

# Das Last-Verformungsverhalten der Gleitelemente von Lagern im Bauwesen

Dr. Christian Braun \*  
Dr. Christiane Butz \*\*

\* Maurer Söhne GmbH & Co. KG, Geschäftsführer, Deutschland, [braun@maurer-soehne.de](mailto:braun@maurer-soehne.de)

\*\* Maurer Söhne Engineering GmbH & Co. KG, Entwicklungsingenieur, Deutschland, [butz@maurer-soehne.de](mailto:butz@maurer-soehne.de)

## Abstract:

Gleitelemente von Lagern im Bauwesen werden in Europa nach der Norm EN 1337-2 oder entsprechenden Europäischen Technischen Zulassungen bemessen. Ein Aspekt bei der Bemessung ist das Last-Verformungsverhalten der Gleitelemente. Das Vorgehen bei der Bemessung und die Herleitung der Formeln nach dem derzeitigen Stand der Technik werden erläutert. Es wird insbesondere die Verformungskapazität und die erforderliche Duktilität der Gleitwerkstoffe untersucht, die erforderlich ist, damit die bauwerksbedingten Verformungen aufgenommen werden können und dass die Bewegungsabläufe aufgrund der fehlenden Duktilität bei nicht ebener Gleitplatte nicht behindert werden.

**Keywords:** Gleitlager, Gleitplattenverformung, Gleitwerkstoff, Setzungmulde, Last-Verformungsverhalten

## 1 Einleitung

Gleitelemente von Lagern im Bauwesen werden in Europa nach der Norm EN 1337-2 oder entsprechenden Europäischen Technischen Zulassungen bemessen. Hintergrundinformationen zu diversen Regelungen der Norm wurden bisher nur in Arbeitspapieren der für die Normung zuständigen Ausschüsse festgehalten und nicht in ihrer Gesamtheit veröffentlicht. Hierzu gehören die Randbedingungen für das Last-Verformungsverhalten der Gleitelemente. Diese werden im Folgenden erläutert.

## 2 Lager im Bauwesen

### 2.1 Regelwerke zur Bemessung von Lagern im Bauwesen

Lager im Bauwesen sind als tragende Bauteile international durch Normen oder Zulassungen geregelt. In Europa wurde auf Basis der 1988 in Kraft getretenen Bauproduktenrichtlinie [1] nach ca. 25 Jahren Normungsarbeit die Normenreihe EN 1337 „Lager im Bauwesen“ eingeführt. 6 harmonisierte Normteile regeln die heute zum Einsatz kommenden Produktarten, im Wesentlichen getrennt nach dem für die Verdrehung eingesetzten Kippteil:

- EN 1337-3: Bewehrte und unbewehrte Elastomerlager aus Chloroprene- und Naturkautschuk
- EN 1337-4: Rollenlager aus Baustählen
- EN 1337-5: Topflager mit Naturkautschuk-Kissen und Messing-, Edelstahl-, Kohle/PTFE- und POM- Dichtungen
- EN 1337-6: Punkt- und Linienkipplager aus Baustählen
- EN 1337-7: Kalotten- und Zylinderlager mit PTFE-Gleitflächen
- EN 1337-8: Festhaltekonstruktionen und Führungslager

Eine allgemeine Übersicht zu den Inhalten gibt [2]. Bereits wenige Jahre nach der Einführung wird derzeit die gesamte Normenreihe im zuständigen technischen Komitee TC 167 des CEN unter Berücksichtigung der gesammelten Erfahrungen umfangreich überarbeitet. Da die Norm EN 1337 produkt- sowie werkstoffspezifische und nicht ausschließlich leistungsbezogene Anforderungen definiert, sind davon abweichende Lagerarten über Europäische Technische Zulassungen oder nationale bauaufsichtliche Zulassungen zu regeln.

Dem Grundsatz der Bauproduktenrichtlinie entsprechend, wird durch die Normenreihe EN 1337 und die zugehörige CE-Kennzeichnung der Produkte lediglich das Inverkehrbringen auf dem Europäischen Binnenmarkt ermöglicht. Für die Verwendbarkeit, das heißt die Einbindung des Lagers in das Bauwerk und die Erfüllung spezieller Anforderungen bedarf es zusätzlicher Regelungen auf nationaler Ebene. In Deutschland regelt eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) die Ausstattung und Verwendung von Lagern im Bauwesen mit CE-Kennzeichnung. Diese Zulassung ist an den jeweiligen Hersteller gebunden und auf die Lagerarten beschränkt, für die der Hersteller über ein EC-Konformitätszertifikat verfügt.

Derzeit regelt in Deutschland der Anhang O von Kapitel IV des DIN-Fachberichts 101 [3] die Ermittlung der Bewegungen und die für die Bemessung der Lager sowie der angrenzenden Bauteile maßgebenden Kräfte. Diese Regelungen sollen im Zuge der in Kürze anstehenden Einführung der Eurocodes in ein nationales Anwendungsdokument zur DIN EN 1991 überführt werden. Auf europäischer Ebene ist geplant, ähnliche Regeln in einem Anhang zur EN 1990 aufzunehmen.

## 2.2 Gleitlager

Moderne Lager im Bauwesen ermöglichen horizontale Bewegungen des Bauwerks durch Verformung von Elastomerlagern oder im Falle von Gleitlagern durch Gleiten in einer Gleitebene.

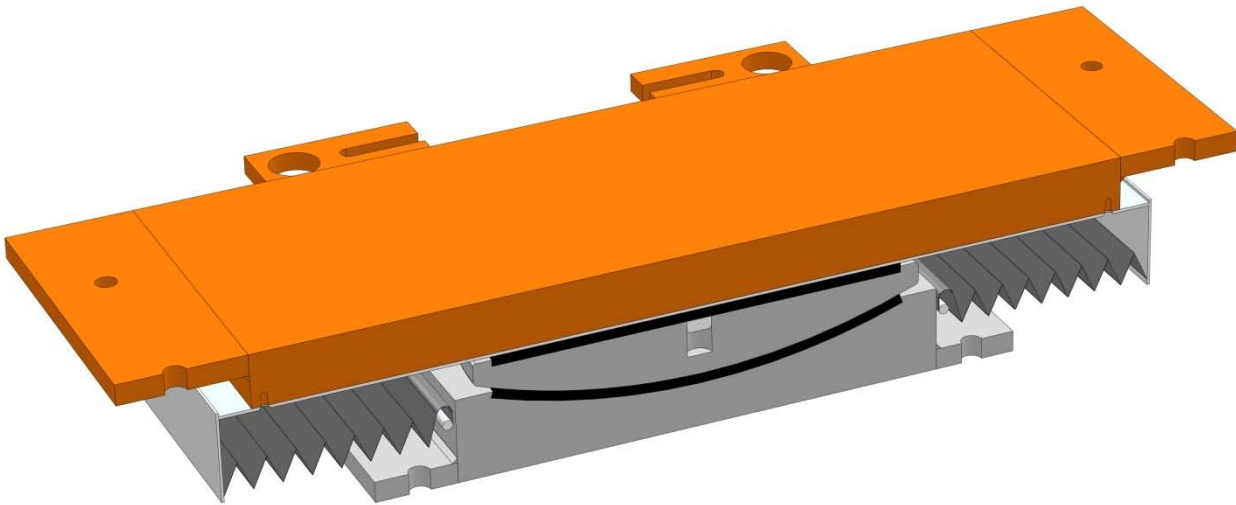


Abbildung 1 - Gleitlager

Sämtliche Lagerarten der Normenreihe EN 1337 können zur Ermöglichung von horizontalen Gleitbewegungen mit Gleitelementen kombiniert werden. Aus diesem Grunde werden die Gleitelemente von Lagern im Bauwesen nach EN 1337 in dem lediglich indirekt über die in 2.1 genannten Normenteile harmonisierte Norm DIN EN 1337-2 [4] geregelt. Diese Norm folgt in wesentlichen Teilen dem Entwurf der deutschen Norm DIN 4141-12 [5], deren Erarbeitung 1994 wegen des europäischen Stillhalteabkommens eingestellt wurde, sowie den in der Übergangszeit bis zur Einführung der EN 1337 in Deutschland geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Gleitlager.

DIN EN 1337-2 regelt als Gleitelemente für ebene Hauptgleitflächen lediglich den Einsatz von PTFE mit Schmieraschen und Silikonfett gepaart mit poliertem Edelstahl. In der Zwischenzeit hat sich als Alternative zu PTFE die Verwendung von verschleißfestem, ultrahoch molekularem Polyethylen (UHMWPE) etabliert. Wesentliche Vorteile sind die höhere Tragfähigkeit, der größere Temperatureinsatzbereich sowie der geringere Gleitwiderstand trotz größerer Gleitgeschwindigkeiten und aufaddierter Gleitwege. Diverse Hersteller verfügen bereits über Europäische Technische Zulassungen für Kalottenlager mit diesem erstmalig unter dem Handelsnamen MSM<sup>®</sup> [6] vertriebenen Gleitwerkstoff.

In sämtlichen genannten Regelwerken finden sich dieselben Regelungen zur Bemessung der Gleitplatten. Diese beruhen auf einem auf die Kombination der Gleitelemente und angrenzenden Bauteile abgestimmten Last-Verformungsverhalten. Dieses ist die wesentliche Grundlage der Bemessung und somit bedarf es bei einem Einsatz anderer Werkstoffkombinationen einer Überprüfung der Rahmenbedingungen. Die folgenden Abschnitte dienen hierzu als Grundlage.

## 3 Bemessung der Gleitplatte von Lagern im Bauwesen

### 3.1 Allgemeines

Wesentliches Kriterium für die Bemessung der Gleitplatte ist die Bestimmung der Plattendicke in Abhängigkeit von ihrer Grundfläche und der Beanspruchung. Die Grundfläche wiederum ergibt sich aus den in die angrenzenden Bauteile übertragbaren Pressungen sowie dem aufzunehmenden Gleitweg. Folgende Kriterien beeinflussen die Dicke der Gleitplatte:

- die Kontaktpressungen im anschließenden Bauwerk und die Beanspruchung der Platte selbst
- die Verformung der Gleitplatte durch Eigengewicht und temporäre Nutzlasten
- die Verformung der Gleitplatte im Gebrauchszustand

### 3.2 Lastübertragung

Der Nachweis der Teilflächenbelastung in angrenzenden Betonbauteilen erfolgt nach DIN-Fachbericht 102 [7], Abschnitt 5.4.8.1. Erläuterungen hierzu finden sich in [2]. In Abhängigkeit von der Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$  ist eine entsprechend große Lasteinleitungsfläche im Anschluss an die Gleitplatte erforderlich. Die Dicke der Gleitplatte wird zur Ausbreitung der über den Gleitwerkstoff eingeleiteten Pressung genutzt. Der Winkel der Lastausbreitung ist abhängig von den Eigenschaften der angrenzenden Komponenten, Materialien und Tragwerksteile. Der Ausbreitwinkel ist zu nachzuweisen und darf nicht größer als  $60^\circ$  sein. Ohne Nachweis ist ein Winkel von  $45^\circ$  anzunehmen.

Stahlüberbauten sind im Bereich der Lasteinleitung ausreichend auszusteifen. Häufig wird bei Stahlüberbauten zur Vermeidung ausmittiger Lasteinleitungen die Gleitplatte unten angeordnet.

Bei geführten Lagern wird die Plattendicke auch durch die über die Führungen abzutragenden Horizontallasten sowie eventuelle Plattenverjüngungen im Bereich der Führungsnut beeinflusst.

Für Kalottenlager ohne Ankerplatten und üblichen Betontragfähigkeiten gilt als Näherungswert für die Plattendicke  $t_b$  in Abhängigkeit von der Bemessungslast  $N_{sd}$  die Beziehung

$$t_b \text{ [mm]} = 40 + 2 \cdot N_{sd} \text{ [MN]} \quad (1)$$

### 3.3 Geometrie

Zur Gewährleistung einer funktionsfähigen Gleitebene sind nach DIN EN 1337-2 Gleitplatten mechanisch zu bearbeiten und die größte Abweichung  $\Delta z$  von der theoretisch ebenen Oberfläche darf vor dem Einbau nicht größer als 0,3 ‰ des Durchmessers des die Gleitwerkstoffplatten umschreibenden Kreises oder größer als 0,2 mm sein.

Zur Vermeidung einer irreversiblen Gleitplattenverformung während des Transports oder dem Einbau, die die Funktionstauglichkeit der Gleitebene einschränkt, muss die Dicke der Gleitplatte mindestens 4 ‰ der Plattendiagonale bzw. 10 mm betragen. Diese Regelung beruht auf Erfahrungen in Deutschland und wurde erstmalig in DIN E 4141-12 festgeschrieben, dort allerdings mit Mindestdicken von 25 mm.

### 3.4 Last-Verformungsverhalten im Gebrauchszustand

Die Biegesteifigkeit der Gleitplatte beeinflusst nur in geringem Maße die Setzung der anschließenden Bauteile. Die aus dieser Setzung resultierende Gleitplattenverformung ist jedoch zu begrenzen, um

- einen Mindestgleitpalt am Rande des Gleitwerkstoffs sicherzustellen
- im Wechselspiel mit der Steifigkeit des eingesetzten Gleitwerkstoffs eine gleichmäßige Pressungsverteilung zu gewährleisten
- den Verschleiß des Gleitwerkstoffs zu minimieren und
- den Bewegungsablauf nicht zu beeinträchtigen

Da eine Überschreitung der zulässigen Gleitplattenverformung langfristig die Gebrauchstauglichkeit des Gleitteils gefährden kann, wird dieser Zustand als Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit betrachtet. Eine Begrenzung der Setzung kann bei vorgegebenen Randbedingungen nur durch eine Reduzierung der Flächenpressung, d. h. größere Grundfläche, oder durch Vergrößerung der Plattendicke zur Lastausbreitung bzw. bedingten Erhöhung der Gesamtsteifigkeit erfolgen.

## 4 Last-Verformungsverhalten von Gleitplatten

### 4.1 Allgemeines

Die Ermittlung der Verformung der Gleitplatte erfordert aufwendige Berechnungen z. B. auf Basis der Methode der Finiten Elemente unter Berücksichtigung der stark variierenden Randbedingungen. Das Deutsche Institut für Bautechnik hat deshalb im Jahr 1988 eine Parameterstudie zur Ermittlung der Verformung und Beanspruchung der Gleitplatte von PTFE-Gleitlagern in Auftrag gegeben [8]. Daraus wurde ein Vorschlag zur Ermittlung der erforderlichen Lagerplattendicke erarbeitet, der im ersten Schritt in den Entwurf der deutschen Gleitlagernorm DIN E 4141-12 sowie den zu dieser Zeit gültigen nationalen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen eingearbeitet wurde. Diese Bemessungsregeln wurden dann vollinhaltlich in DIN EN 1337-2 übernommen. Die Grundlagen des Berechnungsverfahrens sind in [9] zusammengefasst, das Nachweisverfahren wird hier beschrieben.

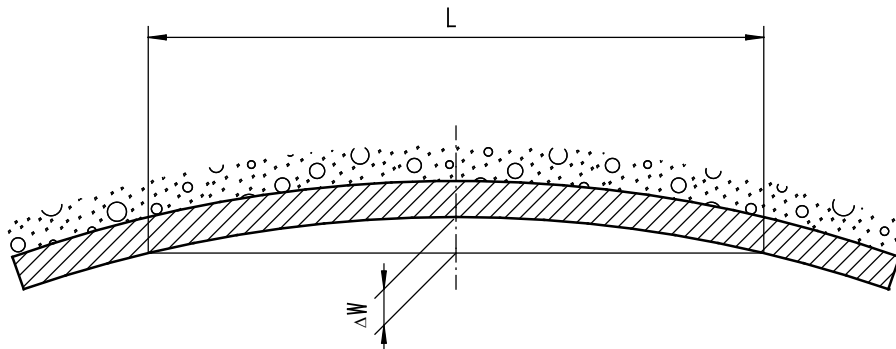


Abbildung 2 – Verformungen  $\Delta w$  von Gleitplatten

DIN EN 1337-2 regelt die zulässige Verformung der Gleitplatte zur Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit. Die durch diese Verformung in der Gleitplatte verursachten Spannungen dürfen die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten, um bleibende Verformungen zu vermeiden. Das mechanische Modell für einen projektbezogenen Nachweis, dass vorgenannte Bedingung erfüllt ist, muss die Auswirkungen der die Verformung nennenswert beeinflussenden Lagerteile einschließlich der angrenzenden Bauteile mit ihren Kurz- und Langzeiteigenschaften berücksichtigen. Für Stahl und Beton gelten die Bemessungswerte der Materialeigenschaften nach EN 1993-1-1:2005 bzw. EN 1992-1-1:2004 bei

Annahme zentrischer Druckkraft und Ansatz der Bemessungswerte des fiktiven Elastizitätsmoduls und der fiktiven Querdehnungszahl des Gleitwerkstoffs auf Basis der Gesamtdicke der Platte. Im Fall angrenzender Massivbauteile ist von einer linearen Abnahme des Elastizitätsmoduls des Betons oder des Mörtels vom Rand zum Zentrum der Gleitplatte von 100 % auf 80 % auszugehen.

#### 4.2 Gleitplatten mit Betonanschluss

DIN EN 1337-2 beschreibt ein Verfahren zur Berechnung der Verformung  $\Delta w$  für übliche Werkstoffe. Bei Anwendung dieses Verfahrens darf der Nachweis, dass die Streckgrenze nicht überschritten wird, entfallen, wenn der Grenzwert für die Verformung  $\Delta w$  eingehalten wird und Beton mindestens der Festigkeitsklasse C25/30 nach DIN EN 206-1:2000 sowie Stahl mindestens der Festigkeit S355 nach DIN EN 10025-2:2004 verwendet wird.

Für runde Stahlplatten, die an Bauteilen aus Beton mindestens der Festigkeitsklasse C20/25 und Mörtelschichten mit entsprechender Festigkeit anschließen, kann die größte, auf den Durchmesser  $L$  bezogene Relativverformung  $\Delta w$  anhand folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\Delta w = \frac{0,55}{L} \cdot k_c \cdot \alpha_c \cdot k_b \cdot \alpha_b \quad (2)$$

mit

$$k_c = 1,1 + (1,7 - 0,85 \cdot d_b / L) \cdot (2 - d_b / L_0) \quad \text{wenn } L_0 \leq d_b \leq 2 \cdot L_0$$

$$k_c = 1,1 \quad \text{wenn } d_b > 2 \cdot L_0$$

$$k_b = 0,30 + 0,55 \cdot d_b / L$$

$$\alpha_c = \frac{N_{Qd}}{E_{cd}} + \frac{N_{Gd}}{E_{crd}}$$

$$\alpha_b = \left( \frac{L}{L + 2 \cdot t_b} \right)^2 \cdot \left( \frac{3 \cdot L_0}{d_b} \right)^{0,4}$$

Dabei ist

$d_b$  der Durchmesser der Gleitplatte

$t_b$  die Dicke der Gleitplatte

$L$  der Durchmesser der Gleitwerkstoff-Platte

$L_0$  der Bezugsdurchmesser = 300 mm

$N_{Qd}$  die Druckkraft infolge von Bemessungswerten der veränderlichen Einwirkungen

$N_{Gd}$  die Druckkraft infolge von Bemessungswerten der ständigen Einwirkungen

$E_{cd}$  der Bemessungswert des Elastizitätsmoduls des Betons

$E_{crd}$  der Bemessungswert des reduzierten Elastizitätsmoduls des Betons zur Erfassung des Kriechens unter Bemessungswerten der ständigen Einwirkungen  $N_{Gd}$  ( $E_{crd} \approx 1/3 E_{cd}$ )

Das Näherungsverfahren darf auch auf quadratische oder rechteckige Platten angewendet werden, wenn sie zu runden Platten mit dem Durchmesser  $d_b = 1,13 a_b$  idealisiert werden, wobei  $a_b$  den Seiten der quadratischen Platte oder der kleineren Seite der rechteckigen Platte entspricht.

Bei niedrigeren Festigkeiten darf der Spannungsnachweis ebenfalls entfallen, wenn der Grenzwert der Verformung  $\Delta w$  entsprechend reduziert wird [4]. Hierbei wird vereinfachend angenommen, dass auf Basis der E-Moduli des Betons bzw. der Streckgrenzen des Stahls ein linearer Zusammenhang zwischen den Verformungen bzw. Spannungen der diversen Materialkombinationen besteht. Aufgrund der mittlerweile verwendeten höheren Betonfestigkeiten und zugehörigen Steifigkeiten empfiehlt sich eine Aktualisierung der Parameterstudie nach [8].

#### 4.3 Gleitplatten mit Stahlanschluss

Bei gleichmäßiger Lastausbreitung (nach EN 1337: 60°) von den Einleitungssteifen aus über den Untergurt, eine eventuelle Keilplatte oder Futterplatte und die Gleitplatte bis zur Gleitfläche kann angenommen werden, dass die lokalen Verformungen vernachlässigbar klein sind. Deshalb wird bei Stahlüberbauten in der Regel die obenliegende Gleitplatte nur nach konstruktiven Grundsätzen bemessen.

## 5 Bemessungskriterien für das Last-Verformungsverhalten der Gleitelemente

### 5.1 Allgemeines

Gleitelemente bestehen in der Regel aus der Kombination eines Gleitwerkstoffs mit einem Gegenwerkstoff unter Verwendung eines geeigneten Schmierstoffs. Als Gleitwerkstoff haben sich thermoplastische Kunststoffe bewährt. Neben den Gleiteigenschaften, d. h. einem geringen Gleitwiderstand bei möglichst hoher Verschleißbeständigkeit, muss der Gleitwerkstoff eine ausreichende Verformungskapazität aufweisen, um die Verformungen der Gleitplatte ausgleichen zu können. Der Gegenwerkstoff bedarf einer wesentlich höheren Oberflächenhärte und einer niedrigen

Oberflächenrauigkeit. Für Gleitlager hat sich die Verwendung von polierten Edelstahlblechen auf einer Trägerplatte, welche in ihrer Verformung den vorgenannten Kriterien entsprechend einzuschränken ist, bewährt.

## 5.2 Das Last-Verformungsverhalten des Gleitwerkstoffs

Im Zuge der Erarbeitung des Entwurfs der DIN 4141-12 wurden zur Bestimmung des Last-Verformungsverhalten von PTFE umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt bzw. Daten der Vergangenheit zusammengetragen. Es handelte sich grundsätzlich um Zusammendrückungsversuche an in einer Trägerplatte gekammerten, kreisrunden PTFE-Scheiben mit starren und ebenen Lasteinleitungskörpern. Variiert wurden

- die Kammerungstiefe,
- die Gleitspalthöhe,
- die Gesamtdicke der PTFE-Scheibe und
- der Durchmesser der PTFE-Scheibe.

Die Versuche wurden bei Raumtemperatur durchgeführt. Gemessen wurde die Veränderung der Gleitspalthöhe über einen Zeitraum von 48 h. Wegen des plastischen Werkstoffverhaltens nimmt die Gleitspaltveränderung mit zunehmender Pressung überlinear zu. Es zeigte sich, dass die wesentlichen Einflussgrößen der freie PTFE-Rand, das Verhältnis zwischen diesem freien Rand und die gedrückte Fläche (Formfaktor S) sowie das Verhältnis der Kammerungstiefe zur Gleitspalthöhe sind.

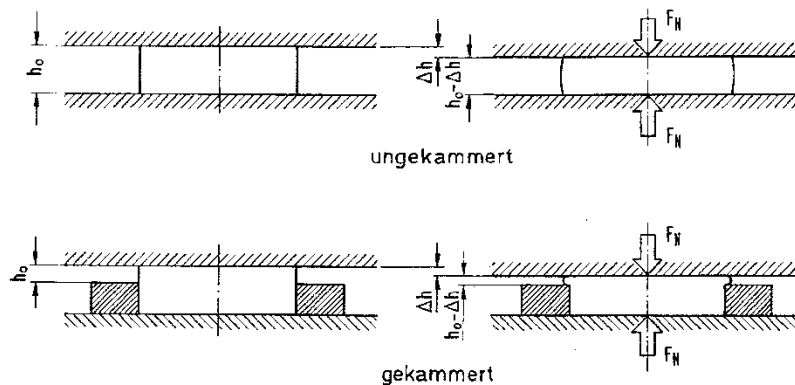


Abbildung 3 – Verformungsverhalten von PTFE weiß, freigesintert und vertikaler Druckbelastung [10]

Im Rahmen dieser Versuchsreihen wurde auch die Tragfähigkeit von PTFE als diejenige Pressung definiert, bei welcher nach einer Belastungszeit von 48 h die Zusammendrückung des Gleitwerkstoffs zum Stillstand kommt, siehe hierzu auch Abschnitt 7.3.1.5 von [10]. Auf der sicheren Seite liegend hat man bei Festschreibung der durchmesserabhängigen Gleitspalthöhe  $h$  und PTFE-Dicke  $t_p$  ergab sich die charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  für wirksame Lagertemperaturen bis 30 °C, siehe DIN EN 1337-2:

$$f_k = 90 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für} \quad h[\text{mm}] = 1,75 + \frac{L}{1200} \geq 2,2 \quad \text{und} \quad 2,2h \leq t_p \leq 8\text{mm}$$

Hintergrundinformationen und die Auswertung der damaligen Last-Verformungsversuche sind in dem Arbeitsdokument N253 der Arbeitsgruppe WG3 des CEN-TC 167 zusammengefasst [11]. Geht man fiktiv von einem linear elastischen Verhalten des PTFE aus und bezieht man die Verformung auf die Gleitspalthöhe  $h$  ergaben sich bei PTFE-Durchmessern  $L$  von 155 mm mittlere E-Moduli  $E_{\text{PTFE},h} \approx 270 \text{ N/mm}^2$  für  $p = 45 \text{ N/mm}^2$  und  $E_{\text{PTFE},h} \approx 200 \text{ N/mm}^2$  für  $p = 90 \text{ N/mm}^2$ . Bezieht man die Setzung unter Festschreibung der geometrischen Randbedingungen auf die Gesamtdicke der PTFE-Scheiben, ergibt sich bei einer Pressung von  $45 \text{ N/mm}^2$  eine E-Modul  $E_{\text{PTFE},t_p}$  von ca.  $400 \text{ N/mm}^2$ . Dieser Wert wurde in DIN EN 1337 als Grundlage genauerer Berechnung der Gleitplattenverformung festgeschrieben.

Da der Formfaktor  $S$  eine wesentliche Rolle spielt, wurden die Setzungen der Scheiben bei Durchmessern  $L = 75 \text{ mm}$  und  $155 \text{ mm}$  verglichen. Es zeigte sich, dass die elastische Setzung des Gleitwerkstoffs mit zunehmendem Durchmesser  $L$  asymptotisch gegen 0 geht. Als zutreffend erwies sich die indirekte proportionale Abhängigkeit der Steifigkeit  $E_{\text{PTFE},h}$  von der Quadratwurzel des Formfaktors  $S$ . Man kann somit ansetzen

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{k}{\sqrt{S}} \quad \text{bzw.} \quad \Delta h = 2 \times k \times \sqrt{\frac{h^3}{L}} \quad (3)$$

$k$  ist eine von der Pressung abhängige Steifigkeitsziffer. Bei einer für einen Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für PTFE anzusetzenden Pressung von  $45 \text{ N/mm}^2$  ergaben sich aus den Versuchen bei statistischer Auswertung nach DIN EN 1990 anhand der Streuung und der Probenanzahl



Trägerplatte des Gleitwerkstoffs. Empirisch wurde ein zulässiger Grenzwert für die verbleibende Gleitspalthöhe  $h_r$  von 1 mm bzw.  $h/2$  festgelegt.

Die grundlegenden Überlegungen zur Festlegung dieser Grenzbedingungen werden hier erläutert.

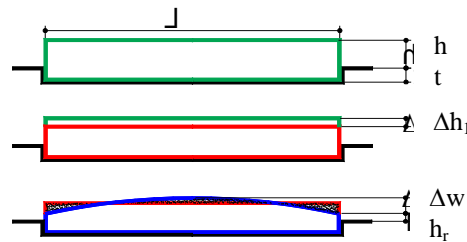


Abbildung 5 – Zusammendrückung des Gleitwerkstoffs

Wird eine parabelförmige Krümmung und Volumenkonstanz im komprimierten PTFE vorausgesetzt, ergibt sich die zulässige Krümmung des Lasteinleitungskörpers durch Festschreibung des zulässigen Stichmaßes  $\Delta w$ . Es gilt

$$h = h_r + \frac{2}{3} \Delta w_{zul} + \Delta h_1 \quad \text{bzw.} \quad \Delta w_{zul} = \frac{3}{2} (h - \Delta h_1 - h_r) \quad (4)$$

In DIN EN 1337-2 wurde vereinfachend der Einfluss der Parabelkrümmung vernachlässigt und eine Dickentoleranz des Gleitwerkstoffs von 10% angenommen ( $\Delta h_1 = 0,9h$ ). Es wird empfohlen, bei der Überarbeitung von EN 1337-2 diese Vereinfachung zu überdenken. Die Bedingung  $h_r \geq h/2$  ist maßgeblich, da die Gleitspalthöhe stets größer als 2 mm ist. Daraus folgt

$$\Delta w_{zul} = 1 * (0,9h - \Delta h_1 - 0,45h) = (0,45h - \Delta h_1) = h (0,45 - \Delta h_1/h) \quad (5)$$

Wenn die Verformung der Gleitplatte den Wert für  $\Delta w_{zul}$  überschreitet, so ergibt sich ein unzureichender Abstand zwischen den benachbarten Trägerplatten und es tritt erhöhter Verschleiß auf. Da dies langfristig die Gebrauchstauglichkeit des Gleiteils gefährden kann, wird dieser Zustand als Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit betrachtet. Die Starrkörpersetzung aus Auflast  $\Delta h_1$  in Abhängigkeit von der Geometrie und den einwirkenden Pressungen ist durch Versuche zu bestimmen. Für die Gleitwerkstoffe PTFE und MSM<sup>®</sup> ergeben sich anhand der in 5.2 genannten Steifigkeitswerte folgende Grenzbedingungen:

PTFE: 
$$\Delta w \leq h \times (0,45 - 2\sqrt{h/L})$$

MSM<sup>®</sup>: 
$$\Delta w \leq h \times (0,45 - 1,708k\sqrt{h/L}) \quad \text{mit} \quad 0 \leq 1,708k \leq 1,0 \quad \text{und} \quad k = \frac{\sigma_{MSM} [N/mm^2] - 45}{78,5}$$

$\sigma_{MSM}$  ist die mittlere Pressung in der Gleitfläche unter der charakteristischen Einwirkungskombination und  $k$  die vom Gleitwerkstoff abhängige Steifigkeitsziffer.

Die zulässigen Gleitplattenverformungen liegen je nach Werkstoff und Geometrie zwischen 0,5 mm und 1,25 mm. Mit Hilfe der in 4.2 wiedergegebenen Beziehungen kann die vorhandene Gleitplattenverformung  $\Delta w$  bestimmt werden.

$$\alpha_b = \left( \frac{L}{L + 2 \cdot t_b} \right)^2 \cdot \left( \frac{3 \cdot L_0}{d_b} \right)^{0,4}$$

Es zeigt sich, dass lediglich der Parameter  $\alpha_b$  von der Gleitplattenabmessung, d. h. von deren Dicke  $t_b$  abhängt.

Der Term  $L/(L + 2 \cdot t_b)$  gibt den Einfluss der Lastausbreitung wieder. Anhand der zulässigen Verformung  $\Delta w_{zul}$  kann über diesen Term die erforderliche Plattendicke bestimmt werden.

#### 5.4 Bemessung des Gleitwerkstoffs

Nach EN 1337-2 ist der Nachweis der aufnehmbaren Pressungen unter der Annahme starrer Lasteinleitungskörper zu führen. Folgende Bedingung ist mit der Grundkombination der Einwirkungen nachzuweisen:

$$N_{Sd} \leq \frac{f_k}{\gamma_m} \cdot A_r = \frac{f_k}{\gamma_m} \cdot \lambda \cdot A$$

Dabei ist

- $N_{Sd}$  der Bemessungswert der Normalkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit
- $f_k$  die charakteristische Druckfestigkeit des Gleitwerkstoffs
- $\gamma_m$  Teilsicherheitsbeiwert für den Gleitwerkstoff
- $A$  die Kontaktfläche der Gleitfläche
- $\lambda$  ein Reduktionskoeffizient zur Berücksichtigung der Lastexzentrizität

$A_r$  die reduzierte Kontaktfläche der Gleitfläche, in deren Schwerpunkt  $N_{sd}$  mit der Gesamtexzentrizität angreift, die sowohl durch mechanische als auch geometrische Effekte verursacht wird.  $A_r$  ist auf der Grundlage der Plastizitätstheorie unter Annahme eines rechteckigen Spannungsblocks zu berechnen.

Da, wie gezeigt, die Gleitplatte unter Last verformt wird, benötigen Gleitwerkstoffe von Bauwerkslagern eine ausreichende Duktilität, um diese Unebenheit auszugleichen. Deshalb ist der Einsatz von elastoplastischen Gleitwerkstoffen notwendig. Rein elastische Gleitwerkstoffe würden an den Rändern wesentlich höheren Pressungen ausgesetzt als im Zentrum. Dieser Effekt kann wie folgt berücksichtigt werden:

- Vereinfachend wird der Nachweis unter Annahme einer parabelförmig gekrümmten Gleitplatte und einer im Ausgangszustand ebenen Gleitscheibe geführt.
- Das Verformungsverhalten ist elastisch angenommen, d. h.  $\Delta h/p = \text{konstant}$ , wobei  $p$  die lokale Pressung in der Kontaktfläche und  $\Delta h$  die lokale Verformung in Richtung der Pressung ist.
- $L$  ist der Durchmesser der kreisrunden Gleitwerkstoffscheibe
- Die Gleitplatte ist parabelförmig gekrümmt, am Scheitelpunkt beträgt die relative Verformung im Grenzzustand der Tragfähigkeit mindestens 0,75 mm bezogen auf den Durchmesser  $L$  der Gleitscheibe, siehe Abschnitt .
- Bedingung für eine vollflächige Auflage der Gleitplatte auf der Gleitscheibe ist  $p_{\min} > 0$  bzw.  $\Delta h_{\min} > 0$

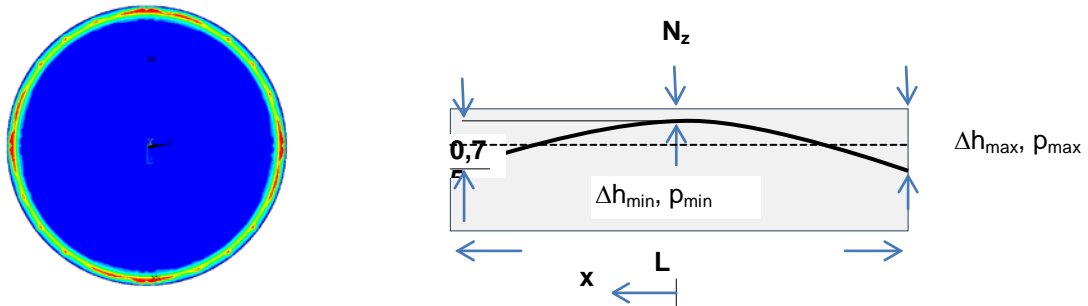


Abbildung 6 – Ungleichmäßige Pressungsverteilung bei rein elastischen Gleitwerkstoffen

Bei einer mittleren Pressung  $f_d = f_k / \gamma_m$  und  $\Delta h_m \geq 2/3 * 0,75 = 0,50$  mm folgt

$$\rightarrow p/\Delta h \geq 0,50 * f_k / \gamma_m \text{ [N/mm}^3\text{]} = \text{konstant}$$

Mit Hilfe dieser Bedingung und der ermittelten Verformung kann bei Annahme einer parabelförmigen Plattenkrümmung die Pressungsverteilung durch Integration der Pressungen über die Kontaktfläche ermittelt werden. Es zeigt sich auch, dass der E-Modul eines rein elastischen Gleitwerkstoffs  $E_{tGW}$  zur Gewährleistung eines vollflächigen Kontakts mit dem Gleitblech nach oben zu begrenzen ist.

$$E_{tGW} \leq 1000 \text{ N/mm}^2$$

## 6 Das Bewegungsverhalten von Gleitlagern

Gleitlager ermöglichen eine Bewegung, indem die Gleitplatte (Lageroberteil) sich relativ zur Kalotte und dem Lagerunterteil infolge Temperatur, Erdbeben, Verkehrseinwirkungen und Wind bewegt. Während ein Gleiten infolge Temperaturveränderung eine sehr geringe Geschwindigkeit aufweist, kann die Verschiebegeschwindigkeit aufgrund von Verkehrseinwirkungen (z.B. Bremsen), Erdbeben und Wind deutlich höher sein. Im Allgemeinen wird zwischen Gleitreibung und Haftreibung unterschieden. Letztere ist deutlich größer und muss zunächst einmal überwunden werden, bevor sich eine Relativverschiebung, d.h. ein Gleiten zwischen Lagerober- und -unterteil entsteht.

Aufgrund der Verformung der Gleitplatte erhöhen sich die Pressungen im Randbereich des Gleitmaterials. Abhängig von der Steifigkeit des Gleitmaterials können sich lokale Verformungen im austenitischen Gleitblech, welches an der Gleitplatte befestigt ist, bilden. Die erhöhten Kantenpressungen sowie mögliche lokale Verformungen im austenitischen Gleitblech können zu einer Erhöhung der Losbrechkraft, d.h. Haftreibung, führen, was zu erhöhtem Verschleiß und unplanmäßigen dynamischen Bewegungsverhalten führen kann. Insbesondere das Gleitverhalten von Gleitpendellager im Hochbau kann aufgrund der genannten Effekte von dem planmäßigen Verhalten abweichen, da diese nur im Fall eines Erdbebens aktiviert werden und ansonsten eine reine statische Belastung erfahren. Untersuchungen zum Einfluss der Verformung der Gleitplatte auf das Gleitverhalten von Gleitlagern bei unterschiedlichen Gleitmaterialien wurden im Lessloss-Projekt [13] begonnen. Leider liegen quantitative Ergebnisse nicht vor.

## 7 Ausblick

Im Zuge der Entwicklung von Gleitwerkstoffen von Lagern im Bauwesen insbesondere mit hoher Tragfähigkeit ist der Verformungskapazität besondere Beachtung zu schenken. Es ist sicherzustellen, dass die bauwerksbedingten Verformungen aufgenommen werden können und dass die Bewegungsabläufe aufgrund der fehlenden Duktilität nicht behindert werden. Die derzeitigen Regelwerke gelten werkstoffbezogen und sind nur für die dort geregelten Gleitwerkstoffe, d. h. PTFE und UHMWPE anwendbar. Für eine allgemeine, werkstoffunabhängige Regelung bedarf es noch diverser Grundlagenforschung.

## 8 Literatur

- [1] Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG) „Bauproduktenrichtlinie, Dezember 1988.
- [2] Braun, Ch.; Bergmeister, K.: Brückenausstattung. Betonkalender. Ernst & Sohn. Berlin, 2004.
- [3] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken. Beuth Verlag. Berlin, März 2009.
- [4] DIN EN 1337-2: Gleitelemente. Beuth Verlag. Berlin, 2004.
- [5] DIN E 4141-12: Gleitlager. Beuth Verlag. Berlin, 1994.
- [6] ETA 06/0131: MAURER MSM<sup>®</sup> Kalotten- und Zylinderlager. Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin, 19. September 2011.
- [7] DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken. Beuth Verlag. Berlin, März 2009.
- [8] Petersen, Ch.: Verformung und Beanspruchung der Gleitplatte von PTFE-Gleitlagern. Forschungsbericht T2023. Deutsches Institut für Bautechnik. IRB Verlag. Stuttgart, 1988.
- [9] Petersen, Ch.: Zur Beanspruchung moderner Brückenlager – Eine Parameterstudie. Festschrift J. Scheer. Braunschweig, 1987.
- [10] Eggert, H.; Kauschke W.: Lager im Bauwesen. 2. Auflage. Ernst & Sohn. Berlin, 1995.
- [11] CEN TC 167/WG3: Zulässige Gleitplattenverformung. Dokument N 253. München, 1992.
- [12] CUAP 03.01/35 : Spherical and cylindrical bearing with special sliding material. Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin, Mai 2011.
- [13] Medeot, R., Fischer, S. et al: Deliverable Report D32, LESSLOSS “Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides”, Project No.: GOCE-CT-2003-505488, 6<sup>th</sup> framework programme, unveröffentlicht