

# Workshop 4: Joints, bearings and drainage

Objekttyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **57/1/57/2 (1989)**

PDF erstellt am: **01.09.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



**Durability of Bridge Expansion Joints**  
Durabilité des joints de dilatation des ponts  
Dauerhaftigkeit von Fahrbahnübergängen

**Ken-ichi MAEDA**  
Dr.-Eng.  
Kawada Industries, Inc.  
Tokyo, Japan

**Fumitaka MACHIDA**  
Research Engineer  
Kawada Industries, Inc.  
Tokyo, Japan

**Kouichirou TOMIZAWA**  
Research Engineer  
Sohgoh Maintenance Co., Ltd  
Tokyo, Japan

**Teruyoshi IKEBE**  
Chief Engineer  
Sohgoh Maintenance Co., Ltd  
Tokyo, Japan

**Shouji MIYAZAKI**  
Vice-President  
Kawada Industries, Inc.  
Tokyo, Japan

#### SUMMARY

In recent years, various failures of expansion joints of highway bridges occurred very often causing inconvenience to traffic and further deterioration to girders and bearings. In order to improve the durability of joints, the authors re-examined the data to be used in the design of joints, that is, the vehicles weight exceeding the standard weight, its distribution between axles, impact coefficient to be applied and contact pressure intensity between tires and road surface. The authors have also carried out field measurements of stresses in the joints induced by traffic loads, and discussed the results to be obtained.

#### RÉSUMÉ

Récemment, de multiples ruptures de joints de dilatation de ponts routiers occasionnèrent de fréquentes perturbations du trafic et des détériorations ultérieures aux poutrelles et aux coussinets antifriction. Afin de tester la durabilité des joints, les auteurs ont examiné à nouveau les données utilisées dans la conception de joints, à savoir la prise en compte du poids d'un véhicule lorsque celui-ci excède le poids standard, la distribution du poids entre les essieux, les coefficients d'impact à utiliser et l'intensité de la pression de contact entre les bandages des roues et la surface de contact. Les auteurs ont ainsi réalisé des champs de mesure des forces dans les joints sous charge de trafic et ont discuté les résultats obtenus.

#### ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren verursachten Schäden an Bewegungsfugen von Autobahnbrücken Verkehrsbehinderungen und Folgeschäden an Brückenlagern und -trägern. Zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit der Fahrbahnübergänge wurden die Bemessungsannahmen untersucht (Schwertransporte, Achslastverteilung, Stossfaktoren und Reifenpressungen). Es wurden auch Feldmessungen der in den Fugenkonstruktionen auftretenden Spannungen durchgeführt und mit den Berechnungsergebnissen verglichen.



1. INTRODUCTION

A bridge expansion joint is subjected to the direct loading of moving vehicles and, in recent years, has caused many cases of damage as a result from increasing traffic volume as well as vehicle size, thus presenting itself as one of the major problems for maintenance of highway structures.

The facts are not sufficiently reflected in the design of expansion joints, and the design method involves many ambiguous points concerning the acting load intensity and the load applying mechanism. Furthermore, in the design, effects of fatigue should be given the due consideration.

In this situation, in order to improve the durability of expansion joints, the establishment of the design method seems to be indispensable. From this point of view, the authors investigated weights of actual running vehicles, impact coefficient and contact pressure intensity on the joint surface, and performed loading tests including the measurement by a stress histogram analyzer under the actual traffic, to confirm the stresses generated in expansion joints.

This paper presents results of these investigations and tests. From the results, various data which will promote the improvement of durability of expansion joints in the future have been obtained.

2. WHEEL WEIGHT

The Specification for Highway Bridges [1], Japan Road Association, adopts T-20 loading as the vehicle load (Fig.1). Based on this loading, the Manual on Bridge Expansion Joint Systems [2] specifies the wheel weight acting on an expansion joint as 78.4kN (8tf).

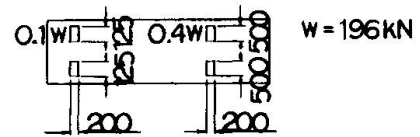
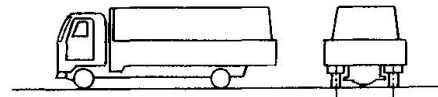


Fig.1 T-20 Loading [1]

Results of investigation of the vehicle load [3], carried out on urban expressways in Japan, are shown in Table 1 and Table 2. From the results, the maximum tandem axle weight was 436.4kN of a trailer. Maximum value of tandem axle weight is surmised as 490kN (50tf) for calculation in regard to safety.

If the weight ratio between tandem axle is 1:1.7, the maximum wheel weight, composed of 1 to 4 tires, is calculated as 154.3kN. Therefore, it is desirable that the largest load of 156.8kN (16tf) is to be applied, as the static wheel weight for the verification of ultimate state.

Table 1. Mixed ratio of car type [3]

car type	axle form	mixed ratio	
large sized truck	2-axes front axle    rear axle	not loaded	1.22
		loaded	1.02
		over loaded	0.01
	3-axes tandem axle	not loaded	3.72
		loaded	6.04
		over loaded	0.05
trailer	○—○—○—○	not loaded	1.02
		loaded	1.18
medium sized truck	○—○	17.88	
passenger car	○—○	67.86	

Table 2. Average and maximum weight of axle axle of over loaded vehicle [3]

Axle form	Average weight of axle (kN)	Max. weight of axle recorded in 24hrs (kN)	Max. weight of axle over six years (kN)
2 axes ○—●	1314	176.5	193.2
3 axes ○—●●	2366	306.0	389.3
trailer ○—○—●●	1905	338.3	436.4

Moreover, from Table 1, it seems that the adequate load should be decided, as the wheel weight for the verification of fatigue limit state, based on the further investigation of over loading.

### 3. IMPACT

The impact acting on an expansion joint can be estimated to be larger than those acting on other parts of bridge, because of direct loading application. In the design of expansion joints, the value of 1.0 is customarily used as the impact coefficient.

In order to confirm the validity of this value, the authors studied the effects of road surface condition and running speed on impact and the effects of over loading rate on impact. The results are shown in Fig.2 and Fig.3. The impact is larger on a poorer road condition and at a higher running speed, but if the running speed exceeds 50km/h, the impact tends to become smaller. According to the results of tests at real bridges (Table 3), the values of impact coefficient near expansion joints range between 0.5 to 0.8.

From the above, the largest impact coefficient is evaluated to be about 0.8, but considering abnormally over loaded running vehicle and the occurrence of level difference near expansion joint, it is desirable to set the possible maximum coefficient of impact at 1.0.

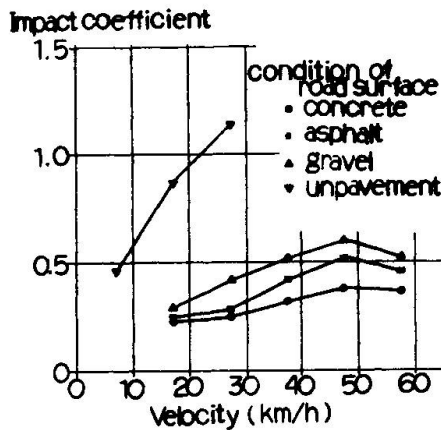


Fig.2 Impact coefficient due to condition of road surface and velocity

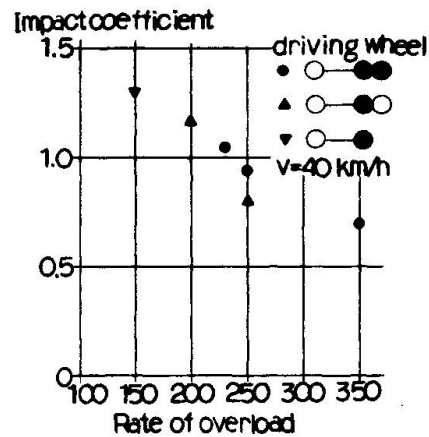


Fig.3 Impact coefficient due to rate of over load (unpaved road)

Table 3. Impact coefficient measured at real bridge

Joint type	Static load(kN)		Maximum joint level difference (mm)	Vehicle speed (km/h)	Max. working load (kN)		Impact coefficient	
	Mid axle	Rear axle			Mid axle	Rear axle	Mid axle	Rear axle
Finger type Joint	73.5	71.0	4	10	87.5	81.0	0.19	0.14
				20	111.0	100.9	0.51	0.42
				40	121.3	103.8	0.65	0.46
				60	132.3	112.3	0.80	0.58
Finger type Joint	73.5	71.0	2	10	86.0	81.0	0.17	0.14
				20	100.7	93.1	0.37	0.31
				40	102.9	90.3	0.40	0.27
				60	119.1	112.3	0.62	0.58

※Level difference is between two parts of joint



#### 4. CONTACT PRESSURE INTENSITY BETWEEN TIRES AND ROAD SURFACE

A tire of vehicle contacts the road surface as a plane, and the vehicle load is transmitted to the road surface or expansion joint as the contact pressure of a tire. It is considered that the contact pressure is affected by the tire load, air pressure in tire, roughness of road surface and running speed of vehicle. The authors took notice of the influence by the tire load among these factors.

Generally, if the tire load increases, the width of contact area changes only very slightly, but the length of contact area changes greatly. The relation between the contact pressure and the acting load of a tire, derived by the authors, is shown in Fig.4. The contact pressure gradually levels off at the tire load exceeding 78.4kN (8tf), and turns out the maximum pressure 1.1MPa at the tire load 120kN. Because if the tire load exceeds 120kN, the tire blows out.

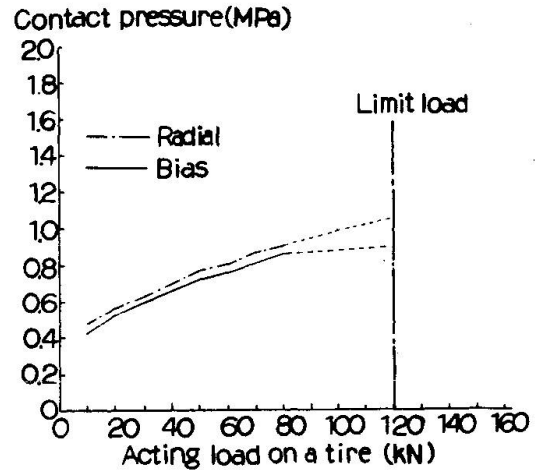


Fig.4 Acting load and contact pressure relation

From the above, the possible maximum intensity of contact pressure is to be 1.1 MPa at the tire load 120kN (including the impact force).

#### 5. LOADING TESTS

##### 5.1 Expansion Joint used for Tests

To confirm the loads acting on the expansion joint and the stresses generated in joints by practical vehicles, the authors carried out field tests using an expansion joint installed on a new bridge. The expansion joint used for the tests has a form as shown in Fig.5. This is made of casted aluminium alloy with a tensile strength of 270Mpa and equivalent to NF Standard A-S7G06 [4], and designed with the safety factor based on the Specification of Japan Light Metals Association [5], to decide the allowable stress of the material (Table 4).

In the design method of this joints, a wheel weight is replaced by the contact pressure of a tire which is assumed to act on the expansion joint (Fig.6).

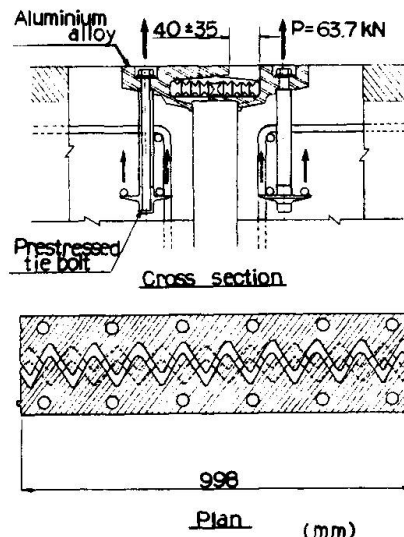


Fig.5 Used joint in loading tests

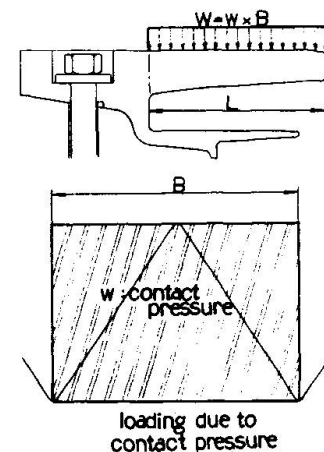


Fig.6 Loading method in design

The wheel weight 78.4kN (8tf), impact coefficient 1.0 and the contact area of wheel 200×500mm are set at the values conforming to the Specification for Highway Bridges [1] and the Manual of Bridge Expansion Systems [2]. As a result, the design contact pressure is the value of 1.6MPa.

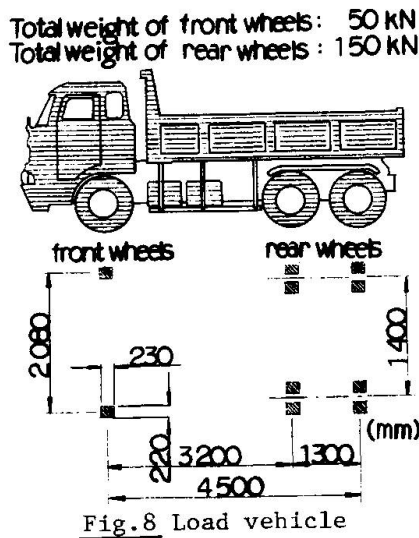
This design contact pressure is larger than the possible maximum intensity 1.1 MPa verified in Chapter 4. The design maximum stress due to this contact pressure can be calculated 77MPa, and has a sufficient margin of safety against the allowable stress. Also, fatigue is not surmised to pose any problems since the fatigue limit of the material is about 78.86MPa as shown in Fig.7.

5.2 Test Results

The static loading tests and the moving loading tests were carried out using a dump truck with a gross weight 200kN (20.4tf) as shown in Fig.8. The static loading tests were conducted for two cases of loading (Fig.9), using a front tire of the dump truck. The largest generated stress in the expansion joint was 18.0MPa, lower than 25% of the design maximum stress 77MPa (Table 5). Also, the stress was lower than 50% of design stress 38.5MPa without impact.

The contact pressure of the tire inversely calculated from the generated stress 18.0MPa was the value of 0.36MPa, which was smaller than the contact pressure of 0.48MPa calculated from the real weight and measured contact area. It can be assumed that a larger portion of the wheel weight was supported by the concrete slab behind the joint due to the higher stiffness.

In moving loading tests, the speed of vehicle was changed in 6 steps from a very slow to 60 km/h. The largest generated stress was 21.3 MPa, and the largest impact coefficient was 0.25 at the speed of 60km/h (Table 6). The coefficient was smaller than the test result verified in Fig.2 of Chapter 3.



Immediately after the new bridge was opened to traffic, the measurement by a stress histogram analyzer was carried out for 24 hrs under the actual traffic load. The largest generated stress was 33.0MPa (Fig.10). The stress was 1.8 times the largest stress

Table 4. Allowable stress of material

Designation	Factor of safety	Stress (MPa)	
Tensile strength	—	270	
Stress in 0.2-permanent strain	—	260	
Yield strength	—	195	
Allowable stress	Tension	1.85	105
	Compression	1.85	105
	Bending	1.85	105
	Shear	$1.85 \times \sqrt{3}$	60

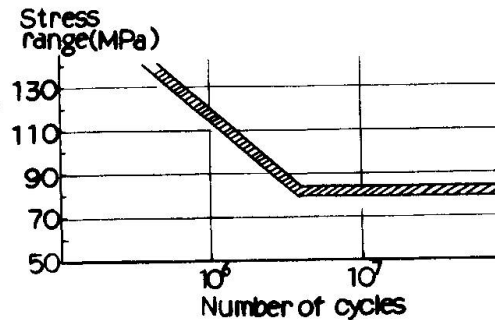


Fig.7 S-N Curve of aluminium alloy (A-S7G06) [4]

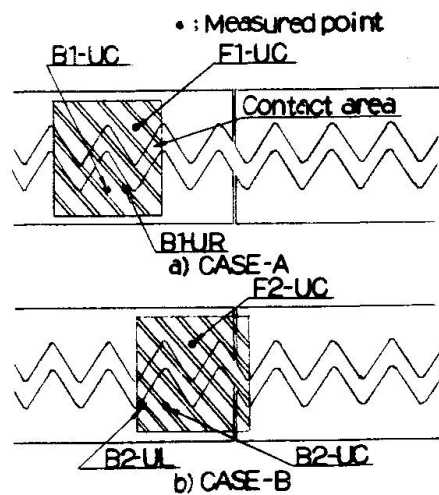


Fig.9 Loading condition



Table 5. Static loading test results

	Generated stress (MPa)					
	B1-UC	B1-UR	F1-UC	B2-UC	B2-UL	F2-UC
CASE - A	14.8	13.2	14.0	—	—	—
CASE - B	—	—	—	18.0	15.1	15.0

Table 6. Running vehicle loading test results

	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6
Vehicle speed (km/h)	very slow speed	10	20	30	40	60
Impact coefficient	0.07	0.16	0.16	0.16	0.22	0.25

in the static loading tests and 1.6 times that in the moving loading tests. From this result, the presence of over loaded vehicles was surmisable.

## 6. CONCLUSIONS

From the results described above, the following conclusions may be drawn :

- (1) It is desirable that as the static wheel weight for the verification of ultimate state, the largest load of 156.8kN (16tf) composed of 1 to 4 tires is to be applied, based on the investigation records of loads of large size vehicles, and that as the wheel weight for the verification of fatigue limit state, the adequate load should be decided, based on the further investigation of the actual condition of over loaded vehicles.
- (2) The impact coefficient acting on an expansion joint can be assumed to be about 0.8 at the largest. However, considering the occurrences of abnormally over loaded vehicles and level differences, it is desirable that the value of 1.0 is to be used as the possible maximum coefficient of impact.
- (3) It can be assumed that the possible maximum intensity of contact pressure is the value of 1.1MPa at the tire load of 120kN (including the impact force), taking into consideration the fact that the tire blows out if the tire load exceeds 120kN.
- (4) The expansion joint used for the tests, designed with the contact pressure of 1.6MPa in accordance with the specification and the manual in Japan, has enough margins of safety compared to stresses generated in the loading tests, and the design method can be assumed to be appropriate to secure the sufficient durability both in the ultimate strength and in the fatigue strength.

In order to verify the durability of other expansion joints with similar structures as the aforementioned joints, various tests are being performed on actual bridges as well as in laboratories including fatigue tests.

## REFERENCES

1. Specification for Highway Bridges, Japan Road Association (JRA), 1980.
2. Manual on Bridge Expansion Joint Systems, Japan Road Association (JRA), 1970.
3. Investigation Report of Design Loads in Hanshin Expressway, Hanshin Expressway Public Corp., 1986.
4. RICHARD, M. and M. DROUZY, Metallurgical Factors and Endurance Limit of Alloys of the Al-Si7 Mg Type, Fonderie - Fondeur d'Aujourd'hui 14, 1982.
5. Specification of Structure Design and Manufacture of Aluminium Alloy, Japan Light Metals Association (JLMA), 1977.

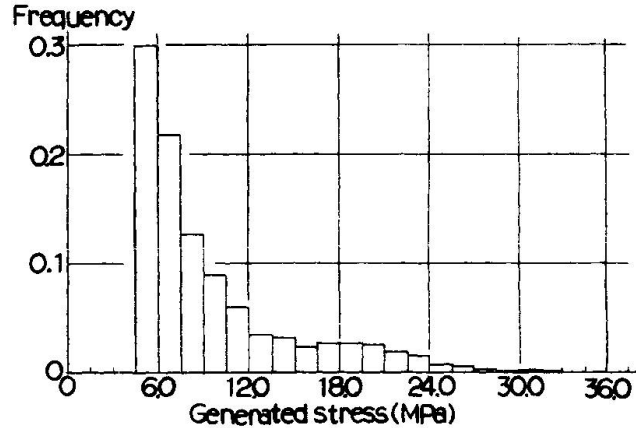
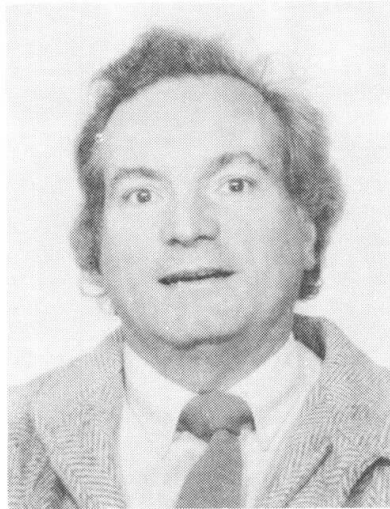


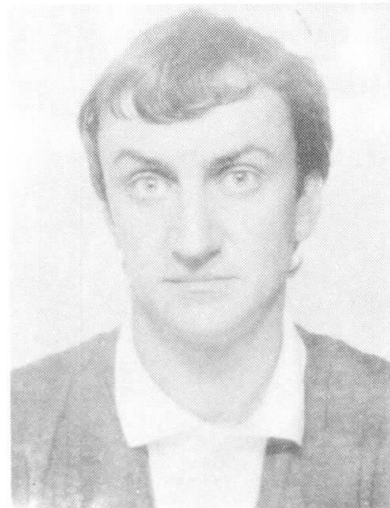
Fig.10 Stress frequency measurement

**Etanchéité d'un simulateur de souffle à grand gabarit**  
Abdichtung eines Windkanals grossen Querschnitts  
Watertightness of a Large Wind Tunnel

**A. CHABERT**  
Ingénieur  
LCPC  
Paris, France



**M. TASSONE**  
Ingénieur  
LRPC  
Toulouse, France



#### RÉSUMÉ

Un simulateur de souffle à grand gabarit (veine tubulaire de 105 m de long et 12 m de diamètre, en béton précontraint) présente des problèmes liés à l'absence d'étanchéité sur l'extrados de la structure. La protection de la précontrainte nécessite une imperméabilisation de la veine après traitement spécifique des joints entre les 14 éléments constitutifs. En raison de la configuration géométrique assez complexe et du délai très court imposé, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées propose la réalisation d'une étanchéité par pulvérisation d'élastomère de polyuréthane haute qualité.

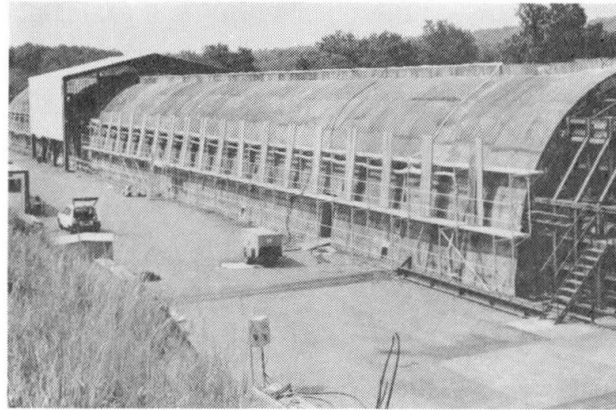
#### ZUSAMMENFASSUNG

In einem Windkanal grossen Querschnitts (Rohrlänge 105 m, Durchmesser 12 m, aus vorgespanntem Beton) zeigen sich Probleme mit der Wasserdichtigkeit. Zur Erreichung der erforderlichen Dichtigkeit ist eine Imprägnierung sowie eine spezielle Abdichtung der Fugen zwischen den 14 Bauwerksteilen erforderlich. Aufgrund der komplizierten Geometrie und kurzen Bauzeit schlägt das Zentrallabor des Strassenbauamtes eine Abdichtung mit einem pulverförmigen Polyurethane-Elastomer vor.

#### SUMMARY

A large wind tunnel (size: length 105 m, diameter 12 m) constructed of prestressed concrete, is giving problems with respect to watertightness. To achieve the required watertightness it is necessary to apply grouting as well as a special sealing of the joints between the 14 structural elements. Due to the complicated geometry and the tight time schedule imposed for the remedial work, the Central Laboratory for Bridges and Highways has proposed sealing the structure with a polyurethane elastomer in powder form.





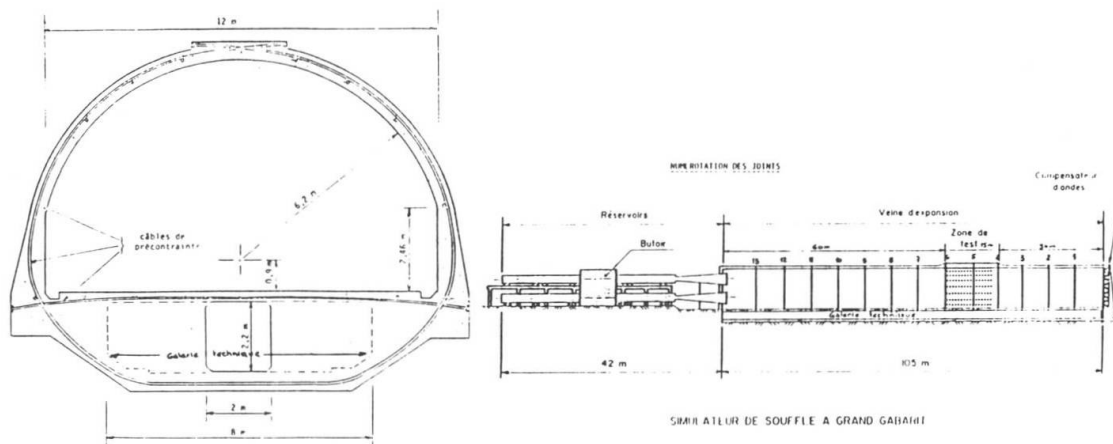
## 1. GENERALITES

Le simulateur de souffle à grand gabarit est une veine en béton précontraint destinée à reproduire les effets mécaniques d'une explosion nucléaire : effets d'une onde de choc et de souffle provoquant des surpressions maximum de 1,4 bar pour un déplacement d'air estimé à 800 km/h.

La veine est formée par 14 éléments semi-circulaires précontraints transversalement par des câbles FU 4-600 de SEEE.

Un hourdis intermédiaire également précontraint transversalement sert de plancher à l'intérieur de la veine dégageant sous sa face inférieure une galerie technique destinée au stockage du matériel.

La longueur de l'ouvrage est de 105 m et sa largeur intérieure au niveau du plancher est de 12 mètres.



Afin de simuler une veine infinie, l'extrémité opposée au système générateur du souffle est équipée d'un compensateur d'ondes muni de volets réglables.

Celui-ci devant résister au souffle généré est "arrimé" à des tenons solidaires de câbles longitudinaux précontraints traversant la veine (36 câbles FU 4-600 de SEEE).

Ceux-ci sont tendus de manière à ce que l'effort de poussée exercé par le souffle sur le compensateur soit repris par l'effort de tension antagoniste des 36 câbles longitudinaux.

Un coefficient théorique de sécurité de 0.5 est retenu pour tenir compte d'éventuelles pertes de tension par frottement et fluage.

L'ensemble des câbles longitudinaux est injecté à la graisse CONDAT TRACTA 1391 pour que l'effort de tension -dû au souffle- mobilise la totalité du câble.

## 2. DESORDRES CONSTATES

### 2.1 Joints

La mauvaise liaison entre les différents éléments de la structure a entraîné

- des épaufrures aux zones en contact (phénomènes thermiques)
- des infiltrations d'eau importantes percolant à l'intérieur
- un délavage de la graisse ressortant des manchonages de gaines avec pour conséquence l'entraînement du produit et la souillure des parements

Sur ce dernier point, une étude approfondie a permis de constater que la graisse présentait un ressuage important (séparation d'huile dans des conditions déterminées). Sous l'influence de pressions internes le fluide lubrifiant peut migrer progressivement à l'intérieur du réseau et se séparer avec formation de poches d'huile. Ce phénomène est d'autant plus accentué que les interstices entre fibres sont grands et que la viscosité du fluide est faible.

L'incidence sur la protection des aciers est très grande car c'est la phase huile qui contient les agents nobles de la graisse que sont les additifs anti-corrosion.

Les ouvertures réalisées sur 4 gaines n'ont cependant pas permis de mettre en évidence un défaut de remplissage global mais il est certain que les surpressions dans les gaines ont entraîné la dissipation de l'huile et non du savon ce qui est préjudiciable à la pérennité des aciers.

### 2.2 Absence d'étanchéité

L'absence d'étanchéité superficielle sur la veine en béton a eu pour conséquence une érosion de celui-ci par l'eau de pluie. Cette eau, en s'infiltrant au travers de la structure attaque la chaux du béton (ciment) et produit les coulures de calcite constatées sur les parements au niveau des fissures.

Si cet aspect d'érosion n'est pas, en lui-même dramatique, bien que l'effet de la carbonatation puisse entraîner une oxydation des armatures superficielles et des éclats de béton, l'action de l'eau qui s'infiltré au niveau des cachetages de la précontrainte transversale (câbles anneaux) peut-être préjudiciable dans l'hypothèse où celle-ci pourrait pénétrer à l'intérieur des gaines et corroder les armatures de précontrainte.

## 3. PROPOSITIONS DE REPARATION

Afin de remédier aux désordres engendrés par les circulations d'eau et aux éventuels risques que celles-ci font courir à la précontrainte (transversale essentiellement) il a été décidé de procéder à l'étanchement extérieur de la veine après préparation spécifique notamment au niveau des joints entre les éléments qui la composent.

Les caractères spécifiques imposés à cette étanchéité sont les suivants :

- Surface à couvrir : 2300 m<sup>2</sup> en 10 jours
- Mise en oeuvre sur support présentant des surfaces
  - . hétérogènes (aspérités - arêtes vives)
  - . horizontales inclinées ou verticales
  - . comportant de nombreux éléments métalliques en saillie
- Résistance aux ultra-violets et infra-rouge et aux intempéries (chape non recouverte)
- Insensibilité aux tensions de vapeur c'est à dire bon coefficient de diffusion (effets de la vapeur d'eau de surface et des surpressions dues aux tirs)
- Bonne résistance à l'allongement au niveau des joints (dilatation thermique) pour des températures comprises entre -30°C et +50°C
- Très bonne adhérence sur béton et acier

Compte tenu des impératifs fixés, tant du point de vue "technique" que du point de vue "délai" (rappelons que la surface à couvrir est un 1/2 cylindre de révolution d'axe horizontal présentant un nombre important de pièces métalliques en saillie, d'arêtes vives etc...) les solutions classiques d'étanchéité ne pouvaient pas donner satisfaction que ce soient les chapes minces (feuilles) ou épaisses (asphalte).



C'est ainsi que la recherche d'une solution nouvelle a été entamée. Et c'est sur proposition du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées qui venait de terminer un chantier expérimental d'étanchéité sur ouvrage d'art à base de polyuréthane, que le Laboratoire Régional de Toulouse a envisagé de proposer cette solution aux responsables du Centre d'Etudes de Gramat.

La majorité des impératifs qui avaient été fixés, était théoriquement satisfaite par l'application d'un revêtement de la gamme BAYTEC de la Société BAYER : le BAYTEC 310-309 qui est un élastomère de polyuréthane de haute qualité à deux composants constitués de polyétherpolyols et de diisocyanate - diphénylméthane.

L'application du produit a été confiée à l'entreprise SERP de ST Georges de Reneins (Rhône). Celle-ci s'effectue par pulvérisation au cours de laquelle se fait le mélange des deux composants.

Celui-ci est contrôlé et corrigé en permanence grâce à un ordinateur qui intègre en temps réel les paramètres essentiels comme la température, les rapports de débit des différents composants, etc...

Le produit prend en moins de 30 s une consistance cireuse puis élastique au bout de 20 mn Il faut cependant attendre 3 jours pour obtenir l'optimum des propriétés mécaniques ou chimiques.

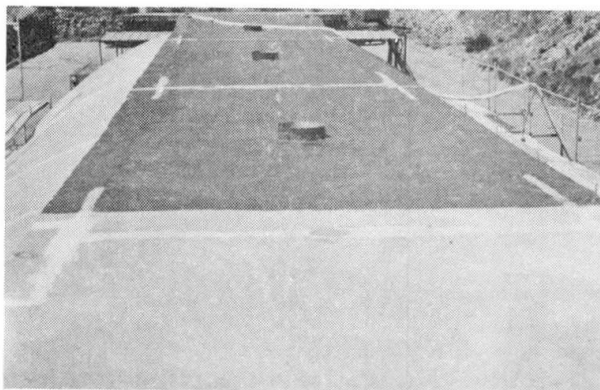


Photo n°1

Préalablement à l'application du BAYTEC 310-309 une couche de fond, destinée à fixer la poussière et améliorer l'adhérence du polyuréthane est mise en oeuvre : SOLYPRIM B de SOLYCA, qui est un système polyuréthane compatible monocomposant durcissant par réaction avec l'humidité de l'air. Cette couche de fond doit être recouverte dans un délai compris entre 8h et 24h.

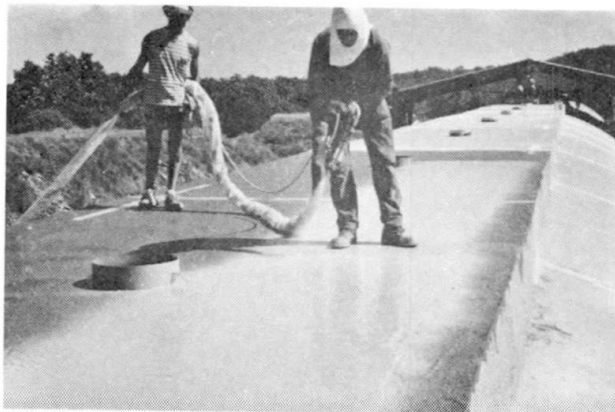
#### 4. TRAVAUX DE REPARATION

##### 4.1 Préparation

Nous n'insisterons pas sur les préparations classiques de ce type de travaux à savoir le sablage du béton, les reprises d'épaufrures, la protection des aciers apparents, etc...

Plus spécifique par contre était la préparation des joints. Il a été décidé de les injecter avec une résine époxydique souple (J24 de SRS) après nettoyage des traces d'huile et calfatage intérieur et extérieur. Ainsi, une bonne continuité d'ensemble a été redonnée à la structure sans avoir à craindre au niveau des joints de problèmes dus aux phénomènes thermiques.

##### 4.2 Application du BAYTEC Photo n°2



Lorsque les préparations ont été réalisées sur une zone assez grande, l'application du primaire Solyprim B et du BAYTEC ont pu commencer. Le délai d'intervention entre les 2 produits a été en moyenne de 16 h (application du primaire la veille), le BAYTEC nécessite une application sur 2 couches (2 passages espacés d'environ 20 à 30 s) d'épaisseur unitaire 2 mm.

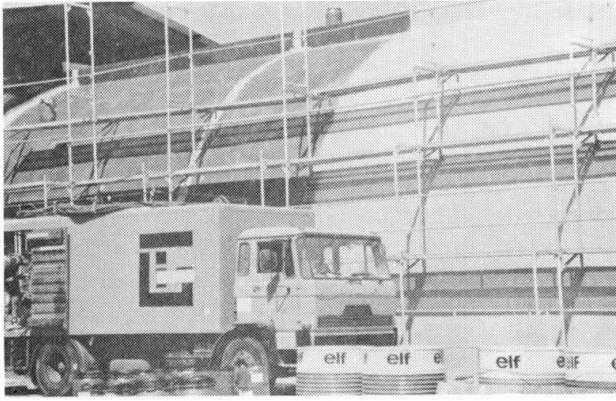


Photo n°3

et saisies par un micro- ordinateur qui gère ainsi en fonction de ces paramètres le dosage de chaque composant.

Cette haute sophistication du matériel est imposée par la technicité de l'opération. En effet, une modification "hors tolérance" de la composition du mélange peut entraîner un changement complet de la texture et de la structure du produit pulvérisé avec perte de ses qualités. Néanmoins, l'expérience d'une anomalie de fabrication -statistiquement prévisible sur un chantier important- a permis de constater la facilité de réparation pour revenir à un niveau de service encore très supérieur à celui obtenu avec d'autres types d'étanchéité.

L'anomalie constatée, s'est présentée sous la forme d'un bullage apparaissant en surface et ne concernant que la deuxième couche. La surface incriminée située au sommet de la veine était de l'ordre de 50 m<sup>2</sup>. La cause de bullage ou cloquage (qui enlevait totalement l'adhérence entre les 2 couches) a été trouvée dans un dérèglement de la composition du BAYTEC suite à une partielle obturation du conduit d'un des 2 composants. L'ordinateur, équipé d'un système d'alarme en cas de dérèglement n'a pas réagi car le système de mesure utilisé au début du chantier ne donnait pas accès au débit mais à la vitesse seulement qui, elle, n'avait pas varié (des modifications ont été apportées).

Ainsi, en présence d'une zone défectueuse, il a fallu prendre les dispositions nécessaires pour redonner un bon niveau de service à celle-ci.

-L'enlèvement de la couche défectueuse a pu être réalisé parfaitement là où apparaissaient les cloques mais très partiellement là où aucune cloque n'était visible avec cependant suspicion de défaillance du BAYTEC. Dans tous les cas, la 1ère couche n'a pu être enlevée tellement l'adhérence au béton s'est avérée élevée.

-L'application, du primaire Solyprim B s'est donc faite sur une surface réparée parfaitement saine.

-L'application définitive du BAYTEC, qui constituait la dernière phase de la réparation n'a posé aucun problème et les essais d'adhérence qui ont été effectués "in fine" sur la zone défectueuse ont donné une résistance moyenne à l'arrachement à 6 jours d'âge de 1.2 MPa ; la valeur la plus faible (0.9 MPa très ponctuellement) a été constatée lorsque la rupture a eu lieu -comme cela était suspecté lors de l'analyse des anomalies- entre 1ère et 2ème couche de la 1ère projection. Jamais une rupture ne s'est opérée entre la 1ère et la 2ème projection ce qui prouve l'adhérence parfaite que l'on obtient lors d'une superposition.

La totalité de cette zone a ainsi été parfaitement réparée et il est raisonnable de penser qu'aucun problème particulier ne l'affectera dans l'avenir. Pour s'en persuader et à titre de comparaison, l'adhérence des chapes traditionnelles sur le béton doit être de 0.4 MPa d'après le STER 81 qui est la recommandation française en vigueur.

Le matériel très sophistiqué utilisé pour la préparation du mélange et son dosage vers la pulvérisation est entièrement embarqué dans un camion autonome- photo ci-contre- Ce matériel est composé de pompes équipées de débit-mètres plongées dans les conteneurs de chaque produit. Chaque pompe est reliée au pistolet projecteur par des flexibles. La température des produits, la température extérieure, l'hygrométrie ambiante et du support sont en permanence mesurées



#### 4.3 Justification de la qualité de l'étanchéité

Dans toute réparation d'ouvrage, l'objectif à atteindre est que le mal dont souffre l'ouvrage soit éliminé par suppression de ses causes. Réparer sans avoir ce souci en tête n'est que leurre. Dans le cas présent, la réussite de la remise en état de l'ouvrage passait par la certitude d'obtenir un revêtement parfaitement étanche -y compris aux nombreuses parties métalliques en saillie- sur une structure à laquelle on aurait redonné une continuité (traitement des joints). Malgré les pannes insidieuses, qui ont entraîné la réparation d'une zone, la qualité du revêtement d'étanchéité appliqué sur l'ouvrage est remarquable. Il n'en faut pour preuve que :

-l'adhérence exceptionnelle du produit sur le béton (supérieure à 1.5 MPa) et surtout sur l'acier (parties métalliques en saillie) qui garantit l'impossibilité à une goutte d'eau de s'infiltrer à l'arrière de ces remontées et de pénétrer sous la chape.

-la résistance à l'allongement (traction simple) mesurée sur les éprouvettes confectionnées sur le chantier (essais Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'AIX EN PROVENCE).

TEMPERATURE	ALLONGEMENT A RUPTURE	CONTRAINTE RUPTURE
20°C	290 %	5.6 MPa
- 10°C	> 62 % *	> 3.1 MPa *
50°C	> 70 % *	> 2.6 MPa *

\* La capacité des enceintes climatiques à - 10°C et 50°C pour l'allongement, ne permettaient pas d'aller au-delà de ces valeurs, mais il est probable que les valeurs à rupture à - 10°C et 50°C auraient été voisines de celles à 20°C

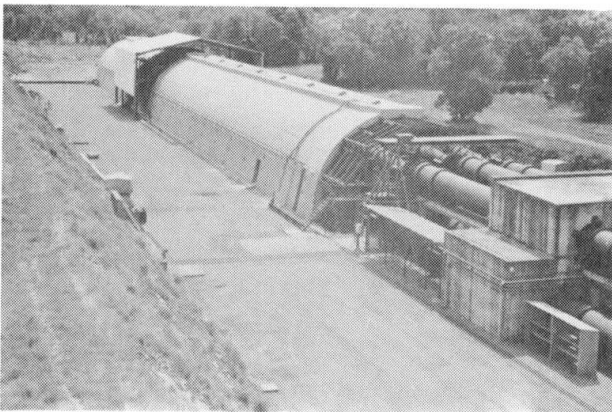


Photo n°4

Quant à la tenue dans le temps de ce type de produit, l'expérience acquise par BAYER sur des ouvrages similaires avec les mêmes conditions d'exploitation, ainsi que les essais de vieillissement accéléré effectués en laboratoire permettent de penser que la pérennité de la réparation sera excellente.

#### 5. CONCLUSION

En conclusion, s'il est clair que la qualité du revêtement d'étanchéité est largement due aux caractéristiques peu communes du BAYTEC, il est néanmoins très important de rappeler, qu'en tant que Technique de pointe, ce type d'application nécessite un équipement très sophistiqué aussi bien en ce qui concerne l'appareillage de projection, que le système de gestion informatique en temps réel du mélange des produits en fonction des paramètres critiques hygrométrie et température.

L'amélioration des performances et de la fiabilité du matériel, qui est par ailleurs le souci permanent des entreprises qui emploient ces techniques de pointe, concourra à éliminer ce que nous appelons le risque statistique d'occurrence d'anomalie et par conséquent à faire de cette technique, un outil remarquable pour résoudre les problèmes d'étanchéité des ouvrages de génie civil et des ouvrages d'art en particulier.

**Langzeitverhalten hochbelasteter unbewehrter Elastomerlager im Ingenieurbau**  
Long Term Behaviour of Plain Elastomeric Bearing Pads under High Stresses  
Durabilité des appuis en élastomère non renforcés soumis à un effort élevé

**Manfred BREITBACH**  
Dipl.-Ing.  
RWTH Aachen  
Aachen, BR Deutschland



Manfred Breitbach, Jahrgang 1957, studierte Bauingenieurwesen an der TH Darmstadt. Seit 1985 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen tätig. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Lagertechnik im Bauwesen.

#### ZUSAMMENFASSUNG

In bestimmten Anwendungsfällen werden unbewehrten Elastomerlagern höhere Pressungen zugewiesen, als sie nach den geltenden Baubestimmungen zulässig sind. Die dauerhafte Lagerfunktion unter solchen Beanspruchungen liegt ausserhalb des bisherigen Erfahrungsbereiches. Es wird das Spektrum des erwartbaren Dauerstandverhaltens marktüblicher Elastomerqualitäten aufgezeigt und es werden Beurteilungskriterien für das Langzeitverhalten formuliert.

#### SUMMARY

Higher stresses are sometimes assigned to plain elastomeric bearing pads than allowed in the construction codes. The durability of the bearing function is outside our range of experience. Based on the commercially documented elastomeric qualities the spectrum of creep and damage is given as well as hints to estimate long term behaviour.

#### RÉSUMÉ

Dans certains cas pratiques des appuis en élastomère non renforcés sont soumis à des pressions plus élevées que celles permises dans les règlements en vigueur. La durabilité et l'efficacité des appuis dans de telles conditions ne sont pas connues actuellement. L'étendue des durabilités annoncées pour des qualités d'élastomères commercialisés est présentée. Des critères de jugement du comportement à long terme sont formulés.



## 1. EINFÜHRUNG

Wirtschaftlichere Fertigungsmethoden im Ingenieurbau erfordern kostengünstige, montagefreundliche und wartungsfreie Lagerausbildungen, die bei niedriger Bauhöhe koinzident ggf. Verschiebungen und Verdrehungen erlauben. Traditionelle Mörtelbettausbildungen führen zu vergleichsweise "starren" Bettungen, die bei Bauteilverdrehungen infolge Kantenpressungen Schäden am Mörtelbett und an angrenzenden Bauteilen hervorrufen können. Stählerne Konstruktionen bedingen Lastkonzentrationen an Roll- und Kippelmenten sowie deutlich höhere Bauhöhen und höheren Kosten- und Montageaufwand. Durch die elastische Verformbarkeit unbewehrter Elastomerlager werden innerhalb bestimmter Grenzen Abweichungen von der Ebenheit und Schiefwinkligkeit zu lagernder Bauteildruckflächen ohne kritische örtliche Spannungsspitzen ausgeglichen. Infolge der relativen Volumenkonstanz des inkompressiblen Werkstoffs führen Vertikalverformungen solcher Lager zu Lagerausbreitungen im Lagerspalt bis zum Erreichen eines Gleichgewichtszustandes (Reibungsschluß). Wegen der nur unzutreffend erfaßbaren Reibungsverhältnisse an den Kontaktflächen werden sehr vorsichtige zulässige Beanspruchungen formuliert [1] .

Bei Lagerungen im Hochbau wird den Elastomerlagern über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks eine vergleichsweise hohe ständige Pressung bei vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen zugewiesen. Pulsierende Beanspruchungen sind wegen der Gefahr des Wanderns aus dem Lagerspalt nicht zulässig. Üblicherweise wird die Eignung eines elastomeren Werkstoffs für seinen Verwendungszweck in Kurzzeitversuchen nachgewiesen. Für die Langzeitbeanspruchung unter ständigen sehr hohen Pressungen existieren jedoch auch in anderen Ingenieurbereichen keine gesicherten Erkenntnisse.

Für Lagerungen, bei denen im Falle der Überbeanspruchung oder des Ausfalls der Lager die Standsicherheit des Bauwerks nicht gefährdet ist [2] , oder in Stützenstößen, werden den Lagern häufig höhere mittlere Pressungen als nach den geltenden Baubestimmungen zulässig zugewiesen [3, 4] . Dabei stehen im ersten Fall wirtschaftliche Kriterien, im zweiten Fall vorwiegend konstruktive einschränkende Randbedingungen im Vordergrund.

## 2 WERKSTOFFE FÜR LAGERUNGEN IM HOCHBAU

### 2.1 Elastomerqualitäten

In der Bundesrepublik Deutschland hat sich im bauaufsichtlichen Bereich des Hoch- und Brückenbaus der Elastomertyp CHLOROPREN-KAUTSCHUK (CR) durchgesetzt. Seit Beginn der 80er Jahre sind kostengünstigere Elastomerqualitäten auf der Basis von ETHYLEN-PROPYLEN-DIENPOLYMEREN (EPDM) auf dem Markt, vereinzelt wurden für diese Werkstoffe bauaufsichtliche Zulassungen erteilt. Im Normentwurf für die bauliche Durchbildung und Bemessung unbewehrter Elastomerlager [3] sind EPDM-Qualitäten als Werkstoff nicht vorgesehen, und für die bereits zugelassenen EPDM-Qualitäten gelten nach [4] geringere zulässige Beanspruchungen. Für solche Lagerungen, bei denen bei Ausfall der Lagerfunktion die Standsicherheit nicht gefährdet ist, ist nach einem geeigneten Nachweis auch die Verwendung anderer Qualitäten nicht ausgeschlossen [2] .

### 2.2 Werkstoffverhalten von Elastomeren unter hoher Beanspruchung

Elastomere Werkstoffe bestehen aus weitmaschig vernetzten Molekülketten. Verformungen bewirken Relativbewegungen der Ketten und innere mechanische Beanspruchungen der Vernetzungsstellen. Innerhalb bestimmter Dehnungen weisen Elastomere zeitabhängig reversibles elastisches Verhalten auf, bei Entlastung

gleiten die Polymerketten langsam in den Ursprungszustand zurück. Dagegen führen hohe mechanische Beanspruchungen zu bleibenden plastischen Verformungen infolge chemorheologischer Effekte wie

- irreversible Umstrukturierung der Moleküle
- Bruch von Polymerketten oder Vernetzungsstellen
- Mikrohohlraumbildung als Folge von Molekülkettengleiten oder -bruch
- Ablösen der Polymermatrix von den Füllstoffpartikeln.

Veränderungen in der chemischen oder physikalischen Struktur äußern sich u. a. in der Abnahme der Bruchspannung, in irreversiblen Deformationen oder in der Beschleunigung des Kriechens. Solche Veränderungen sind zeitabhängig und können in der Regel im Kurzzeitversuch auch unter verschärften Versuchsbedingungen nicht beobachtet werden.

### 3. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Für die baupraktisch orientierte Fragestellung der Eignung und der zulässigen Beanspruchung von CR- und EPDM-Elastomerqualitäten unter hohen Beanspruchungen wurden an allen derzeit auf dem deutschen Markt befindlichen normgerechten oder bauaufsichtlich zugelassenen Elastomerqualitäten Dauerstandversuche durchgeführt. Tabelle 1 gibt Aufschluß über die zugrunde liegenden Versuchsparameter.

Elastomertyp	EPDM					CR					
Elastomerqualität	EPDM					CR					
	1	2	3	3.1	3.2	4	1	2	2.1	3	4
Lagerfläche A mm <sup>2</sup>	100 x 100			100 x 200			200 x 200				
Lagerdicke t mm	5						10				
Drehwinkel $\alpha$	0						0.3 t/a				
mittlere Pressung N/mm <sup>2</sup>	20			40			60				

$\alpha$  : kleinere Lagerseite bzw. Seite rechtwinklig zur Drehwinkelachse

Tabelle 1: Übersicht über die Parametervariationen (nicht vollständiger Faktorversuch)

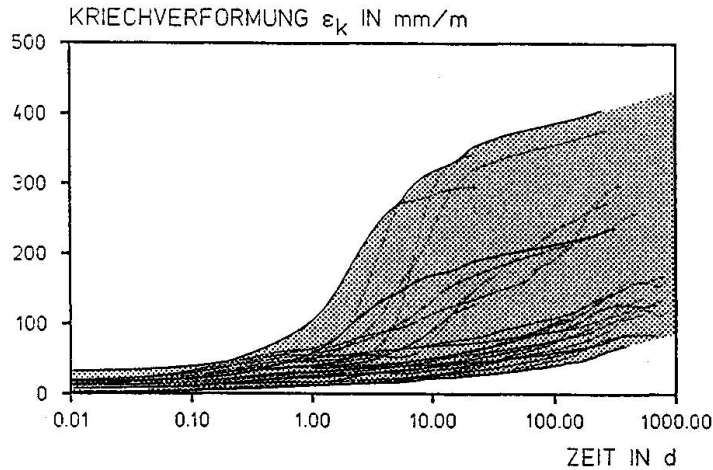
Für die spezielle baupraktische Fragestellung ist die interaktive Wechselwirkung zwischen Lagerverformung und Reibungsschluß an den Betondruckflächen von besonderer Bedeutung. Als Kontaktflächen wurden daher stahlgerahmte Feinbetonscheiben verwendet /5/.

### 4. BEURTEILUNG DES LANGZEITVERHALTENS

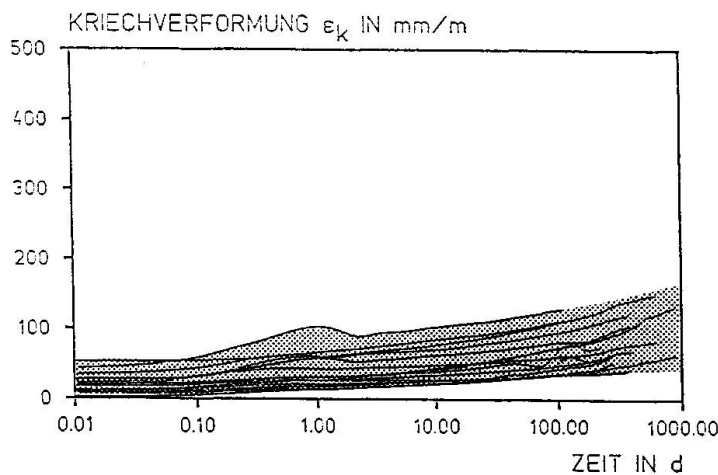
#### 4.1 Kriechneigung

Unter hoher Belastung stellt sich bei Elastomeren nach bestimmter Belastungsdauer eine mehr oder weniger ausgeprägte Zunahme der Kriechgeschwindigkeit ein, ähnlich wie dies bei anderen Werkstoffen in der Nähe der Zeitstandfestigkeit beobachtet wird. In den Bildern 1a und 1b sind die Kriechkurven aus allen Versuchen differenziert nach den Elastomertypen EPDM und CR dargestellt. Zur Formulierung trendmäßiger Aussagen bleiben an dieser Stelle einzelne Parametervariationen unberücksichtigt.





**Bild 1a:** Kriechkurven aus allen Versuchen mit EPDM-Qualitäten



**Bild 1b:** Kriechkurven aus allen Versuchen mit CR-Qualitäten

Die Bilder 1a und 1b illustrieren, daß

- EPDM-Qualitäten gegenüber solchen aus CR stärkere Kriechneigung aufweisen. Dies gilt für die Kriechverformung und -geschwindigkeit gleichermaßen.
- EPDM-Qualitäten innerhalb der zugrunde liegenden Parametervariation einen relativ großen, CR-Qualitäten dagegen einen engen Streubereich aufweisen.
- nach einer Belastungsdauer deutlich länger als 100 Tage insbesondere EPDM-Qualitäten einen progressiven Kriechanstieg zeigen.

Ein progressiver Kriechanstieg deutet auf Versagensvorgänge in der Mikrostruktur hin, die nach bestimmter Beanspruchungsdauer zu visuell erkennbaren äußeren Veränderungen des Lagerkörpers führen.

#### 4.2 Schädigungsgrad der Lager und maximale rechnerische Schubspannungen

Aus visuell an den Lagerkörpern beobachtbaren Schädigungsmerkmalen

- Riss
- Oberflächentextur
- Ablösen der Randschicht
- Gefügezerstörung

kann entsprechend der Wichtigkeit des Merkmals für die dauerhafte Lagerfunktion

ein sogenannter "Schädigungsgrad" der einzelnen Lagerprobe gefunden werden. Die Vergleichbarkeit der Versuche mit unterschiedlichen Parametern kann durch eine rechnerische maximale Schubspannung, die von der mittleren Pressung, der Lagerfläche, der Lagerdicke und vom Drehwinkel abhängt [6], herbeigeführt werden. Diese Schubspannung ist in starkem Maße von der Lagergeometrie (Formfaktor) abhängig. In Bild 2 ist der Zusammenhang zwischen Schädigungsgrad und Schubspannung für eine EPDM-Qualität mit hoher Kriechneigung (EPDM 1) und eine CR-Qualität mit geringer Kriechneigung (CR-1) zusammengefaßt.

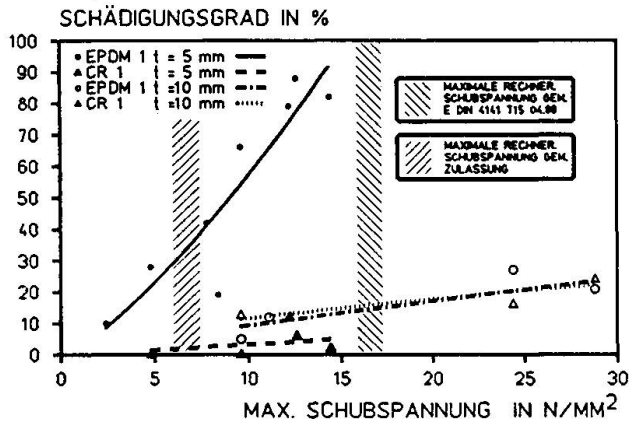


Bild 2: Schädigungsgrad in Abhängigkeit von der maximalen Schubspannung EPDM 1 und CR 1

In das Diagramm sind die aus den zulässigen Beanspruchungen der Zulassungen [3] bzw. der Norm [4] resultierenden maximalzulässigen Schubspannungen eingetragen. Danach führen Beanspruchungen oberhalb derjenigen der Zulassungen in Frage stellen. Aufgrund der speziellen Definition des Schädigungsgrades kann ein Schädigungsgrad bis 25 % für die Lagerfunktion noch als akzeptabel angesehen werden. Innerhalb der normgerechten Beanspruchung zeigen dünne CR-1 Lager vernachlässigbare Schädigungen. Bei 10 mm dicken Lagern aus EPDM 1 und auch bei 5 mm dicken Lagern aus CR 1 werden oberhalb der zulässigen Beanspruchungen der entsprechenden Norm Schädigungen an der Akzeptanzgrenze registriert.

#### 4.3 Beurteilungskriterium für das Langzeitverhalten

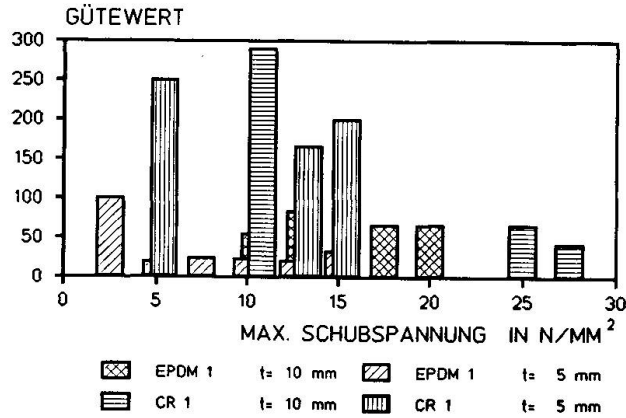
Eine im Bauwesen geläufige Beschreibung des Kriechverhaltens ist die Extrapolation nach Ross; das einfach handhabbare Verfahren scheint auch für Polymere geeignet [7]. Das Verfahren unterstellt eine hyperbolische Kriechfunktion und gilt für einen Bereich mit konstanter Kriechgeschwindigkeit. Dies trifft bei der Mehrzahl der vorliegenden Kriechkurven bis zu einer Belastungsdauer von einem Tag zu (Bilder 1a und 1b). Aus diesem Zeitintervall wird ein die Kriechneigung charakterisierendes Endkriechmaß bestimmt. Die Dauerhaftigkeit der Lagerfunktion kann wesentlich durch eine aus

- dem Endkriechmaß (aus dem Zeitintervall bis zu einem Tag)
- dem Schädigungsgrad (in %)

abgeleitete Rechengröße, dem "Gütwert" (GW) beurteilt werden. Dieser Gütwert wird nach folgendem Zusammenhang ermittelt:

$$GW = (\text{Endkriechmaß} / \text{Schädigungsgrad}) \cdot 100.$$

In Bild 3 ist der Zusammenhang zwischen dem Gütwert und der maximalen rechnerischen Schubspannung für die EPDM 1 und die CR 1 Qualität in Abhängigkeit von der Lagerdicke aufgetragen.



**Bild 3:** Gütwerte für EPDM 1 und CR 1 Lagerproben

Die Darstellung illustriert, daß EPDM 1-Lager unabhängig von der Lagerdicke innerhalb eines Schubspannungsbereiches zwischen 5 N/mm<sup>2</sup> und 15 N/mm<sup>2</sup> Gütwerte kleiner 50 annehmen. Für die dauerhafte Lagerfunktion unter hohen Beanspruchungen muß ein Gütwert größer 75 erwartet werden.

#### 5. BAUPRAKTISCHE SCHLUßFOLGERUNGEN

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen können nachfolgende Hinweise für die Verwendung unbewehrter Elastomerlager unter hohen Beanspruchungen gewonnen werden:

- CR-Qualitäten weisen ausreichendes Dauerstandverhalten bis zu mittleren Pressungen von 20 N/mm<sup>2</sup> auf.
- EPDM-Qualitäten zeigen innerhalb der zugrunde liegenden Versuchsparameter relativ große Streuungen in der Kriechverformung und kleine Gütwerte auf. Innerhalb geringer Beanspruchungen muß bei diesem Elastomertyp unter Umständen mit hohen Schädigungen des Lagerkörpers gerechnet werden. Solche Qualitäten sollten nicht ohne besonderen Nachweis für hochbeanspruchte Lagerungen verwendet werden.

#### LITERATURVERZEICHNIS

1. Sasse, H.R., Gleit- und Verformungslager im Hochbau. VDI-Berichte Nr. 384, 1980.
2. DIN 4141 Teil 3 09.84. Lager im Bauwesen - Lagerung für Hochbauten
3. DIN E 4141 Teil 15 04.88. Lager im Bauwesen - unbewehrte Elastomerlager
4. Richtlinien für die Herstellung und Verwendung von unbewehrten Elastomerlagern. In: Mitteilungen des Instituts für Bautechnik (IfBt), Berlin, 1972, Nr. 6
5. Breitbach, M., Dauerstandverhalten hochbelasteter unbewehrter Elastomerlager in Stützenstößen des Betonfertigteilterbaus. Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (IBAC), Forschungsbericht F 179, 1988
6. Topaloff, B., Gummilager für Brücken - Berechnung und Anwendung. In: Der Bauingenieur 39, Nr. 2, 1964
7. Ehrenstein, G. W., Das Kriechen von Thermoplasten. In: Konstruktion Elemente Methoden (KEM), 1977.