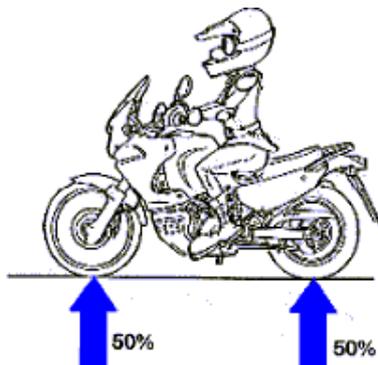


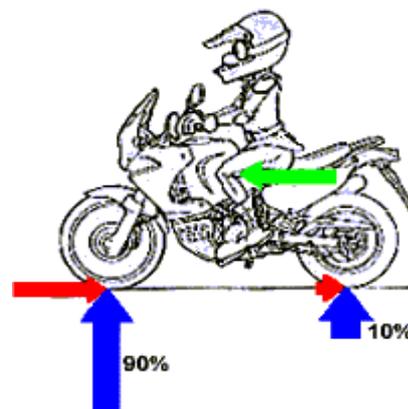
Bremsdynamik des Motorrades



Im Vergleich zum PKW mit seinem langen Radstand und dem relativ niedrigen Schwerpunkt verschiebt sich **bei Bremsungen** mit dem Motorrad die Last wesentlich stärker vom Hinterrad zum Vorderrad.

Bei gleichmäßiger Fahrt sind Vorder- und Hinterradlast ungefähr gleich groß.

Die Bremskräfte greifen als Reibungskräfte an den Reifenauflandflächen auf Fahrbahnhöhe an, während die

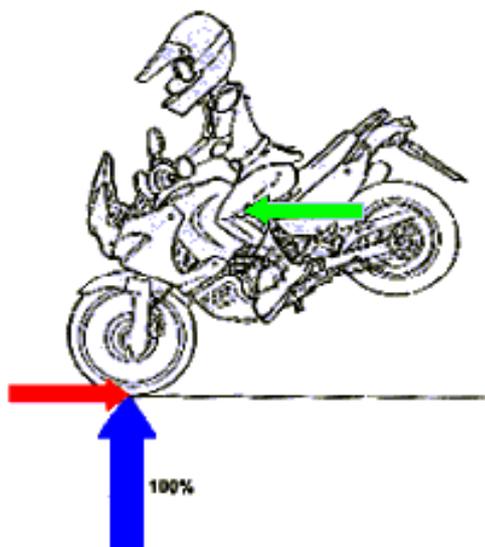


Trägheitskräfte am Gesamtschwerpunkt von Mensch und Maschine in etwa einem Meter Höhe wirken. Durch dieses versetzte Kräftepaar kommt es zu einem Drehmoment um die Querachse des Motorrads. Bei Motorrädern mit Telegabeln spürt der Fahrer diese Erscheinung deutlich als ein Wegtauchen der Motorradfront, dem sogenannten **Bremsnicken**. Die Intensität dieses Nickens ist abhängig von

- den geometrischen Größen Radstand, Schwerpunktlage und vorderer Federweg
- der Art der Vorderradführung (mit oder ohne Bremsnickausgleich)
- natürlich von der Intensität der Bremsung
- bzw. von den Reibverhältnissen auf dem Untergrund (μ -Wert).

Bei gebremster Fahrt verschiebt sich die Radlast stark zum Vorderrad. In gleichem Maß steigt die am Vorderrad übertragbare Bremskraft.

Aus diesem Grund nutzt der geschickte Bremser die **Vorderradbremse** wesentlich stärker als die im Hinterrad, an dem wegen der starken Entlastung nur geringe Bremskräfte übertragen werden können. Bei aktuellen, leistungsfähigen Bremssystemen kann diese Radlastverschiebung vor allem bei niedrigen Geschwindigkeiten zum Abheben des Hinterrades oder sogar zum Überschlag führen.



Entscheidend für die akute Bremssicherheit ist **der Übergang von der ungebremsten Fahrt in die gebremste Fahrt**. Die Nachgiebigkeit der Vorderradfederung und die Trägheit der Maschinenmasse sorgen dafür, dass die Vorderradlast - also die Kraft, mit der der Reifen auf den Untergrund gedrückt wird - nicht in dem Augenblick der Bremsbetätigung, sondern mit geringer Verzögerung ansteigt.

Die **maximal mögliche Bremskraft** kann also erst übertragen werden, wenn die Vorderradlast und der Anpressdruck des Reifens auf den Untergrund ausreichend angestiegen sind. Diese Erscheinung tritt ausgeprägter bei Motorrädern mit langen Federwegen und hohem Schwerpunkt auf (Enduros), kann aber auch bei Sportmaschinen mit sehr direkt ansprechender Bremsanlage unangenehm wirksam werden.

Tipp: Um möglichst schnell die Vorderradlast zu erhöhen, die Hinterradbremse zu Beginn der Bremsung stark betätigen. Der Drehimpuls des Hinterrades wird so auf die gesamte Maschine übertragen, der Anpressdruck des Vorderrades wird schneller aufgebaut.

Mögliche Bremsverzögerungen

Das effektive Bremsen eines Zweirades (ohne ABS) stellt immer eine Gradwanderung dar zwischen einem möglichst kurzem Bremsweg und der Vermeidung eines blockierenden Vorderrades. Die in einer gegebenen Situation maximale Bremsverzögerung ist physikalisch-technisch abhängig von

- der Qualität des Untergrundes (Reibwert μ)
- dem Zustand des Reifens (Mischung, Temperatur, Verschleißzustand, Reifendruck,....)
- dem Potential der Bremsen und
- der Schwerpunktlage/ Radstand

Sie ist unabhängig von dem Gewicht des Motorrades.

Unter günstigen Bedingungen lassen sich rein theoretisch Verzögerungen erreichen von ca. $9,8 \text{ m/s}^2$. Dies entspricht der Erdbeschleunigung ($1 \text{ g} = 9,8 \text{ m/s}^2$). Anders ausgedrückt heißt dies, dass sich pro Sekunde eine Geschwindigkeit von $9,8 \text{ m/s}$ ($9,8 \text{ m/s}$ entspricht ca. 35 km/h) abbauen lässt. In diesem Fall ist der Reibwert $\mu = 1$.

In der Praxis ergeben sich unter optimalen Bedingungen - z.B. auf sehr griffigem Belag - Verzögerungen, die mit bis zu 11 m/s^2 (und mehr) höher liegen, als physikalisch-theoretisch denkbar. Grund hierfür ist u. a. ein "Verzahnungseffekt" zwischen Reifenlauffläche und Untergrund.

Der **Anhalteweg** - also der Gesamtweg, der zurückgelegt wird zwischen dem Erkennen der Gefahr und dem Stillstand des Motorrades - verlängert sich um den während der Reaktions- und Bremsansprechzeit zurückgelegtem Weg.

Nachfolgend zwei Beispiele für Anhaltewege:

Um von der Ausgangsgeschwindigkeit 50 km/h bis zum Stillstand zu verzögern, vergehen bei einer Verzögerung von 8 m/s^2 $1,6 \text{ s}$. Während dieser optimalen Bremsung werden ca. $10,7 \text{ m}$ zurückgelegt. Bevor die eigentliche Bremsung beginnt, vergehen ca. $0,8 \text{ Sekunde}$ während der auf die Situation reagiert und der Bremshebel betätigt wird. Außerdem werden ca. $0,2 \text{ Sekunden}$ angesetzt für das vollständige Ansprechen der Bremse. Während dieser Sekunde (Reaktions- plus Ansprechzeit) werden $13,8 \text{ m}$ zurückgelegt. Somit beträgt der Anhalteweg also insgesamt ca. $24,5 \text{ m}$.

Beträgt die Ausgangsgeschwindigkeit 100 km/h verlängert sich der Anhalteweg auf über 70 m . Der reine Bremsweg ist länger als 45 m .

Diese Beispiele führen vor Augen, dass sich der Bremsweg bis zum Stillstand mit dem Quadrat der Ausgangsgeschwindigkeit verlängert. Der Anhalteweg verlängert sich um ca. das Dreifache.

Zwischen der Verzögerung und der Bremsweglänge besteht ein direkter, umgekehrt proportionaler Zusammenhang. Bei halber Verzögerung verdoppelt sich der Bremsweg.

Die auf der trockenen Straße überwiegend umgesetzten, maximalen Bremsverzögerungen liegen erfahrungsgemäß je nach Übungsgrad des Fahrers/ der Fahrerin zwischen ca. 4 und 7 m/s^2 . **Lediglich durch regelmäßige Bremsübungen und/oder ABS können zuverlässig höhere Maximalverzögerungen unter entsprechenden Randbedingungen umgesetzt werden.**

Praxistipps zum Bremsen

Regelmäßiges, konsequentes Üben bieten hohe Gewähr, die Bremsen in Gefahrensituationen richtig zu bedienen. Diese Übungen dürfen nur auf nicht öffentlichen Gelände am besten im Rahmen eines Sicherheitstrainings durchführen werden und beginnen mit niedrigen Verzögerungen.

Im einzelnen empfehlen sich folgende Übungsziele:

Bremsbetätigung in 2 Schritten

Auch in Paniksituationen den Bremshebel nicht schlagartig ziehen, sondern anfangs vergleichsweise gefühlvoll aber zügig betätigen. Anderenfalls besteht die Gefahr, das unbelastete Vorderrad zu überbremsen, bevor es hohe Bremskräfte übertragen kann. Erst wenn sich die Bremsbeläge voll angelegt haben, der Druckpunkt am Bremshebel klar zu spüren ist, und die erhöhte Vorderradlast den Reifen satt auf den Untergrund drückt, kann der Bremsdruck der Situation angepasst schnell gesteigert werden. Die genannten Abläufe und Beobachtungen immer weiter verinnerlichen und schrittweise beschleunigen, so dass die mehrstufige Bremsenbetätigung zur absoluten Gewohnheit wird.

Konzentration auf die Vorderradbremse

Mit steigender Verzögerung parallel zur Radlastverschiebung nach vorne die Bremskraftverteilung von beiden Bremsen zur Vorderradbremse verlagern. Ein blockierendes Hinterrad trägt meist wenig zur Gesamtverzögerung bei, führt andererseits aber zur Instabilität des Motorrades, die kontrolliert werden muss, und zu erhöhtem Reifenverschleiß. Deswegen sollte ein Hinterradblockieren so gut es geht vermieden werden, auch wenn die volle Aufmerksamkeit der Vorderradbremse gilt.

Selbstverständlich wird zeitgleich mit der Bremsbetätigung die Kupplung voll gezogen, um das Blockieren des Hinterrades durch das Motorbremsmoment auszuschließen. Während der eigentlichen Bremsphase mit hohen Verzögerungen können die Reifenreaktionen (wie Profilgeräusche oder Kratzgeräusche auf Schotter) wichtige Informationen über die Haftgrenze geben, denn schließlich ist eine Vollbremsung mit dem Motorrad – wie schon erwähnt - immer eine Gradwanderung, die nur ein ABS entschärfen kann. Bereits bei den geringsten Anzeichen eines blockierenden Rades den Bremsdruck reduzieren, die Bremse aber nicht vollständig öffnen.

Die verheerende Wirkung eines blockierenden Vorderrades besteht nicht nur in dem meist plötzlichen Zusammenbruch der Seitenführungskräfte am Vorderreifen, sondern auch in dem schlagartigen Wegfall des stabilisierenden Kreiseffektes des nicht mehr drehenden Vorderrades.

Auf trockenem, griffigem Untergrund wird meist gegen Ende der Bremsung bei niedrigen Geschwindigkeiten das Hinterrad "sehr leicht" solange bis es abhebt. In dieser Situation, die vielfach zu spät erkannt und gespürt wird, den Bremsdruck geringfügig reduzieren. Wegen der meist niedrigen Geschwindigkeit verlängert sich der Bremsweg hierdurch nur wenig. Mit ansteigendem Hinterrad steigt auch der Schwerpunkt des Motorrades. Damit wird eine mögliche Überschlag tendenz verstärkt. Also, je früher dem steigenden Hinterrad entgegen gewirkt wird, um so unkritischer ist die Situation.

Die Komplexität dieser Zusammenhänge lässt sich am einfachsten im Rahmen eines **Sicherheitstrainings auf abgesperrter Strecke** erfahren. Das Ziel der Fahrübungen ist es, die Koordination der Wahrnehmungen und des eigenen Handelns soweit zu optimieren, dass ein echtes Sicherheitsgefühl entsteht. Der Fahrer soll erfahren, welche hohen Verzögerungen unter optimalen Bedingungen möglich sind. In extremen Verkehrssituationen kann er dann das gesamte Potential moderner Bremsen optimal nutzen.

Unter Übungsbedingungen sind auf trockener Straße je nach Reifen- und Belagqualität Geradeaus-Verzögerungen von bis zu 10 m/s² möglich, im realen Verkehrsgeschehen sind Verzögerungen um 6 bis 7 m/s² als hervorragende Werte zu sehen.

Weitere Tipps zu Bremsungen.

- Vollbremsungen sind unkomfortabel, stellen echten Stress dar und erfordern entschlossenes Handeln, ganz besonders, wenn sie auf öffentlicher Straße durch plötzliche Ereignisse erzwungen werden. Je routinierter die Abläufe dank Training bei starken Bremsungen ablaufen, um so höher sind die Chancen, alle Möglichkeiten der Unfallvermeidung zu nutzen.
- Vor Vollbremsungen möglichst eine "gesammelte", gerade Sitzhaltung einnehmen. Unterkörper mit den Beinen gut am Tank abstützen. Arme mit leichter Beuge auf entspannten Händen abstützen. Bei Geradeausbremsung darauf achten, dass auf beide Lenkerenden die gleichen Kräfte wirken. Brems- und Kupplungshebel müssen ohne Einschränkungen zu betätigen sein.

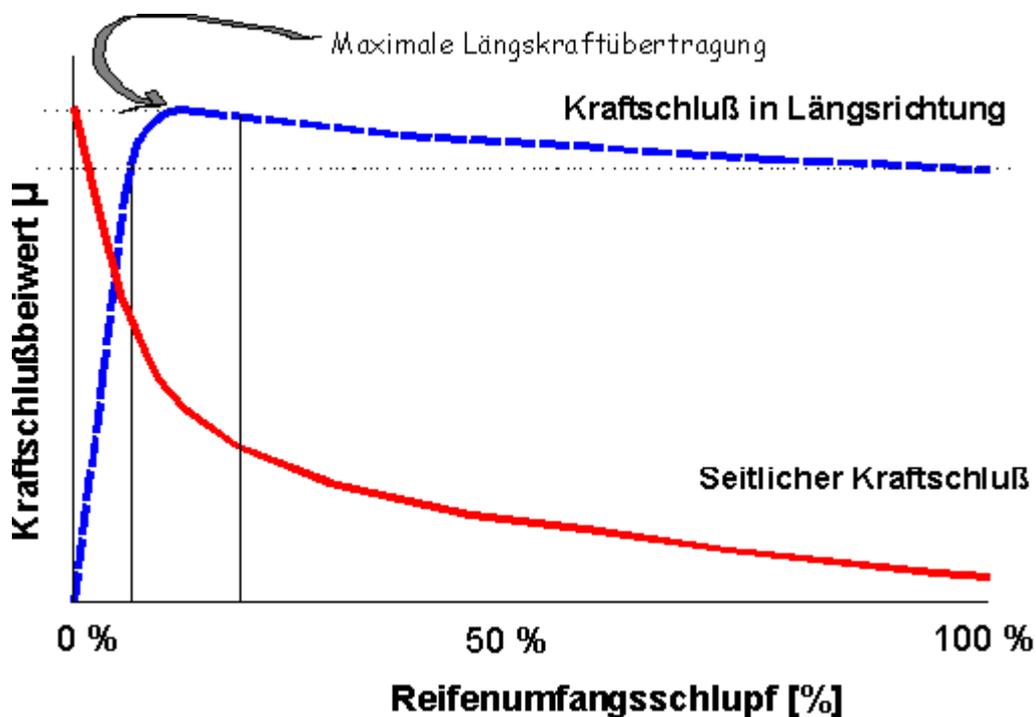
Besonders Bremshebellage und -weite vor Fahrtbeginn prüfen und ggf. korrekt einstellen. Während der Bremsung möglichst nicht nach vorne in Richtung Tank rutschen.

- Die Bremsung selbst mit der Fußbremse beginnen
- Der Blick sollte grundsätzlich - nicht nur beim Bremsen - geradeaus und nicht direkt vor das Vorderrad gerichtet sein. Kritische Situationen, die Vollbremsungen erzwingen, können so in vielen Fällen rechtzeitig erkannt werden, der verfügbare Verkehrsraum wird größer.
- Wird eine Vollbremsung erzwungen: Überblick bewahren, Fluchtwege ausloten, Straßenbelag prüfen! Die Bremsbetätigung kann somit an wechselnde Untergründe angepasst werden. Meist finden sich auch bei Verschmutzungen oder Asphalt- oder Bitumenflicken Straßenbereiche, die ausreichenden Grip für eine starke Bremsung versprechen.
- Bei Fahrten in Gruppen abhängig von den Geschwindigkeiten die Abstände anpassen. Versetzt fahren um voraus liegende Ereignisse möglichst schnell zu erkennen. Bei zu geringen Abständen bei Gruppenfahrten können schnell sogenannte Bremswellen entstehen. Während der 1. Fahrer nur schnell das Gas schließt und damit relativ schwach verzögert, müssen die nachfolgenden Fahrer wegen des kürzer werden Verkehrsraumes um so mehr Bremsen, je weiter hinten sie in der Gruppe fahren. Der letzte Fahrer muss dann meist mit hoher Verzögerung „kämpfen“, um nicht auf den Vordermann aufzufahren.
- Kritisch wird eine erzwungene schnelle Bremsbetätigung im direkten Anschluß an eine Beschleunigungsphase, z.B. während des Anfahrvorganges. Durch die Beschleunigung wird das Vorderrad stark entlastet und kann die Bremskräfte nicht oder nur begrenzt übertragen. In solchen Situationen den Fuß auf dem Bremshebel in Bereitschaft bringen, die Handbremse möglichst erst verzögert einsetzen.
- Der verfügbare Grip auf regennassen Straßen ist für jeden Motorradfahrer nur schwer abzuschätzen. Hier hilft nur eines: Fahrgeschwindigkeit reduzieren, Abstände vergrößern, Bremsungen sanfter vornehmen...oder eine Maschine mit ABS fahren. Zu Prüfung der Reibverhältnis kann eine Hinterradbremse dienen. Kritisch sind bekanntlich die Reibwerte bei einsetzendem Regen. Verschmutzungen, die auf trockener Fahrbahn unauffällig sind, können bei wenig Feuchtigkeit bereits rutschig werden. Deswegen besonders zu Beginn eines Regenschauers besonders vorsichtig bremsen. Nach länger anhaltendem Regen verbessern sich meist die Reibwerte der Straße.
- ABS-Maschinen werden grundsätzlich wie Motorräder ohne ABS gebremst, also in mindestens 2 Schritten. Der einzige Unterschied: Nach dem Anlegen der Bremsbeläge kann der Bremsdruck zügig stark erhöht werden. Bei Geradeaus-Notbremsungen sollte in den ABS-Regelbereich hineingebremst werden. Trotzdem gilt: Kein Klammergriff am Vorderradbremhebel. Gegen Ende der Bremsung auf das Heck des Motorrades achten: Ein Ansteigen möglichst früh durch leichtes Reduzieren des Bremsdruckes abfangen. Die Möglichkeiten des ABS sind die besten Voraussetzungen, um Geradeausbremsungen auf hohem Niveau zu üben, natürlich nur auf nicht öffentlichen Strecken.
- Bei Fahrten in Kolonnen so viel wie möglich den rückwärtigen Verkehr beobachten. Gute Motorradbremsen überfordern die meisten hinterherfahrenden Autofahrer bei schnellen und gekonnten Bremsungen. Die gilt besonders bei schneller Fahrt auf der Autobahn, wenn der Abstand zum nachfolgenden Fahrzeug sehr gering ist. Ein schnelles Motorrad verzögert – je nach Motorisierung – allein durch schließen des Gasgriffes wegen des höheren Luftwiderstandes und des häufig stärker wirkenden Motorbremsmomentes deutlich stärker als ein Pkw. In dieser Situation wird es für den Fahrer des nachfolgenden Pkw, der kein Bremslicht zu sehen bekommt, schnell sehr eng. Solche Situationen kann der Motorradfahrer entschärfen, indem er möglichst den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug vergrößert und vor dem Schließen des Gases kurz den Fußbremse antippt, um ein Signal nach hinten zu geben.
- Jeder Bremsung dient auch als Funktionsprüfung der Bremsanlage. Sollte sich die Bremse bei einer starken Bremsung ungewohnt verhalten haben, einen Check der Anlage durchführen.

Bremsen in der Kurve

In **Längsrichtung** - also beim Bremsen und Beschleunigen in Geradeausrichtung - übertragen Motorradreifen bei gleichbleibenden Randbedingungen die maximalen Kräfte bei rund 10 bis 20 % Schlupf. Das heißt, das gebremste Rad dreht rund 10 bis 20 % langsamer, als es der Fahrgeschwindigkeit entsprechen würde.

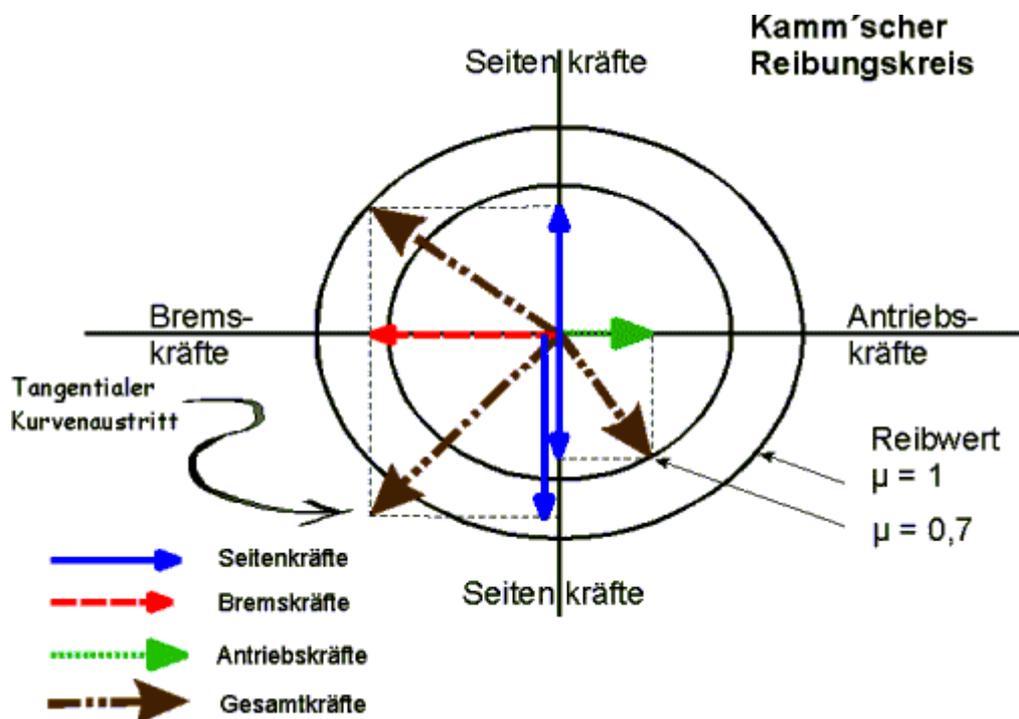
Bei 100 % Bremsschlupf - also blockiertem Rad - sinkt die Längskraft auf ungefähr 3/4 ihres Maximalwertes ab. Deswegen können mit **blockierten Rädern** nicht die höchsten Verzögerungen und die kürzesten Bremswege erzeugt werden.



Dieses Diagramm macht schematisch die Kräfteverhältnisse am Reifen deutlich. Während der Kraftschluß in Längsrichtung (wichtig beim Bremsen und Beschleunigen) bei ca. 10 bis 20 % Schlupf sein Maximum erreicht, fällt der seitliche Kraftschluß (wichtig für die Kurvenfahrt) am Reifen mit steigendem Schlupf sehr schnell ab.

In seitliche Richtung kann ein Motorradreifen die maximale Kraft übertragen, wenn der Schlupf Null ist, also wenn der Reifen vollkommen haftet. Die Seitenkraft fällt mit höherem Schlupf sehr stark ab. Diesen Zusammenhang hat schon jeder Fahrer adrenalinfördernd gespürt, dem beim Bremsen oder Beschleunigen in Schräglage das Vorder- oder Hinterrad wegschmierte.

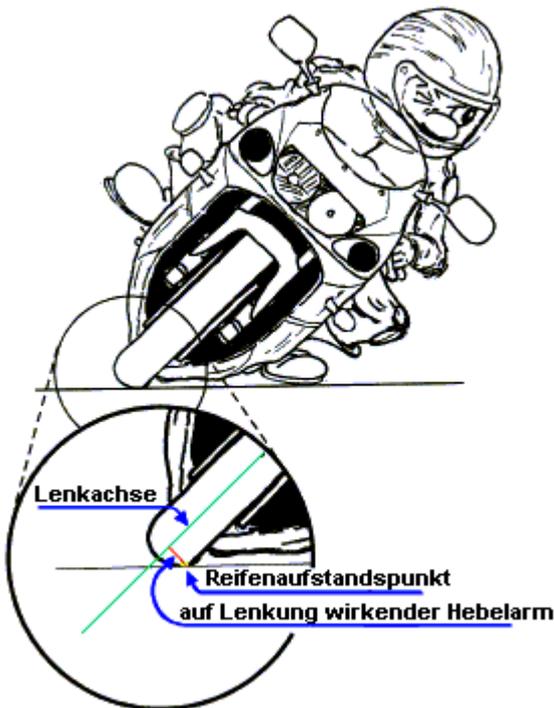
Längs- und Seitenkräfte am Reifen können nicht voneinander getrennt gesehen werden, sondern wirken gemeinsam an der Aufstandsfläche des Reifens.



Der Kammsche Kreis veranschaulicht die Längs- und Seitenkräfteverhältnisse an der Reifenaufstandsfläche.

In der Praxis gilt

- **Eine bestimmte Längskraft darf nur mit einer bestimmten maximalen Seitenkraft (und umgekehrt) kombiniert werden**, wenn der Reifen nicht weggleiten soll. Der Profi auf der Rennstrecke wird versuchen, in der Kurve (Seitenkraft) beim Bremsen und Beschleunigen möglichst knapp an die Kreislinie "heranzufahren", der sicherheitsbewusste Fahrer auf öffentlicher Straße wird einen subjektiv empfundenen Sicherheitsabstand zu dieser Linie als Reserve einhalten.
- **Bei Geradeausbremsungen den Lenker möglichst geradehalten**, um Seitenkräfte auf den Reifen zu vermeiden.
- **Bei Bremsungen in der Kurve muss die Längskraft** - am Vorderrad die Bremsstärke - **entsprechend vorsichtig dosiert werden**. Erschwerend kommt in der Praxis hinzu, dass nur die wenigsten Straßen wirklich eben sind. Die Unebenheiten realer Straßen verursachen mehr oder minder starke Schwankungen der Radaufstandskräfte und damit auch Schwankungen der übertragbaren Reibungskräfte. Eine exakte Spurhaltung ist unter solchen Bedingungen meist erschwert.



In Schräglage wandert der Reifenaufstandspunkt aus der Reifenmitte zur Kurveninnenseite aus. Zu der Lenkachse, über die die wirkenden Bremskräfte weitergeleitet werden, entsteht ein Hebelarm, der die Lenkung in die Kurve hineindreht. Dadurch kann sich je nach Stärke der Bremsung und Reifenbreite das Motorrad aufrichten, wodurch der Kurvenradius verlassen wird.

Das Aufstellmoment beim Bremsen in der Kurve

Je nach Fahrwerksauslegung und Reifeneigenschaften können **scharfe Bremsungen** in Schräglage dazu führen, dass sich das Motorrad blitzschnell aufrichtet und den geplanten Kurvenbogen verlässt. Manche schnelle und plötzlich gebremste Kurvenfahrt endete deswegen schon im Grünen. **Ursache** hierfür ist das schräglagenbedingte Auswandern der Reifenaufstandspunkte zur Kurveninnenseite. Dieses ist um so stärker, je breiter der Vorderreifen ist, bzw. je schräger die Kurvenfahrt verläuft.

Das Auswandern des Reifenaufstandspunktes, an dem die Bremskräfte angreifen, verlängert den Hebelarm zur Lenkachse. Die **Bremskräfte erzeugen** somit einen Lenkereinschlag - einen **Lenkimpuls** - in die Kurve hinein. Durch einen Lenkerimpuls kann ein schneller Schräglagenwechsel (hier ein Aufrichten der Maschine) erzeugt werden, der der ursprünglichen Lenkerdrehrichtung entgegengesetzt wirkt.

Zusatztipps fürs Kurvenfahren:

- In Kurven möglichst **nicht schlagartig bremsen**.
- Bei unvermeidlichen Bremsungen den **Bremsdruck sanft steigern** und den Lenkimpuls durch bewusstes **Festhalten des Lenkers** oder sogar durch **Gegenlenken** (entgegen der Kurvenrichtung) abfangen.
- Auch bei dynamisch-fröhlicher Fahrweise genügend **Schräglagenreserven** bewahren, um bei sich zuziehenden Kurven ohne Bremsung den Kurvenbogen mit etwas mehr Schräglage sauber fahren zu können.
- Die Hinterradbremse kann bei Kurvenfahrt hervorragend zur Schräglagenstabilisierung des Motorrades genutzt werden. Je nach den Eigenschaften der Hinterradbremse dürfen natürlich nur vergleichsweise sanfte Drücke eingesteuert werden. Einfach mal ausprobieren.