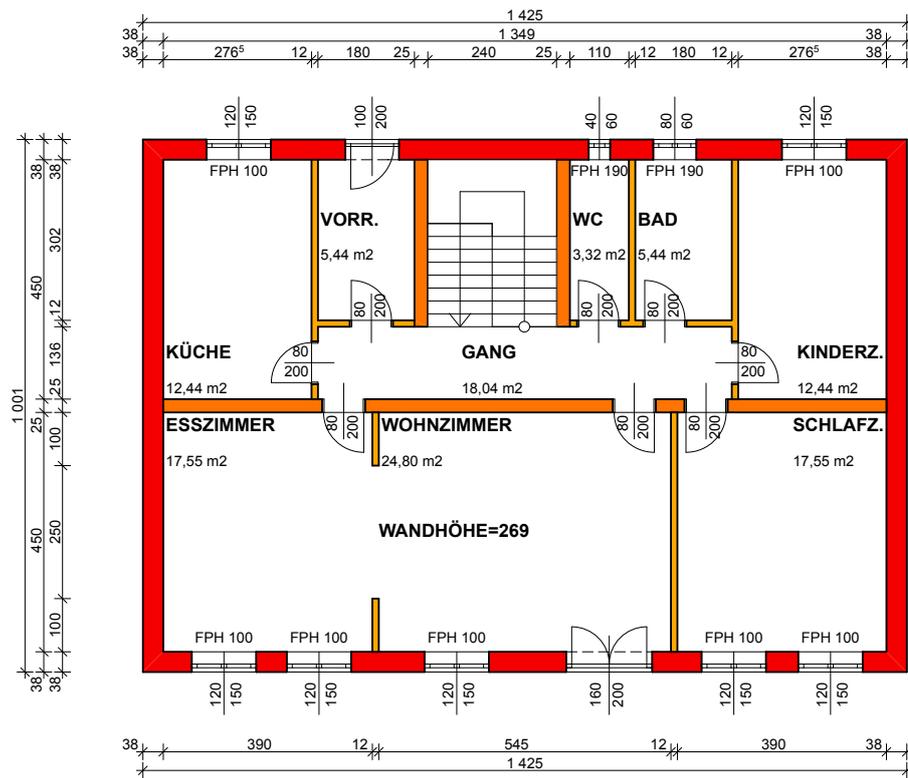


Abbildung 6.1: Grundriss Erdgeschoss

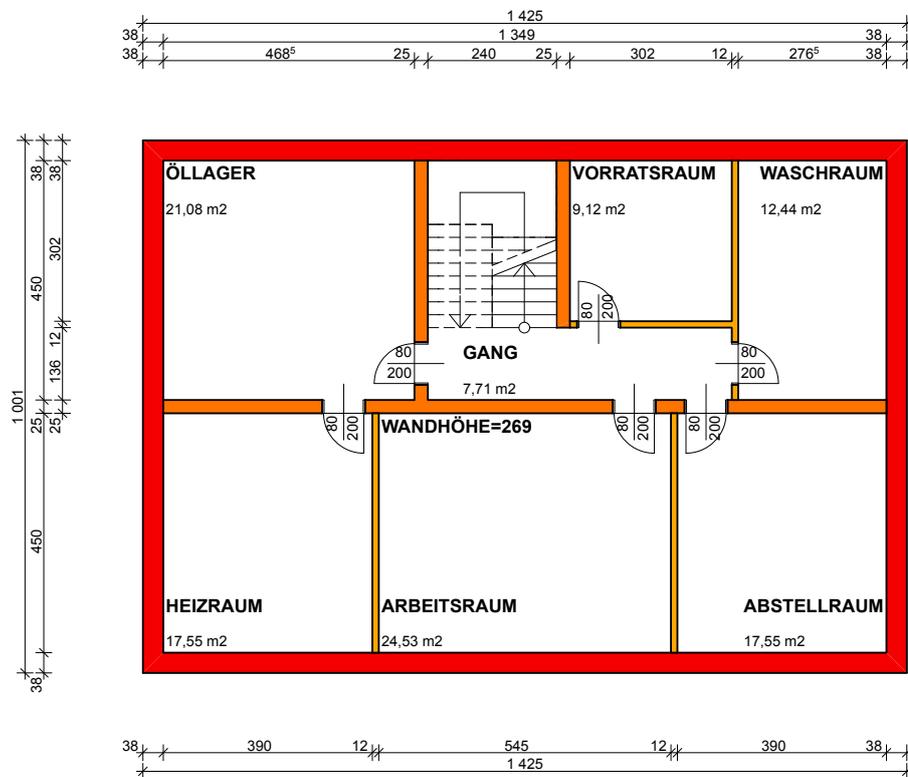


Abbildung 6.2: Grundriss Kellergeschoss

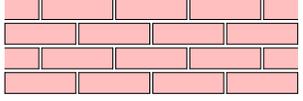
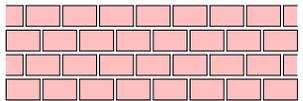
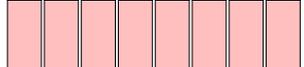
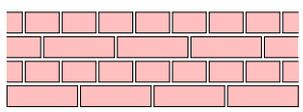
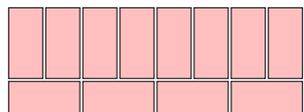
Art	Ansicht	Grundriss	Ziegel/Schar & lfm
Innenwand nichttragend			4
Innenwand tragend			8
Außenwand			12

Tabelle 6.1: Benutzte Ziegelverbandsarten im Haus

Ebene	Bauteil	Anzahl [-]	Länge [m]	Gesamtlänge [m]	Scharen [-]	Anzahl [Ziegel/m]	Stück [Ziegel]
KG	Außenwand	2	10.01	47.00	32	12	18 048
		2	13.49				
	Innenw. tragend	1	13.49	21.13	32	8	5 409
		1	3.14				
	Innenw. nichttr.	3	4.50	16.52	32	4	2 115
		1	3.02				
	Türen	4	0.80	3.20	-24	8	-614
		2	0.80	1.60	-24	4	-154
EG	Außenwand	2	10.01	47.00	32	12	18 048
		2	13.49				
	Innenw. tragend	1	13.49	19.77	32	8	5 061
		2	3.14				
	Innenw. nichttr.	3	4.50	23.34	32	4	2 988
		2	1.00				
		2	3.02				
	Türen	1	1.80	2.60	-24	12	-749
		1	1.00				
		1	1.60				
		3	0.80				
	Fenster	5	0.80	2.40	-24	8	-461
		5	0.80	4.00	-24	4	-384
		7	1.20	8.40	-18	12	-1 814
1		0.80	1.20	-7	12	-101	
1	0.40						
Summe							47 392

Tabelle 6.2: Zusammenstellung aller Ziegel des Hauses

In der folgenden Tabelle sind die Kenndaten eines einzelnen Ziegels aufgelistet:

Länge	24.0	cm
Breite	11.5	cm
Höhe	7.1	cm
Dichte	1.7	g/cm ³
Masse	3 331.3	g

Tabelle 6.3: Kenndaten eines Ziegels

Zur Abdichtung gegen Bodenfeuchte wurden die Außenwände des Kellers gemäß [MITTAG, Detmold 1971] mit einem 2-lagigen Heißenstrich aus Bitumen oder Steinkohlenteer zu je 2 300 g/m² versehen.

Wie anfangs erwähnt, war man sich damals nicht über die Kanzerogenität von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bewusst, weshalb Bitumen und Steinkohlenteer als gleichwertige Materialien galten. Der Unterschied liegt jedoch im Gehalt an PAK, wie folgende Tabelle verdeutlicht.

Produkt	PAK-Gehalt [mg/kg]		
	von	bis	durchschnittlich
Steinkohlenteer	265 000	500 000	382 500
Bitumen	3	60	31.5

Tabelle 6.4: Vergleich PAK-Gehalt Bitumen und Steinkohlenteer

Wenn man die Verbandsart der Außenwand im Keller (Tabelle 6.1 auf Seite 57) betrachtet, stellt man fest, dass nur ein Teil der Ziegel mit Steinkohlenteer bestrichen ist. Nun kann man alle Ziegel zählen und den in Tabelle 6.5 angeführten Typen zuordnen.

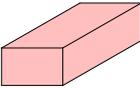
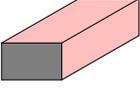
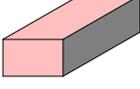
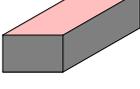
Typ	Skizze	Anzahl	Bestrichene Fläche	
			[cm ² /Ziegel]	[cm ²]
A		38 304	0.0	0
B		5 973	81.7	487 994
C		2 987	170.4	508 985
D ¹		128	252.1	32 269
Summe		47 392		1 029 248

Tabelle 6.5: Aufstellung der Ziegeltypen

Somit kann man den tatsächlichen Gehalt an PAK (bezogen auf die Ziegelmasse inkl. Anstrich) berechnen:

$$m_{SKT} = 1\,029\,248 \text{ [cm}^2\text{]} \cdot 2 \cdot 2\,300 \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right] = 473.5 \text{ [kg]} \quad (6.1)$$

$$m_{PAK} = m_{SKT} \cdot 0.3825 = 181.1 \text{ [kg]} \quad (6.2)$$

$$m_{Ziegel} = \Sigma(\text{Ziegel}) \cdot 3.3313 \left[\frac{\text{kg}}{\text{Ziegel}} \right] = 157\,877 \text{ [kg]} \quad (6.3)$$

$$m_{ges} = m_{SKT} + m_{Ziegel} = 158\,351 \text{ [kg]} \quad (6.4)$$

$$c_{PAK} = \frac{m_{PAK}}{m_{ges}} = 1\,144 \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right] \quad (6.5)$$

Die Frage ist nun, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Probenahme inklusive Analyse den tatsächlichen Gehalt an PAK (mit einem Toleranzbereich von $\pm 30\%$) trifft.

In weiterer Folge soll untersucht werden, wie die Probenahmenvorschrift aussehen müsste, um den tatsächlichen Gehalt (wieder mit einem Toleranzbereich von $\pm 30\%$) mit einer Sicherheit von 95% zu treffen.

¹nur in den Hausecken

6.2 Theoretische Grundlagen

6.2.1 Probenahmenvorschrift entsprechend DVO

Als erstes muss der Umfang der Stichprobe bestimmt werden. In der DVO Anh.4 Teil 2 Pkt.1.1 findet man dafür eine Formel:

$$\text{Probemenge einer Stichprobe (kg)} = 0.06 \cdot \text{Größtkorn (95\% - Quantil, in mm)} \quad (6.6)$$

Da ein Ziegel nicht rund ist, wird zur Bestimmung des Größtkorns das geometrische Mittel der Seitenlängen gebildet.

$$\bar{d} = \sqrt[3]{l_1 \cdot l_2 \cdot l_3} = 125 [mm] \quad (6.7)$$

Eingesetzt in Gleichung 6.6 ergibt das:

$$0.06 \cdot 125 = 7.5 [kg] \quad (6.8)$$

Da ein Ziegel rund 3.33 kg wiegt (siehe Tabelle 6.3), ergibt das eine Anzahl von $7.5/3.33 = 2.3 \Rightarrow 3$ Ziegeln pro Stichprobe.

Laut DVO Anh.4 Teil 2 Pkt.1.1 besteht eine qualifizierte Stichprobe nun aus (mindestens) 20 Stichproben. Dies ergibt 60 Ziegel oder ≈ 200 kg.

Da die Gesamtmasse des Haufens ($m_{ges} = 158\,351 [kg]$) zwischen 50 und 200 t liegt, schreibt die DVO Anh.4 Teil 2 Pkt.1.5 vier qualifizierte Stichproben vor, die zu 2 Feldproben zusammengefasst werden müssen.

Somit besteht eine Feldprobe aus 120 Ziegeln und hat eine Masse von 400 kg.

Nun wird die Feldprobe ins Labor gebracht, das weitere Aufbereitungsschritte vornimmt.

Gemäß DVO Anh.4 Teil 1 Pkt.3 sind für das weitere Verfahren die *dem Stand der Routine-Analytik entsprechende Aufbereitungs-, Aufschluss- und Analysemethoden mit für die Bestimmung der jeweiligen Parameter ausreichender Genauigkeit zu verwenden.*

Die Nachfrage in einem Labor für Umweltanalytik ergab folgende Vorgehensweise:

- Die Ziegel werden manuell (mit dem Hammer) halbiert, da sie sonst zu groß für den Backenbrecher sind.
- Die halben Ziegel werden mittels Backenbrecher auf 1 cm Größe heruntergebrochen.
- Der entstehende Haufen wird homogenisiert.
- Es wird eine Probe von 50 g gezogen.
- Die Probe wird aufgeschlossen.
- Der Aufschluss wird im GCMS (Gaschromatograf-Massenspektrometer) analysiert.

Die folgende Grafik zeigt zusammenfassend die Probenahme vor Ort.

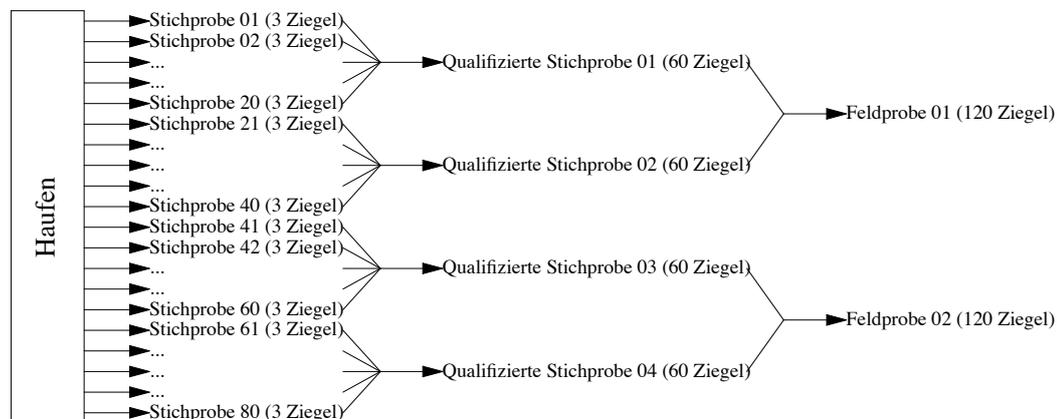


Abbildung 6.3: Schema Probenahme vor Ort

6.2.2 Mathematische Abbildung des Probenahmeprozesses

Der Probenahmeprozess, bei dem aus einem Ziegelhaufen bestehend aus vier verschiedenen Ziegeltypen 120 Ziegel entnommen werden, entspricht -mathematisch gesehen- einem multivariaten Urnenproblem ohne Zurücklegen: In einer Urne befinden sich N Kugeln, die 4 verschiedene Farben in den Anzahlen A, B, C, D haben.

$$N = A + B + C + D \quad (6.9)$$

Aus dieser Urne werden nun zufällig n Kugeln ohne Zurücklegen gezogen. Das Ziehungsergebnis besteht aus k_i Kugeln einer bestimmten Farbe.

$$n = \sum_{i=1}^4 k_i = a + b + c + d \quad (6.10)$$

Die dazugehörige Verteilungsfunktion aller k_i ist die *multivariate hypergeometrische Verteilung*. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Ziehungsergebnis aus $a + b + c + d$ Kugeln zusammengesetzt ist, lässt sich wie folgt berechnen:

$$P(a, b, c, d) = \frac{\binom{A}{a} \cdot \binom{B}{b} \cdot \binom{C}{c} \cdot \binom{D}{d}}{\binom{N}{n}} \quad (6.11)$$

Nun werden die gezogenen Ziegel zuerst mit dem Hammer halbiert, dann mittels Backenbrecher gebrochen.

In der Realität entsteht eine Mischung aus vielen verschiedenen Korngrößen. Für die Berechnung wird angenommen, dass würfelförmige Ziegelstückchen mit 1 cm Kantenlänge entstehen. In diesem Fall ist 1 cm² die größte Teeranstrichfläche, die auftreten kann. Es ist wahrscheinlich, dass die Ziegel im Brecher gut, der zähe Anstrich aber kaum auf Stücke unter 1 cm² Fläche zerkleinert wird. Die Heterogenität hinsichtlich PAK-Verteilung ist trotz feineren Ziegelbruchs also real wahrscheinlich höher als unter der getroffenen Annahme. Eine genauere Aufteilung in Korngrößen(klassen) würde das mathematische Verfahren weiter verkomplizieren, weshalb hier darauf verzichtet wird.

Folgende Tabelle zeigt, aus welchem Ziegeltyp welche und wie viele Würfeltypen beim Zerteilen entstehen:

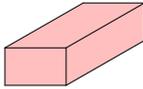
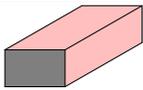
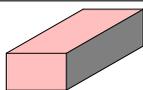
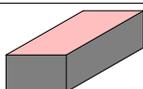
Typ		H	I	J
				
A		1 848		
B		1 771	77	
C		1 680	168	
D		1 610	231	7

Tabelle 6.6: Aufbereitung

Mathematisch entspricht dies einer Variablentransformation.

$$a = 1\,848 \cdot H \quad (6.12)$$

$$b = 1\,771 \cdot H + 77 \cdot I \quad (6.13)$$

$$c = 1\,680 \cdot H + 168 \cdot I \quad (6.14)$$

$$d = 1\,610 \cdot H + 231 \cdot I + 7 \cdot J \quad (6.15)$$

oder umgeformt:

$$H = 1\,848 \cdot a + 1\,771 \cdot b + 1\,680 \cdot c + 1\,610 \cdot d \quad (6.16)$$

$$I = 77 \cdot b + 168 \cdot c + 231 \cdot d \quad (6.17)$$

$$J = 7 \cdot d \quad (6.18)$$

Aus diesen $M = H + I + J$ Würfeln werden nun auch wieder $m = h + i + j$ gezogen. (Urnenproblem ohne Zurücklegen)

$$P(h, i, j) = \frac{\binom{H}{h} \cdot \binom{I}{i} \cdot \binom{J}{j}}{\binom{M}{m}} \quad (6.19)$$

Um auf die gesuchte Trefferwahrscheinlichkeit zu kommen, müssten die Gleichungen 6.11 und 6.19 durch diskrete Faltung miteinander verbunden werden. Es gibt allerdings mehrere Möglichkeiten, den tatsächlichen PAK-Gehalt $\pm 30\%$ mit den unterschiedlichen Ziegel-/Würfeltypen zu erreichen. Also müsste man sich alle Kombinationen ausrechnen, für die dies zutrifft. Dann kann man sich für jede einzelne davon die Eintrittswahrscheinlichkeit ausrechnen. Die gesuchte Trefferwahrscheinlichkeit ist dann die Summe der einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten aller gültigen Kombinationen.

Diese Lösung ist zu aufwändig. Als Alternative wird die Monte-Carlo-Methode verwendet.

6.2.3 Approximation mittels Monte-Carlo-Methode

Die Monte-Carlo-Methode ist ein Verfahren der Stochastik, das vor allem auf dem Gesetz der großen Zahlen aufbaut:

Die relative Häufigkeit eines Zufallsergebnisses nähert sich in der Regel der Wahrscheinlichkeit dieses Zufallsergebnisses an, wenn das zu Grunde liegende Zufallsexperiment immer wieder durchgeführt wird.

Wenn also ein Zufallsexperiment genügend oft wiederholt wird, kann die dahinter liegende Wahrscheinlichkeit beliebig genau berechnet werden.

Dies führt natürlich auf die Frage, wie oft "genügend oft" ist. Um dies zu beantworten, ist folgender Algorithmus ein passender Ansatz. Praktischerweise liefert er gleichzeitig das Ergebnis der Simulation.

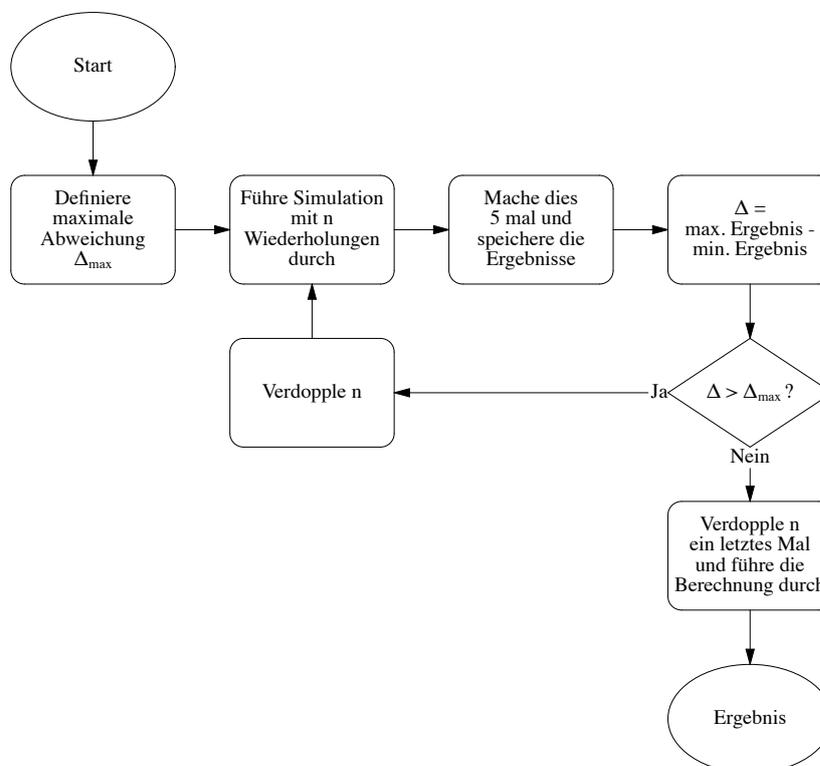


Abbildung 6.4: Algorithmus zur Bestimmung der benötigten Wiederholungen

Der gesamte Probenahme- und Analysevorgang beinhaltet zwei Zufallsereignisse. Um diese getrennt voneinander betrachten zu können, wurden zuerst zwei Programme erstellt, die jeweils nur ein einzelnes Zufallsereignis abbilden. Da aber beide Zufallsereignisse miteinander verkettet sind, wurde auch ein drittes Programm geschrieben, das den gesamten Vorgang abbildet. Sämtliche Programme sind in der Sprache *python 2.7* geschrieben.

Das erste Programm simuliert den Schritt der Probenahme vor Ort. (siehe auch Kapitel 6.2.2)

```

1  #!/usr/bin/python
   # -*- coding: utf-8 -*-
3  import random                                #lade Zufallsgenerator

5  nProbZ=120                                   #Var. f. gezogene Ziegel
   nWh=100                                      #Var. f. Wiederholungen
7  TypA=38304                                  #Var. f. Ziegel Typ A
   TypB=5973                                    #Var. f. Ziegel Typ B
9  TypC=2987                                   #Var. f. Ziegel Typ C
   TypD=128                                     #Var. f. Ziegel Typ D
11 el=[0,0]                                    #Var. f. Treffer / Nichttreffer
   p=0.0                                        #Var. f. Trefferwahrsch.

13
   mPakTats=3331.3*0.001144*nProbZ
15 #Masse(PAK,wirklich)=Masse(1 Ziegel)*c(PAK)*Anzahl(gezogene Ziegel)

17 maxPak=1.3*mPakTats                         #Lege Schranken fest
   minPak=0.7*mPakTats
19

21 Zhaufen=['A']*TypA+['B']*TypB+['C']*TypC+['D']*TypD
   #Erstelle den Haufen
23
   for i in range(nWh):                         #nWH Wiederholungen mal mache:
25
       probe=random.sample(Zhaufen,nProbZ) #ziehe nprob Ziegel aus dem Haufen
27
       pak=(probe.count('A')*0.0+             #Gehalt an PAK = ...g/Typ * Anz(Typ)
           probe.count('B')*14.4+
           probe.count('C')*30.0+
           probe.count('D')*44.4)
31
       if pak <= maxPak:                       #Wenn pak sowohl kl. als maxpak
33         if pak >= minPak:                   #als auch gr. als minpak ist,
           el[0]=el[0]+1                       #dann Anz. Treffer + 1
35         else:
           el[1]=el[1]+1                       #sonst Anz. Nichttreffer + 1
37     else:
           el[1]=el[1]+1
39 p=float(el[0])/float(nWh)                   #Trefferwahrsch. = Treffer/nWh
   print p                                     #Ausgabe von p

```

Listing 6.1: Programm Probenahme vor Ort

Das zweite Programm simuliert jenen Aufbereitungsschritt, bei dem 50 g (=30 Würfel) aus dem gebrochenen Haufen entnommen werden. Dabei wurde angenommen, dass die Probe des ersten Probenahmeschrittes die bestmögliche ist, d.h. dass die Ziegelzusammensetzung den tatsächlichen Gehalt so genau wie möglich widerspiegelt. Dies ist bei folgender Zusammensetzung der Fall:

Typ	Anzahl	PAK pro Ziegel	PAK gesamt
	[-]	[g]	[g]
A	97	0.0	0
B	15	14.4	216
C	8	30.0	240
D	0	44.4	0
Summe	120		456
		Theoretischer Gehalt	455

Werden die Ziegel nun zerkleinert (siehe Gleichungen 6.16 bis 6.18), ergeben sich folgende Anzahlen für die drei Würfeltypen:

Typ	Anzahl
H	219 261
I	2 499
J	0
Summe	221 760

Dies sind die Ausgangswerte für das zweite Programm. Ansonsten ist es dem ersten Programm sehr ähnlich, da der mathematische Hintergrund der selbe ist.

```

1  #!/usr/bin/python
  # -*- coding: utf-8 -*-
3  import random #lade Zufallsgenerator

5  nProbW=30          #Var. f. gezogene Würfel
  nWh=10000         #Var. f. Wiederholungen
7  TypH=219261      #Var. f. Würfel Typ H
  TypI=2499        #Var. f. Würfel Typ I
9  TypJ=0          #Var. f. Würfel Typ H
  e1=[0,0]        #Var. f. Treffer / Nichttreffer
11 p=0.0          #Var. f. Trefferwahrsch.

13 mPakTats=1.7*0.001144*nProbW
  #Masse(PAK,wirklich)=Masse(1 Würfel)*c(PAK)*Anzahl(gezogene Würfel)
15
  maxPak=1.3*mPakTats      #Lege Schranken fest
17 minPak=0.7*mPakTats

19
  Whaufen=['H']*TypH+['I']*TypI+['J']*TypJ
21 #Erstelle den Haufen

23 for i in range(nWh):      #nWh Wiederholungen mal mache:

25     Aprobe=random.sample(Whaufen,nProbW) #ziehe nprob Würfel aus dem Haufen

27     pak=(Aprobe.count('H')*0.0+          #Gehalt an PAK = ...g/Typ * Anz(Typ)
           Aprobe.count('I')*0.18+
29     Aprobe.count('J')*0.35)

31     if pak <= maxPak:      #Wenn pak sowohl kl. als maxpak
  if pak >= minPak:        #als auch gr. als minpak ist,
33     e1[0]=e1[0]+1        #dann Anz. Treffer + 1
  else:
35     e1[1]=e1[1]+1        #sonst Anz. Nichttreffer + 1
  else:
37     e1[1]=e1[1]+1

  p=float(e1[0])/float(nWh) #Trefferwahrsch. = Treffer/nWh
39 print p                  #Ausgabe von p

```

Listing 6.2: Programm 2. Probenahmeschritt

Das dritte Programm vereint nun beide Ziehungsschritte sowie die dazwischenliegende Aufbereitung zu einem Programm.

```

1  #!/usr/bin/python
  # -*- coding: utf-8 -*-
3  import random          #lade Zufallsgenerator

5  nProbZ=120          #Var. f. gezogene Ziegel
  nProbW=30          #Var. f. gezogene Würfel
7  nWh=100            #Var. f. Wiederholungen
  TypA=38304        #Var. f. Ziegel Typ A
9  TypB=5973         #Var. f. Ziegel Typ B
  TypC=2987        #Var. f. Ziegel Typ C

```

```

11 TypD=128                                #Var. f. Ziegel Typ D
    e1=[0,0]                                #Var. f. Treffer / Nichttreffer
13 p=0.0                                    #Var. f. Trefferwahrsch.

15 mPakTats=1.7*0.001144*nProbW
    #Masse(PAK,wirklich)=Masse(1 Ziegel)*c(PAK)*Anzahl(gezogene Ziegel)
17
    maxPak=1.3*mPakTats                      #Lege Schranken fest
19 minPak=0.7*mPakTats

21
    Zhaufen=['A']*TypA+['B']*TypB+['C']*TypC+['D']*TypD
23 #Erstelle den Ziegelhaufen

25 for i in range(nWh):                      #nWH Wiederholungen mal mache:

27     Fprobe=random.sample(Zhaufen,nProbZ)#ziehe nprobZ Ziegel aus dem Haufen

29     AnzA=Fprobe.count('A')                #Zähle die vorkommenden Ziegeln
    AnzB=Fprobe.count('B')
31     AnzC=Fprobe.count('C')
    AnzD=Fprobe.count('D')
33
    TypH=1848*AnzA+1771*AnzB+1680*AnzC+1610*AnzD
35     TypI=77*AnzB+168*AnzC+231*AnzD
    TypJ=7*AnzD
37

39     Whaufen=['H']*TypH+['I']*TypI+['J']*TypJ
    #Erstelle den Wuerfelhaufen
41     Aprobe=random.sample(Whaufen,nProbW)#ziehe nProbW Würfel aus dem Haufen

43     pak=(Aprobe.count('H')*0.0+          #Gehalt an PAK = ...g/Typ * Anz(Typ)
           Aprobe.count('I')*0.18+
45           Aprobe.count('J')*0.35)

47

49     if pak <= maxPak:                      #Wenn pak sowohl kl. als maxpak
        if pak >= minPak:                    #als auch gr. als minpak ist,
51         e1[0]=e1[0]+1                      #dann Anz. Treffer + 1
        else:
53         e1[1]=e1[1]+1                      #sonst Anz. Nichttreffer + 1
        else:
55         e1[1]=e1[1]+1

p=float(e1[0])/float(nWh)                    #Trefferwahrsch. = Treffer/nWh
57 print p                                    #Ausgabe von p

```

Listing 6.3: Programm beider Probenahmeschritte

6.3 Berechnung

6.3.1 Ermittlung der Treffergenauigkeit

Im Folgenden werden nun die beiden Einzelsimulationen entsprechend dem in Abbildung 6.4 angeführten Algorithmus durchgeführt. In der unten abgebildeten Tabelle steht n für die Anzahl der Wiederholungen. Dann kommen die fünf Ergebnisse der Simulation mit n Wiederholungen. Davon werden Minimum und Maximum gesucht und die Differenz gebildet. Als maximale Differenz wird $\Delta_{max} = 0.001$ angenommen.

n	Ergebnisse							Δ
	1	2	3	4	5	min	max	
100	0.9100	0.8500	0.8700	0.8500	0.8500	0.8500	0.9100	0.0600
200	0.8650	0.8850	0.8800	0.8550	0.8900	0.8550	0.8900	0.0350
400	0.8850	0.8625	0.8900	0.8600	0.8600	0.8600	0.8900	0.0300
800	0.8600	0.8625	0.8800	0.8650	0.8525	0.8528	0.8800	0.0275
1 600	0.8581	0.8538	0.8675	0.8650	0.8675	0.8538	0.8675	0.0137
3 200	0.8703	0.8788	0.8759	0.8713	0.8631	0.8631	0.8788	0.0157
6 400	0.8695	0.8644	0.8723	0.8656	0.8667	0.8644	0.8723	0.0079
12 800	0.8618	0.8651	0.8661	0.8681	0.8691	0.8618	0.8691	0.0073
25 600	0.8645	0.8718	0.8668	0.8647	0.8663	0.8645	0.8718	0.0073
51 200	0.8670	0.8648	0.8665	0.8661	0.8663	0.8648	0.8670	0.0022
102 400	0.8648	0.8669	0.8656	0.8685	0.8678	0.8648	0.8685	0.0037
204 800	0.8662	0.8685	0.8681	0.8681	0.8671	0.8662	0.8685	0.0023
409 600	0.8673	0.8676	0.8676	0.8674	0.8658	0.8658	0.8676	0.0018
819 200	0.8668	0.8669	0.8676	0.8670	0.8674	0.8668	0.8676	0.0008
1 638 400	0.867							

Tabelle 6.7: Berechnungsergebnisse des ersten Simulationsprogramms

Die erste Simulation ergibt eine Trefferwahrscheinlichkeit von 86.7%. Gleichzeitig wurde die Anzahl der benötigten Simulationsdurchgänge für ein stabiles Ergebnis mit $n = 1\,638\,400$ ermittelt. Diese kann dann in der Nachrechnung weiter verwendet werden.

Führt man die Simulation mit $n = 10\,000$ Durchgängen aus, ergibt sich folgendes Histogramm:

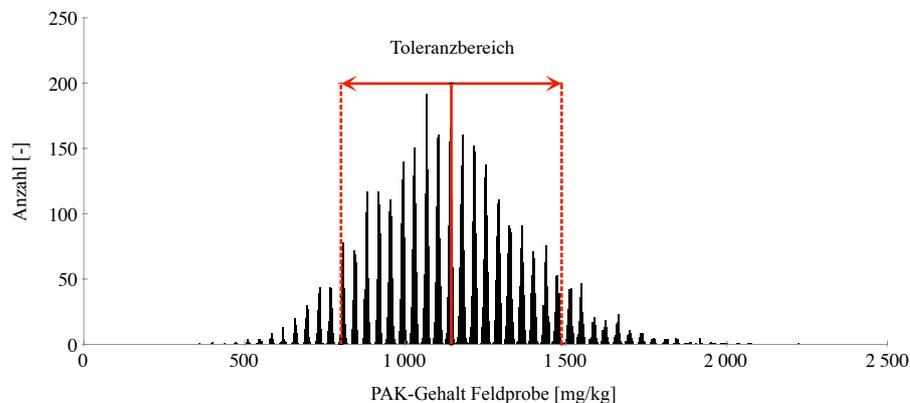


Abbildung 6.5: Histogramm des ersten Probenahmeschrittes

Auffallend ist, dass die Anzahl der Treffer zwar zum Erwartungswert hin steigt, sich jedoch lokale Maxima und Minima ausbilden. Dies führt zu einem kammartigen Erscheinungsbild. Dies lässt sich dadurch erklären, dass einige der möglichen diskreten Werte durch mehrere verschiedene Kombinationen erreicht werden können (diese treten dann öfter auf), andere allerdings lassen sich nur durch eine Kombination darstellen (diese treten dann kaum auf).

Folgende Tabelle zeigt die empirischen Kennwerte des Histogramms im Vergleich zum tatsächlichen Gehalt

Variable	Wert	Einheit	Beschreibung
c_{PAK}	1 144	[mg/kg]	tatsächlicher Gehalt
\bar{x}	1 148	[mg/kg]	Mittelwert
s	235	[mg/kg]	Standardabweichung
s^2	55 314	[(mg/kg) ²]	Varianz

Tabelle 6.8: Empirische Kennwerte des Histogramms aus Abb. 6.5

Dann kann die zweite Simulation durchgeführt werden:

n	Ergebnisse							Δ
	1	2	3	4	5	min	max	
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
200	0.000							

Tabelle 6.9: Berechnungsergebnisse des zweiten Simulationsprogramms

Wie man sieht, ergibt die zweite Simulation eine Trefferwahrscheinlichkeit von 0.0%. Dies ist bemerkenswert und deutet auf ein Problem in der Probenahme. Wie sich im Folgenden zeigt, ist dieses Problem leicht gefunden: Der maximal tolerierbare Gehalt (tatsächlicher Gehalt +30%) an PAK berechnet sich zu:

$$m_{PAK,max} = 30 \cdot m_{W\u00fcrfel} \cdot c_{PAK} \cdot 1.30 \quad (6.20)$$

$$= 30 \cdot 1.7 \cdot 0.001144 \cdot 1.30 = 0.0758g \quad (6.21)$$

Der PAK-Gehalt eines Würfels des Typs I beträgt jedoch 0.18 g, weshalb ein einziger davon genügt, damit das Ergebnis außerhalb des tolerierbaren Bereichs liegt. Somit ist diese Vorgangsweise bei der Probenahme als wirkungslos zu bezeichnen.

Dies spiegelt sich auch im Histogramm (wieder für $n = 10\,000$ Simulationen durchgeföhrt) wider:

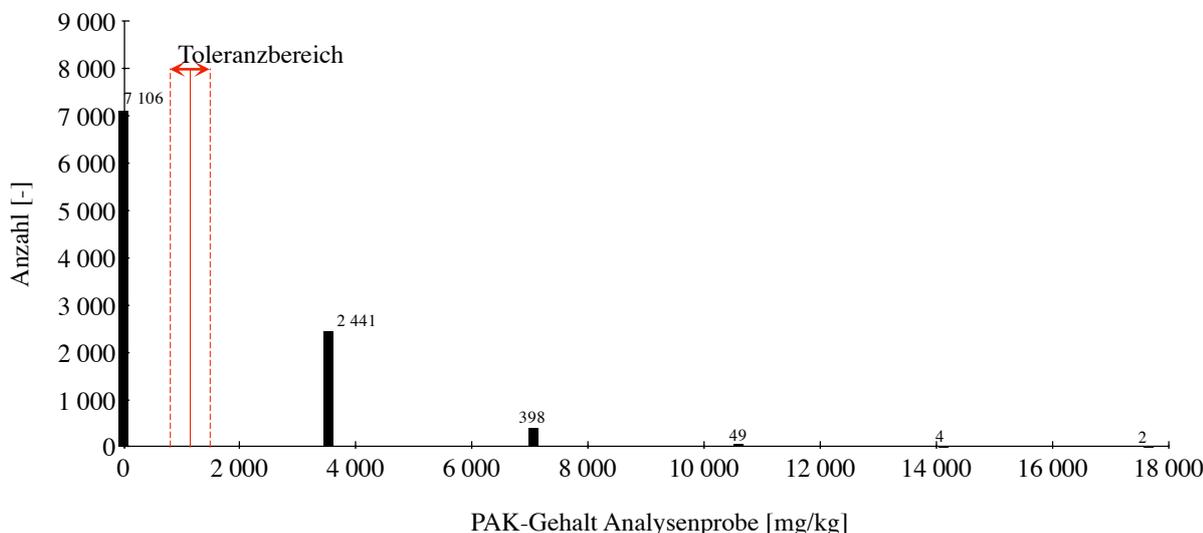


Abbildung 6.6: Histogramm des zweiten Probenahmeschrittes

Wie man erkennen kann, liegt der Trefferbereich zwischen zwei diskreten (möglichen) Werten, weshalb dieser nie erreicht werden kann.

Folgende Tabelle zeigt die empirischen Kennwerte des Histogramms im Vergleich zum tatsächlichen Gehalt.

Variable	Wert	Einheit	Beschreibung
c_{PAK}	1 144	[mg/kg]	tatsächlicher Gehalt
\bar{x}	1 204	[mg/kg]	Mittelwert
s	2 066	[mg/kg]	Standardabweichung
s^2	4 267 099	[(mg/kg) ²]	Varianz

Tabelle 6.10: Empirische Kennwerte des Histogramms aus Abb. 6.6

Da die Probenahme auf keinen Fall einen Treffer liefern kann, wird auf die Durchführung der dritten Simulation vorerst verzichtet.

6.3.2 Rückrechnung des benötigten Stichprobenumfangs

Beim gesamten Probenahmevergange werden zwei voneinander abhängige Stichproben gezogen. Deshalb ist die Rückrechnung ein mehrdimensionales Problem. Da gemäß DVO für den Probenahmeschritt vor Ort genaue Regeln existieren, werde ich in der folgenden Berechnung annehmen, dass dieser unverändert bleibt. Es wird nur das zweite Ziehen (bei der Probenaufbereitung) in der folgenden Rückrechnung variiert. Somit ergibt sich die maximal erreichbare Trefferquote zu 86.7% (es werden alle 221 760 Würfel² analysiert).

²die durch Zerkleinerung der 120 Ziegel entstehen

Mit Hilfe des dritten Programms soll nun bestimmt werden, wie der Stichprobenumfang mit der Trefferquote zusammenhängt. Dazu wird wie folgt vorgegangen:

Zuerst wird die minimale Stichprobengröße ermittelt. Das ist jene Menge an Würfeln, bei denen zumindest die theoretische Chance besteht, innerhalb des Toleranzbereiches zu sein. Diese berechnet sich wie folgt:

$$n = \frac{m_{PAK,1W\u00fcrfel}}{m_{W\u00fcrfel} \cdot c_{PAK} \cdot 1.3} = \frac{0.18}{1.7 \cdot 0.001144 \cdot 1.3} = 72 \text{ Stk. } (\approx 122 \text{ g}) \quad (6.22)$$

Um den Rechenaufwand bei der Simulation in Grenzen zu halten, wird die Anzahl der Wiederholungen mit 10 000 festgelegt. Die damit erzielbare Genauigkeit lässt sich folgendermaßen ermitteln: die Simulation wird fünf mal mit 5 000 Durchläufen und 300 Würfeln (eine Annahme; gültig ist jeder Wert über 72) durchgeführt. Dies ergibt folgende Werte:

Durchlauf Nr.	Trefferquote
1	0.3714
2	0.3976
3	0.3852
4	0.3742
5	0.3862
$\Delta = \max - \min$	0.0262

Damit lässt sich die Genauigkeit der Simulation auf $0.0262 \hat{=} \pm 1.31\%$ bei 10 000 Durchgängen³ angeben. Dies wird als ausreichend genau angesehen.

Nun wird die Simulation (drittes Programm) für verschiedene Stichprobenumfänge durchgeführt. Folgende Werte wurden verwendet:

Stichprobenumfang		Trefferquote
[Stk. Würfel]	[g]	[%]
71	120	0%
300	510	37%
3 000	5 100	73%
30 000	51 000	82%

Diese Punkte werden nun in ein Diagramm eingetragen und mittels Kurvenschätzung verbunden. Dann kann man den Stichprobenumfang für eine beliebige Trefferquote ablesen. Exemplarisch wurde dies für eine Trefferquote von 80% durchgeführt.

³Begründung: siehe Abb. 6.4

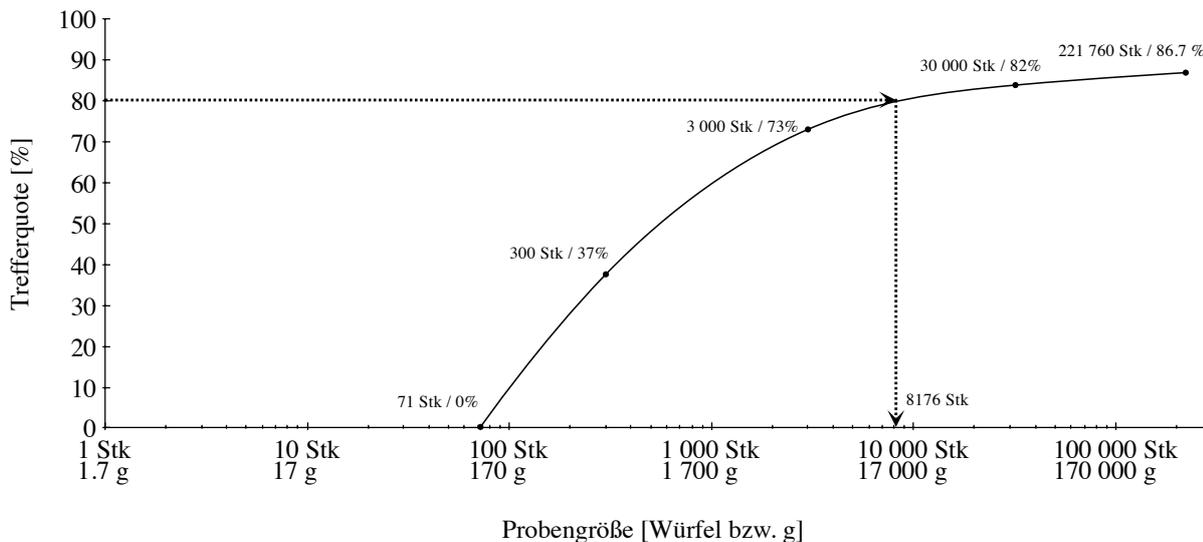


Abbildung 6.7: Trefferquote des gesamten Probenahmevorgangs

Für den abgelesenen Stichprobenumfang von 8 176 Würfeln kann nun ein Histogramm gezeichnet werden:

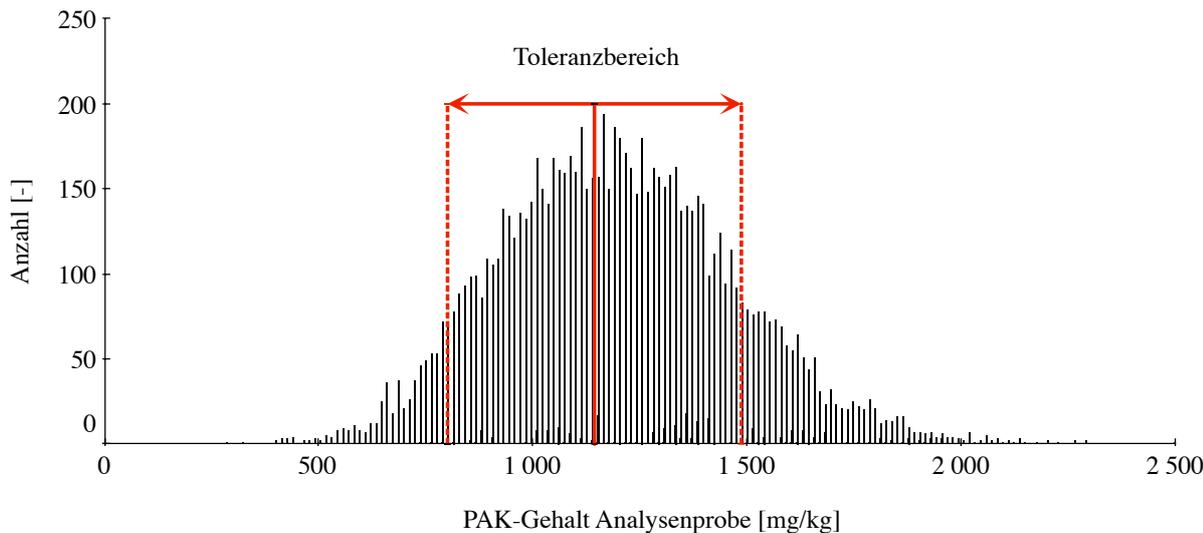


Abbildung 6.8: Histogramm des gesamten Probenahmevorgangs

Die empirischen statistischen Kennwerte ergeben sich zu:

Variable	Wert	Einheit	Beschreibung
c_{PAK}	1 144	[mg/kg]	tatsächlicher Gehalt
\bar{x}	1 207	[mg/kg]	Mittelwert
s	275	[mg/kg]	Standardabweichung
s^2	75 898	[(mg/kg) ²]	Varianz

Tabelle 6.11: Empirische Kennwerte des Histogramms aus Abb. 6.8

6.4 Interpretation

Wie man schon auf Seite 69 sieht, führt die momentan verwendete Vorgehensweise in der Probenahme und Analyse zu einem falschen Ergebnis. Das Problem ist hier aber nicht die Probenahme vor Ort, sondern die Aufbereitung im Labor.

Es ist verständlich, dass ein chemisches Labor für gewöhnlich nicht mit Probengrößen von einigen hundert Kilogramm arbeitet. Um so wichtiger ist es jedoch, die routinemäßigen Vorgehensweisen auf die stark veränderte Probengröße anzupassen. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Probenzerkleinerung und die Verjüngung der Probenmenge zu legen.

Wie die Nachrechnung gezeigt hat, würde für eine Trefferquote von 80% eine Anzahl von 8176 Würfeln - dies entspricht einer Probenmasse von 13 900 g - benötigt werden. Diese große Masse - bildlich gesprochen ein Kübel voll - müsste aufgeschlossen (als Ganzes!), dann homogenisiert und analysiert werden. Da allerdings das benötigte Probenvolumen eines GCMS jedoch nur einige Mikroliter beträgt, wären weitere Verjüngungsschritte nicht vermeidbar. In diesen Verjüngungsschritten steckt aber immer die Möglichkeit einer weiteren Verschlechterung der Treffergenauigkeit.

Alles in allem braucht die Abfallwirtschaft gute Informationen über den betrachteten Abfall. Gerade deshalb ist die Wissenschaft gefordert, eine neue Analytik zu entwickeln, die die benötigten Informationen mit einer ausreichenden Genauigkeit liefert. Hierbei wird es unumgänglich sein, den Kreis der Standardmethoden zu verlassen, da mit den großen Probemengen (bedingt durch die Heterogenität) auf die eine oder andere Art und Weise umgegangen werden muss. Interdisziplinäres Denken ist hier sicher von Vorteil.

Das Ziel wäre meiner Meinung nach eine auf die jeweilige Abfallart angepasste Analytik. Mit den dadurch erhaltenen Informationen könnte man bessere Entscheidungen bezüglich Wiederverwertbarkeit oder angepasster Entsorgung treffen.

Teil IV

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Kapitel 7

Zusammenfassung

Kapitel 1 beschäftigte sich mit der Frage, welche Ziele eine Verordnung an sich, und die DVO im Speziellen hat. Zusammengefasst kann man sagen, dass eine Verordnung im österreichischen Stufenbau der Rechtsordnung unter dem Gesetz steht. Somit sollte sie das dazugehörige Gesetz (im Falle der DVO das AWG) präzisieren und erläutern.

Befremdend ist, dass gerade so wichtige Punkte, wie die im AWG geforderte "nachsorgefreie Deponie" sowie die Schonung von Deponievolumen nicht in der DVO berücksichtigt werden.

Außerdem soll eine Verordnung auf die Zielgruppe zugeschnitten sein. Da diese aber nicht genau definiert ist, kann man von zwei verschiedenen Mindestniveaus der Zielgruppe ausgehen. Zum Einen wären das Absolventen des Lehrberufes Chemielabortechnik (für den Fall, dass die Zielgruppe nur *Verwender* der DVO wären). Soll sie sich aber an die allgemeine Bevölkerung richten, darf nur der Mindestschulabschluss vorausgesetzt werden.

In Kapitel 2 wurden die Anforderungen untersucht, die von der DVO gestellt werden. Die auffälligste Tatsache war, dass in vielen Bereichen Ausnahmen existieren. Diese sind aber nicht - wie in der DVO 1996 - auf materialtechnische Gründe bezogen. (z.B. werden bei Bodenaushub höhere Metallgehalte toleriert, falls diese geogen bedingt sind - diese Ausnahmen existieren nach wie vor, zusätzlich wird aber die Möglichkeit eingeräumt, höhere Gehalte von verschiedenen Stoffen zu genehmigen) Es muss hinterfragt werden, welchen Sinn diese Ausnahmeregelungen haben.

Kapitel 3 beschäftigte sich mit der Lesbarkeit der DVO. Wie schon in Kapitel 1 erwähnt, sollte die Lesbarkeit auf die Zielgruppe zugeschnitten sein. Dies wurde mit Hilfe des *Flesch-Wertes* überprüft. Das Ergebnis ist allerdings eher ernüchternd: Das Ergebnis legt nahe, dass die einzige Gruppe, die den Text begreifen kann, Akademiker sind.

Des Weiteren wurde auch der Lesefluss untersucht. Im Fall der DVO spricht das Leseflussdiagramm auf Seite 27 für sich.

In Kapitel 4 wurde die Problematik der Verwendung von Normen als gesetzliche Grundlage behandelt. Da die dafür benötigte Rechtsgrundlage noch nicht geschaffen ist, muss das Problem als noch in Schweben angesehen werden. Die Kosten der benötigten Normen sind jedoch als erheblich anzusehen.

Kapitel 5 beschäftigte sich mit der Frage ob es Sinn macht, von Natur aus für eine Deponie ungeeignete Standorte durch technische Maßnahmen tauglich zu machen. Im Endeffekt zeigt sich, dass sich zwar das Verhältnis von zusätzlichem Aufwand zu entsprechender Risikoverringerung berechnen lässt. Jedoch ist und bleibt die Entscheidung, welches Risiko als vertretbar anzusehen ist, ein gesellschaftlicher (und damit politischer) Konsens.

In Kapitel 6 wurde der Vorgang der Probenahme und -analyse anhand eines Beispiels untersucht. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, liefert die momentane Praxis bei diesem Beispiel falsche Werte. Das Problem liegt aber nicht in der Probenahme vor Ort, sondern in der Probenaufbereitung im Labor. Dieses auch nur deshalb, weil chemische Routineanalytik angewendet wird, die nicht für Abfälle konzipiert wurde. Aufgrund der extrem hohen Heterogenität müssten die Probemengen um ein Vielfaches erhöht werden.

Kapitel 8

Schlussfolgerungen

Die Deponieverordnung hat sich zum Ziel gesetzt, Maßnahmen, Anforderungen und Verfahren festzulegen, um negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen zu vermindern oder zu vermeiden. Wie sich jedoch in Kapitel 2 zeigt, gelingt dies nur teilweise. Es werden viele Entscheidungen auf die letzte Ebene des österreichischen Stufenbaus der Rechtsordnung verlagert. Rein rechtlich mag dies zwar in Ordnung sein, dennoch stellt sich folgende Frage: wieso müssen derart viele Parameter erhoben werden, obwohl in weiterer Folge Ausnahmen im Rahmen der Einzelgenehmigung möglich sind. Meiner Meinung nach gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten mit diesem Problem umzugehen:

Erstere besteht darin, dass man die Anforderungen derart beschreibt, dass möglichst keine Ausnahmeregelungen nötig sind. Dies würde natürlich eine Art von Generalisierung (zumindest in gewissen Bereichen) voraussetzen. Dadurch kann es vorkommen, dass manche Spezialfälle, die momentan möglich sind, in Zukunft unmöglich werden. Andererseits könnte dann - für jede Deponie(unter)klasse getrennt - eine Checkliste erstellt werden. Dies hätte zwei Vorteile: der erste ist die stark verbesserte Lesbarkeit. Da diese sowieso verbesserungswürdig ist, schlägt man zwei Fliegen mit einer Klappe. Der andere Vorteil zeigt sich in der Bearbeitung des Genehmigungsverfahrens. Der (potentielle) Deponiebetreiber hat alle (oder zumindest fast alle) Auflagen, die er erfüllen muss, auf einen Blick parat. Die für die Genehmigung zuständige Stelle kann dann - ebenfalls der Liste folgend - überprüfen, ob alle Auflagen erfüllt sind. Dies stellt eine Vereinfachung für alle Beteiligten dar.

Die andere Möglichkeit überträgt sehr viel auf die Einzelgenehmigung. Der Vorteil hierbei ist, dass es dadurch viel besser möglich ist, auf einzelne Besonderheiten einzugehen. Dies würde der Forderung entsprechen, die Abfallwirtschaft zielgerichtet zu betreiben. Allerdings ist hierbei folgendes zu bedenken: die für die Genehmigung zuständigen Stellen müssen - bedingt durch den entstehenden höheren Aufwand - genügend Personal mit einem entsprechenden Wissensstand zur Verfügung haben. Zusätzlich müsste sich ein potentieller Deponiebetreiber bei der Planung seines Deponievorhabens mit der Behörde in Verbindung setzen, damit er eine ausreichende Informationsgrundlage bekommt, um seine Geschäftsidee auf Wirtschaftlichkeit zu überprüfen.

Beide oben genannte Möglichkeiten bieten die Chance, die Lesbarkeit zu verbessern. Die Verlagerung auf die Einzelfallebene erlaubt, sehr viel Information aus der DVO herauszunehmen, was deren Umfang reduziert. Die Verschiebung aller notwendigen Anforderungen in die DVO bietet - wie erwähnt - die Chance, alle Anforderungen in Checklistenform festzuhalten. Auch dies führt zur Verbesserung der Lesbarkeit.

Um auf die Lesbarkeit im Allgemeinen zu sprechen zu kommen: es besteht noch großes Verbesserungspotential. Wie sich gezeigt hat, ist die Komplexität nicht der Zielgruppe angepasst. Ein Negativbeispiel ist §1 der DVO:

Ziel dieser Verordnung ist es, durch die Festlegung betriebsbezogener und technischer Anforderungen in Bezug auf Deponien und Abfälle, Maßnahmen und Verfahren vorzusehen, mit denen während des gesamten Bestehens der Deponie negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen auf die Umwelt, insbesondere die Verschmutzung von Oberflächenwasser, Grundwasser, Boden und Luft, und auf die globale Umwelt, einschließlich des Treibhauseffekts, und alle damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit weitest möglich vermieden oder vermindert werden.

Dieser Satz besteht aus 72 Worten mit 5 zum Teil geschachtelten Nebensätzen und erstreckt sich im Originaldokument über 6 Zeilen. Es wäre doch viel besser, statt diesem "Satzmonster"¹ die in dem Satz festgelegten Ziele und Methoden aufzulisten. Ein weiterer Kritikpunkt sind die Querverweise. Allein 127 existieren innerhalb(!) des Hauptdokuments, 40 weitere verweisen auf die Anhänge der DVO. Dies entspricht fast 5 Verweisen pro Seite, wobei Verweise auf andere Dokumente (Gesetze, Verordnungen, Normen, etc.) nicht gezählt wurden.

Wie dieses Beispiel sowie die Berechnung des Flesch-Wertes² gezeigt hat, besteht noch großes Optimierungspotential hinsichtlich der Lesbarkeit. Was diesen Teil der gesetzten Ziele betrifft, muss man leider festhalten, dass er nicht erfüllt ist.

In Kapitel 4 wurde die Problematik der Verwendung von Normen als gesetzliche Vorgabe thematisiert. Wie schon dort erwähnt, ist das Problem ein eher rechtliches als wissenschaftliches. Der wissenschaftlich zu hinterfragende Teil betrifft die Verwendung von zurückgezogenen Normen. Laut §2 Z.1 legt die DVO den Stand der Technik fest. Normen werden nur dann zurückgezogen, wenn deren Inhalt den Stand der Technik nicht mehr repräsentiert. Daher ist es meiner Meinung nach unlogisch, den Stand der Technik durch zurückgezogene Normen zu definieren. Dies betrifft aktuell zwei Normen, wovon eine bereits 15 Monate vor dem Inkrafttreten der DVO zurückgezogen wurde. Mir ist bewusst, dass aus rechtlichen Gründen nicht auf die "aktuelle" Norm verwiesen werden darf, sondern nur auf eine bestimmte Ausgabe. Normen werden aber laufend überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht. Genau diese Tatsache spricht dafür, Normen so wenig wie möglich zu zitieren. Dies bietet den Vorteil, dass die DVO nicht immer wieder novelliert werden muss, um die "aktuellen" Normen einzubeziehen.

Das Beispiel aus Kapitel 5 beschäftigte sich mit der Frage, ob es Sinn macht, von Natur aus für eine Deponie ungeeignete Standorte durch technische Maßnahmen tauglich zu machen. Diese Frage lässt sich jedoch nicht so leicht beantworten. Trotzdem kann man ein Grundschema erkennen: die Standortverbesserung, welche durch technische Maßnahmen durchgeführt wird, hat eine begrenzte "Haltbarkeit". Für den üblichen Betrachtungshorizont im Bauingenieurwesen ist das Bauwerk standsicher. Die Zeiträume in der Deponietechnik übersteigen jedoch diesen Betrachtungshorizont. Deshalb muss zumindest von einer Wahrscheinlichkeit des Versagens ausgegangen werden. Somit erhöht sich das allgemeine Risiko des Schadenseintritts. Die Folgen dieser Risikoerhöhung müssen von irgendjemandem getragen werden. Da die zu erwartenden

¹Lieblingsbegriff meines Deutschprofessors im Gymnasium

²siehe Seite 26

Schäden erst nach Jahrzehnten bis Jahrhunderten auftreten, besteht die Gefahr, dass der Verursacher nicht mehr greifbar ist. Dies sollte stärker in die Überlegungen mit einfließen, wenn potentielle Standorte näher untersucht werden.

Das Beispiel der Probenahme und -analyse zeigt, dass die momentan vorherrschende Analytik bei dieser Art von Fragestellung aus wissenschaftlicher Sicht versagt. Die Probenmenge des Aufbereitungsschrittes ist bei Weitem nicht ausreichend, obwohl rein rechtlich gesehen alles in Ordnung ist. In einem Fall wie diesem lässt die DVO folgende Option in §13 offen:

*In folgenden Fällen sind [...] keine analytischen Untersuchungen erforderlich: [...] 2.
Abfälle, bei denen keine repräsentative Probenahme möglich ist [...]*

Dies ist zwar an die Bestätigung einer Fachperson oder -anstalt gebunden, jedoch stellt sich die Frage, ob das "Weglassen" gerechtfertigt ist. In dem gerechneten Beispiel liegt die Trefferquote des reglementierten Teils (der Probenahme vor Ort) bei 86.7%. Allein die Schritte der Probenaufbereitung führen dazu, dass die Probe nicht mehr repräsentativ ist. Doch hier könnte die Wissenschaft ansetzen. Es mag zwar fürs Erste für einen Chemiker ungewöhnlich sein, mit Probemassen von mehreren hundert Kilogramm umzugehen, doch gerade die Verfahrenstechnik zeigt, dass man chemische Prozesse vom Labormaßstab auf einen großtechnischen Maßstab bringen kann. Eventuell gelingt es, auch für die jetzt noch problematischen Schritte, neue Verfahren zu entwickeln.

Das Ziel wäre meiner Meinung nach eine auf die jeweilige Abfallart angepasste Analytik. Mit den dadurch erhaltenen Informationen könnte man bessere Entscheidungen bezüglich Wiederverwertbarkeit oder angepasster Entsorgung treffen.

Kapitel 9

Ausblick

Doch um den Blick nach vorne zu richten: wie kann man die DVO noch besser mit den geforderten Zielen in Einklang bringen?

Ein erster Vorschlag, wäre die Lesbarkeit zu verbessern. Da diese allerdings derart von ihrer Zielvorgabe abweicht, ist es wahrscheinlich besser, den Text gänzlich neu zu schreiben und von Anfang an die Lesbarkeit kritisch zu hinterfragen bzw. mit geeigneter Software während des Entstehungsprozesses laufend zu überprüfen.

Weiters kann die Situation betreffend die zahlreichen Ausnahmeregelungen verbessert werden. Das Besondere dabei ist, dass es praktisch gleich ist, ob in Richtung Einzelfallentscheidung oder in Richtung Festlegung ohne Ausnahmen gegangen wird. Egal welcher Weg eingeschlagen wird, er führt zu einer erhöhten Klarheit.

Was das eingegangene Zusatzrisiko - wie in Kapitel 5 erörtert - angeht, ist meiner Meinung nach die Politik gefordert. Es gibt bereits Methoden, wie man Abfallfraktionen beproben und analysieren kann. Allerdings sind die Kosten dieser Analytik deutlich höher. Trotzdem machen sie nur einen marginalen Anteil der Gesamtkosten aus. Hier muss die Politik im Rahmen der Gesetzgebung dafür sorgen, dass diese Methoden zur Anwendung kommen.

Alles in allem ist die Deponietechnik ein Aufgabenbereich, dessen Bemühungen erst in kommenden Generationen Früchte tragen werden. Gerade deshalb müssen wir uns um so mehr anstrengen!

Anhang

Kategorie	Unterkategorie	Erforderliches Wissen
Umgebung der Deponie	Standort	Wasservorkommen gefährdet?
		Hochwassergefahr?
		Gefahr durch Massenbewegungen?
		Grundwasserstand?
		Wasserwirtschaftliche Pläne
	Untergrund	Untergrundbeschaffenheit
		k_f -Wert
		Parameter nach ÖNORM S 2074-1 und S 2074-2
		Bei künstl. Dichtung: Eigenschaften für Nachweis der Gleichwertigkeit
	Vorflut	Topographie
Eigenschaften der Vorflut (Qualität, Quantität)		
Deponietechnik	Standssicherheit	Alle Parameter nach ÖNORM B 4433 für den Abfall und den Untergrund
	Deponierohplanum	Bodenart
		Verdichtungsgrad
		Verformbarkeit
		Lage vermessungstechnisch erfasst
	Deponiebasisdichtung	Dicke der aufgetragenen Schichten
		Lage vermessungstechnisch erfasst
		k -Wert
		Verdichtungsgrad
		Kornzusammensetzung
		Kornform
		Anteil Tonmineralien
		Kohlenstoffgehalt
		plastische Verformbarkeit
		Erosionsstabilität
		Homogenität
		Anforderungen nach ÖNORM S 2074-2
		Anforderungen nach ÖNORM S 2073
		Verlegung gemäß ÖNORM S 2076-1
		Anforderungen nach ÖNORM S 2076-2
	Für alternative Systeme: Nachweis der Gleichwertigkeit	
	Flächenfilter	Einbaustärke
		Deponieauflast
k -Wert		
Kalziumcarbonatanteil		
Magnesiumcarbonatanteil		

Kategorie	Unterkategorie	Erforderliches Wissen
Deponietechnik	Flächenfilter	Körnungsgruppe
	Sickerwasserleitungen	Anforderungen nach DIN 4266-1
		Lage vermessungstechnisch erfasst
		Durchmesser
		Wassereintrittsfläche
		Sickerwasserzusammensetzung
	Ausgleichsschicht	Gasdurchlässigkeit
		Alle Informationen wie für den abgelagerten Abfall
	Gasdrainschicht	Einbaustärke
		Kalziumcarbonatanteil
		Magnesiumcarbonatanteil
		Für alternative Systeme: Nachweis der Gleichwertigkeit
	Oberflächendichtung	Art und Aufbau nach Einzelgenehmigung
		Mittlerer Jahresniederschlag für gesamten Nachsorgezeitraum
		Mittlerer Jahresniederschlag der letzten 5 Jahre vor Aufbringung
		zu erwartende Setzungen
		k-Wert bei mineralischen Dichtungsschichten
		Für alternative Systeme: Nachweis der Gleichwertigkeit
		Für geosynthetische Tondichtungsbahnen: Nachweis gem. ÖNORM S 2081-1 und ÖNORM S 2081-2
		Für eine Wasserhaushaltsschicht: Lysimeterdaten
	Oberflächenentwässerung	Flächenfilter: wie für Basisdichtung
		Sickerwasserleitungen: wie für Basisdichtung
		Einbaustärke
		Frosttiefe für den Deponiestandort
		Für geosynthetische Drainagen: Nachweis nach ÖNORM S 2082
		Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit (langfristig)
		Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit (langfristig)
Rekultivierungsschicht	Skelettgehalt >2mm	
	Skelettgehalt >63mm	
	TOC	
	TOC im Eluat	
	pH-Wert	

Kategorie	Unterkategorie	Erforderliches Wissen
Deponietechnik	Rekultivierungsschicht	Elektrische Leitfähigkeit
		Gesamtstickstoff
		Gesamtphosphor
		Störstoffe (Kunststoff)
		Störstoffe (Metall)
		Konkreter Aufbauplan
		Vorzusehender Bewuchs
		Folgenutzung
		<i>bei bodenfremden Bestandteilen:</i>
		-Tongehalt
		-Anteil austauschbarer Kationen am Austauschkomplex:
		Ca
		Mg
		K
		Na
	-C/N Verhältnis	
	-Wassergehalt bei Feldkapazität	
	Wasserhaushalt	Sickerwassermengen
		Sickerwasserqualität
		Niederschlagsmengen
Verdunstungsraten		
Deponiegasbehandlung	Erwartete Gasbildung	
	Erwartete Gaszusammensetzung	
Abgelagerte Abfälle	Eluat	pH-Wert
		Elektrische Leitfähigkeit
		Abdampfrückstand
		Aluminium (als Al)
		Arsen (als As)
		Barium (als Ba)
		Beryllium (als Be)
		Blei (als Pb)
		Bor (als B)
		Cadmium (als Cd)
		Calcium (als Ca)
		Chrom gesamt (als Cr)
		Chrom(VI) (als Cr)
		Cobalt (als Co)
		Eisen (als Fe)
		Kupfer (als Cu)
		Magnesium (als Mg)
		Mangan (als Mn)
		Molybdän (als Mo)
		Nickel (als Ni)
Quecksilber (als Hg)		
Selen (als Se)		
Silber (als Ag)		

Kategorie	Unterkategorie	Erforderliches Wissen
Abgelagerte Abfälle	Eluat	Thallium (als Tl)
		Vanadium (als V)
		Zink (als Zn)
		Zinn (als Sn)
		Ammonium (als N)
		Chlorid (als Cl)
		Cyanid gesamt (als CN)
		Cyanid leicht freisetzbar (als CN)
		Fluorid (als F)
		Nitrat (als N)
		Nitrit (als N)
		Phosphat (als P)
		Sulfat (als SO ₄)
		Sulfid (als S)
		Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) (als C)
		Extrahierbare organisch gebundene Halogene (EOX) (als Cl)
		Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX) (als Cl)
		Kohlenwasserstoff-Index, gesamt
		Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK)
		Tenside (als MBAS)
	Phenolindex	
	Feststoff	Aluminium (als Al)
		Arsen (als As)
		Barium (als Ba)
		Beryllium (als Be)
		Blei (als Pb)
		Bor (als B)
		Cadmium (als Cd)
		Calcium (als Ca)
		Chrom gesamt (als Cr)
		Chrom(VI) (als Cr)
		Cobalt (als Co)
		Eisen (als Fe)
		Kupfer (als Cu)
Magnesium (als Mg)		
Mangan (als Mn)		
Molybdän (als Mo)		
Nickel (als Ni)		
Quecksilber (als Hg)		
Selen (als Se)		
Silber (als Ag)		
Thallium (als Tl)		
Vanadium (als V)		

Kategorie	Unterkategorie	Erforderliches Wissen	
Abgelagerte Abfälle	Feststoff	Zink (als Zn)	
		Zinn (als Sn)	
		Gesamter organische Kohlenstoff (TOC) (als C)	
		Glühverlust	
		Summe von Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole (BTEX)	
		Ausblasbare organisch gebundene Halogene (POX) (als Cl)	
		Kohlenwasserstoff-Index, gesamt	
		Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK)	
		Phenolindex	
		Summe der polychlorierten Biphenyle (PCB)	
		Säureneutralisierungskapazität	
		<i>Nur bei MBT-Abfällen:</i>	
		-Brennwert	
		-Atmungsaktivität nach 4 Tagen (AT4)	
		-Gasspendensumme im Inkubationsversuch nach 21 Tagen (GS21) oder Gasbildung im Gärtest nach 21 Tagen (GB21)	
		Sonstige Informationen	Abfallart gemäß Abfallverzeichnis und Anlage 2 der Abfallverzeichnis-VO i.d.g.F.
			Abfallquelle
	Abfallherkunft		
	Abfallentstehung		
	Geruch		
	Farbe		
	Physikalische Beschaffenheit		
	Konsistenz		
	Fotos (Abfall, Abfallort) falls erforderlich		
	Relevante Angaben über den Prozess, bei dem der Abfall anfällt		
	Abfallbesitzer		
	Abfallerzeuger		
	Abfallbehandlung oder Begründung, warum diese entfällt		
	Verwertbarkeit		
Homogenität			
Abfallzusammensetzung			
Auslaugverhalten			

Kategorie	Unterkategorie	Erforderliches Wissen
Abgelagerte Abfälle	Sonstige Informationen	Angaben über ablagerungsrelevante Eigenschaften
		Art und Entstehung einer allfälligen Kontamination
		Darstellung des einbezogenen Vorwissens
		Sämtliche Angaben gem. Anhang 4 Teil 2 Kap. 1.2 DVO (<i>nur für Aushubmaterial</i>)
		Gesamtmenge in kg (<i>nur für einmalig anfallende Abfälle</i>)
		Jährliche Menge in kg (<i>nur für Abfallströme und wiederkehrend anfallende Abfälle</i>)
		Herkunftsgemeinde(n) und Sammelunternehmen (<i>nur für Siedlungsabfälle</i>)
Emissions- und Immissionskontrolle		Festgelegt in der Einzelgenehmigung
		Bei Deponiegaserfassung jedenfalls O ₂ , CO ₂ , CH ₄

Literaturverzeichnis

- [FISCHER, 2010] FISCHER, A. M. (2010). *Bestimmung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte zur semiprobabilistischen Bemessung von Stahlkonstruktionen im Bestand, Dissertation zur Erlangung des Titels "Dr. Ing"*. Doktorarbeit, TU Kaiserslautern.
- [HEYER et al., 1997] HEYER et al. (1997). *entnommen aus dem Skriptum Deponietechnik VO, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien*.
- [LANER, 2011] LANER, DAVID (2011). *Understanding and evaluating long-term environmental risks from landfills*. Doktorarbeit, TU Wien.
- [LÖBL, Würzburg 1997] LÖBL, R. (Würzburg 1997). *TEXNH - Techne: Untersuchung zur Bedeutung dieses Wortes in der Zeit von Hober bis Aristoteles. Band 1: Von Homer bis zu den Sophisten*. Königshausen und Neumann.
- [MITTAG, Detmold 1971] MITTAG, M. (Detmold 1971). *Baukonstruktionslehre, Erweiterte 15. Auflage*. Institut für Bauplanung und Bautechnik.
- [RICHTERVEREINIGUNG.AT] RICHTERVEREINIGUNG.AT. *Stufenbau der Österreichischen Rechtsordnung*. <http://www.richtervereinigung.at/content/view/34/45/> vom 13.10.2011.
- [WIKIPEDIA:DE] WIKIPEDIA:DE. *Kategorie: Stochastik*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Stochastik> vom 20.9.2011.
- [WIKIPEDIA:EN] WIKIPEDIA:EN. *Category: Probability theory*. http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Probability_theory vom 20.9.2011.