



# MINISTERIALBLATT

FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN

42. Jahrgang

Ausgegeben zu Düsseldorf am 1. September 1989

Nummer 50

## Inhalt

### I.

**Veröffentlichungen, die in die Sammlung des bereinigten Ministerialblattes  
für das Land Nordrhein-Westfalen (SMBI. NW.) aufgenommen werden.**

Glied-Nr.	Datum	Titel	Seite
23230	26. 7. 1989	RdErl. d. Ministers für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr DIN 1055 Teil 6 – Lasten in Silozellen . . . . .	1100
23230	26. 7. 1989	RdErl. d. Ministers für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Ergänzungserlaß zu DIN 1055 Teil 4 – Ausgabe August 1986 – . . . . .	1113

23230

**I.****DIN 1055 Teil 6  
Lasten in Silozellen**

RdErl. d. Ministers für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr v. 26. 7. 1989 –  
V B 1 – 510.105

**1 Die Norm**

DIN 1055 Teil 6, Ausgabe Mai 1987

- Lastannahmen für Bauten;  
Lasten in Silozellen

und das

Beiblatt I zu DIN 1055 Teil 6, Ausgabe Mai 1987

- Lastannahmen für Silozellen;  
Erläuterungen

werden hiermit nach § 3 Abs. 3 der Landesbauordnung (BauO NW) als technische Baubestimmungen eingeführt.

**Anlagen**

Die Norm und das Beiblatt sind als Anlagen abgedruckt.

Die Ausgabe Mai 1987 der Norm DIN 1055 Teil 6 ersetzt die Ausgabe November 1964, die mit RdErl. v. 28. 7. 1965 (MBI. NW. S. 1026/SMBI. NW. 23230) bauaufsichtlich eingeführt worden ist und die Ergänzenden Bestimmungen zu DIN 1055 Teil 6, Ausgabe November 1964, Lastannahmen für Bauten; Lasten in Silozellen; Fassung Mai 1977, die mit RdErl. v. 2. 12. 1977 (MBI. NW. S. 2104/SMBI. NW. 23230) bauaufsichtlich eingeführt wurden.

**2 Bei Anwendung der Norm DIN 1055 Teil 6, Ausgabe Mai 1987, ist folgendes zu beachten:****2.1 Zu Abschnitt 1.5**

Bei der Abstimmung und Festlegung der betrieblichen Voraussetzungen ist zu prüfen, ob spätere Änderungen im Silobetrieb – z.B. ein Wechsel des Silogutes oder eine andere Anordnung der Füll- und Entleerungsvorrichtungen – bei der Ermittlung der Bemessungslasten berücksichtigt werden können. Die der Bemessung zugrunde gelegten Betriebsbedingungen sind in der Baugenehmigung anzugeben.

**2.2 Zu Abschnitt 3.1.1**

Außer den Schüttgütern nach Tabelle 1 der Norm sind weitere Schüttgüter in Tabelle 1 des Beiblattes 1 zu DIN 1055 Teil 6, Ausgabe Mai 1987, – Lastannahmen für Bauten; Lasten in Silozellen; Erläuterungen – genannt. Die für diese Schüttgüter angegebenen Rechenwerte können nur zum Teil als ausreichend gesichert angesehen werden. Für folgende Schüttgüter bestehen keine Bedenken, die Silolasten nach Abschnitt 3 der Norm mit den in Tabelle 1 des Beiblattes 1 angegebenen Anhaltswerten zu ermitteln: Sojabohnen, Kartoffeln, Kohle, Koks und Flugasche.

Die Anhaltswerte nach Tabelle 1 des Beiblattes 1 für die übrigen Schüttgüter – Rübenschitzelpellets, Futtermittel, Kohlenstaub, Kesselschlacke, Eisenpellets, Kalkhydrat – dürfen nur dann ohne weiteren Nachweis als Rechenwerte verwendet werden, wenn die hiermit ermittelten ungünstig wirkenden Schnittgrößen um 15% erhöht werden. In allen anderen Fällen, insbesondere bei Schüttgütern, die weder in Tabelle 1 der Norm noch in Tabelle 1 des Beiblattes 1 erfaßt sind, müssen

die Rechenwerte im Einzelfall der Obersten Bauaufsichtsbehörde nachgewiesen werden.

**2.3 Zu Abschnitt 3.3.3**

Beim Entleeren des Silos treten ungleichmäßig über den Umfang verteilte Lasten auf. Diese dürfen durch den Ansatz einer Ersatzlast in Form einer Teilflächenlast nach Abschnitt 3.3.3.2 der Norm berücksichtigt werden, wenn die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie und bei Stahlbetonsilos für den ungerissenen Zustand bestimmt werden. Werden die Schnittgrößen nach anderen Verfahren ermittelt, so ist im Einzelfall der Obersten Bauaufsichtsbehörde nachzuweisen, daß die ungleichförmigen Lastansätze in angemessener Form berücksichtigt sind.

**3 Folgende Erlasse werden aufgehoben:**

**3.1** Der RdErl. d. Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten v. 28. 7. 1965 (MBI. NW. S. 1026), mit dem DIN 1055 Teil 6, Ausgabe November 1964 bauaufsichtlich eingeführt worden war und

**3.2** der RdErl. d. Innenministers v. 2. 12. 1977 (MBI. NW. S. 2104), mit dem die Ergänzenden Bestimmungen zu DIN 1055 Teil 6, Ausgabe 1964, Lastannahmen für Bauten; Lasten in Silozellen, Fassung Mai 1977, bauaufsichtlich eingeführt worden waren.

**4** Das Verzeichnis der nach § 3 Abs. 3 BauO NW eingeführten technischen Baubestimmungen – Anlage zum RdErl. d. Ministers für Landes- und Stadtentwicklung v. 22. 3. 1985 (MBI. NW. S. 942/SMBI. NW. 2323) – ist wie folgt zu ändern:

**4.1 Es ist zu streichen:**

Im Verzeichnis der Baubestimmungen unter:

Sonstige Bestimmungen:	Abschnitt: Ergänzende Bestimmungen 1055 Teil 6
------------------------	--

In Abschnitt 1 – Lastannahmen im Hochbau

Spalte 1:	1055 Teil 6
Spalte 2:	November 1964
Spalte 3:	Lastannahmen für Bauten; Lasten in Silozellen
Spalte 4:	28. 7. 1965
Spalte 5:	(MBI. NW. S. 1026/ SMBI. NW. 23230)
Spalte 6:	
Spalte 10:	Ergänzende Bestimmungen (Fassung Mai 1977), RdErl. v. 2. 12. 1977 (MBI. NW. S. 2104/SMBI. NW. 23230).

**4.2 Dafür ist zu setzen:**

Spalte 1:	DIN 1055 Teil 6
Spalte 2:	Mai 1987
Spalte 3:	26. 7. 1989
Spalte 5:	(MBI. NW. S. 1100/ SMBI. NW. 23230)
Spalte 6:	X
Spalte 10:	Ebenfalls abgedruckt Beiblatt 1 zu DIN 1055 Teil 6 (Ausgabe Mai 1987); Erläuterungen

**Lastannahmen für Bauten****Lasten in Silozellen****DIN  
1055  
Teil 6**

Design loads for buildings; loads in silos

Ersatz für Ausgabe 11.64

Charges de calcul pour structures; charges en cellules de silos

Die Benennung „Last“ wird für Kräfte verwendet, die von außen auf ein System einwirken; dies gilt auch für zusammengesetzte Wörter mit der Silbe ... „Last“ (siehe DIN 1080 Teil 1).

**Inhalt****1 Anwendungsbereich**

- 1.1 Allgemeines
- 1.2 Silozellen
- 1.3 Silogüter
- 1.4 Fließprofile
- 1.5 Silobetrieb

**2 Benennungen und Formelzeichen****3 Schüttgutlasten**

- 3.1 Einflußgrößen
  - 3.1.1 Schüttguteigenschaften
  - 3.1.2 Form und Größe des Zellenquerschnittes
  - 3.1.3 Wandreibungsbeiwert
- 3.2 Füllasten im Zellenschaft
- 3.3 Entleerungslasten im Zellenschaft
  - 3.3.1 Allgemeines
  - 3.3.2 Gleichförmige Lasten
  - 3.3.3 Ungleichförmige Lasten

## 3.4 Lasten auf waagerechte Siloböden

- 3.5 Lasten in Auslauftrichtern
  - 3.5.1 Allgemeines
  - 3.5.2 Lasten aus der Trichterfüllung
  - 3.5.3 Lasten aus der Trichterüberschüttung
- 3.6 Zusätzliche Lasten am Übergang vom Zellenschaft zum Trichter
- 3.7 Lasten aus dem Einblasen von Druckluft
  - 3.7.1 Luftpainblasen zum Trocknen von körnigem Schüttgut
  - 3.7.2 Kontinuierliches Luftpainblasen als Entleerungshilfe bei staubförmigem Schüttgut
  - 3.7.3 Luftpainblasen zum Homogenisieren von staubförmigem Schüttgut
- 3.8 Lasten aus schnellem Füllen und Entleeren

**4 Gärfutterlasten****5 Knick- und Beullasten****6 Temperatureinflüsse****1 Anwendungsbereich****1.1 Allgemeines**

Diese Norm gilt für die Berechnung der Lasten, die aus dem Silogut auf die Silokonstruktion wirken. Die Lasten dürfen als vorwiegend ruhend betrachtet werden.

Lasten aus Staubexplosionen werden in dieser Norm nicht erfaßt. Bei Schüttgütern, die zu Staubexplosionen neigen, sind besondere Maßnahmen notwendig.

**1.2 Silozellen**

Diese Norm gilt für Silozellen mit lotrechten Wänden und Auslauftrichtern oder flachen Böden, wenn die größte Siloguttiefe  $h$  mindestens das 0,8fache des Durchmessers  $d$  des in die Zelle einbeschriebenen Kreises beträgt. Auch bei Silos mit  $h/d < 0,8$  ist die Norm anwendbar, wenn mehr als die Hälfte des Silogutes im Auslauftrichter lagert und die Trichterneigung  $\alpha \geq 20^\circ$  ist.

Diese Norm gilt nur für Verhältnisse von vertikaler Füllast zur Wichte des Silogutes

$$p_{vt}/y \leq 25 \text{ m}$$

Diese Norm gilt nicht für Silozellen mit ringförmigem Querschnitt (ineinandergestellte Silos). Auch Laststeigerungen

infolge örtlicher Querschnittsveränderungen und Einbauten sowie infolge von Austraghilfen werden nicht erfaßt.

**1.3 Silogüter**

Die Silogüter sind in dieser Norm unterteilt in Schüttgüter und Gärfutter. Als Schüttgüter gelten dabei körnige und staubförmige Güter nach Tabelle 1 und vergleichbare.

Diese Norm gilt nicht für stark kohäsive Silogüter, wie z.B. manche Futtermittel und Schrote, sowie nicht für quellende Schüttgüter.

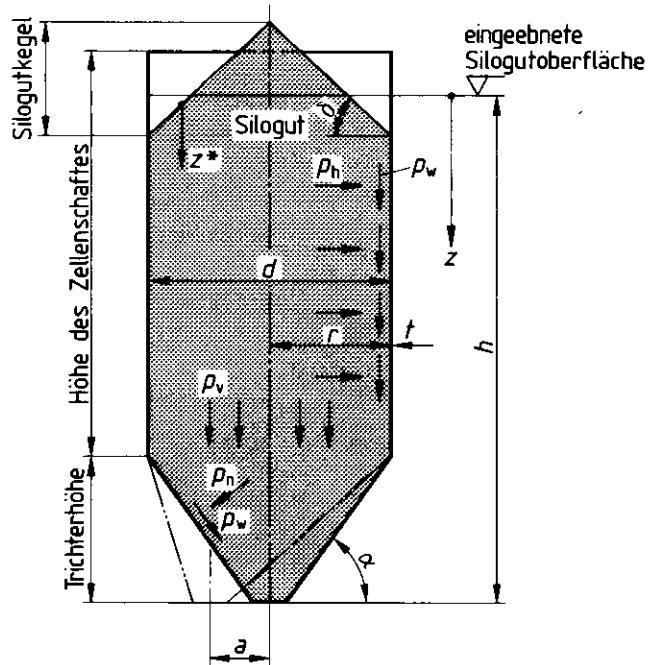
**1.4 Fließprofile**

Die Norm ist bei Kernfluß und Massenfluß des Schüttgutes anwendbar. Kernfluß herrscht, wenn Teilbereiche des Schüttgutes beim Entleeren in Ruhe bleiben. Massenfluß besteht, wenn beim Entleeren das gesamte Schüttgut einer Silozelle in Bewegung ist.

**1.5 Silobetrieb**

Die betrieblichen Voraussetzungen für die der Bemessung zugrundezulegenden Lastannahmen sind zwischen dem planenden Ingenieur und dem Betreiber abzustimmen und festzulegen.

## 2 Benennungen und Formelzeichen



- a) Geometrische Größen:  
 d Durchmesser des einbeschriebenen Kreises  
 r Halbmesser des einbeschriebenen Kreises  
 A innere Querschnittsfläche  
 u innerer Umfang  
 a Ausmitte des Auslaufes  
 t Wanddicke  
 z Siloguttiefe  
 z\* örtliche Überschüttungshöhe  
 h größte Siloguttiefe  
 alpha Neigung der Trichterwand
- b) Lasten je Flächeneinheit:  
 p<sub>h</sub> Horizontallast  
 p<sub>v</sub> Vertikallast  
 p<sub>n</sub> Normallast auf schräge Flächen  
 p<sub>w</sub> Wandreibungslast  
 p<sub>b</sub> Vertikallast auf waagerechte Siloböden  
 p<sub>L</sub> Einblasüberdruck
- weitere Fußzeiger für Lasten:  
 f für Füllen  
 e für Entleeren
- c) Sonstige Größen:  
 y Wichte des Silogutes  
 lambda Horizontallastverhältnis  $p_h/p_v$   
 mu Wandreibungsbeiwert  $p_w/p_h$   
 delta Böschungswinkel  
 beta Ungleichförmigkeitsfaktor

Weitere Formelzeichen werden im Text erklärt.

Bild 1. Systematische Darstellung einer Silozelle mit Benennungen und Formelzeichen

## 3 Schüttgutlasten

### 3.1 Einflußgrößen

#### 3.1.1 Schüttguteigenschaften

Die Rechenwerte für die Eigenschaften körniger und staubförmiger Schüttgüter sind in Tabelle 1 angegeben. Sie dürfen vereinfachend über die Siloguttiefe  $z$  konstant angenommen werden.

Tabelle 1. Rechenwerte für Schüttgüter

Schüttgut	Wichte $y$ kN/m <sup>3</sup>	Horizontal- lastver- hältnis $\lambda$	Wandreibungsbeiwerte			Entlee- rungs- lastfaktor $e_h$	Schüttgut- beiwert $\beta_G$
			$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$		
Weizen	9,0	0,60	0,60	0,40	0,25	1,4	0,5
Mais	8,0	0,60	0,60	0,40	0,25	1,6	0,9
Braugerste	8,0	0,65	0,50	0,35	0,25	1,4	0,5
Getreidemehl	7,0	0,40	0,50	0,35	0,25	1,4	0,6
Weißzucker	9,5	0,60	0,55	0,50	0,45	1,2	0,4
Quarzsand gebrochen	16,0	0,50	0,60	0,50	0,40	1,4	0,4
Betonkies	18,0	0,60	0,60	0,50	0,40	1,3	0,4
Kalksteinmehl	13,0	0,65	0,55	0,50	0,40	1,2	0,5
Zementklinker	18,0	0,50	0,60	0,55	0,45	1,2	0,7
Zement	16,0	0,65	0,50	0,45	0,40	1,2	0,5
Aluminiumoxid	12,0	0,65	0,50	0,45	0,40	1,2	0,5
Thomasphosphat	22,0	0,65	0,55	0,50	0,40	1,3	0,5

### 3.1.2 Form und Größe des Zellenquerschnittes

Die Form und Größe des Zellenquerschnittes wird im allgemeinen durch das Verhältnis von Fläche zu Umfang  $A/u$  berücksichtigt.

Für den Sonderfall der Spaltzelle gilt  $A/u = b/2$  mit  $b$  nach Bild 2. Für den Sonderfall der Zwickelzelle gilt  $A/u = d/4$  mit  $d$  nach Bild 3.

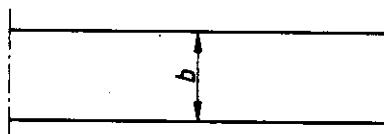


Bild 2. Spaltzelle (Grundriß)

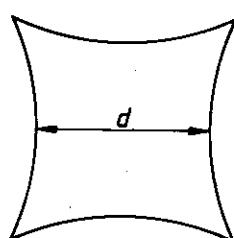


Bild 3. Zwickelzelle (Grundriß)

### 3.1.3 Wandreibungsbewert

Die Wandreibungsbeiwerte  $\mu$  sind in Tabelle 1 in Abhängigkeit von der Art der Fläche, an der das Schüttgut reibt, in drei Gruppen eingeteilt. Es gilt:

- $\mu = \mu_1$  für rauhe Wände, wenn die Reibung im wesentlichen innerhalb des Schüttgutes stattfindet (z.B. bei waagerecht gespannten Well- und Falzblechwänden),
- $\mu = \mu_2$  für mittelglatte Wände (z.B. Beton, Putz, Holz, Stahlbleche mit Nieten und Schrauben),
- $\mu = \mu_3$  für glatte Wände (z.B. Stahl- und Aluminiumbleche geschweißt oder gefalzt, Kunststoffe und beschichtete Flächen).

Das Glätten der Wände durch Fett, Wachs oder Öl organischer Schüttgüter ist in Tabelle 1 berücksichtigt.

## 3.2 Füllasten im Zellenschaft

Für das Füllen der Silozelle sind im Zellenschaft folgende Lasten je Flächeneinheit in Rechnung zu stellen:

$$\text{– Wandreibungslast} \quad p_{wf}(z) = \frac{y \cdot A}{u} \cdot \Phi(z) \quad (1)$$

$$\text{– Horizontallast} \quad p_{hf}(z) = \frac{y \cdot A}{\mu \cdot u} \cdot \Phi(z) \quad (2)$$

$$\text{– Vertikallast} \quad p_{vf}(z) = \frac{y \cdot A}{\lambda \cdot \mu \cdot u} \cdot \Phi(z) \quad (3)$$

wobei der Quotient die Last jeweils in unendlicher Siloguttiefe angibt und

$$\Phi(z) = (1 - e^{-z/z_0}) \quad (4)$$

$$\text{mit} \quad z_0 = \frac{A}{\lambda \cdot \mu \cdot u} \quad (5)$$

die Zunahme der Last mit der Siloguttiefe berücksichtigt.

Die von der eingeebneten Silogutoberfläche bis zur Siloguttiefe  $z$  summierte Wandreibungslast beträgt:

$$P_{wf}(z) = \frac{y \cdot A}{u} \cdot [z - z_0 \cdot \Phi(z)] \quad (6)$$

### 3.3 Entleerungslasten im Zellenschaft

#### 3.3.1 Allgemeines

Für das Entleeren der Silozelle sind im Zellenschaft gleichförmige Lasten nach Abschnitt 3.3.2 und ungleichförmige Lasten nach Abschnitt 3.3.3 in Rechnung zu stellen. Ist ein Silo gezielt für Massenfluß ausgelegt, kann auf die Berücksichtigung der ungleichförmigen Lasten nach Abschnitt 3.3.3 verzichtet werden, jedoch sind Lastspitzen nach Abschnitt 3.6 zu berücksichtigen.

#### 3.3.2 Gleichförmige Lasten

Die gleichförmigen Lasten betragen je Flächeneinheit:

$$\text{– Wandreibungslast} \quad p_{we} = 1,1 p_{wf} \quad (7)$$

$$\text{– Horizontallast} \quad p_{he} = e_h \cdot p_{hf} \quad (8)$$

$$\text{– Vertikallast} \quad p_{ve} < p_{vf} \quad (9)$$

Der Faktor 1,1 gilt auch für die summierte Wandreibungslast  $P_{we}$ . Der Entleerungslastfaktor  $e_h$  ist Tabelle 1 zu entnehmen. Für Silozellen mit  $h/d > 5,0 \cdot \mu$  sind beide Faktoren voll anzusetzen, für Silozellen mit  $h/d < 2,5 \cdot \mu$  dürfen sie gleich 1,0 gesetzt werden. Dazwischen darf geradlinig interpoliert werden.

#### 3.3.3 Ungleichförmige Lasten

##### 3.3.3.1 Allgemeines

Beim Entleeren können ungleichförmige Lasten aus dem Schüttgut auftreten, die bei der Horizontallast zusätzlich zur gleichförmigen Last  $p_{he}$  wie folgt zu berücksichtigen sind:

Bei Silos mit Kreisquerschnitt ist eine horizontale Teilflächenlast nach Abschnitt 3.3.3.2 anzusetzen. Besitzen die Silos am Kopf- und Fußende eine horizontale Aussteifung und Wände mit ausreichender Querverteilung der Last, so darf statt des zusätzlichen Ansatzes einer Teilflächenlast eine Erhöhung der gleichförmigen Horizontallast nach Abschnitt 3.3.3.3 erfolgen.

Bei Silos mit  $n$ -Eckquerschnitt ist stets nach Abschnitt 3.3.3.3 zu verfahren.

Bei Silogruppen braucht eine gegenseitige Beeinflussung der Zellen infolge der ungleichförmigen Last nicht berücksichtigt zu werden.

##### 3.3.3.2 Ansatz einer Teilflächenlast

Auf einer quadratischen Fläche mit der Seitenlänge  $s = 0,8 A/u$  ist eine Teilflächenlast  $\beta \cdot p_{he}$  mit  $\beta$  nach Abschnitt 3.3.3.4 anzusetzen. Die das Gleichgewicht haltende Last  $P = s^2 \cdot \beta \cdot p_{he}$  kann diametral entgegengesetzt angenommen werden. Es genügt, die Teilflächenlast in halber Höhe des Zellenschaftes anzusetzen und die daraus ermittelte prozentuale Steigerung der Beanspruchung über die ganze Schafthöhe beizubehalten. Eine Stützung der Silowand durch das Schüttgut (elastische Bettung) darf nicht angenommen werden.

##### 3.3.3.3 Erhöhung der gleichförmigen Horizontallast

Wenn anstelle des Verfahrens nach Abschnitt 3.3.3.2 mit einer erhöhten gleichförmigen Last  $x \cdot p_{he}$  gerechnet werden darf bzw. zu rechnen ist, beträgt der Steigerungsfaktor

- bei Silos mit Kreisquerschnitt:

$$x = 1 + 0,5 \cdot \beta + 0,02 \cdot \beta \cdot r/t \quad \text{für } r/t \leq 70 \quad (10)$$

$$x = 1 + 3 \cdot \beta \cdot \sqrt{h/d} \quad \text{für } r/t \geq 100 \quad (11)$$

Für  $70 < r/t < 100$  ist zwischen den Werten  $x$  für  $r/t = 70$  und  $r/t = 100$  linear zu interpolieren.

- bei Silos mit  $n$ -Eckquerschnitt:

$$x = 1 + 0,8 \cdot \beta \quad (12)$$

$\beta$  ist nach Abschnitt 3.3.3.4 zu ermitteln.

Als Wanddicke  $t$  gilt bei waagerecht gespannten gewellten bzw. gefalteten Wänden die Dicke einer ebenen Wand mit gleichem Flächenmoment 2. Grades (bisher: Trägheitsmoment).

### 3.3.3.4 Ungleichförmigkeitsfaktor $\beta$

Der Ungleichförmigkeitsfaktor beträgt

$$\beta = \beta_h \cdot \beta_a \cdot \beta_r \cdot \beta_G \quad (13)$$

Hierin bedeuten:

$\beta_h$ Schrankheitsbeiwert: $\beta_h = 1$	für $h/d < 1$
$\beta_h = 0,2 \cdot h/d + 0,8$	für $1 \leq h/d \leq 4$
$\beta_h = 1,6$	für $h/d > 4$

$\beta_a$ Ausmittenbeiwert: $\beta_a = 1$	für $a/r < 1/3$
$\beta_a = 3 \cdot a/r$	für $a/r \geq 1/3$

$\beta_r$ Steifigkeitsbeiwert: $\beta_r = 0,3$	für $r/t \leq 70$
$\beta_r = 0,05$	für $r/t \geq 100$

Beim Verfahren nach Abschnitt 3.3.3.2 und  $70 < r/t < 100$  ist  $\beta_r$  linear zu interpolieren.

$\beta_G$  Schüttgutbeiwert nach Tabelle 1.

## 3.4 Lasten auf waagerechte Siloböden

Bei Silos mit  $h/d \geq 1,5$  darf die Vertikallast auf waagerechte Siloböden  $p_b$  über die Fläche als gleichmäßig verteilt angenommen werden:

$$p_b = c_b \cdot p_{vf} \leq \gamma \cdot h \quad (14)$$

mit  $c_b = 1,5$

bzw.  $c_b = 1,8$  für Schüttgüter, die in Kernflußsilos zu stoßartigen Belastungen führen (z.B. Mais und Zementklinker).

Bei Silos mit  $h/d < 1,5$  ist eine ungleichmäßige Lastverteilung

$$p_b = c_b \cdot p_{vf} \leq \gamma \cdot z^* \quad (15)$$

anzusetzen.

Bei der Bestimmung von  $p_{vf}$  ist am Zellenrand  $z = h$  und in Zellenmitte  $z = 1,5 \cdot d$  anzunehmen.

$z^*$  bedeutet die tatsächliche örtliche Überschüttungshöhe nach Bild 1.

## 3.5 Lasten in Auslauftrichtern

### 3.5.1 Allgemeines

Die Lasten in Auslauftrichtern setzen sich zusammen aus den Anteilen für das im Trichter und das über dem Trichter liegende Schüttgut nach Abschnitt 3.5.2 bzw. Abschnitt 3.5.3. Die Formeln sind aufgrund von Versuchsergebnissen ohne Berücksichtigung von Gleichgewichtsbedingungen empirisch entwickelt. Sie gelten für Trichterneigungen  $\alpha \geq 20^\circ$ . Bei Neigungen  $\alpha < 20^\circ$  ist die Vertikallast auf den waagerechten Siloboden  $p_b$  nach Abschnitt 3.4 anzusetzen.

Die Anschlußkräfte des Trichters sind aus den Gleichgewichtsbedingungen herzuleiten. Bei der Last aus der Trichterüberschüttung ist der Faktor  $c_b$  zu berücksichtigen.

### 3.5.2 Lasten aus der Trichterfüllung

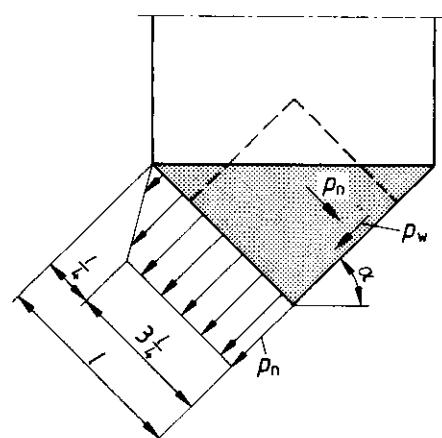
Die Lasten aus dem im Trichter liegenden Schüttgut sind nach Bild 4 zu bestimmen. Die Formeln (16) und (17) gelten sowohl für die ebene Trichterfüllung als auch für einen Schüttgutkegel mit gleichem Volumen.

### 3.5.3 Lasten aus der Trichterüberschüttung

Die Lasten aus dem über dem Trichter liegenden Schüttgut sind nach Bild 5 zu bestimmen (mit  $p_{hf}$  nach Abschnitt 3.2 und  $p_{vf} \cdot c_b = p_b$  nach Abschnitt 3.4 in Zellenmitte).

## 3.6 Zusätzliche Lasten am Übergang vom Zellenschaft zum Trichter

Bei Massenflußsilos treten beim Entleeren am Übergang vom Zellenschaft zum Auslauftrichter Lastspitzen auf, die ein Mehrfaches der Lasten  $p_{he}$  nach Abschnitt 3.3.2 und  $p_{no}$  nach Abschnitt 3.5.3 betragen und nach Bild 6 abgeschätzt werden können. Die Last  $p_s$  wirkt zusätzlich zu den Lasten  $p_{he}$  und  $p_{no}$ .

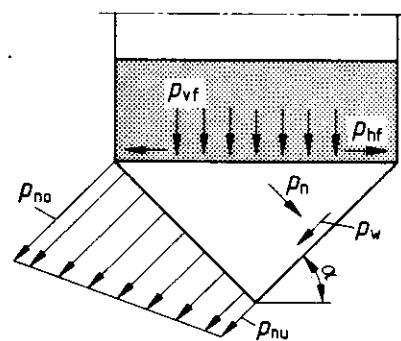


$$p_n = 2,4 \frac{A}{u} \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot \sin^2 \alpha / \sqrt{\mu} \quad (16)$$

mit  $A/u$  nach Abschnitt 3.1.2

$$p_w = p_n/2 \quad (17)$$

Bild 4. Lasten aus der Trichterfüllung

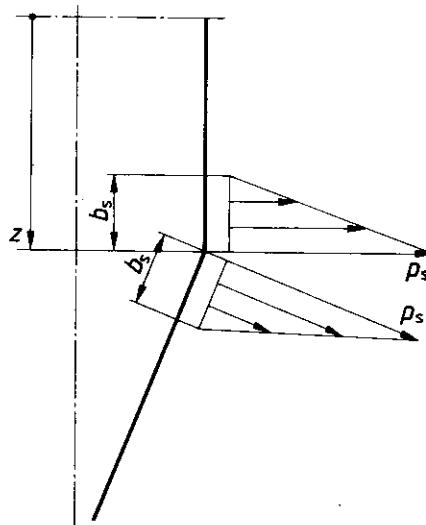


$$p_{no} = (p_{vf} \cdot c_b \cdot \cos^2 \alpha + p_{hf} \cdot \sin^2 \alpha) (1 + \frac{\sin 2\alpha}{4\mu}) \quad (18)$$

$$p_{nu} = p_{vf} \cdot c_b \cdot \cos^2 \alpha \quad (19)$$

$$p_w = p_n/2 \quad (20)$$

Bild 5. Lasten aus der Trichterüberschüttung



$$p_s = \gamma \cdot z \quad (21)$$

$$p_s = \gamma \cdot d \quad (22)$$

Der kleinere Wert ist maßgebend.

$$b_s = 0,3 \cdot d \quad (23)$$

Bild 6. Lastspitzen bei Massenflußsilos

### 3.7 Lasten aus dem Einblasen von Druckluft

**3.7.1 Lufteinblasen zum Trocknen von körnigem Schüttgut**  
Der Einblasüberdruck  $p_L$  darf von der Einblasstelle bis zur Schüttgutoberfläche linear auf Null abgemindert werden. Dieser Druck ist den Silolasten  $p_{hf}$  und  $p_b$  zu überlagern.

#### 3.7.2 Kontinuierliches Lufteinblasen als Entleerungshilfe bei staubförmigem Schüttgut

Der Einblasüberdruck  $p_L$  darf von der Einblasstelle bis zur Höhe

$$\Delta h = 1,3 p_L / \gamma \quad (24)$$

linear auf Null abgemindert werden. Dieser Druck ist den Silolasten  $p_{he}$  und  $p_b$  gegenüberzustellen. Der größere Wert ist maßgebend.

#### 3.7.3 Lufteinblasen zum Homogenisieren von staubförmigem Schüttgut

Das Staub-Luft-Gemisch ist als Flüssigkeit mit der Wichte  $0,6 \cdot \gamma$  anzusehen.

### 3.8 Lasten aus schnellem Füllen und Entleeren

Beim schnellen Füllen staubförmiger Schüttgüter können im oberen Bereich von Silos mit kleinem  $A/u$  größere Lasten auftreten als nach Abschnitt 3.3. Auf eine Berücksichtigung dieser Lasten kann verzichtet werden, wenn  $A/u > 1,0 \text{ m}$  und der Anstieg des Füllstandes kleiner als  $10 \text{ m/h}$  ist.

Tabelle 2. Rechenwerte für Gärfutter

Klasse	Beispiele	$\gamma$	$p_v$	Horizontallast $p_h$		$p_w$	$P_{wf}$ (Höchstwert $\gamma \cdot A \cdot z/u$ )
				$z \leq 16 \text{ m}$	$z > 16 \text{ m}$		
1	stark vorgewelktes Grünfutter mit TM <sup>1)</sup> > 40% <sup>2)</sup>	6		$0,4 \cdot \gamma \cdot z$	$(0,8 \cdot z - 6,4) \cdot \gamma$		
2a	vorgewelktes Grünfutter mit TM <sup>1)</sup> von 25 bis 40% <sup>2)</sup>	8	$y \cdot z$	$0,5 \cdot \gamma \cdot z$	$(0,9 \cdot z - 6,4) \cdot \gamma$	$0,1 \cdot \gamma \cdot z$	$0,05 \cdot \gamma \cdot z^2$
	Silomais Kolbenmais (ungeschrotet) <sup>3)</sup> Feuchtgetreide						
2b	Kolbenmais (geschrotet) <sup>4)</sup>	10					
3	nicht vorgewelktes Grünfutter mit TM <sup>1)</sup> < 25% <sup>5)</sup> Rübenblätter Zuckerrüben- preßschnitzel	10			$y \cdot z$		

Anmerkung:  $z$  in m

1) TM ist die Trockenmasse

2) Z. B. Gras, Klee, Luzerne

3) Z. B. Lieschkolben, Ganzpflanzen

4) Kornspindelgemische, z. B. Corncobmix

5) Z. B. frisches Gras

Beim schnellen Entleeren von Schüttgütern kann bei geschlossenem Silo ein Unterdruck entstehen, der zu berücksichtigen ist.

### 4 Gärfutterlasten

Für Gärfutter gelten andere physikalische Gesetze als für Schüttgüter. Das einzulagernde Füllgut ist nach Tabelle 2 einzustufen, dort sind auch die Rechenwerte für die Last angegeben. Es wird nicht zwischen Füllen und Entleeren unterschieden.

Bei Feuchtgetreide sind die Lasten sowohl für Gärfutter nach Tabelle 2 als auch für Schüttgut nach Abschnitt 3 zu ermitteln. Die ungünstigeren Werte sind maßgebend.

Bei pumpfähigem Gärfutter sind die Lasten nach Tabelle 2, Klasse 3, zu ermitteln.

Voraussetzung für die Anwendung der Tabelle 2 ist bei den Klassen 1 und 2 ein Saftauslauf, der verhindert, daß die Flüssigkeit im Silo mehr als 1 m hoch steht, ferner eine deutlich sichtbare und dauerhafte Beschriftung des Silos, aus der die Klasse hervorgeht, für die er bestimmt ist. Bei Gärfuttersilos der Klassen 1 und 2 muß aus der Beschriftung außerdem hervorgehen, daß der Silo mit Füllgut, das um eine Klasse höher einzustufen ist, nur zur Hälfte gefüllt werden darf.

Für die beim Entleeren wirkenden negativen Wandreibungs-lasten (Entspannung des Futterstocks bei Obenentnahme) ist zur Bemessung der Verankerung leichter Silos eine Last von 4 kN/m Umfang in Ansatz zu bringen.

## 5 Knick- und Beullasten

Dünne Silowände und Wandaussteifungen werden auf Knicken und Beulen beansprucht. Dazu tragen Wandreibungslasten aus dem Silogut, ständige Lasten, Verkehrslasten, Unterdruck, Windlasten und andere bei.

Bei Schüttgutsilos ist die summierte Wandreibungslast  $P_{we}$  für die Knick- und Beulnachweise um 10% zu erhöhen. Die aussteifende Wirkung einer gleichzeitig auftretenden Horizontallast darf mit  $c \cdot p_{hf}$  in Ansatz gebracht werden.

Für den Faktor  $c$  gilt:

$$c = 0,5 (1 - a/r) \quad (25)$$

Bei Kernflußsilos ist für  $a/r$  mindestens der Wert 1/3 einzusetzen.

In Gärfuttersilos können bei Untenentnahme bis zur Höhe  $h - z = d/2 < 2$  m über dem Behälterboden Hohlräume entstehen, so daß die aussteifende Wirkung in diesem Bereich entfällt.

Eine Erhöhung der Wandreibungslast für die Knick- und Beulnachweise ist bei Gärfuttersilos nicht erforderlich.

## 6 Temperatureinflüsse

Temperatureinflüsse sind gegebenenfalls zu berücksichtigen. Es kann sich als notwendig erweisen, auch Temperaturen warm eingefüllter oder nachträglich sich erwärmender Silogüter in Betracht zu ziehen.

DK 624.042.2:624.954:351.785:003.62

Anlage  
Mai 1987**Lastannahmen für Bauten**Lasten in Silozellen  
ErläuterungenBeiblatt 1 zu  
DIN 1055  
Teil 6

Design loads for buildings; loads in silos; explanations

Charges de calcul pour structures; charges en cellules de silos; explications

Dieses Beiblatt enthält Informationen zu DIN 1055 Teil 6,  
jedoch keine zusätzlichen genormten Festlegungen.

**Zu Abschnitt 1.1 Allgemeines**

Die Beurteilung der Explosionsgefährdung von Silozellen und eine entsprechende Auslegung der Konstruktion erfordern gründliche Kenntnisse und Erfahrungen. Die einschlägigen Vorschriften und Richtlinien sowie Veröffentlichungen sind zu beachten.

**Zu Abschnitt 1.2 Silozellen**

1. Die Norm DIN 1055 Teil 6 gilt nur innerhalb des Erfahrungsbereiches ausgeführter Bauten. Die angegebene Gültigkeitsgrenze  $p_{vf}/\gamma \leq 25 \text{ m}$  ist beispielhaft mit  $p_{vf}$  auf  $z = h$  bezogen in Bild 1 dargestellt.

Für Gärfutterlasten ergibt die Formel eine Beschränkung der absoluten Höhe auf 25 m.

Bei Behältern, bei denen die größte Siloguttiefe  $h$  weniger als das 0,8fache des Durchmessers  $d$  des einbeschriebenen Kreises beträgt, kann sich eine Silowirkung nicht mehr einstellen, so daß Lastansätze nach der Erddrucktheorie mit dem Ruhedruck des Schüttgutes angezeigt sind.

2. Bei Silozellen mit nicht lotrechten Wänden führt eine Verengung von oben nach unten zu größeren, eine Aufweitung dagegen zu kleineren Horizontal- und Wandreibungslasten.
3. Bei Silos mit ringförmigem Querschnitt (ineinander gestellte Silos) bilden sich, je nach Anzahl und Abstand der Ausläufe, im Schüttgut zwischen innerem und äußeren Silo fließende und stehende Bereiche aus. Dabei entstehen an den Wänden ausgeprägt nichtrotationssymmetrische Lastzustände, die besondere Untersuchungen erfordern.

4. Infolge von Einbauten in Zellenschaft und Trichter (z.B. Konsolen und Nasen, sogenannten Entlastungsbalken, Flügel- und Kreuzausläufen) treten Veränderungen im Schüttgutfluß und Lastunregelmäßigkeiten auf, die sich über die ganze Silohöhe erstrecken können.
5. An Zugankern, Pendeln und Gehängen in Silozellen treten aus der Wirkung des Schüttgutes Lasten auf, für deren Aufnahme und Weiterleitung Sorge zu tragen ist.

**Zu Abschnitt 1.3 Silogüter**

Stark kohäsive Güter sind aus dem Anwendungsbereich von DIN 1055 Teil 6 ausgeschlossen, ohne daß eine Grenze zu den körnigen und staubförmigen Schüttgütern nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, definiert werden konnte. Die Gründe hierfür liegen im spezifischen Verhalten der einzelnen Güter. Maßgebend für die Beurteilung der entstehenden Lasten sind nicht nur die in DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, angegebenen Rechenwerte, sondern auch das Fließverhalten des Schüttgutes beim Entleeren. Je nach Größe und Beschaffenheit des Silos und Auslaufes und den Eigenschaften des Schüttgutes (z.B. Partikelgröße, Zeitverfestigung, Feuchtigkeitsgehalt) kann es vorkommen, daß sich bei ein und demselben Schüttgut Auslaufschwierigkeiten ergeben oder nicht. Es erscheint – bei Vorhandensein ausreichender Erfahrung – möglich, die Lastansätze nach DIN 1055 Teil 6 – als Anhaltswerte – auch für kohäsive Güter zu benutzen, wenn sichergestellt ist, daß es nicht zu Auslaufschwierigkeiten kommen kann. Dabei empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- Ermittlung der Fließeigenschaften des Schüttgutes und des Wandreibungsbewertes mit Hilfe von Schergeräten nach den Erkenntnissen der Schüttgutmechanik. Dabei sind insbesondere die Parameter Partikelgröße, Zeitverfestigung und Feuchtigkeitsgehalt zu beachten.

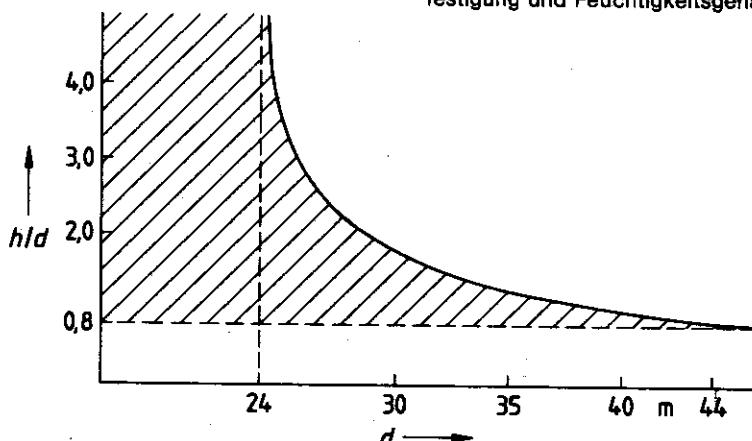


Bild 1. Darstellung des Gültigkeitsbereiches von DIN 1055 Teil 6 bei Silos mit Kreisquerschnitt und einem Silogut mit  $\lambda = 0,6$  und  $\mu = 0,4$

- Entsprechende Auslegung des Auslauftrichters, eventuell mit Austraghilfen.
- Festlegung der Rechenwerte für die Lastansätze nach DIN 1055 Teil 6 durch Versuch oder Vergleich.

Sind Auslaufschwierigkeiten ausgeschlossen, gibt es bei den Lastannahmen keinen Grund, zwischen kohäsiven und kohäsionslosen Gütern prinzipiell zu unterscheiden.

### Zu Abschnitt 1.4 Fließprofile

Unter dem Einfluß der Formen von Silo und Auslauftrichter, der Rauhigkeit der Flächen im Auslauftrichter und der Eigenschaften der Schüttgüter können beim Entleeren verschiedene Fließprofile entstehen; siehe Bild 2.

Bei **Kernfluß** (Fließprofile Ia bis Id) bleiben unterschiedliche Zonen des Schüttgutes in Ruhe. Lage und Form der Grenzlinie zwischen Ruhe und Bewegung hängen von den Schüttguteigenschaften, der Füllhöhe, der Art der Befüllung und Entleerung sowie der Silogeometrie ab.

Bei **Massenfluß** (Fließprofil II) ist beim Entleeren das gesamte Schüttgut in Bewegung, was verfahrenstechnische Vorteile hat.

Das Entstehen von Kernfluß oder Massenfluß ist abhängig vom Wandreibungsbeiwert  $\mu$  und der Neigung der Trichterwand  $\alpha$ .

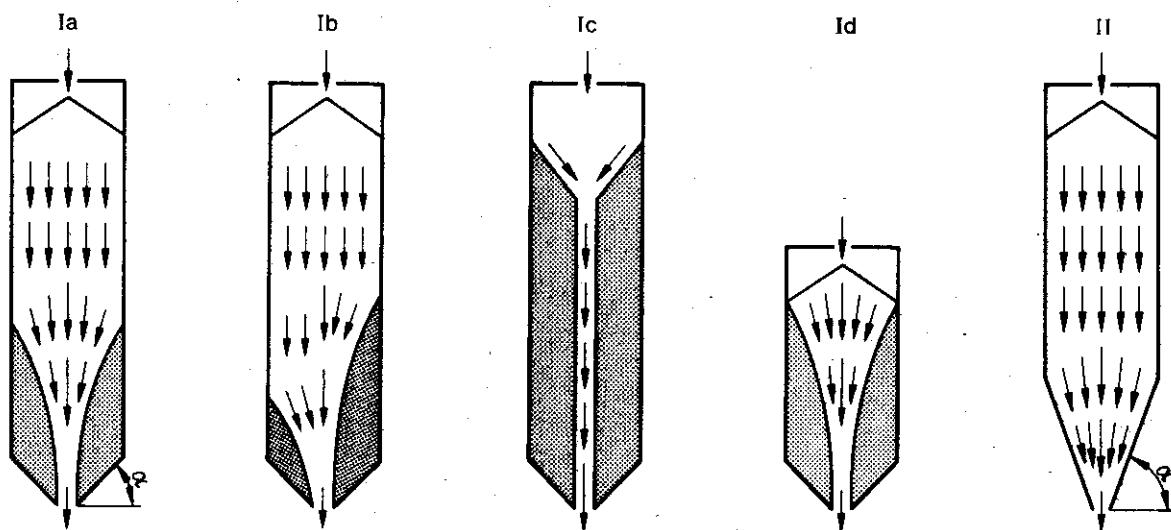


Bild 2. Fließprofile: Ia bis Id: Kernfluß (auch bei Silos mit ebenem Boden)  
II: Massenfluß

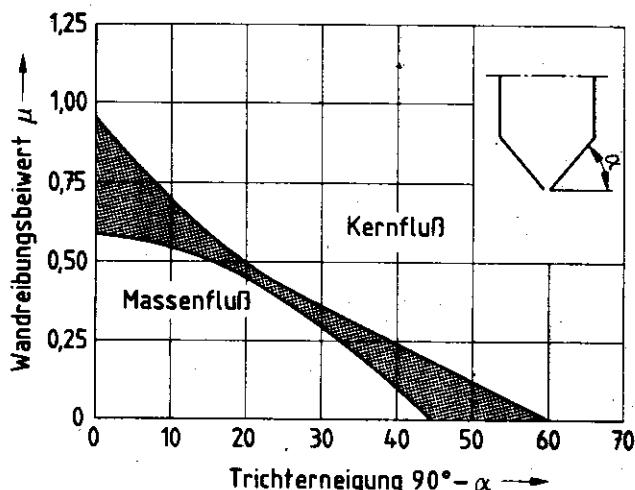


Bild 3. Grenzbereich zwischen Kernfluß und Massenfluß im konischen Trichter mit zentrischem Auslauf

Diese Abhängigkeit ist in Bild 3 für den konischen, in Bild 4 für den keilförmigen Trichter wiedergegeben. Die genaue Grenze zwischen Kernfluß und Massenfluß liegt dabei innerhalb der markierten Zone und wird durch den Winkel der inneren Reibung bestimmt.

Die in DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, aufgeführten Zahlenwerte für den Wandreibungsbeiwert  $\mu$  können nur bedingt zur Abschätzung nach Bild 3 bzw. Bild 4 herangezogen werden. Sie beruhen auf den Ergebnissen von Messungen an verschiedenen Silos, die gemittelt und abgerundet wurden. Für die Kernfluß-/Massenfluß-Entscheidung nach Bild 3 bzw. Bild 4 ist dagegen der in Auslaufnähe bei einem ganz bestimmten Silo tatsächlich wirkende Wandreibungsbeiwert zu verwenden. Dieser ist im Regelfall größer als der entsprechende Zahlenwert in DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, und kann z. B. mit Schergeräten für jede Kombination Schüttgut/Wandmaterial ermittelt werden. Nur für den Fall, daß der durch die Neigung der Trichterwand  $\alpha$  und den Wandreibungsbeiwert  $\mu$  nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, bestimmte Punkt in Bild 3 bzw. Bild 4 im Kernflußgebiet liegt, ist die Aussage für Kernfluß eindeutig. Für alle anderen Fälle dürfen die  $\mu$ -Werte nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, nicht für Bild 3 bzw. Bild 4 verwendet werden.

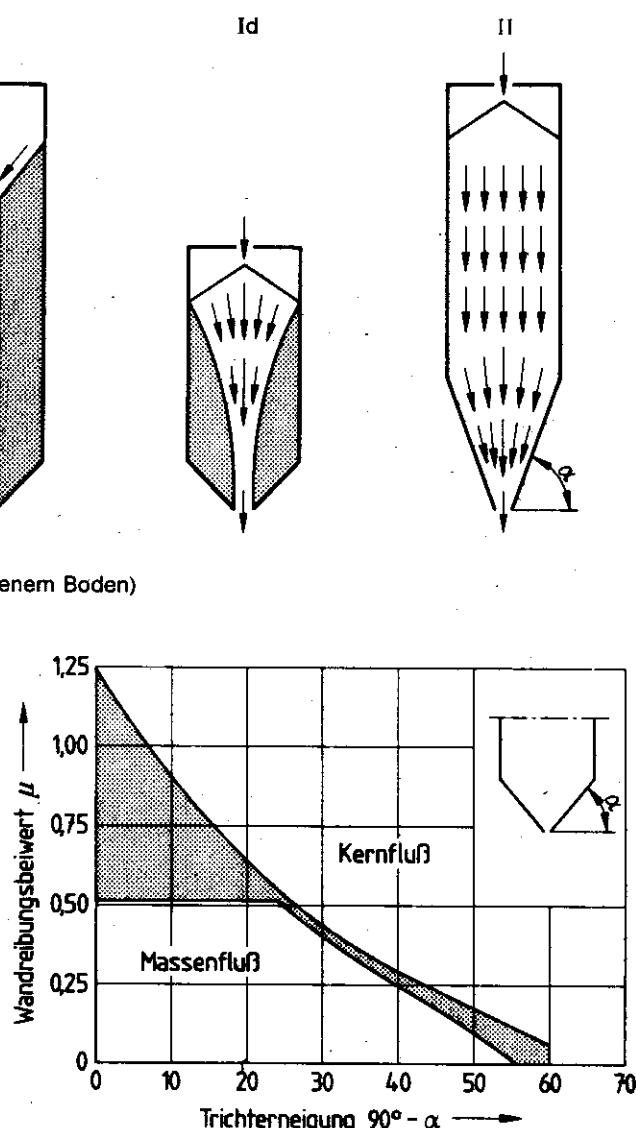


Bild 4. Grenzbereich zwischen Kernfluß und Massenfluß im symmetrischen keilförmigen Trichter mit schlitzförmigem Auslauf

Ist kein Massenfluß angestrebt, wird geraten, die Neigung der Trichterwand  $\alpha$  so zu wählen, daß der für die Auslegung maßgebende Schnittpunkt von Wandreibungsbeiwert  $\mu$  und Neigung der Trichterwand  $90^\circ - \alpha$  in den Bildern 3 und 4 in einem genügenden Abstand rechts vom markierten Grenzbereich zu liegen kommt.

### Zu Abschnitt 1.5 Silobetrieb

Bei der Festlegung der Lastannahmen sind betriebliche Bedingungen zu klären wie:

- angestrebtes Fließprofil (Kernfluß oder Massenfluß)
- Art und Eigenschaften des einzulagernden Silogutes (z.B. Feuchtigkeitsgehalt, Neigung zu stoßartiger Beanspruchung, Zeitverfestigung)
- Anordnung (z.B. mittig oder ausmittig) und Arbeitsweise der Füll- und Entleerungsvorrichtungen sowie Austragshilfen
- verstärkter mechanischer Angriff durch das Silogut (Abrieb)
- besondere korrosionsfördernde Einflüsse
- Temperatureinwirkungen aus dem Silogut
- extreme Witterungsbedingungen
- Einsatz von Zusatzmitteln zum Silogut, die dessen Eigenschaften, wie sie den Angaben nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, zugrunde liegen, verändern können.

### Zu Abschnitt 2

#### Benennungen und Formelzeichen

1. Entsprechend den Betriebszuständen wird zwischen Füll- und Entleerungslasten unterschieden. Zu den Fülllasten zählen auch die Lasten, die während der anschließenden Ruhezeit auf die Silokonstruktion wirken, wohingegen die beim Umlauf und während der Unterbrechungen

des Entleerungsvorganges auftretenden Lasten zu den Entleerungslasten gerechnet werden.

2. Zur Abschätzung der Neigung des Silogutkegels kann bei kohäsionslosen Schüttgütern als Böschungswinkel  $\delta$  der Winkel der inneren Reibung  $\varphi$  nach DIN 1055 Teil 1 angenommen werden, falls keine genaueren Festlegungen erfolgen.

### Zu Abschnitt 3.1 Einflußgrößen

Mit den in DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, angegebenen Rechenwerten für die Schüttgüter sind deren Eigenschaften zur Bestimmung der Lasten hinreichend genau beschrieben. Die Wichte  $\gamma$  entspricht im allgemeinen den Werten nach DIN 1055 Teil 1. Die übrigen Kennwerte beruhen auf Messungen.

Das Horizontallastverhältnis  $\lambda$  kann in Anlehnung an den Erdruhedruckbeiwert  $k_0 = 1 - \sin\varphi$  aus dem Winkel  $\varphi$  der inneren Reibung bestimmt werden zu  $\lambda = 1,2 (1 - \sin\varphi)$ . Der Faktor 1,2 wurde gewählt, damit sich bei kleineren Siloguttiefen  $z$ , das heißt im oberen Silobereich, völligere Lastkurven ergeben.

Für Schüttgüter, für die noch keine ausreichenden Erfahrungswerte vorliegen, um in DIN 1055 Teil 6 aufgenommen zu werden, enthält die Tabelle 1 dieses Beiblattes Anhaltswerte. Die Wandreibungsbeiwerte  $\mu$ , insbesondere  $\mu_3$ , sind Richtwerte, die in manchen Fällen unterschritten werden können. Analog kann mit größeren Werten gerechnet werden, soweit diese nachgewiesen sind.

Für weitere Schüttgüter und Wandmaterialien, die weder in DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, noch in Tabelle 1 dieses Beiblattes erwähnt sind, können die Größen  $\varphi$  und  $\mu$  nach den Erkenntnissen der Schüttgutmechanik ermittelt werden. Eine Abschätzung der Größen  $e_h$ ,  $c_b$  und  $\beta_G$  ist nur durch Versuch oder Vergleich möglich.

Tabelle 1. Anhaltswerte für weitere, in DIN 1055 Teil 6 nicht aufgeführte Schüttgüter

Schüttgut	Wichte $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Horizontallastverhältnis $\lambda$	Wandreibungsbeiwerte			Entleerungslastfaktor $e_h$	Schüttgutbeiwert $\beta_G$
			$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$		
Sojabohnen	8,0	0,70	0,50	0,40	0,25	1,4	0,5
Rübenschitzelpellets	7,0	0,60	0,55	0,45	0,35	1,3	0,5
Futtermittel Kraftfuttergemische <sup>1)</sup>	6,0	0,50	0,50	0,35	0,25	1,7	1,0
Pellets	8,0	0,50	0,40	0,30	0,25	1,5	0,7
Kartoffeln	8,0	0,60	0,50	0,40	0,35	1,4	0,5
Kohle	10,0	0,60	0,60	0,50	0,45	1,3	0,6
Koks	8,0	0,60	0,60	0,55	0,50	1,3	0,6
Flugasche	15,0 <sup>2)</sup>	0,55	0,70	0,60	0,50	1,2	0,5
Kohlenstaub	8,0	0,70	0,55	0,50	0,40	1,2	0,5
Kesselschlacke	12,0	0,50	0,70	0,60	0,50	1,4	0,6
Eisenpellets	22,0	0,60	0,60	0,55	0,50	1,3	0,5
Kalkhydrat	6,0	0,70	0,50	0,40	0,35	1,2	0,6

1) Ohne Sojaschrot, Kopra und ähnlichem. Im übrigen nur gültig für trockene Schrote, auch mit hohem Mehlannteil.

2) Bei Steinkohlen-Flugasche kann die Wichte auf  $\gamma = 12,0 \text{ kN/m}^3$  reduziert werden.

Bestehen Zweifel in der Wahl der Rauigkeitsgruppe, können die Wandreibungsbeiwerte jeweils so angenommen werden, daß die Beanspruchungen auf der sicheren Seite liegen. So kann es sich z.B. empfehlen, bei beulgefährdeten zylindrischen Silos die Horizontallast zur Ermittlung des Ringzuges mit  $\mu_3$ , die für den Beulnachweis maßgebende Wandreibungs- und Horizontallast dagegen mit  $\mu_2$  zu bestimmen.

### Zu Abschnitt 3.2 Fülllasten im Zellschaft

Grundlage zur Berechnung der Fülllasten im Zellschaft ist der Ansatz nach Janssen. Trotz seiner Vereinfachungen beschreibt er mit den in DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, angegebenen Rechenwerten  $y$ ,  $\lambda$  und  $\mu$  die tatsächlich auftretenden Fülllasten hinreichend genau.

Mit zunehmender Siloguttiefe  $z$  nähert sich der Beiwert  $\Phi(z)$  dem Wert 1. Für in der Praxis vorkommende Verhältnisse  $z/z_0$  kann  $\Phi(z)$  der Tabelle 2 entnommen werden.

### Zu Abschnitt 3.3.1 Allgemeines

Beim Entleeren einer Silozelle entstehen je nach Fließprofil Unregelmäßigkeiten im Fließen und somit Schüttgutlasten, deren Größe örtlich und zeitlich erheblich schwanken kann. Bei Kernfluß wird der Übergang vom Kolbenfluß zum konvergenten Fluß durch die Grenzlinie zwischen ruhender und fließender Schüttgutzone bestimmt. Zumeist liegt der Übergang im Zellschaft (siehe Bild 2, Fließprofile Ia und Ib). In manchen Fällen beginnt der konvergente Fluß bereits am oberen Schüttgutspiegel (siehe Bild 2, Fließprofile Ic und Id). Die Grenzlinie zwischen ruhendem und fließendem Schüttgut ist von den Schüttguteigenschaften, der Silogeometrie und der Füllhöhe abhängig. Ihre Lage läßt sich schwer bestimmen, sie kann sich während des Entleerens ändern und auch durch Austragvorrichtungen beeinflußt werden. Insgesamt gesehen muß bei Kernfluß die Berechnung der Horizontallasten mögliche Lastspitzen in allen Höhen erfassen. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß diese Lastspitzen über den Umfang der Silozelle ungleichmäßig verteilt sein können. Besonders beim Auftreten asymmetrischer Fließzonen, wie sie beim Kernfluß nach Bild 2, Fließprofil Ib, möglich sind, kommen starke Unregelmäßigkeiten vor.

Bei Massenfluß (siehe Bild 2, Fließprofil II) bewegt sich das Schüttgut im Zellschaft gleichmäßig wie ein Kolben. Beim Übergang vom Zellschaft zum Auslauftrichter verändert sich der Schüttgutfluß in einen konvergenten Fluß zur Auslauföffnung hin. An der Übergangsstelle treten örtlich große zusätzliche Horizontallasten auf (siehe auch Erläuterungen zu Abschnitt 3.6).

Imperfektionen der Silowand können örtlich zu konvergentem Schüttgutfluß führen, der mit einem Anstieg der Horizontallasten verbunden ist. Insofern ist auch bei Massenfluß mit Steigerungen der Horizontallast beim Entleeren zu rechnen. Eine im Prinzip ähnliche, aber im Ausmaß größere Wirkung haben Einbauten im Zellschaft. Da deren Einfluß auf die örtliche Erhöhung der Horizontallast noch nicht ausreichend bekannt ist, sind Einbauten aus dem Gültigkeitsbereich von DIN 1055 Teil 6 ausgeschlossen.

Die Horizontallast beim Entleeren wird in DIN 1055 Teil 6 in eine gleichförmige und eine ungleichförmige Last aufgespalten, die bei Kernfluß beide zu berücksichtigen sind. Bei der Wandreibungslast genügt erfahrungsgemäß die Berücksichtigung der gleichförmigen Last.

### Zu Abschnitt 3.3.2 Gleichförmige Lasten

Die Entleerungslasten aus dem gleichförmigen Lastanteil sind mit dem Faktor 1,1 bzw. mit dem schüttgutabhängigen Faktor  $e_h$  direkt aus den Fülllasten zu ermitteln.

Bei der Horizontallast sind wechselnde Lastzustände und kleinere Lastspitzen, wie sie z.B. aus Imperfektionen der Silowand herrühren können, durch den Ansatz der gleichförmigen Last  $p_{he}$  erfahrungsgemäß ausreichend abgedeckt.

Die Vertikallast  $p_v$  ist beim Entleeren kleiner als beim Füllen, entsprechend erhöht sich beim Entleeren die Wandreibungs- last  $p_w$ , was durch den Faktor 1,1 berücksichtigt ist.

Bei Silozellen mit  $h/d \leq 5\mu$  wirkt sich der Entleerungsvorgang weniger bzw. gar nicht mehr auf die Horizontallast  $p_{he}$  aus, da bei annähernd mittigem Entleeren das Fließen zum Auslauf nur noch im Schüttgut selbst und nicht mehr an der Wand stattfindet (siehe Bild 2, Fließprofil Id).

### Zu Abschnitt 3.3.3 Ungleichförmige Lasten

1. Die größeren Lastspitzen, die durch Berücksichtigung des ungleichförmigen Lastanteiles abgedeckt werden sollen, sind über Umfang und Höhe der Silozelle nicht gleichmäßig verteilt, sondern zeigen mehr oder weniger große Unregelmäßigkeiten und Veränderungen. Um diesen komplizierten Zuständen in möglichst einfacher Form Rechnung zu tragen, wird eine Ersatzlast eingeführt, die die einzelnen Einflußgrößen wie

- Schlankheit der Silozelle (Verhältnis  $h/d$ )
- Ausmitte des Auslaufes (Verhältnis  $a/r$ )
- Steifigkeit der Konstruktion (Verhältnis  $r/l$ )
- spezifisches Verhalten des Schüttgutes ("Gutartigkeit" bzw. "Bösartigkeit")

durch entsprechende Faktoren  $\beta_h$ ,  $\beta_a$ ,  $\beta_r$  und  $\beta_G$  berücksichtigt.

Bei mehreren Ausläufen oder Schlitzausläufen ist die im Hinblick auf mögliche Verstopfungen größtmögliche Ausmitte  $a$  anzusetzen.

2. Die Grundlage, die Lastspitzen zu erfassen, ist bei Rundsilos der Ansatz einer einzelnen Teilstächenlast nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.3.2. Für die Ermittlung der Schnittgrößen aus solcher Teilstächenlast können aufbereitete Rechenhilfen herangezogen werden. Beim Verfahren nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.3.2, genügt es in der Regel, die Schnittgrößen aus der Teilstächenlast nur in Umlaufsrichtung zu berücksichtigen und auf den Nachweis in Richtung der Mantellinie zu verzichten.

Tabelle 2. Werte  $\Phi(z)$  in Abhängigkeit von  $z/z_0$

$z/z_0$	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0,	0,00	0,10	0,18	0,26	0,33	0,39	0,45	0,50	0,55	0,59
1,	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85
2,	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
3,	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98

3. Bei Stahlbetonsilos ist die Vereinfachung nach Aufzählung 2 möglich, wenn als vertikale Bewehrung innen und außen mindestens je 20% der gesamten Horizontalbewehrung, mindestens aber je 4 Bewehrungsstäbe aus BSt 420 S oder BSt 500 S mit Durchmesser  $d_s = 10 \text{ mm}$  je Meter Umfang angeordnet sind.
4. Bei Stahlsilos kann beim Spannungsnachweis für die Behälterwand mit rechteckiger Spannungsverteilung gerechnet werden.
5. Bei abgestuften Blechdicken genügt es in der Regel, für  $t$  die Wanddicke des mittleren Schusses einzusetzen.
6. Berechnungen unter Einschluß der Verformungen (Theorie II. Ordnung) sind zulässig.
7. Ob und inwieweit es beim Entleeren zu einer elastischen Bettung der Silowand durch fließendes Schüttgut kommen kann, ist ungeklärt. Daher darf sie in die Berechnung nicht eingeführt werden.
8. Ebenso ist die Frage offen, inwieweit sich dünnwandige Silos durch Verformungen der Wirkung von Lastspitzen entziehen können.
9. Unter bestimmten Bedingungen, wie z. B. horizontaler Aussteifung der Silozelle am Kopf- und Fußende sowie ausreichender Querverteilung der Last durch die Wände, darf bei Rundsilos statt des Ansatzes der Teilflächenlast nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.3.2, eine Erhöhung der gleichförmigen Horizontallast nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.3.3, erfolgen. Letztere ist so ausgelegt, daß sie über den Ringzug einen gleich großen Einfluß auf die Bemessung der Zellenwand ausübt wie die Biegung und der zusätzliche Ringzug aus einer Teilflächenlast nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.3.2.
10. Bei Rundsilos aus Stahlbeton oder Spannbeton, deren Bemessung sich auf die Erhöhung der gleichförmigen Horizontallast nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.3.3, stützt, ist die nicht vorgespannte Bewehrung in der Regel im Verhältnis von etwa 60% zu 40% auf die Außen- und Innenseite der Silowand aufzuteilen.
11. Beim Nachweis der Beschränkung der Rißbreite kann als häufig wirkender Lastanteil aus dem Schüttgut die gleichmäßig verteilte horizontale Entleerungslast  $p_{he}$  nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Abschnitt 3.3.2, angenommen werden.
12. Bei einseitigem Befüllen kann es angezeigt sein, Größe, Aufnahme und Weiterleitung der Füll- und Entleerungslasten aus der schrägen Anfüllung gesondert zu untersuchen. Der Nachweis kann näherungsweise analog zum ausmittigen Entleeren erfolgen. Eine Überlagerung beider Einflüsse ist jedoch nicht erforderlich.

### Zu Abschnitt 3.4

#### Lasten auf waagerechte Siloböden

Durch den Bodenlastfaktor  $c_b$  wird berücksichtigt, daß die Vertikallast auf waagerechte Siloböden  $p_b$  in der Regel größer ist als die Vertikallast  $p_{vf}$  weiter oben im Zellenschaft. Außerdem trägt der Bodenlastfaktor  $c_b$  den stoßartigen Belastungen Rechnung, zu denen es erfahrungsgemäß bei einigen Schüttgütern kommt.

### Zu Abschnitt 3.5 Lasten in Auslauftrichtern

Bei den Lasten in Auslauftrichtern wird nicht zwischen Füllen und Entleeren unterschieden, da die aufgrund von Versuchsergebnissen angegebenen Formeln als Umhüllende beide

Fälle einschließen. Die Rechenansätze können auf die schrägen Flächen von Keilböden und Trichern mit unterschiedlicher Neigung unter Verwendung des jeweiligen Neigungswinkels  $\alpha$  sinngemäß angewandt werden.

### Zu Abschnitt 3.6

#### Zusätzliche Lasten am Übergang vom Zellenschaft zum Trichter

Bei Auslauftrichtern mit Neigungen  $\alpha > 45^\circ$  ist zu kontrollieren, ob Massenfluß und damit stark erhöhte Lasten am Übergang vom Zellenschaft zum Trichter zu erwarten sind. Da diese Lasten (im englischen Sprachraum „switch“) nur in einem begrenzten Bereich wirken, ist zu prüfen, ob sie nicht durch die Konstruktion des Übergangsbereiches ohnehin aufnehmbar sind.

### Zu Abschnitt 4 Gärfutterlasten

Die Angaben über die Gärfutterlasten und die zugehörigen Rechenwerte für Gärfutter nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 2, berücksichtigen den derzeitigen Stand der Praxis. Sofern gegenwärtig erkennbar werdende Entwicklungen zu schwereren Silogütern führen, läßt sich DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 2, trotzdem anwenden, wenn die neuen Güter den Klassen entsprechend zugeordnet werden und die Ermittlung der Lasten mit der höheren Wichte  $y$  der Güter erfolgt. Für Fragen der Bemessung, Ausführung und Berechnung wird auf DIN 11 622 Teil 1 bis Teil 4 hingewiesen.

### Zu Abschnitt 5 Knick- und Beullasten

Beim Entleeren können sich beim Kernfluß asymmetrische Fließkanäle (Schlöte) bilden. Dünnwandige Silowände verformen sich dabei in Umfangsrichtung, die Kreisform wird verlassen. Damit ist eine örtliche Veränderung des Halbmessers  $r$  und des Verhältnisses  $r/t$  verbunden, die zu einer wesentlich geringeren Zylinder-Beullast führen kann. Bei den Schüttgütern nach DIN 1055 Teil 6/05.87, Tabelle 1, und nach Tabelle 1 dieses Beiblattes ist die Möglichkeit der Hohlräumbildung im Einzelfall nach der Erfahrung zu beurteilen.

### Zu Abschnitt 6 Temperatureinflüsse

Zu berücksichtigende Temperaturbeanspruchungen können z. B. entstehen durch:

- Änderungen der Lufttemperatur mit der Jahres- und Tageszeit
- Wärme- und Kältestrahlungen
- heiß eingefülltes Silogut (Temperaturen laut Angabe des Betreibers)
- Erwärmung organischer Schüttgüter durch Gärung (z. B. Richtwert für Getreide 30 K)

Bei Gärfuttersilos kann für den Temperaturunterschied zwischen Gärfutter und Außenluft ein Richtwert von 35 K angesetzt werden.

Die Spannungen aus Temperatureinflüssen lassen sich durch konstruktive Maßnahmen wie Wärmedämmenschichten und Bewegungsmöglichkeiten verringern.

Bei Stahlbeton- und Spannbetonsilos kann der steifigkeitsmindernde Einfluß von Rissen (Zustand II) berücksichtigt werden, wobei Nachweise über die Beschränkung der Rißbreiten zu führen sind.

**Zitierte Normen**

- DIN 1055 Teil 1 Lastannahmen für Bauten; Lagerstoffe, Baustoffe und Bauteile, Eigenlasten und Reibungswinkel  
DIN 1055 Teil 6 Lastannahmen für Bauten; Lasten in Silozellen  
DIN 11 622 Teil 1 Gärfutterbehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit, Allgemeine Richtlinien für Hoch- und Tiefbehälter  
DIN 11 622 Teil 2 Gärfutterbehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit, Gärfutterbehälter aus Formsteinen, Stahlbetonfertigteilen und Stahlbeton  
DIN 11 622 Teil 3 Gärfutterbehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit, Gärfutterhochbehälter aus Holz  
DIN 11 622 Teil 4 Gärfutterbehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit, Gärfutterbehälter aus Stahl

**Internationale Patentklassifikation**

- B 65 D 88/26  
E 04 H 7/00

– MBl. NW. 1989 S. 1100.

23230

**Ergänzungserlaß zu DIN 1055 Teil 4**  
**- Ausgabe August 1986 -**

RdErl. d. Ministers für Stadtentwicklung, Wohnen und  
Verkehr v. 26. 7. 1989 -  
V B 1 - 510.103

- 1 Mit RdErl. v. 11. 12. 1986 (MBI. NW. S. 74/SMBI. NW.  
23230) wurde die Norm

DIN 1055 Teil 4, Ausgabe August 1986

- Lastannahmen für Bauten;  
Verkehrslasten; Windlasten bei  
nicht schwingungsanfälligen Bau-  
werken -

als technische Baubestimmung bauaufsichtlich einge-  
führt.

- 2 Bei Anwendung der Norm DIN 1055 Teil 4, Ausgabe  
November 1986, ist künftig folgendes zu beachten:

- 2.1 Zu Abschnitt 6.2.1 - von ebenen Flächen begrenzte  
Baukörper, ab Geländeoberfläche allseitig geschlossen.

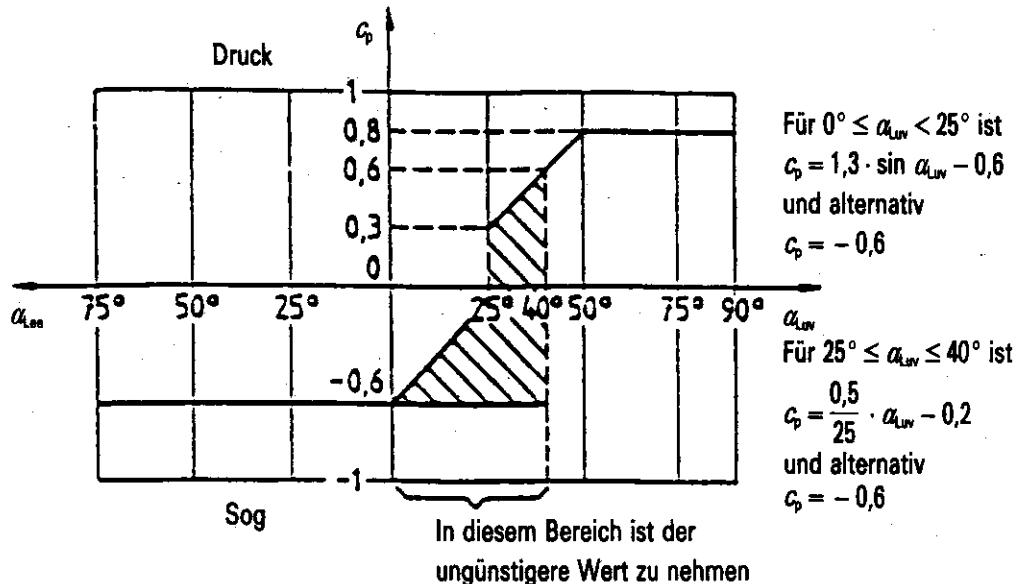
Unter den in Tabelle 2, Fußnote 2 genannten Gebäuden  
sind solche mit Traufhöhen  $h_w < 8$  m, Breiten  $a < 13$  m  
und Längen  $b < 25$  m zu verstehen.

- 2.2 Zu Abschnitt 6.3.1 - Allseitig geschlossene prismatische  
Baukörper mit Sattel-, Pult- oder Flachdach.

Die Norm gibt ausschließlich in Abschnitt 6.3.1 mit  
Bild 12 in stark vereinfachter Form die Druck-Sog-  
Verteilung infolge Wind für Dächer beliebiger Neigun-  
gen an. Dabei wurde näherungsweise auch auf die Er-  
fassung der im allgemeinen sehr geringen Unter-  
schiede zwischen den Drücken der luvseitigen (wind-  
zugewandten) und leeseitigen (windabgewandten)  
Dachfläche für Dachneigung  $0 < \alpha \leq 25^\circ$  (Flachdächer)  
verzichtet. Die damit vernachlässigte horizontale  
Windlastkomponente des Daches hängt in starkem  
Maße vom Verhältnis Traufhöhe ( $h_w$ ) zu Gebäudebreite  
( $a$ ) ab, auf das Bild 12 - wiederum aus Vereinfachungs-  
gründen - nicht eingehet. Diese Vernachlässigung ist  
bei Flachdächern auf gedrungenen Baukörpern mit  
 $0.2 < h_w/a < 0.5$  aus Sicherheitsgründen nicht vertret-  
bar. Daher ist bei Flachdächern in Luv alternativ auch  
eine Sogbelastung von

$$w_s = (1.3 \cdot \sin \alpha - 0.6) \cdot q$$

gemäß nachstehender Ergänzung des Bildes 12 zu un-  
tersuchen.

Bild 12. Beiwert  $c_p$  für Sattel-, Pult- und Flachdächer\*)

\*) Mit Bild 12 vergleichbare Druckbeiwerte  $c_p$  lassen sich aus anderen Angaben der Norm, z.B. über die resultierenden Windlasten in Abschnitt 6.2, nicht herleiten, weil die Werte des Bildes 12 Belastungen mit abdecken, die mit den Kraftbeiwerten  $c_q$  zur Ermittlung der resultierenden Gesamtlasten nach Abschnitt 6.2 nicht erfasst werden können. Insbesondere trifft dies für die Angaben über die resultierenden Dachlasten für Gebäude nach Fußnote 2 der Tabelle 2 zu.

- 3 Das Verzeichnis der nach § 3 Abs. 3 BauO NW eingeführten technischen Baubestimmungen – Anlage zum RdErl. d. Ministers für Landes- und Stadtentwicklung v. 22. 3. 1985 (MBI. NW. S. 942/SMBI. NW. 23230) erhält folgende Ergänzung:

3.1 Im Verzeichnis der Baubestimmungen unter:

Sonstige Bestimmungen:	Abschnitt:
Ergänzungserlaß zu	1
DIN 1055 Teil 4	

- 3.2 In Abschnitt 1 – Lastannahmen im Hochbau – ist bei DIN 1055 Teil 4 zu setzen:

In Spalte 3: Ergänzungserlaß zu DIN 1045 Teil 4 Ausgabe August 1987	
in Spalte 4: 26. 7. 1989	
in Spalte 5: (MBI. NW. S. 1113/ SMBI. NW. 23230)	
in Spalte 6: X	

– MBI. NW. 1989 S. 1113.

Einzelpreis dieser Nummer 4,40 DM.  
zuzügl. Porto- und Versandkosten

Bestellungen, Anfragen usw. sind an den A. Bagel Verlag zu richten. Anschrift und Telefonnummer wie folgt für Abonnementsbestellungen: Grafenberger Allee 100, Tel. (0211) 68 88/238 (8.00–12.30 Uhr), 4000 Düsseldorf 1  
Bezugspreis halbjährlich 81,40 DM (Kalenderhalbjahr). Jahresbezug 162,80 DM (Kalenderjahr), zahlbar im voraus. Abbestellungen für Kalenderhalbjahresbezug müssen bis zum 30. 4. bzw. 31. 10. für Kalenderjahresbezug bis zum 31. 10. eines jeden Jahres beim A. Bagel Verlag vorliegen.  
Reklamationen über nicht erfolgte Lieferungen aus dem Abonnement werden nur innerhalb einer Frist von drei Monaten nach Erscheinen anerkannt.

In den Bezugs- und Einzelpreisen ist keine Umsatzsteuer i. S. d. § 14 UStG enthalten.  
Einzelbestellungen: Grafenberger Allee 100, Tel. (0211) 68 88/241, 4000 Düsseldorf 1

Von Vorab Einsendungen des Rechnungsbetrages – in welcher Form auch immer – bitten wir abzusehen. Die Lieferungen erfolgen nur aufgrund schriftlicher Bestellung gegen Rechnung. Es wird dringend empfohlen, Nachbestellungen des Ministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen möglichst innerhalb eines Vierteljahres nach Erscheinen der jeweiligen Nummer beim A. Bagel Verlag vorzunehmen, um späteren Lieferschwierigkeiten vorzubeugen. Wenn nicht innerhalb von vier Wochen eine Lieferung erfolgt, gilt die Nummer als vergriffen. Eine besondere Benachrichtigung ergeht nicht.

Herausgeber: Landesregierung Nordrhein-Westfalen, Haroldstraße 5, 4000 Düsseldorf 1  
Herstellung und Vertrieb im Namen und für Rechnung des Herausgebers: A. Bagel Verlag, Grafenberger Allee 100, 4000 Düsseldorf 1  
Druck: TSB Tiefdruck Schwann-Bagel, Düsseldorf und Mönchengladbach

ISSN 0177-3569