

FACHSTELLE DER WSV FÜR VERKEHRSTECHNIKEN

Bericht

Zustandsgutachten der Antriebstechnik der Cäcilienbrücke in Oldenburg



Koblenz, den 30.01.2009

Allgemeines

Dokumentbezeichnung:	Zustandsgutachten der Antriebstechnik der Cäcilienbrücke in Oldenburg
Art des Dokumentes:	Bericht
Auftraggeber:	WSA Bremen
FVT-Projekt-/Auftragsnummer:	F132 02 088
Aufsteller/in:	Dipl.-Ing. (FH) Marco Krings
<i>weitere Aufsteller/in:</i>	
Bildnachweis:	FVT
Dokumentnummer:	FVT-0186-01-2010
Schlagwörter:	Zustandsgutachten, Verschleiß, Restnutzungsdauer

Dieses Dokument darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der FVT.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	5
1.1. Allgemeines	5
1.2. Zustandsbewertung der Antriebsanlage	5
1.3. Restnutzungsprognose	6
1.4. Interimsmaßnahmen bis zur Erneuerung	7
1.5. Empfehlung	8
2. Zur Verfügung stehende Unterlagen	8
3. Maschinentechnischer Aufbau	9
3.1. Allgemeines	9
3.2. Getriebeplan	11
3.2.1. Antriebsmotor	12
3.2.2. Getriebestufe 1 (G1): Kegel-Stirnradgetriebe	12
3.2.3. Getriebestufe 2 (G2): Winkelgetriebe mit Teilung des Kraftflusses in Brückenlängsrichtung	12
3.2.4. Getriebestufe 3 (G3): Kegelradgetriebe mit Teilung des Kraftflusses in Brückenquerrichtung	13
3.2.5. Getriebestufe 4 (G4): Kegelradgetriebe	14
3.2.6. Getriebestufe 5 (G5): 2-stufiges Stirnradgetriebe	14
3.2.7. Triebstockzahnstangen	15
4. Beurteilung des Allgemeinzustandes der Verzahnung	16
4.1. Allgemeines	16
4.2. Triebstock / Triebstockritzel	17
4.3. Stirnradgetriebe	19
4.4. Kegelradgetriebe G4	19
4.5. Kegelradgetriebe G3	20
5. Ergebnisse der Werkstoffuntersuchungen	20
5.1. Stirnradgetriebe	21
5.2. Kegelradgetriebe	21
6. Ergebnisse der Verzahnungsberechnungen	21
7. Klemmen des Brückenüberbaus	23
7.1. Einfluss der Temperatur / Ausdehnung des Brückenüberbaus	24
7.2. Bewegung der Türme	24
7.3. Anlagensicherheit	25

8. Ergebnis	25
9. Abbildungsverzeichnis.....	26
10. Anhang.....	26

1. Zusammenfassung

1.1. Allgemeines

Das WSA Bremen beauftragte die FVT mit den Schreiben vom 17.05.2005 und vom 02.04.2008 mit der Erstellung eines Zustandsgutachtens der Antriebstechnik der Cäcilienbrücke in Oldenburg. Dieses Gutachten dient zur Ergänzung der Gutachten des Massivbaus und des Stahlbaus, die von der BAW erstellt wurden.

Die Cäcilienbrücke ist eine stählerne Hubbrücke über den Küstenkanal in der Stadt Oldenburg. Sie verbindet die Innenstadt mit dem Stadtteil Osternburg und wurde in ihrer heutigen Form 1927 erbaut. Durch Kriegseinwirkungen wurden der stählerne Brückenüberbau, die Massivbauten und die Maschinentechnik stark beschädigt. Nach Instandsetzung der zerstörten Bauteile wurde die Brücke im Jahr 1948 wieder für den Verkehr freigegeben. In den folgenden Jahrzehnten wurden eine ganze Reihe weiterer Instandsetzungsmaßnahmen realisiert.

1.2. Zustandsbewertung der Antriebsanlage

Die gesamte Antriebstechnik leidet aufgrund der Nutzungsdauer (60 Jahre seit der Wiederinbetriebnahme 1948, einzelne Bauteile der Antriebstechnik können auch älter sein, da bei dem Wiederaufbau nach Zerstörung im Krieg „alte“ Bauteile verwendet wurden) unter einem starken Verschleiß. Dieser Verschleiß ist insbesondere bei den offenen Getriebestufen zu erkennen. Da die (offenen) Getriebestufen die Restnutzungsdauer der gesamten Antriebstechnik bestimmen werden, wurde dem Verschleiß an den Gegengewichtsanlagen weniger Aufmerksamkeit gewidmet. Die Seile haben ohnehin eine festgelegte Nutzungsdauer und werden regelmäßig ersetzt.

Für die **Beurteilung des Allgemeinzustandes** der miteinander verbundenen Antriebsstränge wurden die „offenen“ Getriebestufen G4 und G5 am Turm III beispielhaft für die Gesamtbewertung herangezogen. Hier sind die größten Verschleißerscheinungen festzustellen, zumal dynamische Lastschwankungen und verschleißbedingte Profilformabweichungen bereits deutlich wahrnehmbare Laufgeräusche (Klappern, Schlagen, ...) verursachen.

An den untersuchten **Getriebestufen** äußert sich der fortgeschrittene Verschleiß durch einseitige Tragbilder, starke Riefenbildung, Fressstellen, und z. T. plastische Verformungen. Ein unaufhaltsamer Fortschritt der Flankenschädigung ist sicher.

Die Ergebnisse der **Verzahnungsberechnung** aus dem Jahr 2000 konnten durch die Nachrechnung der FVT mit den tatsächlichen Werkstoffdaten aus einem metallographischen Gutachten grundsätzlich bestätigt werden. Es muss angemerkt werden, dass nach der überarbeiteten DIN 19704-1 (Stahlwasserbauten Teil 1: Berechnungsgrundlagen) für die Getriebestufen teilweise keine ausreichenden Flanken- und Zahnfußsicherheiten vorhanden sind. Da bei der Inbetriebnahme der Cäcilienbrücke oben angeführte Norm noch keine Gültigkeit hatte, muss diese nicht angewendet werden. Der nicht unerhebliche Verschleiß an den Zahnrädern der verschiedenen Getriebestufen zeigt jedoch, dass gerade die fehlenden Flankensicherheiten zu diesen Schadensbildern geführt haben.

An dem untersuchten **Triebstockkritz** ist starker Langsamlaufverschleiß zu erkennen. Hier wurden plastische Verformungen im Bereich des Wälzkreises und Materialverlust an Zähnen festgestellt. An der Triebstockzahnstange sind ebenfalls eine starke Abnahme der Materialstärke im Bereich des Wälzpunktes sowie ein hoher Verschleiß der Bolzen zu erkennen. Zudem sind verschiedene Bolzen in den Stegen lose.

1.3. Restnutzungsprognose

Die Zahnräder der Getriebe werden aufgrund ihres weiter fortschreitenden Verschleißes zunehmend empfindlicher gegenüber **Lastspitzen** und stoßartigen Lasteinträgen. Diese werden u. a. durch das Klemmen (siehe 7) der Brücke infolge der Wanderungsbewegung der Türme und jahreszeitabhängiger Wärmeausdehnung des stählernen Brückenüberbaus hervorgerufen. Weitere Ursachen für die Lastspitzen sind die verschleißbedingten Profilformabweichungen und das nicht saubere Aufliegen des Brückenkörpers auf den vier Widerlagern.

Der bereits starke und weiter fortschreitende Verschleiß wird in Verbindung mit einer für das Alter der Getriebe normalen Veränderung der Werkstoffeigenschaften die Gefahr des Versagens einer Getriebestufe zunehmend erhöhen. Eine belastbare Aussage zur **Restnutzungsdauer** ist in Anbetracht des vorgefundenen Zustandes der Getriebestufen in

Verbindung mit den Betriebsbedingungen an der Anlage schwer zu treffen. Die FVT schätzt den möglichen Betrieb mit etwa 3-5 Jahren ein.

1.4. Interimsmaßnahmen bis zur Erneuerung

Um die Funktionssicherheit der Anlage zu erhalten und ein Versagen einzelner Getriebestufen möglichst zu verhindern, sollten bis zu dem gezielten Ersatz der Antriebstechnik bzw. einem eventuellen Ersatzneubau der Cäcilienbrücke zeitnah folgende Maßnahmen ergriffen werden:

Der Antriebsmotor ist mit einer Überlastsicherung ausgestattet, die zu hohe Lasteinträge in den Antriebsstrang verhindert. Aufgrund der Proportionalität des Drehmomentes und des Motorstroms kann durch eine Begrenzung des Motorstroms ein definiertes Drehmoment festgelegt werden, bis zu welchem die Anlage betrieben werden kann. Diese Überwachung sollte den vorhandenen Gegebenheiten angepasst werden, da somit Lastspitzen durch ein unkontrolliertes Klemmen bis hin zu einem Festfahren des Brückenkörpers vermieden werden. Mit einer stetigen Überwachung (Monitoring) des Stromes und damit auch des abgegebenen Drehmomentes kann das Klemmen durch Ausdehnung infolge von Erwärmung des Brückenkörpers frühzeitig erkannt und vermieden werden. Dies führt zu objektiv begründeten und unvermeidbaren Betriebssperrungen.

Die Maschinentechnik der Cäcilienbrücke ist in kürzeren Abständen (monatlich/vierteljährlich) auf ihre Verschleißentwicklung hin zu überprüfen, da zwischen den Jahren 2000 und 2008 starke Veränderungen zu beobachten waren. Insbesondere sollte bei den Triebstockritzeln sicher gestellt sein, dass die Zahnfußdicke nicht zu stark abnimmt. Die in [4] (siehe 2) ermittelte Mindest-Zahnfußdicke von 55 mm sollte auch nach Auffassung der FVT nicht unterschritten werden.

Die in [10] (siehe 2) von der BAW vorgestellte Alternative der Verkürzung der Endquerträger hätte maßgeblichen Einfluss auf die Maschinentechnik und würde nach derzeitigen Erkenntnissen eine Kompletterneuerung der Antriebstechnik nach sich ziehen. Da eine Kompletterneuerung starke Auswirkungen auf den Überbau und den Massivbau hat, wird diese von der FVT nicht empfohlen.

1.5. Empfehlung

In nächster Zeit müsste ein Austausch der Ritzel inklusive der Zahnräder bestimmter Getriebestufen (insbesondere G4 und G5) erfolgen. In diesem Zusammenhang sollten auch die Neuausrichtungen verschiedener Getriebe und die Erneuerung einiger Wellenlagerungen vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung der geltenden Normen wäre die Erneuerung der gesamten Antriebsanlage nach dem Stand der Technik eine denkbare Alternative gegenüber einer Teilerneuerung in Form eines Nachbaus einzelner Getriebestufen. Würde diese Maßnahme erfolgen, müsste im gleichen Schritt die Erneuerung der Gegengewichtsanlage angegangen werden. Dies hätte dann direkte Auswirkungen auf den Massivbau (siehe 1.4).

Aus wirtschaftlicher Sicht sind beide oben genannten Möglichkeiten nicht zu empfehlen.

Die losen Bolzen der Triebstockzahnstangen sollten durch Verschweißen gesichert werden. Insbesondere an Turm III sollte die Getriebestufe G3 neu ausgerichtet werden. Unter Umständen ist ein Austausch dieses Radsatzes notwendig.

Aus Sicht der Ergebnisse des Zustandsgutachtens und der zunehmenden Gefahr eines Getriebeversagens, welches längere Stillstandszeiten der Brücke nach sich ziehen würde, schlägt die FVT vor, so schnell wie möglich mit den Planungen für eine neue Antriebsanlage (respektive komplette Brückenanlage unter Einbeziehung aller momentan geltenden Normen und Rechtsvorschriften) zu beginnen. Ein alleiniger Ersatz der Antriebstechnik ohne Berücksichtigung des Massivbaus, des Überbaus und der Gegengewichtsanlage ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen. Ein Nachbau der „alten“ Antriebsanlage ist nach aktueller Normenlage nicht realisierbar.

2. Zur Verfügung stehende Unterlagen

[1] Bestandszeichnungen der WSD Nord von 1926/27 und 1948

[2] BAW Gutachten 113048 vom 15.09.1981

Gutachterliche Stellungnahme über den baulichen Zustand der Cäcilien-Hubbrücke über den Küstenkanal in Oldenburg

- [3] Eriksen und Partner GmbH Bauwerk Cäcilienbrücke Oldenburg
V.M. Maschinenbauliche Anlage September 2000

- [4] Ingenieurbüro E. & W. Brüning, Emden Maschinenbautechnische Berechnung
Cäcilienbrücke Oldenburg, Fahrtrieb I 885 06.12.2000

- [5] A.S.T. Angewandte Systemtechnik GmbH Dresden, Wägetechnische
Untersuchungen an der Cäcilienbrücke Oldenburg 16.09.2000

- [6] BAW Gutachten, Vorabinformation zu den hauptsächlichen Ergebnissen der
Begutachtung der Cäcilien-Brücke Oldenburg, 1.02.10231.00 – Juli 2006

- [7] BAW Gutachten, Gutachten über den baulichen Zustand der Cäcilienbrücke
Oldenburg (stählerne Hubbrücke über den Küstenkanal bei km 0,837, 1.02.10231.00-
Oktober 2006

- [8] Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH, Prüf-Nr. 7 04 011 HH, Untersuchung zweier
Zahnräder und einem Kegelrad an einer Antriebseinheit der Hubbrücke Oldenburg,
23.04.07

- [9] BAW Gutachten K1-231.2-A39550110227-Ze, Oldenburg, Küstenkanal - km 0,837,
Cäcilienbrücke Bauwerksverformungen

- [10] BAW Gutachten, Cäcilienbrücke Oldenburg, Zustandsgutachten, Nachsorge
Zunahme Bewegungstrend Hubtürme 1.02.10231.00-Februar 2008 Konzept für die
stahlbauseitige Notlösung „Endquerträgerverkürzung“

3. Maschinentechnischer Aufbau

3.1. Allgemeines

Die Brücke hat eine Spannweite von 40,80 m und quert den Küstenkanal in einem Winkel von 30°. Die Gesamtbreite der Brücke beträgt 10,30 m. Bei der Cäcilienbrücke Oldenburg

handelt es sich um eine Hubbrücke, die elektromechanisch über vier Triebstöcke an allen vier Brückenecken gehoben und gesenkt werden kann. Die Brücke besteht an beiden Uferseiten aus jeweils zwei gemauerten Türmen mit innen liegenden Stahlgerüsten. In den insgesamt vier Türmen werden die Gegengewichte geführt, die mit Seilen mit dem Stahlüberbau verbunden sind. Dabei haben die vier Triebstöcke die Differenz aus dem Brückengewicht (ca. 277 to) und der Summe der vier Gegengewichte (ca. 255 to) von ca. 22 to zu heben und zu senken.

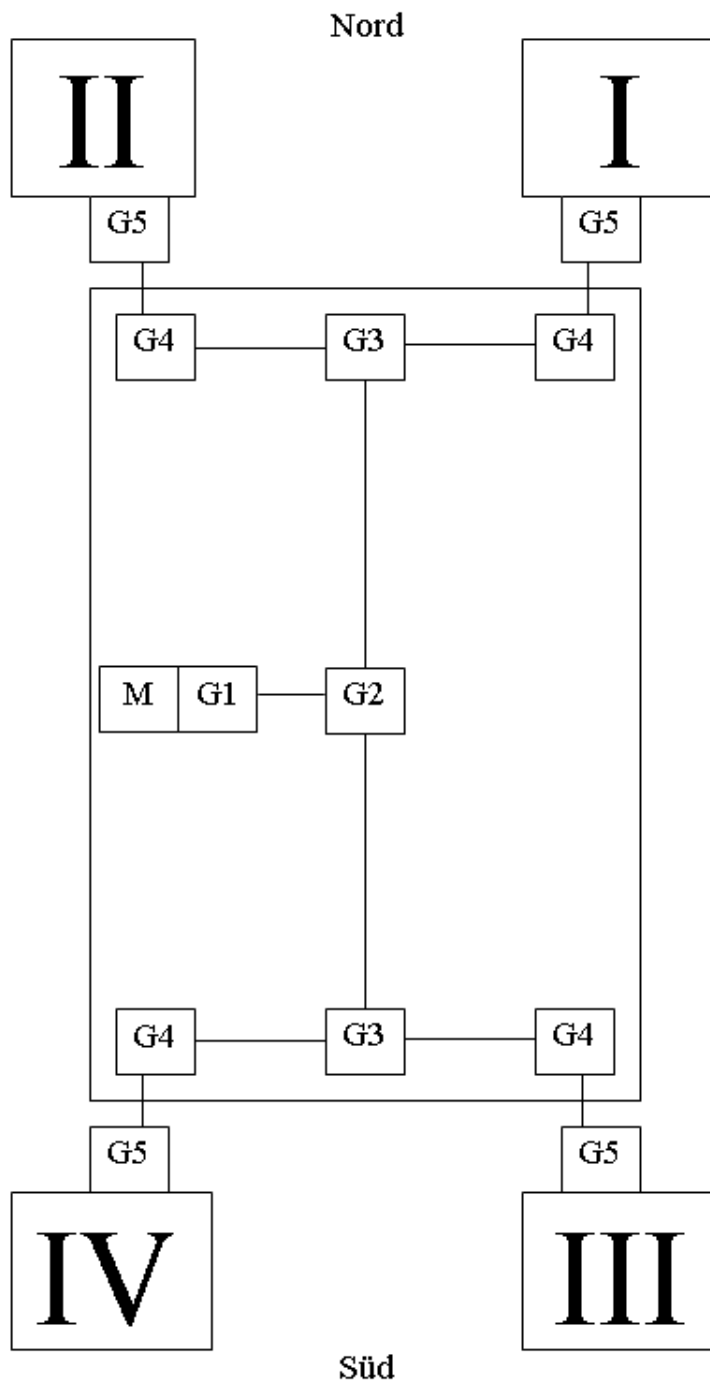
Die Hubbewegung wird über die vier Triebstöcke an den vier Eckpunkten der Brücke bewerkstelligt. Die Triebstockzahnstangen sind an den Türmen befestigt. Die Triebstockritzel sind jeweils an den Enden der Endquerträger des stählernen Brückenüberbaus gelagert. Über mehrere Getriebe treibt ein in der Mitte der Brücke angeordneter Motor alle vier Triebstockritzel mit der gleichen Drehzahl an. Der Hub- bzw. Senkvorgang von ca. 3,5 m dauert jeweils ungefähr 1,5 min. Pro Tag werden ca. 25 Hubvorgänge durchgeführt, die von einem Bedienstand auf der Brücke aus initiiert und überwacht werden. Bei der Annahme von 25 Hub- und Senkvorgängen am Tag, einer Annahme von 300 Betriebstagen im Jahr und 60 Betriebsjahren seit 1948 ergibt sich für die Getriebe eine Betriebsstundenzahl von 22.500 h. Das Hubwerk besteht im Einzelnen (siehe 3.2) aus dem in der Mitte des Brückenkörpers auf der westlichen Seite angebrachten Antriebsmotor (Leistung 30 kW), an dem das Kegel-Stirnradgetriebe G1 (geschlossenes Getriebe) angeflanscht ist. Über eine Welle wird das Moment zur Brückenmitte zu dem Winkelgetriebe G2 (Kegelradgetriebe) geleitet. Von dort überträgt eine Welle die Leistung an die an beiden Endquerträgern gelegenen Winkelgetriebe G3 (offene Getriebe). An diesen Getrieben teilt sich die Kraft in Richtung der beiden Enden der Endquerträger auf und wird über eine Welle an die Kegelradgetriebe G4 (offene Getriebe) weitergeleitet. An diese Kegelradgetriebe schließen sich die Stirnradgetriebe G5 (offene zweistufige Stirnradgetriebe mit Triebstockritzel) an. Die Gesamtübersetzung der Getriebestufen ist $i=540$. Dies führt bei einer Drehzahl des Motors von 1.460 1/min zu einer Fahrgeschwindigkeit der Brücke von ca. 2,72 m/min.

Die Schmierung der geschlossenen Getriebestufen erfolgt durch Schmieröle. Die Schmierung der offenen Getriebestufen und der Triebstöcke erfolgt durch Schmierfette, die manuell aufgetragen werden und auf den Zahnflanken haften.

Die Schmierung durch Schmierfette hat gegenüber der Tauchschmierung (geschlossene Getriebe) erhebliche Nachteile. In Verbindung mit dem „Langsamlaufen“ insb. des Triebstockes kommt ein tragender Schmierfilm nur unzureichend zustande. Der Eintrag von Fremdpartikeln (Schmutz, Staub, Sandpartikel) führt in Verbindung mit einem nicht

tragenden Schmierfilm zu Riefenbildung, Grübchenbildung und insgesamt zu einem deutlichen Verschleiß bis hin zu einem Fließen des Materials.

3.2. Getriebeplan



3.2.1. Antriebsmotor

Der 30 kW - Elektromotor, der das Heben und Senken der Brücke ermöglicht, befindet sich in einem geschlossenen Kasten.

Bei dem verwendeten Motor handelt es sich um einen Drehstromasynchronmotor, der mit einem Frequenzumrichter der Fa. Alstom (Alspa MD 2000) betrieben wird.

Nenn Daten des Motors laut Typenschild:

Leistung: 30 kW, Betriebsspannung: 380 V, Netzfrequenz: 50 Hz, Nennstrom: 57 A, Nenndrehzahl: 1.460 min^{-1} , Einschaltdauer: 25%, IP44. Der Motor wurde im Jahr 2008 generalüberholt.



Abb 3-1: Umhausung des Antriebsmotors

3.2.2. Getriebestufe 1 (G1): Kegel-Stirnradgetriebe

Die erste Getriebestufe im Antriebsstrang ist ein Kegel-Stirnradgetriebe, das an den Motor angeflanscht ist. Dort wird die Antriebsrichtung um 90° gedreht und es erfolgt eine Übersetzung mit dem Faktor $i=10$.

3.2.3. Getriebestufe 2 (G2): Winkelgetriebe mit Teilung des Kraftflusses in Brückenlängsrichtung

Bei dieser zweiten Getriebestufe handelt es sich um ein Winkelgetriebe, dessen Aufgabe darin besteht, den Kraftfluss aufzuteilen und um 90° umzulenken, damit er über die

angeschlossenen Wellen an die beiden Brückenköpfe weitergeleitet werden kann. Die Übersetzung ist $i=1$.

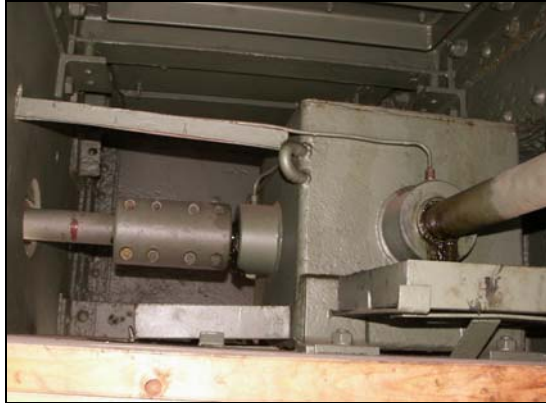


Abb. 3-2: Getriebestufe G2

3.2.4. Getriebestufe 3 (G3): Kegelfradgetriebe mit Teilung des Kraftflusses in Brückenquerrichtung

Die dritte Getriebestufe des Antriebsstranges dient dazu, die Antriebskräfte in Brückenquerrichtung aufzuteilen. Diese Stufe ist je einmal an beiden Brückenköpfen vorhanden. Die Getriebe befinden sich an den nördlichen und südlichen Endquerträgern der Brücke.

Es handelt sich um offene Kegelfradgetriebe, die eine Übersetzung von $i=1,35$ haben. Die Abdeckung lässt sich öffnen, so dass die Zahnräder begutachtet werden konnten.

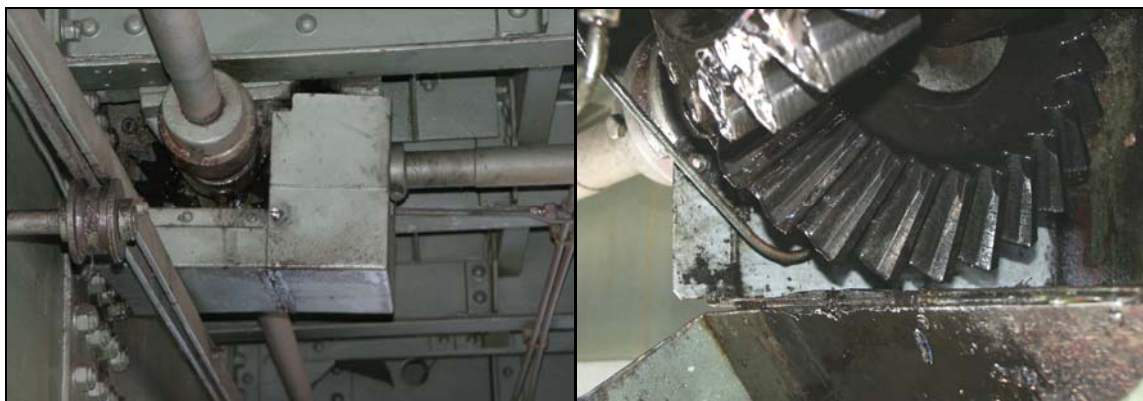


Abb. 3-3: Getriebestufe G3 Nord

3.2.5. Getriebestufe 4 (G4): Kegelradgetriebe

Die Kegelradgetriebe der vierten Getriebestufe sind insgesamt viermal an den Ecken des Brückenüberbaus vorhanden. Sie leiten die Antriebsmomente in die zweistufigen Stirnradgetriebe ein.

Die Kegelradgetriebe haben eine Übersetzung von $i=1,6$.



Abb. 3-4: Getriebestufe G4 Turm II

3.2.6. Getriebestufe 5 (G5): 2-stufiges Stirnradgetriebe

An den Ecken der Endquerträger sind Stirnradgetriebe mit zwei Stirnradstufen angeordnet, die die Triebstockritzeln des Triebstockes antreiben. Vor jedem der vier Triebstöcke ist eine solche Getriebeeinheit angeordnet. Beide Stirnradstufen haben eine Übersetzung von $i=5$.

Die Gesamtübersetzung dieser Getriebe ist $i=25$.



Abb. 3-5: Getriebestufe G5 Turm III außen



Abb. 3-6: Getriebestufe G5

3.2.7. Triebstockzahnstangen

An den 4 Türmen ist jeweils eine Triebstockzahnstange an den Massivbauten hängend befestigt. In diese Triebstockzahnstange greift das Triebstockritzel und sorgt durch seine Drehung für die Bewegung des Brückenüberbaus in vertikaler Richtung.



Abb. 3-7: Triebstock mit Tragseilen und Getriebe G5

4. Beurteilung des Allgemeinzustandes der Verzahnung

4.1. Allgemeines

Für die Beurteilung des Allgemeinzustandes wurden insbesondere die „offenen“ Getriebestufen betrachtet. Dies geschah aus zwei Gründen. Einerseits sind diese Getriebestufen aufgrund ihrer offenen Bauweise gegen den Eintrag von Schmutzpartikeln nicht geschützt, weiterhin ist die Schmierfette nachteilig gegenüber einer Tauchschmierung wie sie bei geschlossenen Getrieben verwendet wird. Andererseits sind die beiden letzten Getriebestufen (Kegelradgetriebe G4 und das zweistufige Stirnradgetriebe G5) in den Bereich des Langsamlaufens einzuordnen. Von einem dynamischen Tragverhalten des Schmierfilms (siehe 3.1) ist hier nicht mehr auszugehen. Ein entsprechender Verschleiß ist daher nicht zu verhindern.

Bei der Bewertung des Verschleißes wird insbesondere auf die Getriebestufen G4 und G5 inklusive des Treibstockritzels an Turm III eingegangen, weil an diesem Antriebsstrang die größten Geräuscentwicklungen und Verschleißerscheinungen festzustellen sind.

Die dynamischen Lastschwankungen (Die Brücke bewegt sich offensichtlich nicht gleichförmig.) und die verschleißbedingten Profilformabweichungen verursachen deutlich wahrnehmbare Laufgeräusche. Der Verschleiß der Antriebskomponenten an den anderen drei Türmen und den dazugehörigen Getriebestufen weicht nur unerheblich von den genauer betrachteten Komponenten an Turm III ab.

Zur Veranschaulichung der Eingriffsverhältnisse in den Getriebestufe G4 und G5 sind diese Getriebestufen in einem CAD-Programm (SolidWorks) abgebildet. Hierdurch ist eine bessere Beurteilung der geometrischen und dynamischen Verhältnisse möglich. In der folgenden Abbildung sind die Wellen aus Vereinfachungsgründen ausgeblendet.

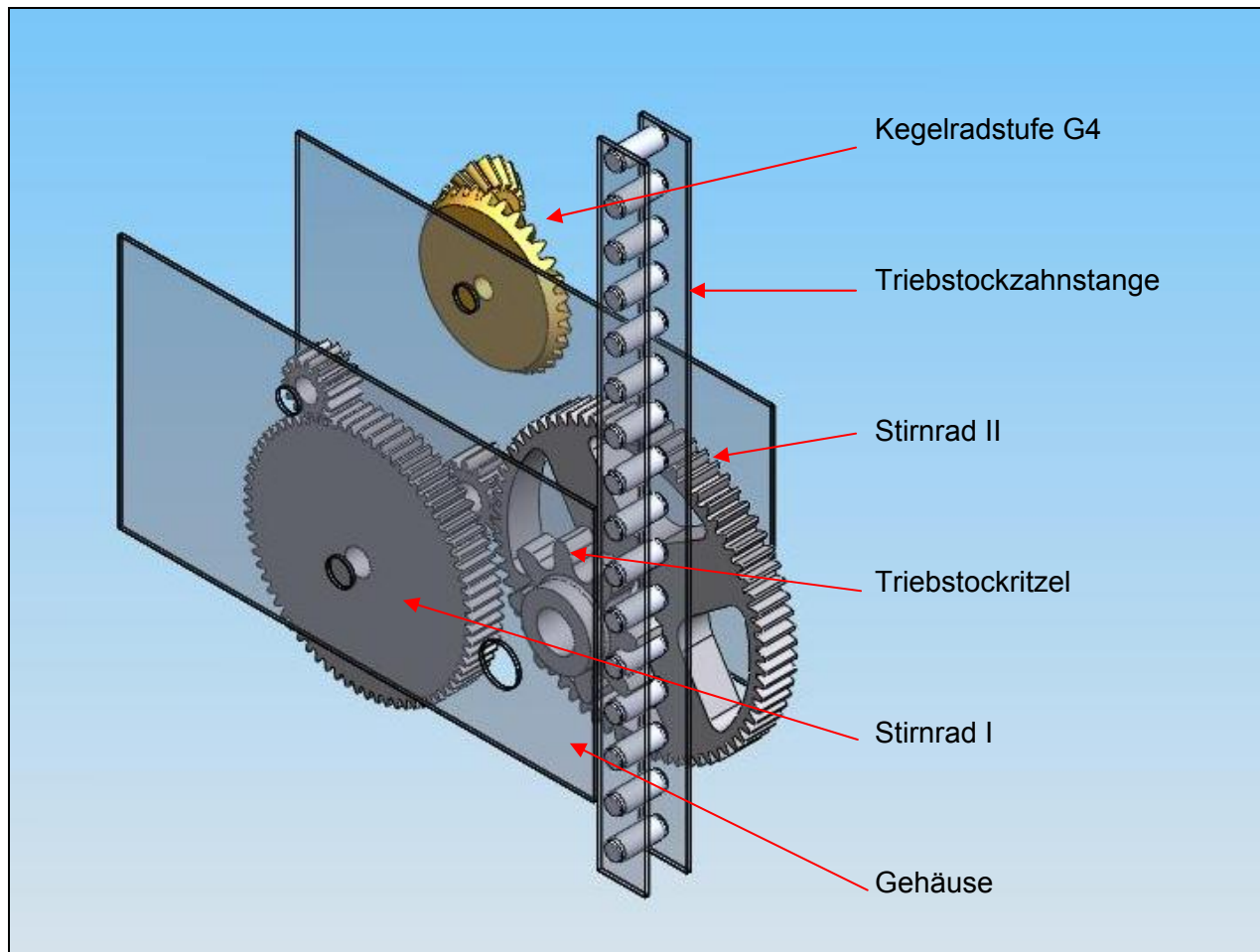


Abb. 4-1: Prinzipschaubild Getriebeeinheit Triebstockzahnstangenantrieb (ohne Wellen)

4.2. Triebstock / Triebstockkritzeln

Zustand der Flanken: Es liegt starker Langsamlaufverschleiß an dem Triebstockkritzeln vor. Plastische Verformungen im Bereich des Wälzkreises sind feststellbar. Die Zähne haben stark an Material verloren. Insbesondere im Bereich des Wälzpunktes ist ein Materialverlust zu verzeichnen. Eine stark ausgeprägte Riefenbildung in Zahnhöhenrichtung ist ebenfalls zu festzustellen.

Tragverhalten: Das Tragverhalten ist über die gesamte Breite des Zahns gleichmäßig. Die Triebstöcke weisen an allen Türmen außer dem Verschleiß an den Stegen einen starken Verschleiß an den Bolzen auf. Die Abflachung der Bolzen beträgt an den breitesten Stellen bis zu 20 mm. Dadurch hat die Höhe der Durchmesser des Bolzens um ca. 3% abgenommen. Das Biegezugmoment ist um ca. 10% kleiner.

An verschiedenen Triebstockzahnstangen sind die Bolzen lose in den Stegen und können sich drehen.

Die beiden Stege der Triebstockstange sind im rückwärtigen Bereich, wo sie durch eine Druckrolle geführt werden, plastisch verformt. Durch diese Verformung ist ein Abrollen der Bolzen im Wälzpunkt nicht mehr gegeben (siehe Abb. 4-2).

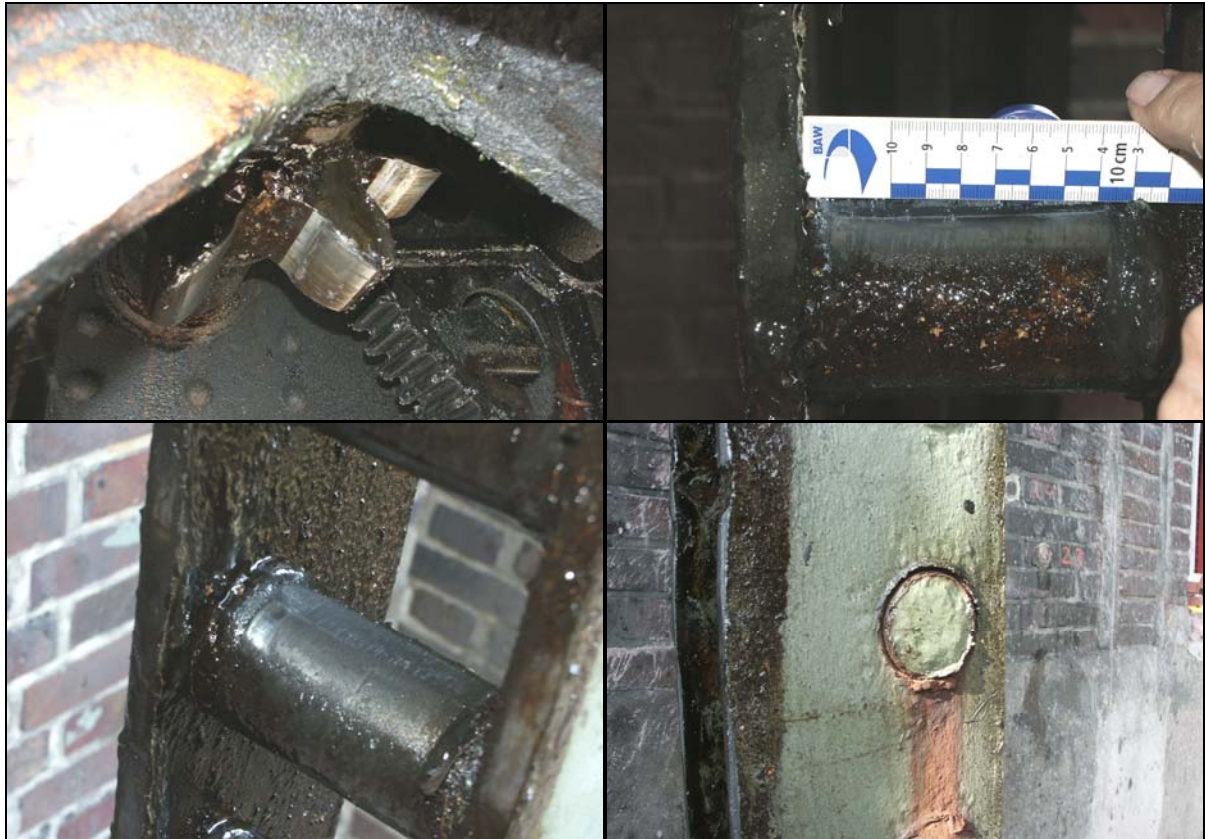


Abb. 4-2: Triebstock Turm III

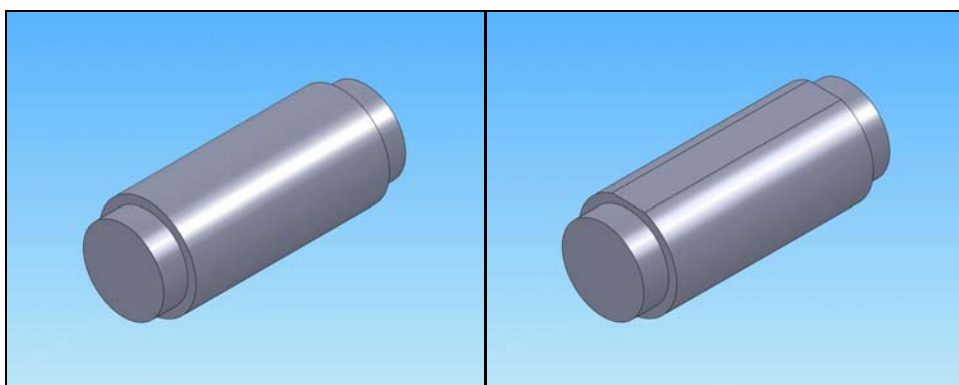


Abb. 4-3: Bolzen Triebstock Verschleiß

4.3. Stirnradgetriebe

Zustand der Flanken: An beiden Ritzeln der Stirnradstufen ist starker Verschleiß zu erkennen. Starke Riefenbildung im Zahnfuß- und Zahnkopfbereich. Beide Ritzel sind spitz gelaufen. Die beiden Zahnräder sind weniger verschlissen.

Tragverhalten: Die Ritzel und Zahnräder zeigen gleichmäßige Tragbilder. Der Traganteil beträgt ca. 80%.

Der Verschleiß an den Ritzeln der beiden Stirnradstufen des Getriebes G5 an Turm III hat Ausmaße angenommen, die einen Austausch der Ritzel inklusive der Zahnräder mittelfristig erfordern werden. Der Verschleiß an den anderen Getrieben weicht nicht erheblich von diesem Getriebe ab.

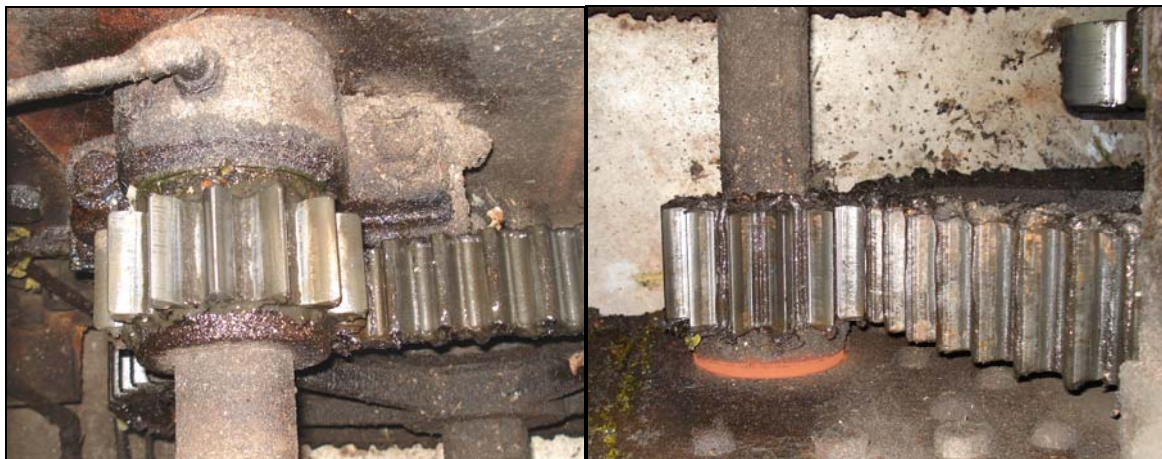


Abb. 4-4: Stirnradgetriebe G5 Turm III

4.4. Kegelradgetriebe G4

Zustand der Flanken: Es sind starker Verschleiß und plastische Verformungen im Bereich des Wälzkreises zu erkennen. Im Zahnfuß- und Zahnkopfbereich gibt es in Zahnhöhenrichtung verlaufende Riefen und Grübchen über die gesamte Zahnbreite. Im Bereich der Wälzkreisebene ist stufenartiger Verschleißabtrag festzustellen.

Tragverhalten: Der Traganteil beträgt ca. 40%, wahrscheinlich als Ursache fehlerhafter Ausrichtung. In Abb. 4-5 ist das mangelhafte Tragverhalten aufgrund der fehlerhaften Ausrichtung der Kegelradachsen zueinander zu erkennen.

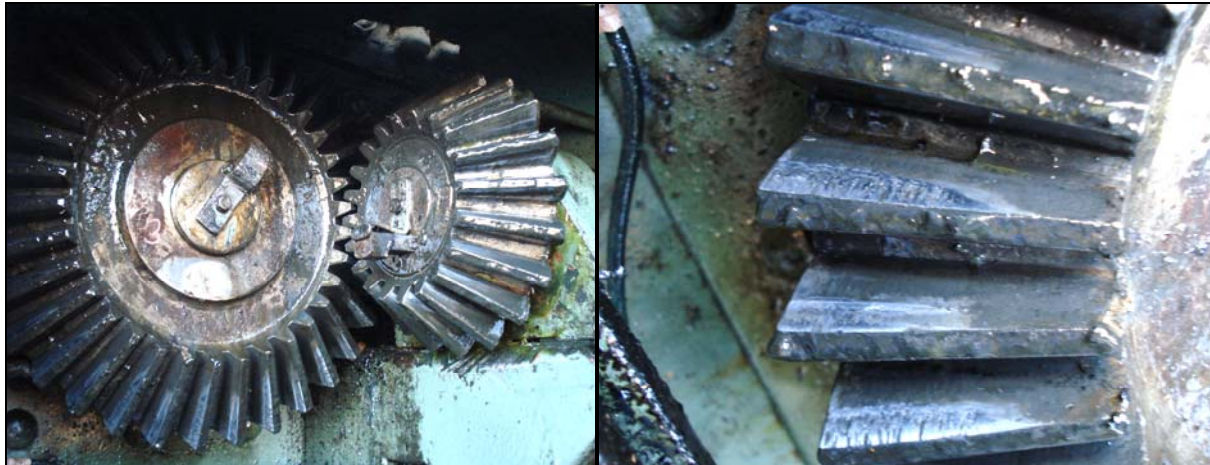


Abb. 4-5: Kegelradgetriebe G4 Turm III

4.5. Kegelradgetriebe G3

Die Zahnräder weisen einen dem Alter entsprechenden guten Zustand auf. Der Verschleiß bezieht sich hauptsächlich auf eine Riefenbildung. Diese lässt sich darauf zurückführen, dass durch die halboffene Bauweise ein Eintrag von Staub und Schmutz nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Es sind leichte Einlaufspuren zu erkennen, die keine negativen Auswirkungen haben. Das Tragbild ist gut. Die Zähne tragen nicht einseitig, sondern über die komplette Zahnflanke.

5. Ergebnisse der Werkstoffuntersuchungen

Aufgrund einerseits fehlender Werkstoffangaben zu den Werkstoffen der verschiedenen Zahn- und Kegelräder, andererseits aufgrund alter Bezeichnungen, beauftragte die FVT im Jahr 2007 den Germanischen Lloyd mit einer Untersuchung der Kegelradstufe G4 an Turm III und den beiden Stirnradstufen des Getriebe G5 an Turm III. Ziel der durchgeführten chemischen, mechanisch-technologischen und metallographischen Analysen ist die Klassifizierung der eingesetzten Werkstoffe (siehe Anlage).

Die Ergebnisse oben genannter Untersuchung verifizieren die Annahmen, welche das Ingenieurbüro E. & W. Brüning [4] (siehe 2) bei seinen Verzahnungsberechnungen im Jahr 2000 getroffen hat. Auf diese Ergebnisse wird in Kapitel 6 eingegangen.

5.1. Stirnradgetriebe

Die beiden Zahnräder des Stirnradgetriebes G5 an Turm III weisen im Mikroschliff ein ferritisch-perlitisches Gefüge auf. Der Mittelwert der mobilen Härtemessung des Zahnrades der Stufe 1 hat bei der mobilen Härtemessung einen Wert von 169 HB. Gemäß DIN EN ISO 18265 entspricht dies einer Zugfestigkeit von ca. 569 N/mm². Der Mittelwert der mobilen Härtemessung des Zahnrades der Stufe 2 hat bei der mobilen Härtemessung einen Wert von 151 HB. Gemäß DIN EN ISO 18265 entspricht dies einer Zugfestigkeit von ca. 507 N/mm².

5.2. Kegelradgetriebe

Das Tellerrad der Kegelradstufe G4 an Turm III weist im Mikroschliff eine ferritisch-perlitische Gefügematrix auf. Der Mittelwert der mobilen Härtemessung liegt bei 131 HB. Gemäß DIN EN ISO 18265 entspricht dies einer Zugfestigkeit von ca. 442 N/mm².

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen können alle 3 Werkstoffe z.B. in die Stahlgruppe der unlegierten Edelbaustähle zugeordnet werden [8] (siehe 2).

6. Ergebnisse der Verzahnungsberechnungen

Die Berechnungen der Stirnrad und Kegelradverzahnungen wurden nach DIN 3990 von dem Ingenieurbüro E. & W. Brüning im Jahr 2000 durchgeführt. Bei diesen Berechnungen wurden alle Getriebestufen inkl. des Triebstockes und der verschiedenen Wellen betrachtet.

Aufgrund der unter Kapitel 5 bestätigten Annahmen zu den Werkstoffen können die Ergebnisse grundsätzlich bestätigt werden. Eigene Berechnungen führen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Trotzdem müssen die Ergebnisse aus der Verzahnungsberechnung (siehe Abb. 6-1) kritisch betrachtet werden. Wäre die neue DIN 19704-1 Stahlwasserbauten (siehe Anlage) anzuwenden, ergeben sich Probleme. Die geforderten Sicherheiten von 3 gegen Zahnbruch und 1,1 bei der Flankenpressung (Grübchensicherheit) werden bei den vorhandenen Getriebestufen G3 bis G5 incl. des Triebstockkritzels auch bei der kleinsten Lastannahme (gemittelte Stützlast) nicht vollständig erreicht. Die geforderten Sicherheiten von 1,3 gegen

Zahnbruch und 1,0 bei der Flankenpressung nach DIN 3990 werden ebenfalls nicht bei allen Lastannahmen erreicht. Die Sicherheit gegen Grübchenbildung wird bei der geringsten Lastannahme (gemittelte Stützlast) in zwei Getriebestufen gerade erreicht. In allen anderen Getriebestufen und bei höheren Lastannahmen wird diese Sicherheit nicht erreicht. Oftmals liegt die Sicherheit unter 0,5. Das Ergebnisse dieser geringen Sicherheiten, die Grübchen- und Riefenbildung und teilweise plastische Verformungen sind an den Getriebestufen zu erkennen.

Bei der Annahme höheren Lasten, insbesondere bei der Annahme der vollen Motorleistung infolge des Klemmens des Brückenkörpers zwischen den Massivbauten, werden die geforderten Sicherheiten der DIN 3990 gegen Zahnbruch beim Ritzel der zweiten Stirnradstufe und besonders beim Triebstockritzels nicht erreicht. Unter Berücksichtigung des starken Verschleißes des Triebstockritzels ist an dieser Stelle ein Zahnbruch aufgrund Überlast nicht auszuschließen.

Ob die Bolzen die in der DIN 19704-1 geforderte Zugfestigkeit (500 N/mm^2) haben, gilt als nicht sicher. Aufgrund fehlender bzw. nicht eindeutiger Werkstoffangaben kann die Zugfestigkeit der Bolzen nicht angegeben werden.

Die errechneten Sicherheiten gegen Grübchenbildung liegen deutlich unter der in der DIN 19704-1 geforderten Sicherheit. Dies zeigt sich auch in dem stark fortgeschrittenen Verschleiß. Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass bei Inbetriebnahme der Anlage, alle Komponenten nach den damaligen Normen und Vorschriften ausgelegt wurden. Die relativ geringe Anzahl an Betriebsstunden und der Langsamlauf haben in dieser Hinsicht die Komponenten geschont.

In der folgenden Tabelle sind die Berechnungen des Ingenieurbüros E. & W. Brüning zusammengefasst. Die Tabelle ist in drei Lastfälle aufgeteilt. Bei Lastfall 1 ist die volle Motorleistung angenommen worden. Dies entspricht dem Fall des Klemmens des Brückenkörpers. Hier werden die geforderten Sicherheiten der aktuell geltenden Normen unterschritten. Die Differenzen gegenüber der heute anzuwendenden DIN 19704-1 sind immens. Dieser Lastfall wird durch die Begrenzung des Motorstroms gemindert. Die Lastfälle 2 und 3 sind die Lastfälle, die im regulären Betrieb anzusetzen sind. Bei Lastfall 2 ist die Leistung an dem Turm mit der größten Gewichts Differenz gewählt worden, bei Lastfall 3 sind die verschiedenen Gewichts Differenzen an den vier Türmen gemittelt worden.

Sicherheit gegen Bruch am Zahnfuß

		Rechnung mit voller Motorleistung	Rechnung mit maximaler Stützlast	Rechnung mit gemittelter Stützlast
Kegelrad- getriebe G3	Ritzel	2,40	3,70	5,20
	Rad	2,60	4,00	5,70
Kegelrad- getriebe G4	Ritzel	4,90	7,60	11,00
	Rad	5,40	8,30	12,10
Stirnradge- triebe G5 Stufe I	Ritzel	2,75	4,17	6,18
	Rad	3,18	5,15	7,64
Stirnradge- triebe G5 Stufe II	Ritzel	1,28	2,05	3,02
	Rad	1,58	2,45	3,73
Triebstockritzel		1,04	1,60	2,30

Flankensicherheit

		Rechnung mit voller Motorleistung	Rechnung mit maximaler Stützlast	Rechnung mit gemittelter Stützlast
Kegelrad- getriebe G3	Ritzel	0,40	0,50	0,70
	Rad	0,50	0,60	0,70
Kegelrad- getriebe G4	Ritzel	0,70	0,80	1,00
	Rad	0,70	0,90	1,00
Stirnradge- triebe G5 Stufe I	Ritzel	0,48	0,61	0,74
	Rad	0,56	0,71	0,86
Stirnradge- triebe G5 Stufe II	Ritzel	0,39	0,50	0,61
	Rad	0,46	0,58	0,71
Triebstockritzel		0,58	0,72	0,86

Abb. 6-1: Berechnungsergebnisse Ingenieurbüro E. & W. Brüning

7. Klemmen des Brückenüberbaus

Seit den achtziger Jahren tritt insbesondere im Sommer ein Klemmen des stählernen Brückenüberbaus zwischen den vier Massivbauten auf. Der stählerne Brückenüberbau ist zur Ableitung horizontaler Windkräfte seitlich geführt. In Brückenlängsrichtung hängt der Überbau lediglich in den jeweils vier Seilen. Im Laufe der Jahre wurde an Turm IV eine Stützrolle am Endquerträger befestigt, die sich gegen Süden an dem Turm abstützt. Damit wurde ein Schleifen des Endquerträgers an Turm IV verhindert.

Nichtsdestotrotz tritt im Sommer das Phänomen des Klemmens des Brückenüberbaus zwischen den Massivbauten aufgrund der Wanderungsbewegungen der gegenüberliegenden Türme und der Wärmeausdehnung des stählernen Brückenüberbaus auf. Vor dem eigentlichen Klemmen des Brückenüberbaus zwischen den Massivbauwerken läuft die Brücke bereits schwerer, da es schon vor dem Klemmen zu Berührungen und Zwängungen kommt.

7.1. Einfluss der Temperatur / Ausdehnung des Brückenüberbaus

Der Längenausdehnungskoeffizient für Stahl beträgt $12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$. Messungen des Abstandes des Überbaus zu dem Massivbau sind im Januar 2008 bei einer Außentemperatur von 5° C durchgeführt worden. Die geringsten Abstände zwischen den Massivbauten und dem stählernen Überbau sind kleiner 15 mm gemessen worden. Durch Sonneneinstrahlung insbesondere in den Sommermonaten kann sich der stählerne Überbau erwärmen. Bei der Annahme eines Temperatenausgleiches zwischen Umgebung und Brückenüberbau und der Annahme einer Außentemperatur von 30° C ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 25 K gegenüber der Referenztemperatur von 5° C , bei der die Abstände zwischen Massivbau und Brückenüberbau gemessen wurden. Dies führt zu einer Ausdehnung des Brückenüberbaus von 12,2 mm. Aufgrund seiner Lage und Ausrichtung ist der stählerne Brückenüberbau der Sonne stark ausgesetzt. Wird eine Erwärmung auf bis zu 40° C in den Außenbereichen angenommen, so beträgt aufgrund der Temperaturdifferenz von 35 K die Längenausdehnung 17,1 mm. Aufgrund dieser Zusammenhänge lässt sich das Klemmen des Brückenüberbaus infolge Erwärmung erklären.

$$\Delta l = l \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta l = 40800 \text{ mm} \times 12 \times 10^{-6} \text{ 1/K} \times 25 \text{ K}$$

$$\Delta l = 12,24 \text{ mm}$$

$$\Delta l / 1 \text{ K} = 0,49 \text{ mm/K}$$

7.2. Bewegung der Türme

Seit dem Jahr 1983 bis heute sind die gegenüberliegenden Türme langsam aber kontinuierlich aufeinander „zugewandert“. Der Abstand zwischen den Türmen II und III bzw. I und IV hat sich dabei insgesamt um ca. 30 mm verkürzt.

Laut Gutachten der BAW vom 12.02.2008 ist die stetige „Wanderung“ der Türme durch bauliche Maßnahmen zu stoppen, die jedoch ein Zusammenrücken der gegenüberliegenden Türme von 5-10 mm hervorrufen würden. Diese Abstandsverringerung ist jedoch durch „kleinere“ Maßnahmen (Abbrennen von Blechen am Endquerträger, Abstemmen des Ziegelmauerwerks) am stählernen Brückenüberbau und an den Massivbauten nicht mehr aufzufangen.

Diese Abstandsverkürzung wird zu Fällen des Schleifens und des Klemmens des Brückenüberbaus am Massivbau führen. Diese Ereignisse führen zu einem Eintragen von Lastspitzen in die gesamte Antriebstechnik. Aufgrund des fortgeschrittenen Verschleißes der gesamten Antriebstechnik liegt hier ein hohes Gefährdungspotential vor.

Schlussendlich wird die Abstandsverkürzung zu einem Stillliegen der Hubbrücke führen, weil die Antriebstechnik nicht mehr sicher genutzt werden kann.

7.3. Anlagensicherheit

Das Klemmen des Brückenüberbaus zwischen den Massivbauten (egal ob der Wanderung der Türme wegen oder aufgrund der temperaturbedingten Ausdehnungen) wird als möglicher Überlastfall, der zu einem Versagen der Antriebstechnik führt betrachtet (siehe 6).

Die Gefahr, die durch ein Versagen der Antriebstechnik auftreten kann, darf nicht vernachlässigt werden. Es kann zu einem unkontrollierten Absenken des Brückenkörpers mit nachfolgenden Ereignissen kommen.

8. Ergebnis

Es wird von einer Restnutzungsdauer von wenigen Jahren (3-5 Jahre) ausgegangen.

Die Getriebe sind aufgrund ihres weiter fortschreitenden Verschleißes empfindlich gegenüber Lastspitzen und stoßartigen Belastungen (siehe 4 und 6). Die Gefahr des Versagens einer Getriebestufe ist gegeben.

Aufgrund des Alters der Maschinenelemente und deren Werkstoffen und unzureichender Werkstoffangaben (trotz des metallographischen Gutachtens) sind keine endgültigen

Aussagen zu den vorliegenden Werkstoffkennwerten und deren Einfluss auf die Sicherheiten zu treffen (siehe 5).

An den offenen Getriebestufen lassen sich einseitige Tragbilder, Riefenbildung, Fressstellen und z. T. plastische Verformungen feststellen, die verschiedentlich weit fortgeschritten sind und durch Überlasten zu einem Versagensfall führen können.

Ein unaufhaltsamer Fortschritt der Flankenschädigung ist sicher und wird durch die Bewegung der Massivbauten zunehmend unkalkulierbar.

Ein plötzliches Versagen einer oder mehrerer Getriebestufen kann zu einem unkontrollierten Absenken des Brückenüberbaus führen und weitere Schadensereignisse hervorrufen.

Das plötzliche Versagen der Antriebstechnik kann insbesondere durch Überlast infolge Festklemmens des Brückenüberbaus hervorgerufen werden.

9. **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 3-1: Umhausung des Antriebsmotors	Seite 12
Abb. 3-2: Getriebestufe G2	Seite 13
Abb. 3-3: Getriebestufe G3 Nord.....	Seite 13
Abb. 3-4: Getriebestufe G4 Turm II.....	Seite 14
Abb. 3-5: Getriebestufe G5 Turm I außen.....	Seite 14
Abb. 3-6: Getriebestufe G5	Seite 15
Abb. 3-7: Triebstock mit Tragseilen und Getriebe G5.....	Seite 15
Abb. 4-1: Prinzipschaubild Getriebeeinheit Triebstockzahnstangenantrieb	Seite 17
Abb. 4-2: Triebstock Turm III.....	Seite 18
Abb. 4-3: Bolzen Triebstock Verschleiß	Seite 18
Abb. 4-4: Stirnradgetriebe G5 Turm III	Seite 19
Abb. 4-5: Kegelradgetriebe G4 Turm III	Seite 20
Abb. 6-1: Berechnungsergebnisse Ingenieurbüro E. & W. Brüning	Seite 23

10. **Anhang**

Auftrag 17.05.2005

FVT Qualitätssicherungs- management QSM Auftragswesen		Ziel des Qualitätssicherungsmanagement: - Kontinuierlicher Verbesserungsprozeß - Sicherstellen eines definierten notwendigen Standards - Transparenz in der Aufgabenerledigung (auch für Dritte) - Zuordnung der Verantwortung - Fehler vermeiden, anstatt hinterher zu bereinigen
--	---	---

Anmeldung von Aufträgen

Auftraggeber

Dienststelle: WSA Bremen Dienststellenummer: 211 Ansprechpartner: [REDACTED] e-Mailadresse: [REDACTED]	Aktenzeichen: 232.2/Br.Hu/KK1 IX Anmeldungsdatum: 17.05.2005 Telefon: [REDACTED] Telefax: [REDACTED]
---	---

1. Arbeitstitel

Zustandsgutachten Cäcilienbrücke Oldenburg

2. Beschreibung des Auftrages

Bei der Cäcilienbrücke handelt es sich um eine Hubbrücke. Für diese wird ein Zustandsgutachten von der BAW erstellt. Ein ergänzendes Gutachten für die Antriebstechnik wird von der FVT erstellt. Hierzu soll auch das Gewicht der Brücke ermittelt werden.

3. Leistungsbeschreibung

Erstellen eines Zustandsgutachtens für die Antriebstechnik der Cäcilienbrücke (Hubbrücke) Oldenburg.
Ermitteln des Brückengewichtes (z.B. über die Messung der Seilkräfte mittels Dehnungsmessstreifen).

4. Termine

Brückensperrung: 14.07.-26.08.05
Ortstermin mit BAW: Ende August / Anfang September
Abgabe des Gutachtens: Ende Februar 2006

5. Anlagen

- Angebot GL Brückenmessung
- statische Nachrechnung der Cäcilienbrücke von 09/2000
- wägetechnische Untersuchung der Brücke von 09/2000

6. Ressourcen

Für die Erarbeitung des Gutachtens wird vom Auftraggeber folgende Unterstützung zugesichert:

- Übergabe aller technischen Unterlagen wie Zeichnungen, Schaltpläne, statische Berechnungen, Stücklisten usw.
- an den Prüftagen muss ein Anlagenführer als Ansprechpartner vor Ort sein.
- der Zugang zur Brücke und ihren Anlagenteilen muss gewährleistet sein.
- technische und personelle Unterstützung beim "wiegen" der Brücke

Auftrag 02.04.2008

FVT Qualitätssicherungs- management QSM Auftragswesen		Ziel des Qualitätssicherungsmanagement: - Kontinuierlicher Verbesserungsprozeß - Sicherstellen eines definierten notwendigen Standards - Transparenz in der Aufgabenerledigung (auch für Dritte) - Zuordnung der Verantwortung - Fehler vermeiden, anstatt hinterher zu bereinigen
--	---	---

Anmeldung von Aufträgen

Auftraggeber

Dienststelle:	WSA Bremen	Aktenzeichen:	232.2/Br.Hu/KK1 IX
Dienststellenummer:	211	Anmeldungsdatum:	02.04.2008
Ansprechpartner:	[REDACTED]	Telefon:	[REDACTED]
e-Mailadresse:	[REDACTED]	Telefax:	[REDACTED]

1. Arbeitstitel

Zustandsgutachten Cäcilienbrücke Oldenburg

2. Beschreibung des Auftrages

Dieser Auftrag ist eine Erweiterung des Auftrages vom 17.05.2005 an die FVT und soll die geänderten Randbedingungen und neuen Erkenntnisse aus dem Massivbau der Hubbrücke berücksichtigen.
Den Zustand des Massiv- und Stahlbaus hat die BAW in zwei Gutachten bewertet.
Von der FVT soll ein ergänzendes Gutachten für die Antriebstechnik erstellt werden, welches insbesondere das Verschleißverhalten und die Einflüsse der Zwängungen, die durch den Massivbau entstehen, berücksichtigt. Die in der Folge daraus entstehenden Überlasten für die Maschinentechnik sind einzuschätzen und zu beurteilen.

3. Leistungsbeschreibung

Erstellen eines Zustandsgutachtens für die Antriebstechnik der Cäcilienbrücke Oldenburg. Bewertung des sicheren Weiterbetriebs aufgrund der Einflüsse des Massivbaus, unter Berücksichtigung der Neuen Erkenntnisse aus dem Gutachten der BAW von 2008.

4. Termine

- Werkstoffmessungen am 23.04.2007
- Vororttermin 11.02.2008 mit WSA, BHf und FVT
- Besprechung FVT und WSA Bremen 02.04.2008 zur Auftragskonkretisierung
- gesonderte Untersuchung der Getriebestufe Turm 3
- Übergabe des Gutachtens bis Ende Juli 2008

5. Anlagen

- statische Nachrechnung der Cäcilienbrücke von 09/2000
- wägetechnische Untersuchung der Brücke von 09/2000
- Gutachten der BAW von 1988
- Gutachten der BAW von 2006
- Gutachten der BAW von 2008

6. Ressourcen

Für die Erarbeitung des Gutachtens wird vom Auftraggeber folgende Unterstützung zugesichert:

- Übergabe aller technischen Unterlagen wie Zeichnungen, Schaltpläne, statische Berechnungen, Stücklisten usw.
- An den Prüftagen muss ein Anlagenführer als Ansprechpartner vor Ort sein.
- Der Zugang zur Brücke und ihren Anlagenteilen muss gewährleistet sein.
- Unterlagen der PU werden zur Verfügung gestellt.

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
 Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
 Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
 Akkreditierungs-
 Rat
DAR
 DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 1 von 8
 Page 1 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:

Auftraggeber: Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken
Orderer: Weinbergstr. 11-13
 56060 Koblenz

Auftrags-Nr.: 0001 / F132 / 2007

Order-No.:

Kunden-Nr.: 347651

Customer-No.:

Werkstoff: o.A.

Material:

Abnahmeges.: -

Inspection by:

Werkstoff-Nr.:

Material-No.:

Anlage zu :

Appendix to:

Norm: o.A.

Specification:

Kontakt: Herr Sowinski

Contact:

Anzahl <i>Number</i>	Gegenstand <i>Object</i>	Abmessungen <i>Dimension</i>	Schmelze <i>Heat-No.</i>	Bezeichnung <i>Description</i>	Proben-Nr. <i>Test piece no.</i>	Id.-Nr. <i>Id.-Nr.</i>
1	Hubbrücke Oldenburg	Bezeichnung Stufe I - Großrad	-	Stück-Nr. -	-	D0025 / 1
1	Hubbrücke Oldenburg	Bezeichnung Stufe II - Großrad	-	Stück-Nr. -	-	D0026 / 1
1	Hubbrücke Oldenburg	Bezeichnung Eingangsstufe - Kegelrad	-	Stück-Nr. -	-	D0089 / 1

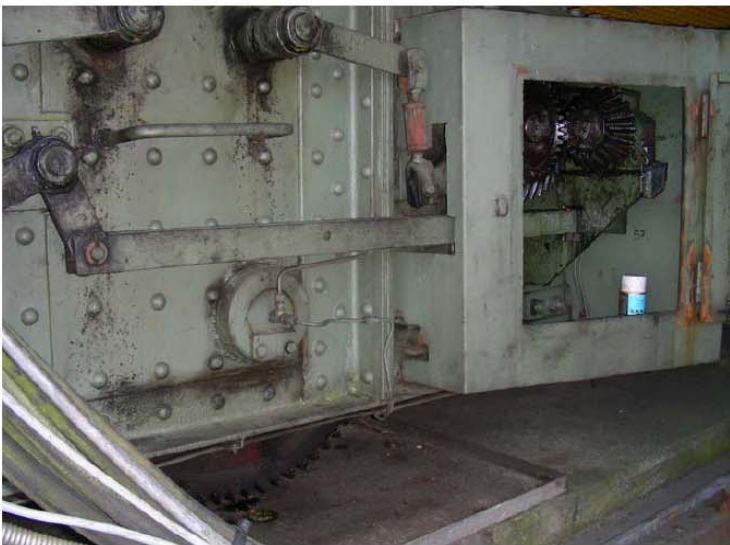
Prüfnormen: Analyse Fe, Härteprüfung mobil, Makrodokumentation, Mikroschliff

Test specification

Makrodokumentation

Macro-documentation

D0025 / 1



Übersicht Getriebe

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
 Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
 Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
 Akkreditierungs
 Rat
DAR
 DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 2 von 8
 Page 2 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:



Stufe I - Großrad

Komplettanalyse Fe [Massenanteile]

Analysis complete Fe [Mass portions]

D0025 / 1

	[%]	min	max		[%]	min	max		[%]	min	max
C	0,395			Al	0,033			N			
Si	0,510			Ti	<0,0050			Pb	<0,0500		
Mn	1,610			Nb	0,055			Sn			
Cr	0,083			Zr	<0,0050			As			
Ni	0,066			V	<0,0050			Sb			
Mo	0,036			W	<0,0500			Te			
Cu	0,167			Co	0,012			Zn			
P				B				Mg			
S				Ca				CEV			

Härteprüfung mobil

Hardness test ambulant

D0025 / 1

Härte	EW1	EW2	EW3	EW4	EW5	MW
Hardness	170	171	176	173	165	Average
						min
HB	EW6	EW7	EW8	EW9	EW10	max
	171	172	166	156	172	169

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
Akzreditierungs
Rat
DAR
DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 3 von 8
Page 3 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:

Mikroschliff

Micro-section

D0025 / 1



Ferritisch-Perlitisches Gefüge

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
 Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
 Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
 Akkreditierungs
 Rat
DAR
 DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 4 von 8
 Page 4 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:

Makrodokumentation

Macro-documentation

D0026 / 1



Stufe II - Großrad

Komplettanalyse Fe mobil [Massenanteile]

Analysis complete Fe ambulant [Mass portions]

D0026 / 1

	[%]	min	max		[%]	min	max		[%]	min	max
C	0,272			Al	0,039			N			
Si	0,723			Ti	<0,0050			Pb	<0,0500		
Mn	1,820			Nb	0,076			Sn			
Cr	0,074			Zr	<0,0050			As			
Ni	0,038			V	<0,0050			Sb			
Mo	0,028			W	<0,0500			Te			
Cu	0,148			Co	0,009			Zn			
P				B				Mg			
S				Ca				CEV			

Härteprüfung mobil

Hardness test ambulant

D0026 / 1

Härte	EW1	EW2	EW3	EW4	EW5	MW
Hardness	150	150	147	149	152	Average
						min
HB	EW6	EW7	EW8	EW9	EW10	max
	160	153	154	148	151	151

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
Akzreditierungs
Rat
DAR
DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 5 von 8
Page 5 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:

Mikroschliff

Micro-section

D0026 / 1



Ferritisch-Perlitisches Gefüge (zeilig)

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
 Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
 Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
 Mikroskopies
 Institut
DAR
 DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 6 von 8
 Page 6 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:

Makrodokumentation

Macro-documentation

D0089 / 1



Eingangsstufe - Kegelrad

Komplettanalyse Fe [Massenanteile]

Analysis complete Fe [Mass portions]

D0089 / 1

	[%]	min	max		[%]	min	max		[%]	min	max
C	0,377			Al	0,036			N			
Si	0,377			Ti	<0,0050			Pb	<0,0500		
Mn	1,290			Nb	<0,0020			Sn			
Cr	<0,0050			Zr	<0,0050			As			
Ni	<0,0050			V	<0,0050			Sb			
Mo	0,016			W	<0,0500			Te			
Cu	0,036			Co	0,005			Zn			
P				B				Mg			
S				Ca				CEV			

Härteprüfung mobil

Hardness test ambulant

D0089 / 1

Härte	EW1	EW2	EW3	EW4	EW5	MW
Hardness	128	128	130	126	128	Average
						min
HB	EW6	EW7	EW8	EW9	EW10	max
	128	127	135	143	133	131

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20

Deutscher
Abmessungs
Ring
DAR
DAP-PL-1350.99

GLP

Seite 7 von 8
Page 7 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

7 04 011 HH

Test-No.:

Mikroschliff

Micro-section

D0089 / 1



Ferritisch-Perlitisches Gefüge

Die ermittelten Kennwerte sind informativ.

The determined values are informative.

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

GERMANISCHER LLOYD PRÜFLABOR GMBH
Germanischer Lloyd Prüflabor GmbH - Tempowerkring 11 - D-21079 Hamburg
Telefon: 040 / 2000397-0 - Telefax: 040 / 2000397-20



Seite 8 von 8
Page 8 of 8

Prüfbericht für Werkstoffe

Test-Report for materials

Prüf-Nr.:

Test-No.:

7 04 011 HH

Gegenstand der Untersuchung

Untersucht wurden jeweils zwei Zahnräder und ein Kegelrad an einer Antriebseinheit der Hubbrücke Oldenburg. Ziel der durchgeführten chemischen, mechanisch-technologischen sowie der metallographischen Analysen ist es, die eingesetzten Werkstoffe einzuklassifizieren.

Untersuchungsumfang

Beide Zahnräder sowie das Kegelrad wurden makroskopisch dokumentiert. Zusätzlich wurde an jedem Rad eine mobile Spektrometrie, Mikroschliffe mittels ambulanter Metallographie sowie mobile Härtemessungen durchgeführt.

Ergebnisse

Das Zahnrad der Stufe I weist im Mikroschliff ein ferritsch-perlitisches Gefüge auf. Der Mittelwert der mobilen Härtemessung liegt bei 169 HB. Gemäß DIN EN ISO 18265 entspricht dies einer Zugfestigkeit von ca. 569 N/mm².

Das Zahnrad der Stufe II weist im Mikroschliff ein ferritsch-perlitisches Gefüge mit ausgeprägtem zeiligen Charakter auf. Der Mittelwert der mobilen Härtemessung liegt bei 151 HB, was gemäß DIN EN ISO 18265 einer Zugfestigkeit von ca. 507 N/mm² entspricht.

Das Kegelrad der Eingangsstufe weist im Mikroschliff ebenfalls eine ferritsch-perlitische Gefügematrix auf. Der Mittelwert der mobilen Härtemessung liegt bei 131 HB. Gemäß DIN EN ISO 18265 entspricht dies einer Zugfestigkeit von ca. 442 N/mm².

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen können alle drei Werkstoffe z.B. in die Stahlgruppe der unlegierten Edelbaustähle zugeordnet werden. Hinsichtlich des metallurgisch gewählten Ansatzes von Kohlenstoff- und Mangengehalt sowie der Festigkeit ist der Stahl einem 28Mn6 gemäß EN 10083 (Vergütungsstähle) ähnlich.

Anzumerken ist, dass die Umrechnung von Härtewerten in Zugfestigkeiten ebenso wie mobile Messungen grundsätzlich mit Ungenauigkeiten behaftet sind. Die angegebenen Werte dienen daher lediglich der Information.

Hamburg, den 23.04.07

Stempel / Stamp

-Wachholz-

Seite 20
DIN 19704-1 : 1998-05

10.10 Zahnradgetriebe

Für Zahnräder und Zahnstangen sind die Zahnfuß-, die Grübchen-, die Freißtragfähigkeit und die Betriebsfestigkeit nach DIN 3990-1 bis DIN 3990-6, DIN 3990-11, E DIN 3990-12, DIN 3990-21 und DIN 3991-1 bis DIN 3991-4 zu berechnen.

Die Nachweise sind für die Drehmomente infolge des charakteristischen Wertes des Motormoments nach 8.3 durchzuführen.

Dabei gelten folgende Festlegungen:

- Anwendungsfaktor $K_A = 1,5$
- Lebensdauer (Nutzungsdauer) 35 Jahre
- Normaleingriffswinkel $\alpha_n = 20^\circ$
- Sicherheitsfaktoren für Getriebe gegen Zahnbruch (Zahnfußtragfähigkeit) $S_F \geq 3,0$
Grübchenbildung (Flankenpressung) $S_H \geq 1,1$
Fressen $S_S \geq 2,0$
- Verzahnungsqualitäten nach DIN 3960 bis DIN 3965 und DIN 3967
für geschlossene Getriebe:
 - gehärtete und geschliffene Zähne — Verzahnungsqualität 7
 - gefräste oder gestoßene Zähne — Verzahnungsqualität 8
 für offene Getriebe:
 - wenn $v \geq 0,8 \text{ m/s}$ — Verzahnungsqualität 9
 - wenn $v < 0,8 \text{ m/s}$ — Verzahnungsqualität 10.

Dabei ist v die Umfangsgeschwindigkeit am Teilkreis.

Diese Qualitätsanforderungen gelten nicht für gegossene Verzahnungen.

Die Werkstoffkennwerte sind DIN 3990-5 bei der Qualität MQ zu entnehmen.

Statt der Berechnung der Zahnfußtragfähigkeit und der Flankenpressung mit dem Anwendungsfaktor K_A dürfen auch Betriebsfestigkeitsnachweise nach DIN 3990-6 unter Berücksichtigung des Lastkollektivs mit den vorgenannten Sicherheitsfaktoren S_F und S_H durchgeführt werden.

10.11 Schneckengetriebe

Schneckengetriebe sind für die Drehmomente infolge des charakteristischen Wertes des Motormoments nach 8.3 zu berechnen.

Dabei gelten folgende Festlegungen:

- Anwendungsfaktor $K_A = 1,5$
- Lebensdauer 40 000 Betriebsstunden, falls nicht eine kürzere Lebensdauer vom Auftraggeber vorgegeben wird.
- Sicherheitsfaktoren gegen Zahnbruch $S_F \geq 2,0$
Flankenpressung $S_H \geq 1,6$
Verschleiß $S_W \geq 1,6$

Die Durchbiegung der Schneckenwelle unter den charakteristischen Werten der Einwirkungen darf das 1/100fache des Moduls nicht überschreiten.

ANMERKUNG: Die angegebene Lebensdauer enthält einen Zuschlag für Kurzzeitbetrieb.

10.12 Gleitlager aus Nichteisen-Gußwerkstoffen

Die folgenden Anforderungen gelten unter der Voraussetzung der im Stahlwasserbau üblichen, kurzzeitig auftretenden kleinen Gleitgeschwindigkeiten, wie z. B. bei Gleitlagern in Lauf- und Führungsrollen, Hals- und Spur-

lagern von Stemmtoren, Laschenkettengelenken und Drehlagern von Segmentwehren.

Bei Gleitlagern mit der Gleitpaarung Stahl/Nichteisen-Gußwerkstoff muß der Stahl eine Brinellhärte nach DIN EN 10003-1 von mindestens 220 HBS und die Gleitwerkstoffe eine Härteerferenz von mindestens 80 HBS aufweisen.

Die Bemessungswerte der Pressungen sind für zentrische Belastung nachzuweisen mit:

$$\sigma_L = \frac{F_d}{d \cdot l} \leq \sigma_{R,L} \quad (19)$$

Dabei ist:

- F_d der Bemessungswert der Gelenkkraft (bei γ_F -facher Belastung),
 d der Durchmesser,
 l die tragende Länge,
 $\sigma_{R,L}$ der Bemessungswert der Gleitlagerbeanspruchbarkeit.

Die im folgenden angegebenen Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten gelten, sofern nicht vom Hersteller des Nichteisen-Gußwerkstoffs für die speziellen Einsatzbedingungen geringere Werte empfohlen werden.

Bei Gleitlagern mit periodischer Nachschmierung ist der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $\sigma_{R,L}$ vom Zahlenwert der Brinellhärte HBS des Nichteisen-Gußwerkstoffs abhängig. Für Schwenkbewegungen gilt:

$$\sigma_{R,L} = 0,90 \cdot \text{HBS} \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

Bei selbstschmierenden Gleitlagern aus Nichteisen-Gußwerkstoffen mit Festschmierstoff-Einsätzen ist die wirksame Gleitfläche unter Abzug der nichtmetallischen Anteile zu berechnen. In diesem Fall ergibt sich der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $\sigma_{R,L}$ abhängig vom Zahlenwert der Brinellhärte HBS und vom Jahresgleitweg s . Für Schwenkbewegungen gilt:

$$\sigma_{R,L} = 1,3 \cdot \text{HBS} \cdot \sqrt[5]{\frac{1}{s}} \text{ N/mm}^2 \quad (21)$$

Darin ist für s der Jahresgleitweg (in m), mindestens jedoch 3 m, einzusetzen.

Der Jahresgleitweg s ergibt sich aus

$$s = n \cdot \varepsilon \cdot \frac{d}{2} \quad (22)$$

Dabei ist:

- n die Anzahl der Schwenkbewegungen des belasteten Gelenkes in einem Jahr,
 ε der Schwenkwinkel im Bogenmaß,
 d der Gleitlagerdurchmesser.

Für die Ermittlung der in Gleichung (20) und Gleichung (21) einzusetzenden Zahlenwerte der Brinellhärte des Nichteisen-Gußwerkstoffs gilt DIN ISO 4384-2.

Bei Gleitlagerbuchsen, die sich unter Last umlaufend drehen, sind die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten auf 50 % zu ermäßigen. Dies gilt nicht für Buchsen in Laschenkettengelenken.

10.13 Gleitlager aus Verbundwerkstoffen mit Festschmierstoff

Die folgenden Anforderungen gelten unter der Voraussetzung der bei Gelenken und Rollen des Stahlwasserbaus üblichen, kurzzeitig auftretenden kleinen Gleitgeschwindigkeiten.

Seite 22
DIN 19704-1 : 1998-05

Die Länge von Buchsen aus Verbundwerkstoffen sollte 1/4 des Kettenbolzendurchmessers nicht unterschreiten.

Es ist davon auszugehen, daß nur ein Kettenbolzen die Kettenkraft auf das Ritzel überträgt.

Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $\sigma_{R,L}$ der Gleitlager ist 10.12 und 10.13 zu entnehmen. Für die Berechnung der Führungseinrichtungen von Laschenkettens ist eine rechtwinklig zur Führung wirkende Kraft von mindestens 5 % der Kettenzugkraft anzusetzen.

Es darf angenommen werden, daß die nebeneinanderliegenden Laschen eines Kettengliedes gleichmäßig tragen.

10.17 Gelenkköpfe

Die Regelungen für Gelenklager nach 10.14 und für Augenstäbe nach 10.15 sind auf Gelenkköpfe sinngemäß anzuwenden.

10.18 Triebstöcke, Triebstockketten, Zahnstangen

Für die Bemessung der Triebstockbolzen und der Ritzelzähne sind die Biegebeanspruchung und die Pressung zwischen Bolzen und Zahn (Verschleiß) maßgebend.

Der charakteristische Wert der Zugfestigkeit $f_{u,k}$ des Bolzenwerkstoffs muß mindestens 500 N/mm² betragen.

Bei geführten Triebstockketten, die unter Last umgelenkt werden, gelten die Regelungen für Gleitlager nach 10.12 und 10.13 und für Führungsrollen nach 10.22 sinngemäß.

Die Führungseinrichtungen sind für die Seitenkräfte, die sich aus den geometrischen Verhältnissen ergeben, unter Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_F = 2,0$ zu bemessen.

Als Bemessungswert der Seitenkraft ist jedoch — auch bei planmäßig geradliniger Führung — mindestens mit 5 % des Bemessungswertes der Triebstock-Druckkraft zu rechnen.

Außerdem ist die Führungseinrichtung am Eingriffspunkt des Ritzels für eine senkrecht zur Führung wirkende Kraft von 30 % der Triebstock-Zug- bzw. -Druckkraft zu bemessen.

10.19 Wälzlager

Für die Berechnung der Wälzlager gelten E DIN 732-1, E DIN 732-2, DIN ISO 76 und DIN ISO 281.

10.20 Seiltriebe

Der Berechnung der Seiltriebe einschließlich der Seile für Gegengewichte ist DIN 15020-1 zugrunde zu legen. Hierbei ist zur Bestimmung der Triebwerksgruppe vom Lastkollektiv 3 („schwer“) und zur Berechnung des Seildurchmessers nach DIN 15020-1: 1974-02, Tabelle 2, von „üblichen

Transporten“ auszugehen. Die Laufzeitklasse ist vom Auftraggeber vorzugeben.

Für den Fall einer außergewöhnlichen Kombination von Einwirkungen muß unter dem charakteristischen Wert der Seilzugkraft noch eine mindestens 3fache Sicherheit gegen Erreichen der Mindestbruchkraft (Produkt aus Verseilfaktor, metallischem Querschnitt und Nennfestigkeit der Drähte) nachgewiesen werden.

10.21 Seilrollen, Seiltrommeln, Ausgleichsrollen

Abweichend von DIN 15020-1 sollte bei Seiltrieben das Verhältnis von Rollen- bzw. Trommeldurchmesser D zu Seilnennendurchmesser d die in Tabelle 7 angegebenen Werte nicht unterschreiten.

10.22 Laufrollen, Führungsrollen, Stemmknaggen, Schienen

Für Lauf- und Führungsrollen sowie für Laufschiene sind die maximalen Hertzischen Pressungen $\max p_d$ unter den nach 9.3 ermittelten Bemessungswerten der Raddrücke F_d zu ermitteln und den Bemessungswerten der Beanspruchbarkeiten $p_{R,d}$ gegenüberzustellen:

$$\max p_d \leq p_{R,d} \tag{29}$$

Dieser Nachweis umfaßt die Tragsicherheit einschließlich Betriebsfestigkeit. Ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist nicht erforderlich.

Bei balligen Rollen und ebener Schienenauflfläche ist die maximale Hertzische Pressung

$$\max p_d = \frac{1,5 \cdot F_d}{\pi \cdot a \cdot b} = \frac{1,5}{\pi \cdot \varphi_a \cdot \varphi_b} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{[3(1-\nu^2)]^2} \cdot \sqrt[3]{E^2 \cdot \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R}\right)^2 \cdot F_d}}$$

Dabei ist:

- R der Rollenradius,
- R_b der Balligkeitsradius ($R_b \geq R$),
- E der Elastizitätsmodul des Rollen- bzw. des Schienenwerkstoffs,
- ν die Querdehnungszahl des Rollen- bzw. Schienenwerkstoffs.

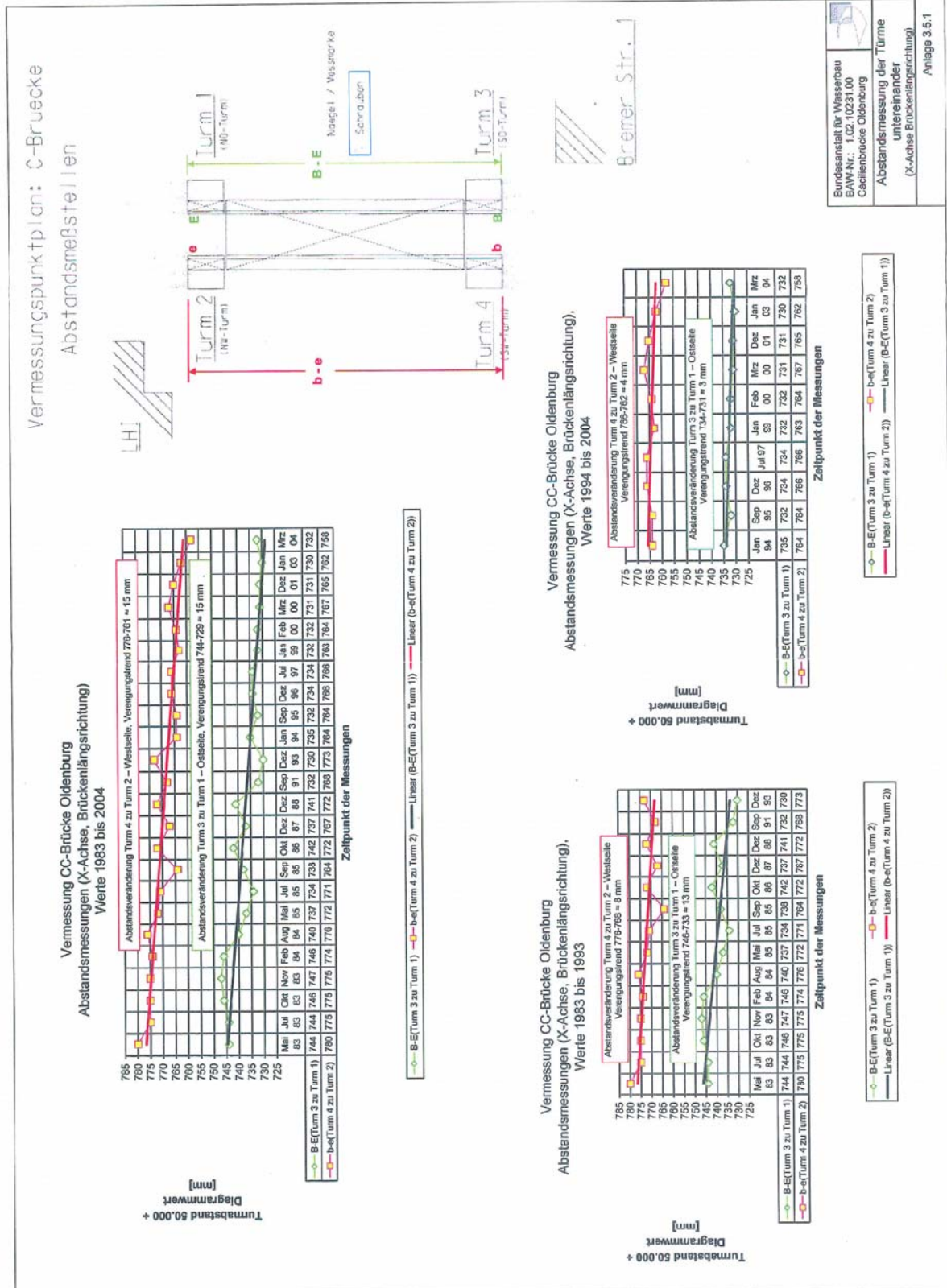
Für die große Halbachse der sich einstellenden elliptischen Berührungsfäche gilt:

$$a = \varphi_a \cdot \sqrt[3]{3 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \sqrt[3]{\frac{F_d \cdot R_b \cdot R}{E \cdot (R_b + R)}} \tag{31}$$

Tabelle 7: Durchmesserhältnisse für Seiltriebe und Gegengewichtsaufhängungen

Verwendungszweck		Durchmesserhältnis $\frac{D}{d}$
Schleusenverschlüsse	Seilrollen	40
	Seiltrommeln	32
	Ausgleichsrollen	16
Wehrverschlüsse	Seilrollen	32
	Seiltrommeln	25
	Ausgleichsrollen	14

Normen-Download-Beuth-Bundesanstalt für Wasserbau-KdNr.: 358645-L / Nr.: 2523383001-2004-09-17 10:20



Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Nr.: 1.02.10231.00
Cäcilienbrücke Oldenburg
Abstandsmessung der Türme
untereinander
(X-Achse Brückenlängsrichtung)
Anlage 3.5.1

Breiter Str. 1

Aufgestellt: 30.01.2009



Dipl.-Ing. (FH) Marco Krings
(Berichtsaufsteller)