

Kammscher Kreis

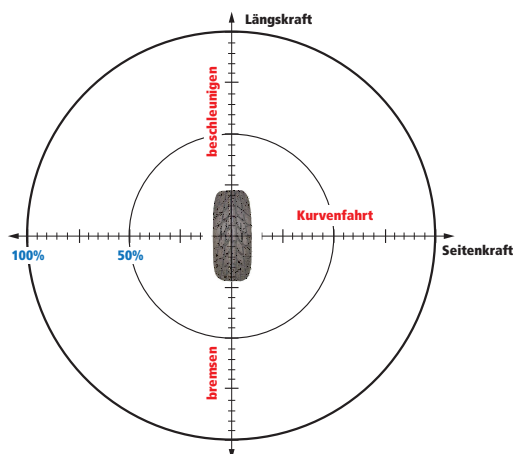
Die Reifen eines Fahrzeuges können aufgrund der Reibung eine bestimmte Kraft auf den Boden übertragen. Diese Kraft ist abhängig vom Reifen, der Strasse und der Radlast. Sie wird benötigt, um zu beschleunigen, zu bremsen und um sicher durch eine Kurve zu fahren. Solange wir nur eines davon machen, ist die Berechnung einfach. Schwieriger wird es, wenn wir in der Kurve beschleunigen/bremsen oder Seitenwind auftritt. Jetzt wird die vorhandene Gesamtkraft in eine Längs- und eine Seitenkraft aufgeteilt.

Die zur Verfügung stehende Kraft ist begrenzt

Die Physik lässt sich bekanntlich nicht überlisten. Das bedeutet, dass wir beim Fahren nur eine bestimmte, maximale Kraft auf den Boden übertragen können. Zur Berechnung müssen wir also nur die Radlast und den Reibbeiwert (Reibkoeffizient) kennen. So kann beispielsweise ein Reifen, der mit 5000 N (entspricht auf ebener Strecke etwa einer Masse von 500 kg) auf den Boden gedrückt wird, bei einem Reibwert von 0,8 rund 4000 N Kraft auf den Boden bringen. Auch ein sehr guter Fahrer oder eine ausgeklügelte Elektronik kann diese zur Verfügung stehende Kraft nicht vergrößern. Was sich aber mit dem Fahrkönnen oder den Fahrerassistenzsystemen erreichen lässt, ist das maximale Ausnutzen der Physik. So sorgt beispielsweise ein Antiblockiersystem (ABS) oder eine Antriebsschlupfregelung (ASR) für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Längs- und Seitenkraft, so dass einerseits ein kurzer Bremsweg/eine optimale Beschleunigung erreicht wird und andererseits die Lenkbarkeit respektive die Fahrstabilität erhalten bleibt.

Grafische Darstellung der Kräfte

Wunibald Kamm, ein deutscher Wissenschaftler und Hochschuldozent, kam auf die Idee, den Zusammenhang zwischen Längs- und Seitenkräften als vereinfachte Grafik darzustellen. Der äusserste Kreis entspricht der zur Verfügung stehenden, maximalen Reibkraft. Verringert sich der Reibwert beispielsweise durch eine nasse Fahrbahn, wird die Reibkraft kleiner. Im Bild unten ist ein innerer Kreis gezeichnet, bei dem angenommen wurde, dass durch die schlechteren Strassenverhältnisse nur noch 50% der maximalen Reibkraft übertragen werden kann. Auf der x-Achse werden die Seiten- und auf der y-Achse die Längskräfte dargestellt. Die Längskräfte brauchen wir, um zu beschleunigen und zu bremsen, die Seitenkräfte um das Auto bei Kurvenfahrt in der Spur zu halten.



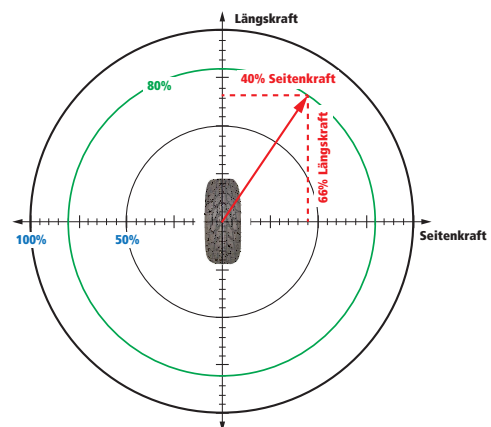
Wenn bei Geradeausfahrt eine maximale Verzögerung durchgeführt wird, entsteht nur eine Längskraft. Ebenso ist bei einer Kurvenfahrt ohne Betätigen von Gas- und Bremspedal nur eine Seitenkraft vorhanden. Was passiert aber bei einer Kurvenfahrt, wenn wir dabei beschleunigen oder abbremsen? Wie gross sind nun die beiden Kräfte?

Kammscher Kreis

Da die Längs- und die Seitenkraft in einem 90° Winkel zueinander stehen, kann nicht mit Addition und Subtraktion gerechnet werden. Vielmehr ist der Satz von Pythagoras anzuwenden. Anstelle zu rechnen, lassen sich die Kräfte grafisch bestimmen. Im unteren Beispiel erlauben die Strassenverhältnisse eine maximale Reibkraft von 80% der möglichen Gesamtkraft, was mit dem grünen Kreis dargestellt wird. 40% davon sollen nun für die Seitenführung aufgewendet werden. Zeichnerisch können wir nun eine maximal mögliche Längskraft von ca. 66% ermitteln.

Es ist gut erkennbar, dass bei grösser werdender Seitenkraft immer weniger Längskraft übertragen werden kann. Im Extremfall, wenn das Auto in der Kurve an der physikalischen Haftgrenze fährt, kann keine zusätzliche Längskraft mehr aufgebaut werden. Wenn nun der Fahrer beschleunigt oder bremst, bricht das Auto aus, was zu einem Unter- oder Übersteuern führt. Die elektronische Fahrerassistenzsysteme müssen deshalb so ausgelegt sein, dass sie vorausschauend reagieren und somit gefährliche Situationen gar nicht erst entstehen können.

Die Fahrzeugentwickler sind deshalb gefordert. Insbesondere, weil der Kammsche Kreis eine wesentliche Schwierigkeit unberücksichtigt lässt: Der Reifen besteht aus Gummi und ist deshalb verformbar. Das hat zur Folge, dass der Reifen in Längs- und in Querrichtung nicht gleich viel Kraft auf den Boden bringt. Der Fahrer ist also gut beraten, wenn er nur mit zugelassenen Reifen fährt.



Grundsätzlich gilt:
Beim Fahren wirken Längskräfte (Bremsen/Beschleunigen) und Seitenkräfte (Kurvenfahrt/Seitenwind). Mit dem Kammschen Kreis können die Grössen der beiden Kräfte unter Berücksichtigung der maximalen Gesamtkraft oder resultierenden Kraft auf eine grafische Art bestimmt werden.

Leistungsziel:	Erklärung zum Leistungsziel:
AM 4.2.04:	Sie können den Zusammenhang von Brems-, Beschleunigungs- und Seitenkraft mit Hilfe des Kammschen Kreises aufzeigen.
AF 4.2.04:	identisch
AA -	nicht vorhanden.



Kammscher Kreis

Fragen zum Basic-Sheet - Der Check!

1. Welche Grössen sind im Kammschen Kreis ersichtlich?
2. Welche physikalischen Grössen beeinflussen den Durchmesser des Kammschen Kreises?
3. Was geschieht physikalisch, wenn sich die Kraftvektoren innerhalb des Reibkreises befinden?
4. Welche Konsequenzen hat es, wenn die Kraftvektoren sich ausserhalb des Reibkreises bewegen?
5. Welchen Einfluss haben Fahrerassistenzsysteme wie ABS oder ASR in Bezug auf den Kammschen Kreis?