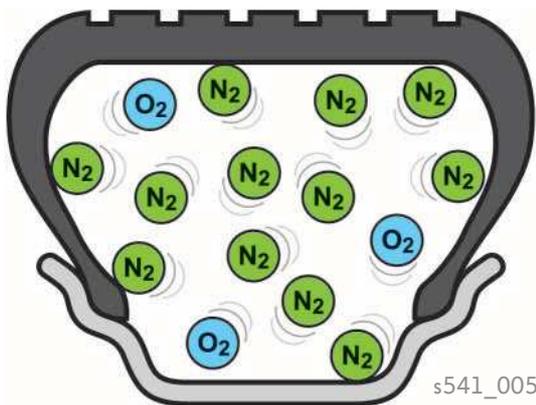


Die physikalischen Einflussgrößen auf den Reifendruck

Der Reifendruck entspricht der physikalischen Größe Druck (p). Druck ist als Krafteinwirkung (F) pro Flächeneinheit (A) definiert. Diese Krafteinwirkung kommt durch das im Reifen eingeschlossene Gas (Luft) zustande. Je mehr Luft man in den Reifen pumpt, desto größer wird der Druck, weil sich das Volumen des Reifens nicht im gleichen Maße vergrößern kann, wie beispielsweise bei einer Seifenblase.

Es wird, vereinfacht ausgedrückt, für die Gasmoleküle im Reifen mit zunehmender Luftmenge enger.

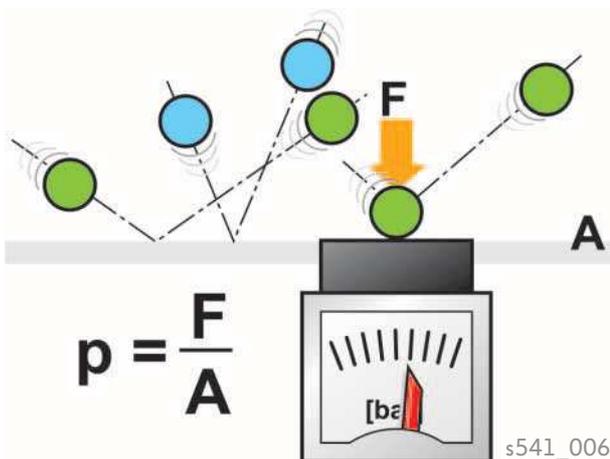
Schauen wir uns die physikalischen Einflussgrößen im Folgenden etwas genauer an.



Druck

Die Luft im Reifen besteht, wie die uns umgebende Luft, hauptsächlich aus den Gasen Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2). Stellen wir uns die Moleküle dieser Gase idealisiert als feste, winzige Kugeln vor.

In einem Gas sind diese Kugeln nicht an einen festen Platz gebunden, sondern können sich frei bewegen. Deshalb sind Gase im Gegensatz zu Flüssigkeiten und Feststoffen leicht komprimierbar. Aufgrund der Bewegung der Gasmolekülkugeln stoßen diese untereinander zusammen und prallen voneinander ab. Sie stoßen aber auch beständig gegen die Innenseiten des Reifens und der Felge.



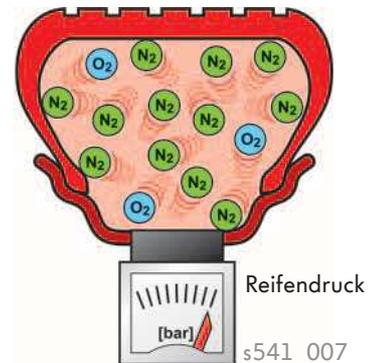
Dieses Zusammenstoßen mit dem Reifen wirkt als Kraft (F) auf die Reifeninnenfläche (A).

Der mathematische Quotient aus dieser Kraft und der Reifeninnenfläche ist der Reifendruck (p), den die eingeschlossene Luft auf den Reifen ausübt. Er wird in den Einheiten Bar bzw. Pascal gemessen und ist überall im Reifen gleich hoch.

Grundlagen zum Reifendruck

Temperatur

Erhitzt man ein Gas, so führt man den Gasmolekülen Energie zu, so dass sich die Kugeln in unserem idealisierten Modell mit steigender Temperatur schneller und heftiger bewegen. Es kommt zu mehr und stärkeren Kollisionen untereinander und mit der Reifeninnenfläche. Dadurch wirkt eine größere Kraft auf die Innenfläche, so dass der Reifendruck mit steigender Temperatur zunimmt. Die steigende Temperatur bei einem Reifen im Fahrbetrieb entsteht hauptsächlich durch Reibung zwischen Reifen und Straße und durch die mechanische Walkbewegung des Reifens.



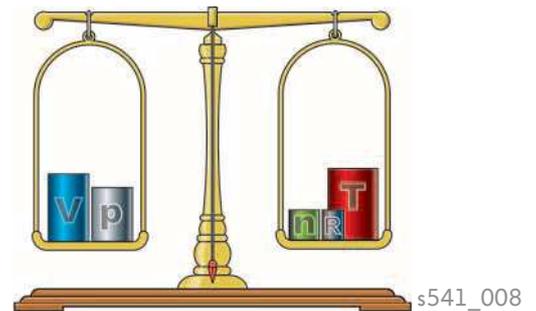
Die eingeschlossene Luft erwärmt sich mit dem Reifen.

Dieser Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur wird in der Physik u. a. durch das sogenannte „Gasgesetz“ beschrieben. Dieses idealisierte Gesetz fasst verschiedene Gesetze zum Verhalten von Gasen in Bezug auf Druck, Temperatur und Stoffmenge zusammen.

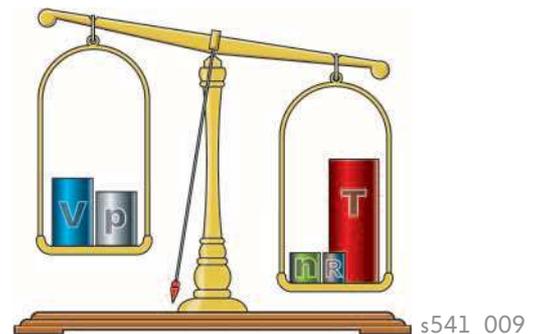
Das Gasgesetz besagt, dass das Gasvolumen (V) und der Druck (p) zu der Stoffmenge (n) und der Temperatur (T) proportional sind.

Vereinfacht kann man sich dieses Gesetz als Waage vorstellen. Auf der einen Waagschale liegen das Reifenvolumen (V) und der Reifendruck (p), auf der anderen Waagschale die Stoffmenge an eingeschlossener Luft (n) und die Temperatur (T) der Luft. Steigt der Temperaturwert an, sinkt die rechte Waagschale.

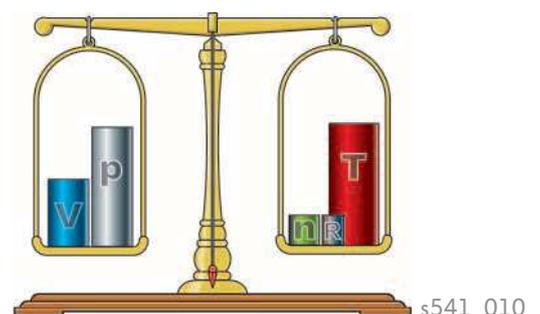
Damit die Waage wieder ins Gleichgewicht kommen kann, müssen entweder der Reifendruck oder das Reifenvolumen zunehmen. Da sich das Reifenvolumen nur in sehr geringen Maße (Wärmeausdehnung) ändern kann, muss folglich der Reifendruck zunehmen, um die Waage wieder ins Gleichgewicht zu bringen.



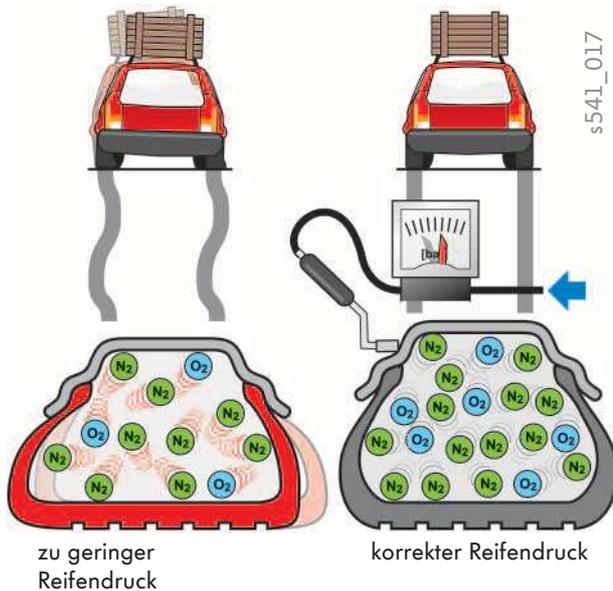
Gasgesetz: $p \times V = n \times R \times T$ (R = Proportionalitätsfaktor)



Die Temperatur steigt.



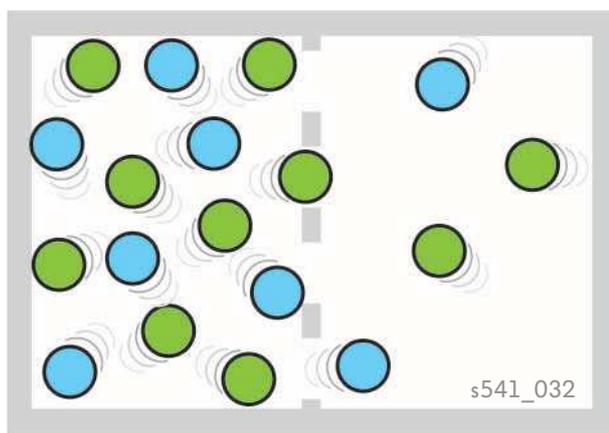
Die steigende Temperatur bewirkt einen Druckanstieg.



Masse und Gewicht

Umgangssprachlich benutzen wir das Wort „Gewicht“, um die Schwere eines Körpers zu beschreiben. Physikalisch korrekter ist der Begriff „Masse“. Hervorgerufen wird das Gewicht eines Körpers durch die Gravitation, die auf den Körper einwirkt.

Das Fahrzeuggesamtgewicht setzt sich zusammen aus dem Fahrzeugleergewicht und dem Gewicht, das durch Insassen und Beladung aufgebracht wird. Je schwerer das Fahrzeug durch eine Zuladung von Personen oder Gütern wird, desto stärker wird der Reifen im Bereich der Lauffläche deformiert. Um dies auszugleichen, muss der Reifendruck manuell erhöht und dem Beladungszustand angepasst werden. Geschieht dies nicht, geht dies aufgrund größerer Walkbewegungen des Reifens, zulasten des Traktionsverhaltens, der Fahrsicherheit und der Lebensdauer der Reifen.



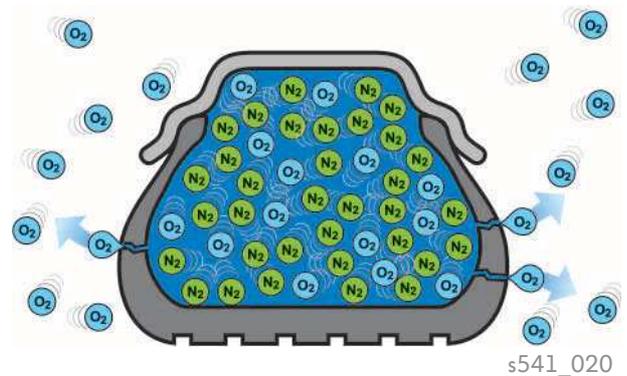
Diffusion durch eine poröse Wand (Membran)

Diffusion

Das Bestreben von z. B. Gas- oder Flüssigkeitsmolekülen, sich gleichmäßig in einem vorgegebenen Raum (Volumen) zu verteilen und so Konzentrationsunterschiede abzubauen, wird Diffusion genannt. Wenn Sie in der Ecke eines Zimmers eine Dose mit Stickstoffgas öffnen, bleiben die Stickstoffmoleküle nicht in der offenen Dose, sondern verteilen sich nach und nach gleichmäßig im gesamten Zimmer. Die Diffusion erfolgt aufgrund der zufälligen Bewegungen der Moleküle und ist u. a. abhängig von der herrschenden Temperatur und von dem Konzentrationsunterschied der beteiligten Teilchen. Diffusion geschieht auch, wenn die unterschiedlichen Konzentrationen durch eine poröse Wand voneinander getrennt sind.

Grundlagen zum Reifendruck

Genau diese Situation liegt bei einem Reifen vor. Im Reifen ist Luft komprimiert. Das bedeutet im Reifen liegt eine höhere Konzentration von Luftteilchen (Gasgemisch) vor, als außerhalb des Reifens. Der Reifen selbst ist die Trennwand zwischen diesen beiden Konzentrationen. Das Material des Reifens ist jedoch nicht zu 100% dicht, sondern ein klein wenig porös, so dass Luftteilchen aufgrund der Diffusion in geringem Maße durch den Reifen entweichen können. Der Reifenbefülldruck nimmt also in sehr geringem Maß beständig ab. Um diesen Effekt zu vermindern, ist der Reifen innen mit einer speziellen Kautschukbeschichtung versehen. Komplett unterbunden werden kann er bei einem Reifen jedoch nicht.



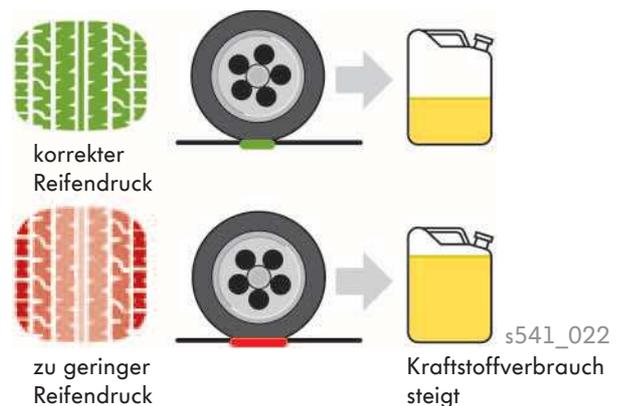
Diffusion beim Autoreifen

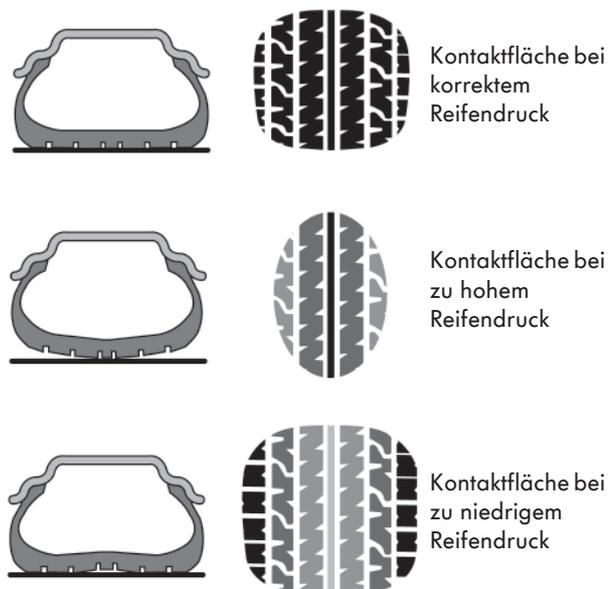
Die Auswirkungen durch falschen Reifendruck

Wie in der Einleitung bereits kurz angesprochen, hat ein zu niedriger oder zu hoher Reifendruck einen erheblichen Einfluss auf die Fahrsicherheit, den Kraftstoffverbrauch bzw. den CO₂-Ausstoß und die Lebensdauer des Reifens. Im Extremfall kann ein falscher Reifendruck durch eine langfristige Schädigung des Reifens sogar zum Zerplatzen führen.

Kraftstoffverbrauch

Ein zu niedriger Reifendruck führt beispielsweise zu einem höheren Rollwiderstand zwischen Straße und Reifen. Das Fahrzeug muss, vereinfacht ausgedrückt, mehr Antriebskraft aufbringen, um dieselbe Geschwindigkeit zu erreichen und zu halten, als ein Fahrzeug mit korrektem Reifendruck. Das bedeutet, das Fahrzeug benötigt mehr Kraftstoff und stößt demzufolge auch mehr CO₂ aus.





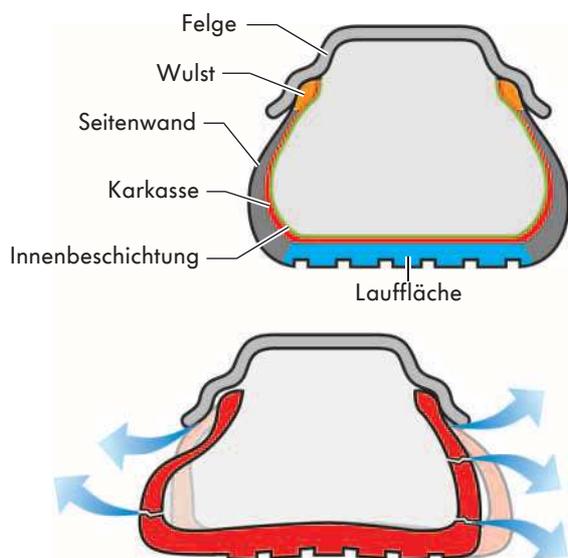
s541_021

Traktionsverhalten und Fahrsicherheit

Die Größe der Kontaktfläche zwischen Reifen und Straße und die Stabilität des Reifens wird hauptsächlich durch den Reifendruck und die Bauart des Reifens bestimmt. Ist der Druck zu hoch, verringert sich die Kontaktfläche. Ist der Druck zu gering, verliert der Reifen an Stabilität und beginnt stärker zu schwingen. Er wird „wabbelig“.

Beide Zustände sind neben dem Reifenprofil maßgeblich für das Traktionsverhalten und die Fahrstabilität des Fahrzeuges verantwortlich, beeinflussen also direkt die Fahrsicherheit.

Ein zu hoher oder zu niedriger Reifendruck verändert das Schwingungsverhalten des rotierenden Reifens. Höhere Reifenschwingungen führen u. a. zu stärkeren Rollgeräuschen.



s541_023

Mechanische Belastung

Ein Reifen besteht aus einem tragenden Gerüst, der Karkasse, der Lauffläche mit dem Reifenprofil, den Seitenwänden, der Wulst als Übergang zur Felge und der Innenbeschichtung, die eine Diffusion der im Reifen gefangenen Luft durch den Reifenkörper nach außen vermindert. Sowohl ein zu hoher als auch ein zu niedriger Reifendruck kann zu einer Beschädigung des Reifens oder Verringerung seiner Lebensdauer führen. Ein zu geringer Druck ergibt in jedem Fall eine erhöhte Abnutzung des Reifenprofils, kann durch die höhere Walkbewegung des Reifens aber auch zu einer Beschädigung der Seitenwände oder sogar der Karkasse führen.

Grundlagen zum Reifendruck

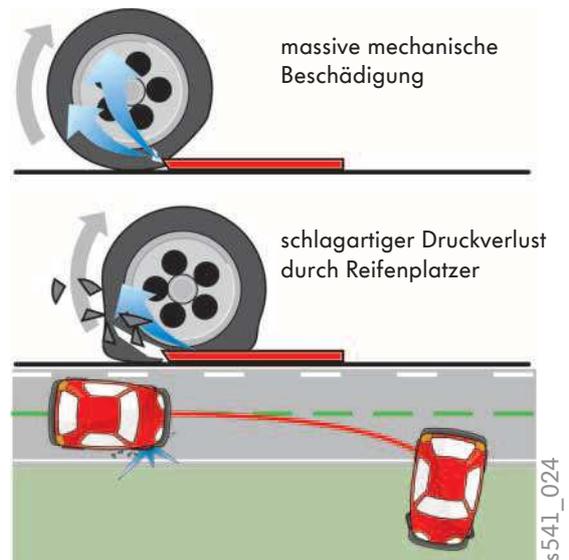
Die Arten und Ursachen für Reifendruckverluste

Je nach Reifendrucküberwachungssystem unterscheidet man drei Arten von Druckverlusten, die unterschiedliche Ursachen besitzen:

- einen Reifenplatzer (plötzlichen Druckverlust)
- einen schnellen Druckverlust
- einen schleichenden, langsamen Druckverlust

Reifenplatzer

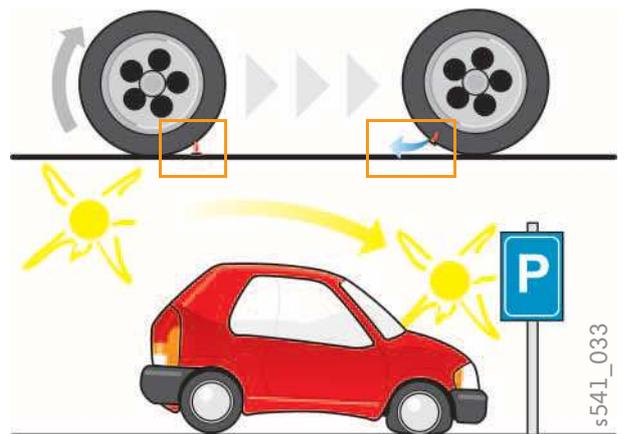
Gemeint ist, dass der Reifen schlagartig seinen Druck verliert. Dies geschieht bei einer massiven mechanischen Beschädigung, die zu einem Riss oder einem großen Loch im Reifen führt. Reifenplatzer während der Fahrt sind besonders gefährlich, weil sie zu einem starken Giermoment führen und durch den unerwarteten Schreck beim Fahrer ein Fehlverhalten im Lenk- bzw. Bremsverhalten auslösen können.

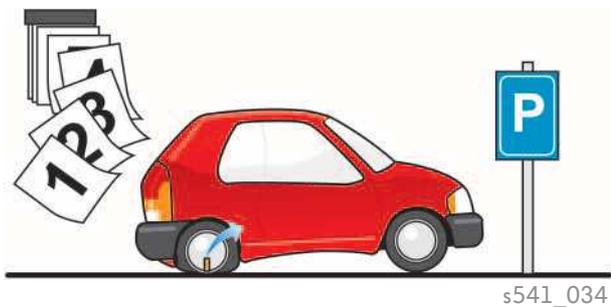


Schneller Reifendruckverlust

Dies ist ein „Klassiker“ für jeden Autofahrer: man fährt beispielsweise eine Schraube in den Reifen, sodass der Fremdkörper z. B. im Reifen stecken bleibt. Je nach Größe dieses Schadens entweicht die Luft mehr oder minder zügig aus dem Reifen. Ein Druckverlust von mehr als 0,2 bar/Minute gilt als schneller Druckverlust. Mitunter führt eine Beschädigung zunächst nur zu einem geringen Druckverlust, wächst jedoch beständig an, weil der Fremdkörper durch die Rollbewegung und den abnehmenden Reifendruck immer stärker in den Reifen gedrückt wird oder auch herausfällt.

Die Beschädigungsstelle wird größer bzw. tiefer und die Luft kann immer schneller entweichen. Während der Reifenplatzer dem Fahrer aufgrund des geänderten Fahrzeugverhaltens sofort auffällt, wird der schnelle Reifendruckverlust mitunter erst nach längerer Zeit bemerkt, wenn man z. B. morgens zu seinem Fahrzeug kommt und feststellt, dass man einen „Platten“ hat.





Schleichender Reifendruckverlust

Schleichende Druckverluste sind sehr viel schwerer zu bemerken, als schnelle oder plötzliche Druckverluste, da sie sich mitunter über Wochen oder Monate hinziehen.

Diese Art der Druckverluste werden beispielsweise hervorgerufen durch:

- die Diffusion der eingeschlossenen Luft durch den Reifenkörper,
- starke Temperaturänderungen in der Fahrzeugumgebung (z. B. zwischen beheizter Werkstatt und winterlichem Außenparkplatz),
- defekte Reifenventile oder
- fehlende Staubschutzkappen.

Die Messgrößen der Reifendrucküberwachungssysteme

Es gibt verschiedenen Messgrößen, die zur Kontrolle des Reifendruckes herangezogen werden können. Bei der Umsetzung der unterschiedlichen Systeme werden mindestens eine, oft aber auch eine Kombination von mehreren Messgrößen verwendet, um je nach System sowohl starke als schwache Druckverluste feststellen zu können.

Folgende Messgrößen können zur Kontrolle des Reifendruckes verwendet werden:

- die Raddrehzahl
- der Reifenfülldruck
- die Reifentemperatur
- die Radbeschleunigung
- die Raddrehrichtung
- das Schwingungsverhalten des rotierenden Rades

Je nach System können aber auch noch weitere Größen wie beispielsweise der Beladungszustand, das Motordrehmoment, die Gierrate oder die Fahrgeschwindigkeit in die Beurteilung der Reifendrucke einfließen.

Grundlagen zum Reifendruck

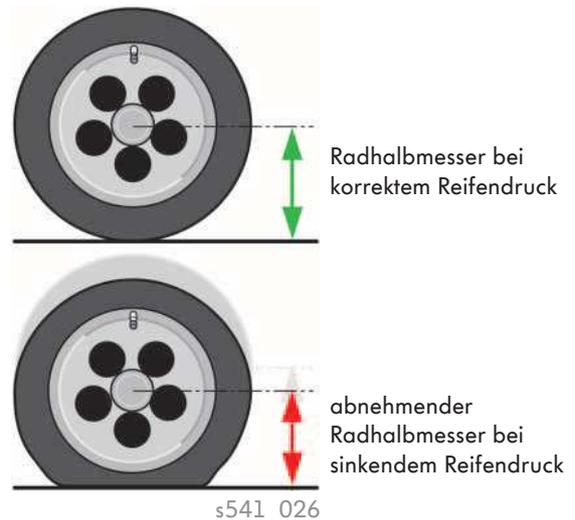
Raddrehzahl

Die Raddrehzahl ist ein indirekter Indikator für Reifendruckverluste und das Schwingungsverhalten des Reifens.

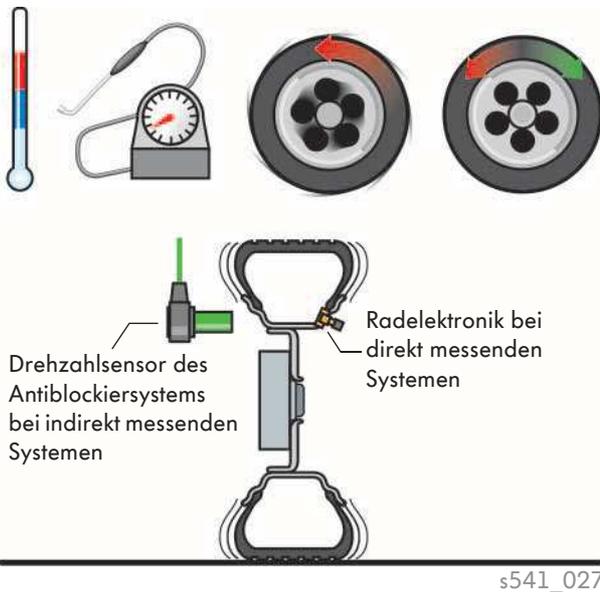
Mit sinkendem Reifendruck verringert sich der Abstand zwischen der Rotationsachse des Rades und der Straße. Dadurch ergibt sich an dieser Stelle ein geringerer Raddurchmesser (Radhalbmesser).

Mit der Verkleinerung des Raddurchmessers geht eine Veränderung der Abrollgeschwindigkeit einher. Das bedeutet, die Rotationsgeschwindigkeit des Reifens ändert sich geringfügig. Dies kann durch die Drehzahlsensoren des Antiblockiersystems festgestellt werden. Auch Änderungen an den auftretenden Eigenschwingungen des rotierenden Reifens führen zu kleinen Unregelmäßigkeiten in dessen Rotationsgeschwindigkeit. Verfügen die Drehzahlsensoren über eine genügend hohe Empfindlichkeit und ist die Auswertung der Drehzahlsignale unter Einbeziehung weiterer Informationen aus dem Motormanagement (z. B. Motordrehmoment) genügend fein abgestimmt, lassen sich durch einen Vergleich der Reifenschwingungen auch schwache Reifendruckverluste feststellen.

Die Raddrehzahl der einzelnen Räder ist damit die maßgebliche Eingangsgröße für indirekt messende Systeme wie RKA+.



Druck, Temperatur und Drehrichtung des Reifens



Diese Messgrößen lassen sich direkt mit Hilfe von Druck-, Temperatur- und Beschleunigungssensoren erfassen, vorausgesetzt die Sensoren sitzen direkt am Rad.

Da sich das Rad dreht, ist eine elektrische Anbindung der betreffenden Sensoren an das Kontrollsystem direkt über Draht nicht möglich. Die Übermittlung der Messwerte muss daher drahtlos erfolgen, ist also technisch aufwendiger.

Die direkte Messung von Druck und Temperatur ist den RDK-Systemen vorbehalten. Die Radelektroniken bestehen aus Ventil und Sendeeinheit, wobei das Ventil von der Sendeeinheit als Antenne genutzt werden kann.

Druck

Die Messung des Reifenfülldruckes erfolgt nicht gegenüber dem äußeren Luftdruck, sondern gegenüber einer, im Sensor integrierten Vakuumkammer (0 bar). Auf Meeresebene misst der Sensor also einen Druckwert von beispielsweise 3,5 bar, der sich aus 2,5 bar Reifendruck und 1 bar Atmosphärendruck zusammensetzt. Die Messung ist daher keine relative Messung zum Atmosphärendruck, sondern eine absolute Druckmessung.

Der Druckmessbereich reicht von 0 bis 6 bar.

Das Auflösungsvermögen des Sensors beträgt ca. 25 mbar (=0,025 bar).

Die Genauigkeit der Druckmessung liegt zwischen -20°C und 70°C bei ± 75 mbar.

Temperatur

Die Messung der Reifentemperatur erfasst einen Bereich von -40°C bis 120°C, wobei Temperaturschritte von 2°C erkannt werden.

Die Toleranzgrenzen der Temperaturmessung liegen in dem Bereich zwischen -20°C und 70°C bei ± 4 °C.

Die ermittelten Temperaturwerte werden zwar vom System verarbeitet, jedoch nicht angezeigt.

Drehrichtung

Die Messung der Drehrichtung erfolgt nach einem Messverfahren, welches auf das mit dem Wechsel der Drehrichtung verbundenen Beschleunigungsverhalten reagiert. Der Drehrichtungssensor der Sendeeinheit besteht aus zwei Beschleunigungssensoren, die so angeordnet sind, dass bei einem linksdrehenden Reifen der eine Sensor schneller ein Signal liefert als der andere. Bei einem rechtsdrehenden Rad verhält es sich genau umgekehrt, so dass die Drehrichtung und damit die Verbauposition der Reifenelektronik sehr schnell ermittelt wird.