

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 111 (1993)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Festkörperreibung: Reibungszahlen verschiedener Werkstoffe  
**Autor:** Maissen, Aluis  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78120>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

und Licht und guter Luft sind die Voraussetzungen für eine dauernde Motivation aller Mitarbeiter. Langfristig lohnt es sich, mehr zu investieren für eine freundliche Farbgestaltung in der Fabrik, für genug Tageslicht und für eine moderne Ventilation kombiniert mit Heizung, Filter und Wärmerückgewinnung.

Es ist Aufgabe des Managements, sicherzustellen, dass diese wirtschaftlichen Anlagen kreiert und realisiert und dass diese fortlaufend weiter entwickelt werden. Die Mitarbeiter sollen so harmonisch mit diesen Systemen wachsen. Es braucht Kreativität, Fantasie, Courage, Wissen und Ausdauer.

### Die Aus- und Weiterbildung

Die Inbetriebnahme dieser komplexen Systeme erfordert viel Zeit und bedingt

eine systematische Instruktion der Mitarbeiter. Zuerst muss gesorgt werden, dass jede Maschine für sich alleine einwandfrei funktioniert, und wenn diese stabil ist, kann sie in das ganze Produktionssystem integriert werden.

Parallel müssen Konstruktionsrichtlinien erarbeitet und instruiert werden, um die Produkte mit den Maschinen und Einrichtungen abzustimmen.

Diese neue Philosophie muss durch eine gezielte Ausbildung auf allen Hierarchiestufen durchgesetzt werden.

5 x M für Marketing, Mitarbeiter, Management, Maschinen und Money. Die 5 x M, strategisch und operationell gut geführt, sind die Stärken und Chancen eines Produktionsstandortes in der Schweiz. Voraussetzung ist überall Professionalität.

Dies ist auch der einzige Weg für jede schweizerische Stahlbauunternehmung, die langfristig auf dem Schweizermarkt überleben will.

### MMMMM

Der Erfolg einer Unternehmung mit Produktionsstandort Schweiz hängt ab von 5 Elementen mit Anfangsbuchstaben M, die in diesem Artikel umschrieben sind:

Adresse des Verfassers: *François Frochaux*, dipl. Ing. ETH, Präsident der Schweizerischen Zentralstelle für Stahlbau, Direktor Geilinger AG, 8180 Bülach.

## Festkörperreibung

### Reibungszahlen verschiedener Werkstoffe

**Im folgenden wird über Gleitreibungsversuche an unkonventionellen «Gleitlagern» berichtet, die an der EMPA durchgeführt wurden. Für einmal geht es somit nicht um die klassischen Brücken-Gleitlager, sondern um die Reibungsverhältnisse von verschiedenen Werkstoffen, die in der Praxis häufig eine Rolle spielen, über die man jedoch eher wenig Bescheid weiß.**

Im allgemeinen versteht man unter Reibung den Widerstand, der bei einer relativen Bewegung zweier sich berühren-

VON ALUIS MAISSEN,  
DÜBENDORF

der Körper auftritt. Wenn z.B. zwei ebene Flächen fester Körper aufeinander gleiten, tritt Gleitreibung auf. Die in der Berührungsebene auftretende Reibungskraft ist der Normalkraft proportional, mit der die beiden Körper gegeneinander gedrückt werden. Es gilt also das Coulombsche Reibungsgesetz  $W = \mu \cdot N$ . Demnach ist der Reibungswiderstand  $W$  nur von der Normalkraft  $N$  und von der empirisch ermittelten Reibungszahl  $\mu$  abhängig [1]. Im Gegensatz zur Rollreibung [2] unterscheidet man bei der gleitenden Reibung zwischen der Haftreibungszahl (auch Ruhreibung oder statische Reibung genannt) und der Gleitreibungszahl (auch Bewegungsreibung oder dynamische Reibung genannt). Im allgemeinen ist die Haftreibung grösser als die bei Ein-

tritt des Gleitens auftretende Gleitreibung. Dies gilt vor allem für die klassischen Gleitlager [3] [4], bei denen die Gleitschichten sich auch über längere Zeit vertragen und praktisch keinen Verschleiss aufweisen. Anders verhält es sich hingegen bei verschiedenen Werkstoffen, die beim Aufeinandergleiten bald Verschleisser-scheinungen zeigen und dadurch den Gleitreibungs-wert schnell anwachsen lassen.

Die Reibungszahlen, auch Reibungskoeffizienten oder Reibungswerte genannt, sind im allgemeinen von folgenden Parametern abhängig:

- Werkstoff
- Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit)
- Zustand der Oberfläche, trocken oder geschmiert
- Gleitgeschwindigkeit
- Flächenpressung

Neben dem Werkstoff selber ist es vor allem die Oberflächenbeschaffenheit, welche die Gleitreibung massgebend

beeinflusst. So ist der Reibungswiderstand relativ klein bei glatten, gross hingegen bei rauen Flächen.

Je nachdem, ob ein Schmiermittel zwischen den gleitenden Teilen wirkt oder nicht, spricht man von trockener oder flüssiger (geschmierter) Reibung. Bei trockener Reibung berühren sich zwei relativ zueinander bewegte Teile unmittelbar. Dabei entsteht ein starker Verschleiss. Bei flüssiger Reibung sind dagegen die einzelnen Gleitteile (in der Regel Metalle) durch einen Schmierfilm voneinander getrennt, so dass sich die Reibung im Schmiermittel vollzieht. Zwischen diesen zwei Extremfällen gibt es noch die halbflüssig Reibung oder die Mischreibung, bei der der Schmierfilm nicht vollständig ausgebildet ist [1].

Bei den vorliegenden Versuchen [5] ging es ausschliesslich um trockene Reibung. Es sollten also nicht die Reibungsverhältnisse bei Gleitschichten von Brückenlagern oder Maschinenteilen untersucht werden. Hauptziel war vielmehr die Ermittlung von Reibungszahlen verschiedener Werkstoffe, die in praktischen Fällen von Bedeutung sein können. Auf diese praxisnahe Zielsetzung waren auch die Versuche selber ausgerichtet, und so wurden Werkstoffpaarungen untersucht, die sowohl von der aktiven wie von der passiven Reibung her interessant sind. Sollen beispielsweise vorfabrizierte Betonplatten über Stahlträger eingeschoben werden, so muss dabei die Reibung überwunden werden. Handelt es sich dagegen um Bauwerke, die vorwiegend durch Reibungskräfte zusammengehal-

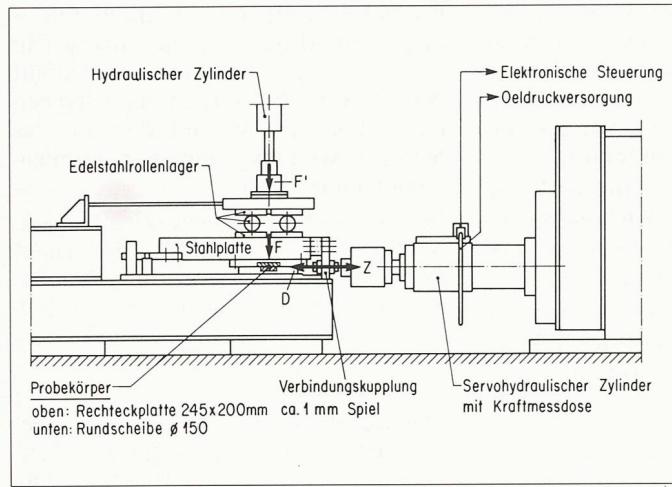


Bild 1. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Festkörperreibung, Bezeichnungen: - Z: Reibungswiderstand in Zugrichtung, - D: Reibungswiderstand in Druckrichtung, - F': Hydraulische Kraft, - G: Eigenlast der Versuchseinrichtung, - F: Normalkraft  $F = F' + G$

ten werden, wie beispielsweise Parkhäuser aus vorfabrizierten Elementen, so sind möglichst hohe Reibungswerte erwünscht und diese dürfen unter keinen Umständen unterschritten werden.

### Untersuchte Werkstoffe

Die untersuchten Werkstoffe und deren Kombination in den Reibungsversuchen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die gewählte Probengröße war den aufzubringenden Vertikalkräften

bzw. den spezifischen Flächenpressungen angepasst. Die Gleitpartner bestanden jeweils aus einer Rechteckplatte 245 mm x 200 mm und einer Rundscheibe von 150 mm Durchmesser.

### Versuchseinrichtung

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung und Bild 2 eine Abbildung der gesamten Versuchseinrichtung mit Servozylinder und elektronischer Steueranlage. Die Gleitelemente kommen dabei zwischen die

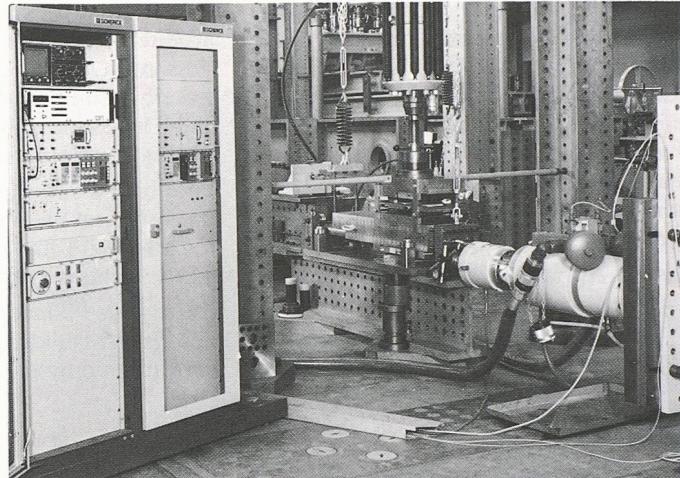


Bild 2. Versuchseinrichtung; Links: Elektronische Steuereinheit, - Mitte: Prüfmaschine mit Probekörpern und vertikaler Belastung, - Rechts: Servozyylinder mit Zug-Druck-Kraftmessdose zur Registrierung des Reibungswiderstandes

untere Druckplatte und die sich horizontal bewegende Zwischenplatte zu liegen. In der oberen Ebene, die aus Symmetriegründen ebenfalls beweglich sein muss, wurden die Gleitschichten durch ein Edelstahlrollenpaar ersetzt, dessen Vickershärte HV ca. 500 beträgt. Dadurch konnte eine bessere Stabilisierung der Zwischenplatte erreicht werden, die bei symmetrischer Anordnung der Probekörper nicht ohne weiteres gegeben wäre. Der Rollwiderstand der Edelstahlwalzen ist im Vergleich zum Gleiwiderstand vernachlässigbar klein.

Durch die mit der Kolbenstange des Servozylinders verbundene Zwischenplatte wird die obere Gleitschicht hin und her bewegt. Die gleichzeitig wirkende lotrechte Belastung F wird ebenfalls mit einem hydraulischen Zylinder aufgebracht. Die Hin- und Herbewegungen der Zwischenplatte erfolgen mit konstanter Geschwindigkeit und bei genau definiertem Gleitweg. Die zur Überwindung des Reibungswiderstandes erforderlichen Zug- und Druckkräfte werden vom erwähnten Servozylinder erzeugt, der mit dem Druckölvorschaltungsteil und der elektronischen Steuerung verbunden ist. Die Geschwindigkeit der Zwischenplatte bleibt dadurch über den ganzen Gleitweg konstant. Der Gleiwiderstand kann durch eine systemeigene Kraftmessdose registriert und über einen Flachbettenschreiber aufgezeichnet werden. Zwischen Servozylinder und Zwischenplatte ist ein Kupp lungsglied mit ca. 1 mm Spiel angeordnet. Dieses ermöglicht jederzeit eine saubere Trennung zwischen Zug- und Druckkraft.

Vor Bewegungsbeginn wurden die eingebauten Proben jeweils während meh-

Tabelle 1. Untersuchte Werkstoffe. Die gewählte Probengröße war den aufzubringenden Vertikalkräften bzw. den spezifischen Flächenpressungen angepasst. Die Gleitpartner bestanden jeweils aus einer Rechteckplatte 245 mm x 200 mm und einer Rundscheibe von 150 mm Durchmesser

Gleitpartner	Bezeichnung
Stahl gegen Stahl Aluminium gegen Aluminium Kupfer gegen Kupfer Bronze gegen Bronze Messing gegen Messing Grauguss gegen Grauguss Blei gegen Blei	Grundwerkstoffe: Metalle, Beton und Holz
Beton gegen Beton	
Holz gegen Holz	
Stahl gegen Aluminium Stahl gegen Kupfer Stahl gegen Bronze Stahl gegen Messing Stahl gegen Grauguss Stahl gegen Blei	
Stahl gegen Beton	
Stahl gegen Holz	
Beton gegen Blei Beton gegen Holz	
	Werkstoffkombinationen

erer Minuten der vertikalen Auflast unterworfen. Danach erfolgte die erste Gleitbewegung von der Mittelstellung aus in Zugrichtung, wobei die Gleitgeschwindigkeit auf dem ganzen Weg konstant blieb und in der Regel 0.1 mm/s in beiden Richtungen betrug.

## Versuchsbedingungen

Flächenpressung der Gleitschichten: 1 bis 10 N/mm<sup>2</sup>, je nach Werkstoff

Gleitweg je Doppelhub:  
 $s = 80 \text{ mm}$

Anzahl Doppelhübe:  
 $n = 1$

Gleitgeschwindigkeit:  
 $v = 0.1 \text{ mm/s}$

Vorbelastungszeit:  
 $t_v = \text{mehrere Minuten}$

Temperaturbedingungen:  
 $T = \text{ca. } 19^\circ\text{C}$

Ein Doppelhub setzt sich wie folgt zusammen:

$S_1 = 20 \text{ mm}$  von der Symmetrieachse aus in Zugrichtung

$S_2 = 40 \text{ mm}$  zurück in Druckrichtung

$S_3 = 20 \text{ mm}$  vorwärts in Zugrichtung bis zur Symmetrieachse

Nach dem ersten Doppelhub wurden gelegentlich noch weitere Reibungsversuche gefahren, z.T. auch mit grösseren Gleitgeschwindigkeiten ( $v = 1.0 \text{ mm/s}$ ). Die eigentliche Auswertung der Reibungszahlen erfolgte jedoch nur für den ersten Doppelhub. Der Grund dafür liegt darin, dass es sich hier nicht um eigentliche Gleitlager handelt, deren Gleitpartner sich über weite Strecken vertragen. Hier wurde vielmehr das Reibungsverhalten von Werkstoffen getestet, die überhaupt nicht als Gleitlager verwendet werden oder dann höchstens als provisorische Lager.

Die geprüften Werkstoffe greifen einander vielfach bereits nach wenigen Bewegungen an, sie vertragen sich also nicht wie richtige Gleitelemente (Anfressen bei Metallen, Abnutzung bei Beton usw.). Die ermittelten Reibungszahlen beziehen sich demnach nur auf die Verhältnisse des ersten Doppelhubs mit insgesamt 80 mm Gleitweg und einer Geschwindigkeit von 0.1 mm/s. Um praxisnahe Verhältnisse zu schaffen, wurden Flächenpressungen gewählt, die unter Gebrauchslasten auftreten.

wesentlich grösser als die Gleitreibung. Bei der nachfolgenden Bewegung in Druckrichtung (in Bild 3 nicht mehr dargestellt) war dieser Unterschied dann bedeutend kleiner. Der Einfluss der Erstbewegung und der Vorbelastungszeit vor Bewegungsbeginn machte sich hier offenbar bemerkbar. Bei den Gleitpartnern Holz gegen Holz trat zudem eine gewisse Bandbreite in der Gleitreibung auf, was sich im Versuch durch eine unruhige Gleitbewegung zeigte.

Eher unkonventionell im Vergleich zur klassischen Reibungstheorie ist dagegen der Reibungsverlauf für die Gleitpartner, die in Bild 4 dargestellt sind. Die ersten beiden Diagramme (Beton gegen Beton und Stahl gegen Stahl) zeigen praktisch keinen Unterschied zwischen Haft- und Gleitreibung. Bei der Gleitpaarung Stahl gegen Stahl machte sich zudem der bereits für Holz/Holz festgestellte unruhige Verlauf in der Gleitbewegung bemerkbar, so dass auch hier von einer Bandbreite der Gleitreibung gesprochen werden muss. Bei den Gleitschichten Stahl gegen Aluminium nimmt der Reibungswiderstand dagegen bereits von Anfang an zu, und zwar in einem beträchtlichen Ausmass. Dies bedeutet, dass diese zwei Partner sich überhaupt nicht vertragen und dass der Stahl die Aluminiumoberfläche rasch zerstört. Das Reibungsdiagramm von Stahl gegen Messing lässt zwar einen geringen Unterschied zwischen Haft- und Gleitreibung erkennen, das Überwinden der Haftkräfte vollzieht sich indessen nicht plötzlich, sondern eher allmählich.

## Versuchsresultate

### Reibungscharakteristik

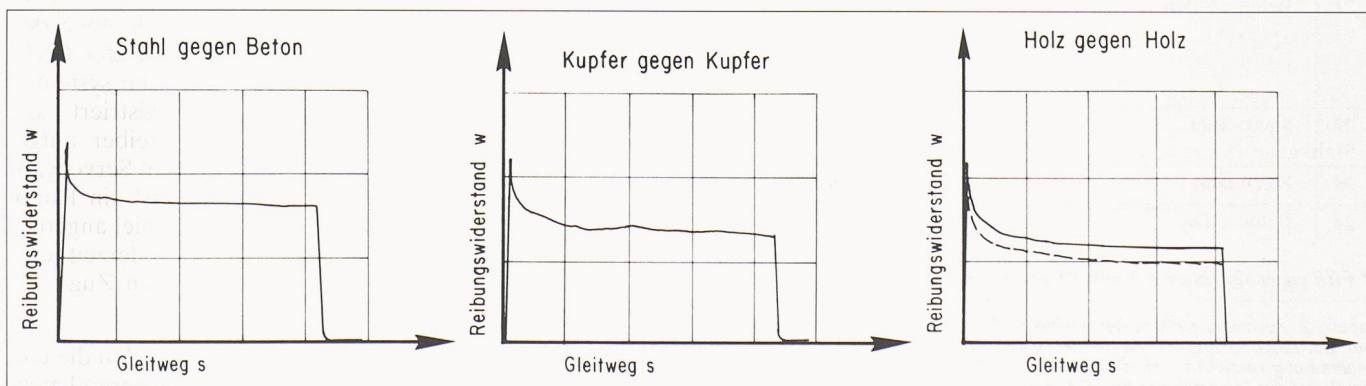
In diesem Abschnitt werden einige repräsentative Reibungscharakteristiken von verschiedenen Werkstoffen und Werkstoffkombinationen näher beschrieben. Es handelt sich dabei um eine Auswahl, die stellvertretend für alle anderen Gleitpartner stehen soll.

Bild 3 zeigt die Gleitreibungs-Diagramme der Gleitpaarungen Stahl gegen Beton, Holz gegen Holz und Kupfer gegen Kupfer. In dieser Darstellung sind die Reibungswiderstände in Funktion des Gleitweges aufgetragen, und zwar für den ersten Hub in Zugrichtung. Demnach zeigt die Reibungscharakteristik jenen typischen Verlauf, wie man ihn bei klassischen Gleitlagern gewohnt ist, nämlich einen steilen Kraftanstieg bis zur Überwindung der Haftkräfte. Danach beginnt der eine der Gleitpartner sich zu bewegen, wobei der Reibungswiderstand mit zunehmendem Gleitweg rasch abnimmt, um langsam in eine Horizontale überzugehen, d.h. einen konstanten Wert anzunehmen [6] [7]. Die Haftreibung ist hier also we-

### Reibungszahlen

Aus den horizontalen Reibungskräften und der vertikalen Auflagerkraft wur-

**Bild 3. Klassische Gleitreibungs-Diagramme von drei verschiedenen Gleitpaarungen, nämlich Stahl gegen Beton, Holz gegen Holz und Kupfer gegen Kupfer.** In dieser Darstellung sind die Reibungswiderstände in Funktion des Gleitweges aufgetragen, und zwar für den ersten Hub in Zugrichtung. Demnach zeigt die Reibungscharakteristik jenen typischen Verlauf, wie man ihn bei klassischen Gleitlagern aus PTFE und austenitischem Stahlblech gewohnt ist, nämlich einen steilen Kraftanstieg bis zur Überwindung der Haftkräfte. Danach beginnt der eine der Gleitpartner sich zu bewegen, wobei der Reibungswiderstand mit zunehmendem Gleitweg rasch abnimmt, um langsam in eine Horizontale überzugehen, d.h. einen konstanten Wert anzunehmen. Die Haftreibung ist hier also wesentlich grösser als die Gleitreibung.



Nr.	Gleitpartner A und B	A	Bearbeitung B	Rauhwerte $R_a$ A ( $\mu\text{m}$ )	Rauhwerte $R_a$ B ( $\mu\text{m}$ )	Flächen- pressung (N/mm $^2$ )	Reibungszahlen $_{\mu}$ (%)
1	PTFE – Gleitlager*	Brückenlager- qualität, geschmiert	Brückenlager- qualität, geschmiert	-- --	-- --	30.00 30.00	0.09 – 0.41 0.10 – 0.45
2	Stahl – Bronze	geschliffen geschmiert	gedreht	0.30	0.40	10.00	1.00 – 2.70
3	Stahl – Stahl	geschliffen geschmiert	gedreht	0.80	0.85	10.00	8.50 – 11.00
4	Stahl – Bronze	geschliffen geschliffen	gedreht gedreht	0.50 0.30	0.36 0.59	5.00 10.00	13.00 – 14.00 11.50 – 14.50
5	Kupfer – Kupfer	gedreht gedreht	geschliffen geschliffen	3.00 11.50	0.42 0.50	10.00 5.00	16.00 – 23.50 14.50 – 26.00
6	Bronze – Bronze	gedreht gedreht	geschliffen geschliffen	0.65 0.50	0.62 0.45	10.00 5.00	18.00 – 25.00 15.00 – 17.50
7	Stahl – Stahl, geprüft $\parallel$ zur Schleifrichtung	geschliffen	geschliffen	0.85	0.80	10.00	19.50 – 21.00
	Stahl – Stahl, geprüft $\perp$ zur Schleifrichtung	geschliffen	geschliffen	1.55	1.55	10.00	16.50 – 29.50
8	Grauguss – Grauguss	gedreht gedreht	geschliffen geschliffen	2.70 2.60	0.56 0.47	5.00 10.00	14.00 – 33.00 15.00 – 22.50
9	Messing – Messing	gedreht gedreht	geschliffen geschliffen	1.50 1.40	0.40 0.75	10.00 10.00	18.50 – 31.00 22.50 – 32.00
10	Stahl – Holz (Buche)	geschliffen geschliffen geschliffen geschliffen	gehobelt gehobelt gehobelt gehobelt	0.32 0.55 0.50 0.35	4.50 8.00 7.50 5.50	1.75 1.75 3.50 3.50	15.50 – 24.00 22.00 – 33.00 19.50 – 30.50 17.50 – 32.50
11	Holz – Holz (Föhre), geprüft $\parallel$ zur Faser	gehobelt gehobelt	gehobelt gehobelt	6.50 4.40	4.10 3.50	1.20 1.20	25.00 – 35.00 27.50 – 34.00
	Holz – Holz (Buche), geprüft $\perp$ zur Faser	gehobelt	gehobelt	4.00	8.00	1.75	15.50 – 30.00
	Holz – Holz (Buche), geprüft $\parallel$ zur Faser	gehobelt	gehobelt	8.00	8.00	3.24	18.00 – 28.00
	Holz – Holz (Buche), geprüft $\parallel$ zur Faser	gehobelt	gehobelt	8.00	8.00	3.50	16.00 – 32.50
	Holz – Holz (Buche), geprüft $\perp$ zur Faser	gehobelt	gehobelt	7.00	4.50	3.50	18.50 – 39.50
11a	Holz – Holz (Fichte)	gehobelt, mit Paraffin geschmiert	gehobelt, mit Paraffin geschmiert	8.00	5.00	1.20	9.00 – 20.50
12	Aluminium – Aluminium (Anticorodal)	gedreht gedreht	geschliffen geschliffen	0.40 0.32	0.63 0.90	5.00 10.00	14.00 – 36.00 13.00 – 43.00
13	Stahl – Messing	geschliffen geschliffen	geschliffen geschliffen	0.70 0.55	0.40 0.85	5.00 10.00	27.00 – 33.50 14.50 – 30.00
14	Stahl – Beton	geschliffen geschliffen	geschliffen geschliffen	1.25 0.45	9.50 7.00	5.00 5.00	24.50 – 44.50 19.00 – 29.50
15	Stahl – Aluminium (Anticorodal)	geschliffen	gedreht	0.52	0.50	5.00	16.00 – 44.50
16	Stahl – Beton (Walzblech)	unbearbeitet unbearbeitet unbearbeitet	glatt geschalt geschliffen geschliffen	1.90 3.00 1.10	6.00 6.00 5.50	5.00 5.00 5.00	27.00 – 42.00 28.50 – 53.50 23.50 – 58.00
17	Stahl – Kupfer	geschliffen geschliffen	geschliffen geschliffen	0.35 0.30	0.95 0.55	5.00 10.00	15.50 – 54.50 15.00 – 68.00
18	Stahl – Grauguss	geschliffen	gedreht	0.56	2.70	10.00	22.50 – 64.50
19	Stahl – Stahl	sandgestrahlt	sandgestrahlt	9.00	12.50	5.00	29.50 – 76.50
20	Beton – Holz (Föhre)	geschliffen geschliffen	gehobelt gehobelt	6.00 8.00	4.50 5.00	1.20 1.20	53.50 – 76.50 54.50 – 71.50
21	Beton – Beton	geschliffen glatt geschalt glatt geschalt geschliffen, nass	geschliffen glatt geschalt glatt geschalt geschliffen, nass	-- 8.00 6.50 11.00	-- 9.00 6.00 7.50	5.00 5.00 5.00 5.00	67.50 – 73.50 62.50 – 72.00 68.50 – 75.50 54.00 – 71.50
22	Stahl – Blei	geschliffen geschliffen	gedreht gedreht	0.58 0.50	1.20 2.50	1.50 3.00	49.50 – 92.00 34.50 – 71.00
23	Blei – Blei	gedreht	gehobelt	0.75	0.45	1.00	27.50 – 141.00
24	Beton – Blei	geschliffen geschliffen	gedreht gedreht	5.50 8.50	2.60 1.65	1.50 3.00	98.50 – 115.00 66.50 – 85.00

\* PTFE gegen Gleitblech aus austenitischem Stahl (CrNiMo-Stahl)

Tabelle 2. Zusammenstellung der ermittelten Reibungszahlen. Diese wurden durch Angabe der speziellen Versuchsbedingungen wie Bearbeitung und Rauhigkeitswert der Probenoberflächen sowie der jeweils wirkenden Flächenpressung ergänzt. Bei den Reibungszahlen wurde bewusst auf die Unterscheidung von Haft- und Gleitreibung verzichtet, weil diese Werte in vielen Fällen gar nicht so ausgeprägt wie bei den klassischen Gleitlagern auftraten. Statt dessen wurde immer der Minimal- und der Maximalwert der Gleitreibung während des ersten Doppelhubes angegeben. Die Versuche mit PTFE-Gleitlagern dienten zur Kontrolle der Prüfanlage

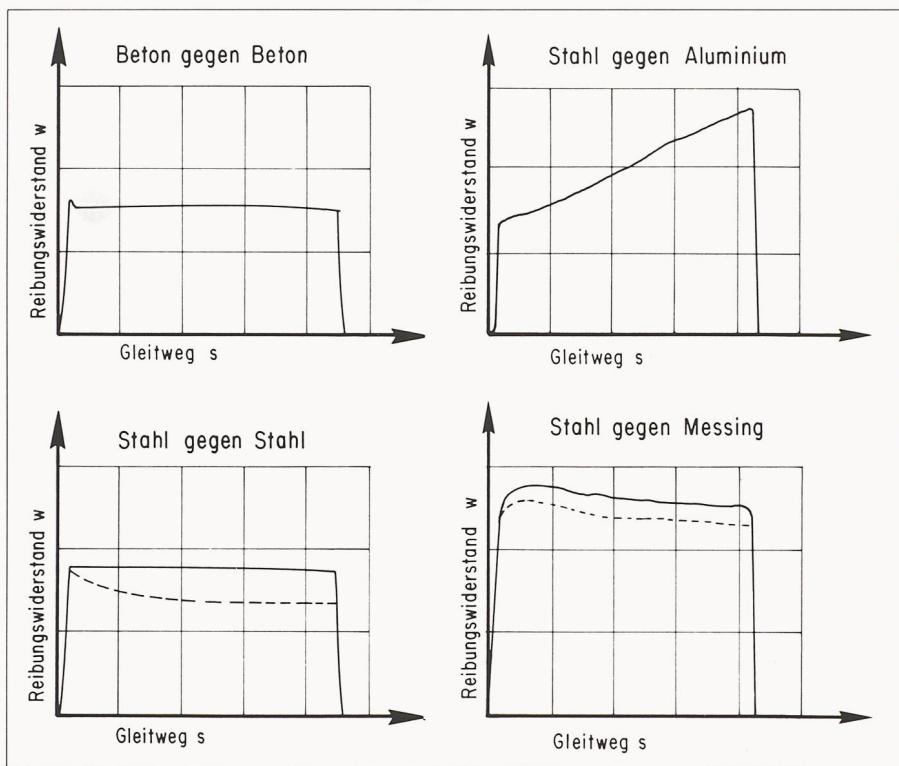


Bild 4. Unkonventionelle Gleitreibungs-Diagramme von vier verschiedenen Gleitpaarungen. Diese Reibungscharakteristiken entsprechen nicht der klassischen Reibungstheorie, traten jedoch bei zahlreichen Werkstoffkombinationen auf. Die ersten beiden Diagramme (Beton gegen Beton und Stahl gegen Stahl) zeigen praktisch keinen Unterschied zwischen Haft- und Gleitreibung. Bei der Gleitpaarung Stahl gegen Stahl machte sich zudem der bereits für Holz/Holz festgestellte unruhige Verlauf in der Gleitbewegung bemerkbar, so dass auch hier von einer Bandbreite der Gleitreibung gesprochen werden muss. Bei den Gleitschichten Stahl gegen Aluminium nimmt der Reibungswiderstand dagegen bereits von Anfang an zu, und zwar in einem beträchtlichen Ausmass. Dies bedeutet, dass diese zwei Partner sich überhaupt nicht vertragen und dass der Stahl die Aluminiumoberfläche rasch zerstört. Das Reibungsdiagramm von Stahl gegen Messing lässt zwar einen geringen Unterschied zwischen Haft- und Gleitreibung erkennen, das Überwinden der Haftkräfte vollzieht sich indessen nicht plötzlich, sondern eher allmählich

den die Reibungszahlen  $\mu$  ermittelt. Mit den Bezeichnungen von Bild 1 ergeben sich diese zu:

Statische Reibungszahl  $\mu_A$  (Haftreibung)

$$\mu_A = \frac{Z_A}{F} \cdot 100 = \frac{D_A}{F} \cdot 100 [\%]$$

Dynamische Reibungszahl  $\mu$  (Gleitreibung)

$$\mu = \frac{Z}{F} \cdot 100 = \frac{D}{F} \cdot 100 [\%]$$

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der ermittelten Reibungszahlen. Diese wurden durch Angabe der speziellen Versuchsbedingungen wie Bearbeitung und Rauhigkeitswert der Probenoberflächen sowie der jeweils wirkenden Flächenpressung ergänzt. Bei den Reibungszahlen wurde bewusst auf die Unterscheidung von Haft- und Gleitreibung verzichtet, weil diese Werte in vielen Fällen gar nicht so ausgeprägt wie bei den klassischen Gleitlagern auftraten. Statt dessen wurde immer der Minimal- und der Maximalwert der Gleitreibung während des ersten Doppelhubes angegeben. Zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass die Versuche mit PTFE-Gleitlagern zur Kontrolle der Prüfanlage dienten.

Adresse des Verfassers: Aluis Maissen, dipl. Bauingenieur ETH, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

## Literatur

- [1] Othmar Comu: «Tribologie – eine vernachlässigte Wissenschaft». Forschung und Technik, Neue Zürcher Zeitung, 30.4.1980
- [2] Volker Hakenjos: «Untersuchungen über die Rollreibung bei Stahl im elastisch-plastischen Zustand». Dissertation, Technische Hochschule Stuttgart, 1967
- [3] Helmut Eggert: «Vorlesungen über Lager im Bauwesen». Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, 1980
- [4] Eggert/Grote/Kauschke: «Lager im Bauwesen», Band I, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1974
- [5] EMPA-Untersuchungsbericht Nr. 10'983, 1983
- [6] Aluis Maissen: «Versuche mit Brückengleitlagern». Schweizerische Bauzeitung, Vol. 96, Heft 13, 1978
- [7] Aluis Maissen: «Reibungsversuche an Kalotten-Gleitlagern». Schweizer Ingenieur und Architekt, Vol. 100, Nr. 40/1982