

ERFARINGER MED BROLEJER LEJETYPER, INSTALLATION OG DRIFT

Hans Henrik Christensen, Rambøll



INDHOLD

1. Dimensionering

- Projekteringsgrundlag, lejekonfiguration, lejetyper, designaspekter

2. Udbud

- Lejetegning / lejeskema, kravspecifikation

3. Levering og indbygning

- Beregningsdokumentation, procedurebeskrivelser
- Indbygning / installation, kontrol

4. Drift og vedligehold

- Eftersyn, typiske skader
- Vurdering af skader
- Vedligehold og reparation
- Udskiftning af lejer

Gennemgående tema

- Opmærksomhedspunkter
- Typiske udfordringer

I INDLÆGGET BEHANDLES IKKE

- Betonlejer
- Lejer som skal optage seismisk påvirkning
- Lejer til bevægelige broer (klap- og svingbroer)
- Lejer til store (major) broer
 - Med særlige funktioner såsom monitorering via digital registrering af lejeraktioner (trykceller) og leje- og fugebevægelser - som del af "structural health monitoring" for hele broen
 - Hydrauliske buffers / dæmpere mv.

LEJER ER NØDVENDIGE OG VIGTIGE – OG SKAL KUNNE FUNGERE

1. Uden lejer vil der opstå store tvangskræfter pga. broens bevægelser fra temperatur og svind mm., som potentielt kan udløse store revnedannelser og brud
2. Lejer skal udformes således,
 - at lodrette og vandrette kræfter fra overbygningen kan overføres sikkert til underbygningen
- kræfter kan også hidrøre fra underbygningen, fx som følge af jordtryk, sætninger og påkørsel/påsejling
 - at bevægelser mellem overbygning og underbygning pga. temperaturpåvirkning, svind og krybning mm. kan optages og styres
3. Lejer skal bære store koncentrerede laster - foruden at kunne optage bevægelserne
 - Lejesvigt vil normalt ikke føre til kollaps af broen, men kan føre til funktionssvigt og fx afsporing af tog
4. Lejer er derfor kritiske konstruktionselementer, som er specialudviklet, testet og godkendt til formålet og skal udføres af bestandige materialer i høj kvalitet
 - Dimensionering, installation og drift af lejer skal afspejle dette

LEJER SKAL KUNNE TILSES, VEDLIGEHOLES OG UDSKIFTES – MEN BØR BEGRÆNSES I ANTAL

1. Lejer belastes og bevæger sig, bliver slidt og er mere udsatte for vejr og vind - og utætte fuger
 - Lejer – eller dele heraf – har derfor som udgangspunkt mindre levetid end konstruktionen
2. Lejer skal indbygges så eftersyn, vedligehold, reparation og udskiftning er mulig
 - Adgangsforhold mm. skal tænkes ind i projektet
3. Der bør vælges lejer med lang levetid, minimum vedligehold og begrænset behov for (partiel) udskiftning
 - Lejereparationer og -udskiftninger er potentielt bekostelige og kan gribe ind i den daglige drift / trafik
 - Det bør tilstræbes, at begrænse antallet af lejer (og fuger) og vælge vedligeholdelsesfrie løsninger, fx i form af rammelignende integral-broer med betonlejer

LEJER - DIMENSIONERINGSGRUNDLAG

- Projekteringsgrundlag for broer
- Vejledning til belastnings- og beregningsgrundlag for broer hhv. BN1-59 forskrift for sporbærende broer
- Relevante Eurocodes inkl. nationale annekser (DS/EN 1993-2 Anneks A, DS/EN 1991-1-5, DS/EN 1991-2)
- Lejenormer: DS/EN 1337-serien
- Produktbeskrivelser
- Relevant litteratur

Nyt anneks til EN 1990: Annex G Basis of design for bearings (igangværende revision af Eurocodes ca. 2025)

Erfaringer:

- Vi glemmer at se i Projekteringsgrundlaget
- Vi glemmer dialog med leverandører



LEJER - DIMENSIONERING

Fastlæggelse af system for optagelse af bevægelser og vandrette laster og lejekonfiguration:

- Skal afspejle den virkelige statiske virkemåde og det virkelige bevægelsesmønster for hele broen – både over- og underbygning – rumligt
- Skal indtænke udførelse og konstruktionssekvens
- Skal optimeres og vælges med omhu

Fastlæggelse af lejereaktioner og –bevægelser:

- Karakteristiske og regningsmæssige lejebevægelser: Temperaturbevægelser + tillæg mm.
- Samvirkning med understøtninger: Understøtningers påvirkninger/deformationer og eftergivelighed
- Kombination af laster (lodret, vandret) og lejebevægelser (flytninger, rotationer)
 - Maks./min. kombinationer: Lodret hhv. vandret last dominerende med tilhørende bevægelser og visa versa

Erfaringer:

- Undervurdering af bevægelser og max/min-kombinationer
- Undervurdering af bidrag fra underbygning

REGNINGSMÆSSIGE LEJEBEVÆGELSER – TEMPERATUR, KRYBNING OG SVIND IHT. DS/EN 1993-2 ANNEKS A

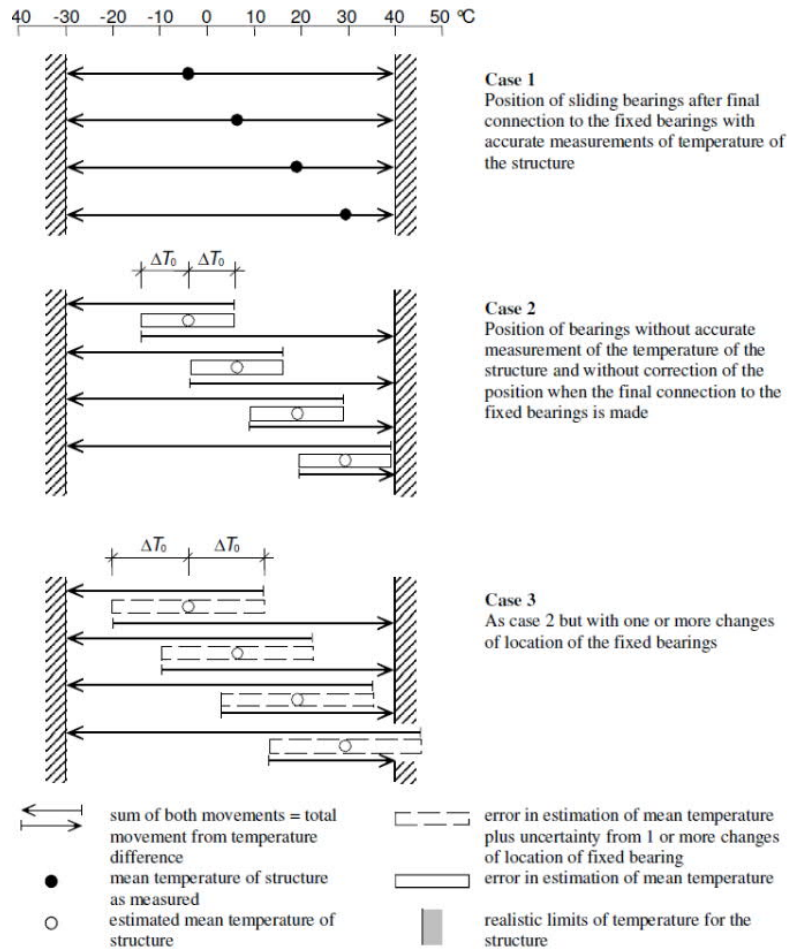
Table A.5: Characteristic values of actions

No.	Action	Eurocode
01	reference temperature T_0	EN 1991-1-5, Annex A
02	temperature difference ΔT_0	
1.4	creep ε_{k,ϕ_k} for $\phi_k = 1,35 \phi_m$	EN 1992-1
	shrinkage $\varepsilon_{sk} = 1,6 \varepsilon_{sm}$	EN 1992-1
2.1	traffic loads	EN 1991-2
2.2	special vehicles	EN 1991-2
2.3	centrifugal forces	EN 1991-2
2.4	brake and acceleration forces	EN 1991-2
2.5	nosing forces	EN 1991-2
2.6	foot path loading	EN 1991-2
2.7	wind on structures	EN 1991-1-4
2.8	wind on structures and traffic	EN 1991-2
2.9	temperature	EN 1991-1-5 6.13 and 6.15
2.10	vertical temperature gradient	EN 1991-1-5 6.14 and 6.15
2.11	horizontal temperature gradient	EN 1991-1-5 6.14 and 6.2
2.12	settlement of substructure	EN 1997-1
2.13	restraint, friction forces	EN 1337

Erfaringer:

- Bidrag fra krybning og svind undervurderes

REGNINGSMÆSSIGE LEJEBEVÆGELSER – TEMPERATUR OG TILLÆG IHT. DS/EN 1993-2 ANNEKS A



Erfaringer:

- Usikkerhed vedr. temperatur og installationstillæg

Table A.4: Numerical values for ΔT_0

Case	Installation of bearings	ΔT_0 [°C]
1	Installation with measured temperature and with correction by resetting	0
2	Installation with estimated temperature and without correction by resetting with bridge set at $T_0 \pm 10$ °C	15
3	Installation with estimated temperature and without correction by resetting and also one or more changes in the position of the fixed bearing	30

- (4) The design values of the temperature difference ΔT_d^* including any uncertainty of the position of the bearings should be determined from

$$\Delta T_d^* = \Delta T_K + \Delta T_\gamma + \Delta T_0 \quad (\text{A.6})$$

Figure A.1: Determination of ΔT_0 to take uncertainties of position of bearings into account

LEJER - DIMENSIONERING

Foranderlige statiske systemer ifm. udførelse og indbygning: Krumme og skæve broer – vridningsdeformationer og risiko for løft

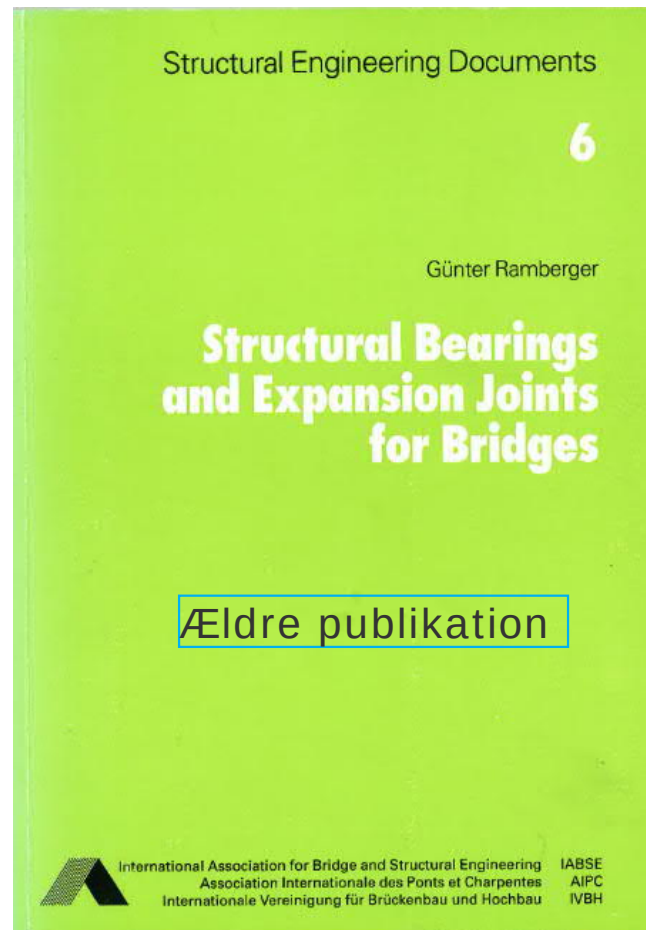
Erfaringer:

- Undervurdering af risiko for løft i lejer
- Uopmærksomhed omkring foranderlige statiske systemer
- Uopmærksomhed omkring udførelsessekvens (ændring af bevægelser og laster)

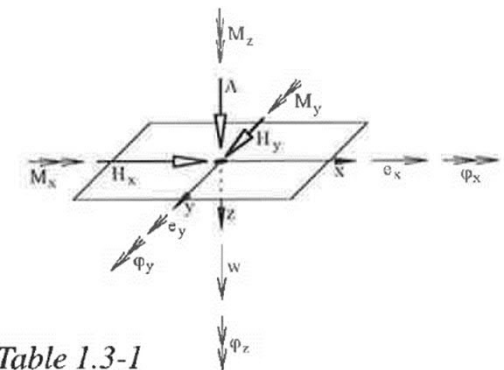
Partialkoefficienter – korrektion ift. katalogværdier, som baseres på Eurocode 'default' partialkoefficient, se Vejledning til belastnings- og beregningsgrundlag for broer og BN1-59 Forskrift for sporbærende broer



LEJEKONFIGURATIONER OG –SYMBOLER OG NOMENKLATUR



Nr	Symbol	Function	Construction	A	H _x	H _y	w	e _x	e _y	M _x	M _y	M _z	φ _x	φ _y	φ _z
1	•	All translation fixed Rotation all round	Point rocker bearing Pot bearing; Fixed elastomeric bearing; Spherical bearing	X	X	X	0	0	0	0	0	0	X	X	X
2	↔	Horizontal movement in one direction Rotation all around	Constr. point rocker sliding bearing; Constr. pot sliding bearing; Const. elastomeric bearing; Constr. spherical sliding bearing	X	X	0	0	0	X	0	0	0	X	X	X
3	↔↔	Horizontal movement in all directions Rotation all round	Free point rocker bearing; Free pot sliding bearing; Free elastomeric bearing; Free spherical sliding bearing; Link bearing with universal joints (tension and compression)	X	0	0	0	X	X	0	0	0	X	X	X
4		All translation fixed Rotation about one axis	Line rocker bearing Leaf bearing (tension and compression)	X	X	X	0	0	0	X	0	(0)	0	X	(X)
5	↔	Horizontal movement in one direction Rotation about one axis	Roller bearing; Link bearing (tension and compression); Constant line rocker sliding bearing	X	X	0	0	X	0	X	0	(0)	X	0	(X)
6	↔↔	Horizontal movement in all direction Rotation about one axis	Free rocker sliding bearing; Free roller bearing; Free link bearing	X	0	0	0	X	X	0	X	0	X	0	X
7	⊙	All horizontal transl. fixed Rotation all round	Horizontal force bearing	0	X	X	X	0	0	0	0	0	X	X	X
8	—•—	Horizontal movement in one direction Rotation all round	Guide bearing	0	X	0	X	0	X	0	0	0	X	X	X



LEJEKONFIGURATION – KRUMME BROER

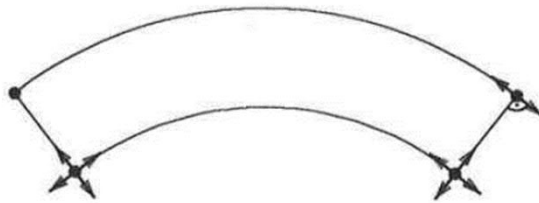


Fig.1.4.2-7: Layout for curved bridges

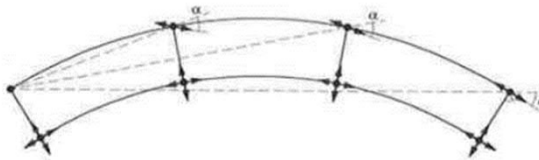
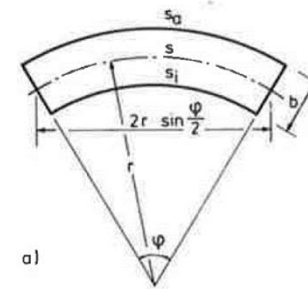


Fig.1.4.2-8: Layout for curved continuous girders (no constraint under overall temperature)

Illustration fra IABSE publikation 6
Structural bearings and expansion
joints for bridges

RAMBOLL



a)

For a curved beam
the following generally
holds true:

$$r = \frac{b}{2} \cdot \frac{s_a + s_i}{s_a - s_i}$$

$$\varphi = \frac{s}{r}$$



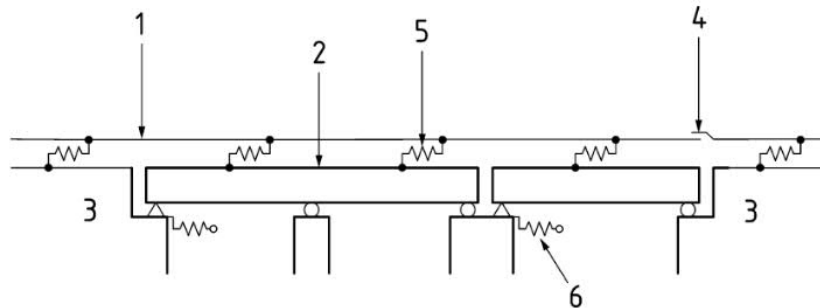
b)

		shrinkage and temperature	long. prestressing
before	deformation	$r_0 = \frac{b_0}{2} \cdot \frac{s_{a0} + s_{i0}}{s_{a0} - s_{i0}}$	
		$\varphi_0 = \frac{s_0}{r_0}$	
after	deformation	$b = b_0 \cdot (1 - \epsilon)$	$b = b_0$
		$s = s_0 \cdot (1 - \epsilon)$	$s = s_0 \cdot (1 - \epsilon)$
		$r = r_0 \cdot (1 - \epsilon)$	$r = r_0$
		$\varphi = \varphi_0$	$\varphi = \varphi_0 \cdot (1 - \epsilon)$

c)

Illustration fra IABSE publikation 1e
Concrete box-girder bridges

LEJEBEVÆGELSER OG -KRÆFTER – SPORBÆRENDE BROER



Key

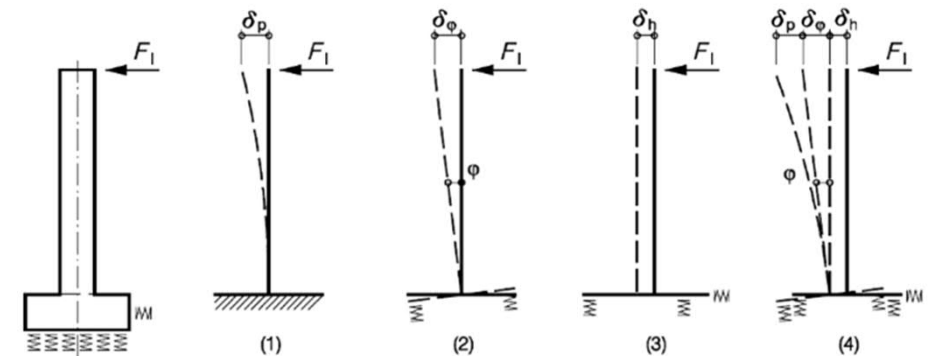
- (1) track
- (2) superstructure (a single deck comprising two spans and a single deck with one span are shown)
- (3) embankment
- (4) rail expansion device (if present)
- (5) longitudinal nonlinear springs reproducing the longitudinal load-displacement behaviour of the track
- (6) longitudinal springs reproducing the longitudinal stiffness, K , of a fixed support to the deck taking into account the stiffness of the foundation, piers and bearings, etc

Figure E.3 — Example of a model of the track-structure system

- Optimeringsmuligheder for brolejer
- Undgå skinneudtræk

$$K = \frac{F}{\delta_p + \delta_\phi + \delta_h}$$

For the case represented below as an example.



Key

- (1) bending of the pier
- (2) rotation of the foundation
- (3) displacement of the foundation
- (4) total displacement of the pier head

Figure E.2 — Example of the determination of equivalent longitudinal stiffness at bearings

Illustration fra DS/CEN/TR 17231
Interaktion mellem spor og bro

LEJEKONFIGURATION – LEJER MONTERES VANDRET

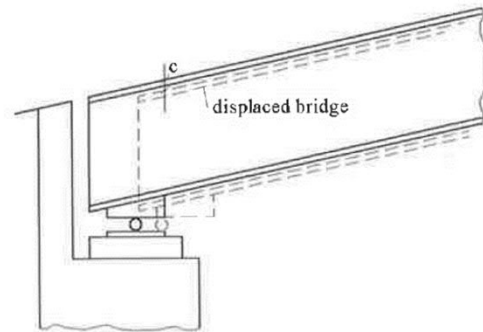


Fig.1.4.1-7: Horizontal arrangement of the bearings (case a)

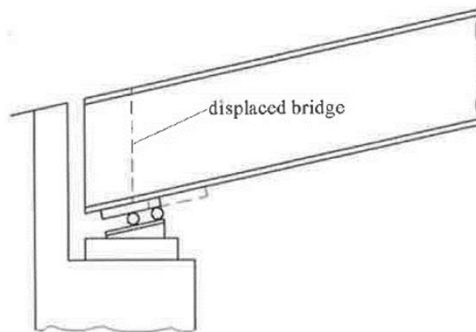


Fig.1.4.1-8: Inclined arrangement of the bearings (case b)

Hældende lejer ved store fugebevægelser og større længdefald?

- Se Projekteringsgrundlag afsnit 4.7.3

LEJER MEDFØRER KONCENTREREDE LEJEREAKTIONER

Illustration fra Iabse publikation 1e
Concrete box-girder bridges

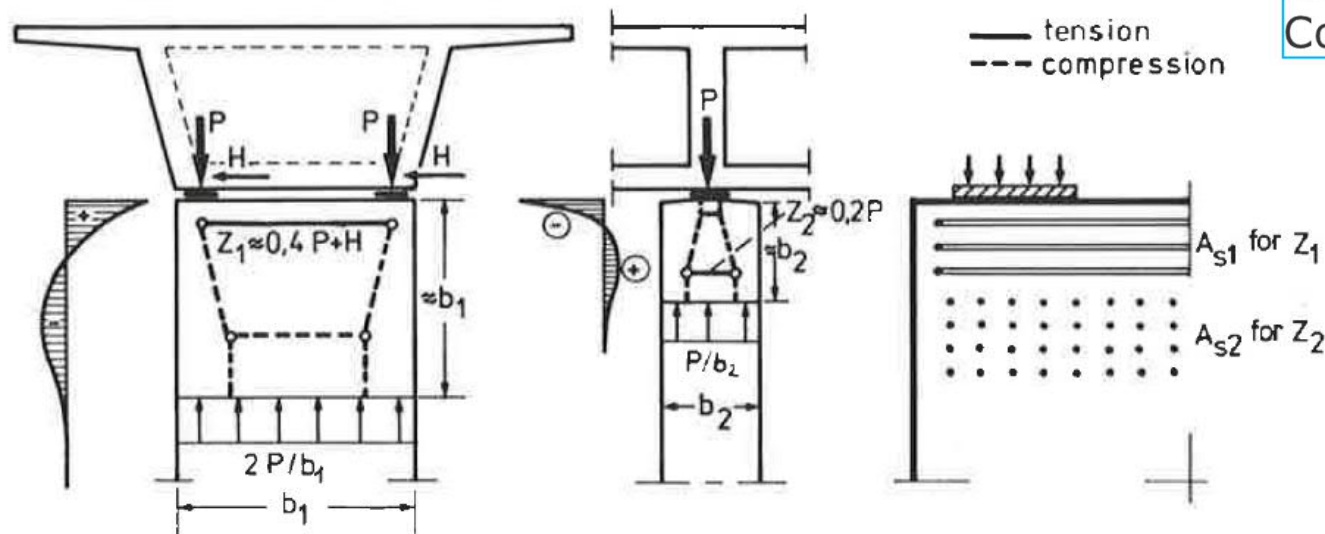


Fig. 36 Force transfer into the pier

Erfaringer:

- Spaltekræfter undervurderes/oversees
- Uoverensstemmelse mellem tilladeligt lejetryk under leje ift. tilladeligt lejetryk i knude for 'strut & tie'-model ('gitter-model')

ARMEREDE ELASTOMERLEJER – KRÆFTER OG BEVÆGELSE OPTAGES AF SAMME ENHED



Fig.1.6.1-1: Elastomeric bearing (unanchored)



Fig.1.6.1-2: Elastomeric bearing (anchored)

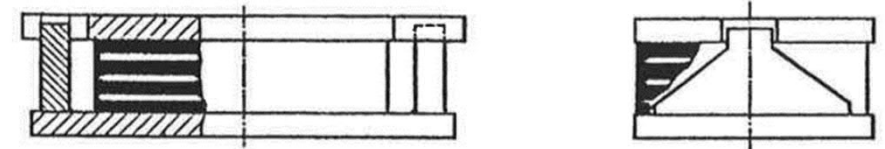


Fig.1.6.1-3: Elastomeric bearing constraint

Combination: elastomeric bearing and steel construction fixed in one direction.

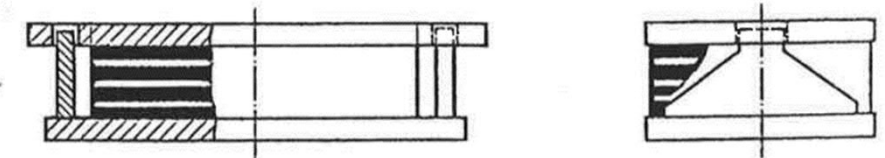
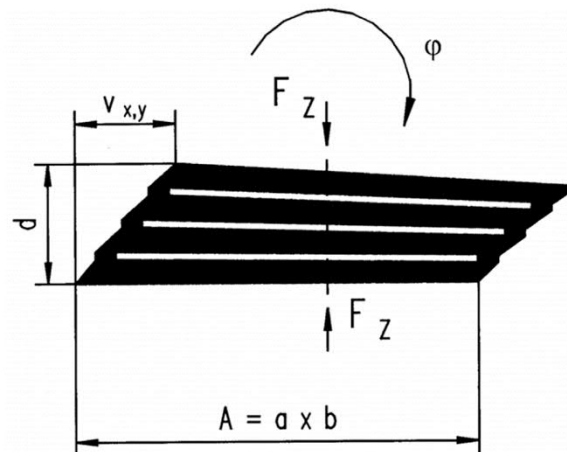


Fig.1.6.1-4: Fixed elastomeric bearing

Naturgummi (NR)

Chloropren gummi (CR) –
mere modstandsdygtigt
overfor ozon, UV mm.



TALLERKEN-LEJER / POT-LEJER

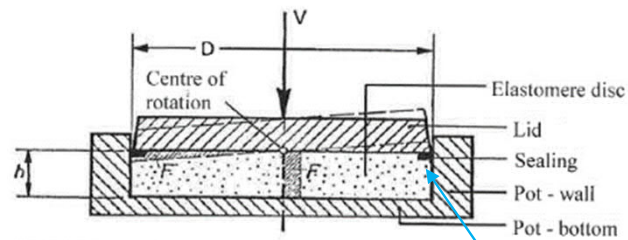


Fig.1.6.3-1: Function of a pot bearing

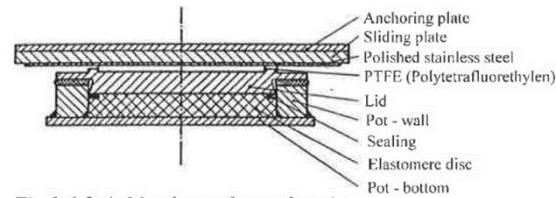


Fig.1.6.3-4: Members of a pot bearing

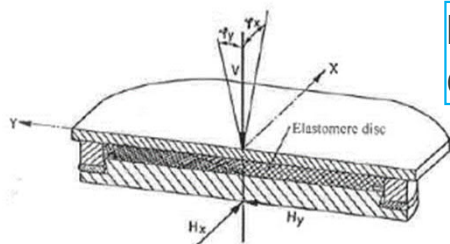


Fig.1.6.3-2: Fixed pot bearing

Forseglingen
er vigtig!

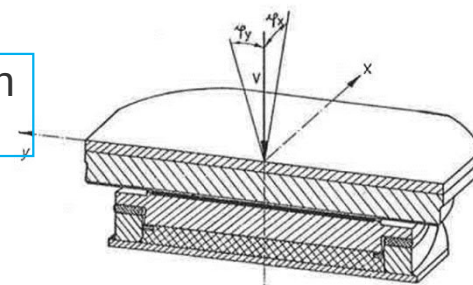


Fig.1.6.3-5: Free pot bearing

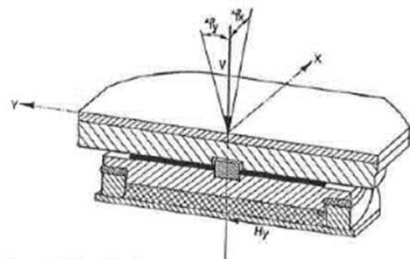
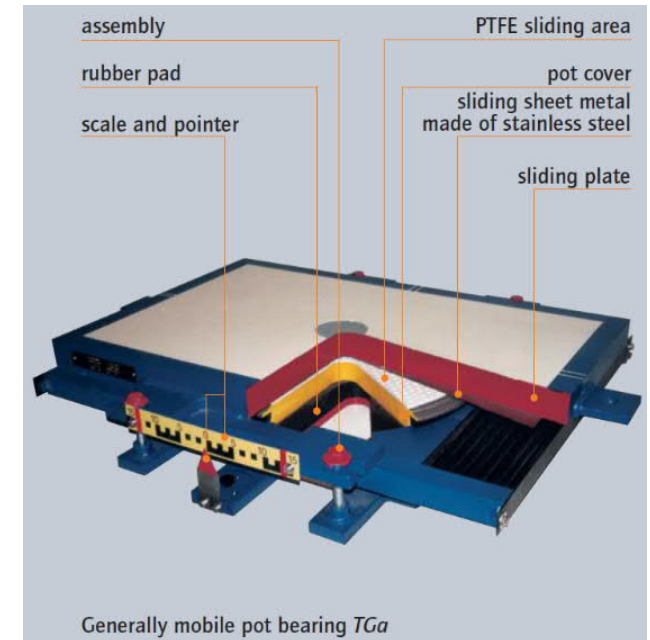


Fig.1.6.3-3: Pot bearing constraint in one direction



Generally mobile pot bearing TGA

Fra Maurer katalog

Potleje, stålbro
(Interaktion spor og bro)



SFÆRISKE LEJER / KALOTTE-LEJER

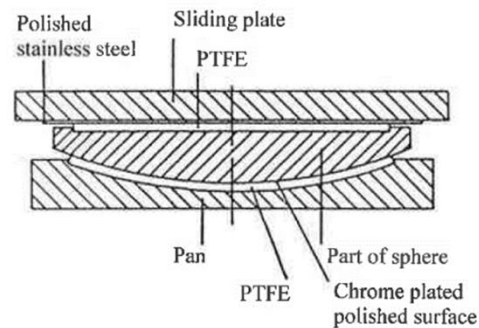


Fig.1.6.4-1: Members of a spherical bearing

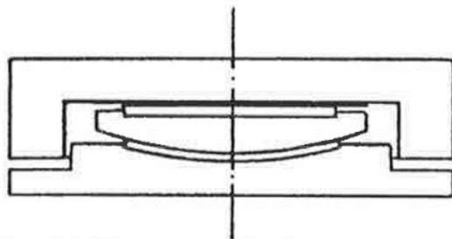


Fig.1.6.4-2: Fix spherical bearing

PTFE erstattet af UHMWPE
Krom overflade erstattet af
særlig metallegering

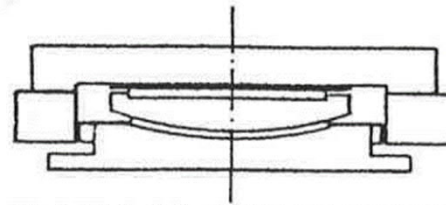


Fig.1.6.4-3: Spherical bearing constraint in one direction

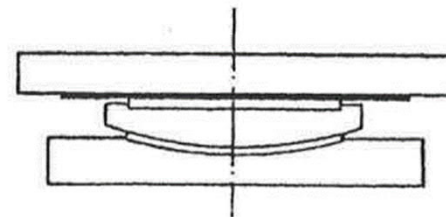
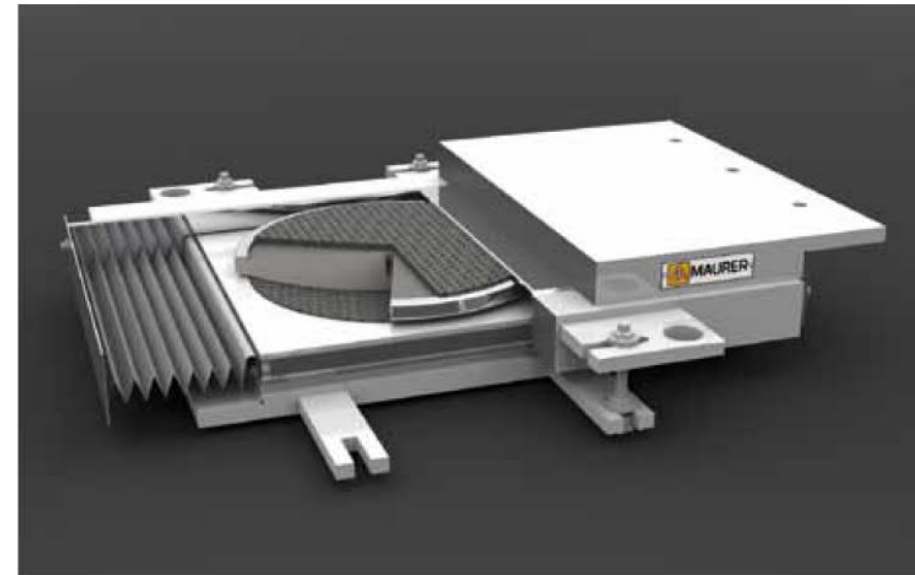


Fig.1.6.4-4: Free spherical bearing



Spherical bearing made from MAURER sliding alloy MSA*

Fra Maurer katalog

- MSM: Maurer sliding material
 - MSA: Maurer sliding alloy
- (Mageba har udviklet lignende)

SAMMENLIGNING AF LEJETYPER

PARAMETER	MSM® SPHERICAL	PTFE POT	ELASTOMERIC
Design pressure on the bearing	128 N/mm ²	46 N/mm ²	15–30 N/mm ²
Size requirement	small	medium	large
Movement	no limitation	no limitation	shear of rubber
Rotation capacity	No limitation	limited	limited
Temperature	-50 °C – +70 °C	-35 °C – +48 °C	-40 °C – +50 °C
Speed	15 mm/s	2 mm/s	Depends on stiffness
Forces caused by a displacement	low	medium	high
Ageing	no ageing	yes	yes
Lifetime expectation	> 50 years	10 – 25 years	10 – 25 years

← Friktion/modstand

↑ Snarere op til 40 år

Illustration fra Maurer's katalog

UDBUD

- Udarbejdelse af lejeskemaer og lejetegninger
- Grundlag: AAB og SAB-P for Lejer
- Udbud på funktionskrav: Kræfter, bevægelser, levetid, holdbarhed
- Særlige krav for det specifikke projekt: Levetid af leje (som helhed hhv. delkomponenter), overfladebehandling, trækpåvirkede lejer, drift- og vedligehold
- CE-mærkning

Erfaringer:

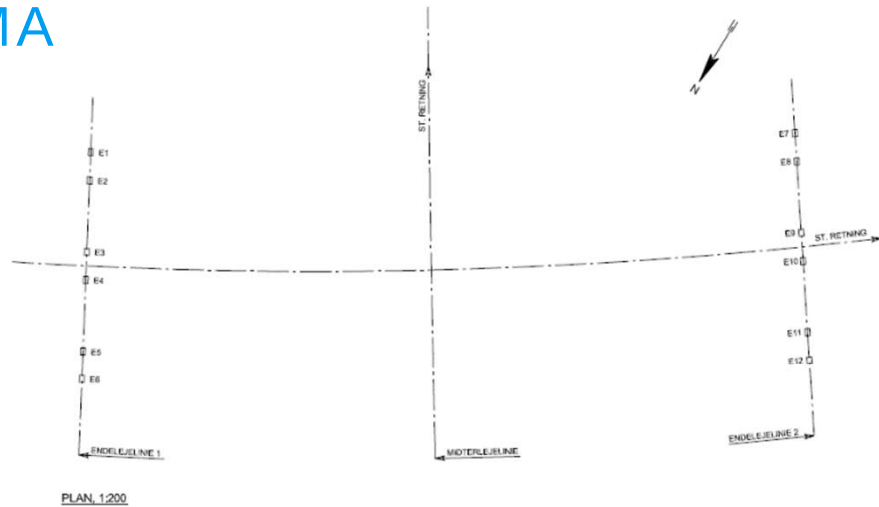
- Alle lejetyper, der kan forventes tilbudt, skal være tænkt ind i design og udbud på forhånd

PARADIGME

- Vejledningstekst i SAB-P giver gode hints

**ARBEJDSBESKRIVELSE FOR
BETONBRO – LEJER – AAB/SAB-P**
UDBUD OG KONTRAHERING
Juli 2018

LEJESKEMA



REGNINGSMÆSSIGE OG KARAKTERISTISKE LASTER

		ENDELEJSLINJE 1						ENDELEJSLINJE 2					
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
LODRET MAX. (KN)	U.S.	7657	3688	3810	3838	3681	7699	7982	3870	4006	4248	3886	7948
	SLS (KARAKTERISTISKE)	5247	2429	2743	2850	2457	5202	5489	2578	2897	2813	2600	5456
	SLS (HYPPIGE)	3873	1596	1897	1888	1737	3914	4172	1820	2134	2049	1850	4130
	SLS (KVASI PERMANENT)	2810	1027	1386	1290	1071	2551	2790	1154	1317	1429	1181	2747
LODRET MIN. (KN)	U.S.	1758	57	965	972	71	1805	1928	188	1101	1110	181	1788
	SLS (KARAKTERISTISKE)	1675	143	1157	1055	150	1857	2053	248	1294	1200	249	2049
	SLS (HYPPIGE)	2075	454	1263	1189	491	2035	2239	575	1430	1337	588	2229
	SLS (KVASI PERMANENT)	2171	837	1373	1290	886	2147	2353	954	1509	1414	967	2342
TRANSLATION (MM) I TRANSLATION VINKELRET PÅ UNDERSTØTNINGSLINJE, DX	U.S.	+/-01	+/-17	+/-31	+/-20	+/-18	+/-30	+/-28	+/-29	+/-29	+/-28	+/-28	+/-28
	SLS (KARAKTERISTISKE)	+/-25	+/-12	+/-20	+/-20	+/-11	+/-24	+/-23	+/-24	+/-24	+/-23	+/-24	+/-23
	SLS (HYPPIGE)	+/-24	+/-13	+/-24	+/-24	+/-13	+/-24	+/-22	+/-23	+/-23	+/-23	+/-23	+/-22
	SLS (KVASI PERMANENT)	+/-24	+/-13	+/-24	+/-25	+/-13	+/-24	+/-22	+/-23	+/-23	+/-23	+/-23	+/-22
TRANSLATION (MM) II TRANSLATION PARALLELT MED UNDERSTØTNINGSLINJE, DY	U.S.	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10
	SLS (KARAKTERISTISKE)	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10
	SLS (HYPPIGE)	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10
	SLS (KVASI PERMANENT)	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10	+/-10	+/-5	+/-6	+/-6	+/-5	+/-10
ROTATION (MRAD) II ROTATION VINKELRET PÅ UNDERSTØTNINGSLINJE, THX	U.S.	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
	SLS (KARAKTERISTISKE)	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
	SLS (HYPPIGE)	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
	SLS (KVASI PERMANENT)	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
ROTATION (MRAD) I ROTATION OM UNDERSTØTNINGSLINJE, THY	U.S.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	SLS (KARAKTERISTISKE)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SLS (HYPPIGE)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	SLS (KVASI PERMANENT)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

DE ANFØRTE TRANSLATIONER OG ROTATIONER GÆLDER KUN FOR ELASTOMERLEJER.

Erfaringer:

- Omhyggelighed og KS påkrævet
- Fejlfortolkning af lejeskema

Table A.3: Typical bearing schedule

	actions (characteristic values)	Bearing reactions and displacements												Bearing No.			
		reaction ¹⁾						displacement ¹⁾						max		min	
		max A	min A	max H _z	min H _z	max H _y	min H _y	max M _z	min M _z	max M _y	min M _y	max t _z	min t _z	max t _y	min t _y	max t _z	min t _y
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
		max w	min w	max a _z	min a _z	max a _y	min a _y	max t _z	min t _z	max t _y	min t _y	max t _z	min t _z	max t _y	min t _y	max t _z	min t _y
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1.1	permanent G, P																
1.2	dead load																
1.3	prestressing																
1.4	creep and shrinkage																
2.1	traffic loads																
2.2	special vehicles																
2.3	centrifugal forces																
2.4	braking and acceleration forces																
2.5	hoisting forces																
2.6	footpath loading																
2.7	wind on structure																
2.8	wind on structure and traffic																
2.9	temperature																
2.10	vertical temperature gradient																
2.11	horizontal temperature gradient																
2.12	settlement																
2.13	restraint / friction force																
3.1	seismic																
3.2	non collapse rupture (U.S.)																
	minimisation of damage (SLS)																
4.1	derailment																
4.2	collision																
4.3	rupture of overhead line																
5.1	combinations																
5.2																	
5.3																	
5.4																	
5.5																	
...																	
		¹⁾ delete if not applicable												given by the producer of the bearing			

This list comprises all reactions and movements in the final stage. When the bearings are installed during erection, they should be readjusted after reaching the final stage and reactions and movements exceeding those of the final stage should be give separately.

LEVERING OG INDBYGNING – KRAV I ARBEJDSBESKRIVELSEN

- Dokumentation:

- Detailtegninger og -beregninger
- Lejemontageplan og –tegninger
- Vedligeholdelsesmanual

Erfaringer:

- Fejl i modtagne beregninger
- Montageplan og procedurebeskrivelser halter

- Materialer

- Glideflader, kalottelejer: UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene), min. levetid 50 år - EAD
- Korrosionsbeskyttelse, ståldele: Korrosionskategori C5

- Udførelse

- Afsætning
- Montage: Forindstilling, midlertidige understøtninger
- Inddækning (beskyttelse af glideflader)
- Faststøbning, understopning

- Kontrol: Anvendte produkter/materialer, geometrisk kontrol

LEJEINSTALLATION - MONTAGE AF BROLEJER, VHFL GUIDELINES (VEREINIGUNG DER HERSTELLER VON FAHRBAHNÜBERGÄNGEN UND LAGERN FÜR BAUWERKE)

→ Association of the manufacturers for expansion joints and bearings (VHFL)

VHFL Guideline 2

Information for construction sites: Installation of bridge bearings Edition 2020-04

Preface

In addition to the specifications of the European Standard EN 1337, the VHFL Guideline 2 also includes manufacturer recommendations which are necessary for the planning and the execution of the installation of bridge bearings. The informations on the bearing drawings and the bearing installation details also have to be respected and considered. The specifications mentioned in EN 1337-11 [9] are also binding when installing the bearing. In the case of a bearing replacement, a bearing exchange concept shall be prepared. In case of difficult installation conditions (eg. steel connection at top/bottom) or when moving special bearings, an installation instruction should also be available.

→ The proper installation of bridge bearings is carried out by specially trained personnel. A specialist of the bearing manufacturer company should be present during installation of the "first bearing of its kind".

Through a successful participation in a VHFL-MPA (Stuttgart, Germany) course "Specialist for the installation of bearings in structural engineering according to EN 1337", the specialist demonstrates the ability to install bearings in bridges and building structures. The performance scope of the bearing manufacturer for the installation supervision is regulated in the VHFL RiLi 1 [11]. The term "first bearing of its kind" is defined as follows:

- Bearings of a particular design, for example spherical bearings, horizontal force bearings
- Bearings, where horizontal forces are transferred to the structure by shear studs
- Bearings, where horizontal forces are transferred to the structure by friction
- Bearings connected to a steel (super-) structure
- Bearings which have a tension anchorage system

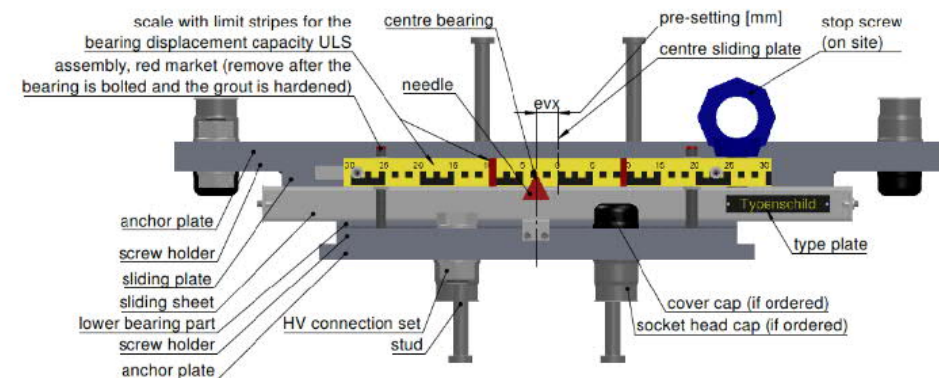


Figure 1: Relevant technical terms and components during bearing installation

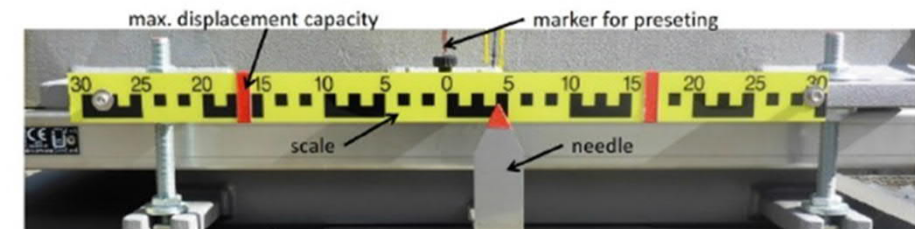


Figure 8: Bearing position indicator acc. Lag 1 [10]

LEJE INSTALLATION - MONTAGE AF BROLEJER, VHFL GUIDELINES



Figure 9: Underpouring of bearing, anchor plate with air outlet holes (left) and spherical fixed bearing (right)



Figure 12: Grouting to the concrete substructure, welding to the steel superstructure

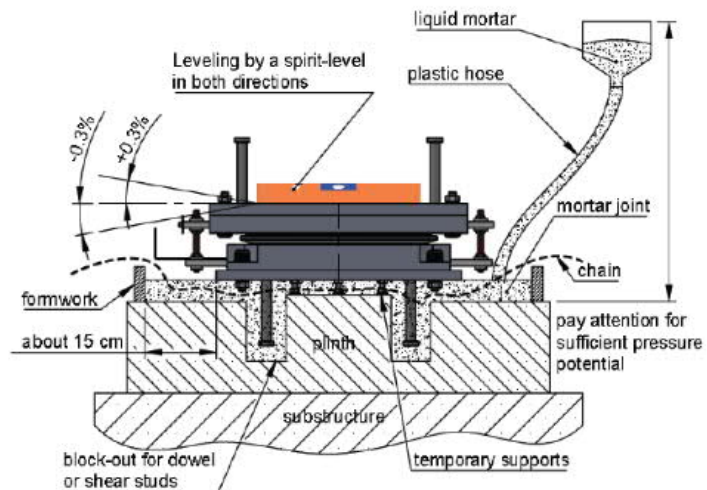


Figure 10: Preparation of the mortar joint to the concrete substructure (schematic)



Figure 14: Grouting to the concrete substructure, bolted connection to the steel superstructure

EKSEMPLER PÅ FEJL I FORBINDELSE MED INDBYGNING

- Forkert dimension indbygget – flere tilfælde
- Fejlagtige/upræcise placeringer
 - Eksempler på montering vinkelret på den retning, de skulle have været
- Understøbning/understopning – en udfordring
- Vulkaniseringssvigt mellem stålplade og elastomerblok



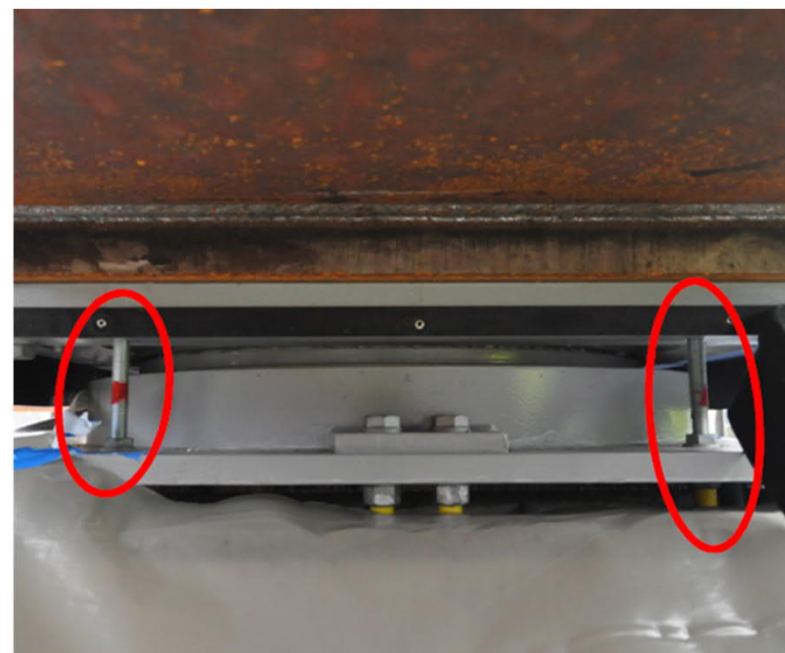
EKSEMPLER PÅ FEJL I FORBINDELSE MED INDBYGNING



Forkert installationsmetode kan forårsage større fejl

Installationsvejledningen skal følges med inddragelse af specialistassistance.

Eks.: Montagebeslag skal fjernes på det korrekte tidspunkt



UNDERSTØBNING OG UNDERSTOPNING ER SVÆRT – KRÆVER ØVELSE/FORPRØVNING



Erfaringer:

- Udarbejdelse af gennemtænkt metodebeskrivelse i overensstemmelse med leverandørens anvisninger
- Prøveunderstøbning/understopning en god investering
- Ikke alle mørtler er lige gode

UNDERSTØBNING OG UNDERSTOPNING ER SVÆRT – KRÆVER ØVELSE/FORPRØVNING

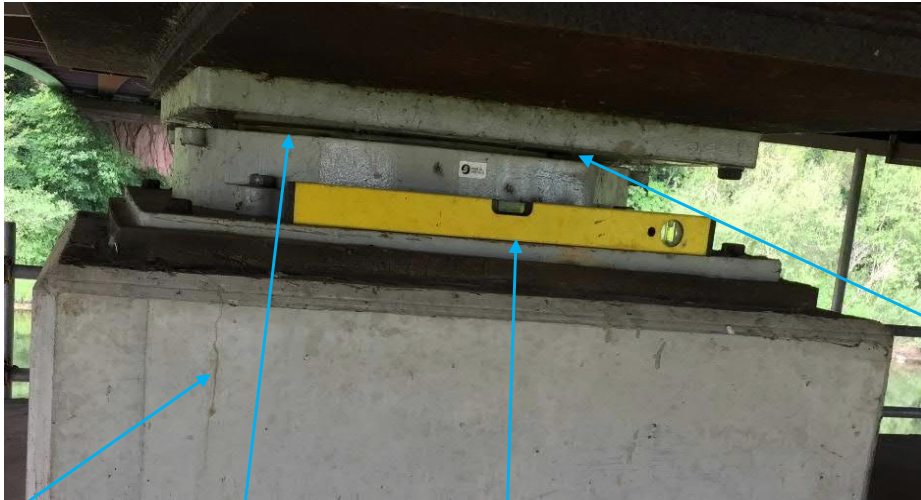


Generelt:

Husk at fjerne opklodsninger ifm.
understopning



TALLERKEN- OG KALOTTE-LEJER - INSTALLATIONSFEJL



Fejl i forbindelse med installation

- For stor rotation (over designgrænsen) => PTFE overbelastet
- Understopning mangelfuld => stålpladen deformeres under belastning => revner i betonkonstruktionen herunder

Ved løbende inspektion:
PTFE -tykkelsen kan måles i forskellige punkter til kontrol af slid (slidhastighed)



PRØVEUNDERSTOPNING OG UNDERLØBNING



Foto 1: (Kopi af en understopning som faktiske forhold på M14, inkl. understopnings redskab til højre i billedet.)



Foto 2: (Der testes for hvornår speciel mørtlen har sin korrekte konsistens.)



Foto 3: (Der afprøves forskellige metoder.)



Foto 4: (Det udføres i "blinde" som i de faktiske forhold.)



Foto 5: (Holdt en pause halvvejs og der fortælles en del knowhow af Mogens Behm fra MB Projekt)

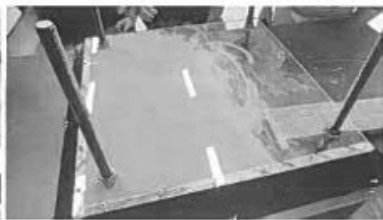


Foto 6: (Resultat af understopning første del, godkendt af MB med mere end 30 års erfaring og teknisk viden.)



Foto 7: (Nr. 2 pose – anden halvdel af sjakket afprøver)



Foto 8: (Der afprøves forskellige trykmetoder og resultatet ses tydeligt, samt der udveksles erfaring. Metoden med et godt tryk ind i mørtlen og der så skubbes fra side til side med en let skrå flade, gør at understopning trykkes bedst mulig sammen.)



Foto 9: (Der afprøves igen i "blinde" som faktiske forhold på stedet)



Foto 10: (Godkendt resultat. De små lufthuller der ses i venstre hjørne, er grundet mørtlen skubber sig selv ud, idet vi kun har understoppet fra en side, som faktiske forhold og vi kun har 2 forskallingssider oppe. På stedet forskalles 3 sider. Som overflade ses der, er den godkendt fra MB Projekt.)

Illustration fra rapport
udarbejdet af MB Projekt

LEJE-PROTOKOLLER SOM SUPPLEMENT – EN IDE ?

VHFL	Fahrbahn- übergänge Brücken- lager	BAUSTELLENINFORMATION Einbaurichtlinie für Brückenlager	VHFL- Richtlinie 2
------	---	--	--------------------------

Ausgabe: November 2010

Anlage 1

Formblatt A 8.3.1

Lagerprotokoll		Seite
Baumaßnahme		Bauwerksnummer (ASB)
Auftraggeber		
Auftragnehmer		Bauwerksname
☐ Ersteinbau ¹⁾ ☐ Austausch ¹⁾ ☐ Korrektur ¹⁾		
Hersteller		
Auftrags-Nr.	Fachkraft (Name)	
Lagerungs- / Lagerversetzplan-Nr.	anwesend am:	
Lagerart	☐ nach Zulassungs-Nr. ¹⁾ ☐ nach DIN EN 1337, Teil ¹⁾	
Geltung der Zulassung		Fremdüberwacher
Mörtelfabrikat, Eignungsprüfung und Verarbeitungshinweise		
Herstellungsart der Mörtelfuge (unten) (oben)		
1	Einbauort (Stützungs-Nr./Lage) nach Plan	
2	Lagerart (Kurzzeichen nach EN 1337-1)/Lager-Nr.	
3	Auflast N_k in kN	
4	Horizontalkräfte V_{ed} / V_{ed} in kN	
5	Verschiebung v_x ± / v_y ± in mm ²⁾	
6	Voreinstellung e_{xx} ± / e_{yy} ± in mm ²⁾	
7	Zeichnungs-Nr. / Blatt-Nr.	
8	Datum der Anlieferung	
9	Ordnungsgemäß abgeladen, gelagert, abgedeckt	
10	Kennzeichnung auf der Lageroberseite	
11	Anzeigevorrichtung vorhanden	
12	Typenschild vorhanden	
13	3-Soft-Meßebeine am Lagerunterteil vorhanden	
14	Sauberkeit und Korrosionsschutz	
15	Planmäßiger und fester Zusammenhalt der Anweisung	
16	Einbauort laut Zeile 1	
17	Anheben des Überbaues Datum / Uhrzeit	
18	Zustand der Mörtelkontaktflächen	
19	Richtung und Größe der Voreinstellung in mm ²⁾	
20	Abweichung von der Horizontalen in mm je m, festgestellt an der Messebene (längs/quer) ³⁾	
21	Mörtel eingebracht am	Uhrzeit (von/bis)
22	Temperatur Luft / Bauwerk in °C	
23	Dicke der Mörtelfuge in mm (u) = unbewehrt, (b) = bewehrt	oben / unten

VHFL	Fahrbahn- übergänge Brücken- lager	BAUSTELLENINFORMATION Einbaurichtlinie für Brückenlager	VHFL- Richtlinie 2
------	---	--	--------------------------

Ausgabe: November 2010

noch Formblatt A 8.3.1

Lagerprotokoll		Seite
Baumaßnahme		Bauwerksnummer (ASB)
Auftraggeber		
Auftragnehmer		Bauwerksname
☐ Ersteinbau ¹⁾ ☐ Austausch ¹⁾ ☐ Korrektur ¹⁾		
24	Absenken des Überbaues am Datum/ Uhrzeit	
25	Anreicherung gelöst / entfernt am	
26	Gleitflächenschutz vorhanden	
27	Sauberkeit und Korrosionsschutz	
28	Datum / Uhrzeit	
29	Temperatur Luft / Bauwerk in °C	
30	Abweichung von der Horizontalen in mm je m, festgestellt an der Messebene (längs/quer) ³⁾	
31	Verschiebung v_x ± / v_y ± in mm ²⁾	
32	Gleitspalt max. / min. in mm	
33	Kippspalt max. / min. in mm	
34	Bemerkungen bzw. Hinweise: ¹⁾	
ANMERKUNG: Die Lager sind ausschließlich mit Stellschrauben zu justieren.		
Fußnoten: ¹⁾ Zutreffendes ankreuzen ²⁾ ± = vom Festpunkt wog. muss bei fehlendem konstruktivem Festpunkt definiert werden ³⁾ Angaben mit Vorzeichen der Verdrehung nach DIN EN 1337-1 Tabelle 1 ⁴⁾ Bei belasteten Lagern können sich durch Verdrehung der Messebene Werte ergeben, die nicht der tatsächlichen Abweichung entsprechen ⁵⁾ z.B. über Bauzustände, vorübergehende Festpunktänderung, Skizze über Bezugspunkte bei Zeilen 20 und 30		
Aufgestellt:		Gesehen:
Ort		Ort
Datum		Datum
Auftragnehmer		Auftraggeber

DRIFT OG VEDLIGEHOLD – SKADER OG UDBEDRING

- Typiske skader:
 - Korrosion af ståldele i fugtige og aggressive miljøer
 - Ældre stål-lejer ruster fast
- Sjældnere skader
 - Revner i overflade af ældre elastomerlejer
 - Inddækning af glidelejer mangelfuld
 - Slidt glideleje (pot- eller kalotte-leje)
 - Lejer i yderstillinger pga. undervurderede bevægelser
- Typiske levetider
 - Ældre stållejer: > 80 år
 - Elastomerlejer: snarere 40 år end 25 år
- Udbedringsmuligheder
 - Reparation, lejeudskiftning

Regelmæssig inspektion af lejer skal være en del af generaleftersynene

- Adgangsforhold en udfordring

Fremgangsmåde ved skader:

1. Beskrivelse af skade
2. Vurdering af skadesårsag
3. Vurdering af skadeskonsekvenser, restlevetid og udbedringsmuligheder
4. Valg af optimal strategi

DRIFT OG VEDLIGEHOLD - KORROSIONSSKADER



Rulleleje, som er låst på grund af korrosion – og ikke virker efter hensigten



Korroderet rulleleje i yderstilling

Bortfaldet leje – stop- og styreanordninger
korroderet bort

Ikke veldefineret lastfordeling – risiko løft

DRIFT OG VEDLIGEHOLD - KORROSIONSSKADER



Styreleje er låst på grund af korrosion

Manglende beskyttelse af rustfri glideflade
medfører forøget friktion



DRIFT OG VEDLIGEHOOLD – SKADER PÅ ELASTOMER-LEJER – EKSEMPLER FRA VHFL



A: Lokale Ausbeulungen, die nicht über die ganze Seite gehen und deren Tiefe ein mehrfaches der Schichtdicke beträgt

B: Großflächige Haftungsfehlflächen zwischen Elastomer und Bewehrungsblechen
Fremdelastomerein-schluss mit geringerer Festigkeit

C: Austausch

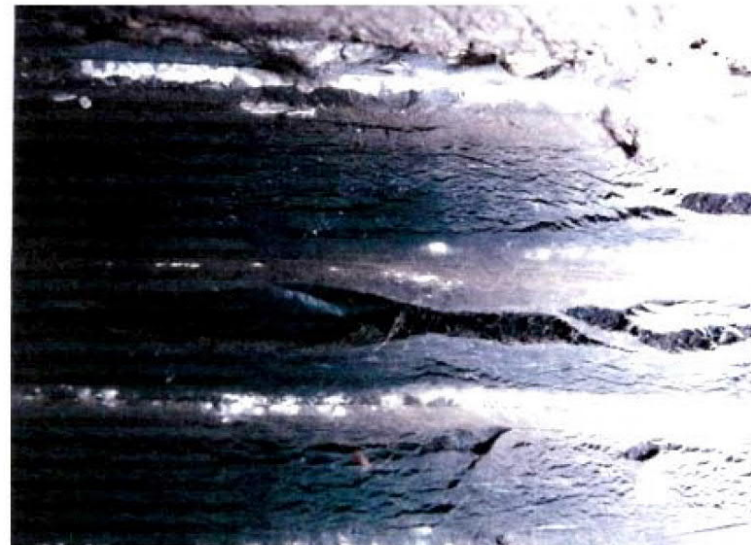
Altafgørende:

- Intakt vulkanisering mellem stålplader og elastomer
- Undgå korrosion af stålplader

A. Beskrivelse af skade

B. Vurdering af skadesårsag

C. Vurdering af skadeskonsekvenser og udbedringsforlag



A: extreme Alterungsrisse

B: hier verursacht durch See-luft-Atmosphäre; zu wenig oder gar keine Ozon-/UV-Schutzmittel beigegeben

C: bei vielen kleinen Rissen: säubern und Oberflächenversiegelung aufbringen
bei sehr großen, tiefen Rissen: säubern und neue Bandage mit Warmvulkanisation aufbringen
wenn auch noch Bewehrungsbleche freiliegen: Austausch

DRIFT OG VEDLIGEHOOLD – SKADER PÅ ELASTOMER-LEJER – EKSEMPLER FRA VHFL



- A: einseitige Druckwülste
- B: exzentrische Belastung, bauseitiges Verdrehungsmoment evtl. Überlastung des Gleitwerkstoffes
- C: i.O. / keine Maßnahmen
Prüfen des Gleitteils, Gleitspalt, Beobachtung des Gleitspalts
ggf. Einbau einer Keilplatte



- A: Lagerecken heben ab (klaffende Fuge)
- B: große Horizontalverformung
- C: Lagerstatik prüfen, Lagerverformung beobachten
Evtl. Austausch des Lagers oder Korrektur der Lagerstellung

DRIFT OG VEDLIGEHOLD – SKADER PÅ ELASTOMER-LEJER



Elastomerlejer med vulkaniseringssvigt:
Fabrikationsfejl og/eller for store bevægelser
(translation eller rotation)

Forkert lejetype og/eller forkert placering af leje i forbindelse med installation (bevægelser og/eller udførelsessekvensens undervurderet)



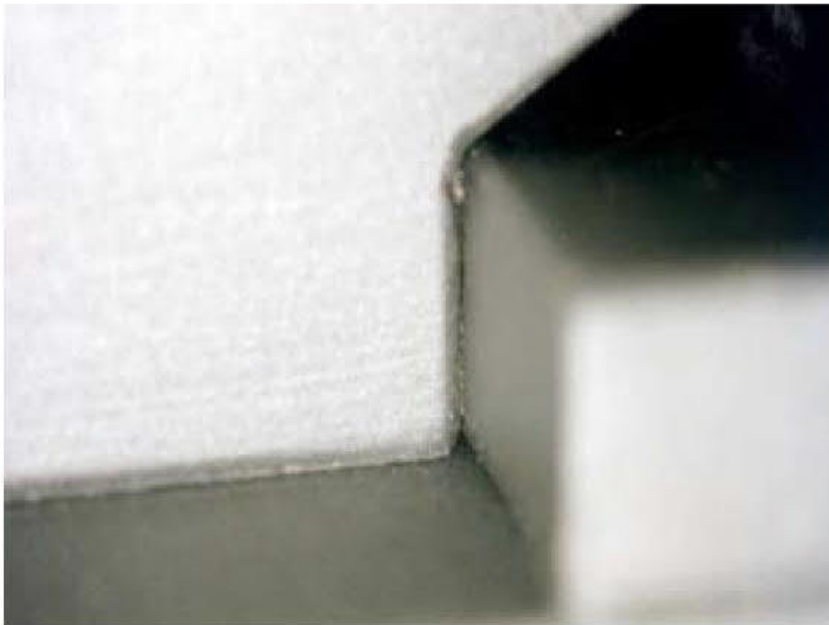
DRIFT OG VEDLIGEHOLD - SKADER PÅ POT-LEJER

Kombination lille lodret reaktion med stor vandret reaktion og stor vinkeldrejning => risiko for:

- Brud i gummiblok
- Separation af PFTE belægning



DRIFT OG VEDLIGEHOLD – SKADER FOR SIDESTYR



- A: Festhaltekonstruktionen haben kein Spiel
- B: Vertikalkräfte zu hoch, Lagerkissen zu niedrig
- C: Lagerstatik prüfen, Lagerkissen auswechseln
Futterplatten zwischen Lagerplatte und Elastomerkissen einbringen
Festhaltekonstruktion prüfen, ob beschädigt ggf. austauschen

Manglende bevægelsesmulighed
– for stor lodret last, for lidt frigang

Eksempel fra VHFL

DRIFT OG VEDLIGEHOLD – LEJER I YDERSTILLING - VÆR PÅ VAGT!



Grundlæggende årsag skal identificeres

Vilsundbroen – flytning af pille 1 pga. ensidig sandophobning

REPARATIONSMULIGHEDER

- Typiske skader:
 - Korrosion af stålele i fugtige og aggressive miljøer – ny overfladebehandling og forebyggelse
- Sjældnere skader
 - Revner i overflade af ældre elastomerlejer – udbedres evt. udskiftning
 - Inddækning af glidelejer mangelfuld / beskadiget - udbedres
 - Slidt glideleje (pot- eller kalotte-leje) - udskiftning
 - Lejer i yderstillinger pga. undervurderede bevægelser – grundlæggende årsag elimineres, evt. korrektion af position
- Ældre rullelejer:
 - Istandsætte alle dele, eller
 - Udskifte ruller og istandsætte resten, eller
 - Udskifte lejet til moderne type (tallerken- eller kalotte-leje)

Moderne lejer har større bevægelsesmulighed (på langs, på tværs, rotationer)



JERNBANEBROEN O. LIMFJORDEN – LEJER FRA 1938 - UNDER OG EFTER UDSKIFTNING (1:1)



- Sikring af vandret stabilitet ifm. hæve/sænke operationer og midlertidige understøtninger
- Særsomt projekt for midlertidige understøtninger



LEJEUDSKIFTNING – ERFARINGER FRA HYLKEDAL (KILDE: LEIF HOLMSTRØM, SWECO, DANSK BRODAG 2018)

- Ældre elastomerleje, ca. 45 år:
Nedbrydning pga. ozon og UV
- Sidestyr rustet fast
- Manglende kendskab til lejers forankring
- Bro var ikke forberedt på lejeudskiftning
- Tvangskræfter kan blive frigivet ved løft
- Hav rigeligt med løftekapacitet

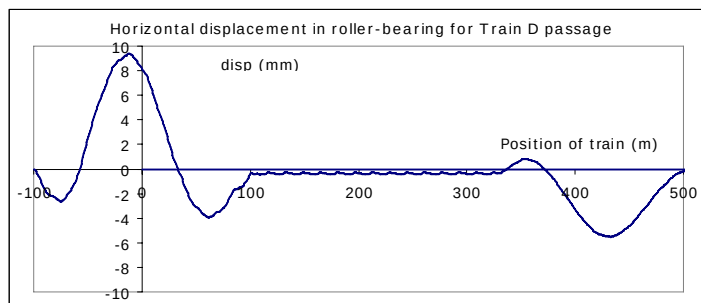
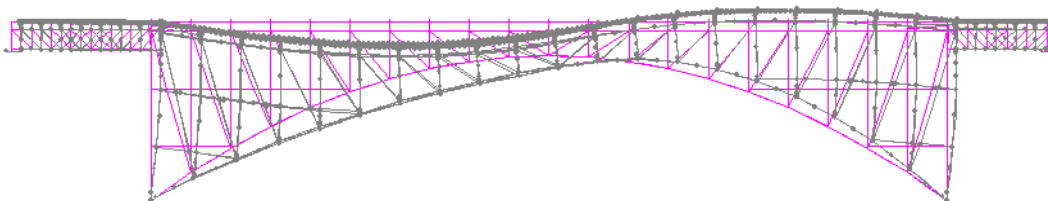


LIMFJORDSTUNNELEN – CA. 60 ÅR GAMLE ELASTOMERLEJER

Ændret lastfordeling, forøget lodret last
pga. sætning af fyld og større forlængelser
end forudsat, men lejer stadigvæk okay



VICTORIA FALLS BRIDGE ZAMBIA - >100 ÅR GAMLE LEJER (?)



RAMBOLL



TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN!