

**TEXTAR®**  
BREMSTECHNOLOGIE



# Schadensbeurteilung bei Scheibenbremsbelägen und Brems scheiben

## *Technische Informationen*

[www.textar.com](http://www.textar.com)

## Voraussetzungen für eine optimal funktionierende Bremse



### Bremsbeläge

- Bremsbelag-Auswahl nach Empfehlung von Textar
- Austauschverfahren (achsweise) nach den branchenspezifischen Richtlinien der Montageanleitung
- Einfahrverhalten nach den Empfehlungen des Fahrzeugherstellers bzw. der Montageanleitung



### Bremsscheibe

- Saubere Funktionsflächen
- Seitenschlag, Parallelität, Höhenschlag und Dickendifferenz entsprechend den Empfehlungen von Textar
- Austauschverfahren (achsweise) nach den Empfehlungen des Fahrzeugherstellers



### Radbremse

- Bremsenzustand mit sauber gängigen Führungselementen
- Betätigungselemente (Kolben, Schutzkappen, Federn etc.) in unbeschädigtem Funktionszustand



### Räder

- Auswuchten nach Richtlinien des Fahrzeugherstellers
- Montage mit vom Fahrzeughersteller vorgegebenen Drehmomenten und unter Beachtung der Montageanleitung

## Einführung

Bei Personenkraftwagen werden als Radbremsen an der Vorderachse bis auf wenige Ausnahmen Scheibenbremsen verwendet. An der Hinterachse werden je nach Belastung Scheiben- oder Trommelbremsen eingesetzt. In den folgenden Ausführungen beschränken wir uns auf die Scheibenbremse.

### Hohe mechanische und thermische Belastung der Bremsanlage

Die auf das Bremspedal ausgeübte Fußkraft wirkt systemunterstützt in den Radbremsen als Spannkraft, die die Bremsbeläge an die Bremsscheiben presst. Durch die hierbei entstehende Reibungskraft wird die Bewegungsenergie des Fahrzeugs zum größten Teil und innerhalb kurzer Zeit in Wärme umgewandelt. Die auf die Bremsscheibe und die Bremsbeläge einwirkenden mechanischen und thermischen Belastungen sind sehr hoch. Die während der Abbremsung auftretende Bremsleistung kann in Extremfällen das Mehrfache der maximalen Motorleistung betragen.

### Wesentliche Anforderungen an die Bremsanlage

Die wesentlichen Anforderungen, die an eine Bremsanlage gestellt werden, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Erzielung möglichst kurzer Bremswege unter allen Betriebsbedingungen
- Guter Bremskomfort (kein Rubbeln, kein Quietschen, gutes Pedalgefühl)
- Angemessene Lebensdauer der Verschleißteile.

Für Bremsscheiben und Bremsbeläge als wesentliche Funktionspartner für den Bremsvorgang bedeutet dies:

- Reibwertstabilität über einen sehr großen Temperaturbereich
- Geringe Abhängigkeit des Reibwertes von Anpressdruck, Geschwindigkeit und Umwelteinflüssen
- Gute mechanische Festigkeit und Formbeständigkeit
- Verschleißzustand innerhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte
- Bauteiltoleranzen innerhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte
- Angemessenes Verschleißverhalten der Bremsbeläge und Bremsscheiben.

Bremsscheibe und Bremsbeläge sind Funktionspartner von hoher sicherheitsrelevanter Bedeutung. Die Anforderungen sind nur mit Komponenten einzuhalten, die für das jeweilige Fahrzeug entwickelt bzw. angepasst wurden. Durch einen einwandfreien Wartungszustand können Sicherheitsrisiken sowie Komfort- und Lebensdauereinbußen vermieden werden.

### Hohe mechanische und thermische Belastung der Bremsanlage

### Wesentliche Anforderungen an die Bremsanlage

## Bremsgeräusche in Kraftfahrzeugen

Aufgrund eines gesteigerten Qualitätsbewusstseins der Autofahrer werden Bremsgeräusche immer weniger akzeptiert. Woher stammen diese teilweise unangenehmen Geräusche und wie kann man ihnen entgegenwirken? Beim Bremsen entstehen aufgrund der trockenen Reibung zwangsläufig Vibrationen (Schwingungen), die je nach Frequenz mit den unterschiedlichsten Ausdrücken beschrieben werden.

Im niederfrequenten Bereich spricht man z. B. gerne von Knarzen, Brummen oder Rubbeln und im mittel- und hochfrequenten Bereich von Quietschen oder Wirebrush.

Um diesen Erscheinungen entgegenzutreten, wird bei TMD, dem führenden Bremsbelaghersteller Europas, seit vielen Jahren eine intensive Grundlagenforschung betrieben. Die Ergebnisse tragen bereits in einer sehr frühen Phase der Neufahrzeugentwicklung auch zur Komfortoptimierung bei.

So werden bereits bei der Entwicklung neuer Bremsbelagmaterialien deren Eigenschwingungsverhalten und Dämpfungseigenschaften eingehend geprüft. Mit den erlangten Ergebnissen wird nun auf speziellen Geräuschprüfständen, teilweise mit kompletten Prototyp-Achsteilen und -Bremsen, das Geräuschverhalten neuer Fahrzeuge und ihrer Bauteile analysiert und beeinflusst. Während dieser frühen Entwicklungsphase können noch Veränderungen an Radbremse und Belagkontur vorgenommen werden.

Zu einem späteren Zeitpunkt kommen nun praxisnahe Fahrzeugtests hinzu, wobei die Intensität, Frequenz und Häufigkeit von eventuellen Geräuschen ermittelt werden. Dauerläufe in Spanien gehören genauso zum Testumfang wie die Beurteilung während diverser Stadtkurse und Hochgeschwindigkeits-Rubbeltests. Von besonderer Bedeutung ist hierbei festzustellen, welches Bauteil in welcher Frequenz schwingt, um dann gezielte Dämpfungsmaßnahmen einleiten zu können. Jetzt kann eine Feinabstimmung durch kleinere Konturveränderungen wie Nuten und/oder Abschrägungen durchgeführt werden. Auch die Kompressibilität der Bremsbeläge kann im Rahmen der Toleranzbänder noch verändert werden.



Die von TMD patentierte keilförmige Zwischenschicht trägt je nach Anwendungsfall ebenfalls zur Optimierung bei. Im günstigsten Fall kann auf sogenannte Sekundärmaßnahmen wie z. B. Gummilack, Klebefolien, Dämpfungsbleche, Ausgleichgewichte etc. verzichtet werden. Diese Hilfsmittel können zwar gegebenenfalls zur Verbesserung beitragen, haben allerdings auch Einfluss auf das Pedalgefühl, das Verschleißvolumen und natürlich die Kosten.

So muss bei einem Bremsbelag immer der Kompromiss zwischen Sicherheit, Komfort und Wirtschaftlichkeit gefunden werden.

Die richtige Zuordnung der unterschiedlichen Bremsbelagmaterialien ist hierbei genauso wichtig wie die Einschätzung des Gesamtzustands der gesamten Radbremse und der übrigen Achs- und Radaufhängungsteile.

Auch muss man sich darüber im Klaren sein, dass jede Veränderung des Fahrzeugs wie z. B. Breitreifen, Spurveränderungen, Tieferlegungen etc. einen erheblichen Einfluss auch auf das Geräusch- und Komfortverhalten des Fahrzeugs hat.





## Schadensbeurteilung bei Scheibenbremsbelägen

### Ablösen der Belagmasse

- durch Korrosion ..... 8–9
- durch thermische Zerstörung ..... 10
- durch mechanische Einflüsse ..... 10
- durch fehlerhafte Produktion ..... 11

### Ablösen der Belagmasse von der Belagträgerplatte ..... 12–13

### Einsatzbedingte Schäden

- Oberflächenrisse ..... 14
- Kantenausbrüche ..... 15
- Schichtentrennung/Kantenlösen ..... 16
- Mangelhaftes Tragbild ..... 17–18

### Produktionsfehler ..... 19–20

### Montagefehler ..... 21–24

### Schäden durch Umwelteinflüsse ..... 25

### Spezielle Montagehinweise ..... 26–27

# INHALTSVERZEICHNIS



## Schadensbeurteilung bei Bremsscheiben für Pkw-Bremsen

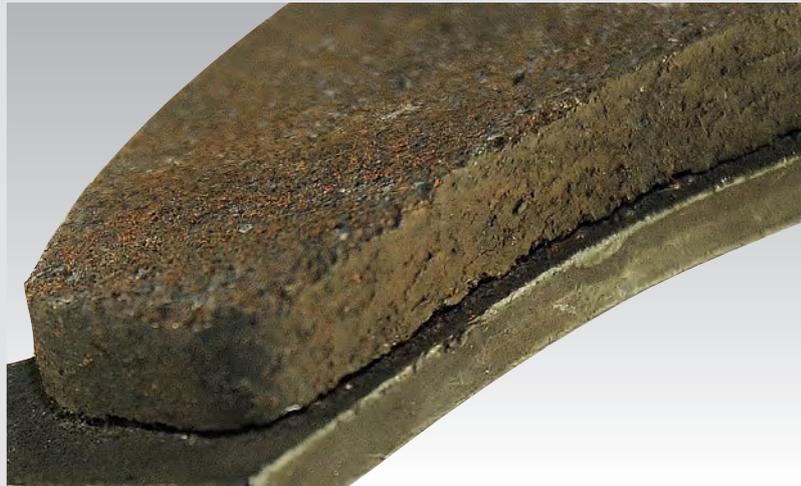
<b>Bremsenrubbeln</b> .....	<b>28</b>
<b>Thermisches Rubbeln</b> .....	<b>28–29</b>
<b>Kaltrubbeln</b> .....	<b>30–32</b>
<b>Durch Standflecken verursachtes Rubbeln</b> .....	<b>33</b>
<b>Quietschgeräusche während des Bremsvorgangs</b> .....	<b>33</b>
<b>Weitere mögliche Mängel</b> .....	<b>34</b>
<b>Bremsscheiben zeigen Risse</b> .....	<b>34</b>
<b>Bremsscheiben sind riefig</b> .....	<b>35</b>
<b>Nutzungsdauer der Bremsscheibe ist zu gering</b> .....	<b>35</b>
<b>Zusammenfassung und Bildteil</b> .....	<b>36</b>
<b>Thermisches Rubbeln</b> .....	<b>37</b>
<b>Kaltrubbeln</b> .....	<b>37</b>
<b>Standflecken</b> .....	<b>38</b>
<b>Rissige Bremsscheibe</b> .....	<b>38</b>
<b>Riefige Bremsscheibe</b> .....	<b>39</b>
<b>Total verschlissene Bremsbeläge</b> .....	<b>39</b>
<b>Korrodierte Bremsscheiben</b> .....	<b>40</b>
<b>Unterschiedlich dicker innerer und äußerer Reibring</b> .....	<b>40</b>
<b>Dickendifferenz des Reibrings</b> .....	<b>41</b>
<b>Starke Unterrostung an der Anlagefläche</b> .....	<b>41</b>
<b>Lunkerschaden</b> .....	<b>42</b>
<b>Risse im Bereich des Bremsscheibentopfs</b> .....	<b>42</b>
<b>Kontakt und Service</b> .....	<b>43</b>
<b>Notizen</b> .....	<b>46–47</b>



## Ablösen der Belagmasse durch Korrosion

### Ursache:

- Kantenlösen durch Verwendung neuer Bremsbeläge auf stark eingelaufenen Bremsscheiben
  - Unzureichende Federkraft der Niederhaltefeder (Kantenläufer)
  - Andere mechanische Überbelastung
  - Ständige hohe thermische Belastung der Scheibenbremsbeläge
- 
- Belagmasse wird porös (komplett oder punktuell)
  - Belagmasse wird durch Rost abgesprengt
  - Belagträgerplatte hat deutliche Rostspuren
  - Reste von Kleber
  - Zwischenschicht und Belagmasse auf Belagträgerplatte sichtbar



► Kantenlösen



► Starke Unterrostung

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Ablösen der Belagmasse durch Korrosion



▶ Keine Hinweise auf übermäßige Temperaturbelastung



▶ Ansicht: Querschnitt

### Erläuterung:

Die optisch erkennbaren Rezepturbestandteile sind vorhanden.

Der elastomerhaltige Grafitbatch sowie Reibkohle und Aramidfaser sind noch bis unmittelbar unter der Reibschicht erhalten.



▶ Deutliche Spuren thermischer Belastung



▶ Ansicht: Querschnitt

### Erläuterung:

Der elastomerhaltige Grafitbatch ist nicht mehr und die Reibkohle ist nur noch bis unmittelbar über der Zwischenschicht erhalten. Die Aramidfaser ist ab ca. 4 mm unter der Reibschicht erhalten. Unter der Zwischenschicht ist Korrosion zu erkennen.

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Ablösen der Belagmasse durch thermische Zerstörung

### Erläuterung:

Scheibenbremsbeläge haben länger als 15–20 min die höchstzulässige Temperatur überschritten. Dabei werden Inhaltsstoffe, die wesentlich zur Festigkeit beitragen, zerstört.



- ▶ Belagmaterial zerfällt, bricht teilweise aus und/oder Zwischenschicht und Kleber werden geschädigt. Belag löst sich vollständig ab; Lackierung blättert ab. Teilweise Verfärbung der Belagträgerplatte. Belagmasse ist ausgehärtet, hat einen harten Klang, rotbraune Verfärbung der Belagmasse, teilweise weiße Asche.

## durch mechanische Einflüsse

### Erläuterung:

Scheibenbremsbeläge wurden fallen gelassen oder verkantet montiert oder Deformierung durch extremes „Schlagen“ im Bremssattel.



- ▶ Das Belagmaterial löst sich von der Belagträgerplatte. Es kommt zu Schichtentrennungen. Scheibenbremsbeläge sind neuwertig, Trennung oberhalb von Kleber bzw. Zwischenschicht. Beschädigungen an der Belagträgerplatte erkennbar. Beschädigung an der Belagträgerplatte durch Biegebelastung erkennbar. Übermäßiges Schlagen im Bremsträger.

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Ablösen der Belagmasse durch fehlerhafte Produktion



- ▶ Belagmasse hat sich bereits bei geringer Belastung gelöst. Kleber ist nicht ausreichend vorhanden.

### Erläuterung:

- Belagträgerplatte glatt oder Zwischenschicht und Kleber nur teilweise sichtbar.
- Kleber nicht in Ordnung. Zwischenschicht mangelhaft verteilt.



# SCHEIBENBREMSBELÄGE

## Ablösen der Belagmasse von der Belagträgerplatte

**Achtung:**

Häufig treten die Mängel in Kombination auf.

Ablösen durch	Ursache
Korrosion	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kantenlösen durch stark eingelaufene Brems Scheibe; unzureichende Niederhaltefeder (Kantenläufer)</li> <li>2. ständig hohe thermische Belastung der Scheibenbremsbeläge</li> </ol>
Fehlerhafte Produktion	Kleber n. i. O. Zwischenschicht mangelhaft verteilt
Kleber, Zwischenschicht und Belagmaterial thermisch zerstört	Scheibenbremsbeläge haben länger als 15–20 Minuten die höchstzulässige Temperatur überschritten, dabei werden Inhaltsstoffe zerstört, die wesentlich zur Festigkeit beitragen
Mechanische Zerstörung	Scheibenbremsbeläge wurden z. B. fallen gelassen

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



Auswirkung	Erkennungsmerkmal
Belagmasse wird porös, komplett oder punktuell, Belagmasse wird durch Rost abgesprengt	Belagträgerplatte hat deutliche Rostspuren, Reste von Kleber, Zwischenschicht und Belagmasse auf Belagträgerplatte sichtbar
Belag löst sich bereits bei geringer Belastung	Belagträgerplatte glatt oder Zwischenschicht und Kleber nur teilweise sichtbar
Belagmaterial zerfällt, bricht teilweise aus und/oder Zwischenschicht und Kleber werden zerstört, Belag löst sich vollständig ab	Lackierung blättert ab, teilweise Blauverfärbung der Belagträgerplatte, Belagmasse ist ausgehärtet, hat einen harten Klang, rotbraune Verfärbung der Belagmasse, teilweise weiße Asche
Belagmaterial löst sich von Belagträgerplatte, es kommt zu Schichtentrennungen	Scheibenbremsbeläge sind neuwertig, Trennung oberhalb von Kleber bzw. Zwischenschicht. Beschädigungen an der Belagträgerplatte erkennbar

## Achtung:

- Das Ablösen kann unterschiedlichste Ursachen haben, wobei lediglich die fehlerhafte Produktion in unseren Einflussbereich fällt und somit als Reklamation anerkannt wird.
- Grundsätzlich wird eine Radbremse erst heiß, dann wird der Belag zerstört.
- Ein abgescherter Bremsbelag ist nie die Ursache für eine heiß gelaufene Radbremse.

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Einsatzbedingte Schäden Oberflächenrisse

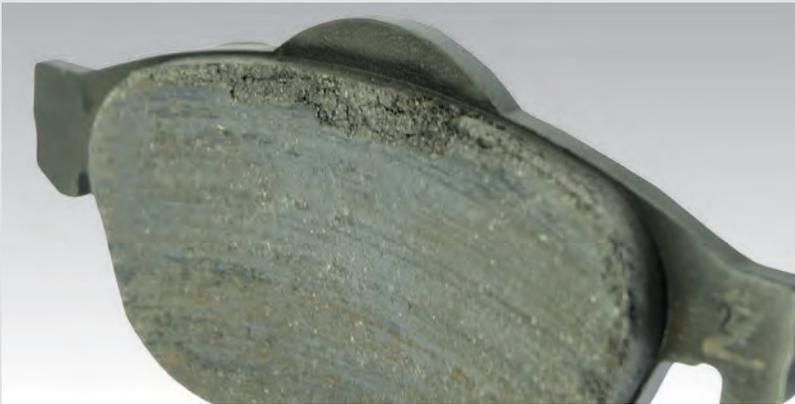


- ▶ Oberflächenrisse sind vernachlässigbar, stellen kein Sicherheitsrisiko dar. Auch bei genutzten Bremsbelägen gibt es keine Nachteile hinsichtlich der Belagfestigkeit.

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Einsatzbedingte Schäden Kantenausbrüche



▶ Ausbrüche sind vernachlässigbar, stellen kein Sicherheitsrisiko dar.

### Erläuterung:

- Bauartbedingte Auswirkungen, die abhängig von thermischer oder mechanischer Belastung unterschiedlich stark ausgeprägt sein können.
- Kantenausbrüche sind bis max. 10 % der Gesamt-reibfläche zulässig.



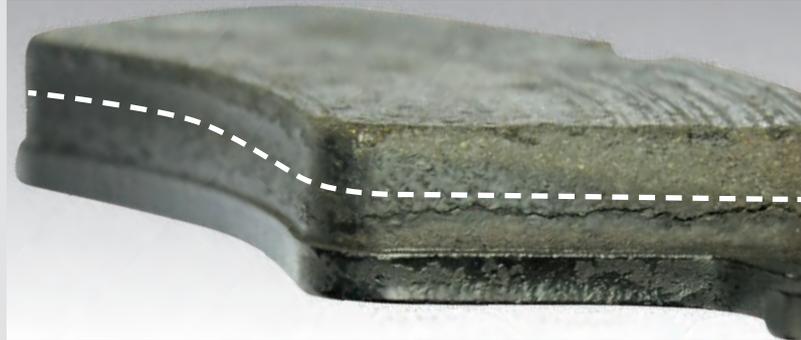
▶ Ausbrüche im markierten Bereich sind zulässig, jedoch max. 10 % der Gesamtbelagfläche.



## Einsatzbedingte Schäden Schichtentrennung/Kantenlösen

### Erläuterung:

- In diesem Bereich sind keine Ausbrüche oder Ablösungen zulässig.
- Risse oder Ablösungen im Bereich der Reibmaterialanbindung sind nicht zulässig.



- ▶ Geschützter Bereich der Belaganbindung unterhalb der Markierung



- ▶ Belag mit unzulässigen Ablösungen

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



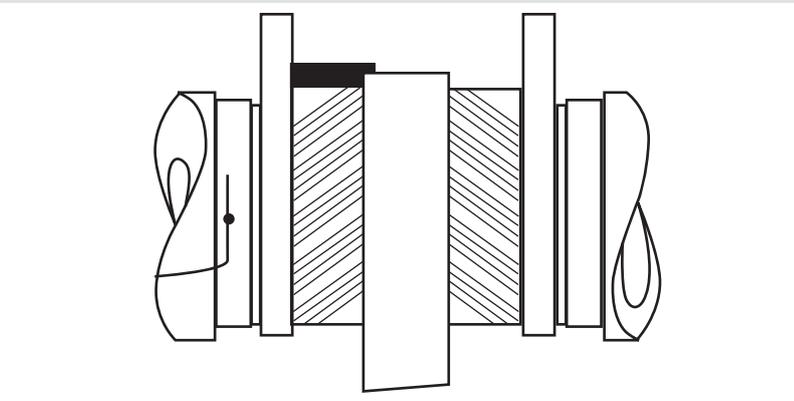
## Einsatzbedingte Schäden Mangelhaftes Tragbild



► Belag mit unzureichendem Tragbild

### Ursache:

- Verschlissene oder falsche Bremsscheibe.
- Bremsendefekt/-verunreinigung.
- Zu geringe Bremsenbeanspruchung.
- Siehe auch Montagefehler/Produktionsfehler.



► Beschädigung durch Kantenläufer

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Einsatzbedingte Schäden

### Erläuterung:

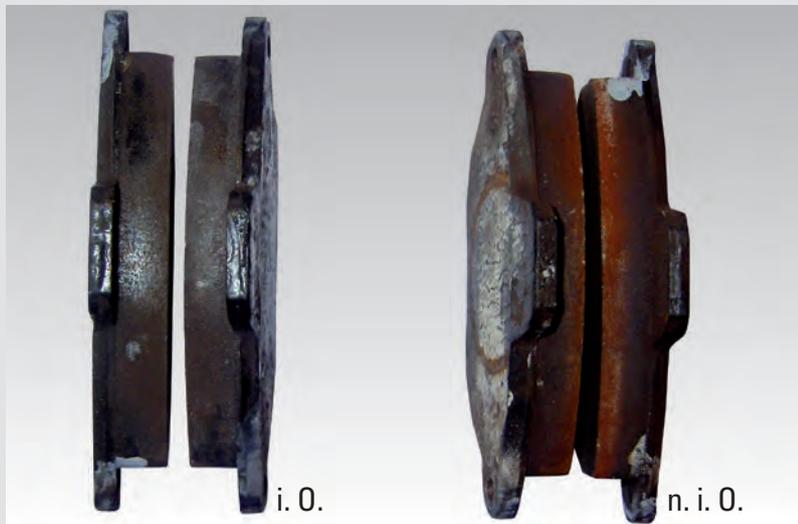
- Zerstörung des Belagmaterials durch punktuelle mechanische und thermische Überbelastung.



- ▶ Einsatz neuer Bremsbeläge auf stark riefiger/eingelaufener Bremsscheibe.

### Erläuterung:

- Unzureichende Freigängigkeit der Bremsbeläge durch Mängel an der Bremse.
- Kann sowohl rad- als auch achsweise auftreten.

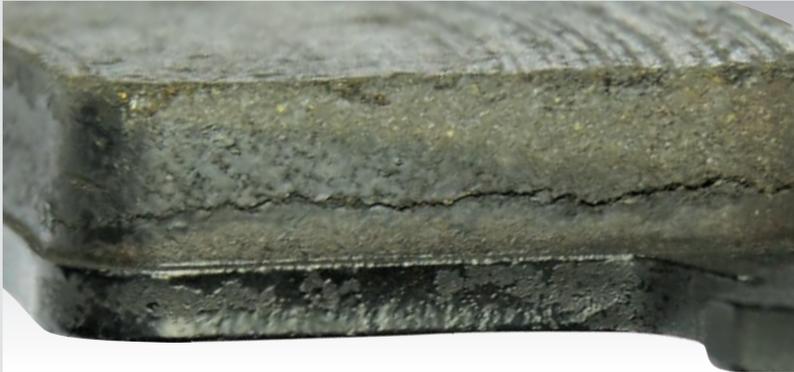


- ▶ Einseitig hohe thermische Belastung

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



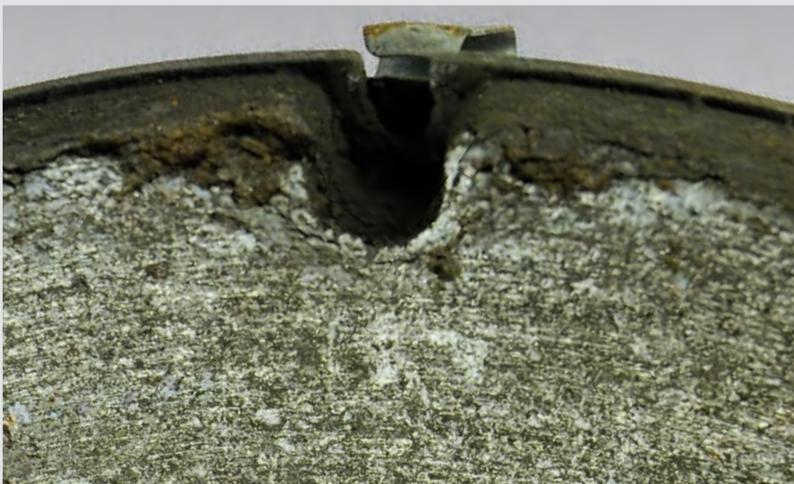
## Produktionsfehler



► Schichtentrennung/-risse am neuen Bremsbelag

### Erläuterung:

- Unzulässiger Pressfehler.
- Risse parallel zur Belagträgerplatte sind grundsätzlich unzulässig.



► Ausbrüche an der Oberfläche, keine Anzeichen hoher thermischer Belastung erkennbar

### Erläuterung:

- Unzureichende Festigkeit des Reibmaterials durch Pressfehler; führt zu Porosität und Ausbrüchen an der Oberfläche.



## Produktionsfehler

**Ursache:**

Unzulässiger Pressfehler.



► Ausbrüche an den Kanten

**Ursache:**

Konstruktionsbedingter Pressüberstand zwecks vollständiger Ausnutzung des Reibrings der Bremsscheibe.



► Zulässiger Pressüberstand

**Erläuterung:**

Fremdkörper sind grundsätzlich unzulässig, inhomogene Mischungsanteile sind zulässig bis max. 5 % der Oberfläche.



► Fremdkörper in der Belagmasse

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Montagefehler



► Sichtbare Abdrücke/Spuren auf der Belagträgerplatte

### Ursache:

Einbaulage nicht beachtet.



► Kolbenfeder verbogen, nicht zulässig

### Ursache:

Unsachgemäße Behandlung vor dem bzw. beim Einbau.

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Montagefehler

### Ursache:

Bremsbelag unsachgemäß eingebaut.



► Niederhaltefeder zerstört

### Ursache:

Zubehör unterliegt gebrauchsbedingtem Verschleiß und ist je nach Ausführungsart im Lieferumfang enthalten.



► Clip-on-Bleche verschlissen

### Ursache:

Verdrehsicherung nicht beachtet.

### Achtung:

Auf korrekten Sitz im Bremssattel achten, um eine einwandfreie Funktion zu gewährleisten.



► Kolbenabdruck an der Verdrehsicherung

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Montagefehler



► Deutliche Beschädigung durch äußere Einwirkung

**Ursache:**

Bremsschacht nicht von Schmutz und Korrosion befreit.  
Maßabweichung der Belagträgerplatte.



► Aussparung im Dämmblech durch Verunreinigung außer Funktion

**Ursache:**

Bremskolben nicht von Schmutz und Korrosion befreit; übermäßiges Fetten.



► Unsachgemäß veränderte Belaggeometrie

**Ursache:**

Unzulässige Veränderung bei der Montage.



## Montagefehler

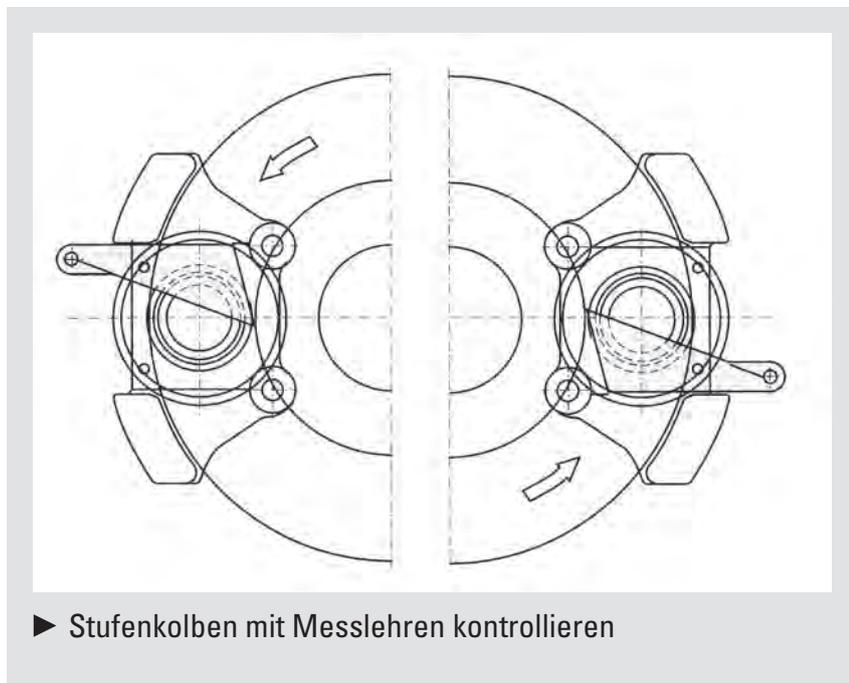
### Ursache:

Unkorrekter Sitz des  
Bremsbelags im Sattel.



### Ursache:

Stufenkolben im  
Bremsattel verstellt.



# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Schäden durch Umwelteinflüsse



► Verglasung der Reibfläche

### Ursache:

Unzureichendes Tragbild, nach Temperaturbelastung fehlende Putzbremssungen.



► Verunreinigung der Reibfläche

### Ursache:

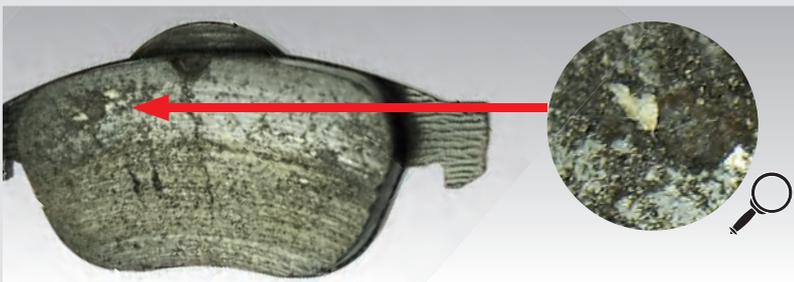
Häufig wird die Betriebstemperatur nicht erreicht, Selbstreinigung findet nicht statt. Verunreinigung der Reibfläche durch z. B. Rost, Schmutz, Farbe oder Salz.



► Starke Riefen in der Belagoberfläche

### Ursache:

Einsatz von riefiger Bremsscheibe. Eindringen von Fremdkörpern wie z. B. Schmutz, Salz oder Korrosion. Unzureichende Verteilung von Reibkorn in der Belagmasse.



► Fischbildung – Metalleinschlüsse in der Belagoberfläche

### Ursache:

Materialübergang von der Bremsscheibe auf den Bremsbelag aufgrund von z. B. unterschiedlicher Beanspruchung, Witterung und/oder Materialunverträglichkeit.

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



## Spezielle Montagehinweise

### Achtung:

Spezielle Montageanleitungen unterschiedlicher Sekundärmaßnahmen müssen zur Vermeidung von Geräuschen, Rubbelerscheinungen, Scheibenrissen sowie Schrägverschleiß beachtet werden.



► Spezielle Montageanleitungen unterschiedlicher Sekundärmaßnahmen

# SCHEIBENBREMSBELÄGE



Alle aufgeführten Schadensbilder sind beispielhaft und können je nach Bremsen-/Fahrzeugausführung unterschiedliche Auswirkungen haben.

Sie dienen als Leitfaden, können jedoch nicht die Schadensbeurteilung des Fachmanns vor Ort ersetzen. Häufig treten sie in Kombination auf.

# BREMSSCHEIBEN



## Unterscheidung von „thermischem Rubbeln“ und „Kaltrubbeln“

### Bremsenrubbeln

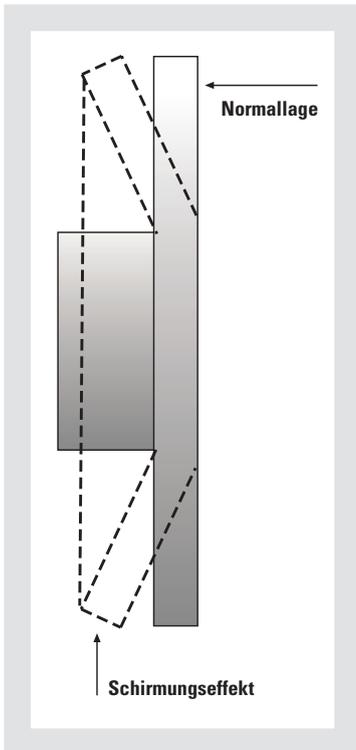
Unter dem Begriff „Bremsenrubbeln“ versteht man das Auftreten von ungleichförmigen Bremsmomentverläufen und somit von Bremskraftschwankungen, die während des Abbremsvorgangs – genauer gesagt während einer Bremsscheibendrehung – auftreten. Diese Erscheinungen werden hinsichtlich ihrer Ursache in thermisches Rubbeln, das bei Abbremsungen aus hohen Geschwindigkeiten entsteht, und Kaltrubbeln, das in allen Geschwindigkeitsbereichen auftreten kann, unterteilt.

### Thermisches Rubbeln

Das Phänomen „thermisches Rubbeln“ lässt sich wie folgt beschreiben:

- **Dröhnendes Geräusch** in einem Frequenzbereich zwischen 100 und 250 Hz – das Dröhnen kann im Verlauf der Abbremsung wechselnde Intensitäten aufweisen, die Bremswirkung wird hierbei nicht beeinträchtigt.
- **Drehmomentschwankungen** und/oder Vibrationen im Lenkrad sowie pulsierendes Bremspedal und vibrierende Chassisteile.

Die Erscheinungen sind beim Bremsvorgang abhängig von der momentan wirkenden Bremskraft (Pedalkraft). Auswirkungen des thermischen Rubbelns sind in der Regel in Form von ringförmig angeordneten **Flecken** auf den Reibflächen der Bremsscheiben zu erkennen. Infolge der Einwirkung von örtlichen Temperaturspitzen beim Bremsvorgang erfolgt ein Materialübertrag vom Scheibenbremsbelag auf die Bremsscheibe und/oder es entsteht eine bleibende Gefügeänderung im Gusswerkstoff der Bremsscheibe. Ein Materialübertrag kann in der Regel durch Bremsungen im normalen Belastungsbereich wieder beseitigt werden; durch die punktuell auftretende Gefügeänderung, die auch als Martensitbildung bezeichnet wird, ist das Gefüge härter als das Ausgangsgefüge und kann nur durch einen spanabhebenden Arbeitsprozess beseitigt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass das verhärtete Gefüge vollständig entfernt wird. Um Risiken auszuschließen, empfiehlt sich jedoch ein Bremsscheibenwechsel.



Das Phänomen der **Fleckenbildung** durch lokal auftretende Überhitzung hat verschiedene Ursachen:

- Die Formbeständigkeit der Bremsscheibe ist unter den thermischen Bedingungen, die während des Bremsvorgangs auftreten, nicht immer ausreichend gesichert. Die Reibringfläche der jeweiligen Bremsscheibe kann unter diesen Bedingungen irreversibel oder reversibel kippen. Es entsteht gegenüber dem Normalzustand des Bremsscheibenkörpers ein **Schirmungseffekt**.
- Das **Mindestdickenmaß** der Bremsscheibe ist **unterschritten** (s. Herstellerempfehlung) und die Wärmespeicherefähigkeit somit stark reduziert.
- Die montierten Scheibenbremsbeläge sind **zu stark verschlissen** und haben nur noch einen **unzureichenden Dämpfungseffekt**.
- Die Bremsscheiben entsprechen bezüglich Gusswerkstoff und Toleranzen nicht der Herstellerspezifikation.

# BREMSSCHEIBEN



- Die montierten Scheibenbremsbeläge sind für den Anwendungsfall nicht geeignet und/oder **entsprechen nicht der Originalausrüstung** oder einem vergleichbaren Qualitätsstandard.
- Die einwandfreie Funktion der Bremsanlage ist nicht gegeben oder Teile derselben sind **unterdimensioniert**.

Neben den beschriebenen Ursachen für den Vorgang „thermisches Rubbeln“ infolge punktueller Überhitzung sind darüber hinaus noch andere Einflussfaktoren zu betrachten, wie nicht ausreichend ausgewuchtete Räder oder verschlissene Lagerteile der Radaufhängung und Lenkung sowie eine mangelhaft eingestellte Vorderachse, die Rubbelerscheinungen mit auslösen oder verstärken können.

Bei Rubbelerscheinungen liegen oft mehrere Ursachen gleichzeitig vor und eine eindeutige Zuordnung kann nicht leicht getroffen werden.

Daher ist eine umsichtige Vorgehensweise zwecks Ursachenforschung mit folgerichtiger Schadensbehebung erforderlich. Zweckmäßigerweise wird dies dem Erfahrungspotenzial von Fachwerkstätten überlassen.

## Grundsätzlich ergeben sich jedoch folgende Prüfvorgänge:

- Zunächst ist eindeutig festzustellen, ob die Störeffekte von der **Vorder- oder Hinterachse** ausgehen.
- Die Schadenszustände der Funktionskomponenten sind in Form einer **visuellen Überprüfung** festzustellen. Stark geschädigte Bremsscheiben bzw. Scheibenbremsbeläge müssen in jedem Fall achsweise ausgetauscht werden.
- Die montierten Scheibenbremsbeläge sind auf ihre anwendungstechnische Zulassung gemäß der **herstellerorientierten Empfehlung** zu überprüfen.
- Der **Funktionszustand** der Scheibenbremse, insbesondere die der Gleitteile, ist zu kontrollieren und gegebenenfalls fachgerecht instand zu setzen.
- Der **Radlauf** ist bezüglich Unwucht zu überprüfen und gegebenenfalls nachzuwuchten.
- Der Funktionszustand der **Radaufhängung** und der **Lenkungsteile** ist zu überprüfen und schadhafte Teile sind auszutauschen.
- Die einzelnen Lagerkomponenten der **Radlagerung** sind auf Defekte hin zu kontrollieren und gegebenenfalls auszutauschen (Lagerspiel).
- Die **Achsgeometrie** ist nach den Richtwerten des Fahrzeugherstellers zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Grundsätzlich kann durch die Wahl eines geeigneten Reibmaterials das thermische Rubbeln günstig beeinflusst werden, sofern der Zustand der anderen erwähnten Fahrzeugkomponenten einwandfrei ist. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch darauf hinzuweisen, dass derartige Optimierungen auch in Übereinstimmung mit den Gesamtanforderungen an eine Bremsanlage zu betrachten sind.

## Prüfvorgänge



## Kaltrubbeln

Das Phänomen „Kaltrubbeln“ lässt sich während normaler Abbremsungen durch Pulsieren des Bremspedals, durch Drehmomentschwankungen des Lenkrads und/oder durch Vibrationen und Schwingungen von Achs- und Chassisteilen feststellen.

Als **Unterscheidungsmerkmal** zum „thermischen Rubbeln“ ist zu definieren, dass Kaltrubbeleffekte fast bei jedem Bremsvorgang auftreten können und dass dabei der Frequenzbereich deutlich niedriger liegt (etwa bei 5–50 Hz). Wechselnde Intensitäten können entsprechend der jeweiligen Geschwindigkeitsbereiche des Fahrzeugs auftreten.

Hauptursache des Kaltrubbels ist die **Ungleichdicke des Reibrings** der Bremsscheibe. Darüber hinaus verstärken natürlich, wie auch beim Vorgang „thermisches Rubbeln“, defekte Lagerteile und Radnuten den Effekt.

Wie entsteht nun diese Ungleichdicke? Jede Bremsscheibe hat **Rundlauffehler** (Schlag), die durch fertigungs- und montagebedingte Toleranzen entstehen. Da während der ungebremsten Fahrt die Scheibenbremsbeläge nicht sicher und dauerhaft von der Bremsscheibe entfernt werden können, treten während jeder Radumdrehung punktuelle Berührungen zwischen Bremsbelag und Bremsscheibe auf. Obwohl hierbei die Berührungskräfte relativ niedrig sind, tritt an der jeweils gleichen Stelle der Bremsscheibe Verschleiß (Dickendifferenz) auf, der ab einer gewissen Größenordnung zum Rubbeln führt. Diese Dickendifferenz kann durch normale Bremsungen wieder reduziert oder beseitigt werden und das Bremssystem kann im Wechselspiel zwischen Erzeugung und Reduzierung der Dickendifferenzen in akzeptablem Gleichgewicht gehalten werden, sofern bestimmte Voraussetzungen gegeben sind. Diese Voraussetzungen werden in den späteren Ausführungen behandelt.

Als **Einflussfaktoren der Dickendifferenzbildung** gelten:

- **Rundlauffehler** (Seitenschlag) der Bremsscheiben in eingebautem Zustand;
- die **Aggressivität des Reibwerkstoffs** gegenüber dem Bremsscheibenmaterial unter den Bedingungen des ungebremsten Zustands;
- das **materialspezifische Vermögen** der Scheibenbremsbeläge, die bestehenden Dickendifferenzen der Bremsscheiben während normaler Bremsungen zu reduzieren bzw. zu beseitigen;
- das **Lösungsverhalten der Bremsanlage** und die daraus resultierende Fähigkeit zur Freistellung der Scheibenbremsbeläge gegenüber der Bremsscheibe;
- die **Einsatzbedingungen** des Fahrzeugs und das Fahrverhalten des Fahrers.

Die Auswirkungen bestehender und gleich großer **Dickendifferenzen** an Bremsscheiben kann von Fahrzeugtyp zu Fahrzeugtyp sehr unterschiedlich sein und ist abhängig von den beschriebenen Kraftübertragungsfaktoren und dem Dämpfungsvermögen der Achs-, Lenkungs- und Chassisteile.

## Ursachen der Ungleichdicke

# BREMSSCHEIBEN

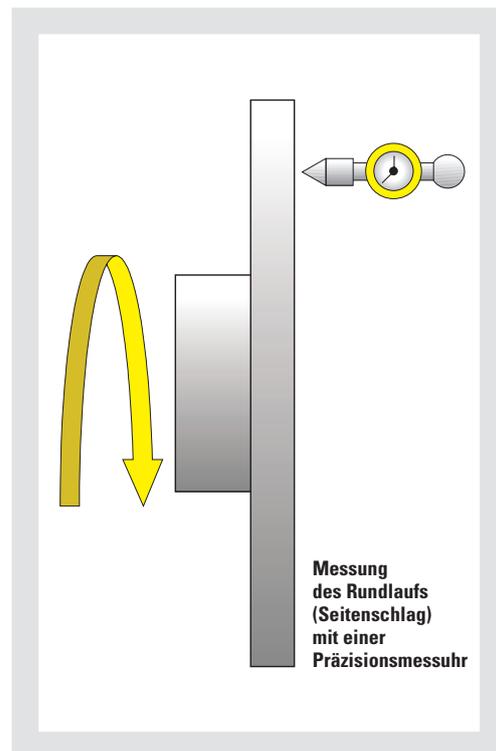


Rubbelursachen können unter **Beachtung folgender Hinweise** untersucht werden:

- Die **Prüfung des Rundlaufs** (Seitenschlag) von Bremsscheiben erfolgt im eingebauten Zustand im Idealfall mit vorschriftsmäßig montiertem Rad. Sie wird mit einer Messuhr, die eine Messgenauigkeit von mindestens 0,01 mm hat, ca. 10–15 mm unterhalb des äußeren Scheibenradius durchgeführt. Eine Messung am mittleren Reibradius ist jedoch auch ausreichend. Der Messwert bei neueren Fahrzeugen sollte, gemessen über mehrere Radumdrehungen, 0,070 mm nicht überschreiten (Problemfahrzeuge: < 0,040 mm). Es ist zu beachten, dass diese Prüfung nur bei neuen Brems-scheiben aussagefähig ist.

Bei älteren Fahrzeugen sind aufgrund der Bauteiltoleranzen derartig niedrige Messwerte oft nicht erreichbar. Eine Optimierung kann jedoch grundsätzlich erreicht werden, wenn die Bremsscheibe auf der Nabe in Zuordnung zu den Befestigungsbohrungen so positioniert wird, dass der geringste Messwert entsteht. Rundlaufabweichungen von Bremsscheiben in der Größe von 0,10 mm dürfen auch bei älteren Fahrzeugen nicht überschritten werden. Gegebenenfalls ist dies durch Austausch/Kombination der beeinflussenden Bauteile (Nabe, Bremsscheibe, Lagerung) zu optimieren. Des Weiteren ist äußerste Sorgfalt in Bezug auf den sauberen und fehlerfreien Zustand der Anlageflächen und Passungen geboten.

- Wie bereits oben erwähnt, kann auch die **Nabe** für einen zu großen Scheibenschlag verantwortlich sein und muss bezüglich des Rundlauffehlers gemessen werden. Als Anhaltspunkt kann hierbei ein maximaler Wert von 0,030 mm angenommen werden. Dieser bezieht sich auf den äußeren erfassbaren Radius. Bei größeren Abweichungen sollte die Nabe ausgetauscht werden.
- Die **Welligkeit** einer Bremsscheibe ist ebenfalls ein Kriterium in Bezug auf die Beeinflussung der Rundlaufgenauigkeit. Daher ist auch eine Überprüfung dieser zweckmäßig. Ein Wert von 0,050 mm sollte dabei nicht überschritten werden. Die Prüfung ist jedoch nur mit Spezialgeräten durchführbar.
- Die **Messung der Dickendifferenzen** des Reibrings einer Bremsscheibe kann nur mit Spezialgeräten exakt gemessen werden. Mit hinreichender Genauigkeit kann dies jedoch auch mit einer Präzisionsmikrometerschraube erfolgen, die eine Messgenauigkeit von + 0,001 mm aufweist. Hierbei sollte an 12–15 Stellen des Umfangs sowie ca. 10–15 mm unterhalb des äußeren Reibradius gemessen werden. Je nach Fahrzeugtyp können Ungleichdicken von 0,012–0,015 mm (Problemfahrzeuge: < 0,008 mm) bereits zu Rubbelerscheinungen führen. Diese Werte dürfen daher bei neuen Scheiben nicht überschritten werden und gelten somit für Textar Bremsscheiben als absolute Toleranzgrenze.



# BREMSSCHEIBEN

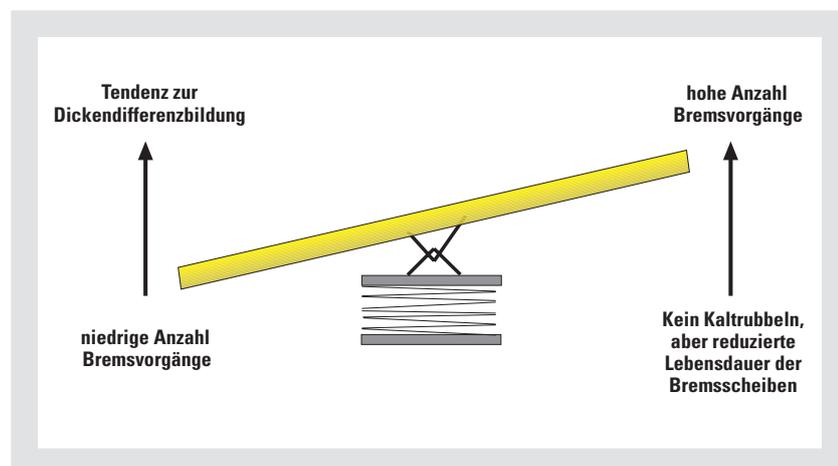


## Weitere Prüfmaßnahmen

Des Weiteren ist zu empfehlen, dass einige der Prüfvorgänge, die im Abschnitt „thermisches Rubbeln“ beschrieben sind, ebenfalls durchgeführt werden. Hierzu gehören der Funktionszustand der Scheibenbremse, die Radlagerung, die Radaufhängung und die Lenkungsteile, die Vorderachseinstellung sowie grundsätzlich die anwendungstechnische Zulassung der Scheibenbremsbeläge.

Obige Ausführungen machen deutlich, dass die Ursachen für einen zu großen Rundlauffehler und somit für die Erzeugung von Dickendifferenzen nicht ganz einfach zu ermitteln sind. Durch das Messen der Bauteile im Rahmen der Möglichkeiten und gegebenenfalls den Austausch derselben kann der Fehler jedoch weitgehend eingegrenzt werden.

Wie bereits erwähnt, sind auch Fahrverhalten und Verkehrsbedingungen mitentscheidend für die Dickendifferenzbildung der Bremsscheiben. Schon bei Autobahnfahrten über einige Tausend Kilometer mit nur sehr wenigen Bremsungen und geringem Energieumsatz können Dickendifferenzen erzeugt werden, die zu Rubbelerscheinungen führen. Eine nachfolgende Phase mit relativ vielen Bremsvorgängen kann die Scheibe wieder regenerieren.





## Durch Standflecken verursachtes Rubbeln

Nach längerer Standzeit eines Fahrzeugs und insbesondere unter Feuchtigkeits- und/oder Salzeinwirkung können die Scheibenbremsbeläge auf der Scheibe festkorrodieren oder es kann auf der dem Belag gegenüberliegenden Scheibenfläche zu derart **ausgeprägter Korrosionsbildung** kommen, dass dies zu deutlichem Rubbeln führt. Im Falle des Festkorrodierens kann eventuell durch eine leichte, ruckartige Anfahrbelastung die Verbindung gelöst werden. Bei stärkerer Haftung muss die Bremsanlage demontiert werden und die Bremsscheibe ist zu überschleifen oder auszuwechseln. Die Scheibenbremsbeläge müssen bei Schädigung ebenfalls ausgewechselt werden. Tritt nach der Standzeit lediglich ein leichtes Rubbeln auf, so kann sich diese Erscheinung nach einer gewissen Fahrstrecke normalisieren. Ist das Rubbeln jedoch zu intensiv und störend bzw. reduziert sich der Effekt aufgrund der betriebsbedingten Bremsungen nicht, so müssen die Bremsscheiben nachgearbeitet oder ausgetauscht werden.

## Quietschgeräusche während des Bremsvorgangs

Sofern konstruktiv keine grundsätzlichen Mängel an der Bremsanlage vorliegen, ist die Bremsscheibe nur dann ursächlich für das Auftreten von Quietschgeräuschen mitverantwortlich, wenn die Tragverhältnisse zwischen Bremsscheibe und Bremsbelag mangelhaft sind oder die Scheibenoberflächen durch Korrosion etc. geschädigt sind. Aufgrund der geometrischen Verhältnisse der Bremsscheibe ist diese jedoch ein guter Abstrahler für Geräusche.

Folgende Vorgehensweise zur Mängelbehebung empfiehlt sich:

- **Verschleißzustand und Oberflächenzustand** von Scheibenbremsbelägen und Bremsscheiben überprüfen und gegebenenfalls Teile auswechseln;
- Prüfung, ob **zugelassene** und **geeignete** Scheibenbremsbeläge montiert sind;
- Vorhandensein und Zustand der **Geräuschdämpfungselemente** sind zu überprüfen (Dämpfungsbleche, Dämpfungslacke, Pasten);
- die **Leichtgängigkeit** der Führungselemente und des Betätigungskolbens der Scheibenbremsen ist zu überprüfen.

Der Bremsvorgang ist physikalisch der trockenen Reibung zuzuordnen, die naturgemäß leicht zu Schwingungen und somit zu Geräuschen anregt. In Anbetracht der eingangs erwähnten Einflussgrößen und Betriebsbedingungen ist es sehr schwierig, jegliche Geräuschbildung zu unterdrücken. Der heutige Stand der Technik hat jedoch ein hohes Maß an Zuverlässigkeit erreicht.

# BREMSSCHEIBEN



## Bremswirkung ungenügend

### Weitere mögliche Mängel

In den meisten Fällen und insbesondere, wenn es sich um Bremsen der Vorderachse handelt, wird die Ursache nicht auf die Bremsscheibe zurückzuführen sein.

In solchen Fällen muss festgestellt werden, ob die geeigneten Scheibenbremsbeläge montiert sind, diese noch nicht verschlissen sind, die Oberflächen von Bremsscheiben und Belägen mängelfrei sind und ob die Bremsanlage einwandfrei arbeitet (Kolben, Führungen, Verstärker).

Bei **Hinterachsen-Scheibenbremsen** kann es wegen zu geringer spezifischer Belastung zu Korrosionserscheinungen auf der Bremsscheibe oder zu Oberflächenkonditionierungen der Reibpartner kommen, die die Wirksamkeit beeinflussen. Dies ist jedoch wegen des geringen Bremskraftanteils der Hinterachse für den Fahrer kaum spürbar. In derartigen Fällen müssen die Bremsscheiben nachgearbeitet oder erneuert werden. Die Scheibenbremsbeläge sollten dann ebenfalls ausgetauscht werden.

### Bremsscheiben zeigen Risse

Thermoschockbelastungen können auf der Reibringfläche der Bremsscheibe zu Rissbildungen im Gussgefüge führen. Risse beeinflussen die Festigkeit des Bauteils und können je nach Größe und Belastung Ausgangspunkt für einen Materialbruch sein. Eine verbindliche Aussage über eine noch erlaubte Größenordnung von Rissen ist schwer zu treffen. Um jedoch **Risiken zu vermeiden**, sollten Bremsscheiben ausgetauscht werden, sofern Risse mit dem bloßen Auge gut erkennbar sind. Außerdem ist zu beachten, dass die Bruchgefährdung mit der Länge der Risse steigt.

Neben der Bruchgefährdung erzeugen Risse aufgrund der schaberähnlichen Wirkung einen höheren Materialverschleiß an Scheibenbremsbelägen. Dieser Effekt verstärkt sich unter Temperatureinfluss, da hierbei eine Spaltdehnung erfolgt.



# BREMSSCHEIBEN



## Bremsscheiben sind riefig

Riefen auf der Reibringfläche können folgende Ursachen haben:

- **ungeeigneter Reibwerkstoff** der Scheibenbremsbeläge;
- **starke Schmutzeinwirkung** auf Bremsscheiben/Scheibenbremsbeläge;
- **Korrosionseinwirkung**;
- **Überlastung** der Bremsanlage;
- Bremsscheibenwerkstoff **zu weich**.

Riefen treten in sehr unterschiedlichen Strukturen zwischen fein und sehr grob auf. Allgemeingültige Aussagen, ob der Zustand noch toleriert werden kann, sind daher schwer zu treffen. Die Erfahrung des Fachmanns gewährleistet jedoch in der Regel die richtige Entscheidung. Die Bremswirkung wird innerhalb gewisser Grenzen durch eine Riefenbildung nicht beeinträchtigt, bei einem Belagwechsel müssen die Scheiben jedoch nachgearbeitet bzw. ausgewechselt werden.

## Nutzungsdauer der Bremsscheibe ist zu gering

Die Nutzungsdauer von Bremsscheiben wie auch von Scheibenbremsbelägen ist nur eine, wenn auch eine wichtige Komponente bei der Entwicklung einer Bremsanlage. Für normale Einsatzverhältnisse wird für viele Vorderachs-Anwendungsfälle angestrebt, dass zwei Sätze Scheibenbremsbeläge auf einer Bremsscheibe gefahren werden können. Um spezifische und höher gewichtete Zielsetzungen zu erreichen, wie z. B. Vermeidung von **Kaltrubbelerscheinungen**, kann die Nutzungsdauer auch unterhalb dieses Wertes liegen.

Die in der Praxis erreichten Nutzungsdauerwerte sind von folgenden Einflussgrößen abhängig:

- Fahrverhalten des Fahrers;
- Verkehrsverhältnisse;
- topografische und klimatische Einsatzbedingungen;
- Schmutzeinwirkung;
- Gusswerkstoff und Gefügeausbildung der Bremsscheibe;
- Aggressivität des Scheibenbremsbelags;
- Leichtgängigkeit der Gleit- und Führungsteile und des Betätigungskolbens der Bremse.

In Anbetracht der Vielzahl der Einflüsse stellt sich die Scheibennutzungsdauer in der Praxis als statistische Größe dar, wobei in der Verteilungsfunktion die oberen Werte um den Faktor 10–15 höher liegen als die unteren. Bezogen auf konkrete Laufstrecken kann der Bereich z. B. zwischen 20.000 und 300.000 km liegen, wobei in Einzelfällen noch Laufstrecken unterhalb und oberhalb dieser Grenzen möglich sind. Aus diesem Grunde kann auch seitens der Hersteller und Vertreiber keine Nutzungsdauergarantie abgegeben werden.

# BREMSSCHEIBEN



## Typische Beispiele der angesprochenen Störfaktoren

## Zusammenfassung und Bildteil

Betrachtet und analysiert man die anfallenden **Reklamationen** an der Bremsanlage, so wird als Reklamationsursache ein prozentual **überwiegender Anteil der Bremsscheibe** zugewiesen. Hierbei hat wiederum der Punkt „Bremsenrubbeln“ den vorrangigen Stellenwert.

Anhand der aufgezeigten Komplexität und der Vielzahl der Einflussmöglichkeiten ist jedoch festzustellen, dass zunächst und vor Ort oft nur schwer ermittelt werden kann, ob eine Bremsscheibe geschädigt und was die Ursache hierfür ist. Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen kann die Aussage getroffen werden, dass bei der überwiegenden Anzahl der Fälle, in denen eine tatsächliche Schädigung der Bremsscheibe vorliegt, die Ursache an anderer Stelle zu suchen ist (Scheibenschlag zu groß aufgrund Gesamttoleranzlage, ungeeignete Bremsbeläge, Radbremse defekt etc.). In vielen Fällen befinden sich die reklamierten Bremsscheiben in ordnungsgemäßem Zustand und die Mängelursache wurde nicht erkannt. Dies führt zwangsläufig dazu, dass Reklamationen zurückgewiesen werden müssen, und hat unangenehme Nebenerscheinungen wie zeit- und kostenintensive Prüfungen, Zeitverluste insgesamt und Verärgerung aller beteiligten Partner zur Folge. Zudem führt ein Auswechseln der Teile nicht nachhaltig zum Erfolg und die gleichen Mängel treten nach einiger Zeit wieder auf.

Eine Verbesserung der Situation und somit der Zufriedenheit der Kunden kann nur erreicht werden, **wenn die jeweilige Schadensursache verlässlich ermittelt werden kann, nur ordnungsgemäße und zugelassene Ersatzteile verwendet werden und die Wartungsarbeiten mit größter Präzision durchgeführt werden.**

# BREMSSCHEIBEN



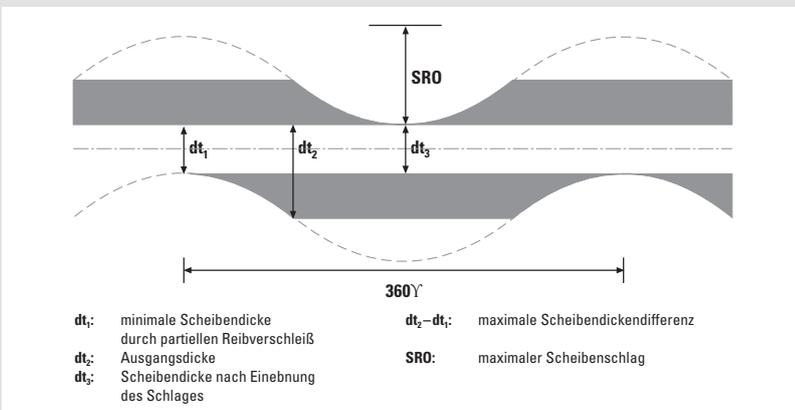
## Thermisches Rubbeln



► Örtlich überhitzte Bremsscheibe mit „Rubbleflecken“

**Dröhnende Geräusche und Vibrationen während des Bremsvorgangs aus hohen Geschwindigkeiten**

## Kaltrubbeln



► Dickendifferenz einer Bremsscheibe

### Feststellung:

Vibrationen von Chassisteilen, Lenkradschwingungen oder Pulsieren des Bremspedals bei Abbremsungen in fast allen Geschwindigkeitsbereichen.



► Messung des Scheibenschlages am Fahrzeug

# BREMSSCHEIBEN



## Standflecken

**Ursache:**

Korrosion, entstanden durch Feuchtigkeitseinfluss, Salzeinwirkung oder andere Umwelteinflüsse.

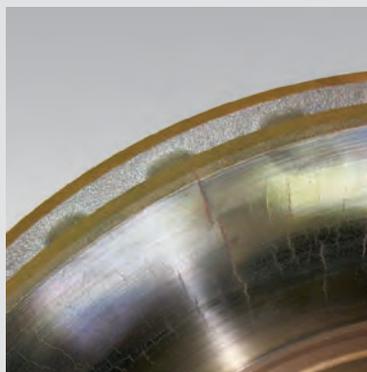


► Bremsscheibe mit Standfleck

## Rissige Bremsscheibe

**Ursache:**

Hohe thermische und mechanische Wechselbelastungen.



► Bremsscheibe mit starken Hitzerissen

**Ursache:**

Bremsscheibe über das zulässige Verschleißmaß hinaus verschlissen.

**Feststellung:**

Plötzlich auftretende starke Rubbelerscheinungen.



► Gerissene Bremsscheibe

# BREMSSCHEIBEN



## Riefige Bremsscheibe



► Bremsscheibe mit Riefen

**Ursache:**

Schmutzeinwirkung, Überlastung, Scheibenwerkstoff, und /oder Belagwerkstoff nicht geeignet.

## Extrem verschlissene Bremsbeläge



► Reibwerkstoff bis auf den Stahlträger verschlissen

**Ursache:**

Bremsbeläge nicht rechtzeitig gewechselt.



► Zugehörige geschädigte Bremsscheiben

# BREMSSCHEIBEN



## Korrodierte Bremsscheiben

**Ursache:**

Lange Standzeit mit feuchter Bremse, durch häufige Standfleckenbildung Gefügeveränderung des Reibrings.

**Auswirkung:**

Raue Bremse, Bremsgeräusche, Rubbelerscheinungen.

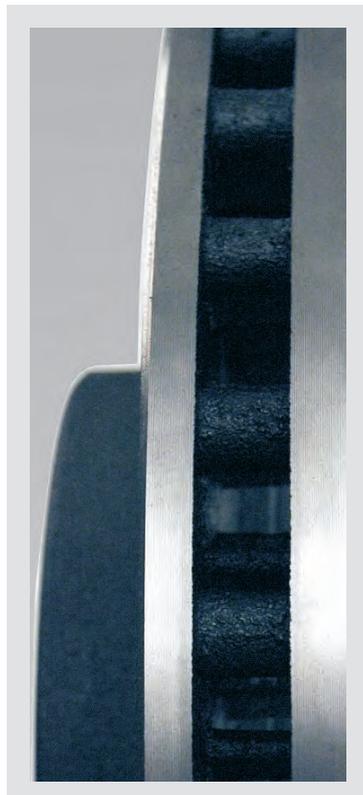


► Korrodierte Bremsscheibe

## Unterschiedlich dicker innerer und äußerer Reibring

Konstruktionsbedingt, zur unterschiedlichen Temperatureaufnahme.

Zulässige Differenz pro Reibring max. 0,5 mm.



# BREMSSCHEIBEN



## Dickendifferenz des Reibrings



► Dickendifferenz

### Ursache:

Falsche Bearbeitung, Betrieb mit zu großem Scheibenschlag bei gleichzeitig zu geringer Beanspruchung der Bremsen.

### Auswirkung:

Kaltrubbeln.

## Starke Unterrostung an der Anlagefläche



### Ursache:

Unzureichende Reinigung, mangelnde Auflage durch Verunreinigung.

### Auswirkung:

Erzeugung von Dickendifferenzen durch unzulässigen Seitenschlag.



► Starke Unterrostung

# BREMSSCHEIBEN



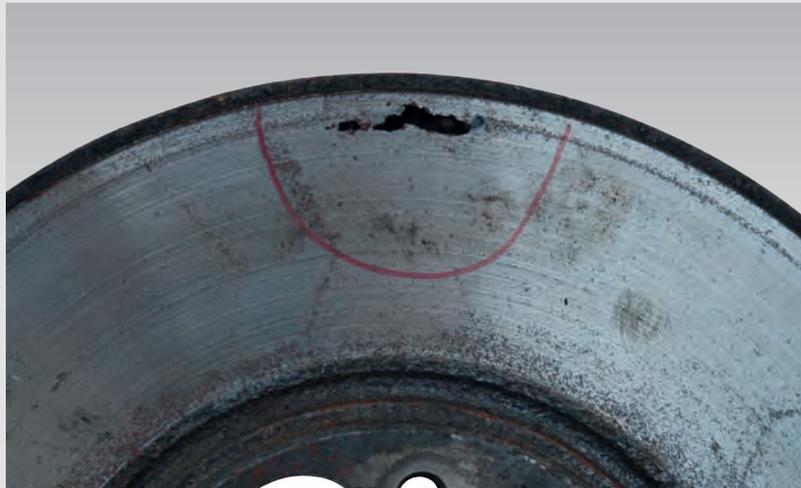
## Lunkerschaden

### Ursache:

Fehler während des Gießvorgangs.

### Auswirkung:

Reduzierung der Festigkeit.



► Lunkerschaden

### Ursache:

- Montagefehler (falscher Drehmoment bei Bremsscheibenmontage).
- Unkorrekter Sitz der Bremsscheibe durch Nichteinhalten der Fertigungstoleranzen.

### Auswirkung:

Reduzierung der Festigkeit; Geräusche.

## Risse im Bereich des Bremsscheibentopfs



► Risse im Bereich des Bremsscheibentopfs