

Grip

Liebe Leser, Sie werden sich vielleicht fragen, warum sich das ifz mit dem Thema „Grip“ beschäftigt? Man könnte doch meinen, dass dies vielmehr die Aufgabe der Reifen- oder Motorradhersteller ist. Doch diese Annahme ist nur bedingt richtig. Warum, können Sie im folgenden Beitrag nachlesen.

Gliederung

- Grip, Grip und nochmals Grip
- Reibung viskoelastischer Stoffe
- Ohne Schlupf geht (fährt) gar nichts
- Der Kraftschlussbeiwert
- Der Kammsche Kreis
- Die „Reifen-Kraftschluss-Ellipse“
- Bremsen – Mit Physik zum richtigen Gefühl
- Die dynamische Radlast-Veränderung
- Blickführung und Haltung
- Kurvenbremsung
- Der Grenzbereich
- Schwarzes Gold für sicheren Grip
- Weitere Besonderheiten viskoelastischer Reibung
- Das Reifen-Grip-Niveau
- Noch einige Tipps
- Literaturverzeichnis

Grip, Grip und nochmals Grip

Dies ist wohl der mit am meisten benutzte Fachbegriff an Motorrad-Stammtischen. Aber was versteht man genau unter „Grip“ und wie baut sich dieser auf? Dieser Frage wird im folgenden Artikel nachgegangen und versucht, etwas Licht ins Dunkel zu bringen.

Da nicht jeder ein Ingenieur ist, vielleicht aber doch einige technische Dinge an einem Motorrad verstehen möchte, haben wir diesen Artikel so anschaulich wie möglich geschrieben. Ein Feedback ist gerne willkommen.

Nicht zuletzt im Rahmen der Sicherheit sind wir der Meinung, dass sich jede Bikerin und jeder Biker einen gewissen technischen Sachverstand aneignen sollte, um ein tiefer gehendes Gefühl zum Motorrad und somit zum Motorradfahren zu erhalten. Erst wenn eine Fahrerin bzw. ein Fahrer begriffen hat, warum und wieso dies und das passiert, kann sie oder er die Grenzen zwischen einer stabilen Motorradfahrt und einer Instabilität, die zu einem Sturz führen kann, besser abschätzen und mögliche Gefahren schon im Vorfeld erkennen und vermeiden.

„Grip“ kommt bekanntlich aus dem englischen Sprachraum und bedeutet in Bezug auf Reifen soviel wie „Bodenhaftung“ bzw. auch „Griffigkeit“.

Beide Begriffe sind für die Definition von Grip jedoch zu allgemein, weshalb der Fachmann wegen der Komplexität besser von **Kraftschlusspotential**, also dem möglichen Potential an Grip, spricht. Hierzu später mehr.

Doch welche Kräfte müssen bei der Fortbewegung vom Motor erzeugt bzw. vom Reifen auf die Straße übertragen werden? Allein bei der Geradeausfahrt sind es der Rollwiderstand (Walkarbeit des Reifens), der Luftwiderstand des Motorrads samt Fahrer, der Beschleunigungswiderstand und ggf. bei Bergauffahrt noch ein Steigungswiderstand. Rollwiderstand und Luftwiderstand (hier der bekannte c_w -Wert) lassen sich in Summe anschaulich durch die Geschwindigkeitsabnahme erklären, wenn z.B. bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h die Kupplung gezogen wird und das Motorrad ohne zu bremsen ausrollt. Je geringer der Rollwiderstand der Reifen und der Luftwiderstand des Motorrads sind, desto länger bzw. weiter wird das Motorrad bis zum Stillstand ausrollen. Zur Erinnerung: Der Luftwiderstand verringert die Beschleunigung, unterstützt aber den Bremsvorgang. Der Beschleunigungswiderstand ergibt sich naturgemäß beim Beschleunigen der Fahrzeugmasse inkl. der Aufsassen und rotierenden Massen (Antriebswellen, Getriebe, Räder, etc.), der Steigungswiderstand hingegen bei einer Steigung (Zunahme der potentiellen Energie), die überwunden werden muss. Aus der Summe dieser Einzelkomponenten lässt sich dann das erforderliche Antriebsmoment am Hinterrad bzw. die erforderliche Antriebskraft in der Kontaktfläche Reifen-Fahrbahn errechnen. Die Reifenaufstandsfläche wird übrigens als **Latsch** gezeichnet.

Weitere Sonderformen der Kraftübertragung finden beim Bremsen aber auch bei einer Kurvenfahrt statt. Denn auch beim Durchfahren einer Kurve wird durch den seitlichen Kraftschluss (Definition erfolgt später) Energie benötigt, weshalb man etwas Gas geben muss, damit die Geschwindigkeit aufrechterhalten bleibt. Andernfalls wird man langsamer. Ich erinnere mich noch gut an meine aktiven Rennfahrer-Zeiten, in der wir gerade bei Zweitaktern ohne spürbare Motorbremse dieses Phänomen ausnutzten, um Geschwindigkeit neben der eigentlichen Bremsung durch Einleiten von Schräglage bis zum Kurvenscheitelpunkt abzubauen. Damit konnten wir Bremspunkte deutlich kürzer setzen.

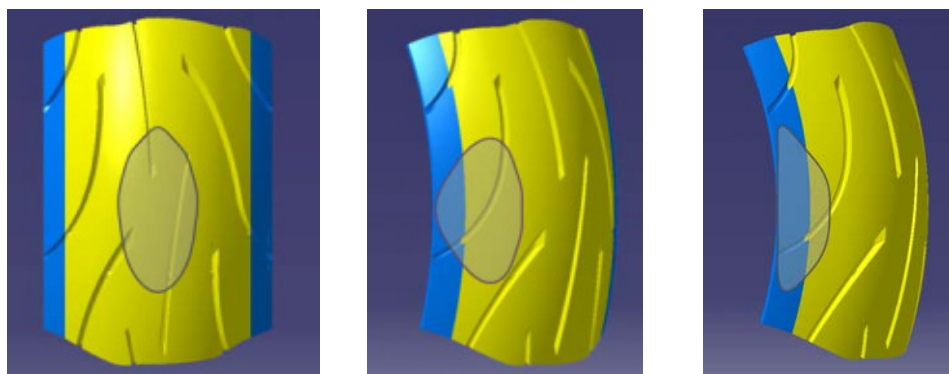


Abbildung 1: Kontaktfläche (Latsch) eines Motorradreifens bei 0°, 36° und 48° Schräglage /1/

Grundsätzlich gilt, dass **Reibkräfte** generell **Reaktionskräfte** (Kräfte aufgrund einer Aktion) sind und dass diese immer Brems-/Antriebskräften oder Seitenkräften, die **Aktionskräfte** darstellen, entgegen wirken (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Reibkräfte als Reaktionskräfte aufgrund von Aktionskräften
(Grafik: Yamaha Motor Deutschland)

Reibung viskoelastischer Stoffe

Zur Reibungstheorie von Reifen muss man wissen, dass diese bis dato immer noch nicht zu einhundert Prozent erforscht ist. Viele unterschiedliche Theorien wurden bisher hierzu aufgestellt.

Die Reibung von Reifen lässt sich zwar theoretisch grob anhand von Simulationsmodellen ermitteln – jedoch ist die Anzahl der in der Praxis vorkommenden Einflussparameter zu vielfältig, als dass man auf Messungen und Fahrtests und somit auf die Aussagen der Testfahrer verzichten könnte.

Reifenauflflächen bestehen bekanntlich aus Gummimischungen (Kautschukmischungen), weshalb für sie die **Reibung viskoelastischer Stoffe** gelten.

„Ihre physikalischen Eigenschaften zeigen, dass ihr tribologisches Verhalten¹ nicht ohne weiteres mit dem der Festkörper zu vergleichen ist. Deshalb sind die auf M. Amontons und C.A. Coulomb zurückzuführenden klassischen Gesetze der Festkörperreibung auf die Reibung viskoelastischer Stoffe nicht uneingeschränkt anzuwenden“ /2/.

Die Reibungstheorie von viskoelastischen Stoffen ist sehr komplex und soll daher in diesem Artikel nur durch einige Kernaussagen beschrieben werden.

Reibung ist in der Regel eine Komponente, die in vielen Fällen in der Technik unerwünscht ist. Man denke hier z.B. nur an die Reibungsverluste in einem Otto-Motor, die sich in Wärmeentwicklung und letztendlich in verminderter Motorleistung ausdrücken. Im Fall des Reifens ist sehr wohl Reibung erwünscht, denn ohne vorhandene Reibung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche wäre weder Bremsen, Beschleunigen noch eine Kurvenfahrt möglich. Selbst eine Geradeausfahrt, die bekanntlich stets aus kleinen Lenkkorrekturen besteht, könnte ohne seitliche Führungskräfte – die nur beim Vorhandensein von Reibung möglich sind – nicht stattfinden.

Das Reibsystem, welches wir hier betrachten, besteht aus drei Partnern: dem **Reifen**, der **Fahrbahnoberfläche** und einem **Zwischenmedium** aus unterschiedlichsten Verunreinigungen wie z.B. Staub, Wasser, Eis oder Gemischen daraus.

Gerade dieser dritte Partner ist für uns im öffentlichen Straßenverkehr die große Unbekannte und von daher nur schwer in Bezug auf den möglichen Grip einschätzbar.

¹) Tribologie:
Wissenschaft und Technik
aufeinander einwirkender
in Relativbewegung
zueinander befindlicher
Oberflächen und der damit
verbundenen Probleme /3/

Allgemein lässt sich die Reibung viskoelastischer Stoffe durch vier Reibkraftkomponenten ausdrücken /2/:

$$F_R = F_{R,Adhäsion} + F_{R,Deformation} + F_{R,Kohäsion} + F_{R,Zwischenmedium}$$

Die **Adhäsionsreibkraftkomponente** $F_{R,Adhäsion}$ beruht auf den sogenannten van der Waals'schen Kräften, die auf molekulare Wechselwirkungen basieren und eine Anziehung zweier Körper beschreiben. Dieses Phänomen funktioniert jedoch nur bei sauberen Kontaktflächen, also ohne den störenden Einfluss eines Zwischenmediums. Je länger die Kontaktzeit ist, desto größer werden die Kräfte. Wer z.B. sein Motorrad mal längere Zeit auf einer mit Bodenfarbe gestrichenen Betonplatte geparkt hat und beim Wegschieben des Motorrades die Bodenfarbe vom Boden abgerissen hat, weiß was gemeint ist.

Adhäsion von lat. adhaerere
= anheften

Bei der Bestimmung der **Deformationsreibkraftkomponente** $F_{R,Deformation}$ wird zweckmäßigerweise von der Betrachtung einer sich längs einer Rauheit verbrauchten Energie ausgegangen. Vergleicht man die Stauchung der Reifenlauffläche auf der bewegungszugewandten Seite (aufgenommene Energie) mit der Entspannung (freiwerdende Energie) auf der bewegungsabgewandten Seite einer Rauheit, so lässt sich ein infolge molekularer Wechselwirkungen verbrauchter Energieanteil nachweisen, der in Form von Wärme verloren geht (siehe Abb. 3). Man spricht hier in diesem Zusammenhang auch von **Hysterese**. Wie sich dieses Phänomen zeigt, lässt sich sehr praktisch nachvollziehen, indem man seinen Fingernagel in die Lauffläche des Reifens drückt und diesen Abdruck noch über einen längeren Zeitraum beobachten kann, bis er völlig verschwunden ist. Auf der anderen Seite ist diese Deformationsreibkraft auch für die Erwärmung des Reifens zuständig, weshalb erst nach einigen Kilometern Fahrstrecke die Betriebstemperatur der Reifenlauffläche erreicht ist. Auch beim Vorhandensein eines Zwischenmediums ist die Deformationsreibkraftkomponente noch wirksam.

Die dritte, sogenannte **Kohäsionsreibkraftkomponente** $F_{R,Kohäsion}$ entsteht bei der Abscherung eines Teilchens oder Moleküls aus seinem Verband, so dass eine neue Oberfläche entsteht. Reifenabrieb aber auch der Abrieb an der Fahrbahnoberfläche sind somit Anzeichen für diese anteilige Reibkraftkomponente.

Kohäsion von lat. cohaerere
= zusammenhängen

Die letzte und nur der Vollständigkeit halber genannte Reibkraftkomponente ist die **Zwischenmediumsreibkraftkomponente** $F_{R,Zwischenmedium}$. Das Vorhandensein eines Zwischenmediums zwischen Reifen und Fahrbahn ist für einen größtmöglichen Grip eher kontraproduktiv. Denn jede Verunreinigung der sauberen und rauen

Fahrbahnoberfläche vermindert die Reibung und somit die Fahrsicherheit. Als extremes Beispiel sei das Aquaplaning genannt, bei dem das Fahrzeug völlig aufschwimmt und keinen Kontakt mehr zur Fahrbahn hat. Hier wirken dann nur noch die viskosen Reibeigenschaften des Wassers.

Die Einfachheit der oben genannten Gleichung sollte aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Einflussparameter auf die einzelnen Reibkraftkomponenten in der Praxis einer ständigen Veränderung unterliegen und somit kaum feststellbar sind. Dies führt dazu, dass eine Berechnung von Reibkräften nur für Sonderfälle und unter strengen Systemvereinfachungen erfolgen kann.

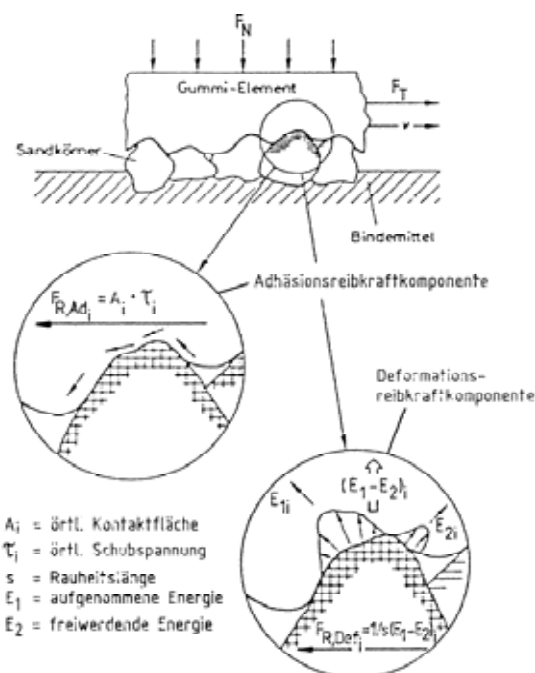


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Adhäsions- und Deformationsreibungskomponente /2/

Ohne Schlupf geht (fährt) gar nichts

Der Begriff Schlupf (engl.: slip) ist in der Literatur ebenfalls unterschiedlich definiert. Zweckmäßigerweise bezeichnet man in diesem Zusammenhang den Schlupf als das Verhältnis der Geschwindigkeit eines in der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn betrachteten Reifen-/Profilteilchens und der Fortschrittggeschwindigkeit dieses Kontaktpunktes /4/.

Unterschieden wird nach **Längsschlupf** S_L und **Querschlupf** S_S , der häufig auch Seitenschlupf genannt wird. Längsschlupf ergibt sich in Längsrichtung bzw. in der Umfangsrichtung des abrollenden Reifens – Querschlupf hierzu horizontal quer ab (also in einem Winkel von 90° dazu) in der Ebene der Kontaktfläche Reifen-Fahrbahn. Querschlupf entsteht bei seitlicher Belastung (z.B. Lenkausschlag oder Schräglage) durch seitliche Verformung des Reifens beim Abrollen.

Schlupf kann somit als eine **Relativbewegung** zwischen Reifenlauf- und Fahrbahnoberfläche bezeichnet werden und resultiert aus der Kraftschlussbeanspruchung des Reibsystems „Reifen – Zwischenmedium – Fahrbahnoberfläche“. Schlupf ist aber auch **physikalisch notwendig**, denn, wie bereits oben beschrieben, wirken Reibkräfte immer entgegengesetzt der Antriebs- bzw. Bremskraft oder der Seitenkraft im Latsch. Würde kein Schlupf und damit keine Gleitbewegung im Latsch stattfinden, so könnten keine horizontalen Reaktionskräfte (hier: Reibkräfte) entstehen!

Doch woher rührt Schlupf?

Schlupf entsteht sobald Kräfte – seien es Brems- oder Beschleunigungskräfte aber auch Seitenkräfte bei Kurvenfahrt – vom Motorrad mittels der Reifen auf die Fahrbahn übertragen werden müssen. Und zwar unterscheidet man zwischen dem **Deformationsschlupf**, der durch die Reifenelastizität zustande kommt, und dem **Gleitschlupf**, sobald zusätzlich zur Rollbewegung eine Gleitbewegung (Rutschen) in der Kontaktfläche stattfindet. Scheinbar widersprüchlich aber wahr: **Erst die Gleitbewegung zwischen Reifen und Fahrbahn ermöglicht, dass ein Motorrad kontrolliert bewegt werden kann!**

Der Kraftschlussbeiwert

Um Kraftschlussbeanspruchungen beurteilen zu können, lassen sie sich ähnlich wie bei der Festkörperreibung beschreiben:

$$\mu_{L,S} = \frac{F_{L,S}}{F_N} \quad \text{oder umgeformt} \quad F_{L,S} = \mu_{L,S} \times F_N$$

mit:

μ als Kraftschlussbeiwert in L = Längsrichtung und S = Seitenrichtung

F als Reibkraft in L = Längsrichtung und S = Seitenrichtung

F_N als Radaufstandskraft (Normalkraft im Latsch) in der Vertikalen

Obige Formel zeigt, dass bei einem vorgegebenen Kraftschlusspotential μ_{\max} (maximaler Kraftschlussbeiwert bei einer Reifen-Fahrbahn-Kombination, z.B. $\mu = 0,8$ für eine griffige Landstraße) die Reibkraft F proportional mit der Radaufstandskraft (Normalkraft) ansteigt.

Dieser Zusammenhang macht deutlich, dass schwere Motorräder (z.B. Tourer) genau so stark bremsen können wie leichtere, denn bei identischem μ steigt die mögliche Reibkraft direkt mit der Radaufstandskraft an. Vorausgesetzt, das schwerere Motorrad hat eine entsprechend gute Bremsanlage und die gleiche Reifenqualität.

Extrem griffige Rennstreckenbeläge können Kraftschlussbeiwerte von über 1,0 bis hin zu 1,4 erreichen. Der zusätzliche **Verzahnungseffekt** zwischen extrem weichen Reifen und der sehr griffigen Fahrbahn machen dies möglich.

Wie sich nun der Kraftschlussbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf verändert, veranschaulicht folgende Grafik.

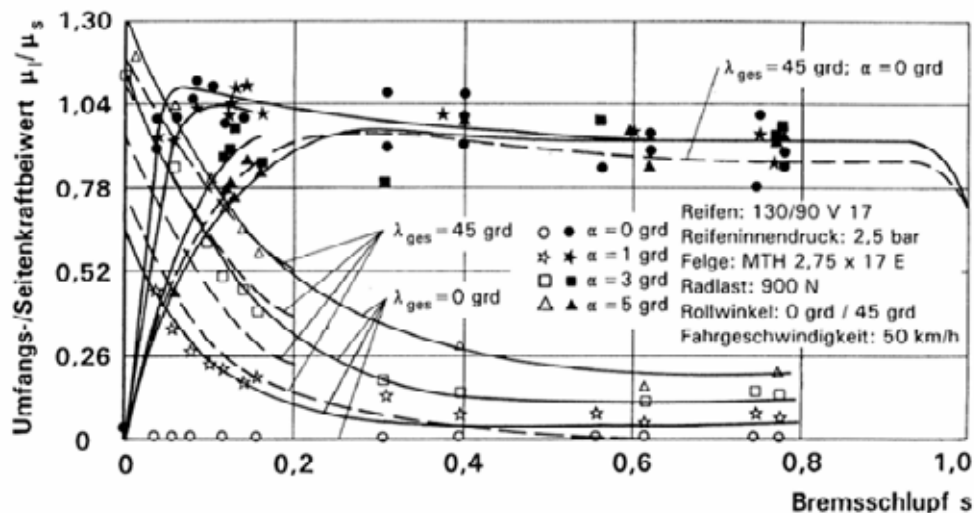


Abbildung 4: Kraftschluss eines Reifens bei unterschiedlichen Schräglagen (Rollwinkel λ) und Schräglaufwinkeln (Lenkeinschlag α) in Abhängigkeit vom Bremsschlupf s

Wie in Grafik 4 ersichtlich, steigt bei Geradeausbremsung mit zunehmendem Längsschlupf (hier: Bremsschlupf) bis etwa 5 - 10% die Kraftschlussbeanspruchung (hier: übertragbare Bremskraft) an, um dann das Maximum zu verlassen und mit zunehmendem Schlupf durch Temperaturzunahme im Latsch weiter abzufallen. Der lineare Anstieg vor dem Maximum begründet sich in dem Deformationsschlupf, danach ist es eine Kombination aus Deformations- und Gleitschlupf. Der zum Längskraftschluss-Maximum dazugehörige Schlupf wird als optimaler Schlupf S_{opt} bezeichnet. Bei 100% Bremsschlupf (blockierendes Rad) misst man den sogenannten Gleitreibwert μ_{gleit} , der auf festen Untergründen in der Regel niedriger ausfällt als das Längs-Kraftschlusspotential bei S_{opt} . Ebenfalls ersichtlich ist die direkte Abnahme der Seitenführungskraft mit zunehmendem Längsschlupf. Das Quer- oder Seiten-Kraftschlusspotential ist am höchsten, wenn der Längsschlupf Null beträgt.

Wichtig zu wissen: andere Reifentypen würden ähnliche, jedoch andere Kurven ergeben.

Die allgemeine Gleichung hierfür lautet:

$$F_R^2 = F_S^2 + F_L^2$$

mit F_R als Gesamtreibkraft
 F_S als Seitenführungskraft und
 F_L als Längskraft (Bremsen/Beschleunigen).

Erst wenn die mögliche Gesamtreibkraft F_{Rmax} durch eine oder auch beide Komponenten F_S und F_L völlig ausgereizt ist und somit der Vektor von F_R an den Kreis stößt, ist das Kraftschlusspotential erschöpft. Jede weitere Krafterhöhung – in welcher Richtung auch immer – lässt den Reifen je nach Fahrzustand durchdrehen, blockieren oder wegrutschen, wodurch das Fahrzeug instabil wird.

Das Ausmaß des Kreises ist variable und wird durch den jeweiligen Kraftschlussbeiwert μ bestimmt.

Bezogen auf einen Kreis verhält sich der Vektor des Kraftschlusspotentials F_{Rmax} wie ein Radius. Wird nun für den Radius $r = 1$ eingesetzt, so lässt sich nach obiger Gleichung folgende Grafik erzeugen.

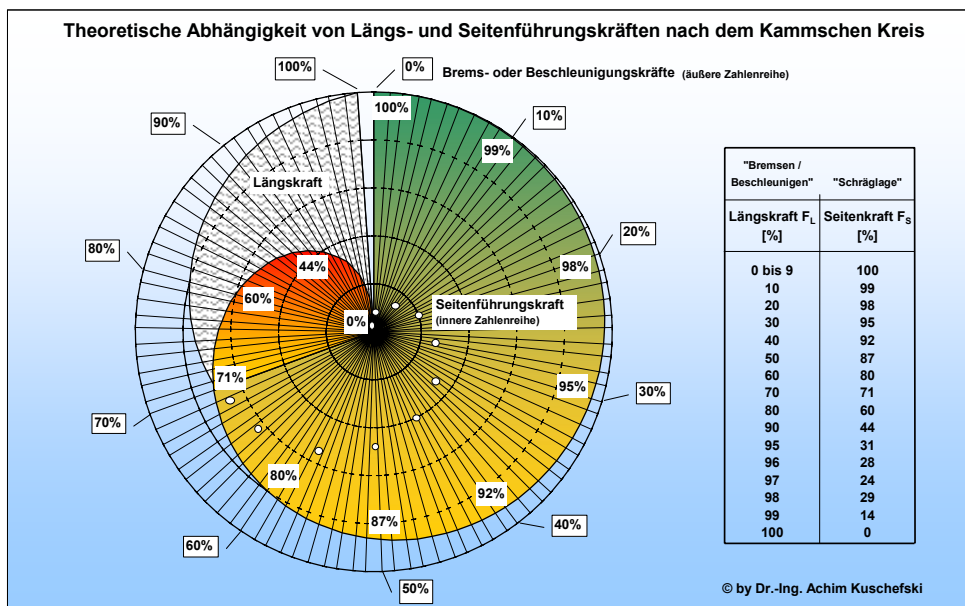


Abbildung 6: Theoretische Abhängigkeit von Längs- und Seitenführungskräften, errechnet nach der Mittelpunktsgleichung des Kreises

Abbildung 6 zeigt das Kraftschlusspotential und veranschaulicht die theoretische Abhängigkeit der Längs- und Seitenführungskräfte bei den unterschiedlich kombinierten Beanspruchungen. Zum einen ist es die Beanspruchung aus Längskräften, zum anderen die aus Seitenkräften. Beide Beanspruchungen in Kombination ergeben das Kraftschlusspotential F_{Rmax} .

Durch das nicht lineare Verhältnis von Längskraft F_L und Seitenführungskraft F_S ergeben sich zwei Spiralen, die hier übereinander liegen, wobei die Spirale für die Längskraft unter der der Seitenführungskraft liegt und im unsichtbaren Bereich durch Punkte angedeutet ist.

Sowohl in der Tabelle als auch in der Grafik sind die Veränderungen der Seitenführungskräfte bei einer Überlagerung von Längskräften als Prozentwerte dargestellt. Beispielhaft sei genannt, dass bei 60% Ausnutzung der maximal zur Verfügung stehenden Längskraft (Bremsen oder Beschleunigen) noch 80% der maximal zur Verfügung stehenden Seitenführungskraft vorhanden ist; und umgekehrt.

Man muss sich die Zahlenreihen schon sehr genau anschauen, um diese Abhängigkeit richtig verstehen zu können. Erst dann ist ersichtlich, wie viel seitlicher Grip noch bei bestimmten Fahrzuständen möglich ist.

Obwohl die Spirale der Seitenführungskraft farblich von grün, über gelb bis rot gekennzeichnet ist, sollten diese Bereiche hinsichtlich der möglichen Sicherheit nicht überinterpretiert werden, zumal hier theoretisch von einem Kreis ausgegangen wurde, in der Praxis die meisten Reifen aber eher einer Ellipse gleichkommen (siehe Kapitel „Die Reifen-Kraftschluss-Ellipse“)!

In jedem Fall gilt: **Jeder Biker sollte sowohl Schräglage als auch gefühlvolles Bremsen in Schräglage beherrschen!**

Sie werden sich vielleicht fragen, warum?

Nun denn; Unfallanalysen haben gezeigt, dass in fast 50% der untersuchten Unfälle mit Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug die berechnete Kurvengeschwindigkeit unter der maximal möglichen Kurvengeschwindigkeit lag /8/. Bei einigen Unfällen betrug der Schräglagenwinkel nur 20 bis 25 Grad!

Die betroffenen Motorradfahrer waren also nicht zu schnell oder zu schräg – nein, im Gegenteil – sie haben sich einfach nicht getraut schräger zu fahren und so die Kurve sicher zu meistern. Stattdessen kamen sie von der Fahrbahn ab und zu Sturz, ohne den Grip zu nutzen!

Sollte diese Erkenntnis nicht Grund genug sein, über das eigene Fahrkönnen nachzudenken und ggf. daran zu arbeiten. Zum Beispiel durch die Teilnahme an einem Kurventraining?

Auch hat fast jeder Motorradfahrer seine „Lieblingskurve“, rechts oder links herum, in der er sich mehr Schräglage zutraut. Aber auch dieses Handicap kann trainiert und i. d. R. fast völlig ausgeglichen werden.



Abbildung 7: Ein Kreidestrich quer über die Reifenlauf­fläche gibt Auskunft über die gefahrene Schräglage

Die „Reifen-Kraftschluss-Ellipse“

Die Kunst der Reifenhersteller besteht darin, den Kammschen Kreis im wahrsten Sinne des Wortes zu verwirklichen. Da insbesondere die Abhängigkeit der Seitenführungskräfte von den Brems- bzw. Beschleunigungskräften für die Fahrstabilität wegen der physikalischen Grenzen des Kraftschlusspotentials von größtem Interesse ist, werden diese bei unterschiedlichen Parametern für jeden Reifen ermittelt. Durch verschiedene Reifenkonstruktionen lässt sich sowohl das Ausmaß des Querschlupfes als auch das des Längsschlupfes beeinflussen. **Dadurch verändert sich der Kammsche Kreis zu einer Ellipse.**

Zumeist in Richtung der Seitenrichtung gestaucht, wenn z.B. die gesamte Lauffläche nur aus einer Gummimischung besteht.

Dies war u. a. Grund genug für einige Reifenhersteller ihre Reifen mit weicheren Gummimischungen im Schulterbereich der Lauffläche (für Kurvenfahrten relevant) als in der Mitte auszurüsten.

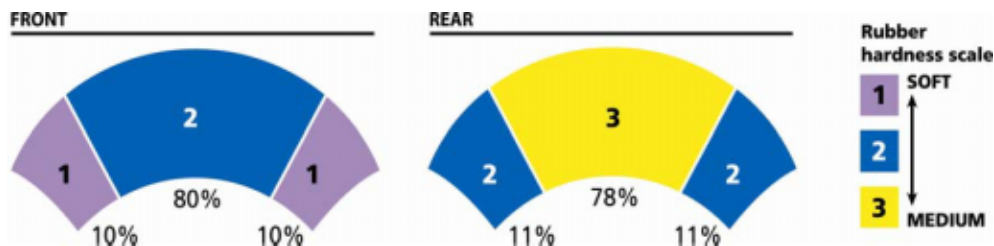


Abbildung 8: Reifenlauffläche mit zwei unterschiedlich weichen Mischungen /1/

So verspricht der Reifenhersteller Michelin z.B. in einem Werbeprospekt für den Reifen „PilotPower_2CT“ aus dem Jahre 2006 eine mögliche Schräglage für Supersportler, die nur 3,8° weniger betragen soll als die MotoGP-Maschinen auf ihren profillosen Slicks erreichen, die damals schon Schräglagen bis zu 55° realisierten!

Erreicht wird dieser Zugewinn an seitlichem Grip durch eine weichere Laufflächenmischung im Schulterbereich mit je 10% rechts und links beim Vorderrad und je 11% rechts und links beim Hinterradreifen (siehe Abb. 8).

Diese Angaben sollten aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die genannten Schräglagen – in Fachkreisen auch **Rollwinkel** genannt – nur auf extrem griffigen Rennstrecken erreicht werden können!

Jeder Versuch, diese Schräglage auf einer öffentlichen Straße mit einem wesentlich geringeren Kraftschlussbeiwert zu realisieren, wird zu einem Sturz führen.

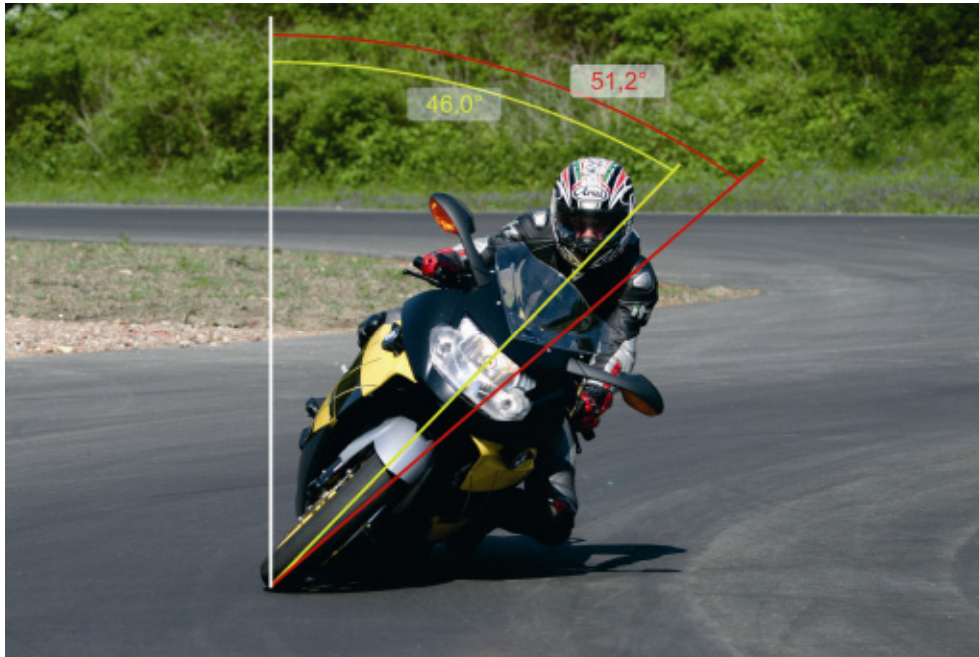


Abbildung 9: Schräglagenversuche in einer Kreisbahn auf einem Trainingsgelände

Um dies nochmals zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 9 Schräglagenversuche in einer Kreisbahn. Hier konnten auf griffigem Asphalt eines Trainingsgeländes Schräglagen bis zu 46 Grad realisiert werden (Reifenfabrikat unbekannt). Jeder weitere Versuch noch schräger zu fahren, führte zu Rutschvorgängen über beide Räder!



Abbildung 10: Extrem griffiger Asphalt-Belag

Bremsen – Mit Physik zum richtigen Gefühl

Die Gratwanderung zwischen einem nicht überbremsen Vorderradreifen und einer optimalen Bremsung ist sehr schwierig. Dieser kann man aus dem Wege gehen, indem man sich ein Motorrad mit Anti-Blockier-System (ABS) zulegt. Aber auch hier beobachtet man immer wieder, dass viele Motorradfahrer(innen) sich nicht trauen, mit einem mit ABS ausgestatteten Motorrad maximal zu bremsen.

Ich möchte an dieser Stelle ausdrücklich darauf hinweisen, dass bei allen mit ABS ausgestatteten Motorrädern zumindest bei Vollbremsungen während der Geradeausfahrt der Bremshebel vorn wie hinten voll gezogen bzw. getreten werden muss! Probieren Sie es am besten selber einmal aus.

Denn bei voll funktionsfähigem ABS besteht absolut keine Gefahr, dass diese Bremsung zu einem Sturz führt. Vorsicht ist nur geboten, wenn das Bremssystem sehr stark ausgelegt (bissig) und keine Überschlagerelung vorhanden ist. Dann kann der Bremsvorgang in einem Stoppie mit eventuellem Überschlag nach vorn enden. Deshalb sollte jeder zuerst **vorsichtig beginnen und innerhalb mehrmaliger Versuche die Extreme erfahren.**

Doch nun zur eigentlichen Bremsung.

Bremsen ist definitionsgemäß eine negative Beschleunigung mit einem daraus resultierendem Bremsweg, der sich wie folgt definiert:

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

mit: s = Bremsweg [m]
 v = Geschwindigkeit als Weg pro Zeit in Meter pro Sekunde [m/s]
 a = Verzögerung (negative Beschleunigung) als Geschwindigkeit pro Zeit ($a = v / t$) in [m/s / s = m/s²]
 t = Zeit in Sekunden [s]

Zur Erinnerung: Mit einem Kraftschlussbeiwert von $\mu = 1,0$ werden theoretisch Verzögerungen von maximal 9,81 m/s² erreicht. Dieser Wert entspricht exakt dem Vermögen der Erdanziehungskraft, also der Erdbeschleunigung (g).

Mit obiger Formel errechnet sich der Bremsweg aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h (gleich 27,78 m/s) und einer konstanten Verzögerung von 1g (9,81 m/s²) zu 39,3 Metern.

Zur Verdeutlichung:

Eine Verzögerung von $9,81 \text{ m/s}^2$ heißt soviel wie eine Geschwindigkeit von $9,81 \text{ m/s}$ (entspricht $35,3 \text{ km/h}$) pro Sekunde abzubauen. Demnach benötigt man für eine optimale Bremsung mit einer Verzögerung von $9,81 \text{ m/s}^2$ aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h auf Null gerade mal (100 km/h geteilt durch $35,3 \text{ km/h}$) $2,83$ Sekunden!

Mit Blick auf den Sekundenzeiger meiner Uhr und meinem Gefühl (dieser Artikel entsteht in der Winterzeit) ist dieser Bremsvorgang ohne ABS kaum realisierbar, schon gar nicht mal eben aus dem Stegreif – ohne vorherige mehrmalige Bremsversuche.

Deshalb sollte sich auch niemand falsche Vorstellungen von den eigenen Bremsmanövern machen. In Verzögerungs-Regionen von $9,81 \text{ m/s}^2$ zu gelangen, bedarf es neben ständigem Training, sensibelster Feinmotorik für Vorder- und Hinterradbremse auch eines sehr griffigen Asphalts, also Grip.

Regelmäßiges Üben, am besten unter Anleitung eines erfahrenen Kollegen oder Instructors bei einem Fahrsicherheitstraining, verbessert das eigene Können und das richtige Gefühl für eine optimale Bremsung. Gerade nach der Winterzeit, in der die meisten Motorräder nicht bewegt werden, ist dieses Training sehr wichtig. Auch die innere Einstellung „ich muss nicht stark bremsen können, weil ich vorausschauend fahre“ hilft wenig, wenn nun doch eine Not- bzw. Panikbremsung vonnöten ist. Deshalb: **Jeder sollte eine Vollbremsung beherrschen!**

Wie bei so vielen täglichen Dingen in unserem Leben, spielt auch beim Bremsen das Gefühl eine wichtige Rolle.

Die dynamische Radlast-Veränderung

Jeder von Ihnen kennt die sogenannte **dynamische Radlast-Veränderung** beim Bremsen. Die Fahrzeugfront (Teleskopgabel) taucht ein, das Fahrzeugheck wird entlastet und kommt etwas oder ganz hoch, je nach Fahrzeugtyp und erzeugter Bremskraft. Da diese Bewegung (Dynamik) mit einer Veränderung der Radaufstandskräfte einhergeht, ist es nur logisch, dass während eines Bremsmanövers vorn mehr gebremst werden kann als hinten. Grundsätzlich benötigt die dynamische Radlast-Veränderung in Abhängigkeit der erzeugten Bremskräfte eine gewisse Zeit und geht aufgrund von Trägheit und Reibungswiderständen nicht blitzartig vonstatten. Jedoch kann der Fahrer durch „aktives Fahren“ die dynamische Radlast-Veränderung unterstützen. Und zwar: indem er bewusst sein Körpergewicht auf die Lenkstange bringt und dadurch die Zeit des Einfederns reduziert.

Aus der Definition und der Formel des Kraftschlussbeiwertes ist ersichtlich, dass blitzartiges Zupacken am Handbremshebel schädlich ist. Warum? Weil die Höhe der erzeugbaren Reibbremskraft im Latsch proportional von der Normalkraft, also der Radaufstandskraft abhängt.

Wenig Gewicht auf dem Vorderrad heißt somit wenig übertragbare Bremskraft, viel Gewicht auf dem Vorderrad große übertragbare Bremskraft. Deshalb sollte sich jede Motorradfahrerin und jeder Motorradfahrer angewöhnen nie den vorderen Bremshebel schlagartig zu ziehen, sondern zügig aber „gefühlvoll“ innerhalb von einer halben Sekunde den Bremsdruck bis zum Maximum zu steigern! Reine Gewohnheitssache.

Dies gilt übrigens auch für mit ABS ausgestattete Motorräder. Zwar kommt zu Beginn einer Panik-Bremsung das wenig belastete Vorderrad nicht zu einem Stillstand und somit das Motorrad nicht zum Sturz, aber auch hier können wichtige Meter am Bremsweg verschenkt werden.

Grundsätzlich sollten bei Einleitung einer Vollbremsung beide Bremsen vorn wie hinten bei gezogener Kupplung betätigt werden. Fahrer von Motorrädern mit ABS haben es hier leicht. Bis auf das „nicht blitzartige Zupacken“ des Handbremshebels brauchen sie nur dafür zu sorgen, dass das ABS durch genügend Druckaufbau in beiden Hydraulik-Regelkreisen vorn wie hinten im Regelbereich arbeitet. Alles Weitere zur Erlangung des optimalen Bremskraftschlusses bei optimalem Schlupf regelt die Elektronik.

Für Fahrer von Motorrädern ohne ABS stellt sich der Bremsvorgang etwas stressiger dar.

Da Multitasking nicht unbedingt in der Natur des Menschen liegt (dem Autor ist keine Studie bekannt, dass Frauen besser bremsen, obwohl sie im Vergleich zu Männern besser Multitasking beherrschen sollen), sollte das Augenmerk auf die Dosierung der vorderen Bremse gelegt werden. Und dies bei Motorrädern ohne ABS aus zweierlei Gründen. Zum einen ist gerade – wie bereits oben beschrieben – die Vorderradbremse die effektivere Bremse, zum anderen birgt ein überbremstes Vorderrad die Gefahr für einen Sturz durch Verlust der Seitenführungskraft und der stabilisierenden Kreiselkräfte des Rades. Selbst bei Geradeausfahrt und gerade gehaltenem Vorderrad erfolgt bei einem blockierenden Vorderrad nach zirka 0,2 bis 0,5 Sekunden ein Sturz /7/. Also wenig Zeit zum Reagieren.

Doch woran erkennt man die Grenze des Möglichen oder Unmöglichen? Bei trockenen Bedingungen, und hier passieren die meisten Motorradunfälle, ist „Wimmern“ (ein Pfeifton, erste Anzeichen von Quietschen) beim Vorderradreifen ein Mahnmerkmal für die Erreichung des Kraftschlusspotentials. Aber auch Vibrationen bzw. Stempeln der Vorderradaufhängung zeigen die Grenze deutlich auf.

Deshalb: vorn gefühlvoll aber beherrscht „reingreifen“ und den beiden genannten Anzeichen viel Aufmerksamkeit widmen. Ggf. muss je nach Bedingung durch minimales oder völliges Lösen des Handbremshebels, mit der Konsequenz eines minimalen bis völligen Druckabbaus, einem stehenden Vorderrad entgegen gewirkt werden, wobei anschließend wieder sofortiger Bremsdruckaufbau zu wiederholen ist. Wie man sieht, ist dies eine sehr schwierige Fahraufgabe, die nur durch ständiges Trainieren geübt werden kann. Deshalb: **Üben, üben und nochmals üben!**

Die Hinterradbremse sollte in keinem Fall vergessen werden. Mein Vorschlag: Bremsen Sie hiermit so wie immer, also so stark, wie Sie es gewohnt sind. Verschenden Sie keine Zeit mit gefühlvoller Dosierung, denn Sie haben keine Zeit!

Gerade zu Beginn einer Bremsung lasten je nach Motorradtyp 50 Prozent der Gewichtskraft oder mehr auf dem Hinterrad. Hierdurch ist zu diesem Zeitpunkt eine effektive Hinterradbremung möglich. Denken Sie daran: Bei Notbremsungen zählt jeder Meter!

Solange das Hinterrad Bodenkontakt hat, kann es Bremskräfte übertragen. Und falls es dann doch einmal unerwartet blockieren und ausbrechen sollte, einfach den Fuß vom Hebel lösen.

Blickführung und Haltung

Von zentraler Bedeutung ist hierbei die **Blickführung** und **Haltung** des Fahrers.

Ein Ausbrechen des blockierenden Hinterrades bei Geradeausfahrt ist in den meisten Fällen ein typisches Zeichen für eine unsymmetrische Fahrerhaltung aber auch für eine falsche Blickführung.

Mit Hilfe einer einfachen Fahraufgabe können Sie dieses Phänomen nachvollziehen. Und zwar: Fahren Sie auf einem leeren Parkplatz mit gemäßigter Geschwindigkeit (ca. 20-30 km/h) geradeaus, betätigen Sie nur die Hinterradbremse und bringen Sie – während Sie weit und geradeaus schauen – das Hinterrad zum Blockieren. Wenn Sie jetzt noch gerade, also symmetrisch auf dem Motorrad gesessen haben, werden Sie feststellen, dass Sie eine gerade Bremsspur ohne Versatz radiert haben. Die gleiche Übung wiederholen Sie jetzt mit dem Unterschied, dass Sie beim Bremsen zu einer Seite (rechts oder links) schauen. Sie werden feststellen, dass diese Radierung nicht mehr so geradlinig verläuft, wie beim ersten Versuch. Der Grund hierfür liegt in der Erklärung, dass der Mensch dahin fährt, wohin er schaut!

Blickführung und Körperhaltung sind somit wichtige Kriterien bei einer Vollbremsung!

Kurvenbremsung

Bei einer normalen Motorradfahrt im öffentlichen Straßenverkehr sollte der Bremsvorgang nach Möglichkeit immer vor dem Einlenken in die Kurve erfolgt sein. Die Möglichkeit bzw. die eigene Fähigkeit, den Bremsvorgang auch bis zum Kurvenscheitelpunkt ausüben zu können, stellt im öffentlichen Straßenverkehr ein wichtiges Sicherheitspolster dar. Aber gerade dieses Hineinbremsen in Kurven ist nicht jedermanns Sache und sollte deshalb ab und zu trainiert werden.

Denn nicht selten – bestätigt durch eigene Beobachtungen – verkrampfen sich viele Biker beim Anbremsen von Kurven, die sie auf den ersten Blick in Bezug auf den Kurvenradius und die Kurvengeschwindigkeit unterschätzt haben. So leiten sie zumeist eine Vollbremsung ein, „frieren“ das Motorrad auf der Bremse ein und vergessen ganz, die Kurvenfahrt

einzuleiten. Mit der Folge, dass sie auf die Gegenfahrbahn geraten und/oder aber von der Straße abkommen.

Deshalb hier der Versuch, eine Bremsung ohne Gripverlust bis zum Scheitelpunkt der Kurve zu erklären: Aus obigen Abschnitten ist bekannt, dass mit zunehmender Bremskraft immer weniger Grip für die Seitenführung (Schräglage) zu Verfügung steht. Deshalb ist bei Geradeausfahrt maximale Bremsung möglich, die dann am Einlenkpunkt der Kurve reduziert werden muss und im Scheitelpunkt bei maximaler Schräglage beendet ist. Im Idealfall wird das Kraftschlusspotential immer entlang des Kammschen Kreises, der eher einer Ellipse gleicht, voll ausgeschöpft (siehe Abbildung 5 und 6), welches i. d. R. nur erfahrene Test- und Rennfahrer schaffen. Das heißt, dass mit zunehmender Schräglage der Bremshebel (vorn wie hinten) kontinuierlich gelöst und somit die Bremskraft kontinuierlich bis zum Scheitelpunkt reduziert werden muss. Kontinuität ist aber in diesem Zusammenhang nicht gleichzusetzen mit Linearität, sondern eher mit einer exponentiellen Funktion, so wie in Abbildung 6 dargestellt. Zu Beginn der Kurvenfahrt bis hin zu 50% der maximalen Schräglage kann theoretisch entsprechend viel bis zu ca. 86% der maximalen Bremskraft erzeugt werden. Erst danach muss die Bremskraft übermäßig bis zum Erreichen der maximalen Schräglage reduziert werden.

Neben der richtigen Dosierung der Bremsanlage kommt eine weitere Erschwernis hinzu, das „Einlenken auf der Bremse“. Hier ist neben hohem Kraftaufwand viel Körpereinsatz gefragt, weshalb Rennfahrer bereits vor der Kurve eine zum Kurveninneren weisende Haltung einnehmen. Auch hier gilt: **Üben, üben und nochmals üben!**

Neben der Kurvenbremsung bis in den Scheitelpunkt hinein kann es aber auch vorkommen, dass in der Kurve durch plötzliche Gegebenheiten gebremst werden muss.

Bremsen in Kurven und somit in Schräglage muss noch feinfühlicher vonstatten gehen als bei einer Geradeausbremsung. Was noch erschwerend hinzukommt, ist das unvermeidbare Rückstellmoment des Reifens, welches der Fahrer durch Krafteinwirkung am Lenker und durch Körpereinsatz ausgleichen muss. Je stärker in Schräglage gebremst wird, umso stärker wird das „kurveneindrehende“ Drehmoment und umso stärker versucht das Motorrad sich aufzurichten.

Dies gilt bei Motorrädern sowohl mit als auch ohne ABS. Die Stärke des Drehmomentes hängt von der Reifenbreite aber auch vom Reifentyp ab.

Am besten man erfährt sich dieses Gefühl mit seinem eigenen Motorrad bei einem speziellen Fahrsicherheitstraining. Denn jedes Motorrad und seine spezifischen Reifen reagieren hierbei sehr unterschiedlich. Der Wechsel auf einen anderen Reifentyp oder ein anderes Reifenfabrikat hat schon bei so manchem Biker Wunder vollbracht.

Eine ebenfalls nützliche Hilfe beim Durchfahren von engen Kurven oder Serpentinien ist die kontinuierliche, leichte Hinterradbremung. Sie stabilisiert das Motorrad in Längsrichtung, reduziert unerwünschte Lastwechselreaktionen vom Antriebsstrang (Kette, Riemen oder Kardan) und sorgt selbst bei geringen Geschwindigkeiten für eine saubere Fahrlinie. Gebremst wird nur hinten, konstant aber gefühlvoll mit geringer Bremskraft und während der ganzen Kurvenfahrt.

Der Grenzbereich

Für sicheres Bremsen in Kurven wird ein sehr „gutmütiger“ Reifen, also ein Reifen mit einem großen und gut erkennbaren **Grenzbereich** benötigt. Dies gilt übrigens auch für den Hinterradreifen beim Beschleunigen in Schräglage. Kritisch hingegen sind Reifen, die nur einen sehr schmalen Grenzbereich zeigen.

Aber was versteht man genau unter Grenzbereich? Dies ist der Übergang von leichtem, ungefährlichem Wegrutschen des Reifens – welches der Fahrer gut wahrnimmt – bis hin zum völligen Gripverlust, also dem unausweichlichen Sturz. Und genau hier gibt es große Unterschiede bei den einzelnen Reifen. Ist der Grenzbereich sehr schmal, so ist das erstmalige Wegrutschen des Reifens fast gleichbedeutend mit dem völligen Gripverlust. Also kaum Zeit zu reagieren!

Ein breiter Grenzbereich hingegen bedeutet, dass der Reifen zwar auch rutscht, dass das Ausmaß des Rutschens jedoch noch bis zum völligen Gripverlust gesteigert werden kann. Und genau diese Eigenschaft eines Reifens vermittelt Sicherheit beim Fahren in Schräglage.

Hierzu noch ein Beispiel aus eigener Erfahrung: Bekanntlich sind spezielle Regenrennreifen nur für nasse bzw. feuchte Fahrbahnen gedacht. Aber was tun, wenn die Fahrbahn durch starken Wind plötzlich abtrocknet und weit und breit keine Pfütze zum Abkühlen der Reifen vorhanden ist?

Quer um die Kurven rutschen!

Jeder Zuschauer, der dieses Rennen damals beobachtet hatte, konnte nicht glauben, dass ein solches Fahrverhalten überhaupt möglich ist. Da diese Reifen jedoch einen sehr breiten Grenzbereich hatten, ging dass aus Sicht der Fahrer völlig in Ordnung. Ich glaube, keiner ist gestürzt!

Wenn es um den Grenzbereich geht, muss immer bedacht werden, dass hier stets gefühlvolles Bremsen oder Beschleunigen vonnöten ist. Bei sehr heftigem Bremsen oder Beschleunigen nutzt auch kein breiter Grenzbereich, da dieser dann innerhalb weniger Millisekunden bereits überschritten ist!

Schwarzes Gold für sicheren Grip

Bei der Konstruktion und Entwicklung von Reifen muss ein guter Kompromiss aus **Fahrsicherheit** (Trocken-/Nassgrip, Handlichkeit/ Lenkpräzision, Geschwindigkeitstauglichkeit, Rückmeldung im Grenzbereich), **Fahrstabilität** (Geradeaus-/Brems-/Kurvenstabilität), **Fahrkomfort** (Federungs-, Geräuschkomfort, Laufruhe) und der **Wirtschaftlichkeit** (Rollwiderstand/Verschleiß/Kosten) gefunden werden.

Warum ein Kompromiss? Weil sich die verschiedenen Eigenschaften gegenseitig beeinflussen. Als Beispiel seien die Eigenschaften Grip und die Langlebigkeit bzw. der Verschleiß genannt. Wie wir bereits erfahren haben, bringen sehr weiche Laufflächenmischungen viel Grip aber auch viel Verschleiß und damit eine geringe Lebensdauer. Langlebige Reifen bieten hingegen nur mäßigen Grip.

Von daher darf nun jede Motorradfahrerin und jeder Motorradfahrer selbst entscheiden, wie viel ihr bzw. ihm die Sicherheit wert ist und wie viel Geld sie bzw. er bereit ist, dafür auszugeben.



Abbildung 11: Zielvorgaben für einen Sportreifen /1/
(1 ... 6 bedeuten min. bis max. Zielvorgaben)

Weitere bemerkenswerte Besonderheiten viskoelastischer Reibung

„Der **Einfluss der Normalkraft** F_N auf die Reibung viskoelastischer Körper ist seit langer Zeit hinreichend bekannt /9/. Er begründet sich in der Tatsache, dass die Rauheitsspitzen der kontaktierenden Körper eine innige und vollflächige Berührung verhindern, so dass sich mit zunehmender Normalkraft (Belastung) die wahre Kontaktfläche der geometrischen Kontaktfläche asymptotisch annähert. Die Nichtlinearität dieses Zusammenhangs führt nach der Reibungstheorie mit steigenden Normalkräften zu größeren Reibkräften, aber bezogen auf die Normalkraft, zu sinkenden Reibzahlen“ /2/.

Anders formuliert: Mit zunehmender Radbelastung [N] nimmt die Flächenpressung [N/mm²] im Latsch zu, was zur Folge hat, dass das maximal mögliche Kraftschlusspotential [μ] sinkt. Eine typische Materialeigenschaft von viskoelastischen Stoffen.



Aufbau eines Reifens /1/

Asymptotisch von
griech. *asymptōtos*
= nicht zusammenfallend

Übrigens auch ein Grund, warum Rennwagen trotz ihres geringen Gewichts mit sehr breiten Rennreifen fahren und damit die Flächenpressung im Latsch und die Belastung der Seitenwände deutlich minimieren.

Diese Aussage verändert sich jedoch maßgeblich, sobald ein Zwischenmedium (z.B. Wasser) im Spiel ist. Denn dann funktioniert die Drainage mit zunehmender Flächenpressung deutlich besser, weshalb z.B. beim Pkw schmalere Reifen deutlich später Aquaplaning erfahren als breitere. Aus dem gleichen Grund stoßen Motorräder erst viel später in den Aquaplaning-Bereich. Zum einen haben sie im Verhältnis zum Pkw sehr schmale Reifen, zum anderen eine runde Reifenkontur, wodurch innerhalb gewisser Geschwindigkeitsgrenzen eine Schwallbildung ausbleibt.

Eine weitere Besonderheit stellt die **Temperatur des Reifengummis** dar. Denn je wärmer (innerhalb eines bestimmten Temperaturfensters) eine Reifenlauffläche ist, desto weicher (viskoser) wird die Gummimischung und desto mehr Grip hat dieser Reifen. Der Grund hierfür liegt an zwei Phänomenen. Zum einen kann der weichere Reibpartner (hier die Reifenlauffläche) die Rauheiten des härteren Reibpartners (hier Fahrbahnoberfläche) förmlich „umfließen“, so dass sich die wahre Kontaktfläche und damit die Adhäsionsreibungskraftkomponente vergrößern. Kalte und somit härtere Gummimischungen können dies deutlich schlechter. Zum anderen steigt aber auch durch das stärkere Umfließen der Rauheiten die Deformationsreibungskraftkomponente.

Ein Grund, warum im Rennsport neben unterschiedlichen Gummimischungen mit Reifenwärmern gearbeitet wird. Diese bieten höchsten Grip ab der ersten Runde.

Dies alles gilt aber nur innerhalb eines bestimmten Temperaturfensters, in dem die wichtige Deformationsreibungskraftkomponente funktioniert. Denn sobald eine bestimmte Reifenmischung zu warm und somit zu weich wird, tritt verstärkt Verschleiß und somit erhöhter Abrieb zumeist verbunden mit Gripverlust auf. Ein typisches Zeichen dafür, dass zwar die für maximalen Grip untergeordnete Kohäsionsreibungskraftkomponente wirkt, die anderen beiden, entscheidenden Komponenten wie Adhäsion und Deformation sich aber nicht voll ausbilden können, weil die Molekülketten im Gummi vorher aufgebrochen werden.

Als letzten Punkt sei noch auf den meist unbekannten **Einfluss der Geschwindigkeit** auf das Kraftschlusspotential hingewiesen. Eine höhere gefahrene Geschwindigkeit ist gleichbedeutend mit einer größeren Raddrehzahl und somit höheren Fliehkräften im Latsch, wodurch herkömmliche Diagonalreifen deutlich, neuere Radialreifen hingegen gar nicht bzw. nur noch sehr gering im Umfang „wachsen“. Aber gerade die erhöhte Raddrehzahl bewirkt zwei Phänomene.

Zum einen eine kürzere Kontaktzeit des Reifengummis mit der Fahrbahnoberfläche, wodurch im Trockenen ein gewisser Verlust an Adhäsion erfolgt, zum anderen eine geringere „Erholungszeit“ des Gummis, was zu einer Abnahme der Deformationsreibungskraftkomponente führt (erneuter Kontakt, noch bevor das Gummi sich in seine Ursprungs-

lage zurückverformen konnte). Beide Phänomene senken das maximal mögliche Kraftschlusspotential $[\mu]$. Ebenfalls negativ wirken sich geringste Fahrbahnunebenheiten besonders bei höheren Fahrgeschwindigkeiten aus. Denn bei diesen können die Räder und somit die Reifen durch Trägheiten im Federungssystem nicht folgen, wodurch die Radlasten und folglich die Kraftschlusspotentiale beider Räder reduziert werden. Also erhöhte Vorsicht bei höheren Geschwindigkeiten!

Einen draufgesetzt

Zum besseren Verständlichkeit und aus der Überlegung heraus, dass der Kamm'sche Kreis durch die verschiedensten reibungsmindernden Einflussfaktoren unterschiedliche Kreisdurchmesser (variabel) erreichen kann, entstand die nachfolgende Grafik.

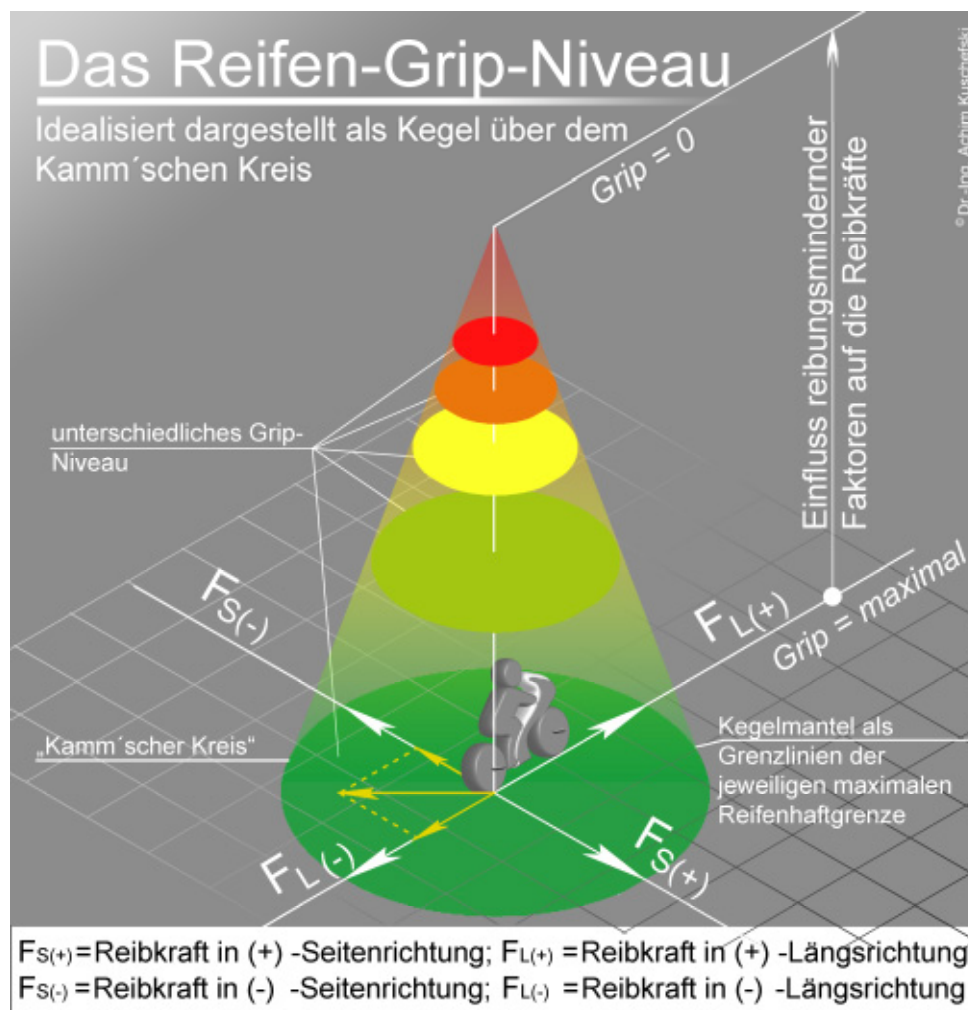


Abbildung 12: Das Reifen-Grip-Niveau

In Abbildung 12 ist über den Kammschen Kreis mit maximal möglichem Radius (untere grüne Scheibe) ein Kegel stülpt. Jeder auch nur geringe Einfluss auf den maximalen Grip ändert die maximalen Längen der Vektoren in Längs- und Querrichtung und somit eine Veränderung in der Größe des Grip-Niveaus. Das verminderte Grip-Niveau wandert somit in der Senkrechten nach oben.

Stellt die Grundfläche des Kegels höchstes zu erreichendes Grip-Niveau dar, bedeutet die Kegelspitze hingegen „Null-Grip“. Alle dazwischen liegenden Werte sind möglich und hängen von vielen den Grip mindernden Faktoren ab:

- **Reifen** mit all seinen Eigenschaften:
 - Reifentyp
 - Aufbau der Karkasse, Steifigkeiten
 - Reifendimension wie Größe, Breite, Querschnitt und Kontur
 - Lauflflächenmischung(en)
 - Profilierung wie Profilform, -tiefe und Anteil des Negativprofils
 - Fülldruck
 - Betriebstemperatur
 - Alter
 - **Fahrbahn (sauber, trocken)**
 - Art des Belags (Zusammensetzung der Mineralien und Bindemittel)
 - Festigkeit
 - Mikro- und Makro-Rauhigkeit
 - Unebenheit oder Welligkeit
 - Fräsungen
 - Drainagevermögen
 - Oberflächentemperatur
 - **Fahrbahn-Verunreinigungen (Zwischenmedium) und – Störungen bzw. deren Kombinationen**
 - Feuchtigkeit, Nässe, Schnee, Eis
 - Staub, Dreck, Lehm, etc.
 - Sand, Rollsplitt, ...
 - Öl
 - Laub
 - Schichtdicke des Zwischenmediums
 - Temperatur des Zwischenmediums
- Reibwert-Sprünge (μ -Sprünge) durch
- wechselnde Straßenbeläge
 - Straßenbahnschienen
 - Fahrbahnmarkierungen
 - Kanaldeckel
 - Bitumen
 - Absätze
 - Fugen

- **Motorrad**
 - Fahrwerksgeometrie
 - Qualität und Abstimmung der Federelemente
 - statische Radlasten (Eigengewicht inkl. Aufsassen/ Beladung)
 - dynamische Radlasten (Belastung, Entlastung)
- **Motorradfahrer**, verantwortlich für
 - gewählte Geschwindigkeit
 - gewählte Beschleunigung (Gasgriffstellung, Gangstufe)
 - gewählte Verzögerung (Bremsdruck)
 - gewählten Lenkeinschlag
 - gewählte Schräglage
 - korrekten Reifenfülldruck und Profiltiefe
 - Beachtung der Reifenbetriebstemperatur
 - Beachtung einer nach Handbuch vorgegebenen Fahrwerkseinstellung
 - Fähigkeit als Regler für gefühlvolles Bremsen und Beschleunigen bis hin zum erforderlichen Schlupf und dies auch in Schräglage bei allen o. g. Einflussfaktoren

Au Backe!

Solange man jedoch innerhalb der Mantelfläche des Kegels bleibt, solange hat man Grip und bleibt auf dem Motorrad sitzen.

Einziger Haken: man weiß nie (Ausnahme Rennstrecke, weil hier gleichbleibende Verhältnisse herrschen und der Grenzbereich innerhalb etlicher Runden „ertastet“ werden kann) auf welchem Grip-Niveau man sich gerade befindet. Allein deshalb ergibt die „**Grip-Reserve**“ im öffentlichen Straßenverkehr plötzlich richtig Sinn.

Noch einige Tipps

- Jeder neue Reifen hat aufgrund seines Produktionsprozesses nach der Vulkanisation eine glatte Oberfläche und daher wenig Grip. Durch gemäßigtes Einfahren muss diese dann zuerst angeraut werden. Von daher empfehlen viele Reifenhersteller auf den ersten 100 Kilometern vorsichtige Fahrweise.
- Denken Sie immer daran, dass Ihr Reifen für ein bestimmtes Temperaturfenster konstruiert wurde, weshalb Sie bei einem Kaltstart zuerst diese warm fahren müssen, um optimalen Grip zu haben. Bedenken Sie auch, dass Sie bei kühleren Außentemperaturen nie den gleichen Grip erzielen wie im Sommer.

- Achten Sie immer auf einen korrekten Reifenluftdruck, der grundsätzlich bei kalten Reifen gemessen wird. Ein nicht korrekter Reifenluftdruck kann das Fahrverhalten Ihres Motorrads deutlich negativ beeinflussen (instabil) und vermindert zudem die Lebensdauer des Reifens.
Denn ein zu geringer Druck bewirkt verstärktes „Walken“, wodurch sich die Lauffläche erwärmt, so dass möglicherweise Schäden auftreten können. Ein zu hoher Druck hingegen bewirkt einen verminderten Latsch, kann aber auch zu ungleichmäßiger Abnutzung führen.
Den korrekten Wert für den Reifenluftdruck haben Motorrad- und Reifenhersteller in unzähligen Tests ermittelt. Er kann dem Motorrad-Handbuch entnommen werden. Viele Hersteller weisen diesen auch durch Aufkleber z.B. auf der Schwinge aus. Zumeist wird der korrekte Reifenluftdruck unterschieden nach Belastung (Solo-/Soziusbetrieb) und/oder Geschwindigkeit (z.B. Höchstgeschwindigkeit).

Eigentlich sollte dieser Artikel nur eine kurze Abhandlung von etwa einer DIN A4-Seite umfassen. Wie man jedoch sieht, ist das Thema „Grip“ ein sehr weit gefächertes.

Allzeit guten Grip

wünscht das ifz

Literaturverzeichnis:

/1/ N.N.: Pressemappe Motorrad Frühjahr 2008, Michelin AG & Co. KGaA, Öffentlichkeitsarbeit

/2/ Kuschefski, A.: Zur Validität von Reibzahlen als Bewertungskriterium der Gleitsicherheit, Dissertation (1988)

/3/ Holland, J.: Tribologie – Eine Wissenschaft, um Milliardenverluste zu vermeiden, Mitteilungsblatt Nr. 60 der TU Clausthal (1985)

/4/ Reitze, C.: Closed Loop Entwicklungsplattform für mechatronische Fahrdynamikregelsysteme, Dissertation (2004)

/5/ Weidele, A.: Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung, Fortschrittsberichte VDI Reihe 12, VDI-Verlag, Düsseldorf (1994)

/6/ N.N.: Michelin, Der Reifen – Haftung (2005)

/7/ Wagner, H.-A., u.a.: Entwicklungstendenzen von Regelsystemen als Beitrag zur Aktiven Sicherheit aus Sicht von BMW Motorrad, ifz-Forschungsheft Nr. 12 (2006)

/8/ Sporer, A.: Risiken beim Motorradfahren – Spezielle Einflussgrößen durch Straßenführung und Umfeld, ifz-Forschungsheft Nr. 12 (2006)

/9/ Thirion, P.: The coefficient of adhesion of rubber, Rubber chemistry and technology, Nr. 21 (1948)