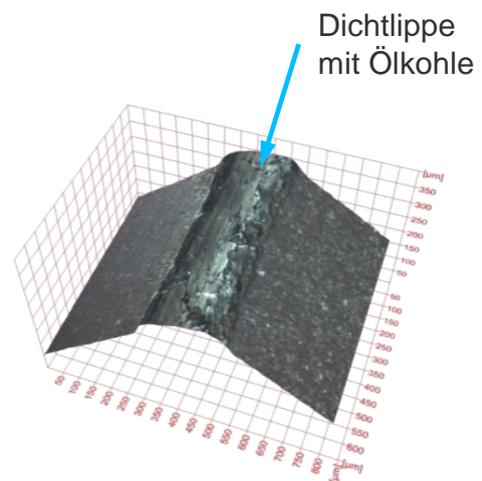


Dieses TechSheet gibt eine kurze Einführung in die Bedeutung der Kontakttemperatur und die Mechanismen der Wärmeentstehung und -abfuhr bei Radialwellendichtungen. Anschließend werden in einem Empfehlungskatalog alle wesentlichen Einflussfaktoren auf die Kontakttemperatur und Möglichkeiten zur Reduktion der Kontakttemperatur aufgeführt.

## Kontakttemperatur

Bei Radial-Wellendichtungen berührt die Dichtkante des Radial-Wellendichtrings die Welle. Wenn die Welle im Betrieb rotiert, entsteht in diesem Kontaktbereich Reibwärme. Durch die begrenzte Wärmeabfuhr an die Umgebung steigt die Temperatur im Kontaktbereich. Diese Temperatur wird Kontakttemperatur genannt. Sie dient dazu, das Risiko einer thermischen Schädigung zu beurteilen.

Hohe Kontakttemperaturen können zur Verhärtung des Elastomers der Dichtlippe und / oder zur Bildung von Ölkohle führen, Bild rechts. Beide Effekte können den dynamischen Dichtmechanismus stören und schließlich zum Ausfall des Dichtsystems führen. Der Ausfall verursacht häufig große ökologische und ökonomische Schäden. Hohe Kontakttemperaturen sind deshalb zu vermeiden.

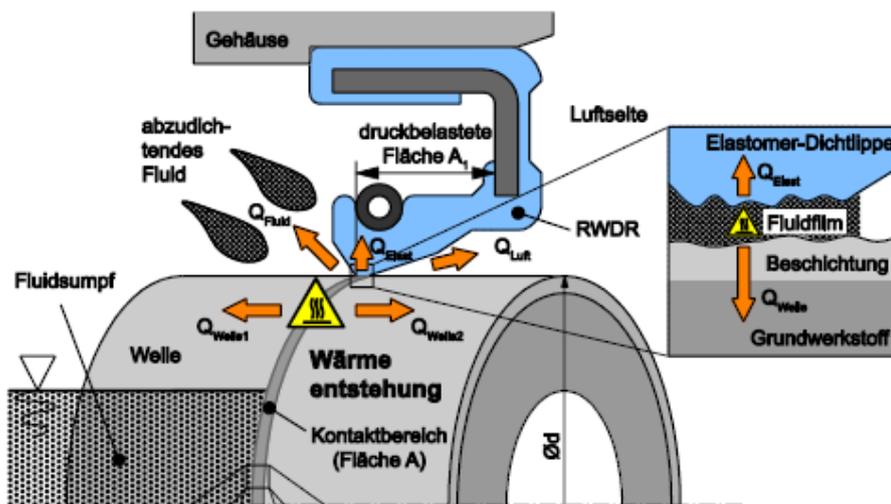


## Möglichkeiten zur Ermittlung der Kontakttemperatur

Die Kontakttemperatur kann in aufwändigen Messungen oder komplizierten Simulationen ermittelt werden. Alternativ kann die Kontakttemperatur näherungsweise mit der Webapp InsECT berechnet werden. Diese wurde vom IMA entwickelt und steht kostenfrei online zur Verfügung (<https://insect.ima.uni-stuttgart.de/>).

## Wärmeentstehung und Wärmeabfuhr

Die Reibungswärme entsteht während der Rotation durch die Scherung des dünnen Fluidfilms im Kontaktbereich zwischen der Wellenoberfläche und der Dichtlippe. Wie im nachfolgenden Bild zu sehen wird sie durch Wärmeleitung, Konvektion (und Strahlung) an die Umgebung abgegeben.

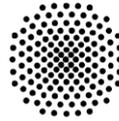


Die nachfolgende Bilanzgleichung bildet den Zustand des thermischen Gleichgewichts ab. Die einzelnen Terme dieser Gleichung variieren erheblich je nach der Ausführung des Dichtsystems und seiner unmittelbaren Umgebung. Die wesentlichsten Einflussfaktoren sind in der folgenden Bilanzgleichung enthalten:

$$\underbrace{\dot{F}_u \cdot v_u}_{\text{Wärmeentstehung}} = F_r \cdot \mu \cdot v_u = \underbrace{\dot{Q}_{Welle1} + \dot{Q}_{Welle2} + \dot{Q}_{Elast} + \dot{Q}_{Fluid} + \dot{Q}_{Luft}}_{\text{Wärmeabfuhr}}$$

Nachfolgend sind die einzelnen Einflussfaktoren der Bilanzgleichung und ihre Abhängigkeiten aufgeführt.

- Radialkraft  $F_r = f$  (Druck),
- Reibkraft in Umfangsrichtung  $F_u = F_r \cdot \mu$ ,
- Umfangsgeschwindigkeit  $v_u = f(n, d)$ ,
- Reibungskoeffizient  $\mu = f$  (Viskosität, Benetzung, Oberflächentopografie)
- Wärmestrom in der Welle zur Ölseite (1) und Luftseite (2)  
 $\dot{Q}_{Welle1,2} = f$  (Geometrie, Wärmeleitfähigkeit, Beschichtung),
- Wärmestrom in das abdichtende Fluid  
 $\dot{Q}_{Fluid} = f$  (Fluideigenschaften, Füllstand, Strömung, Umfeld),
- Wärmestrom in die Umgebungsluft  $\dot{Q}_{Luft} = f$  (Umfeld),
- Wärmestrom in das Elastomer des Dichtrings  $\dot{Q}_{Elast} \approx 0$  (sehr geringe Wärmeleitfähigkeit von Elastomer!)



## Empfehlungskatalog

Im Folgenden werden alle als wesentlich erachteten Einflussfaktoren auf die Kontakttemperatur diskutiert. Anhand dieser Einflussfaktoren kann der Einsatz von Radial-Wellendichtungen optimiert werden. Die Kontakttemperatur wird einerseits durch die Wärmeabfuhr, andererseits durch die in den Kontaktbereich eingebrachte Reibleistung beeinflusst. Diese beiden grundlegenden Einflussbereiche werden nachfolgend getrennt behandelt.

## Reibleistung

Eine Reduzierung der Reibleistung im Dichtsystem führt zu einer geringeren Kontakttemperatur und kann zusätzlich zu einer verbesserten Effizienz, geringerem Verschleiß und einer längeren Lebensdauer beitragen. Die Reibleistung  $P$  entspricht der in den Kontaktbereich eingebrachten Wärmeleistung  $\dot{Q}_{\text{fric}}$ . Sie berechnet sich aus dem Reibmoment  $M_{\text{fric}}$  und der Drehzahl  $n$ ,

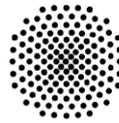
$$P = \dot{Q}_{\text{fric}} = M_{\text{fric}} \cdot 2\pi \cdot n$$

Die Drehzahl beeinflusst die Reibleistung im Dichtsystem maßgeblich. Eine Reduzierung der Drehzahl führt zu einer Abnahme der Reibleistung. Neben der Drehzahl wird die Reibleistung vom Reibmoment beeinflusst, welches wiederum von vielen weiteren Einzelfaktoren abhängig ist,

$$M_{\text{fric}} = F_{\text{fric}} \cdot \frac{d}{2} = F_R \cdot \mu \cdot \frac{d}{2}$$

Der Durchmesser  $d$  auf dem die Abdichtung stattfindet, hat einen direkten Einfluss auf das Reibmoment. Eine Reduktion des Durchmessers führt daher direkt zu einer Verringerung der Reibleistung. Die Reibkraft  $F_{\text{fric}}$  wird durch die Radialkraft  $F_R$  und den Reibungskoeffizienten  $\mu$  beeinflusst. Der Reibungskoeffizient  $\mu$  ist nicht konstant, sondern von verschiedenen Parametern, wie der Drehzahl, der Temperatur und den Komponenten abzdichtendes Fluid, Welle und Dichtring abhängig. Durch die Verwendung eines Fluids, welches für eine gute Schmierung und geringere Reibung sorgt kann das Reibmoment und somit die Reibleistung verringert werden. Auch durch eine geeignete Oberfläche des Dichtrings und der Welle kann die Reibung reduziert und somit auch die Kontakttemperatur. Zuletzt wird das Reibmoment noch durch die Radialkraft  $F_R$  beeinflusst. Eine Reduktion der Radialkraft sorgt ebenfalls für eine Verringerung der Reibleistung. Die Radialkraft kann durch eine geringere Vorspannung der Schraubenzugfeder oder durch das Entfernen der Schraubenzugfeder geschehen. Alternativ kann eine Dichtlippe mit geringerer Steifigkeit verwendet werden oder die Überdeckung zwischen Dichtring und Welle reduziert werden.

Berührende Zusatzelemente am Dichtring, wie berührende Schutzlippen oder Vliese, sorgen ebenfalls für eine Erhöhung des Reibmoments. Ein Verzicht auf diese Zusatzelemente oder eine Reduktion der Radialkraft der Zusatzelemente reduziert die in das System eingebrachte

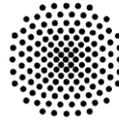


Reibleistung. Bei berührenden Schutzlippen sollte eine Unterdruckbildung im Zwischenraum zwischen Dichtlippe und Schutzlippe konstruktiv ausgeschlossen werden. Die Förderwirkung der beiden einzelnen Lippen sorgt ansonsten für die Bildung eines Unterdrucks im Zwischenraum, wodurch die Anpressung beider Lippen und somit die Reibleistung erhöht wird. Auch andere Komponenten des technischen Systems tragen zur Erwärmung des Kontaktbereichs bei. Eine Reduktion der in das System eingebrachten Reibleistung, beispielsweise an einer dichtungsnahen Lagerstelle wirkt sich daher positiv auf die Kontakttemperatur aus.

Die zuvor diskutierten Einflussfaktoren sind nachfolgend in Tabelle 1 aufgeführt. Zusätzlich werden Optimierungsmöglichkeiten genannt, um die Kontakttemperatur zu senken und die Wirkung der Optimierungsmöglichkeiten bewertet. Die Bewertung erfolgt dabei qualitativ zwischen 0 für geringe Wirkung bis +++ für eine sehr große Wirkung. Es ist dabei zu beachten, dass je nach Einzelfall und den anderen Systemparametern die Wirkung einzelner Maßnahmen stärker oder schwächer ausfallen kann.

Tabelle 1: Einflussfaktoren und Optimierungsmöglichkeiten für die Reibleistung

Einflussfaktor	Optimierungsmöglichkeit	Wirkung
Drehzahl	Drehzahl reduzieren	+++
Durchmesser der Abdichtung	Durchmesser reduzieren	+++
Reibung des abzudichtenden Fluids	Verwendung eines Fluids, welches für eine gute Schmierung und geringere Reibung sorgt	++
Oberfläche der Welle	Oberfläche verwenden, welche für eine gute Schmierung des Kontaktbereichs sorgt	+
Radialkraft der Dichtung	Reduktion der Radialkraft durch Verwendung einer schwächeren Feder, keiner Feder, einer Dichtlippe mit geringerer Steifigkeit oder geringerer Überdeckung	++
Berührende Zusatzelemente	Verringern der Radialkraft oder entfernen von Zusatzelementen, wie berührenden Schutzlippen oder Vliesen. Bei berührenden Schutzlippen Verhindern der Unterdruckbildung im Zwischenraum zwischen Dichtlippe und Schutzlippe	+++
Reibleistung anderer Komponenten	Reduktion der in das System eingebrachten Reibleistung, beispielsweise an einer Dichtungsnahen Lagerstelle	++



## Wärmeabfuhr

Die Wärmeabfuhr aus dem Dichtkontakt wird durch viele einzelne Einflussfaktoren beeinflusst. Die Wärmeabfuhr erfolgt dabei an die Welle, den Radial-Wellendichtring, das abdichtende Fluid und die Umgebung. Eine bessere Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Partner sorgt für eine bessere Wärmeabfuhr aus dem Dichtkontakt. Den größten Einfluss hat dabei der Wellengrundwerkstoff, da die Wärmeleitfähigkeit der meist metallischen Welle im Vergleich zu den anderen Partnern deutlich größer ist.

Ein weiterer großer Einflussfaktor ist das Temperaturniveau, an das die Wärme abgeführt werden kann. Eine kühlere Umgebung oder ein kühlerer Fluidsumpf sorgen für eine verbesserte Wärmeabfuhr. Auch der Füllstand des abdichtenden Fluids hat einen erheblichen Einfluss auf die Wärmeabfuhr. Da das abdichtende Fluid meist eine deutlich größere Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität im Vergleich zur Luft im abdichtenden Raum besitzt, kann bei einem höheren Füllstand die Wärme besser abgeführt werden. Im Gegensatz dazu führt eine ausschließliche Fett-Schmierung der Dichtung ohne anstehenden Fluidsumpf zu einer deutlich schlechteren Wärmeabfuhr. Zusätzlich ist die Strömung des Fluids im Bereich der Dichtung ausschlaggebend. Wird der Kontaktbereich kontinuierlich mit kälterem Fluid umspült, verbessert dies die Wärmeabfuhr. Eine solche Strömung kann beispielsweise gezielt durch eine Fluidversorgung erzeugt, aber auch aufgrund eines fluidfördernden Lagers entstehen.

Auch die geometrische Gestaltung der Welle hat einen erheblichen Einfluss auf die Wärmeabfuhr. Querschnittsänderungen durch Absätze oder Hohlwellen beeinflussen die Wärmeabfuhr. Aber auch Hülsen oder Beschichtungen haben einen Einfluss auf die Wärmeabfuhr durch die Welle.

Die zuvor diskutierten Einflussfaktoren sind nachfolgend in Tabelle 2 aufgeführt. Zusätzlich werden Optimierungsmöglichkeiten genannt, um die Kontakttemperatur zu senken und die Wirkung der Optimierungsmöglichkeiten bewertet. Die Bewertung erfolgt dabei qualitativ zwischen 0 für geringe Wirkung bis +++ für eine sehr große Wirkung. Es ist dabei zu beachten, dass je nach Einzelfall und den anderen Systemparametern die Wirkung einzelner Maßnahmen stärker oder schwächer ausfallen kann.

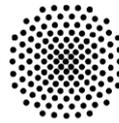


Tabelle 2: Einflussfaktoren und Optimierungsmöglichkeiten für die Wärmeabfuhr

Einflussfaktor	Optimierungsmöglichkeit	Wirkung
Wärmeleitfähigkeit der Welle	Werkstoff mit höherer Wärmeleitfähigkeit	+++
Wärmeleitfähigkeit des abzudichtenden Fluids	Fluid mit höherer Wärmeleitfähigkeit	+
Wärmeleitfähigkeit des Radialwellendichtrings	Dichtringwerkstoff mit höherer Wärmeleitfähigkeit	0
Temperatur der Umgebung	Verringerung der Umgebungstemperatur	++
Temperatur des abzudichtenden Fluids	Verringerung der Temperatur des abzudichtenden Fluids	+++
Fluidströmung	Zuführen von kühlerem Fluid in der Nähe der Dichtung	++
Fluidfüllstand	Erhöhung des Fluidfüllstands bzw. Umstellen von Fett- auf Ölschmierung; z. B. keine Lager, die Öl von Dichtring weg fördern	++
Wellenabsätze	Absätze in größerer Entfernung	++
Hohlwellen	Verringerung des Bohrungsdurchmessers	0
Hülsen	Vermeiden von insbesondere sehr dünnwandigen Hülsen oder Vergrößerung der Wandstärke	+
Beschichtungen	Verwenden einer besser wärmeleitenden Beschichtung	0

## Weiterführende Informationen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Dieser Maßnahmenkatalog mit Optimierungsempfehlungen zur Reduzierung der Kontakttemperatur von Radial-Wellendichtungen entstand im Forschungsprojekt „Temperaturberechnung“ (IGF-Nr. 21587 N/1). Dieses Projekt des Forschungskuratoriums Maschinenbau e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen

Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Weiterführende Informationen wie z.B. die vollständigen Mess- und Simulationsergebnisse der umfangreichen Parameterstudie sind im Abschlussbericht zum Forschungsprojekt dokumentiert. Dieser ist u.a. über den VDMA-Shop (<https://www.vdmashop.de/>) erhältlich.