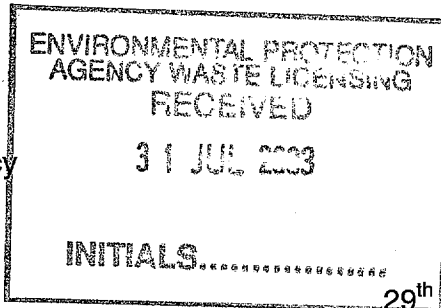


Archive
7

Administration
Waste Management Licensing
Environmental Protection Agency
PO Box 3000
Johnstown Castle Estate
Co. Wexford



29th July 2003

Waste Licence Application 167- 1

Dear Sir/ Madam,

The following information is being submitted as additional information to our response to the Agency's request in accordance with Article 14(2)(b)(ii) of the Waste Management (Licensing) Regulations, which was submitted on the 19th July 2003.

- An original and 5 copies of an A0 Drawing of the Proposed Construction Compound Car Parking and Access Layout which was submitted as Appendix 1 of our response regarding Article 12 Compliance. This A0 version gives 'clearer' details of the more comprehensive sections of the drawing.
- An original and 5 copies of a German paper giving details on the design of a standard bunker for waste incineration plants by the incinerator manufacturer Lurgi. Together with an English translation, this paper is being submitted as additional information to that provided in our response to the Agency regarding Article 12 Compliance.

Yours sincerely

Laura Burke
Project Manager



Reply To: 4 Haddington Terrace
Dun Laoghaire
Co. Dublin, Ireland
Tel +353-1-280 4534
Fax +353-1-280 7865

Tolka Quay Road
Dublin 1
Ireland
Tel +353-1-280 4534
Fax +353-1-280 7865

Unit 11
South Ring Business Park
Kinsale Road, Cork, Ireland
Tel +353-21-470 4260
Fax +353-21-470 4250

e-mail info@indaver.ie web www.indaver.ie

Tabelle 2.16: Lastannahme für die statische Berechnung -Neuanlagen-
Table 2.16: Design load for structural analysis -new plants-

	Abfall	Schlacke	Löschwasser	Temperatur	Greifer	Sonstiges
Y	$\gamma = 4;6;8 \text{ kN/m}^3$ (1)	$\gamma = 12 \text{ kN/m}^3$	$h = 7,0 \text{ m}$	$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (2) $T = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ (3)	n.a.	-
V	$\gamma = 3,5 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 45^\circ$	-	n. a.	$\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ Brandfall (7)	50 kN/m ² (4)	Hydratationswärme (5)
Z	$\gamma = 5;6 \text{ kN/m}^3$ $\varphi > 45^\circ$ (6)	-	$h=8,75 \text{ m}$		n. a.	Schiebebett, Unterdruck

- nicht bekannt
n.a. nicht angesetzt
 γ = Wichte; φ = Reibungswinkel; δ = Wandreibungswinkel (in Anlehnung an DIN 1055 Teil 2)

- (1) Berücksichtigung des Verdichtungseffektes durch abgestufte Müllwichten über die Stapelhöhe.
- (2) Schlackenbunker: Wert wurde gewählt, da keine anderen Erkenntnisse vorlagen.
- (3) Wandtemperaturen aus Rotte im Müllbunker als nicht relevant angesehen (starke Abkühlung in wandnahen Bereichen). Im Schlackenbunker wurde nicht die Schlackenrestwärme als kritischer Temperaturlastfall angesehen, sondern das Einleiten temperierter Betriebswässer, wie dies im Kraftwerksbau vorkommen kann.
- (4) Ansatz als Blocklast auf alle Wände.
- (5) Berücksichtigung der abfließenden Hydratationswärme mit $\Delta T=30 \text{ }^\circ\text{C}$.
- (6) Berücksichtigung des Verdichtungseffektes durch abgestufte Müllwichten über die Höhe.
- (7) Temperaturansatz für den Lastfall Müllbunkerbrand; nur in den unteren Bunkerbereichen angesetzt.
- (8) Schiebebettdruck auf hintere Längswand bei Einfüllvorgang mit $7,5 \text{ kN/m}^2$. Annahme eines Unterdruckes durch Primärluftansaugung bei geschlossenen Schieberklappen von minimal 0,5 und maximal 5 kN/m^2 .

Tabelle 2.17: Zusammenstellung der Lasten
Table 2.17: Loads

Lasten	Kommentar
Abfall	$\gamma = 3,5-10 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 40-45^\circ$
Schlacke	$\gamma = 10-15 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 35^\circ$
Greiferanprall	vereinzelt als statische Ersatzlast
Löschwasser	bei Neuanlagen planmäßig
Temperatur	vereinzelt Schlackenrestwärme; Müllbunkerbrand nur in einem Fall berücksichtigt

2.3.1.6 Statisches System

Das Bunkerhaus besteht im wesentlichen aus einer rechteckigen, oben offenen Kiste, die durch eine ausmittige Mittelwand in zwei ungleiche Hälften geteilt wird (Bild 2.25). Die Außenwände und die Seitenwände werden durch außenstehende Rippen gestützt, die in der Bodenplatte eingespannt sind.

Die Mittelwand und die auf der Seite des Verbrennungstraktes stehende Längswand wirken zusammen mit den horizontalen Deckenplatten - das sind Trichterbühne und Zwischendecken - sowie zusätzliche Längs- und Querwände als rahmenartiges Tragwerk. Den oberen Abschluß bildet eine in Querrichtung freigespannte Dachkonstruktion.

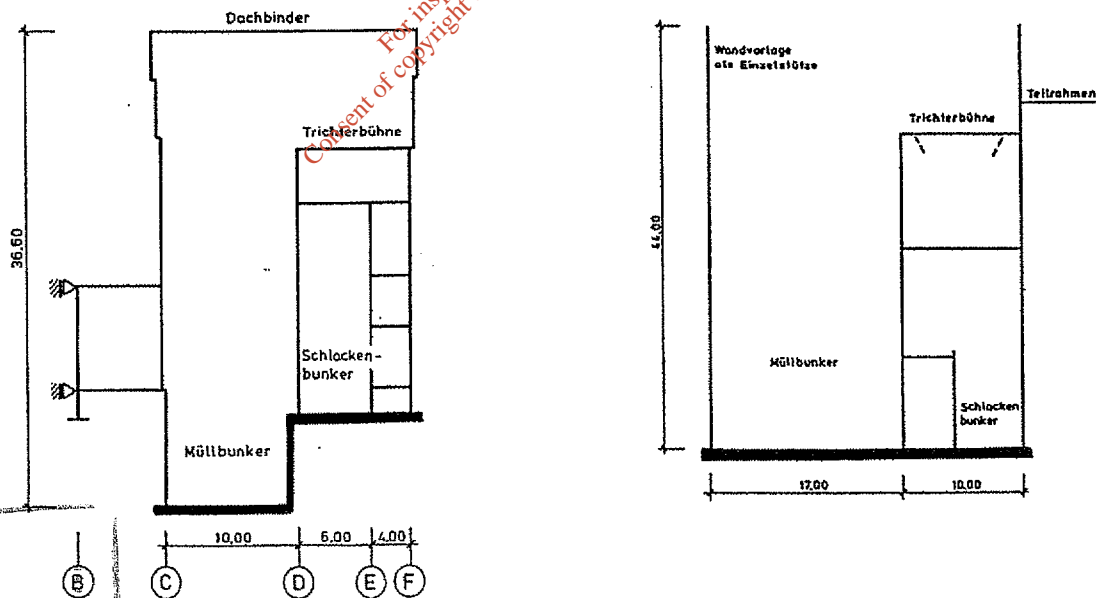


Bild 2.25: Beispiele für statische Systeme in Bunkerhausquerrichtung
Fig. 2.25: Examples of structural systems in transverse direction of the bunker hall

ENVIRONMENTAL PROTECTION
 AGENCY WASTE LICENSING
 RECEIVED
 31 JUL 2013
 INITIALS.....

2.3.1.7 Dichtheitsnachweis

Für die untersuchten Anlagen sind im Bild 2.26 die Maßnahmen zur Erstellung eines "dichten Bauwerkes" in Abhängigkeit vom jeweiligen Dichtheitsniveau (siehe Kap. 2.1) dargestellt.

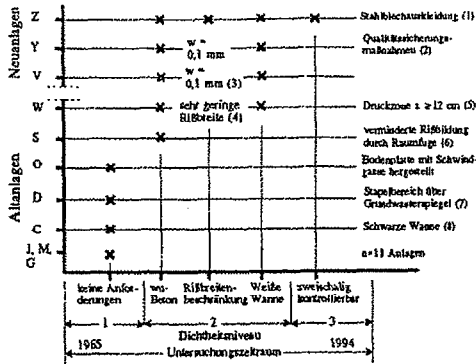


Bild 2.26: Maßnahmen zur Gewährleistung der Dichtheit
Fig. 2.26: Measures to ensure impermeability

- (1) Der Müllbunker wurde von den Genehmigungsbehörden als Lager für flüssige Stoffe entsprechend §13 der Muster-Anlagenverordnung angesehen. Der Bodenbereich ist mit einer Stahlblechauskleidung mit kontrollierbaren Zwischenräumen ausgestattet. Die Wände erhielten bis zur angenommenen Löschwasserhöhe ebenfalls eine Stahlblechauskleidung, jedoch ohne kontrollierbare Zwischenräume.
- (2) Ausbildung erfolgte als Weiße Wanne mit beschränkter Rißbreite [27].
Für alle wasserberührten Bunkerbereiche wurde eine zulässige Rißbreite von 0,1 mm zugrundegelegt. Durchführung umfangreicher qualitätssichernder Maßnahmen in Anlehnung an [66].
- (3) Für alle wasserberührten Bereiche galt für reguläre Lasten eine zulässige Rißbreite von 0,1 mm. Für den Lastfall reguläre Lasten plus Zerrungen (Bergwerksenkungsgebiet) ist die zulässige Rißbreite auf 0,3 mm festgelegt worden. Zwangsbeanspruchungen aus abfließender Hydratationswärme wurden technisch berücksichtigt.
- (4),(5) Neben dem Nachweis zur Beschränkung der Rißbreite nach DIN 1045/72 Abs. 17.6.2 wurde nach Abschnitt 17.6.3 die Vergleichszugspannung σ_v nachgewiesen. Alternativ konnte der Nachweis einer Mindestdruckzonenhöhe $x > 120 \text{ mm}$ geführt werden.
- (6) Ein Nachweis zur Beschränkung der Rißbreiten wurde nicht geführt. Der Müllbunker wurde als Konstruktion mit verminderter Rißbildung [27] durch Anordnung einer Raumfuge ausgeführt.
- (7) Um den direkten Kontakt des Grundwassers mit müllbeaufschlagten Betonteilen zu vermeiden, wurde der Stapelbereich durch entsprechende Formgebung der Bodenplatte oberhalb des Grundwasserspiegels angeordnet.
- (8) Durch Ausbildung des unteren Müllbunkerbereiches als schwarze Wanne sollte ein Eindringen von Grundwasser in den Bunker verhindert werden.

Zusammenfassend zeigen sich folgende Maßnahmen zur Erfüllung der Dichtheitsanforderungen:

Dichtheitsniveau 1

An die Dichtheit der Bauwerke wurden keine Anforderungen gestellt. Sie sind nach Standsicherheits- und Dauerhaftigkeitskriterien geplant und gebaut worden unter Beachtung der DIN 1045/EE.

Dichtheitsniveau 2

In den 80er bis 90er Jahren erfolgte die Ausbildung der Bunker als "wasserundurchlässige Baukörper aus wu-Beton" (Weiße Wanne). Von der Vielzahl der Maßnahmen zur Realisierung dieser Bauweise sind bei der Analyse der Bauakten nachweisbar:

1. Einsatz von wasserundurchlässigem Beton nach DIN 1045/72 und 88 Abschnitt 6.5.7.2.
2. Nachweis der Beschränkung der Rißbreite nach DIN 1045/72 Abschnitt 17.6.2 und Verminderung der Rißbildung nach Abschnitt 17.6.3
3. Mindestbewehrung DIN 1045/88 Abschnitt 17.6.2 und Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung Abschnitt 17.6.3
4. Qualitätssichernde Maßnahmen in Anlehnung an [66].

Dichtheitsniveau 3

Seit Beginn der 90er Jahre werden Bunker zunehmend entsprechend den Anforderungen der Anlagenverordnung-VAwS für Lager für flüssige Stoffe ausgebildet. Dies führt zu einer doppelwandigen Ausbildung unterer Bunkerbereiche mit Leckanzeigergerät. Hierbei wird dem Beton keine dichtende Funktion zugewiesen.

2.3.1.8 Gründung

Bild 2.27 zeigt die Auswertung der untersuchten Anlagen bezüglich der Gründungsart. In der Regel sind Bunkeranlagen über eine massive Bodenplatte flächenhaft in Tiefen zwischen 6,75 und 13,3 m (i. M. 9,56 m) unterhalb der Geländeoberkante gegründet. Weiterhin stehen 9 der 11 Anlagen zwischen 1,55 und 8,0 m (i. M. 4,67 m) tief im Grundwasser.

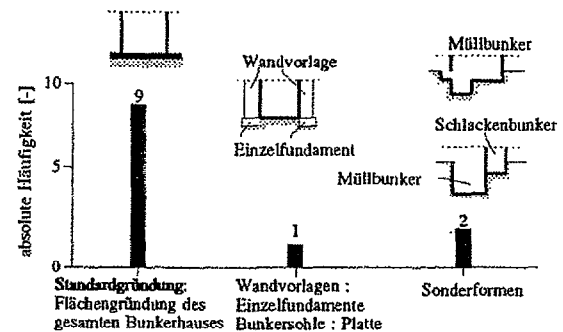


Bild 2.27: Gründungsarten
Fig. 2.27: Foundation types

Bei einigen Anlagen wurden die Bodenplatte und untere Wandbereiche durch eine Sparschicht vor dem nach DIN 4030 chemisch sehr stark angreifenden Grundwasser geschützt, wie in Bild 2.28 beispielhaft gezeigt ist. Der überwiegende Teil der Anlagen ist allerdings ohne Abdichtung ausgeführt.

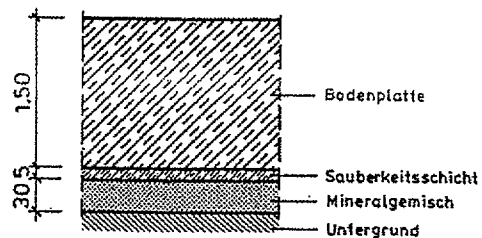
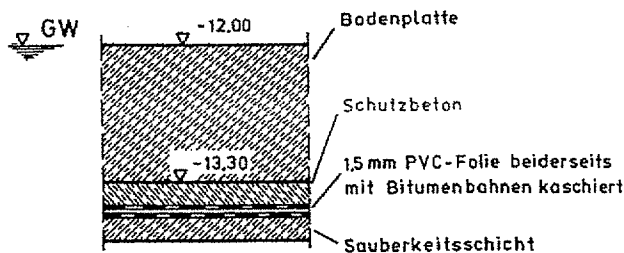


Bild 2.28: Abdichtung der unteren Bunkerbereiche
Fig. 2.28: Sealing of the bottom bunker areas

2.3.1.9 Entwässerung

Die Entwässerung dient der Fassung und Ableitung von Flüssigkeiten aus Bunkern. Folgende bauliche Maßnahmen werden hierzu einzeln oder in Kombination eingesetzt:

- Gefällebeton
- rechteckige Entwässerungsöffnungen im Übergangsbereich Bodenplatte-Wand
- Pumpensümpfe.

In einer 1974 [39] weltweit durchgeführten Befragung von Anlagenbetreibern wurde festgestellt, daß in England, Nordamerika und Japan Entwässerungen der Müllbunker üblich sind, hingegen in Europa und Skandinavien kaum. Im Merkblatt 5 [78], "Planung von Müllverbrennungsanlagen" von 1970 wird die Entwässerung von Müllbunkern als nicht erforderlich angesehen.

Die folgenden Bilder 2.29 und 2.30 zeigen die Auswertung der untersuchten Bunkeranlagen bezüglich der Anordnung der Entwässerungsöffnungen im Grundriß.

Lediglich bei 2 Müllbunkern ist eine Entwässerung vorhanden. Die Bunkersohlen sind horizontal.

Bei den Schlackenbunkern sind in der Regel die Öffnungen entweder unterhalb des Schlackeneinwurfes oder in einer der Seitenwände angeordnet. Die Neigung des Gefällebetons beträgt bis zu 2 %. Das Schlacken Kühlwasser wird über rechteckige Entwässerungsschlitze abgeleitet und der Schlackenaus-tragseinrichtung wieder zugeführt. Zum Schutz der Entwässerungsöffnung vor Verstopfung durch Lagergut werden auf der Bunkerinnenseite Lochbleche als Abdeckung angeordnet.

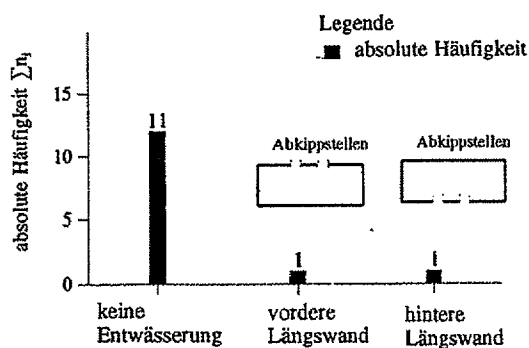


Bild 2.29: Anordnung von Entwässerungsöffnungen in Müllbunkern

Fig. 2.29: Arrangement of drainage openings in refuse bunkers

2.3.1.10 Brandschutz

2.3.1.10.0 Einführung

Brandschutzmaßnahmen werden in bauliche und betriebliche Maßnahmen unterteilt. Da in [16, 19, 37, 2] ausführliche Informationen über betriebliche Brandschutzmaßnahmen zu finden sind, wird hier beispielhaft das betriebliche Brandschutzkonzept einer neueren Anlage vorgestellt. Die Auswertung der Bunkeranlagen bezüglich des baulichen Brandschutzes erfolgt in Anlehnung an das VGB-Merkblatt Brandschutz in Hausmüllverbrennungsanlagen [76] mit Schwerpunkt auf Brandabschnitte, Rauchwärmeabzugsanlagen (RWA), Dachkonstruktion, Feuerlöschöffnungen und Umschließungswände. Bei den älteren Anlagen erfolgte keine brandschutztechnische Ausbildung der Bauteile. Bei neueren Anlagen hingegen erfolgt die konstruktive Ausbildung des Bunkerhauses unter Beachtung der DIN 4102 (z. B. in [12]) sowie den Hinweisen des VGB-Merkblattes [76].

2.3.1.10.1 Baulicher Brandschutz

Müllverbrennungsanlagen sind den einzelnen Gebäudekomplexen entsprechend in mehrere Brandabschnitte unterteilt. Die größten Abschnitte sind der Müllbunker und ggf. die Entladehalle, das Kesselhaus und die Gebäude der Rauchgasreinigung.

Für die Entrauchung des Müllbunkerbereiches dienen Rauchwärmeabzugsanlagen (RWA). Der im VGB-Merkblatt [76] empfohlene wirksame Flächenanteil der RWA von 8 bis 15 % der zugehörigen Dachfläche wird unabhängig von Alt- oder Neuanlage sowohl unterschritten (Anlage J: 3,1 %) als auch überschritten (Anlage O: 18,5 %).

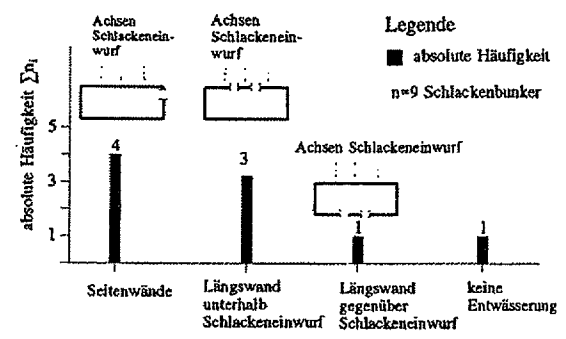


Bild 2.30: Anordnung von Entwässerungsöffnungen in Schlackenbunkern

Fig. 2.30: Arrangement of drainage openings in residue bunkers

6.2 Dichtheit

6.2.1 Müllbunker

Tabelle 6.10 enthält die zur Beurteilung vorhandenen Daten

Die Eindringtiefen der TOC-erfaßbaren, organischen Substanzen sind als gering zu bezeichnen. Der Summenparameter TOC (gesamter organisch gebundener Kohlenstoff) ist ein Maß für die Gesamtverunreinigung durch organische Substanzen. Verfahrensbedingt werden leichtflüchtige Stoffe nur bedingt erfaßt.

Untersuchungen an Bodenproben, die unterhalb einer Müllbunkersohle entnommen wurden, lassen den Müllbunker als Schadstoffquelle als äußerst unwahrscheinlich erscheinen. Die Konzentrationen an anorganischen und organischen Schadstoffen lagen zum Zeitpunkt der Beprobung in Größenordnungen, die eine Unterscheidung zwischen geogener Herkunft und anthropogenem Schadstoffeintrag nicht ermöglichen.

Die untersuchten Schwermetalle (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink) konnten in einer Tiefe zwischen 10 bis 20 mm nicht bzw. nur noch in Spuren nachgewiesen werden. Mit Ausnahme des Zinks bilden die Schwermetalle im basischen Porenmilieu schwerlösliche Metallhydroxide, die bereits in oberen Betonrandzonen ausgefällt werden.

Insgesamt zeigt sich die grundsätzliche Eignung einschaliger Betonkonstruktionen zur Übernahme der Dichtfunktion.

Im folgenden wird basierend auf diesen Erkenntnissen ein Vorschlag für einen Dichtheitsnachweis für ungerissenen Beton in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie [64] vorgestellt.

Dieses Nachweiskonzept gilt für eine beliebig häufig intermittierende Beaufschlagung, die durch entsprechende bauliche und betriebliche Maßnahmen sicherzustellen ist. Die Ausbildung der Bunkersohle erfolgt als Ableitfläche einschließlich eines Rückhalteraaumes zur Aufnahme der Sickerwässer. Durch betriebliche Maßnahmen ist der Sickerwasseranfall auf ein Minimum zu reduzieren. Hauptursachen für die Entstehung sind in Tabelle 3.26, Kap. 3.4, aufgelistet.

Der Nachweis der Dichtheit erfolgt über die Ermittlung der Mindestdruckzonendicke x :

$$x \geq \gamma_s \cdot e_k \quad [\text{mm}]$$

Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe
 e_k charakteristische Eindringtiefe in mm
 γ_s Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe

Die charakteristische Eindringtiefe e_k ist der Rechenwert der Eindringtiefe, bis zu der die einwirkende Flüssigkeit innerhalb der Beaufschlagungsdauer t als Flüssigkeitsfront eindringt.

Sie ermittelt sich aus

$$e_k = 1,35 \cdot e_{\text{m}} \quad [\text{mm}] \quad (6.6)$$

mit e_{m} mittlere Eindringtiefe aus Versuchen.

Diese gilt für einmalige Beaufschlagung. Im Falle einer intermittierenden Beaufschlagung darf eine mittlere äquivalente Beaufschlagungsdauer $t_{\text{äqu}}$ angesetzt werden. Zur Ermittlung der nach Gleichung 6.6 erforderlichen, mittleren äquivalenten Eindringtiefe $e_{\text{äqu}}$, kann die an Bunkerbauwerken ermittelte mittlere Eindringtiefe $e_{\text{TOC}} = 50/1,35 = 37 \text{ mm} \approx 35 \text{ mm}$ herangezogen werden. Da diese nur bedingt für leichtflüchtige Stoffe gilt, setzt sich die Eindringtiefe $e_{\text{äqu}}$ (Bild 6.1) aus

$$e_{\text{äqu}} = e_{\text{TOC}} + e_{\text{fS}} \quad (6.7)$$

mit e_{TOC} TOC-erfaßbare Stoffe
 e_{fS} leichtflüchtige Stoffe

zusammen. Die äquivalente Beaufschlagungsdauer wird wie folgt ermittelt.

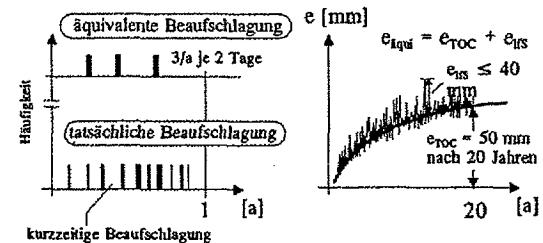


Bild 6.1: Beaufschlagungssituationen
 Fig. 6.1: Loadingsituation

Die in der Realität auftretende, intermittierende kurzzeitige Beaufschlagung der Bunkersohle wird durch einen äquivalenten Beaufschlagungszyklus von je 2 Tage 3 mal pro Jahr ersetzt (Bild 6.1).

Dieser theoretische Wert beinhaltet den 2maligen Löschwasseranfall (Erfahrungswert, siehe Tabelle 3.19, Kap. 3.3) und den externen Eintrag von Wasser z. B. durch die Anlieferung.

Somit ergibt sich eine äquivalente Beaufschlagungsdauer $t_{\text{äqu}}$ für den Zeitraum von 20 Jahren zu

$$t_{\text{äqu}} = 20 \cdot 3 \cdot 2 = 120 \text{ Tage.}$$

Tabelle 6.10: Eindringen ausgewählter Sickerwasserinhaltsstoffe
 Table 6.10: Penetration of selected substances contained in leachate

Objekt	:	Bodenplatte
Anforderungen	:	an die Dichtheit wurden keine Anforderungen gestellt (Dichtheitsniveau 1)
Einwirkungen	:	Müllsickerwasser : Zusammensetzung nach Tabelle 3.29, Kap. 3.4 - Beaufschlagung Häufigkeit : Boden : intermittierend bis dauernd Dauer : 25 Jahre
Konstruktion	:	ebene Bunkersohle, keine Entwässerung des Bunkers
Eindringtiefe	:	Bodenplatte : $e_{\text{TOC}} \leq 50 \text{ mm}$

Aufgrund der weitgehenden Dekontamination leichtflüchtiger Stoffe zwischen den Beaufschlagungszyklen von 120 Tagen (nach Teil 5 der DAfStb-Richtlinie [64] liegt der Verdampfungsanteil 3 Tage nach der Beaufschlagung für niedrige Stoffkennwerte $(\sigma/\eta)^{0,5}$ über 60 % und bei höheren über 90 %; σ = Oberflächenspannung, η = Viskosität) wird die maximale Eindringtiefe dieser Stoffe, unter Annahme der größten Eindringtiefe nach [64] von 40 mm nach 72 Stunden abgeschätzt.

$$e_{\text{MS}} \leq 40 \text{ mm} \quad (6.8)$$

Die Dekontamination erfolgt bei Eindringtiefen kleiner als ein Viertel der Bauteildicke (hier: 1,15 bis 2,00 m, Kap 2.3.2) ausschließlich über die zuvor beaufschlagten Bauteiloberflächen. Somit ergibt sich die äquivalente Eindringtiefe zu

$$e_{\text{äqu}} = 35 + 40 = 75 \text{ mm} \quad (6.9)$$

Die charakteristische Eindringtiefe berechnet sich folglich zu

$$e_k = 1,35 \cdot 75 = 100 \text{ mm}$$

Für den Nachweis der erforderlichen Druckzonendicke gilt dann

$$x \geq \gamma_s \cdot 100 \text{ [mm]}$$

Die Eindringtiefe $e_{\text{äqu}} = 75 \text{ mm}$ ist als maximaler Wert anzusehen und kann auch im Rahmen einer Eignungsprüfung genauer ermittelt werden. Bei einer äquivalenten Beaufschlagungsdauer von 120 Tagen beträgt die Prüfungsdauer $t_{\text{Prüf}} = 12 \text{ Tage}$, da eine Extrapolation der Prüfgebnisse bis auf die 10-fache Beaufschlagungsdauer zulässig ist.

Während der vorgeschriebenen Lagerungsdauer und während der Eindringprüfung ist der Probekörper einseitig zu befeuchten. Die Befeuchtung kann durch ein auf der Prüfkörperunterseite angeordnetes wassergefülltes Gefäß erfolgen. Zwischen Wasserspiegel und Prüfkörperunterseite ist ein Zwischenraum vorzusehen, so daß eine relative Luftfeuchtigkeit von nahezu 100 % erreicht wird. Die mittleren Eindringtiefen $e_{288\text{m}}$ ($t = 12 \text{ Tage} = 288 \text{ Stunden}$) müssen der folgenden Gleichung genügen:

$$e_{288\text{m}} \cdot (t_{\text{äqu}} / t_{\text{Prüf}})^{0,5} \leq e_{\text{äqu}} \quad (6.10)$$

mit

- $t_{\text{äqu}}$ äquivalente Beaufschlagungsdauer von 120 Tagen für 20 Jahre
- $t_{\text{Prüf}}$ Prüfzeitraum von 12 Tagen
- $e_{\text{äqu}}$ zulässige Eindringtiefe von 75 mm (Gln. 6.9)

6.2.2 Schlackenbunker

Aufgrund der hier vorliegenden Dauerbeaufschlagung durch die Kühlwasser ist ein Nachweis gemäß der DAfStb-Richtlinie, die nur für eine einmalige bzw. intermittierende Beaufschlagung

gültig ist, nicht möglich. Auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen werden im folgenden Empfehlungen für einen Dichtheitsnachweis gegeben.

Tabelle 6.11 zeigt Randbedingungen und Ergebnisse der TOC-Untersuchungen im Schlackenbunker.

Die maximale Eindringtiefe TOC-erfaßbarer, organischer Stoffe ist als sehr niedrig zu bezeichnen. Bezüglich der Schwermetalle besteht kein Unterschied zu den Erkenntnissen aus dem Müllbunkerbereich. Die grundsätzliche Eignung einschaliger Konstruktionen zur Rückhaltung wassergefährdender Stoffe im ungerissenen Zustand kann eindeutig festgestellt werden.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse wird im folgenden ein Vorschlag für einen Dichtheitsnachweis in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie [64] abgeleitet.

Da durch den Verbrennungsvorgang leichtflüchtige organische Stoffe ausgetrieben werden und daher nicht mehr in der Schlacke bzw. im Kühlwasser enthalten sind, kann davon ausgegangen werden, daß mit der TOC-Bestimmung alle im Sickerwasser bzw. im Bohrkern enthaltenen organischen Kohlenstoffverbindungen weitestgehend erfaßt sind. Unter dieser Annahme dringen im Kühlwasser enthaltene, organische Stoffe nach 25-jähriger Beaufschlagung unter den hier vorliegenden Randbedingungen nur bis zu einer Tiefe von 20 mm in den Beton ein.

Der Dichtheitsnachweis kann über die Druckzonendicke erfolgen:

$$x \geq \gamma_s \cdot e_k \text{ [mm]} \quad (6.11)$$

mit γ_s Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe
 e_k charakteristische Eindringtiefe in mm

$$e_k = 1,35 \cdot e_m \quad (6.12)$$

e_m : mittlere Eindringtiefe aus Versuchen

Die mittlere Eindringtiefe setzt sich zusammen aus

$$e_m = e_{\text{TOC}} + d_k \text{ [mm]} \quad (6.13)$$

Gefügestörungen durch thermische und mechanische Beanspruchungen werden durch eine Erhöhung in Abhängigkeit vom Korndurchmesser d_k berücksichtigt. Für eine Korngröße $d_k = 32 \text{ mm}$ ergibt sich somit die erforderliche Druckzonendicke x zu

$$x \geq \gamma_s \cdot 1,35 \cdot (20 + 32) = \gamma_s \cdot 70 \text{ [mm]} \quad (6.14)$$

Hierbei muß die Betonzusammensetzung der eines FD-Beton oder eines gleichwertigen Betons entsprechen und die Trennrißfreiheit im unteren Bunkerbereich sichergestellt sein. Der Kontrollzeitpunkt liegt 20 Jahre nach Betriebsbeginn.

Tabelle 6.11: Eindringen TOC-erfaßbarer organischer Stoffe
Table 6.11: Penetration of TOC-detectable organic substances

Objekt	:	Bodenplatte		
Anforderungen	:	an die Dichtheit wurden keine Anforderungen gestellt (Dichtheitsniveau 1)		
Einwirkungen	:	Schlacken Kühlwasser	:	Zusammensetzung nach Tabelle 3.29, Kap. 3.4
	:	- Beaufschlagung	:	Boden : dauernd
	:	Häufigkeit	:	25 Jahre
	:	Dauer	:	
Konstruktion	:	Entwässerung des Bunkers		
Eindringtiefe	:	Bodenplatte	:	$e_{\text{TOC}} \leq 20 \text{ mm}$

7 Empfehlungen für Konstruktion und Betrieb

7.0 Einführung

Die folgenden Empfehlungen gelten für Bunkeranlagen in thermischen Abfallbehandlungsanlagen für feste Siedlungsabfälle für die angelieferten Abfälle und die entstehenden Schlacken. In diesen Anlagen können alle festen Siedlungsabfälle in Kombination oder einzeln gelagert werden, wobei folgende Randbedingungen zu beachten sind:

- Der zu lagernde Abfall besteht aus festen und trockenen bis feuchten Bestandteilen mit einem hohen Wasserhaltevermögen. Die Empfehlungen gelten daher nicht für Anlagen, in denen hauptsächlich Bioabfälle mit sehr hohem Wassergehalt (z. B. organische Küchenabfälle, Gartenabfälle) gelagert werden
- Der Anteil schadstoffbelasteter Produkte [73] am Gesamtabfall ist auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Empfehlungen für den Schlackenbunkerbereich gelten unabhängig von Verbrennungstechnik und Art und Betriebsweise der Entschlackungsanlage.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen dienen zur Sicherstellung der

- Beständigkeit gegen spezifische Einwirkungen
- Dichtheit auch in gerissenen Bereichen, jedoch unter Ausschluß von Trennrissen

bei einschaligen Bauwerken entsprechend Konstruktionsprinzip 1, für einen Zeitraum von 20 Jahren. Bild 7.1 enthält einen Leitfaden zur Anwendung der Empfehlungen bezüglich Beständigkeit.

Analog hierzu zeigt Bild 7.2 den Leitfaden bezüglich Dichtheit.

7.1 Konstruktion

7.1.1 Gesamtbauwerk

▫ Müllbunkernutzvolumen

Das Müllbunkernutzvolumen V_N sollte mindestens für 5 oder mehr anlieferungsfreie Tage ausgelegt werden.

$$V_N \geq 5 \cdot P / \rho$$

mit P Verbrennungsleistung [t/d]
 ρ Dichte des Gesamtabfalls [t/m³]

Die Dichten des Gesamtabfall können zwischen 250 bis 700 kg/m³ liegen. Die geringeren Werte gelten für frischen, die höheren für gelagerten Abfall.

▫ Müllbunkerbreite

Als Anhaltswerte für die Bunkerbreite b_B dienen folgende Angaben:

- wandartige Stapelung des Abfalls und übliche Greifer (5 bis 8 m³)

$$b_B \geq 15 \text{ m}$$

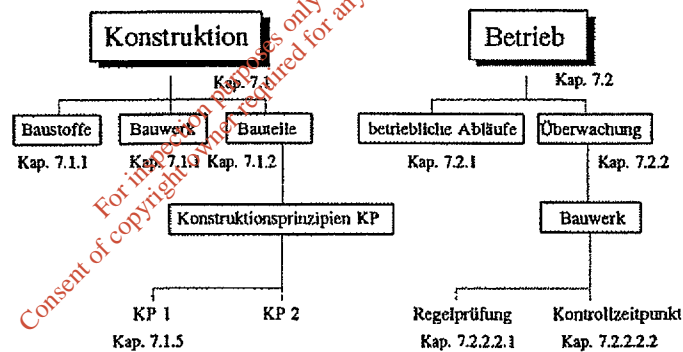


Bild 7.1: Leitfaden -Beständigkeit-
 Fig. 7.1: Guidelines -Durability-

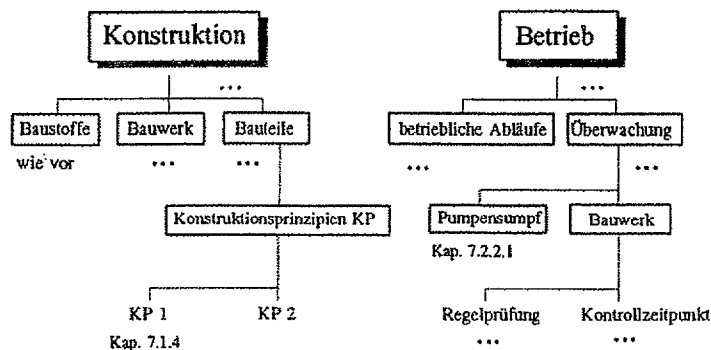


Bild 7.2: Leitfaden -Dichtheit-
 Fig. 7.2: Guidelines -Impermeability-

- Bunkerbreite in Abhängigkeit von der geöffneten Greiferbreite b_G (Bild 7.3)

$$b_B \geq 3 \cdot b_G$$

Die Breite des Einfüllbereiches beträgt $b = b_G$ und die des Stapelbereiches $b = 2b_G$.

▫ Begehbarkeit der Bunkeranlagen

Die Begehbarkeit sollte sichergestellt sein, um insbesondere

- Inspektionen unterer Bunkerbereiche
- Materialtransport im Instandsetzungsfall

ohne großen Aufwand zu ermöglichen. Geeignete Maßnahmen sind z. B. verschließbare Wandöffnungen außerhalb des planmäßigen Stapelbereiches auf Abkippstellenniveau. Dies ist ebenfalls möglich durch Anordnung einer Sperrmüllscherenbühne an einer Seitenwand oder einer Seitenabkipfstelle (siehe Anlagen J und O Anhang I). Diese Bühnen erleichtern eine Bunkerentleerung bei längerem Betriebsstillstand erheblich. Weiterhin ist die Brandbekämpfung von dieser Stelle aus möglich.

▫ Ausbildung der Bunkersohlen

Die Bunkersohlen sind entsprechend den Angaben der DAfStb-Richtlinie [64] als Ableitflächen (Gefälle $\geq 2\%$), wie in Bild 7.3 beispielhaft dargestellt, auszubilden. Im Müllbunker ist eine ausgekleidete Vertiefung (Pumpensumpf) als Rückhalteraum für Sickerwasser anzuordnen. Die Abmessungen sind so zu wählen, daß nach Beseitigung des Abfalls durch den Greifer der Abstand zwischen der restlichen Füllung und der Oberkante des Pumpensumpfes $> 0,30$ m beträgt.

▫ Verringerung der mechanischen Einwirkungen durch den Greifer

Für den Kranführer ist die Einsehbarkeit in alle Bunkerbereiche durch eine entsprechende Krananzelposition sicherzustellen. Der Bewegungsbereich des Krans bzw. des Greifers darf durch Einbauten (Stützen, Laufstege, etc.) nicht eingeschränkt sein, alle Wandbereiche sollten pendelfrei anfahrbar sein.

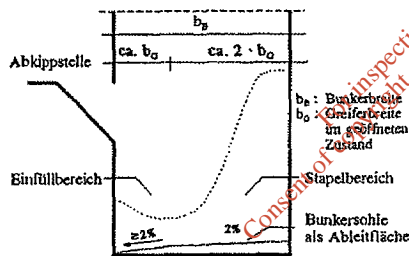


Bild 7.3: Müllbunkerquerschnitt
Fig. 7.3: Cross section of refuse bunker

▫ Anordnung des Sperrmüllwürfes

Der Sperrmüllwürf ist bei wandartiger Stapelmethode möglichst im Abkippbereich für sonstige Abfälle und in einem ausreichenden Abstand zum Bunkerboden anzuordnen. Im Einfüllbereich des Sperrmülls ist ein erhöhter Verschleißschutz der Bunkersohle günstig.

▫ Anordnung der Entwässerungsöffnung im Schlackenbunker

Zur Vermeidung von Funktionsstörungen an Entwässerungsöffnungen ist die Anordnung außerhalb des Schlackenlager- und Einfüllbereiches von Vorteil.

▫ Baustoffe

Es ist ein flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton) oder ein gleichwertiger (FDE-Beton) gemäß der DAfStb-Richtlinie [64] zu verwenden. Die Auslegung des Betons gegen starken chemischen Angriff gemäß DIN 1045 Abs. 6.5.7.5 und die Verwendung von Zement mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN 1164 sind zu empfehlen. Im Schlackenbunker ist zusätzlich ein Beton mit hohem Eindringwiderstand gegenüber Chloriden erforderlich. Hierzu eignen sich besonders Betone mit Hochofenzement mit einem hohen Anteil an Hüttensand.

7.1.2 Bautelle

7.1.2.1 Boden- und Wandflächen

Die Querschnittsausbildung von Boden- und Wandflächen kann entsprechend den in Tabelle 7.1 aufgezeigten Konstruktionsprinzipien erfolgen. Hierbei wird unterschieden zwischen Grundstufe und Grundstufe + Zusatzmaßnahmen zur gezielten Erhöhung des Widerstandes gegen einzelne Einwirkungen. Bei Konstruktionsprinzip 2 kann die Dichtfunktion auch von einer nichttragenden Dichtsicht, z. B. aus SIFCON (stahlfaserbewehrter Baustoff), übernommen werden.

Tabelle 7.2 zeigt Anwendungen der Konstruktionsprinzipien in Abhängigkeit von der Schutzfunktion gegen mechanische, thermische und chemische Einwirkungen. Weiterhin ist der mögliche Einsatzbereich angegeben.

Die Grundstufe erfordert stets die Anwendung eines FD-Betons oder eines gleichwertigen Betons. Entscheidungskriterien zur Wahl eines Konstruktionsprinzips sind neben grundsätzlicher Eignung, Instandsetzbarkeit und Kontrollierbarkeit. Diesbezüglich sind z. B. zweischalige Konstruktionen als besonders günstig anzusehen.

Tabelle 7.1: Konstruktionsprinzipien -Funktion und Querschnittsaufbau
Table 7.1: Design principles -Function and cross section-

	Konstruktionsprinzip 1	Konstruktionsprinzip 2	
	Grundstufe einschalig	Grundstufe + Zusatzmaßnahmen einschalig, mehrschichtig	zweischalig
Grundstufe	Dichtfunktion Tragfunktion Schutzfunktion	Dichtfunktion Tragfunktion	Dichtfunktion Tragfunktion
Zusatzmaßnahmen		Schutzfunktion	Schutzfunktion

Die einwirkungsspezifische Widerstandsfähigkeit von Zusatzmaßnahmen darf bei Auftreten anderer Einwirkungen nicht vermindert werden. Stahlfaserbetonschichten mit primärer Schutzfunktion gegen mechanische Angriffe müssen z. B. bei gleichzeitigem Wirken stark chloridhaltiger Flüssigkeiten korrosionsbeständig sein. Dies gilt ebenfalls für metallische Tragelemente für Auskleidungen im Schlackenbunkerbereich.

Bei kleineren Abmessungen sind auch Stahlblechauskleidungen sinnvoll.

Bild 7.4 enthält Ausführungsbeispiele für die Konstruktionsprinzipien.

7.1.2.2 Einfüllkonstruktionen

Bei der Ausbildung von Einfüllkonstruktionen als Rutschen aus Stahlbeton sind zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes die in Tabelle 7.3 angegebenen Zusatzmaßnahmen zu empfehlen.

Tabelle 7.3: Zusatzmaßnahmen gegen mechanische Einwirkungen
Table 7.3: Additional measures against mechanical actions

Erhöhung der Betondeckung
 Beton mit hohem Verschleißwiderstand
 Stahlfaserbeton
 Pflasterung
 Betonfertigteile

Tabelle 7.2: Konstruktionsprinzipien - Ausführungsbeispiele -
Table 7.2: Design principles -Practical examples-

Konstruktionsprinzipien	Ausführungsbeispiele	Schutzfunktion gegen			Einsatzbereich	
		mechanische	chemische Einwirkungen	thermische	Mb : Müllbunker, Sb : Schlackenbunker	W : Wand, B : Boden
KP 1 einschalig	FD-Beton, $e_w \leq 30$ mm erhöhte Betondeckung	x	x	x	Mb, Sb	W, B
	FD-Beton, $e_w \leq 30$ mm Stahlfaserbetonschicht	x	x	x	Mb, Sb	W, B
KP 2 einschalig mehrschichtig	FD-Beton Pflasterung	x	x		Mb	B
	FD-Beton Hartstoffestrich	x	x		Mb, Sb	B
	FD-Beton Epoxidharz-Mörtel Schutzbeton		x		Sb	W, B
zweischalig mehrschichtig	FD-Beton, $e_w \leq 30$ mm Hartholzaukleidung	x	x	x	Mb	W
	FD-Beton Versiegelung Hartholzaukleidung	x	x		Sb	W

e_w - Beton mit hohem Widerstand gegen starken chemischen Angriff; Wassereindringtiefe nach DIN 1048, $e_w \leq 30$ mm

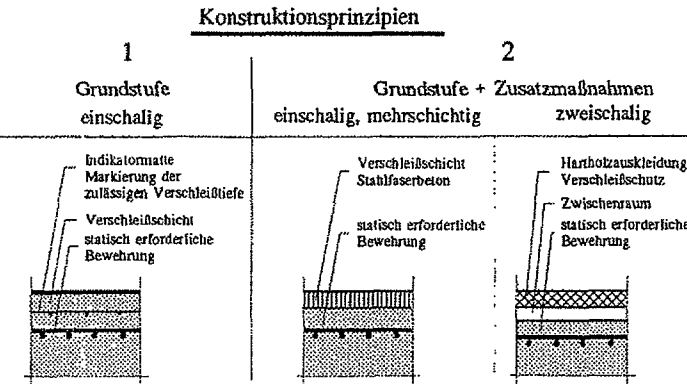


Bild 7.4: Ausführungsbeispiele - Konstruktionsprinzipien 1 und 2 -
 Fig. 7.4: Practical examples -Design principles 1 and 2

7.1.3 Konstruktionsdetails

▫ Fugen
Bewegungsfugen sind in Bunkern zu vermeiden. Unumgänglich erforderliche Arbeitsfugen sind gemäß den Angaben der DAfStb-Richtlinie [64] auszubilden.

▫ Vouten
Vouten (Übergang Bodenplatte-Wand bzw. Wand-Wand) sollten im Zusammenhang mit der Konstruktion hergestellt werden, um die Gefahr einer Rißbildung in diesen Bereichen zu vermindern. Sie sind entsprechend der Greiferkinematik auszubilden.

▫ Kanten
Kanten von Dichtkonstruktionen sind gegen Greiferanprall zu schützen (z. B. Panzerung durch Stahlbleche)

7.1.4 Dichtheitsnachweis

7.1.4.1 Müllbunker

Dieses Nachweiskonzept gilt für eine beliebige intermittierende Beaufschlagung in einem Zeitraum von 20 Jahren. Im Falle der Beaufschlagung durch Löschwasser ist nach [64] die Richtlinie für Löschwasser-Rückhalteanlagen [79] maßgebend.

Der Dichtheitsnachweis besteht aus dem Nachweis der Druckzonendicke x in gerissenen Bereichen :

$$x \geq \gamma_s \cdot e_k \quad [mm] \quad (7.1)$$

mit γ_s Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe
 e_k charakteristische Eindringtiefe in mm

Alternativ kann bei Vorhandensein eines ungerissenen Bereiches ein Nachweis über die Konstruktionsdicke erfolgen. Ein Rißbreitennachweis wird nicht erfaßt. Für den Nachweis nach Gl. 7.1 kann $e_k = 100$ mm angenommen werden.

Weiterhin sind bauliche und betriebliche Maßnahmen entsprechend Kapitel 7.1.1 und 7.2.2 zu treffen.

Die charakteristische Eindringtiefe kann durch eine Eignungsprüfung genauer ermittelt werden (siehe Kap. 6.2.1). Am Kontrollzeitpunkt, d. h. max. 20 Jahre nach Betriebsbeginn, wird mittels eines Prüfkriteriums (Gl. 7.3) über die mögliche Weiterentwicklung bestimmt.

7.1.4.2 Schlackenbunker

Der Dichtheitsnachweis erfolgt auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen (Kap. 6.2.2) in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie [64] für einen Zeitraum von 20 Jahren.

Es müssen alle folgenden Kriterien erfüllt sein:

- Nachweis der erforderlichen Mindestdruckzonendicke

$$\text{erf } x \geq \gamma_s \cdot 1,35 \cdot (20 + d_k) \quad [mm] \quad (7.2)$$

mit γ_s Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe
 d_k Korngröße in mm

- Verwendung eines FD-Beton oder eines gleichwertigen Betons (FDE)
- Sicherstellung der Trennrißfreiheit in unteren Bunkerbereichen

Die Überwachung erfolgt im Rahmen der Bauwerksüberprüfungen nach Kap. 7.2.2. Der Kontrollzeitpunkt ist 20 Jahre nach Betriebsbeginn.

7.1.5 Beständigkeitsnachweis

Zur Abschätzung der erforderlichen Betondeckung für Konstruktionsprinzip 1 kann das in Bild 7.5 dargestellte Ablaufschema für den Müll- und Schlackenbunkerbereich angewendet werden.

Es werden neben den Einwirkungen Karbonatisierung, Chloridangriff und Greiferanprall auch die Forderungen des baulichen Brandschutzes nach DIN 4102 berücksichtigt. In Bereichen mit sehr hohen mechanischen Einwirkungen kann eine weitere Erhöhung der Betondeckung erforderlich sein. Alternativ hierzu ist auch eine Ausführung nach Konstruktionsprinzip 2, z. B. durch eine zusätzliche Stahlfaserbetonschicht möglich.

Für einen Instandsetzungsfreien Zeitraum von $t = 20$ Jahren ergeben sich beispielsweise für den Müll- und Schlackenbunker die in Tabelle 7.4 angegebenen erforderlichen Betondeckungen.

Die zulässige Verschleißtiefe ist z. B. durch eine Baustahlmatte mit Rißbreiten beschränkender Wirkung zu markieren ("Indikatormatte"). Der Korrosionsschutz ist bei starkem Chloridangriff durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen. Das Ablaufschema kann bei Kenntnis der Einwirkungen sinngemäß auch für andere Lagergüter verwendet werden.

7.2 Betrieb

7.2.1 Betriebliche Abläufe

▫ Verringerung mechanischer Einwirkungen durch den Greifer

Durch Einhaltung eines Mindestabstandes des Greifers (Seillängengrenzung) von der Bunkersohle kann der Verschleiß weitgehend reduziert werden.

▫ Sickerwasser vermeiden

Der Anfall von Sickerwasser ist weitgehend zu minimieren. Häufige Ursachen für die Entstehung sind:

- Anlieferung
 - Regenwasser aus Müllbehältern
 - Wasser aus Straßenkehrmaschinen
- Betrieb
 - Löschwasser (Müllbunkerbrand, Brand im Sperrmüllscherenbereich, Müllbunker als Löschwasserrückhalteraum bei Bränden in anderen Anlagenbereichen)
 - Reinigungswasser und Oberflächenwasser aus dem Anlieferungsbereich
- Lagergut
 - Wasserhaltefähigkeit unterer Abfallschichten nicht ausreichend

Durch kontinuierliches Umschichten unterer Abfallschichten, insbesondere im Einfüllbereich, kann eine optimale Aufnahme von Sickerwasser erreicht werden. Die Lagerzeit bodennaher Abfallschichten im Stapelbereich ist durch regelmäßiges Austauschen mit frischem Abfall zu begrenzen. Dies ist besonders einfach zu realisieren bei horizontaler Lagerung entsprechend Stapelmethode 3.

▫ Stark wasserhaltige Abfälle

Abfälle mit hohem Wasseranteil, wie z. B. Straßenkehrschutt, können bevorzugt im Bereich des Pumpensumpfes eingefüllt werden.

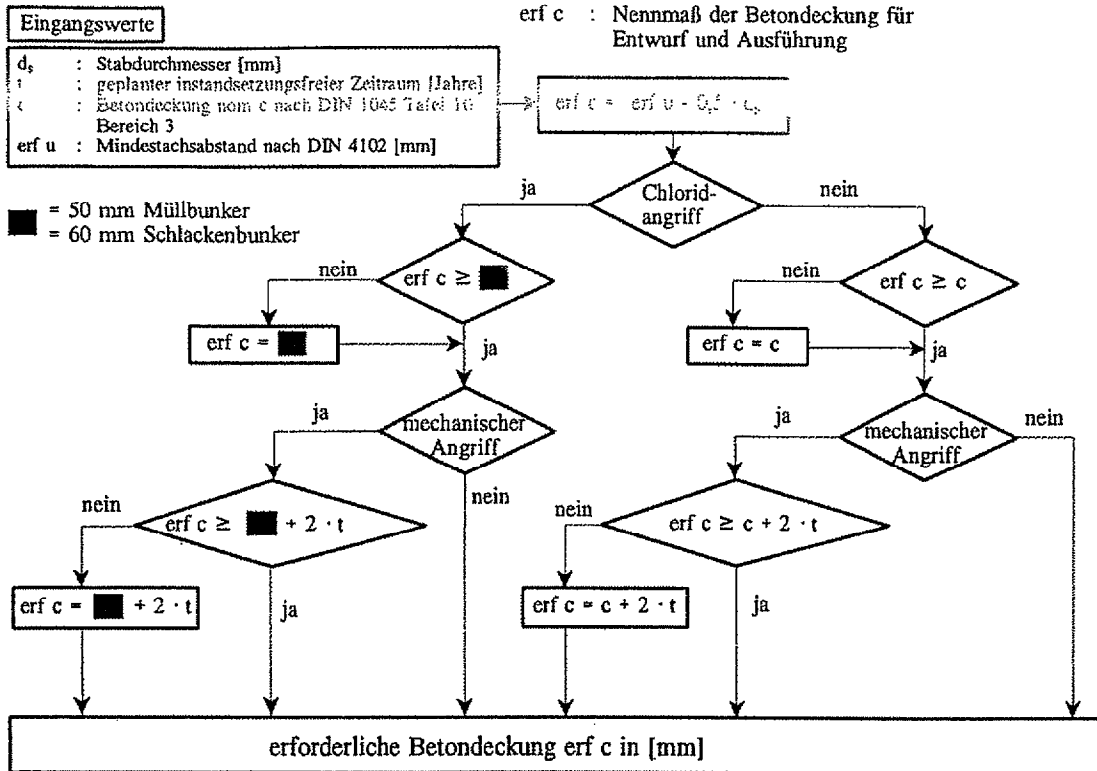


Bild 7.5: Erforderliche Betondeckung
 Fig. 7.5: Required concrete cover

Tabelle 7.4: Erforderliche Betondeckungen -Beispiele-
 Table 7.4: Required concrete covers -Examples-

Bunker	Einwirkungskombination	erforderliche Betondeckung nom c
Müllbunker	Karbonatisierung + Greiferanprall + Brand Greiferanprall + Chloridangriff	75 90 mm
Schlackenbunker	Karbonatisierung + Greiferanprall Greiferanprall + Chloridangriff	75 100 mm
Annahmen	$erf\ u = 55\text{ mm}, d_s = 20\text{ mm}, c = \text{nom } c = 35\text{ mm}$	

7.2.2 Überwachung

Das im folgenden vorgestellte Überwachungskonzept umfasst die während der Betriebszeit regelmäßig durchzuführenden Prüfungen (Tabelle 7.5). Die Überwachung zum Zeitpunkt der Bauausführung und der Inbetriebnahme erfolgt gemäß den Angaben der DAfStb-Richtlinie [64].

Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren. Im Brandfall sind Brandort, Löschwassermenge und -stauhöhe im Bunker festzuhalten.

Tabelle 7.5: Prüfungen während der Betriebszeit
 Table 7.5: Inspections during operation

		Methode	Umfang	Intervall	Beständigkeit			Dichtheit
					thermische	mechanische	chemische	
					Einwirkungen			
Pumpensumpf	Füllstand	I	-	$\leq 1\text{ wo}$	-	-	-	-
	Regelprüfung	I, B, F	stichprobenartig	2,5 a	I ¹	I	I	I, B
Bauwerk	Kontrollzeitpunkt	B	umfassend	20 a	B	B	B	B

I - Inaugenscheinnahme; B: Betonanalysen; F: Flüssigkeitsanalysen

¹ - Eine Prüfung ist nur durchzuführen, wenn die Branddauer größer als 3 Stunden und stets, wenn die Summe in 5 Jahren größer als 30 Stunden ist.

7.2.2.1 Füllstand Pumpensumpf

Die Prüfung des Füllstandes im Pumpensumpf erfolgt wöchentlich, z. B. zu Wochenbeginn, durch Inaugenscheinnahme. Nach Beseitigung des Abfalls müssen die oberen 0,30 m bis zur Oberkante des Pumpensumpfes einsehbar sein. In größeren Mengen anstehende Flüssigkeiten sind ggf. durch Abpumpen zu entsorgen. Die Prüfintervalle sind in Zeiträumen mit erhöhtem Flüssigkeitsanfall, z. B. bei regenreicher Witterung, zu verdichten. Nach einem Brandfall ist der Füllstand stets zu kontrollieren.

7.2.2.2 Bauwerk

Die Feststellung des Istzustandes des Bauwerkes bezüglich Beständigkeit und Dichtheit erfolgt in bestimmten Zeitintervallen durch in Qualität und Umfang abgestufte Prüfungen.

Die Regelprüfung erfolgt alle 2,5 Jahre durch stichprobenartige Inaugenscheinnahme ausgewählter Bauwerksbereiche und Konstruktionsdetails. Als Orientierungswerte für die Betonanalysen zum Kontrollzeitpunkt sind zusätzlich alle 5 Jahre die beaufschlagenden Flüssigkeiten (Müllsickerwasser, Schlacken-kühlwasser) zu beproben. Der Kontrollzeitpunkt liegt 20 Jahre nach Betriebsbeginn und beinhaltet umfangreiche Betonanalysen. In Abhängigkeit von den Ergebnisse erfolgt die Ermittlung der möglichen Restnutzungsdauer.

7.2.2.2.1 Regelprüfung

▫ **Beständigkeit**

Mechanische Einwirkungen

Die Prüfung erstreckt sich auf mechanisch besonders beanspruchte Bereiche, insbesondere auf Längswand und Bodenplatte unterhalb der Einfüllöffnungen und Wände im Stapelbereich. Weiterhin sind Einfüllkonstruktionen, Entwässerungsöffnungen und ggf. vorhandene Pumpensumpfe zu kontrollieren.

Thermische Einwirkungen

Nach einem Brandfall (Voraussetzung siehe Tabelle 7.5) im Müllbunker sind die durch den Brand direkt betroffenen Bauteiloberflächen durch Inaugenscheinnahme zu überprüfen. Der Nachweis der Chloridbelastung nach Bränden ist nur in folgenden Bereichen erforderlich:

- großflächige Schadensbereiche
- stark verrustete Bereiche
- Bauteile im oberen Bunkerbereich wie z. B. Dachträger oder Kranbahnträger.

Chemische Einwirkungen

Bauteilflächen, die durch Lagergut oder durch Sickerwasser beaufschlagt werden können, sind auf chemische Angrifferscheinungen zu untersuchen. Dies betrifft insbesondere Wandflächen unterhalb der Einfüllöffnungen und Bodenflächen.

▫ **Dichtheit**

Wandbereiche die hohen mechanischen und/oder thermischen Einwirkungen unterliegen (z. B. Längswände unterhalb von Einfüllöffnungen, Wände im Lagerbereich) und Arbeitsfugen sind auf Risse zu untersuchen. Die Prüfung von Rissen erfolgt durch Bohrkernentnahme oder geeigneten zerstörungsfreien Prüfverfahren. Diese Untersuchungen entfallen bei der Möglichkeit zur beidseitigen Inaugenscheinnahme (z. B. bei einen auf der Außenseite der Wände vorhandenen Gang).

▫ **Einwirkende Flüssigkeiten**

Im Rahmen der Regelprüfung sind alle 5 Jahre chemische Analysen der in den Bunkern anfallenden Flüssigkeiten durchzuführen.

Diese dienen als Orientierungsdaten für die Baustoffanalysen und sollten in Anlehnung an die LAGA Informationsschrift "Sickerwasser aus Hausmüll- und Schlackendeponien" [68] erfolgen. Neben den üblichen Parametern wie ph-Wert, Leitfähigkeit usw. sind die Flüssigkeiten bezüglich der in Tabelle 7.6 angegebenen Stoffgruppen zu analysieren.

Tabelle 7.6: Parameterliste
Table 7.6: List of paramters

Parameter gemäß DIN 4030, Chloride	-
gesamter organisch gebundener Kohlenstoff	TOC
leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe	IHKW
Benzol und Derivate	BTX
Kohlenwasserstoffe	KW
Polycyclische arom. Kohlenwasserstoffe	PAK
Phenole	-

7.2.2.2.2 Kontrollzeitpunkt

▫ **Beständigkeit**

Durch Entnahme von Bohrkernen ist das Chlorid- und Sulfatkonzentrationsprofil zu bestimmen. Tabelle 7.7 enthält weitere Angaben zur Durchführung der Prüfung.

Tabelle 7.7: Kontrollzeitpunkt
Table 7.7: -Beständigkeit- Main inspection -Durability-

Bunker	Mb	Sb
Bauteil	B, vWu	B, W
Stoffe	Sulfat, Chlorid	
Bohrungen pro Bauteilfläche	≥ 1/100 m ² min n ≥ 3	

Mb - Müllbunker, **Sb** - Schlackenbunker
W - Wände, **B** - Boden, **vWu** - vordere Längswand unterhalb der Einfüllöffnungen

im Müllbunker kann im Regelfall die Beprobung der Wände auf die vordere Längswand unter der Einfüllöffnungen beschränkt werden, da diese im Vergleich zu den anderen Wänden mit Flüssigkeiten beaufschlagt werden kann.

im Schlackenbunker hingegen sind alle Wände, die mit feuchter Schlacke in Berührung stehen, gefährdet.

Es sollte mindestens die vordere Längswand unter den Einfüllöffnungen und eine weitere Wand im Lagerbereich der Schlacke beprobt werden.

Bereiche mit hoher Verschleißbeanspruchung sind bevorzugt zu beproben.

o **Dichtheit**

In Bodenplatten sind entsprechend den Angaben in Tabelle 7.8 Bohrkern zu entnehmen und das Konzentrationsprofil TOC-erfaßbarer, organischer Stoffe zu bestimmen. Es ist die maximale Eindringtiefe festzustellen.

Tabelle 7.8: Kontrollzeitpunkt
-Dichtheit-

Table 7.8: Main inspection
-Impermeability-

Bunker	Sb	Mb
Bauteil		
Stoffe		
Bohrungen pro Bauteilfläche		
		≥ 1/100 m ² min n ≥ 3

Mb - Müllbunker, **Sb** - Schlackenbunker, **B** - Boden

Bereiche mit hoher Verschleißbeanspruchung sind bevorzugt zu beproben. Der TOC-Grundgehalt ist an Bohrkernen zu ermitteln, die weder mit Lagergut noch mit Flüssigkeit beaufschlagt wurden.

Für einen Weiterbetrieb ist folgendes Prüfkriterium (Dichtheitsnachweis nach Gln. 7.1 bzw. 7.2) zu erfüllen:

$$\gamma_s \cdot 1,35 \cdot e_{\text{Prüf}} / x < 1 \quad (7.3)$$

mit

- x vorhandene Druckzonendicke in mm
- γ_s Sicherheitsbeiwert für die Eindringtiefe [64]
- $e_{\text{Prüf}}$ Müllbunker:
 $e_{\text{Prüf}} = e_{\text{TOC}} + 40$ in mm
 Schlackenbunker:
 $e_{\text{Prüf}} = e_{\text{TOC}}$ in mm
- e_{TOC} Mittelwert der Eindringtiefen in mm

Der Zuschlag von 40 mm zu $e_{\text{Prüf}}$ im Müllbunker erfaßt den Anteil der leichtflüchtigen Stoffe (Gln. 6.9, Kap. 6.2.1). Die mögliche Restnutzungsdauer t_{Rest} in Jahren beträgt dann

$$t_{\text{Rest}} = t - 20 \leq 20 \text{ a}$$

mit t in Jahren aus

$$x = \gamma_s \cdot 1,35 \cdot e_{\text{Prüf}} (t/20)^{0,5} \quad (7.4)$$

Der nächste Kontrollzeitpunkt liegt dann in t_{Rest} Jahren.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In thermischen Behandlungsanlagen für feste Siedlungsabfälle gibt es bauliche Teilbereiche aus Stahlbeton, die der kurzfristigen Lagerung der Abfälle und Schlacken dienen. An Konstruktion und Baustoff werden bezüglich Dichtheit und Beständigkeit in verschiedenen Betriebszuständen hohe Anforderungen gestellt. Bunkerbauwerke sind Primärbarrieren, die in der Regel als unbeschichtete Stahlbetonkonstruktionen ausgeführt werden, wobei dem Beton Trag-, Schutz- und Dichtfunktion zugewiesen wird. Zur Erfüllung der Dichtheitsanforderungen im Sinne des Besorgnisgrundsatzes des Wasserhaushaltsgesetzes fehlen Kriterien zur Beurteilung der Eignung des unbeschichteten Betons.

Ziel dieser Arbeit war, die Eignung unbeschichteter Betonkonstruktionen bezüglich Beständigkeit und Dichtheit zum Einsatz in thermischen Abfallbehandlungsanlagen für feste Siedlungsabfälle zu erfassen, zu beurteilen und darauf aufbauend Empfehlungen für Konstruktion und Betrieb zu erarbeiten.

Zur Klärung der Problemstellung wurde eine 3stufige Vorgehensweise gewählt. Im ersten Schritt erfolgte die **Datenerfassung** an bestehenden Bunkeranlagen aus dem Zeitraum von 1960 bis 1994 bezüglich der Themenbereiche Anforderungen, betriebliche Abläufe, Konstruktion, Einwirkungen und Schäden. Die anschließende **Datenauswertung** erfolgte unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung innerhalb des Beobachtungszeitraumes, wobei der Schwerpunkt auf älteren Anlagen mit über 20 Betriebsjahren lag. Im dritten Schritt wurden durch Integration der Themenbereiche eine **Datenbeurteilung** durchgeführt und darauf aufbauend unter Angabe von Gültigkeitsgrenzen Empfehlungen für Konstruktion und Betrieb abgeleitet.

Innerhalb des Beobachtungszeitraumes zeigten die Anforderungen an die Dichtheit eine 3stufige Entwicklung des Dichtheitsniveaus. Bauwerke aus dem Zeitraum von 1965 bis ca. 1975 wurden entsprechend dem Dichtheitsniveau 1 als Stahlbetonkonstruktion ausschließlich mit Tragfunktion ausgeführt. In den 80er bis 90er Jahren folgte Dichtheitsniveau 2 mit der Forderung nach Ausbildung der Bauwerke als wasserundurchlässige Baukörper aus wu-Beton ("Weiße Wanne"). Seit Beginn der 90er Jahre werden insbesondere Müllbunker zunehmend nach Dichtheitsniveau 3 als flüssigkeitsundurchlässige Baukörper bestehend aus 2schaligen, kontrollierbaren Querschnitten ausgeführt. Dem Beton wird keine Dichtfunktion zugewiesen, da bisher kein Nachweiskonzept zur Erstellung einer flüssigkeitsdichten, einschaligen Betonkonstruktion existiert. Die vorliegende Arbeit leistet hierzu einen Beitrag.

Bezüglich der Beständigkeit gegen chemische, mechanische und thermische Einwirkungen ist keine einheitliche Entwicklung zu erkennen. Bei älteren Anlagen sind in der Regel keine Anforderungen gestellt worden. Bei jüngeren wird zunehmend eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen und mechanischen Einwirkungen gefordert, besondere Anforderungen an die thermische Beständigkeit werden nicht gestellt.

Betriebliche Abläufe in Bunkeranlagen wurden systematisch erfaßt und quantifiziert. Unter der Vielzahl der Lagerungsarten konnten drei wesentliche Stapelmethoden abgeleitet werden. Weiterhin erfolgte eine 3teilige Klassifizierung der Betriebszustände.

Das Gesamtsystem Bunkeranlage kann in Teilsysteme bestehend aus Gesamtbauwerk, Bauteile und Konstruktionsdetails untergliedert werden. Diese sind in einer katalogartigen Dokumentation erfaßt worden. Maßgebend für die bauliche Gestaltung des Gesamtbauwerkes ist die Handhabung des Sperrmülls (Lagerung und Behandlung). Es wurde ein Katalog verschiedener Bunkeranlagentypen in Abhängigkeit von der Sperrmüllhandhabung erarbeitet. Im Hinblick auf die Schadensanalyse sollte somit eine mögliche Korrelation zwischen Anlagentypen und bestimmten Schadensbildern abgeleitet werden können. Es folgte eine detaillierte Auswertung nach verschiedenen Aspekten der Bautechnik wie Lastannahme, statische Systeme, Bauausführung und Instandhaltung. Die Instandhaltung erfolgte bei den Altanlagen häufig entsprechend der Ausfallstrategie, d. h., Maßnahmen wurden erst bei Auftreten auffälliger Veränderungen getroffen. Dies ist mit einer der Hauptursachen der in der Schadensanalyse festgestellten besonders schweren Schäden, die durch ein entsprechendes Überwachungskonzept hätten vermieden werden können. Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde ein solches Konzept abgeleitet.

Die Ausbildung der Umschließungsbauteile (Bodenplatte, Wände) erfolgt entsprechend verschiedener Konstruktionsprinzipien, wobei die Funktion des Betons als Primär- oder Sekundärbarriere als Ordnungskriterium dient. Bei Konstruktionsprinzip 1 (Grundstufe) ist der Beton Primärbarriere und übernimmt sowohl Trag-, Dicht- als auch Schutzfunktion. Die Bauteile werden als einschalige Querschnitte ausgebildet. Konstruktionsprinzip 2 besteht aus der Grundstufe und Zusatzmaßnahmen zur Sicherstellung der Beständigkeit. Die Bauteile werden als einschalige oder mehrschalige Querschnitte ausgeführt, wobei der Grundstufe die tragende und dichtende Funktion zugeordnet wird. Konstruktionsprinzip 3 besteht aus der Grundstufe mit ausschließlich tragender Funktion und einer zweiten, durch einen Zwischenraum abgetrennten Schale mit Dicht- und Schutzfunktion. Der Zwischenraum dient als Kontrollraum zur Detektion von Leckagen der zur Bunkerinnenseite liegenden Schale. Die Konstruktionsprinzipien 1 bis 3 sind als bauliche Lösungen der Dichtheitsniveaus 1 bis 3 anzusehen.

Die Konstruktionsdetails Fugen, Vouten und Entwässerungsöffnungen wurden detailliert beschrieben. Insbesondere Bewegungsfugen zeigen sich bei den einschaligen Konstruktionen als potentielle Schwachstelle.

Einwirkungen auf Bunkerbauwerke können in normale und spezifische Einwirkungen unterteilt werden. Letztere sind nutzungsbedingt und treten im Normalfall nicht in anderen Bauwerken auf. Diese wurden hinsichtlich ihrer Bauwerks- und Umweltrelevanz untersucht und bewertet.

Bauwerksrelevante Einwirkungen sind sowohl stoffliche als auch nichtstoffliche Gefahrenquellen, die eine Gefährdung der Beständigkeit der Umschließung darstellen. Als stoffliche Gefahrenquelle werden die Einwirkungsklassen Lagergut und Flüssigkeiten und als nichtstoffliche die Einwirkungsklasse Fördermittel bezeichnet. Das Lagergut umfaßt die Einzelauswirkungen Abfall, Schlacke, biochemische Abbauprozesse und Brände des Abfalles im Müllbunker. Die auf dem Müllbunkerboden häufig anfallende Flüssigkeit wird als Sickerwasser bezeichnet. Es entsteht bei Überschreitung der Wasserhaltefähigkeit des Abfallkörpers bei hohem Anfall an Löschwasser oder externem eingetragenen Wasser. Die im Schlackenbunker anfallende Flüssigkeit resultiert aus dem bei der Abkühlung der Schlacke aufgenommenen Wasser, das zum Teil bei der Lagerung durch natürliche Entwässerung wieder abgegeben wird. Als Fördermittel werden Zweiräger-Brückenkräne mit 2- oder Mehrschalenreifer eingesetzt.

Die vorstehend aufgezeigten Einzelauswirkungen wurden bezüglich der folgenden Punkte beschrieben und weitgehend quantifiziert:

- Stoffbeschreibung : z. B. Abfallarten, Schadstoffkonzentrationen
- Beaufschlagungsart : z. B. Müllsickerwasser intermittierend bis ständig
- Einwirkungsart und -größe : z. B. chemischer Angriffsgrad nach DIN 4030
- Wirkungsort bzw. Bauwerkszone : z. B. Bodenplatte im Lagerbereich des Abfalls
- einwirkungsspezifisches Schadensbild : z. B. Stahlkorrosion durch Chloridangriff

Als Maß für die zu erwartende Schadensschwere wurde ein Einwirkungseintrag als Produkt aus Beaufschlagungsart und Einwirkungsgröße definiert. Zur Beurteilung der festgestellten Schäden, die sich in der Regel als eine Überlagerung einwirkungsspezifischer Schadensbilder darstellen, wurde eine Analyse der Einwirkungskombinationen durchgeführt. Hierzu

wurden für jede Bauwerkszone die auftretenden einwirkungs-spezifischen Einträge ermittelt. Dies ermöglicht die Abschätzung des zu erwartenden maßgebenden Schadensbildes einschließlich der Schadensschwere bei Auftreten von Einwirkungskombinationen.

Umweltrelevante Einwirkungen sind solche, die wassergefährdende Stoffe sind oder diese enthalten und in die Umschließung eindringen bzw. diese durchdringen. Dies gilt insbesondere für Flüssigkeiten, die in den porösen Baustoff Beton eindringen können. Die Auswertung erfaßte das Konzentrationsprofil ausgewählter Stoffe bzw. Stoffgruppen im Beton und in einem Boden, der unterhalb einer Müllbunkersohle entnommen wurde. Die Beschreibung der hierbei möglichen Transportphänomene war nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Die Ermittlung des Konzentrationsprofils in Bohrkernen erfolgte für abfalltypische Schwermetalle und organische Substanzen, die über den Summenparameter TOC (gesamter organisch gebundener Kohlenstoff) erfaßbar sind. Der TOC-Wert gilt u. a. in der Wasseranalytik als Meßgröße für den Grad der Verschmutzung durch organische Stoffe, die schon in geringen Spuren wassergefährdend sein können. Er erfaßt verfahrensbedingt leichtflüchtige Stoffe nur unvollständig. Die maximale Eindringtiefe TOC-erfaßbarer Stoffe ist nach über 25jähriger intermittierender bis ständiger Beaufschlagung kleiner als 50 mm. Es konnte eine Korrelation zwischen Konzentrationsprofil und Gefügestruktur nachgewiesen werden. Eine Eindringung fand nur in den stark porösen, oberflächennahen Zonen statt. Tiefer gelegene, dichtere Schichten zeigten keine TOC-Anreicherung.

Schwermetalle konnten nicht oder nur in Spuren in oberflächennahen Schichten nachgewiesen werden. Nach über 25jähriger intermittierender bis ständiger Beaufschlagung ist in Tiefen von 10 bis 20 mm keine bzw. nur geringfügige Anreicherung von Schwermetallen festgestellt worden. Mit Ausnahme des Zinks blieben die untersuchten Metalle im basischen Porenmilieu schwerlösliche Metallhydroxide, die ausfallen und nicht tiefer eindringen können. Der Fällungsprozeß beschränkt sich auf eine Betonrandzone von wenigen Millimetern.

Zur Abschätzung einer möglichen Kontamination des Bodens wurden Proben bis zu einer Tiefe von 0,60 m unterhalb einer Müllbunkersohle entnommen. Es wurden sowohl Schwermetallkonzentrationen im Eluat nach DEV S4 als auch im Feststoff bestimmt. Die Konzentrationen organischer Stoffgruppen, wie z. B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden im Eluat ermittelt. Aufgrund der geringen Konzentrationen ist auf eine Bestimmung der Feststoffgehalte verzichtet worden. Ein Vergleich der gemessenen Konzentrationen mit Grenz- oder Orientierungswerten verschiedener Regelwerke ist nicht durchgeführt worden, da dies eine höhere Aussagegenauigkeit vorläusen würde. Die Konzentrationen der anorganischen und organischen Stoffe und Stoffgruppen lagen zum Zeitpunkt der Beprobung in einer Größenordnung, die eine Unterscheidung zwischen geogener Herkunft und anthropogenem Eintrag nicht ermöglichten. Schadstoffemissionen durch den Müllbunker während der 25jährigen Betriebszeit sind als äußerst unwahrscheinlich anzusehen.

Ziel der Schadensanalyse war die Quantifizierung der Schäden und die Ermittlung ihrer Ursachen, wobei diese Analyse auf Bauwerksebene (zerstörungsfreie Methoden) als auch auf Baustoffebene (zerstörende Methoden) durchgeführt wurde. Sie erfolgte schwerpunktmäßig für die Schadensbilder Baustoffkorrosion und Verschleiß an über 20 Jahren alten Bunkerbauwerken. Weiterhin wurden zusätzlich die Schadensbilder Risse, Brandschäden und Schäden an Konstruktionsdetails erfaßt.

Aufgrund der visuellen Begutachtung einzelner Bunkeranlagen konnte eine Korrelation zwischen betrieblichen Abläufen, Konstruktion und Schadensbild und -schwere ermittelt werden. Als dominantes Schadensbild im planmäßigen Betriebszustand ist der Verschleiß durch mechanische Einwirkungen des Greifers zu nennen. Gleiche Bedeutung ist den sich überlagernden Schadensbildern Verschleiß-Korrosion infolge Depassivierung durch Karbonatisierung und Verschleiß-Chloridkorrosion zuzuweisen. Die Vielzahl der in der Schadensprognose aufgezeigten Einwirkungskombinationen reduziert sich auf die Einzelnwirkung Fördermittel bzw. die Kombinationen Fördermittel-Karbonatisierung und Fördermittel-Flüssigkeiten (Chloridangriff). Eine Korrelation zwischen Bunkeranlagentypen und bestimmten Schadensbildern konnte nicht abgeleitet werden.

Die festgestellten Schäden beeinträchtigten in keinem Fall die Standsicherheit der Konstruktion, noch führten sie nach der Instandsetzung zur Einschränkung der Restnutzungsdauer und des Nutzungsumfanges. Als wesentliche Schadensursache sind die mangelnde Berücksichtigung der betrieblichen Einflüsse auf die Beständigkeit in der Planungsphase und die fehlende bzw. mangelnde Bauwerksüberwachung während der Betriebszeit zu nennen.

Die Beurteilung der untersuchten Anlagen erfolgte durch Integration der Themenbereiche Anforderungen, betriebliche Abläufe, Einwirkungen, Konstruktion und Schäden. Anschließend ist eine Extrapolation unter Angabe von Gültigkeitsgrenzen auf neue Anlagen durchgeführt worden. Als Grundlage dienten Bauwerke, deren Umschließungsbauteile entsprechend Konstruktionsprinzip 1 ausgebildet sind. Diese wurden bezüglich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Baustoffkorrosion und Verschleiß bewertet. Bezüglich der Beständigkeit zeigte sich die grundsätzliche Eignung einschaliger Bauwerke. Für neue Anlagen ist zur Sicherstellung der Beständigkeit unter Berücksichtigung möglicher Veränderungen der Lagergutzusammensetzung die Vermeidung der Dauerbeaufschlagung durch Flüssigkeiten erforderlich. In Abhängigkeit von den einzelnen Schadensbildern wurden detaillierte Forderungen an Konstruktion und Betrieb formuliert.

Die grundsätzliche Eignung des Stahlbetons zur Übernahme der Dichtfunktion konnte aufgezeigt werden. Für neue Anlagen wird für den Müllbunkerbereich unter Voraussetzung einer intermittierenden Beaufschlagung ein Dichtheitsnachweis vorgeschlagen. Dieser Vorschlag ist ein wichtiger Baustein zum Nachweis flüssigkeitsundurchlässiger Bunkerbauwerke aus Stahlbeton.

Abschließend wird durch Integration der bisherigen Erkenntnisse ein Konzept zur Sicherstellung der Beständigkeit und Dichtheit einschaliger Betonkonstruktionen vorgestellt. Es besteht aus den Elementen Dichtheits- und Beständigkeitsnachweis, Anforderungen an Konstruktion und Betrieb und Maßnahmen zur Bauwerksüberwachung.

Weiterer Forschungs- und Klärungsbedarf besteht bei der Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten des Eindringverhaltens von Vielstoffgemischen (z. B. Müllsickerwässern) unter Berücksichtigung der Bauteilfeuchte sowohl bei intermittierender als auch ständiger Beaufschlagung.

Weiterhin besteht Klärungsbedarf zur Erfassung der Leistungsfähigkeit von Mehrschichtsystemen unterschiedlicher Materialien bezüglich der Widerstandsfähigkeit gegenüber Kombinationen aus mechanischen, thermischen und chemischen Einwirkungen.

Literaturverzeichnis

- [1] Angenend, F.J.; Trondt L.: Schadstoffinput- Schadstoffoutput Sonderdruck VGB Kraftwerkstechnik, 70. Jahrgang, Heft 1, Januar 1990, S.36-42
- [2] von Borries, W.: Infrarot-Thermographie zur Brandfrüherkennung in Müllbunkern, Sicherheitstechnik bei Abfall-/Sonderabfallverbrennungsanlagen im Hinblick auf die Störfallverordnung, Seminar vom 4.2.1993, Haus der Technik, Veranstaltungsnummer: S-72-202-092-3.
- [3] Bunte, D.: Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton, DAfStb-Heft 436, Beuth Verlag, Berlin, 1993
- [4] Christmann, A.; Habichtsberg, L.; Schetter, G.: Auswirkungen neuerer Verordnungen auf Konzept und Auslegung der thermischen Restmüllbehandlung, VGB Kraftwerkstechnik 73 (1993), Heft 8.
- [5] Bundesweite Befragung von 30 Betreibern von Hausmüllverbrennungsanlagen bezüglich der Bunkeranlagen im Rahmen des Forschungsprojektes D02.
- [6] DAfStb-Teilprojekt B01 Verschleißverhalten von Stahlfaserbeton unter extremen Betriebsbedingungen in Bunkern von Abfallbehandlungsanlagen, Teilprojekt B01 im Forschungsprojekt "Sicherheit von Betonkonstruktionen technischer Anlagen für umweltgefährdende Stoffe"
- [7] DAfStb-Teilprojekt C02 Temperaturbeanspruchung von Stahlbetonzwischenlagern in Abfallbehandlungsanlagen, Teilprojekt C02 im Forschungsprojekt "Sicherheit von Betonkonstruktionen technischer Anlagen für umweltgefährdende Stoffe"
- [8] DAfStb-Teilprojekt D02 Stahlbetonbunker in Abfallbehandlungsanlagen, Teilprojekt D02 im Forschungsprojekt "Sicherheit von Betonkonstruktionen technischer Anlagen für umweltgefährdende Stoffe".
- [9] Deipser, A.; Stegmann R.: Untersuchung von Hausmüll auf leichtflüchtige Spurenstoffe, Müll und Abfall 2/93, S. 69-81.
- [10] Ehrig, H.-J.: Wasserhaushalt von Deponien, in Karl J.Thomé-Kozmiensky, Deponie -Ablagerung von Abfällen, EF-Verlag, Berlin, 1987
- [11] Faulstich, M.; Kley, G.: Behandlung von Rückständen aus der Abfallverbrennung, Entsorgungspraxis, 4/93.
- [12] Feuser, H.: Bau der Müllverwertungsanlage Bonn, Beton- und Stahlbetonbau, 12/92, S.293-298.
- [13] Glathe, H.: Biologie der Rotteprozesse bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen, Kennziffer 5270, Lieferung 2/85, Müllhandbuch, Erich-Schmidt Verlag, Berlin.
- [14] Goldenstern, H., Klose, N., Tegelaar, R. A.: Baupraktische Erfahrungen mit der Dauerhaftigkeit von Ortbeton-Güllebehältern, Beton-Informationen 3/4-94.
- [15] Grube, H.; Kern, E.; Quitmann, H.-D.: Instandhaltung von Betonbauwerken, Betonkalender 1990, Teil II, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1990.
- [16] Herold, W.; Pabst, G.; Scholz, F.: Sicherheitstechnik, Brandschutz und Hygiene in Müllverbrennungsanlagen, VGB-Kraftwerkstechnik Mitteilungen der VGB, Heft 6, 12/1972, S. 483-490.
- [17] Hütter, L.: Wasser und Wasseruntersuchung, 5., erweiterte Auflage, Otto Salle Verlag, Frankfurt am Main, 1992.

- [18] Keller, H.; Waag, O.:
Erfahrungen und Erkenntnisse über Krananlagen in Müllentsorgungsanlagen, Aufbereitungstechnik, 1/77, S. 18-21.
- [19] Kleinschmied, H.:
Stationäre Schaumlöscheinrichtungen im Müllbunker der Müllverbrennungsanlage Kassel, Müll und Abfall, 3/78, Seite 67-70.
- [20] Klopfer, H.:
Die Carbonatisierung von Sichtbeton und ihre Bekämpfung, Bautenschutz und Bausanierung 1978, Heft 3, Edition Lack und Chemie, Filderstatt.
- [21] Knoblauch, H.; Schneider, U.:
Bauchemie, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1992.
- [22] Knoch, W.:
Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Abfallentsorgung, VCH Verlag, Weinheim, 1991.
- [23] Knöfel, D.:
Baustoffkorrosion, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1982.
- [24] Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.:
Beton-Brandschutz-Handbuch, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1981.
- [25] Lahl, U.:
Verwertung von MVA-Schlacken nach konventioneller Aufbereitung, Müll und Abfall, 4/92 und 9/92.
- [26] Locher, F. W., Sprung, S.:
Einwirkung von salzsäurehaltigen PVC-Brandgasen auf Beton, Beton 20 (1970), Heft 2 und 3.
- [27] Lohmeyer, G.:
Weiße Wannen einfach und sicher, Beton-Verlag, Düsseldorf, 3. Auflage 1994.
- [28] Onasch, O.:
Müllanlieferung, Müllbunker, Müllförderung, Müll-Handbuch, Kennzahl 7120, Lieferung 11/75, Erich Schmidt Verlag Berlin.
- [29] Quitman, H. D. :
Bauwerksinspektion im Rahmen der Instandhaltung, Betonkalender 1990 Teil II, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1990.
- [30] Rechenberg, W., Sylla, H.-M.:
Die Wirkung von Ammonium auf Beton, Beton 1/93.
- [31] Reimann, D. O.:
Prallmatten zum Schutz gegen Rutschflächenverschleiß, VGB Kraftwerkstechnik 68, Heft 3, März 1988, S. 255-258.
- [32] Reiman, D. O.:
Müllverbrennungsschlacke -Inhaltsstoffe, Menge und Verwertbarkeit, UWSF-Zeitschrift für Ökotox., 2/89, S. 18-25.
- [33] Dr. Rose GmbH
Gefügeuntersuchungen in Schichten eines Bohrkerns aus einem Müllbunker, Bochum, 1994.
- [34] Rottgardt, Sterger, Grunder, Hansmann, Lühr:
Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen; IWS-Schriftenreihe, Bd. 16; Erich-Schmidt Verlag, Berlin, 1993.
- [35] Ruffert, G.:
Instandsetzung von Müllbunkern, Beton 4/86, S.151- 152.
- [36] Sattler, K.; Emberger J.:
Behandlung fester Abfälle, Vogel Verlag, Würzburg, 2. Auflage, 1990.
- [37] Schirmer, U.; Boddenberg, B.:
Besonderheiten des Brandschutzes in Hausmüllverbrennungsanlagen, VGB Kraftwerkstechnik 70 (1990), Heft 8, S.670-673.
- [38] Schneider, O.:
MHKW Essen-Karnap, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Sonderdruck aus Heft 9, September 1988.
- [39] Scott, R. J.; Holmes, J. R.:
Fassungsvermögen und Hauptdimensionen von Müllspeicherbunkern in modernen Müllverbrennungsanlagen, Aufbereitungstechnik, 11/74, S. 600-614.
- [40] Stegmann, R.:
Entstehung von Gas und Sickerwasser in geordneten Deponien -Möglichkeiten der Beeinflussung biologischer Abbauprozesse, Müll und Abfall 2/80.
- [41] Stegmann, R.; Spandlin H.-H.:
Vorgänge in kommunalen Abfalldeponien - Grundlagen der chemisch-physikalischen und biochemischen Prozesse, in Karl J.Thomé-Kozmiensky, Deponie -Ablagerung von Abfällen, EF-Verlag, Berlin, 1987
- [42] Thomé-Kozmiensky, K. J.:
Müllverbrennung und Rauchgasreinigung, E. Freitag - Verlag für Umwelttechnik, 1983.
- [43] UBA (Umweltbundesamt):
Chemisch-physikalische Analyse von Hausmüll, Forschungsbericht 10303502, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1983
- [44] UBA (Umweltbundesamt):
Bundesweite Hausmüllanalyse 1983-1985, Forschungsbericht 103 03 508.
- [45] UBA (Umweltbundesamt):
Hausmüllverbrennungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, Stand 1989
- [46] Wesche, K.:
Baustoffe für tragende Bauteile, Band 2, Beton und Mauerwerk, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1993.
- [47] Abfallgesetz - AbfG:
Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen 27.08.1986.
- [48] ATV (Abwassertechnische Vereinigung):
ATV-Merkblatt Korrosion von Abwasseranlagen, Stand 19.07.1994
- [49] ATV (Abwassertechnische Vereinigung):
Die Zusammensetzung von Deponiesickerwässern, Müll und Abfall, 2/88.
- [50] Bundesminister für Verkehr -Abteilung für Straßenbau:
Erhaltungsarbeiten an Brücken und anderen Ingenieurbauwerken von Straßen, Dokumentation 1990, Verkehrsblatt Verlag, Dortmund.
- [51] DIN 1045:
Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung.
- [52] DIN 1045:
Beton und Stahlbeton, Ausgabe November 1959
- [53] DIN 1045:
Beton und Stahlbeton, Ausgabe Januar 1972
- [54] DIN 1045:
Beton und Stahlbeton, Ausgabe Juli 1988
- [55] DIN 4030:
Beurteilung betonangreifender Wasser, Böden und Gase, Ausgabe Juni 1991, Teil 1, Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben, Ausgabe Juni 1991, Teil 2.
- [56] DIN 4102:
Teil 4 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, März 1981
- [57] DIN 31051:
Instandhaltung - Begriffe und Maßnahmen, März 1982
- [58] DIN 38409 Teil 3:
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Bestimmung des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffs, Juni 1983.
- [59] DIN 38414 Teil 4:
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4).
- [60] DAfStb (Deutscher Ausschuß für Stahlbeton):
Korrosion und Korrosionsschutz der Bewehrung im Massivbau, Heft 405.
- [61] DAfStb (Deutscher Ausschuß für Stahlbeton):
Der Einfluß mechanischer Spannungen auf den Korrosionswiderstand zementgebundener Baustoffe, Heft 429.

- [62] DAfStb (Deutscher Ausschuß für Stahlbeton):
Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen
Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, August 1990
Teil 2: Bauplanung und Bauausführung, August 1990
- [63] DAfStb (Deutscher Ausschuß für Stahlbeton):
Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
Teil 1 Entwurf und Bemessung unbeschichteter Betonbauteile
Teil 2 Überwachung unbeschichteter Betonbauteile und Konzept für den Schadensfall, September 1992.
- [64] DAfStb (Deutscher Ausschuß für Stahlbeton):
Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Entwurf Teil 1 bis 6.
- [65] DBV (Deutscher Beton Verein):
Sachstandsbericht Chlorid im Beton, Fassung Dezember 1982.
- [66] DBV (Deutscher Beton Verein):
DBV-Merkblatt Wasserundurchlässige Baukörper aus Beton, Fassung August 1989.
- [67] Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung:
Physikalische, chemische, biologische und bakteriologische Verfahren, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1994.
- [68] LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall):
Informationsschrift 10, Sickerwässer aus Hausmüll- und Schlackendeponien, Erich Schmidt Verlag Berlin, Oktober 1984.
- [69] LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall):
Mitteilung 13, Informationsschrift Abfallarten, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 4. Auflage, 1992.
- [70] Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein:
Merkblatt Stahlbeton für Güllebehälter, April 1988.
Ministerium für Bauen und Wohnen Nordrhein-Westfalen
- [71] Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik:
Sanierungstechniken und -konzepte für Altlasten, Bochum 1994.
- [72] TA-Abfall:
Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Abfall), 12.03.1991.
- [73] TA-Siedlungsabfall:
Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Siedlungsabfall), Entwurf vom 07.08.1991.
- [74] Anlagenverordnung - VAWS:
Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe, Anlagenverordnung-VAWS, 16.09.93, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten.
- [75] VDI (Verein deutscher Ingenieure):
Richtlinie 2114 Thermische Abfallbehandlung, Verbrennung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen, Beuth Verlag, Berlin, Ausgabe Juni 1992.
- [76] VGB (Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber):
Merkblatt Brandschutz in Hausmüllverbrennungsanlagen VGB-M217 H, VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber E.V., Essen, Erste Ausgabe 1989
- [77] Wasserhaushaltsgesetz - WHG:
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG), 23.09.1990
- [78] Bundesgesundheitsamt, Zentralstelle für Abfallbeseitigung (ZfA):
Merkblatt 5, Planung einer Müllverbrennungsanlage (MVA), Oktober 1970 in Technische Vorschriften für die Abfallbeseitigung, Kennzahl 28012, Lieferung 10/72, Erich Schmidt Verlag Berlin.
- [79] Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhaltanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LÖRÜRL), 14.10.1992

Abstract

The purpose of this study is to determine and to assess the performance of uncoated concrete structures for use as storage facilities in incineration plants for solid residential wastes with respect to durability and impermeability, and based on these considerations, to work out recommendations for the construction and operation of such facilities.

To clarify the problem formulation, an approach in 3 steps was chosen. The first step, the collection of data, related to existing bunker plants covering the period between 1960 and 1994 and took into account the following subject items: requirements, operational processes, construction, actions and damages. The second step, the evaluation of data, was performed taking into account the time-dependent development within the chosen investigation period. The third step, the assessment of the data, was carried out by integrating the mentioned subject items.

The status quo of the investigated plants with respect to requirements, operational processes and construction is recorded in detail, and the general development within the investigation period is shown.

For the purpose of a systematic description, the overall system bunker plant is divided into different subsystems consisting of the entire structure, the components and details of construction, and the relevant data is listed. Criteria for the classification of bunker plants as well as for the enclosing components are established.

The description of the action side distinguishes between structure-related and environment-related actions. A plant-specific analysis of the actions is carried out for this purpose. The analysis determines and assesses the impact on the enclosing parts with respect to durability (corrosion of building materials, wear) and impermeability (penetration, permeation).

For the assessment of the located damages, which generally present themselves as an overlapping of action-specific damage patterns, a qualitative damage forecast was given.

The purpose of this failure analysis was to quantify the damages and to determine their causes. For this purpose, a number of failure analyses relating to the structure (destructive tests) and to the building materials (non-destructive tests) was performed.

The assessment of the investigated plants was based on the integration of the subject items 'requirements, operational processes, actions, construction and damages'. Subsequently, an extrapolation within a defined range of values was carried out with respect to new plants. The fundamental suitability of concrete for taking over the tasks of providing impermeability and protection could be shown.

In conclusion, based on the present state of knowledge, a uniform concept for ensuring the durability and impermeability of oneleaf, monolithic concrete structures has been introduced. The concept comprises the following items: proof of impermeability and durability, requirements for construction and operation as well as measures for inspections of the structures.

Table 2.16: Design load for structural analysis – new plants -

	Waste	Residue	Quenching water	Temperature	Grab	Other
Y	$\gamma = 4;6;8 \text{ kN/m}^3$ (1)	$\gamma = 12 \text{ kN/m}^3$	$h = 7.0 \text{ m}$	$\Delta T = 20^\circ\text{C}$ (2) $T = 55^\circ\text{C}$ (3)	n.a.	-
V	$\gamma = 3.5 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 45^\circ$	-	n.a.	$\Delta T = 10^\circ\text{C}$ fire (7)	50 kN/m^2 (4)	hydration warmth (5)
Z	$\gamma = 5;6 \text{ kN/m}^3$ $\phi > 45^\circ$ (6)		$h = 8.75 \text{ m}$		n.a.	sliding bed, pressure drop

- unknown

n.a. not applied

γ = specific gravity; ϕ = friction angle; α = wall friction angle (as per DIN 1055 Part 2)

- (1) Consideration of the compaction effect by stepped refuse specific gravities above the stacking height.
- (2) Residue bunker: value was selected, as there were no other findings to hand.
- (3) Wall temperatures of rot in the refuse bunker not seen as relevant (strong cooling in areas near the walls). In the residue bunker the residue residual heat was not viewed as a critical temperature loading case, but instead the discharge of plant water at the right temperature, as can be the case in power plant construction.
- (4) Application as block load on all walls.
- (5) Consideration of the run-off hydration heat with $\Delta T = 30^\circ\text{C}$.
- (6) Consideration of the compaction effect by stepped refuse specific gravities via the height.
- (7) Temperature application for the refuse bunker fire loading case; only applied in the bottom bunker areas.
- (8) Sliding bed pressure on back longitudinal wall in the case of a filling procedure with 7.5 kN/m^2 . Design of a suction by primary air suction in the case of closed sliding valves of 0.5 kN/m^2 minimum and 5 kN/m^2 maximum.

Table 2.17: Loads

Loads	Comments
Waste	$\gamma = 3.5-10 \text{ kN/m}^3$; $\phi = 40=45^\circ$
Residue	$\gamma = 10-15 \text{ kN/m}^3$; $\phi = 35^\circ$
Grab impact	isolated as static substitute load
Quenching water	according to plan in the case of new plants
Temperature	isolated residue residual heat;

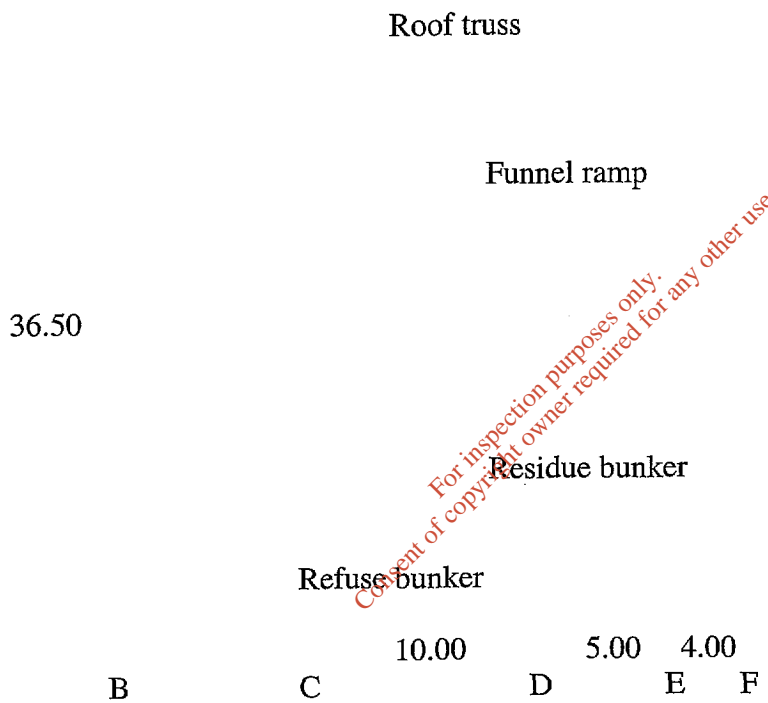
refuse bunker fire taken into account in one case only

2.3.1.6 Static system

The bunker hall consists essentially of a rectangular box open at the top which is divided into two unequal halves by an eccentric central wall (Fig. 2.25). The outer walls and the lateral walls are supported by outward-positioned ribs which are clamped in the soil slab.

The central wall and the longitudinal wall standing at the side of the incinerator unit function together with the horizontal ceiling slabs – those are the funnel ramp and intermediate ceilings – as well as additional longitudinal and transverse walls as a framework-type supporting structure. A roof construction independently clamped in a transverse direction comprises the upper tail.

[translator's note: left side table]:



[translator's note: right side table]:

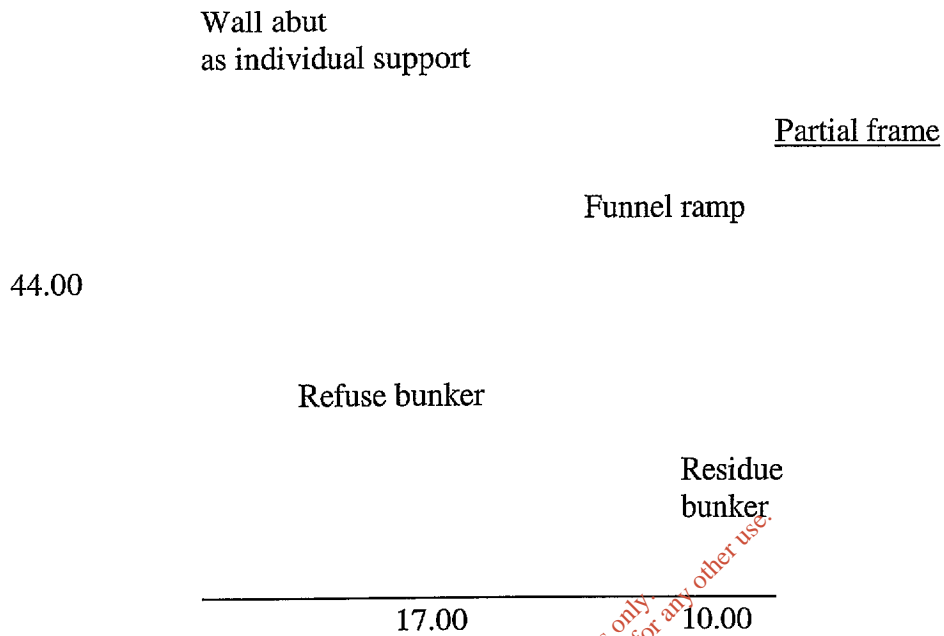


Fig. 2.25: Examples of structural systems in transverse direction of the bunker hall

2.3.1.7 Verification of impermeability

The measures for realising an “impermeable structure” as a function of the impermeable level in question (see Ch. 2.1) are illustrated in Fig. 2.26 for the investigated plants.

New plants	Z				Sheet iron coating (1)	
	Y		0.1 mm		Quality protection measures (2)	
	V		0.1 mm (3)			
	W		very minor crack width (4)		Pressure zone \geq 12 cm (5)	
	S				reduced crack formation by expansion joint (6)	
Plants	O				Soil slab manufactured with contraction	
	D				Stacking area above ground water level (7)	
	C				Black pot (8)	
	J.M.				n = 11 plants	
		no requirements	wu-concrete	crack width restriction	white pot	controllable by dual lining
		1		2		3
			Impermeability level			
		1965				1994
			Period of investigation			

Fig. 2.26: Measures to ensure impermeability

- (1) The refuse bunker was viewed by the approving authorities as a depot for liquid materials according to § 13 of the model plant regulation. The soil area is equipped with a sheet iron coating with controllable interstices. The walls also got a sheet iron coating up to the design quenching water height, but without controllable interstices.

- (2) Formation ensued as a White pot with restricted crack width [27].
A permitted crack width of 0.1 mm was taken as the foundation for all bunker areas touched by water. Implementation of extensive quality protection measures as per [66].
- (3) A permitted crack width of 0.1 mm applied for regular loads for all areas touched by water. The permitted crack width has been set at 0.3 mm for the loading case of regular loads plus straining (mine subsidence area). Forcible stresses from flow off heat of hydration were taken into account in calculations.
- (4), (5) Besides verification for restricting the crack width according to DIN 1045/72 Parg. 17.6.2, the comparative tensile strength σ_t was verified according to Section 17.6.3. Alternatively, it was possible to verify a minimum pressure zone height $x \geq 120$ mm.
- (6) Verification for restricting the crack widths was not done. The refuse bunker was implemented as a construction with reduced crack formation [27] by the arrangement of an expansion joint.
- (7) In order to avoid direct contact of the ground water with concrete parts loaded with refuse, the stacking area was arranged above the ground water level by a corresponding design of the soil slab.
- (8) Penetration of ground water into the bunker ought to be avoided by the formation of the bottom refuse bunker area as a black pot.

In summary, the following measures for fulfilling the impermeability requirements are in evidence:

Impermeability level 1

No requirements were made of the impermeability of the structures. They have been planned and built in accordance with safety when stationary and durability criteria, adhering to DIN 1045/59.

Impermeability level 2

In the 80s and 90s, the formation of the bunkers ensued as “water-impermeable structures made of wu concrete” (White pot). Among the multitude of measures for the realisation of this construction method, the following is verifiable in the analysis of the construction files:

1. Use of water-impermeable concrete according to DIN 1045/72 and 88 Section 6.5.7.2.
2. Verification of the restriction of the crack width according to DIN 1045/72 Section 17.6.2 and reduction of the crack formation according to Section 17.6.3.
3. Minimum reinforcement DIN 1045/88 Section 17.6.2 and rules for the static required reinforcement Section 17.6.3.
4. Quality protection measures as per [66].

Impermeability level 3

Since the beginning of the 90s, bunkers are increasingly formed in accordance with the requirements of the plant regulation VAWS for depots for liquid materials. This leads to a dual-wall formation of bottom bunker areas with a leak display device. In this context no sealing function is accorded to the concrete.

2.3.1.8 Foundation

Figure 2.27 shows the evaluation of the investigated plants in relation to the type of foundation. Usually bunker plants are based via a massive soil slab two-dimensionally in depths of between 6.75 and 13.3 m (i.M.¹ 9.56 m) underneath the ground upper edge. Furthermore, 9 of the 11 plants are located between 1.55 and 8.0 m (i.M. 4.67 m) deep in ground water.

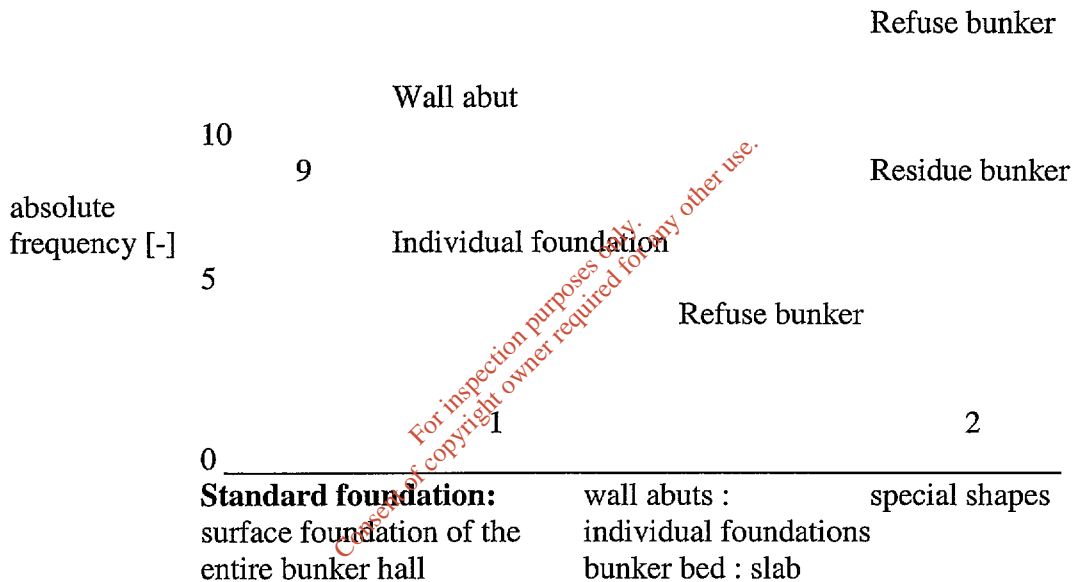


Figure 2.27: Foundation types

In the case of some plants, the soil slab and bottom wall areas were protected by a barrier layer from the ground water that is chemically very active according to DIN 4030, as shown in Figure 2.28 by way of example. However, the greater part of the plants is carried out without sealing.

GW	-12.00	Soil slab
----	--------	-----------

	Protective concrete
-13.30	1.5 mm PVC film coated on both sides with bitumen sheeting
	cleanliness layer

Fig. 2.28: Sealing of the bottom bunker areas

2.3.1.9 Drainage

Drainage serves to hold and dissipate liquids from bunkers. The following construction measures are employed to this end individually or in a combination:

- gradient concrete
- rectangular drainage openings in the transitional area soil slab - wall
- pump heels.

In a survey of plant operators carried out worldwide in 1974 [39] it was established that in England, North America and Japan drainages of the refuse bunkers are common, whereas they are hardly so in Europe and Scandinavia. In leaflet 5 [78], "Planning of incinerators" of 1970, the drainage of refuse bunkers is not viewed as necessary.

The following figures 2.29 and 2.30 show the evaluation of the investigated bunker plants in relation to the arrangement of the drainage openings in a plan view.

Drainage is present in the case of only 2 refuse bunkers. The bunker beds are horizontal.

In the case of the residue bunkers, the openings are usually arranged either underneath the residue insertion or in one of the lateral walls. The incline of the gradient concrete comprises up to 2 %. The residue cooling water is discharged via rectangular drainage slits and fed again to the residue discharge facility. Perforated slabs are arranged as a covering for the protection of the drainage opening from getting blocked by fill mass.

Legend

absolute frequency

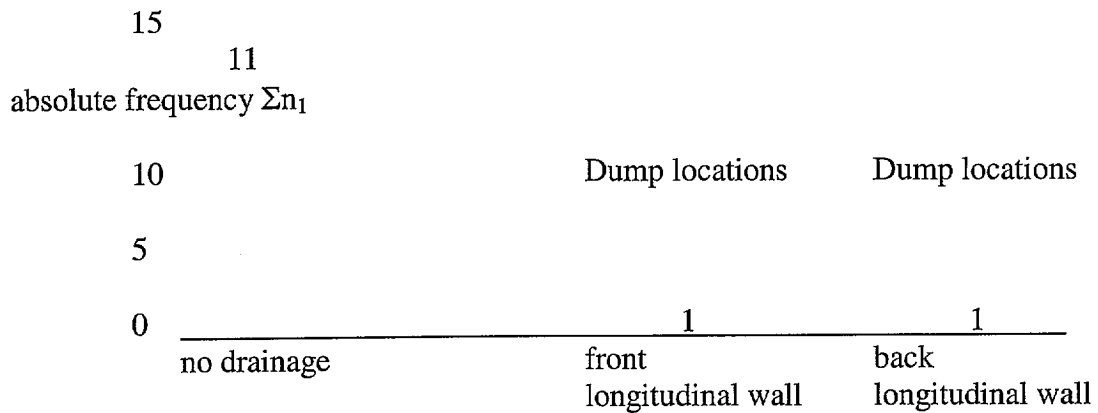
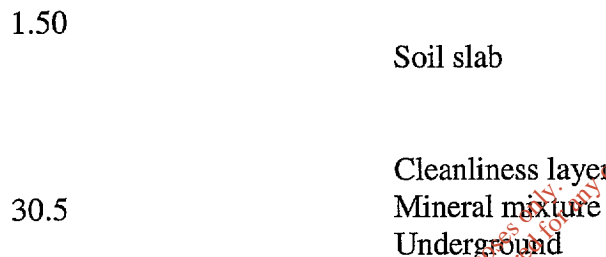


Fig. 2.29: Arrangement of drainage openings in refuse bunkers



2.3.1.10 Fire prevention

2.3.1.10.0 Introduction

Fire prevention measures are subdivided into structural and operational measures. Since extensive information about operational fire prevention measures are to be found in [16, 19, 37, 2], the operational fire prevention concept of a newer plant is illustrated here by way of example. The evaluation of the bunker plants in relation to structural fire prevention ensues as per the VGB leaflet Fire prevention in Domestic refuse incinerators [76] with the emphasis on fire sections, smoke heat vent plants (RWA²), roof construction, fire extinguisher openings and enclosing walls. In the case of the older plants, no technical fire prevention formation of the components ensued. In the case of newer plants on the other hand, the constructive formation of the bunker hall ensued, with adherence to DIN 4102 (e.g. in [12]) and to the instructions of the VGB leaflet [76].

² RWA = abbreviation for the German words for this term

2.3.1.10.1 Structural fire prevention

Incinerators are subdivided into several fire sections according to the individual building complexes. The largest sections are the refuse bunker and as the case may be the unloading shed, the boiler house and the buildings of the flue gas purification.

Smoke heat vent plants (RWA) serve to remove smoke from the refuse bunker area. The recommended effective surface area of the RWA of 8 to 15% of the pertaining roof surface, recommended in the VGB leaflet [76], is both undersubscribed (plant J: 3.1 %) and exceeded (plant O: 18.5 %).

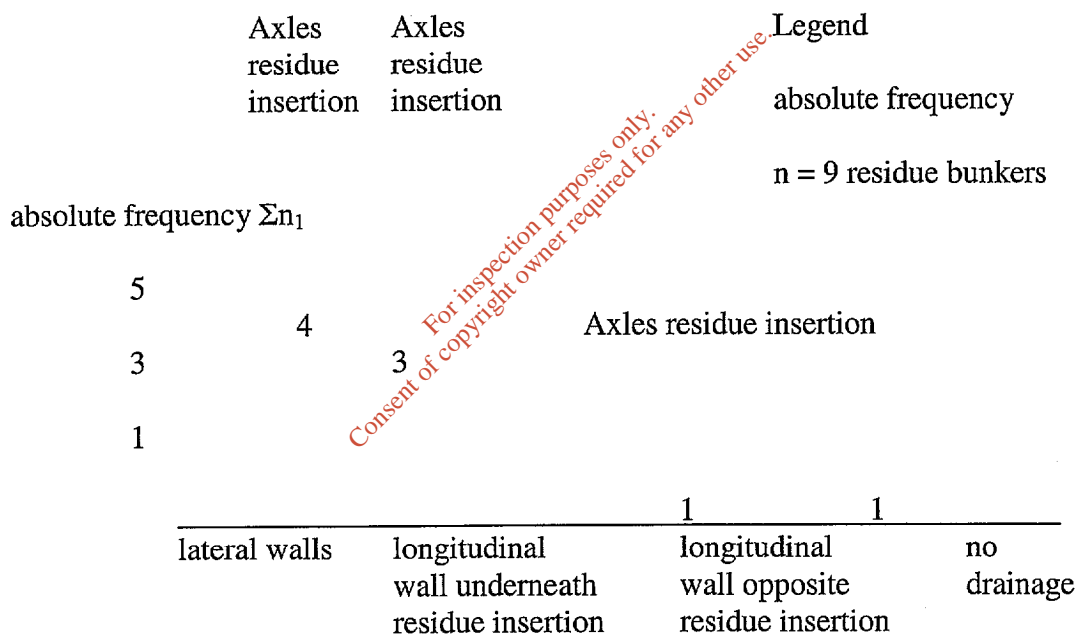


Fig. 2.30: Arrangement of drainage openings in residue bunkers

6.2 Impermeability

6.2.1 Refuse bunker

Table 6.10 contains the data to hand for evaluation.

The penetration depths of the TOC-detectable organic substances to be designated as minor. The cumulative parameter TOC (total organically combined carbon) is a measure for the entire pollution by organic substances. Volatile materials are detected only to a limited degree, conditional on procedure.

Investigations of soil samples taken underneath a refuse bunker bed make the refuse bunker seem extremely unlikely to be a source of contaminants. The concentrations of inorganic and organic contaminants were present at the time of the sampling in scales that make differentiating between geogenic origin and anthropogenic contaminant input impossible.

The investigated heavy metals (arsenic, lead, cadmium, chromium, copper, nickel, quicksilver, zinc) were verified at a depth of between 10 and 20 mm either not at all or only in traces at that stage. With the exception of the zinc, the heavy metals form in the basic pore milieu not easily dissoluble metal hydroxides which are precipitated at this stage in upper concrete boundary layers.

Overall the basic suitability of single-lining concrete constructions for taking over the sealing function is demonstrated.

The following illustrates a proposal for verification of impermeability for uncracked concrete, as per the DAfStb guideline [64] based on these findings.

This verification concept applies for a loading, intermittent however frequently, which is to be ensured by corresponding structural and operational measures. The formation of the bunker bed ensues as a dissipation surface including a retention room for admitting the leachates. The leachate accumulation is to be reduced to a minimum by operational measures. The main reasons for its occurrence are listed in Table 3.26, Ch. 3.4.

Verification of impermeability ensues via the derivation of the minimum pressure zone thickness x :

$$x \geq \gamma \theta_{\alpha} \quad [\text{mm}] \quad (6.5)$$

Safety coefficient for the penetration depth

θ_{α} characteristic penetration depth in mm
 γ_{α} safety coefficient for the penetration depth

The characteristic penetration depth θ_{α} is the computational value of the penetration depth, up to which the acting liquid penetrates within the loading duration t as a liquid front.

Table 6.10: Penetration of selected substances contained in leachate

Object	:	Soil slab
Requirements	:	no requirements were made of the impermeability (impermeability level 1)
Actions	:	Refuse leachate : Composition according to Table 3.29, Ch. 3.4
		- loading
	Frequency :	Soil : intermittently to continuously
	Duration :	25 years
Construction	:	level bunker bed, no drainage of the bunker
Penetration depth	:	Soil slab : $\theta_{TOC} \leq 50$ mm

It is deduced from

$$\theta_{itk} = 1.35 \cdot \theta_m [\text{mm}] \quad (6.6)$$

with θ_m mean penetration depth from trials.

This applies for once-off loading. In the event of intermittent loading, a mean equivalent loading duration t_{aqui} may be applied. For the derivation of the required mean equivalent penetration depth θ_{aqui} necessary according to equation 6.6, the mean penetration depth $\theta_{TOC} = 50/1.35 = 37 \text{ mm} \approx 35 \text{ mm}$ deduced at bunker structures may be enlisted. Since this only applies to a limited extent for volatile materials, the penetration depth θ_{aqui} (Fig. 6.1) is composed of

$$\theta_{aqui} = \theta_{TOC} + \theta_{IFS} \quad (6.7)$$

with θ_{TOC} TOC-detectable materials
 θ_{IFS} flammable materials.

The equivalent loading duration is deduced as follows.

equivalent loading e [mm]

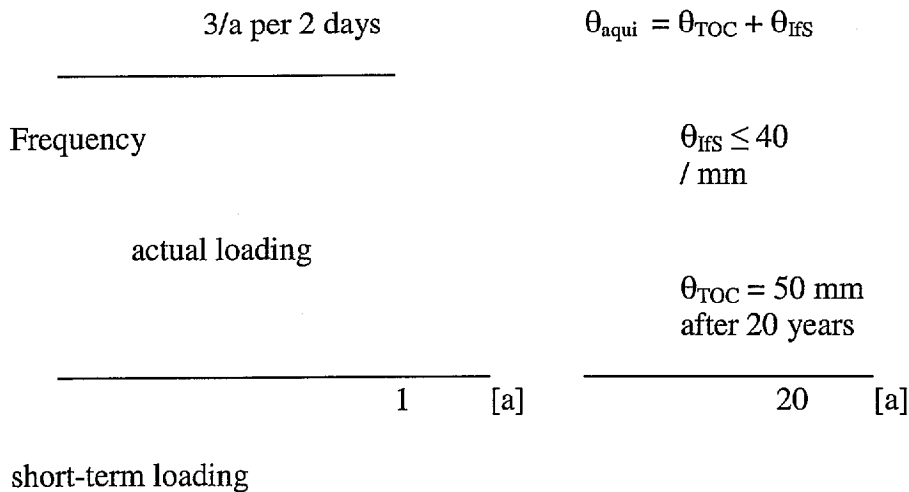


Fig. 6.1: Loading situations

The intermittent short-term loading of the bunker bed, occurring in reality, is replaced by an equivalent loading cycle of 2 days each time, 3 times a year (Fig. 6.1).

This theoretical value contains the twofold quenching water accumulation (experiential value, see Table 3.19, Ch. 3.3) and the external intake of water, e.g. by delivery.

Thus an equivalent loading duration t_{aqua} for a period of 20 years is calculated as

$$t_{\text{aqui}} = 20 \cdot 3 \cdot 2 = 120 \text{ days}$$

Due to the extensive decontamination of flammable materials between the loading cycles of 120 days (according to Part 5 of the DAfStb guideline [64], the evaporation portion comprises over 60 % 3 days after the loading for low material characteristic values $(\sigma/n)^{6,9}$, and over 90 % in the case of higher ones; σ = surface tension, n = viscosity), the maximum penetration depth of these materials, accepting the greatest penetration depth according to [64] of 40 mm after 72 hours, is estimated.

$$\theta_{\text{IFS}} \leq 40 \text{ mm} \quad (6.8)$$

The decontamination ensues with penetration depths less than a quarter of the component thickness (here: 1.15 to 2.00 m, Ch. 2.3.2) excluding the component surfaces loaded previously. Thus the equivalent penetration depth is calculated as

$$\theta_{\text{aqui}} = 35 + 40 = 75 \text{ mm} \quad (6.9)$$

The characteristic penetration depth is calculated consequently as

$$\theta_{ik} = 1.35 \cdot 75 = 100 \text{ mm}$$

For verification of the required pressure zone thickness, the following then applies:

$$x \geq \gamma_o \cdot 100[\text{mm}]$$

The penetration depth $\theta_{aqui} = 75 \text{ mm}$ is to be viewed as a maximum value and can be deduced more accurately in the context of a suitability test. In the case of an equivalent loading duration of 120 days, the testing duration $t_{Prüf}$ comprises = 12 days, as an extrapolation of the test results is permitted up to a tenfold loading duration.

During the prescribed storage duration and during the penetration test, the test specimen is to be dampened on one side. Dampening can ensue by a vessel filled with water being arranged on the underside of the trial body. An interstice is to be allowed for between the water level and the underside of the test specimen, so that a relative air humidity of almost 100 % is achieved. The mean penetration depths θ_{288m} ($t = 12 \text{ days} = 288 \text{ hours}$) must satisfy the following equation:

$$\theta_{288m} \cdot (t_{aqui} / t_{Prüf})^{0.5} \leq \theta_{zul} \quad (6.10)$$

with t_{aqui} equivalent loading duration of 120 days for 20 years
 $t_{Prüf}$ testing period of 12 days
 θ_{zul} permitted penetration depth of 75 mm (equation 6.9)

6.2.2 Residue bunker

Based on the constant loading by the cooling water prevailing here, verification according to the DAfStb guideline, applicable only for a once-off or else intermittent loading, is not possible. On the basis of the investigations carried out, recommendations for verification of impermeability are given below.

Table 6.11 shows boundary conditions and results of the TOC investigations in the residue bunker.

The maximum penetration depth of TOC-detectable organic materials to be designated as very low. In relation to the heavy metals, there is no difference to the findings from the refuse bunker area. The basic suitability of single-lining constructions for retaining water-endangering materials in an uncracked state can be unequivocally established.

On the basis of these findings, a proposal for verification of impermeability is derived below, as per the DAfStb guideline [64].

Since flammable organic materials are expelled by the incineration procedure and are therefore no longer contained in the residue or in the cooling water, it can be assumed that

all the organic carbon combinations contained in the leachate or in the drill core are detected to the utmost with the TOC regulation. On this assumption, organic materials contained in the cooling water penetrate into the concrete after 25-year loading under the boundary conditions prevailing here only up to a depth of 20 mm.

The impermeability verification can ensue via the pressure zone thickness:

$$x \geq \gamma_o \cdot \theta_{tk} \quad [\text{mm}] \quad (6.11)$$

with γ_o safety coefficient for the penetration depth

θ_{tk} characteristic penetration depth in mm

$$\theta_{tk} = 1.35 \cdot \theta_{tm} \quad (6.12)$$

θ_{tm} : mean penetration depth from trials

The mean penetration depth is comprised of

$$\theta_{tm} = \theta_{TOC} + d_k \quad [\text{mm}] \quad (6.13)$$

Structural faults by thermal and mechanical strains are taken into account by an increase as a function of the particle size d_k . For a particle size $d_k = 32$ mm, the required pressure zone thickness x is therefore calculated as

$$x \geq \gamma_o \cdot 1.35 \cdot (20 + 32) = \gamma_o \cdot 70 \quad [\text{mm}] \quad (6.14)$$

In this context, the composition of the concrete must correspond with that of an FD concrete or a concrete of equal value, and the separation crack freedom in the bottom bunker area must be ensured. The control time is 20 years after the start of operations.

Table 6.11: Penetration of TOC-detectable organic substances

Object	:	Soil slab
Requirements	:	no requirements were made of the impermeability (impermeability level 1)
Actions	:	Residue cooling water : composition according to Table 3.29, Ch. 3.4
		- loading
		Frequency : : Soil : constant
		Duration : : 25 years

Construction	:	Drainage of the bunker	
Penetration depth	:	Soil slab	: $\theta_{\text{TOC}} \leq 20 \text{ mm}$

7 Recommendations for Construction and Operation

7.0 Introduction

The following recommendations apply for bunker plants in thermal waste treatment plants for fixed municipal waste for the delivered waste and the forming residue. All fixed municipal waste can be stored in combination or individually in these plants, whereby the following boundary conditions are to be adhered to:

- The waste to be stored consists of fixed and dry to damp component parts with a high water-retention capacity. The recommendations do not therefore apply for plants in which mainly organic waste with a very high water content (e.g. organic kitchen waste, garden waste) is stored.
- The portion of products polluted with contaminants [73] of the total waste is to be reduced to a minimum.

The recommendations for the residue bunker area apply independently of the incineration technology and the type and operation method of the deslagging plant.

The proposed measures serve to ensure the

- durability against specific actions
- impermeability also in cracked areas, however excluding divisional cracks

according to construction principle 1 in the case of single-lining structures, for a period of 20 years. Figure 7.1 contains guidelines for applying the recommendations regarding durability.

Analogous to this, figure 7.2 shows the guidelines regarding impermeability.

7.1 Construction

7.1.1 Total structure

o Refuse bunker effective capacity

The refuse bunker effective capacity V_N ought to be designed for at least 5 or more delivery-free days.

$$V_N \geq 5 \cdot P / p$$

with P incineration performance [t/d]
 p density of the total waste [t/m³]

The densities of the total waste can be between 250 to 700 kg/m³. The lower values apply for fresh waste, and the higher ones for stored waste.

o **Refuse bunker width**

The following details serve as conventional values for the bunker width b_B:

- wall-type stacking of the waste and usual grabs (5 to 8 m³)

$$b_B \geq 15 \text{ m}$$

Construction			Operation	
	Ch. 7.1			Ch. 7.2
Building materials	Structure	Components	operational sequences	Monitoring
Ch. 7.1.1	Ch. 7.1.1	Ch. 7.1.2	Ch. 7.2.1	Ch. 7.2.2
	Construction principles KP			Structure
	KP 1	KP 2	Regulator check	Control time
	Ch. 7.1.5		Ch. 7.2.2.2.1	Ch. 7.2.2.2.2

Fig. 7.1: Guidelines – Durability –

Construction			Operation	
Component materials	Structure	Components	operational sequences	Monitoring
as before
	Construction principles KP		Pump heel	Structure

KP 1	KP 2	Regulator check	Control time
Ch. 7.1.4	

Fig. 7.2: Guidelines – Impermeability –

- Bunker width as a function of the open grab width b_G (Fig. 7.3)

$$B_B \geq 3 \cdot b_G$$

The width of the filling area is $b = b_G$, and the width of the stacking area is $b = 2b_G$.

o Accessibility of bunker plants

Accessibility should be guaranteed in order to facilitate especially

- inspections of the bottom bunker areas and
- transport of materials in the event of maintenance work,

without the need for major expenditure. Suitable measures include, for instance, closable openings in the wall outside the planned stacking area at the tipping level. Another option is to place a platform for shearing bulky refuse on a side wall or at a lateral tipping point (see plants J and O, in appendix I). These platforms render emptying of the bunker considerably easier in the event of extended stoppage of operations. They also provide a point for firefighting operations.

o Design of the bunker floor

Bunker floors should have a sloping design in compliance with the DafStb Guidelines (gradient $\geq 2\%$), as shown in the example in Fig. 7.3. In refuse bunkers, a lined hollow (pump sump) must be provided for leachates. The dimensions must be such that the distance between the other refuse and the top of the pump sump after waste disposal by the grab is greater than 0.30 m.

o Limitation of mechanical damage by the grab

The cab must be positioned in such a way that the crane operator can see into all parts of the bunker. No installations (supports, gangways, etc.) should be allowed to interfere with the mobility of the crane or the grab, and all walls must be approachable without resorting to swinging.

Fig. 7.3: Cross section of refuse bunker

Tipping point

Filling area

b_B : Bunker width

b_G : Grab width when open

Stacking area

Sloping bunker floor

o **Tipping of bulky refuse**

Where possible, bulky refuse should be stacked against a wall in the waste tipping area, at a sufficient distance from the bunker floor. It is advisable to provide the bunker floor with enhanced protection against wear and tear in the corresponding area.

o **Arrangement of drainage openings in residue bunkers**

In order to avoid blockage of the drainage openings, it is advisable to place them outside the residue storage and filling areas.

o **Construction materials**

Impermeable (FD) concrete or another concrete of equal value (FDE) must be used, as described in the DafStb Guidelines [64]. It is recommended that the concrete be lined against severe chemical attack in accordance with DIN 1045 section 6.5.7.5, and that a cement with high sulphate resistance be used, in accordance with DIN 1164. Residue bunkers also require a concrete with high resistance to chloride penetration. Concretes comprising blast furnace slag cement with a high proportion of granulated slag are particularly suitable.

7.1.2 Structural components

7.1.2.1 Floor and wall surfaces

The cross section of floors and walls may follow the design principles set out in Table 7.1, which differentiates between the basic grade and basic grade + additional measures aimed at enhancing the specific resistance. Under design principle 2, the impermeability function can be performed by a non-weight-bearing impermeable layer, e.g. SIFCON (a steel-fibre-reinforced construction material).

Table 7.2 shows applications of the design principles in function of the protective function against mechanical, thermal and chemical effects, and establishes where the different options can be used.

The basic grade always requires the use of FD concrete or another concrete of equal value. In addition to its basic suitability, other criteria for the selection of a design principle include reparability and controllability. In this respect, two-leaf constructions should be viewed in a particularly favourable light.

Table 7.1: Design principles – Function and cross section

	Design principle 1	Design principle 2	
	Basic grade	Basic grade + additional measures	
	one-leaf	one-leaf, multilayer	two-leaf
Basic grade	Impermeability function Load-bearing function Protective function	Impermeability function Load-bearing function -	Impermeability function Load-bearing function -
Additional measures	-	Protective function	Protective function

The impact-specific resistance of the additional measures must not be reduced in the presence of other impacts. Steel fibre concrete layers with a primary protective function against mechanical influences, for example, must be able to withstand corrosion in the presence of fluids of high chloride content. This also applies to metal load-bearing elements used for lining residue bunkers.

Figure 7.4 gives some practical examples for design principles.

Table 7.2: Design principles – Practical examples

Design principles	Practical examples	Protection against			Area of use	
		mechanical	chemical effects	thermal	Ref: Refuse bunker Res: Residue bunker W: Wall, F: Floor	
DP1 one-leaf	Impermeable concrete, $e_w \leq 30$ mm Increased concrete cover	x	x	x	Ref, Res	W, F
DP2 one-leaf multilayer	Impermeable concrete, $e_w \leq 30$ mm Steel fibre concrete layer		x	x	Ref, Res	W, F
	Impermeable concrete Surfacing	x	x		Ref	F
	Impermeable concrete Hard layer	x	x		Ref, Res	F
	Impermeable concrete Epoxy resin mortar Protective concrete	x	x		Res	W, F
two-leaf multilayer	Impermeable concrete, $e_w \leq 30$ mm Hardwood lining	x	x	x	Ref	W
	Impermeable concrete Seal Hardwood lining	x	x		Res	W

* e_w – Concrete with high resistance against chemical attack; water penetration depth according to DIN 1048 $e_w \leq 30$ mm

Fig. 7.4: Practical examples – Design principles 1 and 2

Design principles

1	2	
Basic grade one-leaf	Basic grade + additional measures one-leaf, multilayer	Basic grade + additional measures two-leaf
Indicator mat marking permissible depth of wear and tear	Wear and tear layer Steel fibre concrete	Hardwood lining Wear and tear protection
Wear and tear layer	Structurally required fortification	Intermediate space
Structurally required fortification		Structurally required fortification

7.1.2.2 Filling structures

For the construction of filling structures such as reinforced concrete chutes, the additional measures set out in Table 7.3 are to be recommended in order to enhance their resistance to wear and tear.

Sheet steel linings are also worthwhile for smaller installations.

Table 7.3: Additional measures against mechanical effects.

Increasing the concrete cover
Concrete with high resistance to wear and tear
Steel fibre concrete
Surfacing
Concrete finished parts

7.1.3 Construction details

o Joints

Expansion joints must be avoided in bunkers. Where construction joints are absolutely necessary, they should conform to the stipulations of the DafStb Guidelines [64].

o Haunches

Haunches (floor-to-wall or wall-to-wall transitions) should be produced together with the actual construction, in order to reduce the risk of crack formation in these areas. They should be produced in function of the kinematics of the grab.

o Edges and borders

All edges and borders of impermeable constructions must be protected against grab impacts (e.g. by means of sheet steel armouring).

7.1.4 Verification of impermeability

7.1.4.1 Refuse bunkers

This concept is valid for any bunker in intermittent service over a period of 20 years. In the event of loading with quenching water, the DafStb Guidelines [64] specify that the Guidelines for Quenching Water Storage Facilities [79] should be observed.

Verification of the impermeability value consists of determining the compression zone thickness x in cracked areas:

$$x \geq \gamma_e \cdot e_{tk} \text{ (mm)} \quad (7.1)$$

where γ_e safety coefficient for penetration depth
 e_{tk} typical penetration depth in mm

Alternatively, in the case of an uncracked area, the procedure can be performed on the thickness of the structural element. A crack width procedure is not necessary. For testing under Gln 7.1, it may be taken that $e_{tk} = 100$ mm.

In addition, structural and operational measures must be complied with as described in sections 7.1.1 and 7.2.2.

The typical penetration depth can be more precisely determined by means of a suitability test (see section 6.2.1). At the main inspection, i.e. max. 20 years after commencement of service, a test criterion (Gln 7.3) is used to decide on the continued use of the plant.

7.1.4.2 Residue bunkers

The impermeability verification is based on the tests performed (section 6.2.2) in accordance with the DafStb Guidelines [64], over a period of 20 years.

All the following criteria must be met:

- Verification of the required minimum compression zone thickness

$$\text{erf } x \geq \gamma_e \cdot 1.35 \cdot (20 + d_k) \text{ [mm]} \quad (7.2)$$

where

γ_e safety coefficient for penetration depth
 d_k particle size in mm

- Use of impermeable (FD) concrete or concrete of equal value (FDE)
- Verification of freedom from separation cracks in the bottom bunker areas

Monitoring occurs within the framework of the structural checks as described in section 7.2.2. The main inspection is 20 years after commencement of operation.

7.1.5 Verification of durability

The flow chart shown in Figure 7.5 may be used to evaluate the concrete cover required in refuse and residue bunkers for design principle 1.

In addition to the effects of carbonisation, chloride attack and grab impact, the structural fire prevention requirements of DIN 4102 must also be observed. In areas subject to a very high degree of mechanical impact, a further enhancement of the concrete cover may be necessary. Alternatively, design principle 2 could be used, e.g. adding an extra layer of steel fibre concrete.

For a maintenance-free period of $t = 20$ years, the concrete cover values set out in Table 7.4 might apply for refuse and residue bunkers.

The permissible depth of wear and tear must be marked, e.g. using steel fabric matting with limiting crack widths ("indicator mat"). Corrosion protection in the event of a severe chloride attack must be verified using suitable measures. Where the relevant impacting factors are known, the flow chart can also be applied for other storage items.

7.2 Operation

7.2.1 Operational procedures

o Limitation of mechanical damage by the grab

Wear and tear can be significantly reduced by keeping the distance between the grab and the bunker floor to a minimum (cable length restriction).

o Avoidance of leachates

In general, the occurrence of leachates should be minimised. Common sources of leachates are:

Delivery

- Rain water from refuse containers
- Water from roadsweeping machinery

Operation

- Quenching water
(Refuse bunker fires; fires in bulky refuse shearing area; refuse bunker as quenching water storage area in event of fires in other areas of the plant)
Cleaning water and surface water from the delivery area

Material stored

- Insufficient water retention capacity of the lower layers of waste

Optimum absorption of leachates can be achieved by continually turning the lower layers of refuse, especially in the filling area. The storage period of layers close to the ground in the stacking area should be limited by regularly changing them for fresh waste. This is especially easy in the case of horizontal storage as in stacking method 3.

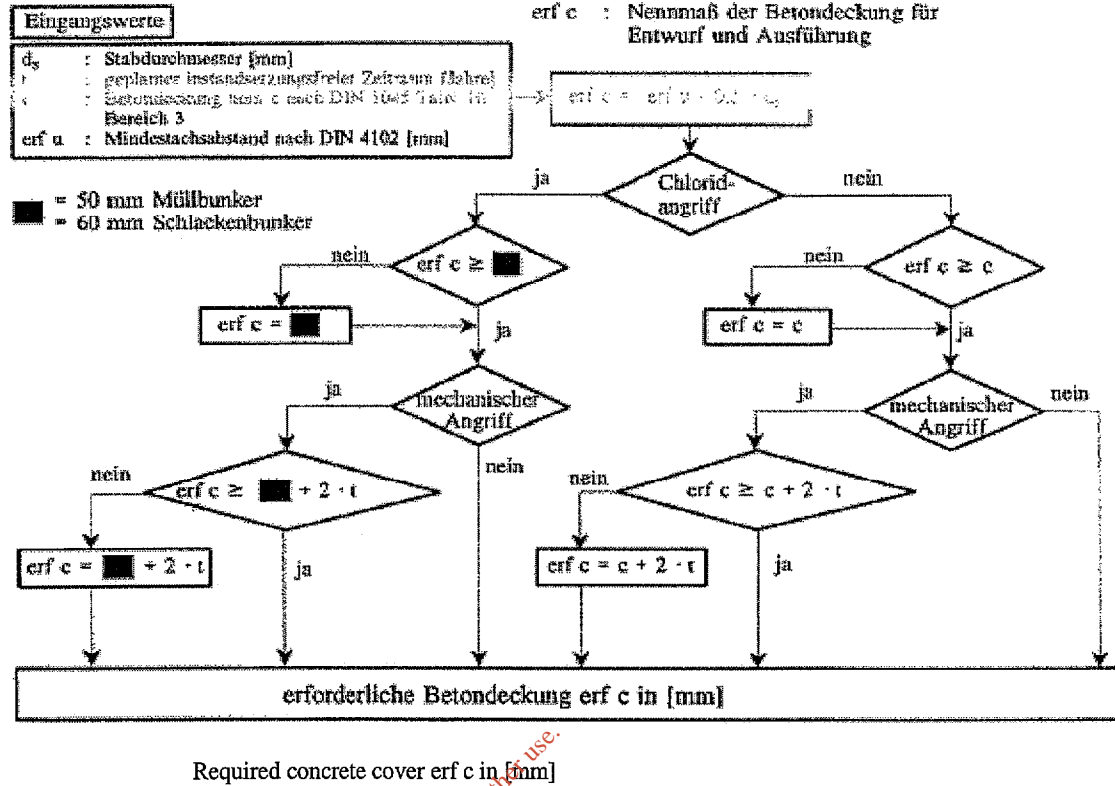
o Very moist refuse

Refuse with a high moisture content, such as road sweepings, can be fed into the area near the pump sump.

erf c: Nominal value of concrete cover
for design and execution

Initial values

- d_s : Rod diameter [mm]
- t : planned maintenance-free period (years)
- c : Concrete cover nom c under DIN 1045 Table 10 Area 3
- erf u : Minimum axle spacing under DIN 4102 [mm]
- = 50 mm refuse bunker
- = 60 mm residue bunker



ja: yes
nein: no
Chloridangriff: Chloride attack
mechanischer Angriff: Mechanical attack

Fig. 7.5: Required concrete cover

Table 7.4: Required concrete cover – Examples

Bunker	Combination of impacts	Required concrete cover nom c
Refuse bunker	Carbonisation + grab impact + fire	75 mm
	Grab impact + chloride attack	90
Residue bunker	Carbonisation + grab impact	75 mm
	Grab impact + chloride attack	100
Assumptions	erf u = 55 mm, d_s = 20 mm, c = nom c = 35 mm	

7.2.2 Monitoring

The monitoring procedure set out below comprises the regular tests to be performed during operation of the plant (Table 7.5). Monitoring at the time of construction and maintenance will comply with the stipulations of the DafStb Guidelines [64].

The results of the checks must be documented. In the event of a fire, the place of the fire, volume of water used to quench it, and height of water in the bunker must be noted.

Table 7.5: Tests during operation

				Durability			Impermeability	
	Method	Scope	Interval	Therm.	mech.	chem. impacts		
Pump sump	Level	V	-	≤ 1 wk	-	-	-	
Structure	Regular check	V, C, F	spot checks	2.5 yr	V ¹	V	V	V, C
	Main inspection	C	comprehensive	20 yr	C	C	C	C

V: Visual check; C: Concrete analysis; F: Fluid analysis

¹ – A check is only required if the fire lasts for more than 3 hours, and always if the sum total over 5 years is greater than 30 hours.

7.2.2.1 Pump sump level

The level of fluid in the pump sump should be visually checked every week, e.g. at the start of each week. After disposal of the waste, the upper 0.30 m to the top edge of the pump sump must be visible. Any large volumes of fluid collecting should be disposed of by pumping whenever necessary. The intervals between checks should be reduced in times of increased fluid collection, e.g. in rainy weather. The sump level should always be checked after a fire.

7.2.2.2 Structure

The real condition of the structure in terms of durability and impermeability should be checked at regular intervals by means of quality- and scope-graded tests.

The regular test should be performed every 2.5 years by random visual checks on selected areas of the structure and construction details. The fluids discharged into the bunkers (refuse leachates, cooling water) should also be tested every 5 years to provide guide values for analysis of the concrete at the main inspection. The main inspection occurs 20 years after commencement of service and includes comprehensive analysis of the concrete. A decision on the period of continued use of the plant will be made in function of the results of this inspection.

7.2.2.2.1 Regular tests

o Resistance

Mechanical impact

This test applies to areas of particular mechanical stress, especially the long wall and floor section underneath the filling point, and the walls in the stacking area. The filling structures, drainage openings and any pump sumps must also be checked.

Thermal impact

Following a fire in a refuse bunker (conditions stated in Table 7.5), the structural surfaces directly affected by the fire must be visually checked. Testing for chloride after a fire is only necessary in the following cases:

- large areas of damage
- heavily soiled areas
- structural components near the top of the bunker, e.g. roof girders, crane girders

Chemical impact

Structural surfaces that may be in contact with stored refuse or leachates must be examined for evidence of chemical impact. This applies particularly to walls underneath the filling points, and to floors.

- Impermeability

Wall areas which are subject to high mechanical and/or thermal impact (e.g. long walls underneath filling points, walls in storage area) and construction joints must be checked for cracks. Crack testing should be performed by borehole sampling or other suitable non-destructive procedures. Such tests will not be necessary where it is possible to conduct a visual check on each side of the relevant structure (e.g. where there is a gangway on the outside of the wall).

o Corrosive fluids

As part of the regular checks, the fluids occurring in the bunkers must be chemically analysed every 5 years.

The results will be used as orientative data for the materials analysis and should comply with the LAGA information sheet "Leachates from Domestic Refuse and Residue Landfills" [68]. In addition to the usual parameters such as pH, conductivity etc, the fluids must be analysed for the substances listed in Table 7.6.

Table 7.6: List of parameters

Parameters of DIN 4030, chloride	-
Total organic carbon	TOC
Volatile halogenated hydrocarbons	VHH
Benzol and derivatives	BTX
Hydrocarbons	HC
Polycyclical aromatic hydrocarbons	PAH
Phenols	-

7.2.2.2.2 Main inspection

o Durability

The profile of chloride and sulphate concentration must be determined by borehole sampling. Table 7.7 contains further details on the aspects to be tested.

Table 7.7: Main inspection – Durability

Bunker	RefB	ResB
Structural component	F, FLW	F, W
Materials	Sulphates, chloride	
Boreholes per unit area	$\geq 1/100 \text{ m}^2$ min n ≥ 3	

RefB – Refuse bunker, **ResB** – Residue bunker

W – Walls, **F** – Floor, **FLW** – Front long wall under filling points

As a general rule, testing of the walls in refuse bunkers can be restricted to the front long wall under the filling points, since this area is more likely to be impacted by fluids than the other walls.

In residue bunkers, however, all walls which are in contact with moist residue are at risk.

At least the front long wall under the filling points and one other wall in the slag storage area must be tested.

Areas subject to a high degree of wear and tear are to be prioritised in tests.

o Impermeability

In floor sections, borehole samples are to be taken as set out in Table 7.8, and tested to determine the detectable TOC concentration of organic materials and the maximum depth of penetration.

For inspection purposes only.
Consent of copyright owner required for any other use.

Table 7.8: Main inspection – Impermeability

Bunker	ResB	RefB
Structural component	F	
Materials	TOC	
Boreholes per unit area	$\geq 1/100 \text{ m}^2$ $\text{min } n \geq 3$	

RefB – Refuse bunker, **ResB** – Residue bunker, **F** – Floor

Areas subject to a high degree of wear and tear are to be prioritised in tests. The basic TOC level should be derived from boreholes in areas not impacted by refuse, residue or leachates.

For continued use of the plant, the following criterion (Demonstration of impermeability in accordance with Gln. 7.1 and 7.2) must be met:

$$\gamma_e \cdot 1.35 \cdot e_{\text{test}} / x < 1 \quad (7.3)$$

where:

x Available compression zone thickness in mm

γ_e Safety coefficient for penetration depth [64]

e_{test} Refuse bunker:

$$e_{\text{test}} = e_{\text{TOC}} + 40 \text{ in mm}$$

Residue bunker:

$$e_{\text{test}} = e_{\text{TOC}} \text{ in mm}$$

e_{TOC} Mean penetration depth in mm

The addition of 40 mm to the e_{test} value for refuse bunkers corresponds to the proportion of volatile substances (Gln. 6.9, section 6.2.1). The permissible period of continued use t_{rest} , expressed in years, then comes to

$$t_{\text{rest}} = t - 20 \leq 20 \text{ years}$$

where t in years is

$$x = \gamma_e \cdot 1.35 \cdot e_{\text{test}} (t/20)^{0.5} \quad (7.4)$$

The next main inspection will then be after t_{rest} years.

8 Recommendations for Construction and Operation

8.0 Introduction

The following recommendations apply for bunker plants in thermal waste treatment plants for fixed municipal waste for the delivered waste and the forming residue. All fixed municipal waste can be stored in combination or individually in these plants, whereby the following boundary conditions are to be adhered to:

- The waste to be stored consists of fixed and dry to damp component parts with a high water-retention capacity. The recommendations do not therefore apply for plants in which mainly organic waste with a very high water content (e.g. organic kitchen waste, garden waste) is stored.
- The portion of products polluted with contaminants [73] of the total waste is to be reduced to a minimum.

The recommendations for the residue bunker area apply independently of the incineration technology and the type and operation method of the deslagging plant.

The proposed measures serve to ensure the

- durability against specific actions
- impermeability also in cracked areas, however excluding divisional cracks

according to construction principle 1 in the case of single-lining structures, for a period of 20 years. Figure 7.1 contains guidelines for applying the recommendations regarding durability.

Analogous to this, figure 7.2 shows the guidelines regarding impermeability.

8 Synopsis and Outlook

Thermal treatment facilities for municipal solid waste include structures built in reinforced concrete for the short-term storage of waste and residue. Different operating conditions place high demands on the structure and materials in terms of their impermeability and durability. Bunker constructions are primary barriers, generally built in uncoated reinforced concrete, and this concrete is expected to fulfil the weight-bearing, protective and impermeability functions. Criteria are needed to evaluate the suitability of uncoated concrete and verify whether it meets the impermeability requirements in the context of the Due Care principle of the Federal Water Act.

The purpose of this study was to determine and assess the suitability of uncoated concrete structures for the storage of municipal solid waste in thermal treatment plants, with respect to their durability and impermeability, and based on these considerations to draw up recommendations for the construction and operation of such facilities.

To clarify the issues, a three-step approach was taken. The first step, the **collection of data**, covered existing bunker plants from the period 1960 to 1994 and took into account the following items: requirements, operational processes, construction, impacting factors and damages. The second step, the **evaluation of the data**, was performed taking into account the development through time within the selected investigation period, with an emphasis on older plants which had been in service for over 20 years. The third step, the **assessment of the data**, consisted of integrating the different items studied, and then making recommendations for construction and operation along with the relevant ranges of permissible values.

During the investigation period, the permeability evaluation revealed a three-stage development. Reinforced concrete structures built between 1965 and about 1975 correspond to impermeability level 1, as they fulfilled only the weight-bearing function. In the 80's to 90's, impermeability level 2 came into play as the structures were required to be impermeable to water, and were built in waterproof concrete tanking. Since the beginning of the 90's, refuse bunkers in particular have increasingly conformed to impermeability level 3, as impermeable structures consisting of two-leaf checkable cross sections. No impermeability function is assigned to the concrete, since to date there has been no verification process to establish the efficacy of impermeable, one-leaf concrete structures. The present study represents a step forward in this area.

In relation to durability and resistance to chemical, mechanical and thermal impacts, no uniform development was detected. In general, no demands were made of older facilities in this regard, whereas newer structures have more stringent requirements in terms of their resistance to chemical and mechanical impacts. Specific requirements do not exist in terms of thermal resistance.

The operational processes in the bunker facilities were systematically recorded and quantified. Three main storage methods were distinguished from among the multiple approaches, and operating conditions were classified under three headings.

For the purposes of systematic description, the overall bunker plant system can be divided into subsystems consisting of the entire structure, structural components and construction details. These are listed in a catalogue-style document. The storage and handling of waste is a decisive factor in the structural set-up of the plant as a whole. A catalogue has been prepared describing different bunker plant types in function of the storage and handling of waste. The intention was to then use the damage analysis to detect any correlation existing between plant type and damage profile. The data was analysed in great detail, with reference to different aspects of construction technology, such as design load, structural systems, construction procedures and maintenance. In the case of older structures, maintenance often occurred in line with a failure strategy, i.e. measures were only taken when defects or problems became evident. This is one of the main causes of some of the particularly severe damages detected in the damage analysis, which could have been avoided by means of a suitable monitoring procedure. Such a procedure was subsequently drawn up, based on the findings of this study.

The enclosing parts (floor section, walls) correspond to different design principles in which the concrete is conceived as either a primary or a secondary barrier. In design principle 1 (basic grade), the concrete is a primary barrier and assumes weight-bearing, impermeability and protective functions. The structural components are designed as one-leaf cross-sections. Design principle 2 consists of the basic grade along with additional measures to ensure durability. The structural components may be one-leaf or multi-leaf in cross section, with the basic grade taking on the weight-bearing and impermeability functions. Design principle 3 consists of the basic grade with a sole weight-bearing function, separated by an intermediate space from a second leaf, which performs the impermeability and protective functions. The intermediate space serves for monitoring purposes, for the detection of leakage from the inner leaf. Design principles 1 to 3 may be seen as structural solutions corresponding to impermeability levels 1 to 3.

The construction details – joints, haunches and drainage openings – were described in detail. Expansion joints in particular were found to be potential problem areas in one-leaf structures.

The factors impacting on bunker structures can be classified as normal and specific impacts. The latter result from the specific use of these bunkers and do not normally occur in other structures. They were studied and assessed in relation to their structural and environmental relevance.

Impacts with structural relevance include material and non-material hazards which pose a risk to the durability of the enclosing components. Material hazards include the categories of waste and fluids stored, and non-material hazards correspond to operating resources. Waste stored comprises the individual aspects of refuse, residue, biochemical degradation processes and burning of waste in the refuse bunker. The fluids which frequently accumulate on the floor of the refuse bunker are described as leachates. They arise when the water retention capacity of the waste is exceeded in the event of a high volume of quenching water or rain water entering the bunker. The fluids accumulating in residue bunkers arise from the water absorbed by the slag during cooling, which is partially released again by natural processes during storage. The operating resources category refers to two-vehicle bridge cranes with two-bucket or multi-bucket grabs.

The individual aspects described above were described and extensively quantified in relation to the following points:

- Material description: e.g. type of refuse, pollutant concentrations
- Loading type: e.g. refuse leachates, intermittent or constant
- Impact type and dimension: e.g. degree of chemical impact under DIN 4030
- Place or structural area of impact: e.g. floor section in waste storage area
- Impact-specific damage: e.g. corrosion of steel by chloride attack

In order to forecast the severity of damages expected, an impact value was defined as the product of loading type and impact dimension. For the assessment of the damages found, which generally presented themselves as an overlapping of impact-specific damage patterns, the impact combinations were analysed. The impact-specific findings of each structural area were noted, and this data was used to draw up an authoritative damage forecast including the severity of damage in the event of combined impacts.

Environmentally relevant impacts are those which consist of or contain substances which endanger the water supply and which penetrate or pass through the enclosing structural components. This applies particularly to fluids which can penetrate porous concrete. The concentration profile of selected substances or groups of substances in the concrete and in the soil underneath the floor of a refuse bunker was evaluated. A description of the possible transport phenomena involved falls outside the scope of this study.

The concentration profile in boreholes was detected for heavy metals and organic substances typically occurring in waste, which can be ascertained by means of the TOC parameter (total organic carbon). This parameter is used in hydro-analysis to determine the degree of pollution by organic materials, which can endanger the water supply even in small trace quantities. Given the detection methods used, it gives only an incomplete profile of volatile substances. The maximum penetration depth of TOC-ascertainable substances is less than 50 mm after over 25 years of intermittent or constant service. A correlation was found between concentration profiles and bunker structures. Penetration occurred only in the highly porous areas near the surface of the concrete. No increased TOC values were found in the deeper, denser layers.

Where heavy metals were detected, they occurred only in trace quantities near the surface layers of the concrete. After over 25 years of intermittent or constant service, the heavy metal values were no higher or only barely higher at depths of 10 to 20 mm. With the exception of zinc, the metals studied form low-solubility metal hydroxides in a basic porous environment, and these are precipitated and cannot penetrate further. The precipitation process occurs within an some millimetres of the surface of the concrete.

In order to evaluate the existence of any soil pollution, samples were taken at depths of up to 0.60 m underneath refuse bunker floors. Heavy metal concentrations were determined both in eluate in accordance with DEV S4, and in solid matter. The concentration of organic substances such as polycyclical aromatic hydrocarbons (PAH) were ascertained in eluate. Given the low concentrations found, no analysis of their concentration in solid matter was performed. The values ascertained were not compared with the limit or guide values of different bodies of legislation, since this would detract from the meaningfulness of the results. At the time of testing, the concentrations of organic and inorganic substances were of an order of magnitude that did not allow for differentiation between geogenic and anthropogenic origin. The emission of pollutants from refuse bunkers over 25 years of service should be deemed highly improbable.

The purpose of the failure analysis was to quantify damages and determine their causes. To this end, a number of analyses relating to the structure (non-destructive tests) and the building materials (destructive tests) were performed at random in order to determine the damage from corrosion and wear and tear in bunkers with over 20 years of service. Damages corresponding to cracks, fire damage and construction details were also studied.

The visual survey of individual plants allowed a correlation between operational procedures, construction, and the type and severity of damages to be established. The dominant damage profile in plants with normal operation is that of wear and tear arising from the mechanical impact of the grab. Of equal significance are the overlapping damages of wear and tear with corrosion as a result of depassivation through carbonisation, and wear and tear with chloride corrosion. The multiplicity of combined impacts detected during the failure prognosis can be reduced to the individual aspect of operating resources or the combinations of operating resources and carbonisation, or operating resources and fluids (chloride attack). No correlation was found between plant types and particular damage profiles.

In no case did the damages detected affect the stability of the structure, nor did they lead, after maintenance and repair, to a restriction of the scope or period of continued use. The

main causes of damage were found to be the lack of foresight at the planning stage with regard to the impact of operational procedures on durability and the limited or non-existent monitoring of structural aspects during operation.

The final assessment of the plants studied involved integration of the following subject items: requirements, operational processes, impacts, structure and damages. Subsequently, an extrapolation was made for new plants within a defined range of values, based on plants with bunkers corresponding to design principle 1. These were analysed in relation to their resistance to corrosion and wear and tear, revealing the basic suitability of one-leaf structures in terms of durability. In order to ensure the durability of new facilities, and bearing in mind the possibility of a change in the composition of waste, constant contact between fluids and the bunker structure must be avoided. Detailed requirements were drawn up in relation to structure and operation, in function of the different damage profiles.

The basic suitability of reinforced concrete in relation to the impermeability function was demonstrated. For new plants, it is recommended that refuse bunkers in intermittent service be tested for impermeability. This will constitute an important step in demonstrating the impermeability of reinforced concrete bunkers.

In conclusion, based on the present state of knowledge, a uniform concept for ensuring the durability and impermeability of one-leaf, monolithic concrete structures was presented. This concept comprises the following items: demonstration of impermeability and durability, requirements for construction and operation, and structural monitoring measures.

Further research and clarification is required in order to describe the legality of the penetration profiles of multi-substance mixtures (e.g. leachates) with regard to the moisture content of the structure in both intermittent and constant service situations.

Clarification is also required in relation to the efficacy of multi-layer systems comprising different materials in terms of their resistance to combined mechanical, thermal and chemical impacts.

Consent of copyright owner required for any other use.
For internal purposes only.

Placeholder

This page has been inserted to indicate that content has been extracted from this location in the document and has been stored in a separate file.
(This is due to file size issues.)

The extracted content can be found in the following electronic pdf file:

Requested Information-Drawing-

11

*For inspection purposes only.
Consent of copyright owner required for any other use*

Licence: W0167-01