

## **Forschungsbericht**

**Überprüfung der CEN-Normvorlagen zu  
prEN 1337 hinsichtlich der Einhaltung  
der Grundsätze des Nachweiskonzeptes mit  
Grenzzuständen für Messung und Konstruktion  
von Lagern im Bauwesen**

**T 2725**

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Auf Anfrage und gegen Aufpreis können von diesen Vorlagen Farbkopien angefertigt werden.

© Copyright by IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Zustimmung des IRB Verlags.

#### **IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon ☎ (0711) 9 70-25 00  
Telefax (0711) 9 70-25 08  
Telex 7 255 168 iza d

Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar - Universität  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Lehrstuhl Verkehrsbau

**Überprüfung der CEN - Normvorlagen zu prEN 1337,  
hinsichtlich der Einhaltung der Grundsätze des Nachweis-  
konzeptes mit Grenzzuständen für die Bemessung und  
Konstruktion von Lagern im Bauwesen**

Auftraggeber: Institut für Bautechnik  
Reichpietschufer 72 - 76  
10785 Berlin 30

Bearbeiter: Prof.Dr.-Ing. Freundt  
Dipl.- Ing. Kaufmann

Betreuer: Dipl.-Ing. Buche  
Dr.-Ing. Maurer

Weimar, November 1995

## Projektbeschreibung (Kurzfassung)

Die Erarbeitung der CEN-Normvorlagen des TC 1337 basiert auf dem Grundlagendokument Nr. 1 der Richtlinie des Rates 89/106/EWG und "Basis of Design" (EC 1). Die einzelnen Normenteile entstanden in verschiedenen Arbeitsgruppen zeitgleich. Differenzierte Erfahrungen mit nationalen Normen und Gepflogenheiten führen zu unterschiedlichen Interpretationen der Grundlagen. Für eine Einheitlichkeit der einzelnen Normteile und auch der Auffassungen sind Interpretationen auf theoretischem Hintergrund mit der Darstellung von Fallbeispielen und eine durchgängige Überprüfung des TC 1337 erforderlich. Zu diesem Zweck werden die Grundlagen analysiert, theoretisch hinterlegt und für die praktische Anwendung aufbereitet. Auf dieser Basis werden die Normenteile durchgängig überprüft. Die Einpassung der Brückenlager in das Gesamttragwerk Brücke und die Erarbeitung lagerspezifischer Probleme sind Schwerpunkt. Der Arbeitsplan umfaßt deshalb 3 Schritte:

1. Darlegung der einzelnen Grenzzustände, einschließlich ihrer theoretischen Hintergründe für den Brückenbau und Aufbereitung der Grundlagen in Fallbeispielen.
2. Einordnung des "Zwischenbauteiles" Lager in das Gesamttragwerk Brücke.
3. Analyse der typischen Grenzzustände für Brückenlager unter dem Aspekt des Gesamttragverhaltens und Darlegung von lagerspezifischen Problemen.

Ausgehend von dieser Grundlagenuntersuchung sind die Normteile des TC 1337 hinsichtlich ihrer Paßfähigkeit und Einheitlichkeit zu überprüfen.

## Description of project

The development of the CEN-Standard specification of the TC 1337 is based on the basic document Nr. 1 of the General instructions of the council 89/106/EEC and "Basis of Design" (EC 1). The various parts of the standard were developed in different working teams simultaneously. Varied experience with national standards and habits result in different interpretation of the basis. To ensure the uniformity of the single parts of the standard and of the views, interpretations on the theoretical background with the presentation of case studies and a general check of the TC 1337 are required. For this purpose the basis is analysed, supported theoretically and processed for practical use. On this basis all parts of the standard are checked.

Focal points are making the bridge bearing fit the whole supporting structure of the bridge and solving problems concerning the bridge bearing.

Therefore the working plan comprises 3 steps:

1. Explanation of various limits including their theoretical background concerning bridge construction and processing the basis in case studies.
2. Fitting in the bearing as an "intermediate unit" in the whole supporting structure of the bridge.
3. Analysis of typical limits for bridge bearings from the point of view of the overall structural behaviour and explanation of problems concerning particularly bearings.

Starting from this basic study the parts of the standard TC 1337 have to be checked with regard to their compatibility and uniformity.

## Description du projet

L'élaboration du modèle standard CEN du TC 1337 est à la fois basée sur le document des bases d'après les directives du conseil 89/106/EWG et sur le désign (EC 1) "Basis of Design". A travers les différents groupes de travail, des éléments normalisés particuliers en ont parallèlement résultés. Les expériences différenciées avec des standards nationaux et les habitudes mènent à différentes interprétations des bases. Les interprétations considérées sur le plan théorique qui comprend la représentation des exemples de cas et un contrôle complet du TC 1337 sont nécessaires pour une homogénéité des éléments normalisés particuliers ainsi que pour des conceptions. C'est dans ce but que les bases sont analysées qu'elles sont démontrées de façon théorique et sont traitées pour l'application pratique. Les éléments normalisés sont complètement contrôlés sur cette base. Les aspects principaux sont l'ajustage du support des ponts à l'ensemble du système de support des ponts et la prise en considération des problèmes liés spécifiquement au support. C'est pourquoi, le plan de travail comporte trois points:

1. L'exposition des situations limites particulières et de leurs théoriques fondamentales pour la construction de ponts et pour le traitement des bases en cas d'effondrement.
2. La classification de la "partie intermédiaire de construction" du support dans l'ensemble du système de support des ponts.
3. L'analyse des situations limites typiques en ce qui concerne le support des ponts en considérant l'ensemble de la capacité de support et l'exposition des problèmes spécifiques de support.

En tenant compte de cette recherche des bases, les éléments normalisés du TC 1337 doivent être contrôlés selon leur capacité d'adaptabilité et leur homogénéité.

<b><u>Inhaltsverzeichnis</u></b>		<b>Seite</b>
1.	Aufgabenstellung	4
2.	Lösungsweg	5
3.	Grundlagen des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen bei Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten	6
3.1	Sicherheit (Definitionen)	6
3.1.1	Der Zusammenhang zwischen Sicherheit und Wahrscheinlichkeit	6
3.1.2	Das Problem der Sicherheit und Zuverlässigkeit	7
3.2	Grundsätze des neuen Sicherheitskonzeptes	7
3.3	Anforderungen an den Nachweis	8
3.4	Definition der Grenzzustände	8
4.	Festlegungen zur Anwendung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen bei Betonbrücken nach EC 2	10
4.1	Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit	10
4.2	Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	12
5.	Anwendung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen beim Bauteil Lager	14
5.1	Allgemeines	14
5.2	Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS)	15
5.3	Nachweis für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)	17
6.	Stand der Europäischen Normentwürfe prEN 1337 "Lager im Bauwesen"	17
7.	Diskussion des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen in prEN 1337 - 3: Elastomeric Bearings, August 1993	18
7.1	Allgemeines	18
7.2	Analyse der Nachweise in prEN 1337-3	33
8.	Anmerkungen zu prEN 1337, Teile 2, 5 und 8	35
9.	Schlußfolgerungen	36

## Literaturverzeichnis

- [1] ENV 1991 Eurocode1: Basis of design and actions on structure  
(Entwurf Okt. 92)  
Part 1: Basis of design  
Part 2: Traffic loads on bridges
- [2] Grundlegendokument Nr. 1 der Richtlinie des Rates 89/106/EWG:  
Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- [3] prEN 1337 Lager im Bauwesen, Teil 1 bis Teil 8
- [4] ENV 1992-1-1: 1991 Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbeton-  
tragwerken  
Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau
- [5] ENV 1992-2 Eurocode 2: Design of concrete structures  
Part 2: Reinforced and prestressed concrete bridges (7. Entwurf)
- [6] ENV 1993-1-1: 1993 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von  
Stahlbauten  
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau
- [7] Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche  
Anlagen, Beuth Verlag GmbH, 1981
- [8] König, G.: Einführung in den EC 2, Part 2 - Gebrauchsfähigkeit, Robustheit  
Darmstädter Massivbau - Seminar, Band 11, 1994
- [9] Scheer, J.; Pasternak, H.; Hofmeister, H.: Gebrauchstauglichkeit -  
(k)ein Problem ?, Bauingenieur 69 (1994), S. 99 - 106
- [10] Eggert, H.; Vorlesungen über Lager im Bauwesen, Verlag Wilhelm Ernst &  
Sohn, 1981
- [11] Topaloff, B.; Gummilager für Brücken - Berechnung und Anwendung,  
Bauingenieur 39 (1964) Heft 2
- [12] ORE Office de Recherches et d' Essais:  
Verwendung von Gummi für Brückenlager, Frage D 60, Utrecht (1962,  
1964, 1965)
- [13] Eggert; Grote; Kauschke: Lager im Bauwesen, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn,  
1994



## **1. Aufgabenstellung**

Aufgabe und Ziel des Forschungsvorhabens ist die Überprüfung der CEN-Normvorlagen zu prEN 1337, Teile 1, 2, 3, 5 und 8 hinsichtlich der Realisierung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen entsprechend dem Eurocode 1 [1] und dem Grundlagendokument 1 [2].

Die Aufgabe resultiert aus mehreren Diskussionen im NABau - Arbeitsausschuß 00.91.00 "Lager im Bauwesen", deren Ergebnis wie folgt zusammengefaßt wird:

- [1] und [2] beinhalten prinzipielle Definitionen, deren Geltungsbereich Bauwerke und Bauteile aller Baustoffe und Konstruktionen umfaßt.
- Lager sind Bauteile, die die Randbedingungen für die statische Berechnung anderer Bauwerksteile realisieren. Als Bauteil haben sie eigene mechanische Wirkmechanismen. Sie bestehen in der Regel aus Baustoffkombinationen, die nicht identisch sind mit den Baustoffen der übrigen Bauteile des Bauwerkes.
- Die Umsetzung dieses Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen auf das Bauteil "Lager" setzt einerseits eine Einordnung in die Festlegungen für andere Bauwerksteile und Baustoffe und andererseits lagerspezifischer Regelungen voraus.
- Für die Realisierung verschiedener Randbedingungen stehen mehrere Lagerarten zur Verfügung, die in den entsprechenden Normteilen abgehandelt werden.
- Die Erarbeitung der Normvorlagen für die Lagerarten erfolgte zeitgleich in verschiedenen europäischen Arbeitsgruppen.
- Eine Überprüfung der Normvorlagen hinsichtlich der gleichartigen Umsetzung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen scheint deshalb sinnvoll zu sein.

Die Umsetzung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen bei Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten nach [1] in ein Normformat bedarf pragmatisch zusammengefaßt folgender Festlegungen:

- a) Die Definition von Grenzzuständen und deren Einteilung in
  - Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS)
  - Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)
- b) die Zuordnung der entsprechenden Nachweise
- c) Die Aufbereitung der Nachweisalgorithmen für die Einwirkungs- und die Widerstandsseite
- d) Die Festlegung von Maßnahmen zur Vermeidung von Gefahren bei Einwirkung und Widerstand erfolgt auf verschiedenen Ebenen, wie:
  - charakteristische Werte und Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungs- und Widerstandsseite,
  - Kontrolle und Überwachung,
  - Konstruktionsregeln.

Der methodische Weg für die Einzelschritte ist ebenfalls in [1] und [2] geregelt. Die theoretische Ermittlung der charakteristischen Werte und Teilsicherheitsbeiwerte setzt einen großen Umfang an statistischem Material und die Kenntnis realer mechanischer Wirkmechanismen voraus. Liegen nicht hinreichende Daten vor, müssen Erfahrungen zu Übergangsregeln führen.

Die Aufgabe des Forschungsvorhabens ist auf die Überprüfung der Grundregeln (Schritte a, b und c) gerichtet und hat nicht die Analyse der einzelnen Maßnahmen (Schritt d) zum Inhalt.

## **2. Lösungsweg**

Die beschriebene Aufgabe ist in der genannten klaren Abgrenzung nur bei formaler Bearbeitung lösbar. Dieser Schritt ist notwendig und wurde bereits weitestgehend von der "ad hoc group Limit States" im Rahmen des CEN/TC 167 durchgeführt.

Zur Vermeidung von Überschneidungen und zur Aufdeckung offener Probleme wird der Lösungsweg wie folgt gegliedert:

- Grundlagen des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen (Abschn. 3)
- Nachweiskonzept für Betonbrücken (Abschn. 4)
- Nachweiskonzept für Lager (Abschn. 5)
- Normentwürfe prEN 1337 (Abschn. 6)

- prEN 1337-3-Elastomerlager (Abschn. 7)
- weitere Teile von prEN 1337 (Abschn. 8)
- Schlußfolgerungen (Abschn. 9)

### **3. Grundlagen des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen bei Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten**

#### 3.1. Sicherheit (Definitionen)

"Sicherheit" ist ein Begriff, der im Sprachgebrauch sehr häufig verwendet wird. Danach scheint es wichtig, "Sicherheit" zu definieren. Laut Enzyklopädie wird "Sicherheit" wie folgt erläutert:

objektiv, als Nichtvorhandensein von Gefahr;

subjektiv, als Gewißheit eines Einzelnen, einer Gruppe oder eines Staates, vor möglichen Gefahren geschützt zu sein.

Sicherheit erreichen, heißt demnach Gefahr eliminieren bzw. zu minimieren. Da nicht alle Gefahren ausgeschlossen werden können (schon weil man sie nicht alle kennt), gibt es keine absolute Sicherheit. Sicherheit besteht immer nur gegenüber der ausgeschlossenen Gefahr. Dies wird auch im Wortgebrauch deutlich. Wir reden z.B. von Bruchsicherheit.

Sicherheit ist demzufolge vom Stand der Kenntnis und Erfahrung abhängig (Kenntnis der Gefahren) und wird am Stand der Wissenschaft und Technik gemessen. Was aufgrund des Standes von Wissenschaft und Technik als Gefahr erkennbar ist, wird als objektiv bekannte Gefahr bezeichnet. Sicherheit gegen objektiv bekannte Gefahren ist erreichbar oder diese Gefahren müssen bewußt als Risiko akzeptiert werden.

Sicherheit ist also die Eigenschaft eines Zustandes, die dadurch charakterisiert ist, daß ganz bestimmte Gefahren nicht vorhanden oder akzeptabel reduziert sind.

Sicherheit wird durch Maßnahmen erzeugt und die Maßnahmen müssen sich an den Gefahren orientieren, die vermieden werden sollen. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind zum Beispiel solche Maßnahmen.

### 3.1.1 Der Zusammenhang zwischen Sicherheit und Wahrscheinlichkeit

Am deutlichsten wird dieser wieder durch unseren Sprachgebrauch.

Wir sagen: "Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ...".

Sicherheit bezeichnet die Qualität und Wahrscheinlichkeit ist ein Maß für die Gefahr.

Es wird mittels der Wahrscheinlichkeit die Größe der Gefahr gemessen.

### 3.1.2 Das Problem der Sicherheit und Zuverlässigkeit

Sicherheit besteht gegenüber den durch Maßnahmen ausgeschlossenen Gefahren. Mit Zuverlässigkeit bezeichnet man die Wahrscheinlichkeit, mit der ein ganz bestimmter Vorgang in der gewünschten Weise ablaufen wird.

Deshalb auch der Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Versagens- oder Überlebenswahrscheinlichkeit.

Die Zuverlässigkeit ist damit ein Kriterium für "meßbare Sicherheit".

### 3.2. Grundsätze des neuen Sicherheitskonzeptes [7]

Es besteht die Forderung , daß Bauwerke so zu bemessen und auszuführen sind, daß sie

- unter den mechanischen Einwirkungen während eines vorgesehenen Zeitraumes mit ausreichender Sicherheit tragfähig und/oder gebrauchsfähig sind und gegen chemische, biologische, klimatische und ähnliche Einwirkungen während der vorgesehenen Nutzungsdauer ausreichend beständig sind;
- im Falle außergewöhnlicher Einwirkungen und/oder bei lokalem Versagen eines Bauteiles, das Versagen des gesamten Systems mit ausreichender Sicherheit verhindern.

Das Sicherheitskonzept muß

- für alle Bauarten und Baustoffe anwendbar sein, damit die Sicherheitsfestlegungen in den einzelnen Sparten des Bauwesens vergleichbar werden
- rational begründete Sicherheitsmaßnahmen, welche aus Erfahrungen gewonnen

wurden, beinhalten

- flexibel genug aufgebaut sein, um auch wirtschaftliche Optimierungen auf der Grundlage eines einheitlichen Sicherheitsniveaus zu ermöglichen
- eine einfache Handhabung in der Praxis des Entwurfes und Bauausführung ermöglichen.

Die dargestellten Grundsätze machen deutlich, daß ein solches Sicherheitskonzept nicht nur durch eine "neue" Nachweisführung realisiert werden kann. Es sind dazu erforderlich:

- Maßnahmen bei den Nachweisen
- Maßnahmen konstruktiver Art
- Maßnahmen für Überwachung und Kontrolle.

### 3.3. Anforderungen an den Nachweis

Die Nachweise werden für definierte Grenzzustände geführt. Der bisherige summarische Sicherheitsbeiwert wird in ein System von Teilsicherheitsbeiwerten aufgeschlüsselt, und die Teilsicherheitsbeiwerte werden nur in ihrem direkten Einflußbereich angesetzt.

Die Einwirkungen und Festigkeiten sind durch charakteristische Werte definiert, die soweit wie möglich statistisch abgesichert sind. Durch Multiplikation/Division oder Addition/Subtraktion mit den Teilsicherheitsbeiwerten entstehen Bemessungswerte, die als Ausgangswerte für den Nachweis dienen. Der Nachweis wird in Form einer Gegenüberstellung von Einwirkung und Widerstand geführt.

### 3.4. Definition der Grenzzustände [1], [2]

Grenzzustände sind Zustände, bei deren Überschreitung das Tragwerk die angenommenen Entwurfsanforderungen nicht länger erfüllt.

Grenzzustände werden wie folgt eingeteilt:

- Grenzzustände der Tragfähigkeit
- Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.

Grenzzustände der Tragfähigkeit sind diejenigen Zustände, die im Zusammenhang mit dem Einsturz oder mit anderen Formen des Tragwerksversagens stehen. Unerwünschte Zustände vor Eintreten des Tragwerksversagens (z.B. Erreichen der Streckgrenze von Betonstahl) werden aus Vereinfachungsgründen wie Grenzzustände der Tragfähigkeit betrachtet.

Grenzzustände der Tragfähigkeit, die berücksichtigt werden müssen, beinhalten:

- den Verlust des Gleichgewichtes eines Tragwerkes oder eines seiner Tragwerksteile, welche als starre Körper betrachtet werden;
- Versagen durch übermäßige Verformung, durch Bruch oder Verlust der Stabilität eines Tragwerkes oder eines seiner Teile, einschließlich der Lager und Fundamente (Festigkeitsnachweis);
- Versagen durch Ermüdung oder andere zeitabhängige Effekte.

Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung die festgelegten Bedingungen der Gebrauchstauglichkeit für das Bauwerk oder Bauteil nicht mehr erfüllt sind. Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, die berücksichtigt werden müssen, umfassen:

- Verformungen und Durchbiegungen, welche das Erscheinungsbild oder die planmäßige Nutzung eines Bauwerkes beeinträchtigen oder Schäden an Oberflächen oder nichttragenden Bauteilen verursachen;
- Schwingungen, die Unbehagen bei Menschen oder Schäden am Bauwerk oder seiner Einrichtung verursachen oder die Funktionsfähigkeit des Bauwerkes einschränken;
- Schäden, die das Aussehen oder die Dauerhaftigkeit einschränken.

Diese allgemeingültigen Definitionen werden in den material- und konstruktionsspezifischen Teilen der Eurocodes durch entsprechende Festlegungen umgesetzt.

#### **4. Festlegungen zur Anwendung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen bei Betonbrücken nach EC 2 [5]**

##### 4.1. Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit

Die Nachweise beinhalten einen Vergleich der angreifenden mit den widerstehenden Größen am Bemessungspunkt. Der Bemessungspunkt ist der wahrscheinlichste Versagensort. Der Nachweis ist erfüllt, wenn

$$S_d \leq R_d .$$

Durch die Festlegung von charakteristischen Werten und Teilsicherheitsbeiwerten für die angreifenden und widerstehenden Größen wird die angestrebte Zuverlässigkeit erreicht. Die angreifenden Größen sind die Einwirkungen, deren charakteristische Werte und Teilsicherheitsbeiwerte in [1] geregelt sind. Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit wird ebenda eine Lastkombination, die Grundkombination, angegeben.

In [5] erfährt die Einwirkungsseite Ergänzungen, die entweder materialspezifisches Versagen betreffen, z.B. außergewöhnliche Einwirkungen wie Anprall oder konstruktionsspezifische Regelungen wie Teilsicherheitsbeiwerte für günstige und ungünstige Einwirkungen.

Die widerstehenden Größen (Material) sind in den entsprechenden Teilen des Eurocodes geregelt.

Das Nachweisformat für den beschriebenen Sachverhalt ist unter Berücksichtigung einer Vorspannung in [4] nach Gl. (2.7 (a)):

$$S_d \left[ \sum (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_Q \cdot Q_{k,l} + \sum_{i>1} \left( \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right) + \gamma_P \cdot P_k \right] \leq R_d \left[ \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{f_{yk}}{\gamma_s}, \frac{0,9f_{pk}}{\gamma_p} \right]$$

$S_d$  darf bei zwei oder mehr veränderlichen Einwirkungen gemäß [4] Gl. (2.8 (a) und (b)) wie folgt vereinfacht werden, wobei die ungünstigste Kombination maßgebend ist:

- bei nur einer veränderlichen Einwirkung oder bei Berücksichtigung der ungünstigen Leiteinwirkung  $Q_{k,l}$  allein

$$S_d = S_d \left[ \sum (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + 1,5 \cdot Q_{k,l} + \gamma_P \cdot P_k \right]$$

- bei Berücksichtigung aller veränderlichen Einwirkungen

$$S_d = S_d \left[ \sum (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + 1,35 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} + \gamma_p \cdot P_k \right]$$

Darin sind:

$G_{k,j}$ ; $Q_{k,i}$	charakteristische Werte der ständigen bzw. veränderlichen Einwirkungen
$Q_{k,l}$	charakteristischer Wert der ungünstigsten Leiteinwirkungen bei mehreren veränderlichen Einwirkungen
$P_k$	charakteristischer Wert der Vorspannung
$\gamma_G$ ; $\gamma_Q$ ; $\gamma_P$	Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen und für Vorspannung
$\Psi_{0,i}$	Kombinationsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen
$f_{ck}$ ; $f_{yk}$ ; $0,9f_{pk}$	charakteristische Festigkeiten von Beton, charakteristische Streckgrenze von Betonstahl
$\gamma_c$ ; $\gamma_s$	Teilsicherheitsbeiwerte für Beton bzw. Betonstahl und Spannstahl

Zwangseinwirkungen (Temperatur, Setzung) sind gegebenenfalls zu berücksichtigen. Für die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_G$  und  $\gamma_Q$  sind die Werte der Tabelle 1 und für  $\gamma_c$  und  $\gamma_s$  die Werte der Tabelle 2 zu verwenden.

Tabelle 1 Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_F$  für Einwirkungen

Auswirkung ist	Art der Einwirkung		
	ständig $\gamma_G$	veränderlich $\gamma_Q$	Vorspannung $\gamma_P$
ungünstig	1,35	1,5	1
günstig	1	0	1



Tabelle 2 Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  für die Widerstandswerte der Baustoffe

Art der Kombination	Beton	Betonstahl, Spannstahl
	$\gamma_c$	$\gamma_s$
Grundkombinationen	1,5	1,15
außergewöhnliche Kombinationen	1,3	1

Es werden die Größen der Beanspruchbarkeit ( $R_d$ ) bestimmt, die am Anfang des sich bildenden Bruchmechanismus auftreten und mit der entsprechenden Beanspruchung verglichen.

Allgemein sind folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis gegen Bruch des Werkstoffs oder Erreichen der Streckgrenze bei zügiger Beanspruchung oder Überschreiten der Traglast des Systems bei nichtlinearen Verfahren mit Schnittgrößenumlagerung
- Nachweis gegen das Auftreten von Ermüdungsbrüchen bei häufig wiederholter Beanspruchung
- Nachweis gegen das Auftreten von Instabilitätserscheinungen
- Nachweis gegen das Kippen, Gleiten und Abheben
- Nachweis gegen das Auftreten von Resonanz unter dynamischer Beanspruchung.

Grundlage für die Festlegung der Teilsicherheitsfaktoren sind:

- a) eine normative Nutzungsdauer von 100 Jahren
- b) der Sicherheitsindex  $\beta$
- c) der Zufallscharakter der Einzelparameter

#### 4. 2. Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Die Nachweise beinhalten wie in Abschnitt 4.1. einen Vergleich, jedoch nicht den der Beanspruchung mit der Beanspruchbarkeit, sondern es wird die reale Beanspruchung mit einer geforderten und damit festgelegten Bauwerks- oder Bauteileigenschaft verglichen.

Einwirkungsseitig werden entsprechend drei Kombinationen angegeben:

- Seltene Kombinationen

$$\left[ \sum G_{k,i} + P_k + Q_{k,l} + \sum_{i \geq 1} \left( \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right) \right]$$

- Häufige Kombinationen

$$\left[ \sum G_{k,i} + P_k + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,l} + \sum_{i \geq 1} \left( \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \right]$$

-Quasi-ständige Kombinationen

$$\left[ \sum G_{k,i} + P_k + Q_{k,l} + \sum_{i \geq 1} \left( \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \right]$$

Gegebenenfalls sind neben den Lasten auch Zwangseinwirkungen zu berücksichtigen.

Mit  $\Psi$  sind die Kombinationsbeiwerte bezeichnet, die die mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von charakteristischen veränderlichen Einwirkungen berücksichtigen. In [5] wird zusätzlich zu den drei Kombinationen eine nicht häufige Kombination mit einer Wiederkehrperiode von einem Jahr eingeführt.

Die Festlegungen der Kombinationen und ihrer Beiwerte in [5] widerspiegelt material- und konstruktionsspezifische Einflüsse.

Tragwerke hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit beim Entwurf zu überprüfen, ist unzweifelhaft erforderlich, jedoch ist die Festlegung von Anforderungen an Bauwerks- oder Bauteileigenschaften zur Vermeidung unerwünschter Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nicht problemlos. In [9] erfolgt eine Auseinandersetzung mit diesem Sachverhalt, die zu weiteren Untersuchungen auffordert.

Bei Betonbrücken werden folgende Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit formuliert:

- Nachweis der Spannungsbegrenzung
- Nachweis der Rißweite
- Nachweis der Dekompression
- Nachweis der Durchbiegung
- Nachweis der Schwingungsempfindlichkeit.

Die Festlegung der Nachweisgrenzen erfolgt in Abhängigkeit von bestimmten Grenzzuständen, die zeit- und materialabhängig sind. Zusätzlich werden die Brücken in Anforderungsklassen eingeteilt.

## **5. Anwendung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen beim Bauteil Lager**

### 5.1. Allgemeines

"Lager sind Bauteile, die zwischen Bauteilen angeordnet werden, um die in der statischen Berechnung vorausgesetzten Rand- und Zwischenbedingungen zu erfüllen" [10].

Die Entwurfsanforderungen an Lager leiten sich nach o. g. Definition aus den Bauteilen eines Bauwerkes ab und dienen dem "sicheren Entwurf" des Bauwerkes. Die Rand- und Zwischenbedingungen der statischen Berechnung definieren die Anzahl der Freiheitsgrade (elementare Bewegungsmöglichkeiten) zur Gewährleistung bzw. Verhinderung bestimmter Bewegungen (Verschiebungen und Verdrehungen) und zur Lokalisierung der Stützkkräfte.

Die praktische Realisierung dieser Aufgabe erfordert ein Bauteil mit speziellen mechanischen Wirkprinzipien und speziellen Werkstoffen, die wiederum zu spezifischen Entwurfsanforderungen an das Bauteil führen.

Bei Anwendung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen sind die Festlegungen der Anforderungen an das Bauteil abzuleiten:

- a) aus der Aufgabe im Bauwerk
  - Randbedingungen der statischen Berechnung erfüllen
  - keine Gefahr für das Bauwerk
  
- b) aus dem Bauteil selbst
  - kein Bauteilversagen
  - keine Beeinträchtigung in der Nutzung
  
- c) aus den angrenzenden Bauteilen
  - keine Gefahr für angrenzende Bauteile.

Wegen der direkten Bauwerksabhängigkeit wird die Definition von Grenzzuständen am Beispiel einer Bauwerkskategorie einfacher darstellbar. Ein typisches Anwendungsgebiet für Lager sind Brücken. Das Nachweiskonzept für Betonbrücken ist im Abschnitt 4 dargestellt. An diesem Beispiel wird nachfolgend das Bauteil Lager behandelt.

Das Bauwerk Brücke kann prinzipiell in Bauteile gegliedert werden. Die Lagerebene befindet sich in der Regel zwischen Überbau und Unterbau. Die Lager realisieren so die Randbedingungen für die statische Berechnung des Überbaues. Der Unterbau bedarf Vorkehrungen zur Übernahme der Beanspruchungen aus den Lagern (Auflagerbank).

Die Einwirkungen auf das Bauwerk resultieren aus der Anforderung, die in der Regel das Überführen eines Verkehrsweges (Straße, Eisenbahn, Fußgänger o. ä.) ist. Die Werte der Einwirkungen (charakteristische Werte, Teilsicherheitsbeiwerte) haben als Basis die normative Nutzungsdauer und einen angestrebten Sicherheitsindex .

Die normative Nutzungsdauer von Brücken beträgt 100 Jahre. Lager sind Bauteile, die während der Nutzungsdauer der Brücke auswechselbar sind. Eine wertmäßige Festlegung einer Nutzungsdauer ist daher nicht vorgesehen. Lager sollten jedoch beim Entwurf der Brücke gleichgestellt werden, womit für sie prinzipiell die gleichen Werte der Einwirkungen gelten.

## 5.2. Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS)

Für Bauwerk und Bauteil gelten die gleichen Anforderungen, so daß für das Bauteil Lager prinzipiell die gleichen Nachweise wie für die Brücke geführt werden müssen. Diese sind sinngemäß wie in Abschnitt 4.1 angegeben:

- a) Der Nachweis gegen Bruch oder Erreichen der Streckgrenze des Materials bei zügiger Beanspruchung;
- b) der Nachweis ausreichender Steifigkeit gegen das Auftreten von unzulässig großen Formänderungen;
- c) der Nachweis gegen Versagen bei häufig wiederholter Belastung;
- d) der Nachweis gegen das Auftreten von Instabilitätserscheinungen;

e) der Nachweis gegen das Verrutschen eines durch Reibung gehaltenen Bauwerkes oder Bauteiles.

Die Nachweise a) bis d) werden durch die Konstruktion, die mechanische Wirkungsweise und den Werkstoff des Bauteiles bestimmt. Sie haben das Ziel, das Versagen des Bauteiles zu verhindern. Die Beanspruchungen werden durch das Bauwerk, im vorliegenden Fall durch die Brücke, bestimmt. Der Bemessungswert der Beanspruchung ergibt sich allgemein für die Grundkombination zu

$$S_d = S_d [\sum(\gamma_{G,i} \cdot G_{k,i}) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum(\gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})]$$

und für die außergewöhnliche Kombination zu

$$S_{d,A} = S_d \left[ \sum(\gamma_{GA,i} \cdot G_{k,i}) + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right]$$

Bei der Grundkombination darf nach [5] der Ansatz bei zwei oder mehr veränderlichen Einwirkungen vereinfacht werden, wobei jeweils die ungünstigste Kombination maßgebend ist (siehe Seite 10).

Diese Regelung gilt demnach auch für Lager von Betonbrücken, d.h. es gelten jeweils die Festlegungen für Brücken in [1] und die Detailregelung für die der spezifischen Bauart. An dieser Stelle muß auf folgenden Aspekt aufmerksam gemacht werden. Der Bemessungswert der Beanspruchung im ULS ist bei Brücken und ebenso bei anderen Konstruktionen des Hochbaues in der Regel eine Schnittgröße. Bei Lagern ist dies häufig eine Verschiebung und Verdrehung. Die verschiebungsrelevanten Einwirkungen wie Temperatur, Schwinden, Kriechen sind in der Bearbeitung der Eurocodes jedoch noch nicht abgeschlossen. **Für die Bereitstellung von Teilsicherheitsbeiwerten für diese Einwirkungen muß daher im Hinblick auf die Nachweisführung bei Lagern gesorgt werden.**

Da Konstruktion und Material der Lager innerhalb der einzelnen Lagerarten differieren, können die konkreten Anmerkungen im Abschnitt 7 zu prEN 1337-3- Elastomerlager - nur sinngemäß auf die Teile 2 bis 8 übertragen werden.

Der Nachweis e) betrifft die Gleitsicherheit in allen Fugen zwischen Lagerteilen oder zwischen den Lagern und anschließenden Bauteilen in denen Querkräfte aufgenommen werden sollen. Das Nachweisformat ist der Vergleich von angreifenden und widerstehenden Größen in der Fugenebene.

Bei durch Reibung festgehaltenen Bauteilen besteht die Besonderheit, daß sich die Beanspruchbarkeit aus Größen der Beanspruchung ergibt.

Für diese Fälle sind die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit davon abhängig, ob die Einwirkungen günstige oder ungünstige Auswirkung haben. Charakteristische Werte und Teilsicherheitsbeiwerte für Reibpaarungen müssen für Lager dementsprechend geregelt werden.

Damit ergibt sich das Nachweisformat für den Nachweis der Gleitsicherheit in den Fugen im ULS zu

$$V_{sd} \leq V_{Rd}$$

Dabei ist  $V_{sd}$  der Bemessungswert der Querkraft

$V_{Rd}$  der Bemessungswert des Widerstandes gegen Abscheren.

### 5.3. Nachweis für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit zu formulieren, setzt die Festlegung von Bedingungen für die Gebrauchstauglichkeit des Bauteiles voraus, also von Grenzwerten, die im Gebrauch nicht überschritten werden dürfen und deren Einwirkungsursache definiert werden kann.

## **6. Stand der Europäischen Normentwürfe prEN 1337 " Lager im Bauwesen"**

Die Europäischen Normentwürfe prEN 1337 wurden im Technischen Komitee 167 des Europäischen Komitees für Normung (CEN) ausgearbeitet. Sie umfassen 12 Teile, die zum Teil noch in Vorbereitung sind.

Teil 1 - Allgemeine Regelungen

Teil 2 - Gleitteile

- Teil 3 - Elastomerlager
- Teil 4 - Rollenlager
- Teil 5 - Topflager
- Teil 6 - Kipplager
- Teil 7 - Kalotten- und Zylinderlager mit PTFE
- Teil 8 - Festhaltekonstruktionen und Führungslager
- Teil 9 - Schutz
- Teil 10 - Überwachung und Prüfung
- Teil 11 - Transport, Zwischenlagerung und Einbau
- Teil 12 - Inspektion und Instandsetzung.

Teil 1 beinhaltet allgemeine Regelungen, die Definition der Begriffe "Lager" und "Lagerung", die Darstellung der genormten Lager, die Bemessungsgrundsätze und die Grundsätze für die bauliche Durchbildung. Im Teil 1 ist der Nachweis der Gleitsicherheit in den Fugen geregelt, da dieser unabhängig von der Konstruktion des Bauteiles Lager formuliert werden kann. Die detaillierte Durchsicht dieses Normteiles wird im Abschnitt 10 behandelt. Die Teile 2 bis 8 sind den spezifischen Lagerarten gewidmet. Die Teile 9 bis 12 regeln die Begleitbedingungen.

## **7. Diskussion des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen in prEN 1337 - 3:**

### **Elastomeric Bearings, August 1993**

#### 7.1. Allgemeines

PrEN 1337 Teil 3 wird exemplarisch hinsichtlich der Einhaltung der Grundsätze des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen überprüft. Die Auswahl von Teil 3 hat zwei Gründe:

- a) Die bewehrten Elastomerlager sind häufig vorkommende Lager.
- b) Der Einsatz von Elastomer für tragende Bauteile fordert Festlegungen.

Die Überprüfung von Teil 3 erfolgt entsprechend der Aufgabenstellung nach Abschnitt 1, d.h. Fragen der Werkstoffe und Lagerprüfungen werden nicht behandelt. Untersucht wird die

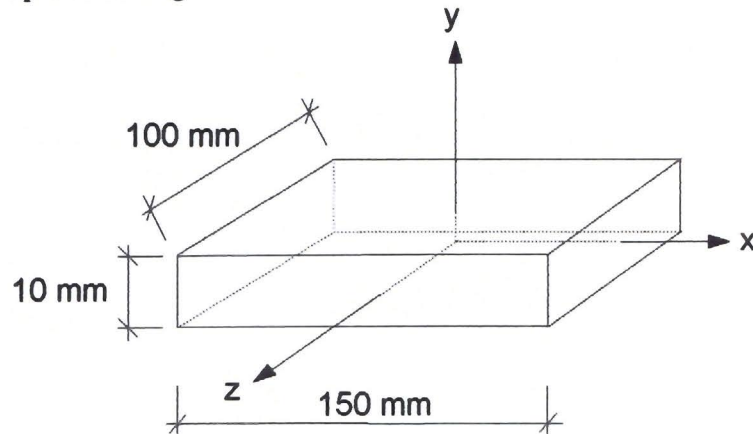
englische Version vom August 1993 und zwar in erster Linie der Abschnitt 5 "Design Rules". Bewehrte Elastomerlager sind Verbundelemente aus Elastomer und einvulkanisierten Stahlplatten. Die Aufgabe der Gewährleistung von Verschiebungen und Verdrehungen der angrenzenden Bauteile wird durch die Verformbarkeit des Elastomers erfüllt. Die relativ geringe Tragfähigkeit des Elastomers bei der Übertragung von Normalkräften wird durch die innenliegenden Stahlplatten erhöht. Die Wirkungsweise von bewehrten Elastomerlagern kann wie folgt beschrieben werden:

In der Elastomerschicht entsteht bei zentrischer Belastung ein dreidimensionaler Spannungszustand ähnlich des hydrostatischen Druckes. Für den Gesamtspannungszustand ist deshalb die Ausbildung der Kontaktflächen zwischen der Elastomerschicht und den angrenzenden Bauteilen von Bedeutung. Je nach dem Grad der Behinderung der Querkontraktion (Gleiten) werden quantitativ differente Spannungen in der Fuge und den angrenzenden Schichten auftreten. Bei voller Behinderung in der Fuge entstehen hohe Schubspannungen in der Fuge und in den angrenzenden Schichten. Zur Dokumentation des geschilderten Sachverhaltes soll eine FEM-Simulation einer Elastomerschicht bei Gleitbehinderung in den Kontaktflächen unter zentrischer Druckbelastung bei Verwendung einer hyperelastischen Arbeitslinie des Elastomers dienen.



## FEM-Simulation

### 1. Lager zur Beispielrechnung

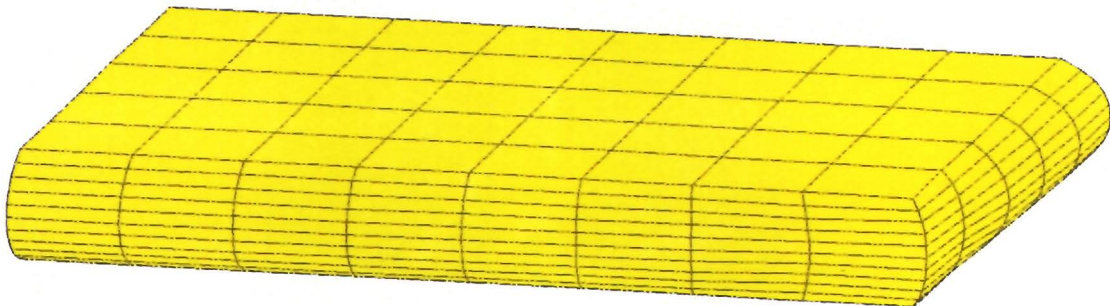


### 2. Belastung

$$F = 100.000 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{ab} = \frac{100.000}{100 * 150} = 6,667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### 3. Verformung des Elastomers bei Gleitbehinderung in den Kontaktflächen (Doppelsymmetrie)



### 4. Spannungen der Mittelfläche der Elastomerschicht

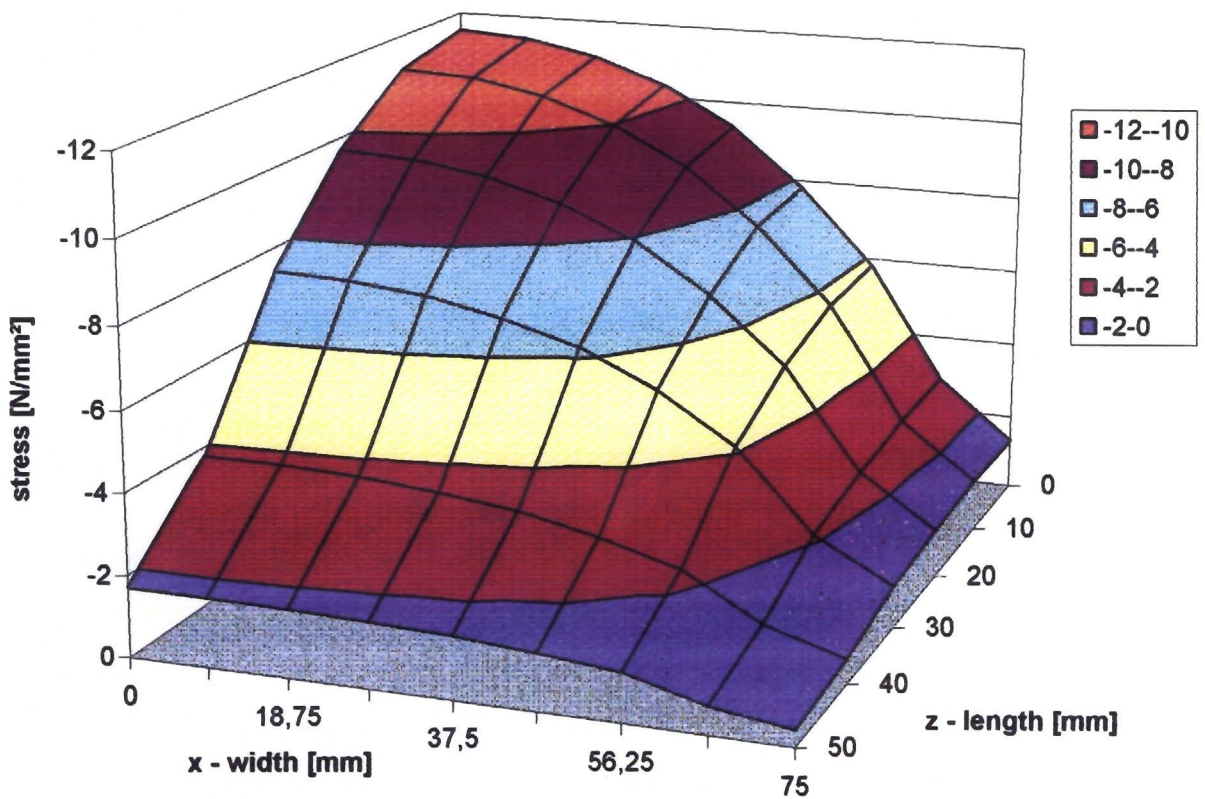
Bei einer mittleren Belastung von  $\sigma_m = 6,667 \text{ N/mm}^2$  nimmt die Druckspannung  $\sigma_y$  in Lagermitte den doppelten Wert dieser Größe an, während sie zum Lagerrand hin fast vollständig abklingt. Durch den sich ausbildenden hydrostatischen Druck sind die Druckspannungen in die anderen zwei Richtungen von annähernd gleicher Größe.

Spannung  $\sigma_x$ 

Width / Length	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
0,000	-11,529	-11,107	-9,6849	-7,4133	-3,7832	-1,7273
9,375	-11,399	-10,991	-9,5818	-7,3464	-3,7508	-1,7159
18,750	-11,024	-10,63	-9,2867	-7,1365	-3,6626	-1,6893
28,125	-10,337	-9,9873	-8,7431	-6,7624	-3,4923	-1,6301
37,500	-9,3321	-9,0289	-7,9476	-6,2004	-3,2467	-1,5505
46,875	-7,814	-7,5897	-6,7217	-5,3327	-2,8405	-1,3896
56,250	-5,8201	-5,6754	-5,0783	-4,1335	-2,2921	-1,2027
65,625	-2,8377	-2,7807	-2,51	-2,1078	-1,2145	-0,68966
75,000	-1,322	-1,3121	-1,1961	-1,0536	-0,62048	-0,41617

MINIMUM VALUES		MAXIMUM VALUES	
NODE	8	NODE	803
VALUE	-11,529	VALUE	-0,41617

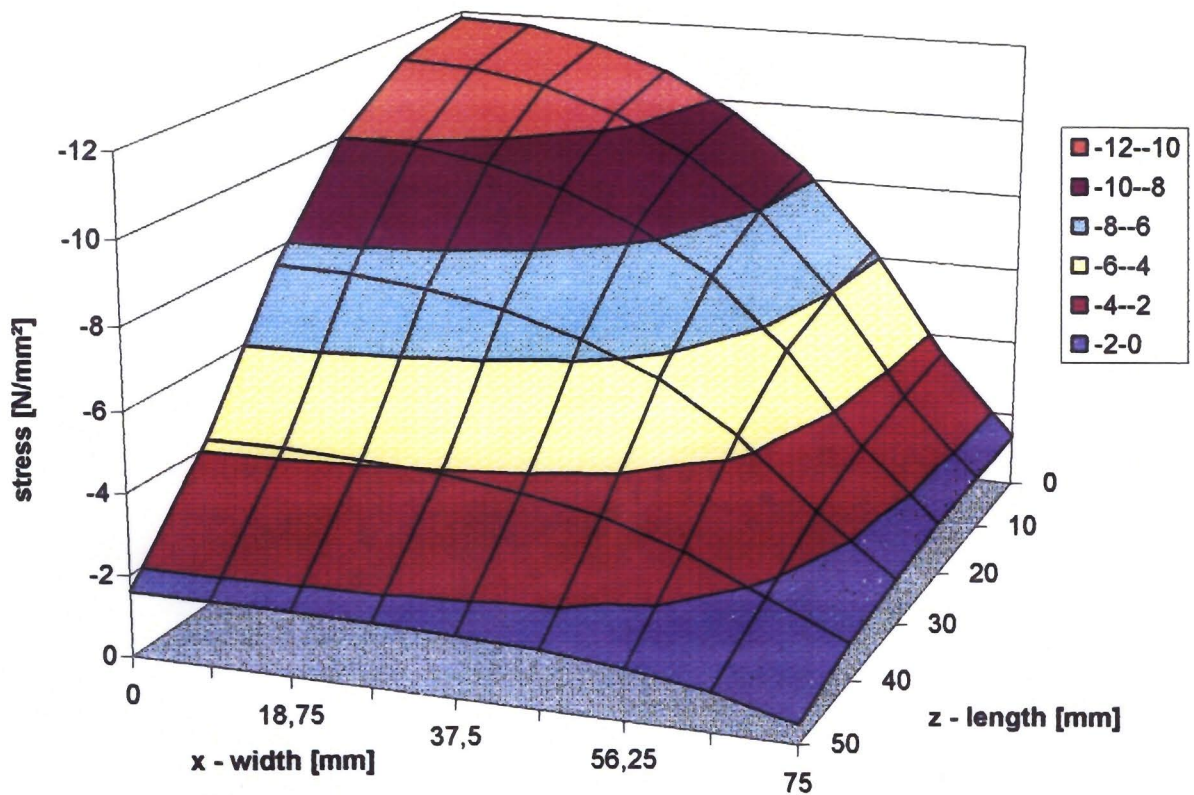


Spannung  $\sigma_y$ 

Width / Length	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
0,000	-11,845	-11,357	-10,012	-7,5911	-4,2163	-1,6187
9,375	-11,741	-11,24	-9,9297	-7,5241	-4,1942	-1,6167
18,750	-11,342	-10,878	-9,6114	-7,3129	-4,0908	-1,5927
28,125	-10,714	-10,267	-9,1202	-6,9631	-3,9434	-1,5669
37,500	-9,6831	-9,3056	-8,2987	-6,3971	-3,6717	-1,4996
46,875	-8,2832	-7,9632	-7,1854	-5,612	-3,3164	-1,4208
56,250	-6,2032	-5,9869	-5,4648	-4,3763	-2,7042	-1,2367
65,625	-3,4962	-3,3914	-3,1606	-2,6431	-1,7967	-0,959
75,000	-1,3969	-1,3482	-1,3206	-1,1588	-0,9318	-0,4824

MINIMUM VALUES		MAXIMUM VALUES	
NODE	8	NODE	803
VALUE	-11,845	VALUE	-0,48236

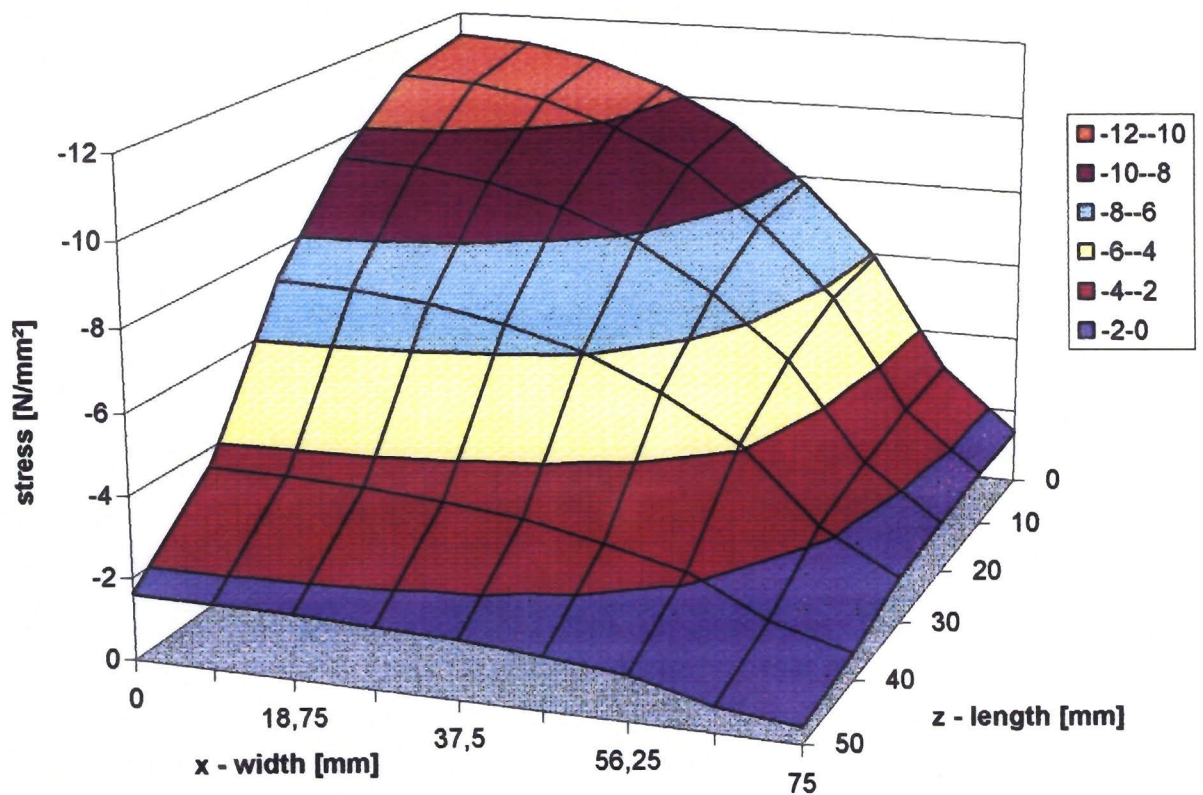


Spannung  $\sigma_z$ 

Width / Length	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
0,000	-11,384	-10,958	-9,5078	-7,2008	-3,5223	-1,6113
9,375	-11,254	-10,845	-9,4044	-7,1349	-3,4896	-1,5983
18,750	-10,899	-10,5	-9,1276	-6,9378	-3,4101	-1,5728
28,125	-10,24	-9,885	-8,6067	-6,5799	-3,2484	-1,5126
37,500	-9,2901	-8,976	-7,862	-6,057	-3,0287	-1,4361
46,875	-7,8321	-7,5943	-6,6936	-5,2288	-2,6442	-1,2813
56,250	-5,932	-5,768	-5,1551	-4,1289	-2,1658	-1,0989
65,625	-3,0204	-2,9563	-2,675	-2,2272	-1,2142	-0,63444
75,000	-1,4083	-1,4053	-1,2784	-1,1464	-0,67105	-0,41657

MINIMUM VALUES		MAXIMUM VALUES	
NODE	8	NODE	803
VALUE	-11,384	VALUE	-0,41657

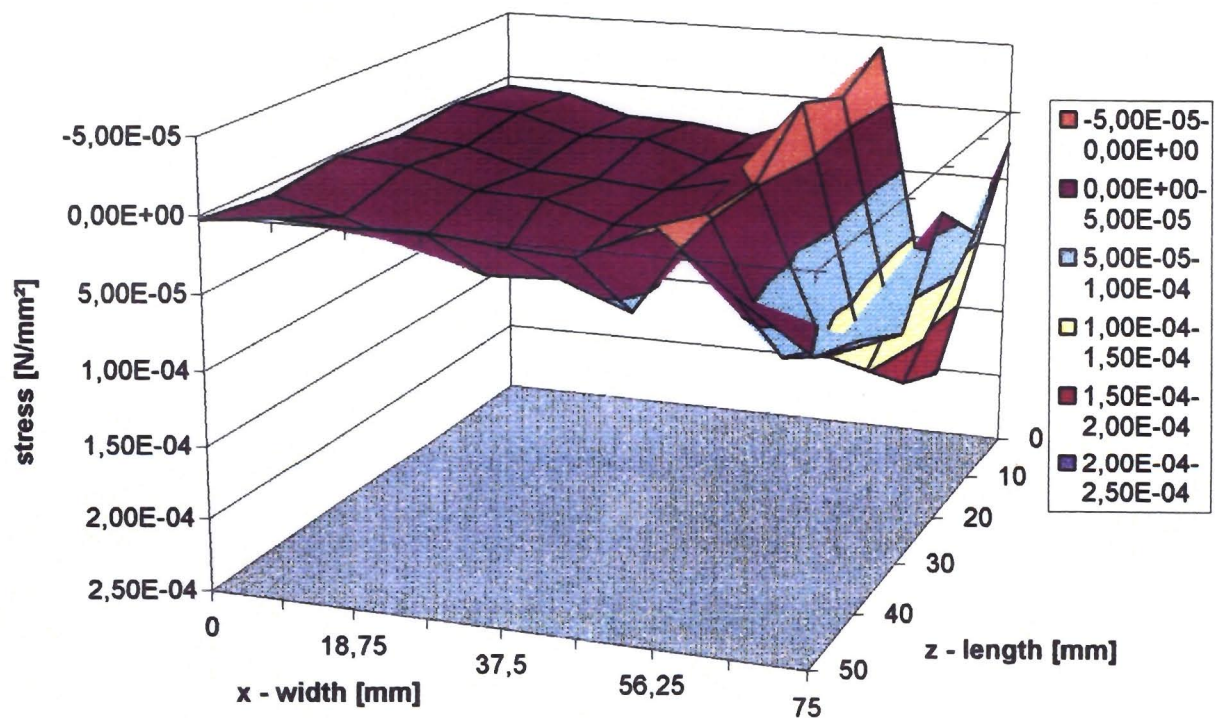


Spannung  $\tau_{xy}$ 

Width / Length	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
0,000	7,63E-06	2,75E-06	7,81E-06	2,08E-06	8,22E-06	2,30E-06
9,375	1,06E-05	6,12E-06	1,15E-05	5,60E-06	1,82E-05	-2,90E-06
18,750	2,45E-05	2,03E-05	2,50E-05	1,87E-05	3,37E-05	-1,25E-06
28,125	2,60E-05	1,84E-05	2,80E-05	2,00E-05	4,83E-05	-2,80E-06
37,500	3,25E-05	3,28E-05	3,17E-05	3,37E-05	4,61E-05	2,09E-06
46,875	1,62E-05	1,86E-05	2,10E-05	3,42E-05	6,34E-05	4,79E-06
56,250	-4,19E-05	-2,23E-05	-3,66E-05	-2,14E-06	-4,02E-06	-1,85E-05
65,625	2,03E-04	1,83E-04	1,46E-04	1,09E-04	8,32E-05	1,82E-05
75,000	2,28E-05	6,82E-05	3,12E-05	8,95E-05	6,72E-05	5,11E-05

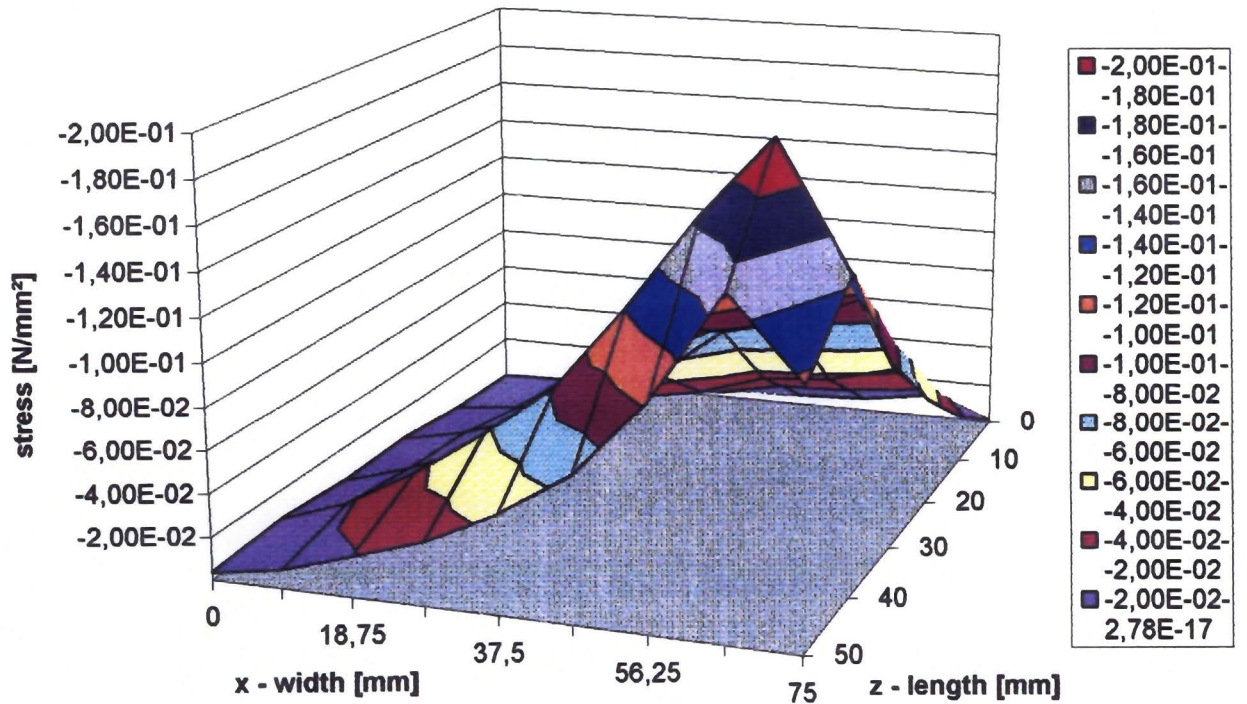
  

MINIMUM VALUES		MAXIMUM VALUES	
NODE	98	NODE	113
VALUE	-4,19E-05	VALUE	2,03E-04



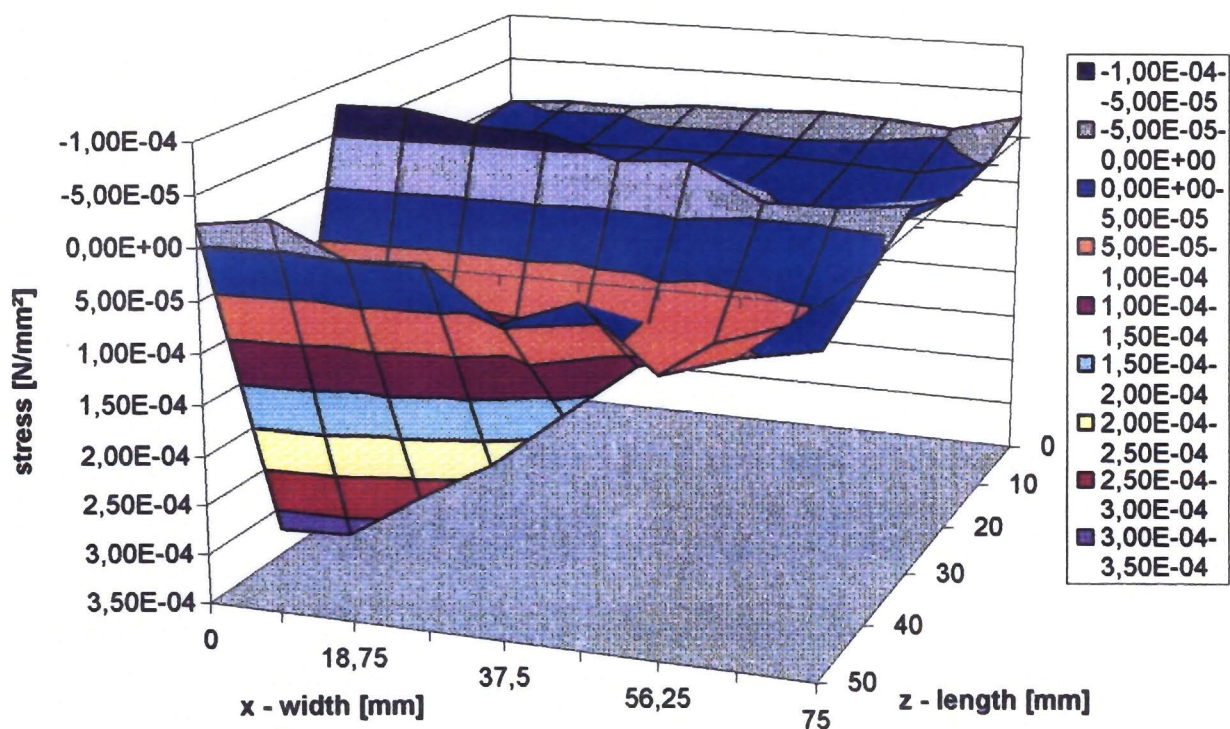
Spannung  $\tau_{xz}$

Width / Length	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
0,000	-9,62E-06	-1,28E-03	-4,21E-03	-3,50E-03	-6,41E-03	-3,64E-03
9,375	-6,72E-04	-4,79E-03	-1,09E-02	-1,31E-02	-1,77E-02	-8,73E-03
18,750	-1,98E-03	-1,03E-02	-2,21E-02	-2,66E-02	-3,60E-02	-1,88E-02
28,125	-2,69E-03	-1,69E-02	-3,66E-02	-4,36E-02	-5,78E-02	-2,93E-02
37,500	-4,71E-03	-2,35E-02	-5,07E-02	-6,23E-02	-8,25E-02	-4,54E-02
46,875	-5,43E-03	-3,34E-02	-7,48E-02	-9,54E-02	-1,21E-01	-6,65E-02
56,250	-6,70E-03	-3,61E-02	-8,29E-02	-1,18E-01	-1,64E-01	-1,02E-01
65,625	-1,19E-02	-4,41E-02	-9,61E-02	-1,51E-01	-2,00E-01	-1,51E-01
75,000	-1,58E-03	-2,33E-02	-5,18E-02	-8,79E-02	-1,44E-01	-1,16E-01
MINIMUM VALUES		MAXIMUM VALUES				
NODE	653	NODE	8			
VALUE	-2,00E-01	VALUE	-9,62E-06			



Spannung  $\tau_{yz}$ 

Width / Length	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
0,000	1,07E-06	1,11E-05	2,47E-06	-7,86E-05	3,23E-04	-2,26E-05
9,375	-3,69E-06	1,02E-05	3,68E-06	-8,01E-05	3,21E-04	-3,26E-05
18,750	-2,83E-06	1,07E-05	2,95E-06	-6,72E-05	2,74E-04	-1,30E-06
28,125	-9,64E-06	8,53E-06	3,02E-06	-6,54E-05	2,31E-04	-4,95E-06
37,500	-9,50E-06	9,26E-06	8,35E-06	-4,28E-05	1,73E-04	4,37E-05
46,875	-1,24E-05	7,06E-06	1,05E-05	-4,80E-05	1,17E-04	1,78E-05
56,250	-9,87E-06	9,92E-06	2,57E-05	-1,35E-05	8,80E-05	7,72E-05
65,625	-3,99E-06	1,32E-05	4,42E-05	-1,39E-05	6,29E-05	5,38E-05
75,000	-2,21E-05	-1,33E-06	2,12E-06	-2,13E-05	7,44E-06	3,94E-05
MINIMUM VALUES		MAXIMUM VALUES				
NODE	428	NODE	548			
VALUE	-8,01E-05	VALUE	3,23E-04			



Ein Lager wird in der Regel gleichzeitig durch vertikale und horizontale Belastung sowie Verdrehungen beansprucht. Die dargestellte Wirkungsweise bleibt dabei prinzipiell erhalten, lediglich die Größe und Verteilung der Verformungen und Spannungen differieren.

Die möglichen Versagensarten eines bewehrten Elastomerlagers sind demzufolge:

1. Überwinden der Festigkeit des Elastomers bzw. Erreichen großer Verformungen.
2. Überwinden der Verbundfestigkeit zwischen Elastomer und Stahl.
3. Überwinden der Festigkeit des Stahles (Festigkeitsnachweise).

Da ein Lager ein druckbeanspruchtes Bauteil ist, kann bei ungünstiger Geometrie

4. ein Stabilitätsversagen auftreten

Diese aus der Wirkungsweise des bewehrten Elastomerlagers abgeleiteten Versagensarten entsprechen den in Abschnitt 5.2, Seite 15 des vorliegenden Berichtes dargestellten Nachweisen.

Das miterwähnte "Rutschen" ist durch den Gleitsicherheitsnachweis geregelt, das Versagen bei häufig wiederholter Belastung ist bei Elastomer noch nicht hinreichend abgeklärt.

Damit führen die dargestellten Versagensarten zu Nachweisen, die den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (ULS) zuzuordnen sind.

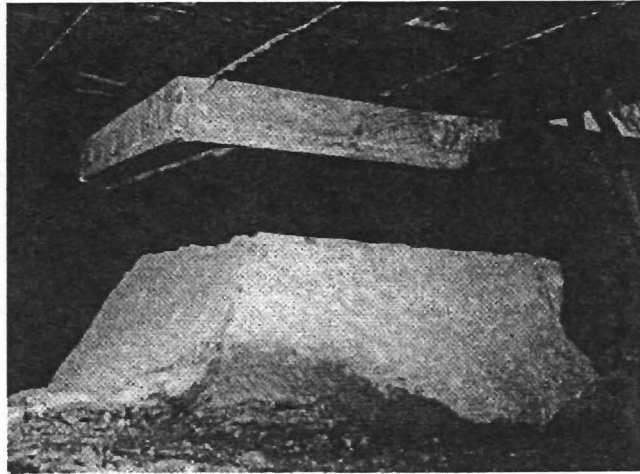
Die theoretische Erläuterung dieser Sachverhalte wird durch eine Zusammenstellung in der Literatur beschriebener aufgetretener Schadensfälle ergänzt.



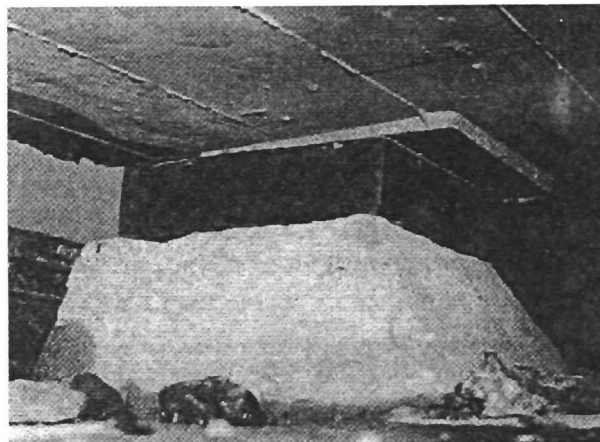
## Aufgetretene Schadensfälle

### 1. Rutschen des Lagers

F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.202 :



F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.203 :



### 2. Überwinden der Verbundfestigkeit zwischen Elastomer und Stahl

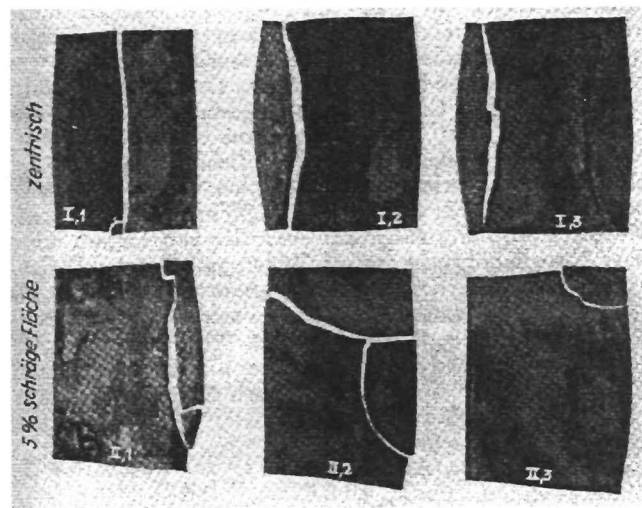
Hierzu sind keine Fotos vorhanden, jedoch ist dieser Schadensfall dokumentiert.

### 3. Überwinden der Festigkeit des Stahles

F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.194 :



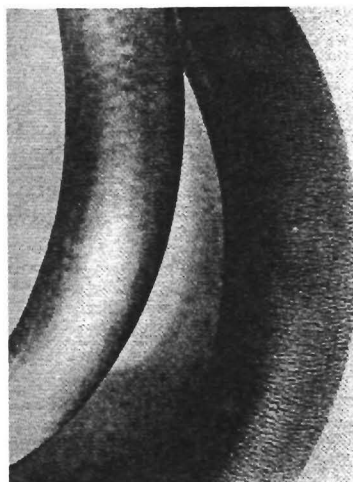
K. Suess, J. Grote " Einige Versuche an Neoprenelagern ", Der Bauingenieur 38 (1963 ),  
Seite 155, Abbildung 9 :



### 4. Risse in den Außenflächen

F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.194 : ( siehe 3. )

F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.182 :

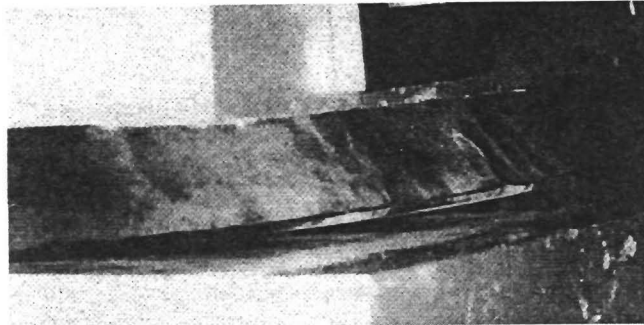


## 5. Plastisches Verhalten des Elastomers

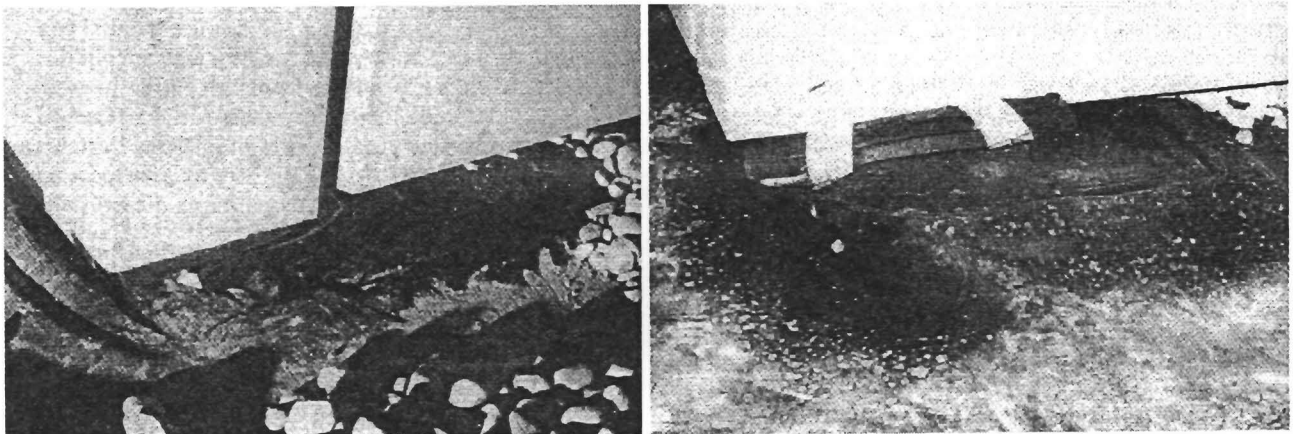
Hierzu sind keine Fotos vorhanden, jedoch ist dieser Schadensfall dokumentiert.

## 6. Stabilitätsversagen

F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.169 :



F. Eggert " Lager im Bauwesen ", Bild 4.188 :



## 7. Überwinden der Festigkeit des Elastomers

Hierzu sind keine Fotos vorhanden, jedoch ist dieser Schadensfall dokumentiert.

Die Darstellung der Schadensfälle zeigt Beispiele für ein Festigkeitsversagen des Stahles (Versagensfall 3) und Stabilitätsversagen (Versagensfall 6). Darüberhinaus sind aufgetreten :

- Rutschen des Lagers durch Einbaufehler
- Risse in den Außenflächen des Lagers.

Einbaufehler können nicht durch Nachweise verhindert werden.

Die Risse in den Außenflächen von Elastomerlagern bedingen eine vorausgehende Plastifizierung des Materials, deren Vermeidung gegebenenfalls im SLS diskutiert werden könnte, wenn nichtlineare Arbeitslinien Berechnungsbasis sind.

Zur Veranschaulichung und Beurteilung werden die Auswirkungen der Schäden auf Lager und Tragwerk zusammengestellt.

## Einschätzung der Wirkungsweise von Elastomerlagern infolge der aufgetretenen Schadensfälle

## 1. Rutschen des Lagers

Fehlverhalten	Auswirkung auf die Berechnung	Auswirkung auf das Lager	Auswirkung auf das Tragwerk
Rutschen in der Fuge zwischen Lager und Bauwerk	keine Übertragung der Belastung in horizontaler Richtung	Gleiten $\Rightarrow$ keine Wirkung in horizontaler Richtung	Erhöhung der Bewegungsfreiheitsgrade
	Verminderung der Auflagerfläche durch Überschreiten der Lagerplatte, dadurch Anstieg der Spannungen im Elastomer und in der Lagerplatte	exzentrische Belastung mit unterschiedlicher Deformation gegenüberliegender Seiten, stärkere Stauchung	Schäden in den angrenzenden Bauteilen
	Änderung des Lasteintragungspunktes	Festigkeitsüberschreitung	Festigkeitsüberschreitung der angrenzenden Bauteile durch exzentrische Belastung des Lagersockels

## 2. Abreißen des Elastomers von der Bewehrung

Fehlverhalten	Auswirkung auf die Berechnung	Auswirkung auf das Lager	Auswirkung auf das Tragwerk
keine Schubfestigkeit des Verbundes Elastomer / Bewehrung	kein Verbundverhalten zwischen Elastomer und Bewehrung	alleinige Tragwirkung des Elastomers, daher Versagen des Lagers durch Festigkeitsüberschreitung	erhöhte Verformung des Überbaus; ungleichmäßige Setzung; Zwangsbeanspruchung des Überbaus und der angrenzenden Bauteile

## 3. Bruch der Bewehrung

Fehlverhalten	Auswirkung auf die Berechnung	Auswirkung auf das Lager	Auswirkung auf das Tragwerk
Versagen der Bewehrung	entsprechend " Abreißen des Elastomers von der Bewehrung "		

## 4. Risse in den Außenflächen

Fehlverhalten	Auswirkung auf die Berechnung	Auswirkung auf das Lager	Auswirkung auf das Tragwerk
sprunghafte Vergrößerung der Außenfläche, Aufrauhung	durch Versprödung, Verwitterung, Eintritt von Flüssigkeiten und Feststoffen Auswirkungen auf die Alterungsbeständigkeit des Elastomers	Veränderung des Materialverhaltens	verminderte elastische Lagerung

## 5. Plastisches Verhalten des Elastomers

Fehlverhalten	Auswirkung auf die Berechnung	Auswirkung auf das Lager	Auswirkung auf das Tragwerk
dauerhafte Verformung des Elastomers	verminderte Elastizität	entsprechend " Risse in den Außenflächen "	entsprechend " Abreißen des Elastomers von der Bewehrung "

## 6. Stabilitätsversagen

Fehlverhalten	Auswirkung auf die Berechnung	Auswirkung auf das Lager	Auswirkung auf das Tragwerk
Schubknicken	keine gezielte Übertragung senkrechter Lasten	Ausweichen, daher Versagen des Lagers	entsprechend " Rutschen des Lagers "
Kippen ("Rollen")	Ausweichen durch angreifende horizontale Last	Verkleinerung der Fläche, daher Versagen	entsprechend " Rutschen des Lagers "

## 7.2. Analyse der Nachweise in prEN 1337-3

Es werden folgende Nachweise definiert:

### 1. Nachweis der maximalen Verformung des Elastomers

$$\varepsilon_{t,d} = K_L(\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{\alpha,d}) \leq 5,0$$

Das ist der Nachweis der "Grenzscherungsverformung" ( $\varepsilon_{t,d}$ ) aus der kombinierten Wirkung von zentrischem Druck ( $\varepsilon_{c,d}$ ), Verschiebung ( $\varepsilon_{q,d}$ ) und Verdrehung ( $\varepsilon_{\alpha,d}$ ) nach linear elastischer Berechnung.

Die Grenzdehnung  $\varepsilon_{t,d} = 5,0$  entspricht dem gegenwärtigen Erfahrungsstand und dem Nachweiskonzept nach zulässigen Spannungen mit definierten Einwirkungen. Für die Festlegung einer Grenzdehnung im Nachweiskonzept nach Grenzzuständen fehlen statistisch analysierte Untersuchungen.

Es ist dennoch sinnvoll das Nachweiskonzept mit Grenzzuständen zum gegenwärtigen Zeitpunkt einzuführen. Dafür sprechen folgende Gründe:

- Dieses Nachweiskonzept gilt für das Bauwerk und sollte daher analog auch für dessen Bauteil gelten.
- Die Einführung dieses Nachweiskonzeptes zwingt zur Auseinandersetzung mit der Problematik und beschleunigt so deren Lösung.

Gegenwärtig kann die Formulierung der Grenzbedingungen nur formal erfolgen. Da die tatsächliche "Grenzdehnung" des Elastomers linear-elastisch nicht formulierbar ist, muß eine Festlegung erfolgen, die das bisherige Bemessungsniveau gewährleistet, d.h. die gegenwärtig zulässige Dehnung berücksichtigt. Der Nachweis muß als Festigkeitsnachweis im ULS geführt werden. Die charakteristischen Werte und Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen entsprechen den Anforderungen an das Bauwerk. Dabei sind die Einwirkungen aus ständigen Lasten und Verkehrslasten mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,35 und die Einwirkungen aus Vorspannung, Temperatur und Kriechen und Schwinden mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,1 berücksichtigt

So entsteht ein gewichteter Teilsicherheitsbeiwert von 1,2, der dazu führt, daß formal

$$\varepsilon_{t,d} = 6,0$$

sein sollte.

Die resultierenden formale Änderungen sind im Abschnitt 10 aufgelistet.

## 2. Festigkeitsnachweis der Stahlplatten

$$t_s = 1,3 \cdot F_{z,d} \cdot (t_1 + t_2) \cdot \gamma_m / A_1 \cdot f_k$$

Es ist ein Nachweis im ULS. Die Nachweisgleichung sollte der formalen Regel:

Beanspruchung < Beanspruchbarkeit, folgen.

## 3. Stabilitätsnachweise

Elastomerlager sind druck- und biegesteif aber relativ nachgiebig gegen Schub. Damit ergibt sich nach Topaloff [11] ein mechanisches Modell für Knicken. PrEN 1337-3 weist zu dieser Versagensart einen Nachweis aus, der formal dem Nachweiskonzept mit Grenzzuständen entspricht.

$$F_{z,d} / A_1 < 2 \cdot a \cdot G \cdot S / (3 \cdot T_e)$$

Knicken ist zweifellos ein Nachweis des ULS.

Der Nachweis gem. Teil 3 basiert offensichtlich auf den ORE -Empfehlungen [12] und er wird in [13] als mangelhaft beurteilt, was in den unklaren Annahmen zum mechanischen Modell und der geringen versuchstechnischen Untermauerung begründet ist.

## 4. Standsicherheitsnachweis gegen Kippen, Gleiten und Abheben

Im vorliegenden Normentwurf sind Nachweise gegen Abheben und Gleiten formuliert.

Die Abhebbedingung ist ein Vergleich der vertikalen Einsenkungen infolge der Normalkraft und der maximalen Einsenkung infolge der Verdrehung. Inhaltlich entspricht dies der ORE-Regelungen [12] zur Begrenzung des Auflagerdrehwinkels. Der Nachweis ist im ULS zu führen.

Der Nachweisalgorithmus nach Teil 3 lautet:

$$\sum v_{z,d} \geq \frac{a' \cdot \alpha_a + b' \cdot \alpha_b}{K_r}$$

Es fehlt hier die Indizierung der Auflagerdrehwinkel als Bemessungswerte, d.h. sie sind mit  $\alpha_{a,d}$  und  $\alpha_{b,d}$  zu bezeichnen. Nach [12] und Umstellung der Ungleichung lautet der Nachweis

$$\frac{(a' \cdot \alpha_{a,d} + b' \cdot \alpha_{b,d})}{12} \leq \sum v_{z,d}$$

und für  $v_{z,d}$  sind die Teilsicherheitsbeiwerte mit günstiger Auswirkung gültig.

Der zweite Standsicherheitsnachweis ist der Nachweis der Gleitsicherheit in den Fugen. Der Nachweis wird in prEN 1337-1 geregelt und im Abschnitt 5.2 des vorliegenden Berichtes besprochen. Die nochmalige Regelung im Teil 3 wird wegen der Angabe von Reibbeiwerten für Werkstoffpaarungen mit Elastomer vorgesehen. Die Nachweisform muß jedoch prEN-1 entsprechen.

Dies sind die definierten Nachweise. Es werden die dargestellten Versagensfälle ausgeschlossen. Es sind Nachweise im ULS.

Ein Nachweis im SLS ist nicht formuliert. Die Darstellung der aufgetretenen Schadensfälle gibt auch keinen weiteren Anlaß. Offen ist die Vorsorge gegen Risse in den Außenflächen, wobei die Komplexe Verformungsbegrenzung und die gegenwärtige "Grenzdehnung" zu beachten ist.

### **8. Anmerkungen zu prEN 1337 Teile 2, 5 und 8**

Die Teile 2, 5 und 8 sind prinzipiell für das Nachweiskonzept mit Grenzzuständen und Teilsicherheitsbeiwerten aufbereitet. Sobald Elastomer als Werkstoff verwendet wird (z. B. Topflager) sind unklare Zuordnungen erkennbar. In diesen Fällen gelten die Bemerkungen des Abschnittes 7 sinngemäß.



## 9. Schlußfolgerungen

Ziel der Aufgabenstellung war die Auseinandersetzung mit den gegenwärtigen Normvorlagen zu prEN 1337 hinsichtlich der Realisierung des Nachweiskonzeptes mit Grenzzuständen und Teilsicherheitsbeiwerten entsprechend den Festlegungen in [1] und [2]. Sie erfolgte am Beispiel der Elastomerlager, da die entsprechende Normvorlage diesbezüglich größere Mängel aufweist.

Die Darlegungen beschränken sich auf die Abschnitte zur Nachweisführung und bewerten nicht die Festlegungen zu den Werkstoffen, den Prüfungen und der Herstellung. Die Schlußfolgerungen werden thesehaft wie folgt zusammengefaßt:

- a) Dieses Nachweiskonzept setzt die Kenntnis der mechanischen Modelle des Bauteiles und des Bauwerkes sowie der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Werkstoffs voraus. Auf der Basis dieser Kenntnisse können Grenzzustände mit ihren entsprechenden Kriterien formuliert werden.
- b) Die gegenwärtigen Normvorlagen zu prEN 1337 sind in den Teilen 1, 2, 5 und 8 prinzipiell nach den Grundsätzen dieses Nachweiskonzeptes aufgebaut.
- c) Der Werkstoff Elastomer zeigt durch seine besondere molekulare Struktur einige Besonderheiten im Verhalten auf. Die Eigenschaften sind bekannt. Der Einfluß der Vielzahl von Randparametern läßt jedoch eine mathematische Formulierung der Gesetzmäßigkeiten nur bedingt zu. Die Grundvoraussetzungen zur Definition von Grenzzuständen sind deshalb noch nicht hinreichend.
- d) Die Einführung dieses Nachweiskonzeptes für Lager aus oder mit elastomeren Werkstoffen sollte dennoch angestrebt werden. Die offenen Probleme werden dadurch erkennbar und die Lösung wird beschleunigt. Die Nachweisführung basiert dabei zunächst auf den vorhandenen Erfahrungen. Kompromisse müssen daher vorerst in Kauf genommen werden.