

# Fertigung und Prüfung metallischer Verbundgleitlager im Wandel der Zeit

Gerhard HECK, Zivilingenieur, Weiz, Österreich  
Friedrich GREIMEL, Andritz Hydro GmbH, Weiz, Österreich  
Günter JUNGBAUER, ehemals Ennskraftwerke AG, Steyr, Österreich

**Kurzfassung.** Die Fertigung und Prüfung von metallischen Verbundgleitlagern z. B. von hydraulischen Maschinen (Generatoren und Turbinen) hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Geänderte Konstruktionskonzepte, neue Werkstoffpaarungen und steigende Betriebsbelastungen der Maschinen stellen erhöhte Herausforderungen an die Fertigungs- und Prüfverfahren.

Dieser Beitrag befasst sich nur mit der Fertigung und Prüfung von Verbundgleitlagern mit hochzinnhaltigen Beschichtungen, nicht jedoch mit Kupfer oder PTFE beschichteten Lagerausführungen und versucht, einen Bogen zu spannen von den Ursprüngen der Prüfung bis zu den heutigen praktizierten und genormten Verfahren, wobei auch Angaben in den derzeit verfügbaren Regelwerken kritisch betrachtet werden.

## 1. Einleitung

Die Fertigung und Prüfung von metallischen Verbundgleitlagern z. B. von hydraulischen Maschinen (Generatoren und Turbinen) hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Geänderte Konstruktionskonzepte, neue Werkstoffpaarungen und steigende Betriebsbelastungen der Maschinen stellen erhöhte Herausforderungen an die Fertigungs- und Prüfverfahren.

Anfang der 70iger Jahre war die Prüfung von Gleitlagern noch beschränkt auf visuelle Ausführungsmerkmale. Das Thema Bindungsprüfung war noch nicht relevant, da die Verbindung zwischen Stützkörper und Gleitlager durch eine mechanische Verklammerung in Form einer Schwalbenschwanzausführung erfolgte. Durch Änderung der Stützkörperwerkstoffe und langsames Herantasten durch viele Versuche gelang es, die Bindung zwischen Stützkörper und Lagermetall mit verschiedenen Ultraschalltechniken nachzuweisen. Parallel zu dieser Entwicklung wurden auch Oberflächenprüfverfahren zur Beurteilung der Lauffläche herangezogen.

## 2. Geschichtlicher Rückblick

Am Beginn der Entwicklung stand das Wasserrad (Abb. 1) mit Holzlagerschalen und einer Wasserschmierung.



**Abb. 1:** Mühlrad einer Wassermühle im Röhengraben in St. Jakob im Lesachtal, Stadtgemeinde Kötschach-Mauthen, Bezirk Hermagor, Kärnten, Österreich. (Quelle: Johan Jaritz)

Noch Ende der 50iger Jahre wurde für die Lagerschmierung von Wasserturbinen für kleine Maschinen immer noch die Tropfölschmierung oder - für größere Einheiten - ein Ringschmierlager als Stand der Technik angeführt. Natürlich war für Führungslager von großen hydraulischen Maschinen die Fettabwehrschmierung neben der Ölschmierung eine durchaus übliche Konstruktion.

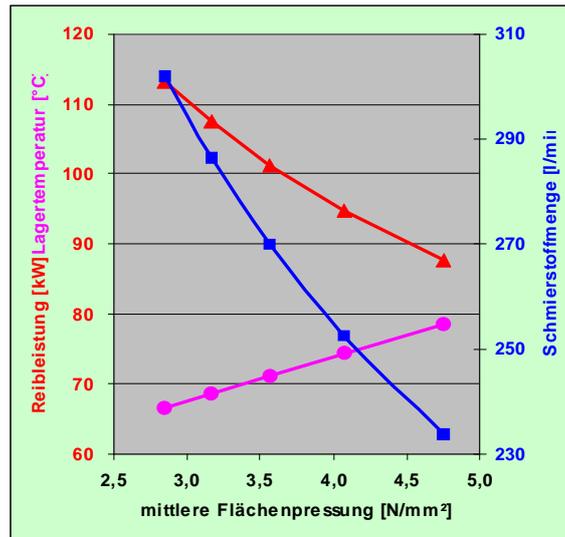
Bis zum Beginn des industriellen Zeitalters bzw. bis zur Einführung von Verbrennungsmotoren waren also Öle pflanzlicher Herkunft die einzig verfügbaren Schmiermittel. Die dann nachfolgenden Mineralöle konnten den gestiegenen Forderungen an Schmierstoffe, nämlich höhere Temperatur- und größere Alterungsbeständigkeit, bedeutend besser entsprechen. Gleichzeitig erfolgte auch die Entwicklung von besseren Gleitlagerwerkstoffen, wobei ab ca. 1925 die Zink-Lagermetalle mit unzureichender Haltbarkeit durch Werkstoffe auf Bleibasis abgelöst wurden. Ab 1940 folgten Gleitlagerwerkstoffe auf Zinnbasis, welche ungefähr zum gleichen Zeitpunkt erstmals durch das Schleudergussverfahren in den Lagerkörper eingebracht wurden.

Immer weiter steigende Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit von Mineralölen führten in jüngster Zeit zum Einsatz von synthetischen Schmiermitteln.

Ökologische Aspekte sowie gesellschaftliche und politische Denkungsart führen seit einigen Jahren dazu, dass auf nahezu allen Gebieten der Schmierung und Druckübertragung versucht, Mineralöle durch umweltverträgliche Schmier- und Hydraulikflüssigkeiten zu substituieren.

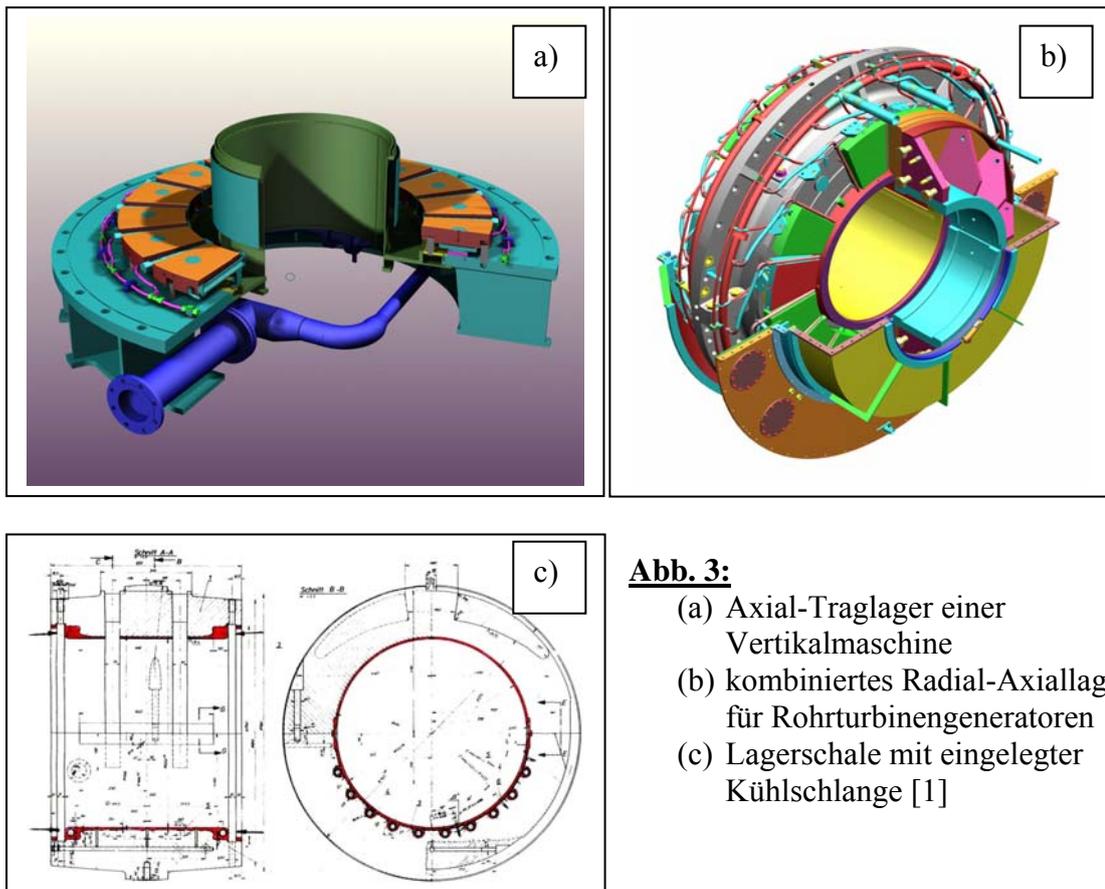
### **3. Konstruktionsarten / Fertigungsverfahren**

Steigende Betriebsbelastungen der Maschinen führten zu neuen Konstruktionskonzepten verbunden mit der Verwendung von neuen Werkstoffen. Ein wesentlicher Parameter für Lager sind die Verluste. Diese steigen proportional mit der Oberfläche. Eine Verlustreduzierung ist nur mit der Verkleinerung der Tragfläche zu erreichen, wodurch andererseits die mittlere spezifische Flächenpressung steigt. Diese steigt bei Lagermetall (Weißmetall) bis zu 4 MPa, bei Großmaschinen liegt sie üblicherweise bei 3 MPa (siehe Abb. 2).



**Abb. 2:** Verluste in einem Traglager

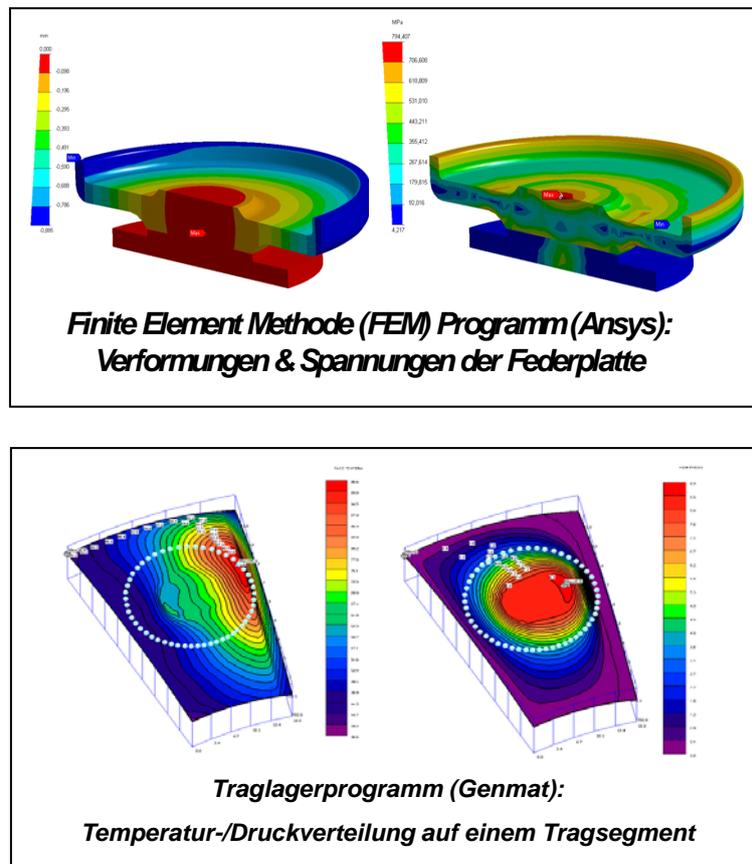
Die Ausführung moderner hydrodynamischer Gleitlager ist in Abb. 3 beispielhaft für eine Vertikalmaschine und einen Rohrturbinengenerator dargestellt. Im Vergleich dazu ein Relikt aus vergangenen Zeiten, das jedoch im Zuge von Revisionen immer noch eine Herausforderung für den Fertiger und speziell für den Ultraschallprüfer darstellt.



**Abb. 3:**

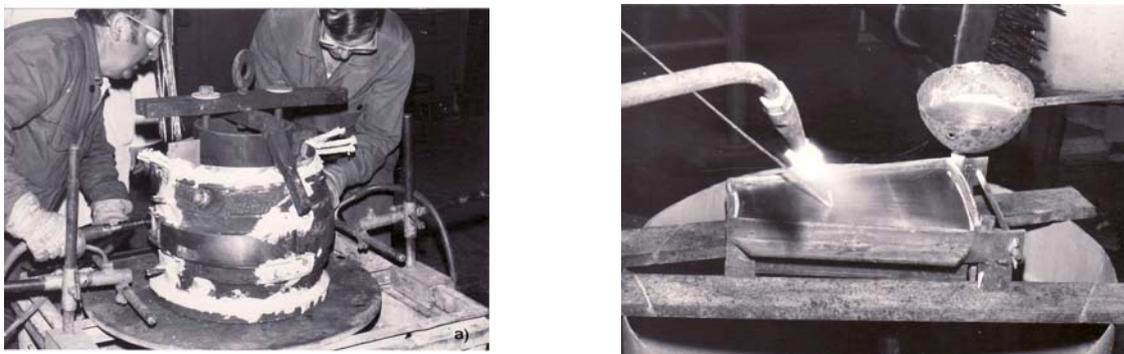
- (a) Axial-Traglager einer Vertikalmaschine
- (b) kombiniertes Radial-Axiallager für Rohrturbinengeneratoren
- (c) Lagerschale mit eingelegter Kühlschlange [1]

Zur Lagerauslegung und Berechnung stehen spezielle Programme zur Verfügung, mit denen vor allem die im Lagerspalt auftretenden Temperaturen sowie die in der Lauffläche herrschenden Beanspruchungen berechnet werden können (Abb. 4).



**Abb. 4:** Lagerauslegung und Berechnung

Die Herstellung von qualitativ hochwertigen Verbundgleitlagern ist an eine Vielzahl von Einflussgrößen gebunden. Wobei aus dieser Vielzahl nur drei erwähnt werden sollen: die so genannten Auskleidungsverfahren wie z. B. Giessen und Löten (Abb. 5) sowie die zur Anwendung kommenden Werkstoffe und die Wärmebehandlung zur Reduzierung des Wasserstoffgehaltes im Stützkörper



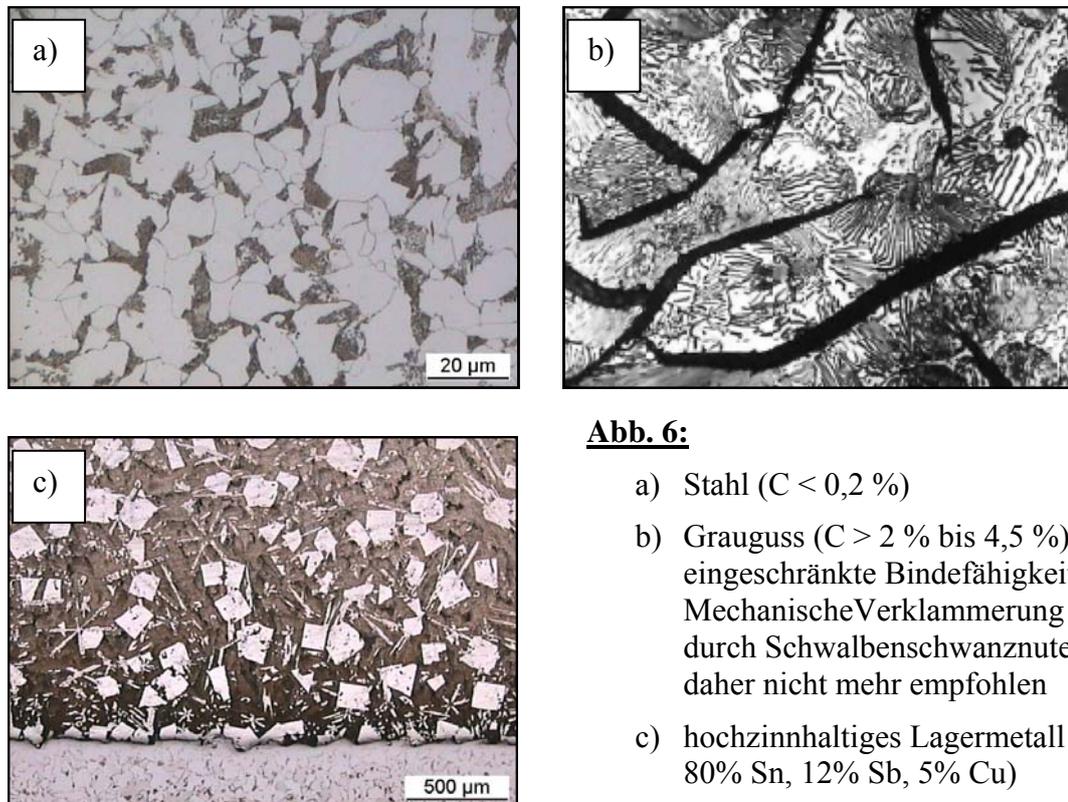
**Abb. 5:** Herstellung einer Lagerschale im Standgussverfahren (links) und eines Tragsegmentes durch Löten (rechts), [1]

#### 4. Werkstoffe

Der Werkstoff für Stützkörper muss einen einwandfreien Verbund mit dem Lagermetall gewährleisten. Die Zusammensetzung des Stahles und die Gefügestruktur müssen eine einwandfreie Verzinnung als Vorbedingung einer guten Bindung gestatten, was durch einen geringen Kohlenstoffgehalt ( $< 0,2\%$ ) erreicht wird. Der ideale Werkstoff ist Schmiedestahl, ersatzweise kann auch Baustahl verwendet werden. Bei komplizierteren Formen (z. B. Führungslager mit angefügten Zentrierflanschen) wird Stahlguss gewählt.

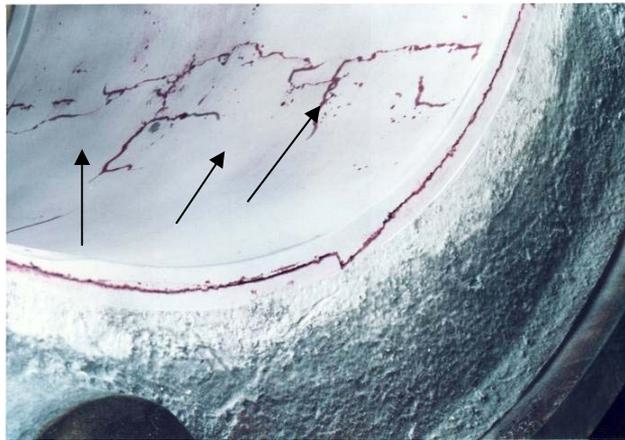
Als Stahlstützkörper (z. B. für Segmentlager) wird Vergütungsstahl C22E (1.1151) nach EN 10083-2 empfohlen, ersatzweise können auch Baustähle der Qualität S235JR bis S355JR nach EN 10025 verwendet werden, wobei in den Bestellvorschriften ein max. C-Anteil von  $0,2\%$  zu definieren ist (Abb. 6a). Für Stahlguss-Stützkörper ist Material der Qualität GS200 (1.0449) nach EN 10293 zu verwenden

Der früher oft eingesetzte Grauguss (Abb. 6b) wird wegen seiner stark eingeschränkten Bindefähigkeit nicht mehr empfohlen. Die dem Graugusskörper ehemals zugesprochene Eigenschaft der „guten Dämpfung“ resultiert offensichtlich nur aus der größeren Masse des Lagerkörpers. Die Bindungsschwäche (Kohlenstoffgehalt 2 bis  $4,5\%$ ) des Graugusses führte zur konstruktiven Gestaltung von Verklammerungen für das Lagermetall, ausgeführt als Schwalbenschwanznuten. Die stark wechselnde Schichtstärke des Lagermaterials führt - wegen der differenzierten elastischen Verformung unter Belastung - zu Spannungsspitzen an den Nutenkanten mit nachfolgender Rissbildung (Abb.7). Als Beschichtungswerkstoffe kommen vorwiegend hochzinnhaltige Lagermetalle zum Einsatz (Abb. 6c).



**Abb. 6:**

- a) Stahl ( $C < 0,2\%$ )
- b) Grauguss ( $C > 2\%$  bis  $4,5\%$ ) eingeschränkte Bindefähigkeit. Mechanische Verklammerung durch Schwalbenschwanznuten; daher nicht mehr empfohlen
- c) hochzinnhaltiges Lagermetall (ca.  $80\% \text{ Sn}$ ,  $12\% \text{ Sb}$ ,  $5\% \text{ Cu}$ )



**Abb. 7:** Rissbildung in der Lagerlauffläche an den Nutenkanten (Pfeile)

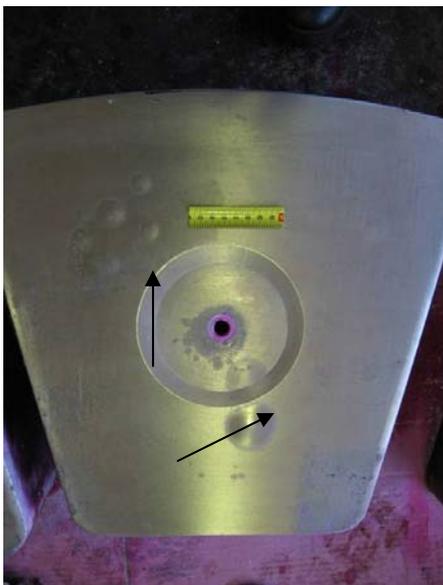
## 5. Wärmebehandlung

Eine gute Qualität beim Verbund von Grundwerkstoff und Lagermetall setzt eine richtige Wärmebehandlung der Stützkörper voraus.

Stahlguss und Vergütungsstahl wird normalisiert geliefert. Die Temperaturen sind in den EN-Normen definiert, die Abkühlung soll hinreichend langsam erfolgen (in der Norm nicht definiert). Eine nachfolgende Spannungsarmglühung reduziert die Gefahr von freiwerdenden Spannungen im Zuge der mechanischen Bearbeitung, besonders bei stark unterschiedlichen Wandstärken des Gusskörpers.

Bei Stahlstützkörper ist jedenfalls eine Spannungsarmglühung mit langsamer Abkühlung erforderlich, um Spannungen im Vormaterial zu beseitigen.

Sehr wichtig ist für alle Stützkörper die Einhaltung des Wasserstoffgehaltes von  $< 1,7$  ppm, da sonst durch effundierenden Wasserstoff die Bindungszone vom Grundkörper zum Lagermaterial zerstört wird (Abb. 8). Ist der Wasserstoffgehalt vor Aufbringen des Lagermaterials unbekannt, muss eine Wasserstoffarmglühung bei  $500^{\circ}\text{C}$  in Abhängigkeit der Wanddicke (ca.  $\frac{1}{2}$  h/mm Wanddicke) durchgeführt werden.



**Abb. 8:** Ablösen des Lagermetalls durch Wasserstoff (Bläschenbildung)

Wird ein Grauguss-Stützkörper mit einer Reparatur-Neuauskleidung versehen, ist eine Langzeitglühung durchzuführen, um den noch vorhandenen Schmierstoff aus dem Grundkörperwerkstoff zu entfernen.

## 6. Regelwerke für Prüfungen, Qualitätskriterien

### 6.1 Lagerwerkstoffe

Für die Abnahme der Lagerwerkstoffe sind zwei Bauteilgruppen zu beachten:

- Lager-Stützkörper
- Lagermetall

Für die zerstörungsfreie Prüfung des **Stützkörpers** gelten u.a. die Regelwerke:

bei Stahlguss-Stützkörper:

- EN 1369 Gießereiwesen – Magnetpulverprüfung
- EN 1371 Gießereiwesen – Eindringprüfung
- EN 12454 Gießereiwesen – Visuelle Bestimmung von Oberflächenfehlern
- EN 12680 Gießereiwesen – Ultraschallprüfung
- EN 12681 Gießereiwesen – Durchstrahlungsprüfung
- CCH 70-3 Pflichtenheft für die Abnahme von Stahlgussstücken für hydraulische Maschinen

bei Stützkörper aus Schmiedestahl:

- ÖNORM M 3002 Ultraschallprüfung von Umformprodukten (geschmiedet, gewalzt)
- EN 10228 Zerstörungsfreie Prüfung von Schmiedestücken aus Stahl

Als Nachweis für das verwendete **Gleitlagermaterial** ist ein Attest über die chemische Analyse des verwendeten Lagermetalls und die angewendeten Verarbeitungsmethoden vorzulegen. Bestehen Zweifel über die Güte des Lagermetalls, so sind diese durch geeignete Prüfmethoden (z. B. Herstellung eines Schliffbildes an geeigneter Stelle des Lagers) abzuklären.

### 6.2 Bindungsprüfung

Für die Prüfung der Bindung von metallischen Verbundgleitlagern gibt es folgende Regelwerke:

- DIN/ISO 4386 Gleitlager - Metallische Verbundgleitlager  
Teil 1: Zerstörungsfreie Ultraschall-Prüfung der Bindung  
Teil 2: Zerstörende Prüfung der Bindung für Lagermetall-Schichtdicken  $\geq 2$  mm  
Teil 3: Zerstörungsfreie Prüfung nach dem Eindringverfahren
- ÖNORM M 3003 Ultraschallprüfung metallischer Verbundgleitlager

Beide Normen erfüllen die Forderungen der Anwender (z.B. Kraftwerksbetreiber) nur unzureichend, worauf hier näher eingegangen wird. Vorab wird jedoch der Teil 2 der DIN/ISO 4386 kommentiert.



## 6.2.2 Zerstörungsfreie Prüfungen

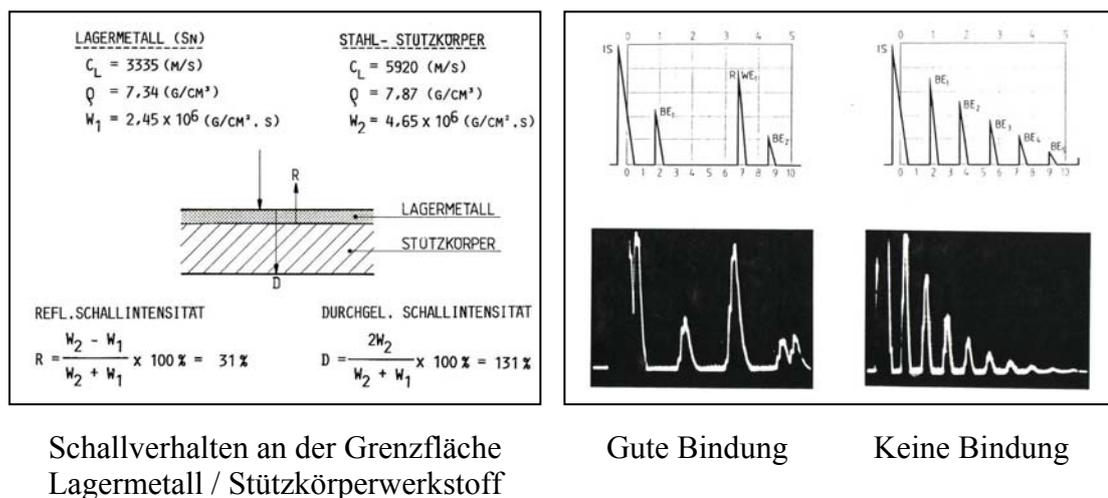
### Ultraschallprüfung

War in der Vergangenheit die Klangprobe eine übliche Prüfung, so muss doch die Subjektivität der Aussage mit eingeschlossen werden.

Als gängige Prüfung - mit der besten objektiven Aussagekraft - hat sich die Ultraschallprüfung weitgehend durchgesetzt. Grundlage dieses Verfahren ist, dass sich an der Grenzschicht zweier Medien - im gegenständlichen Fall zwischen Lagermaterial und Stützkörperwerkstoff - eine Teilreflexion des Ultraschalls einstellt (Abb.10).

Im Gegensatz zu anderen Prüfaufgaben mittels Ultraschall und deren Prüfergebnis ist zu beachten: Die Bindungsprüfung mittels Ultraschall ermöglicht eine qualitative, nicht jedoch eine quantitative Beurteilung der Haftung des Lagermaterials am Stützkörper. Zusätzlich kann die Aussagefähigkeit der Ultraschallprüfung durch die geometrische Form des Lagerkörpers bzw. durch ungenügende Schalldurchlässigkeit der verwendeten Werkstoffe beeinträchtigt werden. Für eine möglichst genaue Abgrenzung der Flächen mit Nichtbindung wird empfohlen, Prüfköpfe mit kleinem Durchmesser zu wählen.

Die Prüfungsdurchführung ist in der Norm DIN/ISO 4386 Teil 1 reglementiert. Das Schallverhalten an der Grenzfläche zwischen Lagermetall und Stützkörperwerkstoff ist im linken Bild von Abb.10 dargestellt. Für die Beurteilung, ob eine Bindung oder Nicht-Bindung vorliegt, werden einerseits das Bindungsecho (entsteht auch bei guter Bindung aufgrund der Impedanzunterschiede der beteiligten Werkstoffe) und andererseits das Rückwandecho aus dem Stützkörper herangezogen (Abb. 10 rechts) [2].



**Abb. 10:** Schallverhalten an der Grenzfläche Lagermetall / Stützkörper [1]

Kritik ist festzuhalten an der Fehlergruppeneinteilung und deren Bewertung bei der zitierten DIN/ISO 4386-1 und auch bei der österreichischen ÖNORM M 3003 (Tabelle 1).

Die DIN/ISO 4386-1 kennt 5 Fehlergruppen, die Differenzierung bezieht sich vorzugsweise auf die Wandstärke des Stützkörperwerkstoffes, auf konstruktive Ausbildungsvarianten (mit oder ohne Bohrungen/Hohlkammern) sowie auf Neufertigung oder Reparatur [3].

Die für die Praxis wesentlichste Einschränkung liegt in der Wandstärke des Stützkörpers, da jede Wandstärke über 100 mm automatisch zu jener Beurteilungsgruppe führt, welche den meisten Fehlerumfang zulässt.

Geht man jedoch von den immer größer werdenden Maschineneinheiten aus, werden natürlich auch die Abmessungen der Lagerkörper immer größer, wobei 100 mm Wandstärke eher die Untergrenze darstellt. Speziell Traglagersegmente für große Maschineneinheiten müssen aus Festigkeitsgründen (Durchbiegung aus Belastung und thermischen Einfluss) mit großen Wandstärken gefertigt werden, welche ein Fertigmaß von 200 mm auch überschreiten. Einen großen Anteil an Nichtbindung zu tolerieren ist für Traglagersegmente keine Fertigungsqualität, welche dem Stand der Technik entspricht.

Die DIN/ISO 4386-1 kennt leider keine Differenzierung nach Verwendungsfall. Bedeutend besser ist diesbezüglich die - später erschienene - ÖNORM M 3003, welche die Klassifizierung auf die Anwendungen (z.B. Führungs- oder Segmentlager) bezieht. Damit wird auch den verschiedenen Beanspruchungen Rechnung getragen sowie (vielleicht im Hintergrund) das zu erwartende Schadensausmaß im Schadensfall mit einbezogen.

**Table 1:** Fehlergruppeneinteilung und deren Bewertung / Gegenüberstellung DIN/ISO 4386-1 und ÖNORM M 3003

ISO 4386-1	Bindungsfläche		Randzone	
Fehlergruppe	max. Einzelfehler [mm <sup>2</sup> ]	max. Gesamtfehler [%]	max. Gesamtfehler [%]	max. Einzelfehler [mm]
A	0	0	0	0
B1	0,75 b	1	1	5
B2	2 b	1	1	5
C	2 b	2	2	10
D	4 b	5	4	20
ÖN M 3003	Bindungsfläche		Randzone	
Klasse	zul. Einzelfehler	zul. Gesamtfläche	zul. Gesamtlänge [%]	zul. Einzelfehler [mm]
	in % der Bindungsfläche		bezogen auf jeweilige Kantenlänge	
1	1	2	2	5
2	1	5	5	10
3	2	10	10	20
4	3	20	20	40
5	5	30	40	40

Die zulässigen Fehlergrößen werden immer im Verhältnis zur Bindefläche - entweder als direktes Flächenmaß in mm<sup>2</sup> oder im prozentualen Verhältnis zur gesamten Bindefläche beurteilt.

Werden nun die zulässigen Fehlergrößen in den einzelnen Bewertungsgruppen betrachtet, liegen die Werte der ÖNORM M 3003 weit über dem Ausmaß der DIN/ISO 4386-1, welche schon unannehmbare Toleranzen aufweisen.

Beispielhaft sollen dies die folgenden Zahlenwerte in Tabelle 2 für ein zweiteiliges Führungslager und Traglagersegmente veranschaulichen. Gewählt wurde jeweils die zweitbeste Qualitätsklasse der entsprechenden Norm [3]:

**Tabelle 2:** Vergleich der zul. Fehlergrößen DIN/ISO 4386-1 und ÖNORM M 3003

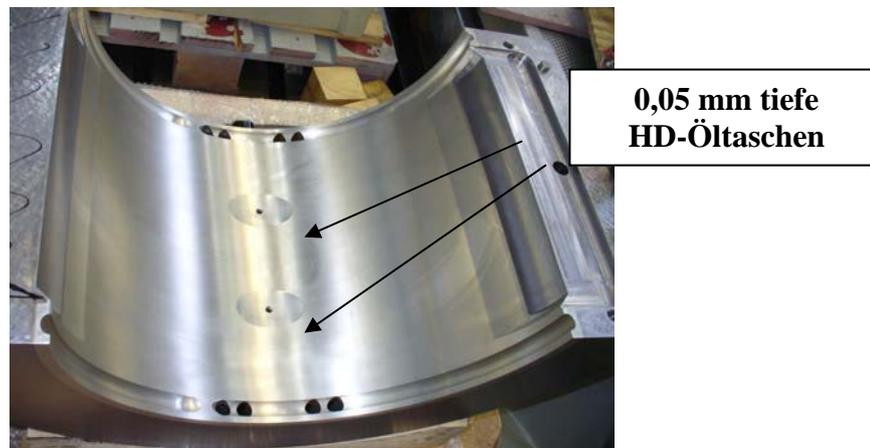
	Fehlergruppe	max. zul. Einzelfehler		max. zul. Gesamtfehler	
		mm <sup>2</sup>	≅ Ø mm	mm <sup>2</sup>	≅ Anzahl der Einzelfehler
<b>Führungslager:</b> Innen Ø = 620 mm, Breite 415 mm, 2-teilig Bindungsfläche 404.200 mm <sup>2</sup> pro Halbschale					
DIN/ISO 4386-1	B1	310	20	4.040	13
ÖNORM M 3003	2	4.040	72	20.210	5
<b>Traglager-Segmente:</b> Außen Ø = 1.700 mm, Innen Ø = 850 mm, 10 Segmente, mittlere Segmentbreite = 425 mm, Wandstärke = 165 mm, Bindungsfläche pro Segment 170.200 mm <sup>2</sup>					
DIN/ISO 4386-1	B1 *)	320	20	1.700	5,5
ÖNORM M 3003	1	1.700	47	34.050	5

\*) Gemäß Norm-Definition müssten die Segmente in die Fehlergruppe „D“ eingestuft werden, da die Wandstärke mehr als 100 mm beträgt. Die zulässigen Fehlergrenzwerte würden dann der ÖNORM M 3003 gleichen.

Sind die Einzelfehler kleiner als oben angeführt, dürfen sie noch häufiger auftreten - bis zum Grenzwert des Gesamtfehlers.

Nicht näher eingegangen wird auf die bei allen Regelwerken normativ vorgesehene Bewertung der Randzonenprüfung, da dies eine völlig unsinnige Beurteilung vorsieht. Jeder UT-Prüfer weiß, dass im Randzonenbereich eines Werkstückes aus physikalischen Gründen keine einwandfreie Anzeige möglich ist.

Bei allen angeführten Fehlergruppen bzw. Klassen sind keine Zonenbewertungen vorgesehen (geistige Anleihe könnte u.a. aus der CCH 70 genommen werden). Aus betrieblichen Erfordernissen sind jedoch Zonen der Lagerauflfläche mit fehlerloser Bindung notwendig, z.B. im Bereich der Einmündung der Hochdruckentlastung (Abb. 11).



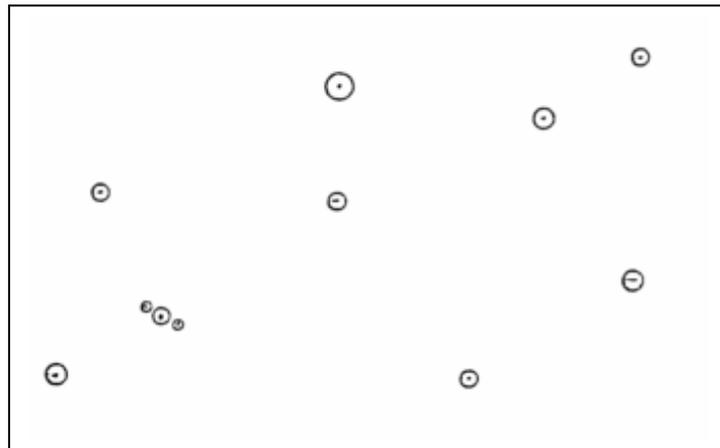
**Abb. 11:** Lagerschale mit Hochdruck-Entlastungsbohrungen

Weiters gibt es auch Führungslager, bei denen Drucköl für die Turbinensteuerung aus dem feststehenden Lagerstützkörper in die rotierende Welle zugeführt und innerhalb dieser weitergeleitet werden. Natürlich ist im Bereich der Druckölauführung (wechselnder Steuerdruck von 0 bis ca. 40 oder 60 bar) eine einwandfreie Bindung erforderlich, damit das Drucköl nicht die Lagermetallschicht unterwandert.

### Eindringprüfung

Nun noch ein Blick auf die Eindringprüfung, welche nur in der DIN/ISO 4386-3 angeführt, in der ÖNORM M 3003 jedoch nicht enthalten ist. Diese Prüfmethode stellt bei der Lagerprüfung eine wichtige Ergänzung zur Ultraschallprüfung dar, da - wie bereits oben angeführt - die Randzonenbereiche nur mittels PT sinnvoll und aussagekräftig kontrolliert werden können. Natürlich ist auch die eigentliche Lauffläche mit PT zu prüfen, wobei poröse Stellen oder Rissbildungen erkannt werden. Diese letztgenannten Ungängen sind jedoch auch bei einer visuellen Kontrolle deutlich erkennbar.

Interessant ist die in der DIN ISO 4386-3 für die Eindringprüfung angeführte Vorbereitung der Prüffläche: *Vorreinigung durch Strahlen, Bürsten, Schleifen....*- und dies bei der richtigerweise geforderten Oberflächenqualität von  $R_a < 5 \mu\text{m}$ . Die Beispielbilder für die PT-Bewertung sind schlicht und einfach vom Regelwerk CCH 70-PT 70 entlehnt, ohne auf die bei Lagern wichtigen Beurteilungskriterien (z.B. keine lineare Anzeigen im Bindungsbereich) einzugehen (Abb.12).



**Abb. 12:** Form und Lage der Anzeigen für Klasse D

## 9. Zusammenfassung

Summarisch kann daher nur festgestellt werden, dass die beiden Normen sehr praxisfremd formuliert sind und daher von Auftraggebern selten als Abnahmevorschrift herangezogen werden. Spezielle Kundenvorschreibungen sind daher selbstverständlich! Der Arbeitskreis „Werkstofftechnik und Qualitätssicherung hydraulischer Anlagen“, eine Gruppe aus österreichischen Kraftwerksbetreibern, ist gerade mit der Erstellung von einheitlichen Regeln als „österreichische Abnahmevorschrift“ befasst.

Natürlich zeigen einige Hersteller ihre Unfreude über normativ abweichende Bestellvorschriften, wobei jedoch ausdrücklich betont werden muss, dass die Qualität der zur Abnahme bereitliegenden Lager bei weitem die Erfordernisse nach Norm überschreitet, also qualitativ die Lager im Regelfall hochwertig sind.

Dies gelingt jeder fachkundigen Firma, welche die Verarbeitungsregeln - beginnend bei der Wärmebehandlung über die Verzinnung bis zur Lagermetallaufbringung und die richtige mechanische Endbearbeitung - einhält.

Die Auftraggeber müssen auf der besten erzielbaren Qualität bestehen, da ein Lagerschaden meist infolge der umfangreichen Reparatur mit hohem Kostenaufwand und Einnahmementfall (Energieausfall) die höheren Lager-Herstellungskosten um ein vielfaches übersteigt.

Abschließend sollen hier in geraffter Form die Änderungsvorschläge für die erwähnten Normen DIN/ISO 4386, Teile 1 und 3 sowie ÖNORM M 3003 zusammengefasst werden:

### Änderungsvorschläge

#### DIN/ISO 4386-1: (UT)

- Löschen der Fehlergruppen in Abhängigkeit der Wandstärke
- neue Fehlergruppen mit Bezug auf Lagerart (Führungs- oder Traglager) sowie auf Zonen mit besonderen Anforderungen (z.B. Bohrung für Druckölauführung)
- Löschen der Randzonenbewertung
- Empfehlung der Verwendung eines Stufenkeiles für die Kalibrierung der Prüfeinrichtung

#### DIN/ISO 4386-2: (Zerstörende Bindungsprüfung)

- Ersatzlose Streichung des Teiles bis zur Erforschung einer geeigneten Prüfeinrichtung bzw. eines aussagekräftigen Prüfvorganges

#### DIN/ISO 4386-3: (PT)

- Löschung der *Vorbereitung der Prüffläche durch Strahlen, Bürsten, usw.*, da unsinnig
- Löschung *Verweis auf unzulässige Anzeigen in der Randzone gemäß UT-Prüfnorm*, da unsinnig
- Fehlerklassen mit Zoneneinteilung, mit Angabe von tolerierbaren linearen Anzeigen bzw. tolerierbarer Porosität.

#### ÖNORM M 3003 (UT)

- Zulässige Einzel- und Gesamtfehler in der Bindungsfläche reduzieren auf ca. 1/10 der dzt. Angaben
- Randzonenbewertung ersatzlos streichen und auf PT verweisen
- Empfehlung der Verwendung eines Stufenkeiles für die Kalibrierung der Prüfeinrichtung
- Erstellung einer PT-Prüfnorm mit Zoneneinteilung

## **10. Referenzen**

- [1] Heck, G.: Zur Problematik der Prüfung und Festlegung von zulässigen Fehlern bei metallischen Verbundgleitlagern. E und M, 4//87, Seite 133-140.
- [2] Heck, G., Strunz, K.: Möglichkeiten und Grenzen der Wanddickenmessung und Bindungsprüfung mittels Ultraschall. 5. Vortragsstagung der ÖGfZP, 4.-5. April 1990.
- [3] Jungbauer, G.: Vortrag im Arbeitskreis „Werkstofftechnik und Qualitätssicherung hydraulischer Anlagen“, Wien im Mai 2005