

büro sattelfest
Motorrad, Mensch und Sicherheit



Bremsen auf zwei Rädern

Ein Tanz auf dem hohen Seil

Informationsbroschüre für Motorradfahrer

Bremsen wie ein Weltmeister?

Als leidenschaftlicher Tourenfahrer und Absolvent zahlreicher Weiterbildungskurse engagiere ich mich seit einigen Jahren für sicheres Motorradfahren.

Gas geben macht Spass. Es ist lustiger als Bremsen – und einfacher. Wirksames Bremsen mit modernen Motorrädern in Notsituationen ist komplex und anspruchsvoll. Ebenso zahlreiche wie unnötige Bremsunfälle zeugen davon. Zweck dieser Broschüre ist, die Vorgänge beim Bremsen auf zwei Rädern auszuleuchten. Hervorragende Bremsen sind das eine, aber die entscheidende Rolle spielt der Mensch, der diese Bremsen bedient.

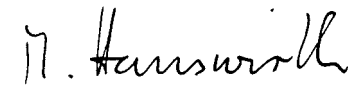
Die vorliegende Schrift richtet sich besonders an:

- Wiedereinsteiger, welche die Freuden des Motorradfahrens neu entdecken wollen und jahrelang nur mit Autos gebremst haben.
- Neufahrer, die mehr wissen möchten, als die Fahrschule in der begrenzten Zeit vermitteln konnte.

Die Lektüre sei allen Fahrerinnen und Fahrern von Strassenmotorrädern empfohlen. Wer mehr weiss über das dynamische Verhalten seines Töffs beim Bremsen, fährt sicherer. Diese Broschüre **ersetzt nicht das praktische Üben!** Sie soll dazu ermuntern. Ohne Übung ist gutes Bremsen auf zwei Rädern unmöglich. Bremsen wie ein Weltmeister werden wir wohl nie. Verbessern können wir uns allemal.

Die technischen Erklärungen sind zum leichteren Verständnis vereinfacht. Wer es detaillierter wissen will, greife zu Fachbüchern. Viel Spass beim Lesen – und gute Fahrt!

Immer genug Luft vor dem Hindernis wünscht



Martin Hauswirth

Autor/ *büro sattelfest*
 Herausgeber: *Motorrad, Mensch und Sicherheit*
Martin Hauswirth, dipl. Masch. Ing. HTL, Länggasse 106, CH-3600 Thun
martin.hauswirth@bluewin.ch

Gestaltung/Druck: *Gerber Druck AG, Steffisburg*

2. Auflage: *1'500 Exemplare*

Titelbild: *Jörg Künstle; MOTORRAD*
mit freundlicher Genehmigung des Motorpresse-Verlag, Stuttgart

	Seite
1. Wer Gas gibt muss auch bremsen	5
• Einleitung	5
• Auto und Motorrad – zwei Welten	5
2. Bremsen einst und jetzt	6
3. Die Wirkungskette des Bremssystems	7
3.1 Die Bremsanlage	7
• Bremshebel	7
• Das hydraulische System	7
• Bremssättel	8
• Bremsbeläge	8
• Bremsscheiben	9
3.2 Die Reifen	9
3.3 Die Schaltzentrale Mensch	10
4. Der Regelkreis Mensch / Maschine	11
5. Die Vollbremsung	13
5.1 Physikalische Einflussgrößen	13
• Grundgrößen und Masseinheiten	13
• Reibung	13
• Dynamische Radlastverschiebung	14
• Stabilitätskriterien	14
• Probleme bei der Vollbremsung	16
5.2 Die Realitäten im Alltag	19
5.3 Bremsen in Schräglage	21
• Das Aufstellmoment	21
• Der Kammsche Kreis	22
5.4 Bremsen im Schreck	25
• Was heisst Schreck?	25
• Physiologische Abläufe und Auswirkungen	26
6. Technische Bremshilfen	27
6.1 Verbundbremsen / Integralbremsen	27
6.2 Bremskraftverstärker	28
6.3 Antiblockiersysteme (ABS)	28
7. Training – das A und O des Bremsens	33

1. Wer Gas gibt, muss auch bremsen

Einleitung

Bremsen müssen wir alle – sei es vor Kurven, Hindernissen oder im Notfall. So simpel das klingt, so komplex und anspruchsvoll ist wirksames Bremsen auf zwei Rädern heute geworden. Früher war es anders, einfacher. Trotz (oder gerade wegen) lahmere, weniger zu packender Bremsen. Eine der Hauptursachen von Motorradunfällen ist heute nicht etwa Raserei, sondern schlicht und einfach **falsches Bremsen**. Auch bei Tempo 50.

Warum das so ist, wollen wir hier unter die Lupe nehmen.

Auto und Motorrad – zwei Welten

Wer als Autolenker eine plötzliche Gefahr erkennt, drückt reflexartig auf das Bremspedal. Je drohender die Gefahr empfunden wird, umso kräftiger drückt man. Weil bei heutigen Autos ein Antiblockiersystem (ABS) das Blockieren der Räder – und damit ein Ausbrechen aus der Spur – verhindert, bleibt das Auto bis zum Stillstand hinreichend lenkbar. Ein solches Notmanöver ist deshalb recht einfach, weil Autolenker sich nicht um Radlastverschiebung, Bremskraftverteilung, Reibwertsprünge und die gleichzeitige Regelung zweier sich gegenseitig beeinflussender Bremskreise kümmern müssen.

Ganz anders beim Motorrad. Motorräder sind **gleichgewichtslabile Einspurfahrzeuge**, die zur Hauptsache durch die Kreiselkräfte der rotierenden Räder in aufrechter Lage gehalten werden. Ein Töff mit stillstehenden Rädern fällt bekanntlich um.

Im Notfall sind **zwei Bremskreise** zu bedienen. Die Handbremse für das Vorderrad, die Fußbremse für das Hinterrad. Dies gilt heute im-

mer noch für fast alle motorisierten Zweiräder (Ausnahmen siehe Kapitel 6, Verbundbremsen). Beim Bremsen vergrößert sich die Last auf dem Vorderrad, während sie hinten abnimmt. Das kann bis zum Abheben des Hinterrades gehen. Die Bremsdrücke müssen in Sekundenbruchteilen korrigiert werden, besonders vorne.

Wird vorne so stark gebremst, dass das Vorderrad blockiert, ist innert Kürze ein Sturz unvermeidlich. Weil Motorradfahrer diese Gefahr kennen, nutzen die meisten das Potenzial ihrer Bremsen bei weitem nicht aus, was zu längeren Bremswegen als nötig führt. In Schreck-situationen wird oft zu stark gebremst, was Stürze mit Schaden an Mensch und Material zur Folge hat.

Was bei einer Vollbremsung auf dem Zweirad alles abläuft, ist im Kapitel 5 beschrieben.

Autolenker, die nicht selber Motorrad fahren, sind sich dieser Problematik nicht bewusst.

2. Bremsen einst und jetzt

Historische Motorräder hatten auch Bremsen. Ihre Wirkung war bescheiden. Nebst einigen exotischen Klotz- und Felgenbremsen setzte sich die konventionelle Trommelbremse durch. Diese wurde über Jahrzehnte weiterentwickelt, bis sie anfangs der 70er-Jahre der Scheibenbremse Platz machen musste. Heutige Bremsanlagen sind technische Wunderwerke mit enormer Wirkung, und die Entwicklung ist nicht abgeschlossen.

Jede Medaille hat zwei Seiten. Bei den meisten Trommelbremsen alter und neuerer Bauart war auch bei heftigstem Zug am Hebel, zumindest auf Asphaltstrassen, ein Vorderrad kaum zu blockieren. So blieben auch bei einer Vollbremsung noch ausreichende Kreiselkräfte erhalten, und das Sturzrisiko war gering. Bei den Bremsanlagen moderner Strassenmotorräder kann das Vorderrad mit nur zwei Fingern am Hebel bei jeder Geschwindigkeit blockiert werden. Cool! – Oder doch nicht?

Die Technik schreitet fort, der Mensch tritt an Ort. In den letzten 50 Jahren wurden die Bremsanlagen ständig weiterentwickelt, und ihre Wirksamkeit und Standfestigkeit sind um ein Vielfaches gestiegen.

Oft lesen wir in Testberichten von «phänomenalen Bremsen». Das stimmt – und ist doch nur die halbe Wahrheit. Ein ebenso wichtiger Teil des Bremssystems ist der Mensch.

Bremsen werden immer vom Menschen bedient, und dieser setzt die Grenzen im Gesamtsystem.

Die Fähigkeiten von «Otto Normalfahrer» sind heute nicht besser als vor 50 Jahren. Der Unterschied zeigt sich nur in der Bekleidung.

Entwicklungsstadien von Motorradbremsen:

- Trommelbremse der 30er-Jahre (BMW)
- Trommelbremse der 60er-Jahre (Guzzi)
- Hochleistungs-Scheibenbremse 2003 (Aprilia)
- Verbundbremse mit ABS 2002 (Honda)



3. Die Wirkungskette des Bremssystems

3.1 Die Bremsanlage

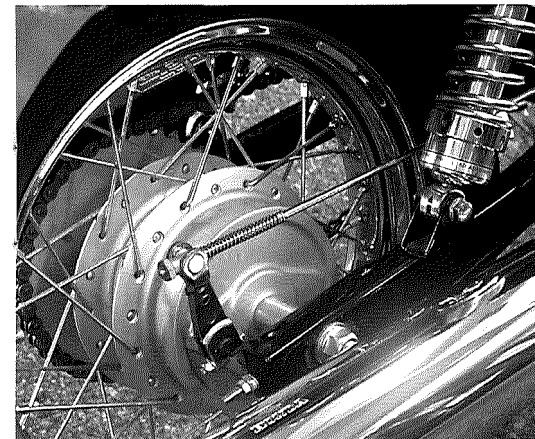
Die Bremsanlage umfasst sämtliche Elemente vom Bremshebel bis zur Brems Scheibe.

Bremshebel

Während beim Auto ein einziges, in seiner Position fixes Bremspedal vorhanden ist, sind Motorräder mit einem Handbremshebel (am rechten Lenkerende) und einem Fussbremshebel (unter der rechten Fussraste) ausgestattet. Moderne Roller mit Automatikgetriebe haben zwei Handbremshebel (wie ein Fahrrad).

Die Bremshebel sollen in einer für den Bediener optimalen Position fixiert sein. Die meisten Hand- und Fussbremshebel sind einstellbar. Sie sind so auf den Fahrer anzupassen, dass die rasche Einleitung eines Bremsmanövers ohne Verrenkungen möglich ist.

Ein Zeitverlust von zwei Zehntelsekunden beim Zugriff auf die Bremshebel führt bei Tempo 80 zu einer Bremswegverlängerung von 4,5 Metern und einer Restgeschwindigkeit von gut 30 km/h.



Trommelbremse mit Gestänge (Honda).

Bevor wir von der Hydraulik sprechen sei erwähnt, dass es noch einige Motorräder mit rein mechanischer Bremskraftübertragung (Kabel, Gestänge) gibt. Das sind Modelle (vorwiegend Chopper), die hinten eine Trommelbremse haben.

Bei Scheibenbremsen kann die nötige Anpresskraft nur mit einem hydraulischen System aufgebracht werden.

Das hydraulische System

Es besteht aus Geberzylinder, Bremsleitungen, Nehmerzylinder und der Bremsflüssigkeit. Auf Details der Zylinder gehen wir hier nicht ein. Wir beschränken uns auf die Leitungen und die Bremsflüssigkeit.

Als **Bremsleitungen** dienen in den festen Bereichen dünne Stahlrohre und dort, wo Beweglichkeit gefordert ist, armierte Hochdruckschläuche aus Kunstgummi. Ein Schlauch ist immer mehr oder weniger elastisch, er dehnt sich unter der Einwirkung des Bremsdrucks (bis über 100 bar) aus.

Dies kann den Druckpunkt mitunter schwammig werden lassen und das präzise Gefühl für den perfekten Bremsdruck etwas verwischen. Aus diesem Grund schwören einzelne Hersteller und Zubehörfirmen auf Stahlflex-Leitungen. Das sind mit Stahldrahtgewebe ummantelte, flexible, alterungsbeständige Teflonschläuche, die sich unter Druck nur noch unspürbar ausdehnen.

Stahlflex-Leitungen sind für Rennstrecken-freaks ein Muss. Auch Normalbremsern bringen sie ein präziseres Gefühl für die Bremse. Ein Umbau auf Stahlflex ist aber kein Ersatz für das Üben! –

Durch Handhabungsmängel beim Bremsmanöver geht mehr verloren, als mit Stahlflex-Leitungen zu gewinnen ist.

Und nicht vergessen, die Bremsleitungen regelmässig auf Schäden zu kontrollieren

(Beulen, Druck- und Scheuerstellen, Versprödung, Hitzespuren).

Sehr wichtig ist die **Bremssflüssigkeit**. Diese überträgt die Bremskräfte zwischen Hebel und Bremse. Sie muss den Vorschriften des Motorradherstellers entsprechen. Entscheidend ist die Temperaturfestigkeit bzw. der **Siedepunkt**. Die Bremsflüssigkeit steht über die Bremskolben im Kontakt mit den Bremsbelägen und wird durch starkes und häufiges Bremsen (z.B. bei Passabfahrten) von diesen aufgeheizt. Überschreitet die Temperatur örtlich den Siedepunkt, so bilden sich Dampfblasen. Die quasistarre Verbindung Bremshebel-Bremskolben wirkt durch die plötzliche Kompressibilität wie eine Feder und die Bremse kann weich werden oder sogar total durchfallen.

Bremssflüssigkeit ist hygroskopisch, d.h. sie nimmt mit der Zeit Wasser auf. Dadurch sinkt die Temperatur, bei der sich Dampfblasen bilden. Deshalb ist die Bremsflüssigkeit unbedingt nach den Herstellervorschriften periodisch austauschen zu lassen.

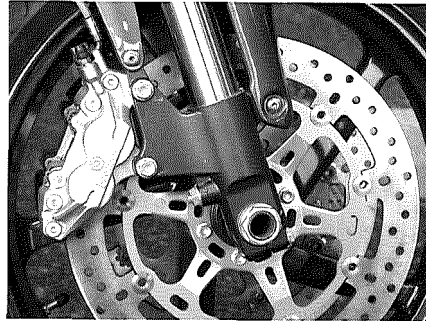
Bremssattel

Der Bremssattel ist Träger der Bremskolben und der Bremsbeläge. Im Bremssattel wird der hydraulische Druck in mechanische Bremskraft umgewandelt. Je nach Art und Zweck des Motorrads beherbergt ein Bremssattel eine Zwei-, Vier- oder Sechskolbenbremse. Es gibt gar solche mit 8 Kolben.

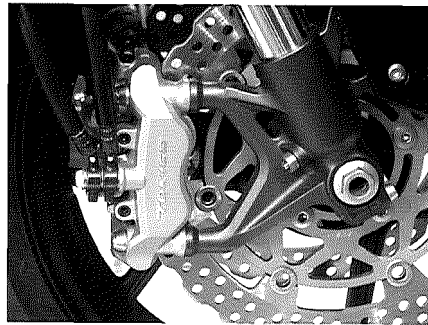
Bremssättel wurden bis heute meist **axial** montiert. Der Bremssattel ist am Fahrwerk so befestigt, dass die Schrauben parallel zur Radachse verlaufen und die Reaktionskräfte durch den Anpressdruck der Befestigungsschrauben ins Fahrwerk geleitet werden (kraftschlüssige Verbindung).

In jüngster Zeit tauchen bei Sportmotorrädern auch **radial** montierte Bremssättel auf. Sie

haben eine höhere Stabilität, weil sie in der Wirkungsebene des Bremsmoments am Fahrwerk anliegend befestigt sind (formschlüssige Verbindung). Vor allem erleichtern sie den Einbau von Tuningteilen.



Axial montierter Bremssattel (Aprilia).



Radial montierter Bremssattel (Kawasaki).

Bremsbeläge

Die Bremsbeläge moderner Scheibenbremsen sind thermisch und mechanisch hoch beansprucht. Sie bestehen aus Trägerplatte und Reibbelag.

Das Material der Reibbeläge ist organischer Art oder aus Sintermetall. In der Regel fährt man gut mit den Originalbelägen des Motorradherstellers, weil diese in einem weiten Temperaturbereich eine gute Wirkung haben. Ersatzprodukte gibt es viele, und in gewissen Fällen

lassen sich damit bessere Verzögerungen erzielen. Aber aufgepasst auf das Temperaturverhalten! Beläge müssen immer mit der Bremscheibe zusammenpassen.

Vor wilden Experimenten ohne Absprache mit der Fachwerkstatt sei gewarnt.

Beläge periodisch auf Verschleiss prüfen!

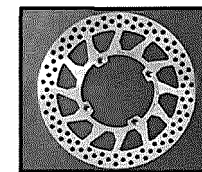
Neue Bremsbeläge gefühlvoll einfahren, damit sie sich den Unebenheiten der Bremscheibe anpassen können und nicht örtlich überhitzen!

Bremsscheiben

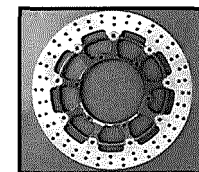
Sie bestehen meist aus Stahl oder Gusseisen. Bei Rennmotorrädern gibt es auch sündhaft teure Bremsscheiben aus Karbon, die noch höheren Temperaturen standhalten. Die Bremscheiben sind das sichtbarste Merkmal einer Motorrad-Bremsanlage. Die vordere Scheibe ist grösser als die hintere, da beim Bremsen vorne grössere Kräfte zu übertragen sind.

Leistungsstarke Töffs haben vorne zwei grosse Bremsscheiben. Zwei Scheiben verhindern zudem einen Verzug der Gabel beim Bremsen. Bremsscheiben können fest oder schwimmend am Rad befestigt sein. Feste Bremsscheiben sind – wie der Name sagt – fest mit dem Rad verschraubt.

Schwimmende Bremsscheiben sind aus dem Rennsport abgeleitet und heute an vielen Motorrädern aller Art zu finden. Sie bestehen aus zwei Teilen, wobei der innere fest mit dem Rad verschraubt und der äussere, mit den Bremsbelägen in Kontakt stehende Teil über bewegliche Elemente (Floater) mit dem Innenteil ver-



Feste Bremsscheibe.



Schwimmende Bremsscheibe, zweiteilig

bunden ist. Es gibt auch einteilige Scheiben, die direkt mit Floatern am Rad befestigt sind (z.B. BMW). Die dadurch erlangte Beweglichkeit der Scheibe ermöglicht die optimale Anpassung an die fest montierten Bremsättel, und sie gleicht die Wärmedehnungen besser aus.

Bremsscheiben sollen rund und plan laufen. Verzogene, wellige oder sogar rissige Bremscheiben sind zu ersetzen. Bei ausreichender Dicke ist es möglich, verzogene Bremscheiben wieder plan schleifen zu lassen (Spezialwerkstätte).

3.2 Die Reifen

Die Reifen sind das Verbindungsglied zwischen Maschine und Fahrbahn. Sie übertragen alle Kräfte beim Beschleunigen, Bremsen und Kurvenfahren.

Im Gegensatz zu Autoreifen haben Töffpneus einen runden Querschnitt – wir wollen ja tolle Schräglagen fahren, oder? Dadurch müssen alle einwirkenden Kräfte über eine relativ kleine Aufstandsfläche übertragen werden. Diese ist nicht viel grösser als ein Handteller. Wen wundert's, dass Motorradreifen so schnell verschleissen! –

Es gibt je nach Motorradtyp und Verwendungszweck eine Unzahl verschiedener Formen, Bauarten, Profile, Gummimischungen usw. Jeder Reifen hat seine bestimmten Eigenschaften und optimalen Betriebsbedingungen (Temperatur), seine Vor- und Nachteile. Den optimal zur Maschine passenden Reifen muss man selber herausfinden.

Die Geschmäcker sind verschieden.

Die Reifen sind eines der wichtigsten Elemente für sicheres Fahren, wenn nicht gar das wichtigste.

Die Sicherheitsanforderungen an Motorradreifen sind extrem hoch, zu Recht. Es ist äusserst selten, dass so ein Reifen platzt.

So unterschiedlich diese Reifen sind, eines ist allen gemeinsam: **mit jedem Reifen wird gebremst.** Beim Bremsen wirken im Alltagsbetrieb auch die grössten Kräfte auf den Reifen ein.

(Anmerkung: Theoretisch können beim Beschleunigen und Kurvenfahren ebenso grosse Kräfte auftreten. Im Alltag kommt das kaum vor. Bei einer perfekten Vollbremsung kann eine Verzögerung von 1 g resultieren. Die Hauptkräfte trägt das Vorderrad. Das gleiche passiert hinten beim Beschleunigen eines «Sporthobels» von Null auf Hundert in 3 Sekunden. Das schaffen nur Testprofis. Wenn wir mit einem Sporttöff oder einem Streetfighter funkenwerfend um die Kurve wetzen, müssen die Reifen ähnlich grosse Kräfte auf die Fahrbahn übertragen.)

Die Reifen müssen immer **genügend Profil** haben. Man ersetze sie besser, bevor das gesetzliche Minimum erreicht ist, denn schon vorher verschlechtern sich die Fahreigenschaften spürbar. Auch ist der Luftdruck periodisch zu kontrollieren.

Der Einfluss der **Temperatur** der Reifen auf den Bremsvorgang wird im Kapitel 5 beschrieben.

Abschliessend eine Bemerkung zum **Schlupf**. Jegliche Antriebs- und Bremskräfte erzeugen Reifenschlupf. Oder andersherum: ohne Schlupf gibt es keine Kraftübertragung vom Reifen auf die Fahrbahn. Nur ein frei geradeaus laufendes Vorderrad ist (fast) ohne Schlupf.

Schlupf ist die Differenz zwischen dem abgerollten Radumfang und der zurückgelegten Wegstrecke.

Schlupf ist also ein leichtes Durchrutschen. Beim Vorwärtstrieb ist der abgerollte Weg am Rad grösser als die Wegstrecke, beim Bremsen ist er kleiner. Auch beim Fahren mit konstanter

Geschwindigkeit auf ebener Strasse tritt am Hinterrad Schlupf auf, weil das Rad gegen den Roll- und den Luftwiderstand arbeiten muss.

3.3 Die Schaltzentrale Mensch

Keine Bremse arbeitet von alleine. Es braucht immer einen Menschen, der die Bremsen aufgrund seiner Beobachtungen und seiner Einschätzung der Lage betätigt.

Jeder Bremsvorgang wird von einem menschlichen Gehirn ausgelöst, gesteuert und geregelt.

Gerne bilden wir unser Urteil über eine Bremsanlage nur aufgrund von Testberichten. Gegen die technische Beurteilung von Motorradbremsen ist nichts einzuwenden, wir werden in diesen Berichten von erfahrenen Profis über Qualitäten und Schwächen der Bremsanlagen informiert.

Doch vergessen wir Normalfahrer oft:

- dass vorbereitete technische Tests mit dem Alltag und seinen Überraschungen nicht vergleichbar sind, und
- dass wir nicht über die fahrerischen Qualifikationen eines Testprofis verfügen.

Unser Töff kann mehr als wir Fahrer zu beherrschen imstande sind. Nicht nur beim Bremsen. Allzu gerne nehmen wir die von Testprofis erzielten Leistungen auch für uns selber in Anspruch. –

Vor Selbstüberschätzung sei gewarnt!

Wir, die Fahrer, sind das entscheidende Glied im Bremssystem. Wenn etwas schief läuft, sollten wir die Ursache zuerst bei uns selber suchen.

Der Einfluss des Menschen auf den Bremsvorgang wird uns noch mehr beschäftigen.

4. Der Regelkreis Mensch-Maschine

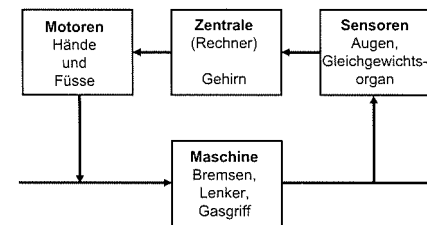
Ein komplettes Bremssystem besteht aus der **Bremsanlage** am Fahrzeug und dem Menschen, der diese Bremsen bedient.

Es ist der Mensch, der eine momentane Situation wahrnimmt, die nötigen Schlüsse zieht und das Ergebnis in aktive Handlungen umsetzt, d.h. die Bremsen betätigt.

Beim Bremsen auf dem Motorrad bewirkt jede aktive Handlung direkte Veränderungen des momentanen Zustands. Diese Veränderungen werden wiederum von den menschlichen Sinnen erfasst, im Hirn interpretiert und unmittelbar in korrigierende aktive Handlungen umgesetzt (Bremsdrücke anpassen, Lenkkorrekturen).

Dieser Prozess verläuft kontinuierlich bis zum Ende des Bremsmanövers. Wir sprechen hier von einem **geschlossenen Regelkreis**.

Dieser Regelkreis lässt sich schematisch wie folgt darstellen:



Kern dieses Regelkreises ist unser menschliches **sensomotorisches System**.

Im Klartext heisst das: wahrnehmen einer Situation mit Augen und Gleichgewichtsorgan (auch mit dem Hintern), bewerten, und direkte Handlungsbefehle an Hände und Füsse leiten.

Dieser Prozess ist **zeitkritisch**. Sekundenbruchteile entscheiden über Erfolg oder Misserfolg.

Darin liegt das Problem. Eine Einzelaktion wie das Ziehen der Bremse kann innert 0,1 bis 0,2 Sekunden erfolgen. Aber der geschlossene Regelkreis ist langsam. Man schafft es höchstens 1,5 mal pro Sekunde, Störungen wahrzunehmen und zu korrigieren. Häufig wird überkorrigiert, was zu noch stärkeren Störungen führt, die immer schwieriger zu beherrschen sind.

Man kann diesen Regelkreis auch als Wirkungskette definieren. Leistung und Qualität einer Wirkungskette werden vom schwächsten Glied bestimmt.

Nachdem wir den technischen Stand der Wirkungskette «Bremsen» vorgestellt und zentrale menschliche Eigenschaften betrachtet haben, gibt es keinen Zweifel, dass das Ergebnis einer Vollbremsung auf dem Motorrad primär durch die Stärken und Schwächen des Fahrers bestimmt wird.

Die Hauptursache der vielen Bremsunfälle liegt am Unvermögen der Fahrer, das Potenzial der Bremsen ihres Töffs in jeder Lage zu beherrschen.

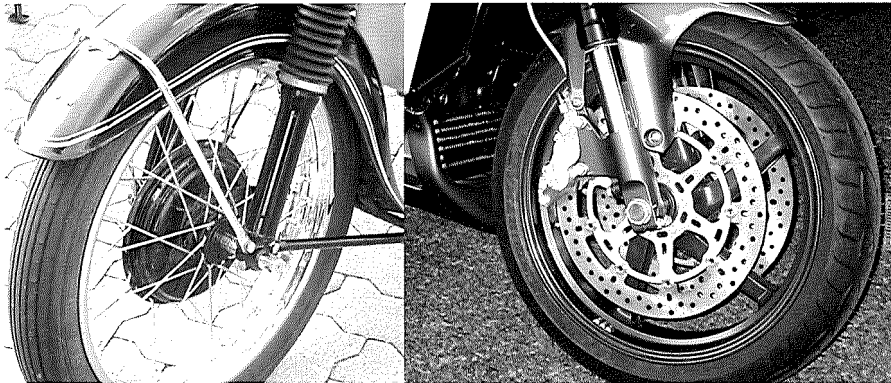
Man kann den Spieß auch umdrehen und sagen, moderne Motorradbremsen sind so gut, dass sie für den Fahrer gefährlich werden. Das scheint paradox, ist aber eine Tatsache, die in einer Studie des Verkehrstechnischen Instituts der Deutschen Versicherer anhand vieler Unfallanalysen untersucht und belegt wurde (Titel «Unfallursache Bremsen»).

Ein Blick auf 50 Jahre Bremsentechnologie macht deutlich, dass die Bremsen heute um Welten besser sind, aber ebenso höhere Ansprüche an den Fahrer stellen und ihn in Not-situationen häufig überfordern.

Mit der Trommelbremse der R 51/3 war es kaum möglich, auf Asphaltstrassen das Vorderad zum Blockieren zu bringen, was mit Top-Scheibenbremsen heute ein Kinderspiel ist.

Weil die menschliche Sensomotorik mit der technologischen Entwicklung nicht Schritt halten konnte, wird die Aussage plausibel, dass moderne Bremsen für den Fahrer auch eine

Gefahr darstellen können. Da ein blockiertes Vorderrad meist zum Sturz führt, gibt es mehr Bremsunfälle. Diese Erkenntnis war Anlass zur Entwicklung von Antiblockiersystemen (ABS) für Motorräder. Eine breite Markteinführung des ABS krankte an der zögerlichen Akzeptanz in der Töffszene. Zu Unrecht. Besserung ist in Sicht.



1953 BMW R 51/3.

2003 Aprilia Tuono.

5. Die Vollbremsung

Die wirksamste Methode, eine drohende Kollision zu vermeiden, ist die Vollbremsung.

Warum eine Vollbremsung auf zwei Rädern viel schwieriger ist als im Auto, und welche Faktoren bei diesem Manöver mitspielen, wollen wir hier betrachten. Dazu ist die Kenntnis der wichtigsten Grundgrössen der mechanischen Dynamik dienlich.

5.1 Physikalische Einflussgrössen

Grundgrössen und Masseinheiten

Weg	Der Meter. Einheit (m)
Zeit	Die Sekunde. Einheit (s)
Masse	Das Kilogramm. Einheit (kg)
Kraft	Kraft = Masse x Beschleunigung. Das Newton. Einheit (N); genau: kgm/s^2 1 kg Masse übt unter dem Einfluss der Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$) eine Kraft von 9,81 N auf die Erdoberfläche aus.
Energie (Arbeit)	Energie = Kraft x Weg (1N x 1m = 1 Nm = 1J [Joule])

Wir unterscheiden zwischen:
Lageenergie (potenzielle Energie) und
Bewegungsenergie (kinetische Energie).

Geschwindigkeit

Sie ist definiert mit Meter pro Sekunde [m/s].

(Kilometer pro Stunde [km/h] liegt uns zwar näher, weil es so auf dem Tacho und auf den Signaltafeln steht. In den Formeln für dynamische Berechnungen aller Art gilt immer m/s. Die Umrechnung ist einfach: km/h geteilt durch 3,6 ist gleich m/s und umgekehrt, z.B. $20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$ [$20 \times 3,6 = 72$]).

Beschleunigung (bzw. Verzögerung)

Beschleunigung ist Geschwindigkeitsänderung pro Zeiteinheit. Die Masseinheit ist m/s^2 . Verzögerung ist Beschleunigung mit umgekehrtem Vorzeichen.

(Erklärung: Ein Meter [m] ist uns bekannt, ein Quadratmeter [m²] auch. Aber woher kommt denn diese Quadratsekunde [s²]? Es gibt sie nicht. Die Zahl ist mathematischer Natur: $[\text{m/s}] / \text{s} = [\text{m/s}] \times [1/\text{s}] = \text{m/s}^2$, [sprich Meter pro Sekunde im Quadrat].

Beispiel: Erfolgt ein Bremsmanöver mit einer Verzögerung von 5 m/s^2 , bedeutet das, dass die Anfangsgeschwindigkeit jede Sekunde um $5 \text{ m/s} = 18 \text{ km/h}$ abnimmt. Fährt der Töff beispielsweise mit 72 km/h [20 m/s], so dauert es 4 Sekunden bis er stillsteht, und der Bremsweg beträgt 40 Meter.

Anmerkung: Das ist keine meisterhafte Bremsung, denn bei trockener Strasse wären Verzögerungen von über 8 m/s^2 möglich. Aber es entspricht dem, was die meisten Motorradfahrer bei Vollbremsungen wirklich erreichen. Note: «knapp genügend».

Oft reden wir auch von «g». 1g entspricht der Beschleunigung, mit welcher frei fallende Gegenstände von Mutter Erde angezogen werden ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Bei 1g liegt auch etwa die Grenze der mit Motorrädern bei besten Bedingungen auf Asphalt erreichbaren Verzögerungen (Rennmaschinen ausgenommen). Bloss schafft das kaum einer von hundert Motorradfahrern. 1g Verzögerung ergibt einen Bremsweg von knapp 40 m aus 100 km/h (!).

Alles klar? – Üben, üben, Freunde!

Reibung

Alle Beschleunigungs-, Brems- und Seitenkräfte (beim Kurven fahren) zwischen Reifen und Fahrbahn werden durch Reibung übertragen. Das Mass der Reibung wird Reibungsbeiwert μ (griechischer Buchstabe «mü»), auch Reibungskoeffizient oder kurz Reibwert genannt.

Die Zahl liegt im Bereich zwischen Null und Eins. Sie ist dimensionslos.

(Auf nassem Glatteis geht dieser Wert gegen Null, bei besten Bedingungen gegen Eins. Mit warm gefahrenen Sportreifen kann auf griffiger Fahrbahn der Wert grösser als Eins sein, weil sich der weiche Gummi mit der rauen Pistenoberfläche verzahnt. Zum Kraftschluss kommt noch Formschluss hinzu. Ohne diese Verzahnung könnten Rennfahrer ihre hohen Bremsverzögerungen nicht erreichen. Und ebenso wenig Schräglagen über 45 Grad.)

Beim Motorradfahren auf der Strasse wollen wir nie die Haftung verlieren. Leider ist der Reibwert beim reinen Gleiten kleiner als wenn noch Haftung da ist. Im Übergangsbereich (Rutschgrenze) kann deshalb das Rad plötzlich wegschmieren. Je nach Typ und Eigenschaften des Reifens geschieht das unterschiedlich sanft oder abrupt.

Der Reibwert bestimmt die vom Reifen übertragbaren Kräfte (Bremsen, Beschleunigen, Kurvenfahren). Die Formel ist einfach:

$$F_0 = \mu \times F_N$$

Übertragbare Kraft = Reibwert mal Normalkraft

(Normalkraft ist die durch das Gewicht von Töff und Fahrer senkrecht auf die Fahrbahn wirkende Kraft.)

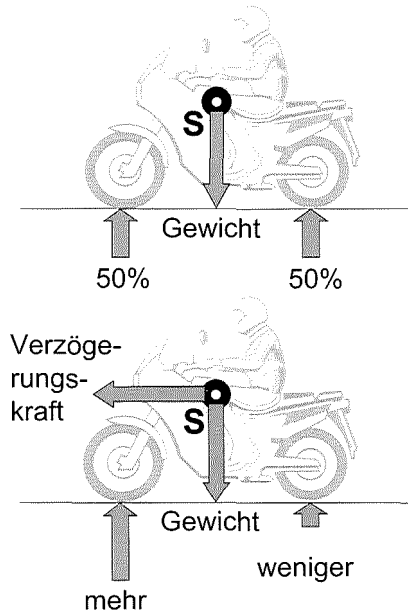
Dynamische Radlastverschiebung

Während der Fahrt verteilt sich die Last von Maschine und Fahrer zu etwa gleichen Teilen auf Vorder- und Hinterrad, mit Sozius ist es hinten mehr. Wenn gebremst wird, ändern sich die Verhältnisse deutlich. Warum?

Verglichen mit Autos haben Motorräder einen kurzen Radstand und mit Besatzung einen hohen Schwerpunkt. Die Verzögerungskraft zieht im Schwerpunkt nach vorn und erzeugt ein Moment um die Querachse. Dadurch nimmt die Last auf dem Vorderrad zu und hinten wird sie kleiner. Je höher die Verzögerung, umso

grösser die Vorderradlast. Im Extremfall hebt das Hinterrad ab und die ganze Last wirkt auf das Vorderrad. Deshalb sind die Bremsen vorne stärker ausgelegt als hinten.

Ein abgehobenes Hinterrad hat null Bremswirkung.



Änderung der Radlasten beim Bremsen.

Diese Wirkung der Massenkräfte erhöht die Anforderungen an den Bremsler auf dem Zweirad massiv (Autolenker drücken einfach aufs Pedal - fertig).

Der Regelkreis Mensch/Maschine wird jetzt aktiv und die menschliche Sensomotorik ist gefordert.

Stabilitätskriterien

Beim Bremsvorgang rütteln verschiedene Einflüsse an der Fahrstabilität unseres Motorrads. Aber was sorgt überhaupt für diese Stabilität? Warum fällt der Töff nicht um?

Motorräder werden durch die Kombination folgender Einflussgrössen am Umfallen gehindert:

- Massenträgheitskräfte
- Kreiselkräfte
- Nachlauf und Rückstellmoment
- Seitenführung

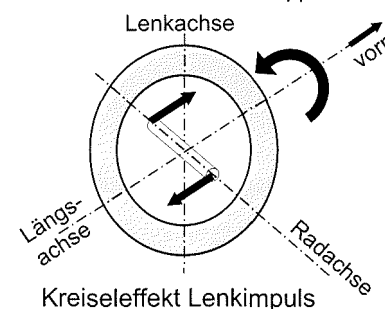
Das sind alles dynamische Kräfte, d.h. damit diese Kräfte wirken, muss sich das Fahrzeug bewegen. Im Stillstand sind sie gleich Null, wirkungslos.

Massenträgheitskräfte: Geradlinig bewegte Massen beharren durch ihre Trägheit in ihrer Bewegungsrichtung. Sie lassen sich nur durch äussere Kräfteinwirkung davon abbringen. Je höher die Geschwindigkeit der bewegten Masse, umso grösser diese Trägheitskräfte und umso besser die Stabilität.

Kreiselkräfte: Auch rotierende Massen erzeugen Trägheitskräfte. Am drehenden Rad entstehen Kreiselkräfte, die das Rad zwingen, Lage und Richtung einzuhalten. Je schneller ein Rad dreht, umso stärker wirken diese geheimnisvollen Kräfte.

Versucht man ein in aufrechter Lage drehendes Rad aus seiner Richtung zu lenken, reagiert es auf seltsame Weise: es neigt sich um die rechtwinklig zur Lenkachse liegende Längsachse, es will quasi «abliegen».

Lenken nach rechts: Töff kippt nach links



Kreiseleffekt Lenkimpuls

(Experiment: Man nehme ein ausgebautes Velorad und halte es an der Achse fest in beiden Händen. Lenkt man das stillstehende Rad nach rechts oder links, geht das problemlos. Jetzt versetze man das Rad in Vorwärtsdrehung. Wird es nun nach rechts ausgelenkt, so kippt es in Schräglage nach links, und umgekehrt. Je brüsker man das Rad auslenkt, mit umso grösserer Kraft kippt es zur Seite. Ursache dieser Reaktion sind die Kreiselkräfte.)

Diesen Effekt nutzen wir auf dem Töff unbewusst beim Einlenken in Kurven. In Linkskurven drücken wir - ohne es zu merken - am Lenker links nach vorn. Dadurch müsste das Vorderrad nach rechts lenken. Das will es zuerst auch, aber die Kreiselkräfte kippen das Rad sofort aus der Senkrechten nach links. Das Motorrad legt sich in die Linkskurve.

(Wie ist doch Motorradfahren kompliziert! Wenn wir in der Stadt im Schritttempo rechts um die Ecke wollen, so lenken wir nach rechts - logisch, oder? Und wenn wir auf der Landstrasse flott in eine Rechtskurve stehen, so lenken wir nach links. Da soll noch einer drauskommen! Die Reaktion der Kreiselkräfte kehrt die Auswirkung der Lenkbewegungen ins Gegenteil um. Wie erwähnt tun wir das unbewusst, instinktiv richtig, es läuft automatisch ab.)

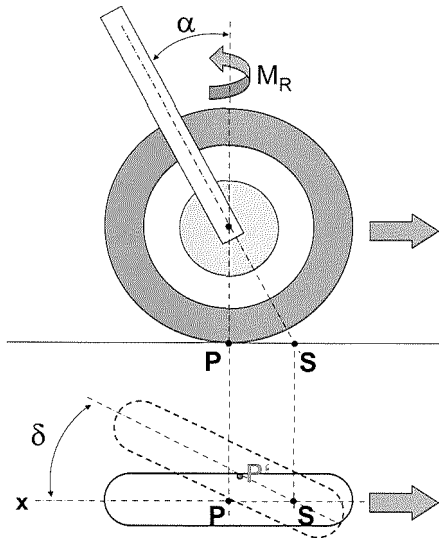
Bei Ausweich-Notmanövern hingegen nutzen wir diesen Effekt (Lenkimpuls) bewusst, indem wir den Lenker kräftig in die Ausweichrichtung drücken. Ohne diesen Lenkimpuls ist kein wirksames Ausweichen möglich, mit dem «Füdl» allein geht das viel zu langsam.

Kreiselkräfte entstehen an beiden Rädern, hinten weniger, vorne konstruktionsbedingt mehr.

Über 80% der stabilisierenden Kreiselkräfte entfallen auf das Vorderrad!

Deshalb ist ein überbremstes Vorderrad gefährlich.

Nachlauf und Rückstellmoment: Der Lenkkopfwinkel eines Töfss ist immer mehr oder weniger schräg (α). Verlängern wir vor unserem geistigen Auge die Lenkachse, bis sie die Fahrbahn berührt, erhalten wir einen imaginären Durchstosspunkt (S). Die Konstruktion des Fahrwerks ist so, dass der Aufstandspunkt des Vorderrads (P) auf ebenem Boden hinter dem Durchstosspunkt liegt. Weil der Antrieb von hinten kommt, zieht die Gabel das Rad der Lenkachse hinterher. Diesen Abstand nennt man Nachlauf.



Nachlauf und Rückstellmoment.

Sobald das Vorderrad von der geraden Spur abweichen will (δ), entsteht ein Drehmoment (M_R) um die Lenkachse, welches das Rad wieder auf die Gerade (x) zurückführt. Diese Korrektur erfolgt automatisch, solange wir im Gleichgewicht auf dem Töfss sitzen.

Seitenführung: Die Haftreibung zwischen Reifen und Fahrbahn gewährleistet beim drehenden Rad auch die Seitenführung, d.h. das Rad wird daran gehindert, seitwärts aus der Spur

zu rutschen. Wenn bei starkem Bremsen die Haftreibung ganz in Gleitreibung übergeht, ist die Seitenführung verloren und das Rad schmiert weg. Passiert das vorne, so ist der Sturz unvermeidlich.

Eigenstabilität: Diese Kräfte sind es also, die sogar ein fahrerloses Motorrad am Umfallen hindern, solange es schnell genug rollt. Rennsieger stehen öfters aufrecht auf den Rasten und strecken die Arme in die Luft. Dazu braucht es – im Gegensatz zum Rennlauf – keine höhere Qualifikation, das können wir auch (bitte nicht auf öffentlichen Strassen ausprobieren!).

Ein Motorrad erreicht seine **Eigenstabilität** ab 25 – 30 km/h. Bei kleineren Geschwindigkeiten muss der Fahrer selber für das Gleichgewicht der Fuhre sorgen. Bei höheren Geschwindigkeiten fällt der Töfss nicht mehr von selbst um.

(Man beachte, wie verkrampt und verbissen die meisten von uns auf Rollsplitt [geradeaus] fahren. Entspannt und ohne Zähneknirschen, die Hände locker am Lenker, geht das viel besser. Der Töfss darf ruhig etwas hin und her schwabbeln, er fällt nicht um – ausprobieren!)

Probleme bei der Vollbremsung

Eine optimale Vollbremsung heisst, mit der höchstmöglichen Verzögerung über den ganzen Bremsweg stabil und in aufrechter Lage bis zum Stillstand auf den Rädern zu bleiben.

Schön wärs! Eine ganze Reihe von Gemeinheiten hindert uns daran. Besonders wichtig sind:

Reibwert Bremsbelag/Bremsscheibe

Der Reibwert zwischen Belag und Scheibe ist nicht konstant. Er verändert sich in Abhängigkeit von Temperatur und Umlaufgeschwindigkeit.

keit. Das heisst, ein konstanter Bremsdruck führt nicht zwingend zu einer konstanten Verzögerung. Gegen Ende der Bremsung, bei kleiner Umlaufgeschwindigkeit, erhöht sich der Reibwert, das Rad kann blockieren.

Reibwert Reifen/Fahrbahn

Die heutigen Reifen sind viel besser als vor 20 oder 30 Jahren. Wichtigste Einflussgrösse ist die **Temperatur**. Kalte Reifen haften schlecht.

Allround-Strassenreifen haben ab 35°C über einen grossen Temperaturbereich gute Eigenschaften.

Im Alltag auf der Strasse kann damit meist bessere Haftung erzielt werden als mit reinen Sportreifen, die erst bei 60 bis 80°C ihre Überlegenheit ins Spiel bringen.

Fabrikneue Reifen weisen an der Oberfläche noch eine Schutzschicht auf, welche die Reibung stark vermindert. Nach Reifenwechsel ist auf den ersten 50 Kilometern erhöhte Vorsicht geboten, damit man nicht schon in der ersten Kurve am Boden liegt.

Noch gewichtiger sind die **unbeeinflussbaren** Eigenschaften der Fahrbahn.

Der Reibwert kann sich ständig und urplötzlich verändern (Schmutz, Sand, Splitt, Wasser, Laub, Oelspuren, Markierungen, Kuhfladen etc.)

Eine besondere Gefahr, die Autolenker kalt lässt, sind die allgegenwärtigen **Bitumenflicken**, die bei Nässe und Hitze wie Glatteis wirken. Das ist amtlich tolerierte Gefährdung der Zweiradfahrer und müsste zum klagbaren Tatbestand erhoben werden.

Das blockierte Vorderrad

Ein blockiertes Vorderrad ist ein grosser Risikofaktor bei einer Vollbremsung und die Hauptursache aller Bremsunfälle. Was läuft dabei ab?

Wird so stark gebremst, dass das Vorderrad blockiert, so fallen dessen stabilisierende Kreiselkräfte auf Null, zudem geht die Seitenführung verloren. Die Fahrt wird schlagartig instabil und ein Sturz ist unausweichlich.



Sturz wegen blockiertem Vorderrad
(Video: www.besser-bremsen.de).

Der Sturz kann nur vermieden werden, wenn man die Bremse sofort soweit löst, dass sich das Rad wieder drehen kann. Und das kostet Bremsweg.

Es kommt noch schlimmer

Moderne, hochwirksame Töfssbremsen verschlimmern die Auswirkungen des überbremsten Vorderrads durch einen Effekt, dessen sich viele Töfssfahrer nicht bewusst sind. Ursache sind wiederum die Massenkkräfte.

Wir wissen:
Bremskraft = Reibwert mal Radlast.

Je höher das Vorderrad belastet ist, umso grössere Kräfte kann es auf die Fahrbahn übertragen.

Der Aufbau der maximalen Vorderradlast (dynamische Radlastverschiebung) benötigt wegen dem Einfedern der Vorderradgabel eine gewisse Zeit ($\geq 0,2$ s). Bei einer Panikbremsung erfolgt der Aufbau des Bremsdrucks schneller (ca. 0,1 s),

Dadurch wirken maximale Bremskräfte auf das Rad, bevor es voll belastet ist und diese Kräfte auf den Boden übertragen kann. Das Rad blockiert früher als erwartet und der Sturz ist programmiert.

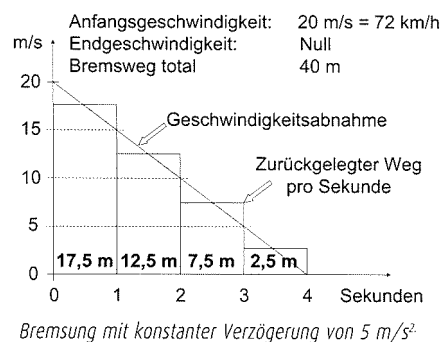
(Anmerkung: Das allein wäre Grund genug für die Forderung nach einem ABS an jedem Strassentöff.)

Bremswegverlust

Ein kurzer Bremsweg ist nur erreichbar, wenn am Anfang der Bremsung eine hohe Verzögerung wirkt.

Betrachten wir unser Beispiel (Tempo 72; Verzögerung 5 m/s²): In der ersten Sekunde der Bremsung legt der Töff 17,5 Meter zurück, in der vierten und letzten nur noch 2,5 Meter. – Mit anderen Worten: Wer am Anfang der Bremsung zögerlich bremst, verliert viel Weg, weil hier die Geschwindigkeit noch hoch ist. Viele Fahrer unterliegen diesem Fehler.

Nachfolgende Grafik erklärt den Vorgang:



Was am Anfang der Bremsung verloren geht, kann nicht mehr zurückgewonnen werden.

Der Fahrer muss schnell einen hohen Bremsdruck erzeugen. In rund zwei Zehntelsekunden soll der Druck bis zur Rutschgrenze,

aber ja nicht darüber hinaus, aufgebaut werden. Der Übergang von Haftreibung in Gleitreibung ist unbedingt zu vermeiden, sonst rutscht das Vorderrad weg.

Geschwindigkeit und Bremsweg

Jeder lernte es für die Prüfung, mancher hat es längst wieder vergessen:

Doppelte Geschwindigkeit ergibt vierfachen Bremsweg.

Darum sei dieser Zusammenhang nochmals erklärt. Dass das so ist, kann man auswendig lernen. Aber um es zu begreifen, muss man wissen, warum das so ist.

Am besten dient dazu ein praktisches Beispiel. Vorher aber noch ein wenig graue Theorie: Jede bewegte Masse beinhaltet eine bestimmte Bewegungsenergie (kinetische Energie) E_k .

Diese Energie nimmt mit steigender Geschwindigkeit **quadratisch** zu. Die Formel lautet:

$$E_k = m \cdot v^2 / 2$$

Energie = Masse mal Geschwindigkeit im Quadrat durch zwei

Das heisst, in dem mit doppelter Geschwindigkeit bewegten Motorrad steckt die vierfache Energie. Diese Energie muss mit den Bremsen bis auf Null abgebaut werden (Vollbremsung zum Stillstand).

Wir wissen: Energie ist Kraft mal Weg, in unserem Fall Bremskraft mal Bremsweg. Die Formel:

$$E_{br} = F \cdot s$$

Bremsenergie = Bremskraft mal Bremsweg

Unter Bremskraft verstehen wir die Reibungskraft zwischen Reifen und Fahrbahn.

Bei Vollbremsung ist die nötige Bremsenergie gleich der abzubauenen Bewegungsenergie ($E_{br} = E_k$). Daraus lässt sich der Bremsweg berechnen.

Beispiel: Ein Töff mit Fahrer wiegt 280 kg. Die Berechnung der Bewegungsenergie ergibt:

• bei 50 km/h: 27 kJ (Kilojoule)

• bei 100 km/h: 108 kJ

(doppelte Geschwindigkeit = vierfache Energie)

Der Abbau dieser Energie erfolgt aber jetzt linear (Bremskraft mal Bremsweg). Das heisst: bei doppelter Energie braucht es auch den doppelten Weg, bei vierfacher Energie den vierfachen usw.

Die berechneten Bremswege für dieses Beispiel ergeben bei einem Reibwert $\mu = 0,8$ (trocken):

• für 50 km/h: 12,28 m

• für 100 km/h: 49,1 m (also 4 mal mehr)

Diese Tatsache ist durch physikalische Gesetzmässigkeiten gegeben und lässt sich nicht überlisten.

Das ist übrigens eine ausgezeichnete Bremsung. Probier mal mit 100 km/h auf 50 Meter zu stehen! Und nimm bitte zur Kenntnis, dass bei Tempo 200 der reine Bremsweg bei gleichen Verhältnissen 200 Meter beträgt. Mit dem Reaktionsweg gibt das eine Anhaltstrecke von über 250 Meter (!).

5.2 Die Realitäten im Alltag

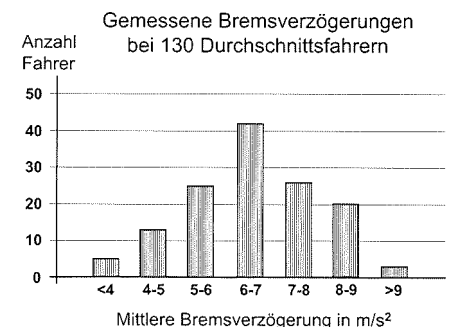
Motorradfahrer müssen öfters scharf bremsen, sei es eine Vollbremsung bis zum Stillstand oder brüskes Abbremsen vor einer Kurve oder einem überraschend auftauchenden Hindernis.

(Anmerkung: Einer der häufigsten Vorfälle innerorts ist der Vortrittsentzug durch Autos bei Einmündungen, Kreuzungen und beim Wegfahren von Parkplätzen. Man hält es kaum für möglich, wie häufig potenzielle Unfallpartner die Geschwindigkeit motorisierter Zweiräder falsch einschätzen oder diese glatt übersehen, und es kommt zur Kollision, bei der der Zweiradfahrer den Kürzern zieht.

Ein besonderes Risiko sind ältere Autolenker. Bei meinen selbst erlebten gefährlichen Begegnungen [ich führte Buch] waren die potenziellen Unfallpartner in 95% der Fälle Senioren. Es scheint, dass deren Wahrnehmung nur auf Autos fokussiert ist. Kommt kein Auto, so kommt nichts. Also wird losgefahren und dem Töff der Weg abgeschnitten.)

Wenn solche Situationen nicht zu einem Unfall führen, erfasst niemand die erzielten Bremswege. Wir gewinnen aber ein Bild über das durchschnittliche Bremskönnen, wenn wir die Ergebnisse von Bremsübungen in Fahrkursen und Sicherheitstrainings betrachten. Die folgenden Ergebnisse wurden bei 130 Kursteilnehmern (keine Anfänger) in Österreich bei Bremsübungen ermittelt.

Wir sehen eine annähernd symmetrische Verteilung von ungenügend bis ausgezeichnet. Das Schwergewicht von über 90 Fahrern liegt im Bereich zwischen 5 und 8 m/s². Der Mittelwert beträgt 6,6 m/s².



Hier ist zu beachten, dass es sich dabei um eine mental vorbereitete Übung auf abgesperrter Piste und nicht um eine unverhoffte Alltagssituation gehandelt hat. Dort wären eher schlechtere Ergebnisse zu erwarten.

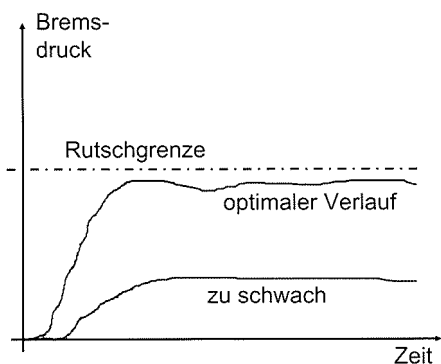
Drei grosse Fehler

Jeder Motorradfahrer weiss, dass er stürzt, wenn er das Vorderrad überbremst. Diese Sturzangst ist verinnerlicht und führt zu folgenden typischen Fehlern, die alle wertvollen Bremsweg kosten:

A. Zu schwaches Bremsen

Vollbremsung heisst nicht moderates Verlangsamens der Fahrt, wie man es vor Kurven oder

Ampeln tut oder wenn einem jemand weiter vorne in die Fahrbahn fährt.



Vollbremsung bedeutet, mit der höchstmöglichen Verzögerung auf kürzeste Distanz stillzustehen. Schwacher Zug an der Bremse (siehe Bild links oben) aus lauter Vorsicht, ja nicht zu stürzen, kann schnell zum doppelten bis dreifachen Bremsweg – und nicht selten zum Unfall – führen.

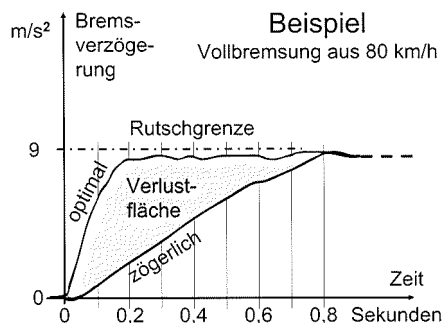
B. Zu zögerliches Bremsen

Viele Töfffahrer tasten sich durch zögerlichen Bremsdruckaufbau an die Rutschgrenze heran. Nun wissen wir aber, dass zu Beginn einer Vollbremsung, bei noch hoher Geschwindigkeit, am meisten Weg zu gewinnen ist. Optimal wäre, den Bremsdruck innert ca. zwei Zehntelsekunden bis an die Rutschgrenze aufzubauen, aber nicht darüber hinaus. Das schafft kaum einer von Hand (Das geht optimal mit ABS-Unterstützung).

Wie gross die Unterschiede sein können, wollen wir uns am folgenden Beispiel ansehen.

Beispiel: Vollbremsung aus 80 km/h. Wie gross ist der Bremswegunterschied zwischen dem optimalen und dem zögerlich zugreifenden Bremser?

Wie gross ist die Restgeschwindigkeit des letzteren am Ort, wo der optimale Bremser stillsteht?



Der optimale Bremser baut den Bremsdruck (und damit die Verzögerung) innert 0,2 Sekunden bis nahe an die Rutschgrenze auf. Der zögerliche Bremser benötigt dazu 0,8 Sek. (Annahme: der weitere Verlauf der Verzögerung sei bis zum Stillstand für beide gleich).

Die Verlustfläche zwischen beiden Kurven rechnet sich aus Verzögerung mal Zeit. Das ergibt eine Geschwindigkeitsdifferenz von 7 km/h bei 0,8 s.

Der optimale Bremser hat hier noch 61 km/h drauf, der zögerliche immer noch gut 68 km/h.

Der Bremswegunterschied beträgt **4 Meter** und die Restgeschwindigkeit am Punkt, wo der optimale Bremser stillsteht, beträgt immer noch **30 km/h**.

Ein Aufprall auf ein Hindernis würde da nicht nur mit einer gestauchten Gabel enden.

Die Bedeutung der **Restgeschwindigkeit** bei Vollbremsungen ist zu wenig bekannt. Diese bestimmt aber in wesentlichem Masse die Unfallfolgen.

(Beispiel: einmal mehr die berühmte 50/60-Frage: Zwei Fahrzeuge – eines fährt 50, eines 60 km/h – erblicken am gleichen Punkt ein Hindernis und bremsen voll. Wie gross ist die Restgeschwindigkeit des mit Tempo 60 fahrenden Fahrzeugs dort, wo dasjenige mit Tempo 50 stillsteht?)

Ob man's glaubt oder nicht: gute 40 km/h! Wäre das Hindernis ein rückwärts in die Fahrbahn rollender Lie-

ferwagen, und stünde der langsamere Fahrer davor still, so knallte der um nur 10 km/h Schnellere noch mit Tempo 40 ins Hindernis. Warum das so ist, probiere selber herauszufinden. Sonst frage deine Kollegen. Und wenn's nicht hilft, einen Fahrlehrer – Tempo 50 innerorts kommt eben nicht von ungefähr.)

C. Zu starkes Bremsen

Das passiert vor allem bei plötzlichem Auftauchen einer Gefahr. Man erschrickt, überbremst und muss die **Bremse sofort lösen**, damit man nicht stürzt. Während der Lösezeit rollt der Töff ungebremst weiter, und man beginnt das Spiel von vorne. Dabei sinkt der Mittelwert der Verzögerung erheblich ab und es geht viel Bremsweg verloren.

Die Gemeinheiten der Fahrbahn

Bremsentests von Fachzeitschriften finden meist auf trockener, sauberer und relativ griffiger Fahrbahn statt. Es geht darum, Bremsysteme verschiedener Motorräder miteinander vergleichen und ihre Eigenschaften bewerten zu können. Dazu braucht es möglichst reproduzierbare Randbedingungen. Kurz: es handelt sich dabei um Laborversuche.

Der Alltag des Strassenfahrers sieht anders aus. Fahrbahnzustand und Reibwert (bzw. die Haftung, der «Grip») können sich häufig ändern, oft überraschend schnell.

Jeder Töfffahrer kennt die folgenden Tücken:

- Bitumenschmierereien (bei Nässe, Hitze)
- Sand, Schmutz, Ackererde (im Herbst)
- Splitt (wird besonders gerne auf schöne Töffstrecken gestreut)
- Regenbeginn nach Trockenheit
- Fahrbahnmarkierungen
- Schachtdeckel aus Gusseisen (liegen immer in der Ideallinie)
- Laub, besonders bei Nässe
- Oelspuren («Regenbogen» auf der Strasse)
- frische Kuhfladen (Jura, Voralpen)

Einige dieser Eigenschaften können auch Autos in Schwierigkeiten bringen.

Führt aber eine Vollbremsung mit einem Motorrad über solche Rutschzonen, besteht ein hohes Sturzrisiko. (Einmal mehr: vorausschauend fahren und die Fahrbahn lesen!)

5.3 Bremsen in Schräglage

Ist das Bremsen auf zwei Rädern in aufrechter Lage schon schwer genug, wird es in der Kurve noch viel anspruchsvoller. Wir wissen es alle: man sollte so vorausschauend fahren, dass man in Kurven nicht scharf bremsen muss. Notbremsungen in Schräglage nehmen allzu oft ein böses Ende. Umso wichtiger ist, dass wir das periodisch üben, damit wir die Reaktionen unserer Maschine in diesem Betriebszustand kennen lernen. Wer sich mit dieser Situation nicht vertraut gemacht hat, ist im Notfall chancenlos.

(Anmerkung: Nie vergesse ich den Moment, als auf kleiner Landstrasse in einer verdeckten Rechtskurve eine stachelbewehrte Heumaschine herrenlos mitten in der Fahrbahn stand. Das ging nur schadlos aus dank angepasster Geschwindigkeit und öfters geübtem Kurvenbremsen. Ein Ausweichen in die Gegenfahrbahn war nicht möglich, weil – wie fast immer – in diesem Moment ein Auto entgegenkam.)

Trotzdem lassen sich, mit Übung, auch in landstrassenüblichen Schräglagen unerwartet hohe Verzögerungen erreichen. Auf der letzten Rille geht aber nichts mehr und der Abflug ist programmiert.

Beim Bremsen in Schräglage treten zwei neue Erscheinungen auf, über die wir Bescheid wissen müssen: das Aufstellmoment und die zusammengesetzten Kräfte (Kammischer Kreis).

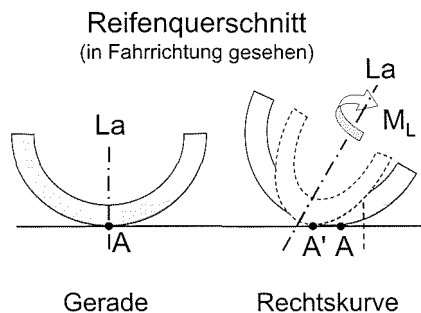
Das Aufstellmoment

Bremsen wir in der Kurve stark, so sträubt sich der Töff gegen die momentane Schräglage und

will sich aufstellen. Diese Reaktion ist unterschiedlich stark. Unerfahrene Biker können ganz schön erschrecken, und manche haben dabei Unfälle gebaut. Durch das Aufstellen vergrößert sich der Kurvenradius und in Rechtskurven droht man auf die Gegenfahrbahn zu geraten.

Ursache dieser Aufstellneigung ist das **Lenkmoment**, das wir vom Einlenken in Kurven bestens kennen. Doch wer spielt denn da den Störenfried und drückt ohne unser Zutun am Lenker?

Es ist die Bremskraft am Vorderreifen. In senkrechter Lage auf der Geraden liegt der Radaufstandspunkt **A** in der Ebene der Lenkachse **La**. In Schräglagen, in Kurven, wandert der Radaufstandspunkt von der Lenkachse weg. Die Bremskraft greift aber im Radaufstandspunkt an und erzeugt ein Drehmoment **M_L** um die Lenkachse **La**.



Dieses Lenkmoment **M_L** wirkt in gleicher Weise wie beim Einlenken. Drücken wir in einer Rechtskurve am Lenker links nach vorn, so verringert der Töff die Schräglage und fährt einen größeren Radius. Und wenn wir in der Rechtskurve bremsen, passiert das gleiche. Die Bremskraft drückt am Radaufstandspunkt **A** nach hinten, da dieser rechts von der Lenkachse liegt. Ob wir nun links nach vorne oder rechts nach hinten drücken, die Wirkung ist dieselbe: der Töff will sich nach links aufstellen.

Das Mass des Aufstellens ist unterschiedlich und hängt primär von der Reifenbreite ab. Ein breiter Schlappen (**A**) stellt stärker auf als ein schmaler Enduro pneu (**A'**). Je grösser der Abstand von Punkt **A** zur Lenkachse, umso stärker das Lenkmoment. Auch die Konstruktion des Reifens spielt eine Rolle. Verschiedene Reifentypen der gleichen Dimension können beim gleichen Töff unterschiedlich starke Aufstellneigung bewirken.

Um beim Kurvenbremsen die Spur zu halten, ist Gegenlenken nötig. Aber aufgepasst: beim Loslassen der Bremse passiert das Umgekehrte, der Töff kippt in die Kurve hinein.

Der Kammsche Kreis

Durch Haftreibung zwischen Reifen und Fahrbahn kann nur ein begrenztes Mass an Kraft übertragen werden. Wird dieses Mass überschritten, geht die Haftung ins Gleiten über und das Rad rutscht weg. Die übertragbare Kraft wird bestimmt durch den Reibwert μ . Dieser ist nicht konstant. Er variiert in weiten Grenzen und hängt von äusseren Bedingungen ab (Fahrbahnbeschaffenheit, trockene, nasse, glitschige oder vereiste Fahrbahn, Qualität, Zustand und Temperatur der Reifen).

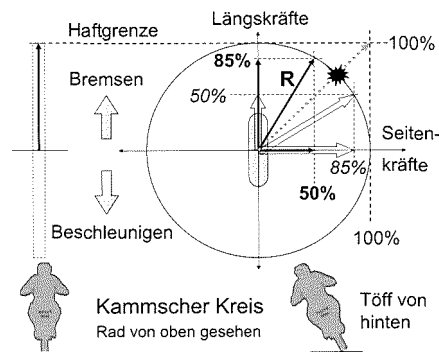
Fahren wir geradeaus, können wir die ganze übertragbare Kraft bis zur Haftgrenze zum Beschleunigen oder zum Bremsen ausnutzen. In der Kurve, also in Schräglage, wird die Sache komplizierter. Das lässt sich mit dem Kammschen Kreis erklären.

Beim Beschleunigen oder Bremsen in aufrechter Lage auf ebener Fahrbahn erzeugen wir nur Längskräfte. Wir können dabei die Haftgrenze voll ausnutzen (im Bild auf Seite 23 links).

Sobald wir eine Kurve fahren, entstehen durch die Zentrifugalkraft Seitenkräfte am Reifen, die das Rad in der gebogenen Spur führen. Auch seitwärts lässt sich die Haftgrenze voll ausnutzen,

wenn wir in maximaler Schräglage um die Kurve wetzen.

Diese **Kurvengrenzgeschwindigkeit** ist je nach Töff- und Reifentyp verschieden.



Erzeugen wir aber gleichzeitig Längs- und Seitenkräfte (z.B. beim Bremsen oder Beschleunigen in Schräglage), entsteht eine zusammengesetzte Kraft: die Resultierende **R**. Damit wir nicht ins Rutschen kommen, muss die Resultierende innerhalb des Kreises bleiben. Der Kreis stellt die Haftgrenze dar. Wollen wir in voller Schräglage noch tüchtig bremsen, so wird die Haftgrenze überschritten (siehe gestrichelte Resultierende).

In der Regel vertragen Schräglagen höhere Bremskräfte, als wir vom Gefühl her erwarten. So kann bei 50% Seitenkraft (das entspricht etwa 26 Grad Schräglage), vor dem Abrutschen immer noch bis zu 85% der möglichen Bremskraft aufgebracht werden. Das verzögert mächtig (Drei Viertel aller Biker greifen nicht einmal in aufrechter Lage so stark zu. Ebenso viele überschreiten auf Landstrassenfahrten kaum je 25 Grad Schräglage.). Bei 85% Seitenkraft (das sind 40 Grad Schräglage) liesse sich immer noch bis gegen 50% verzögern. (Rennfahrer schaffen dank Verzahnung der warmen Reifen mit dem Pistenbelag noch einiges mehr.)

Bei Kurvengrenzgeschwindigkeit hingegen führt jedes Bremsen oder Beschleunigen zum Abflug.

WICHTIG! Auf Landstrassen sollen die eben beschriebenen Grenzbereiche beim Kurvenbremsen keinesfalls voll ausgenutzt werden. Weiche Gabeln können beim Überfahren von Buckeln auf Anschlag gehen, weil der Federweg durch das Einfedern unter der erhöhten Vorderradlast schon fast aufgebraucht ist. Dabei kann das Vorderrad den Bodenkontakt verlieren, was in Schräglagen sturzgefährlich ist.

Auch plötzlich auftretende Stellen mit schlechter Haftung verlangen nach **genügend Reserven**.

Beim Kreisfahren auf einem topfebenen Platz oder beim Fahren auf Rundstrecken mit Sportmaschinen darf man sich durchaus diesen Limiten annähern.

Der Durchmesser des Kammschen Kreises hängt vom momentanen Reibwert ab und kann stark ändern. Auf nassem Glatteis ist der Kreis so klein, d.h. der Reibwert so gering (<0,1), dass Zweirad fahren kaum mehr möglich ist, weil nicht einmal die zur Seitenführung bei Geradeausfahrt nötige Kraft übertragen werden kann.

Die Proportionen der Kräfte innerhalb des Kreises bleiben, unabhängig vom Durchmesser, immer gleich.

(Anmerkung: Bei Motorrädern mit geringer Schräglagenfreiheit, z.B. viele Chopper und Cruiser, wird die Kurvengrenzgeschwindigkeit nicht von der Reifenhaftung, sondern von aufsetzenden Rahmenteilern limitiert. Die von den Reifen her mögliche Schräglage kann gar nicht ausgenutzt werden.)

Praxis des Kurvenbremsens

Der Bremsvorgang in aufrechter Lage spielt sich in einer senkrechten Ebene in Fahrtrichtung ab. In Schräglage kommt die dritte Dimension dazu.

Das Kurvenbremsen ist ein dynamischer Vorgang im räumlichen Koordinatensystem, bei welchem jede Änderung in einer Achse die anderen beiden beeinflusst. Kompliziert? – Und wie!

Bremsen in Schräglagen ist das schwierigste Fahrmanöver. Ohne Übung geht das nicht! Aber kaum jemand übt. Davon zeugen leider immer wieder typische Kurvenbremsunfälle.

Mein Rezept: So fahren, dass man in der Kurve nicht bremsen muss, und so üben, dass man es notfalls könnte.

Die meisten Motorradfahrer sind des Bremsens in der Kurve nicht kundig. An der Prüfung wird das nicht verlangt (Erstaunlich, dass man sich über eines der anspruchsvollsten Fahrmanöver nicht ausweisen muss.).

Es gibt aber Fahrlehrer, die das Kurvenbremsen in ihren Unterricht einbauen, zumindest ansatzweise. Die Hunderttausende, welche den Ausweis schon haben, profitieren davon nicht. Und in freiwilligen Weiterbildungskursen wird Kurvenbremsen erst auf fortgeschrittener Stufe instruiert. Motorradfahrer, die diese Kunst erlernen wollen, müssen sich aus eigener Initiative darum bemühen.

Es werden zwei verschiedene Bremstechniken praktiziert, das Aufstellen und das progressive Bremsen.

Aufstellen

Bei Wahrnehmung des Hindernisses stellt man durch einen kräftigen Lenkimpuls den Töff aus der Schräglage auf und bremst wie bei Geradeausfahrt.

(Meine Meinung: Diese Technik macht Sinn in Linkskurven, wenn die Gelegenheit zur «Flucht ins Gelände» besteht. In Rechtskurven reicht die Fahrbahnbreite für dieses Manöver nicht aus. Alle Übenden gerieten dabei in die Gegenfahrbahn. Viele benötigten die eigene Fahrbahnhälfte allein für das Aufstellen und bremsen erst jenseits der Mittellinie. Im Alltag werden solche Landstrassenkurven eher schneller gefahren, was noch mehr Platz erfordert. Und der fehlt. Deshalb bezweifle ich den zweiten Weg.)

Progressives Bremsen

Bei Wahrnehmung des Hindernisses folgt man dem Kurvenradius und bremst vorne progressiv. Das Aufstellen des Töffs kompensiert man mit Gegenlenken. Mit abnehmender Geschwindigkeit verringert sich die Schräglage und man kann immer stärker – gegen das Ende hin voll – bremsen bis zum Stillstand.

Dieses Manöver erfordert ein anderes Vorgehen als die Vollbremsung bei Geradeausfahrt:

- progressiv bremsen (nicht sofort an die Rutschgrenze gehen)
- Fuss weg vom Bremspedal! Bricht in der Kurve das Hinterrad aus, wird die Beherrschung des Manövers etwas für Profis und Supermotards
- Blickführung: kurz vor dem Stillstand nicht mehr in die Kurve blicken, sondern tangential zur Kurve geradeaus, d.h. in Rechtskurven nach links und in Linkskurven nach rechts. Man droht sonst am Ende der Bremsung in die Kurve hinein abzukippen.

(Ich machte diesen Fehler in einem Fahrkurs, und meine Bremsung endete mit einem Umfaller beim Stillstand. Nach korrigierter Blickführung funktionierte das Manöver tadellos.)

Eine kontrollierte Vollbremsung in Schräglage ist sehr schwierig. Das Manöver besteht aus mehrfach überlagerten Bewegungsabläufen. Wenige beherrschen das. Und ohne Übung geht rein gar nichts!

Nach einigem Training wundert man sich dennoch, welche kurze Bremswege auf trockener Bahn in Schräglagen möglich sind. Da sich der Reibwert auf Landstrassen überraschend schnell ändern kann, sind aber immer Sicherheitsreserven vorzusehen.

Der beste Weg ist nach wie vor, vorausschauend und mit angepasstem Tempo so in die Kurve zu fahren, dass man dort nicht voll bremsen muss, wenn plötzlich ein Hindernis auftaucht.

Autolenker kümmert solches wenig. Sie drücken auch in der Kurve voll aufs Pedal. Das ABS wird es schon richten.

(Achtung! Gilt nur für Autos. Töff-ABS beherrschen das in Kurven nur beschränkt. Siehe Kapitel 6.3)

5.4 Bremsen im Schreck

Wer in Weiterbildungskursen Bremsübungen macht, kann sich mental auf die Bremsung vorbereiten.

Der Bremspunkt ist mit Pylonen markiert, die Übung wird vom Instruktor erklärt und vorgezeigt.

Man stellt sich bereits vor dem Losfahren im Kopf auf die nächste Bremsung ein.

Das ist gut und nützlich, aber Schule bleibt Schule. Auf der Strasse wird es schwieriger. Wenn bei der nächsten Einmündung ein wartendes Auto unvermittelt losfährt (siehe Bild), oder wenn uns ein entgegenkommender Linksabbieger plötzlich die Fahrbahn abschneidet, sind wir weder mental vorbereitet, noch ist der Bremspunkt markiert. Die Bremsung kommt überraschend.



Foto: www.besser-bremsen.de

In einer Übung führen je zwei Kursteilnehmer seitlich versetzt hintereinander und der vordere musste an beliebiger Stelle voll bremsen. Das war noch keine echte Überraschung – man wusste ja, dass der Vordermann irgendwo bremst – doch schaffte keiner den Stillstand, ohne am Bremsenden vorbeizuziehen. Ohne den seitlichen Versatz wären alle dem Vordermann ins Heck gekracht.

Ähnliche Bedingungen gab es in einem Test, wo jeder Fahrer eine Lampe auf den Töff montiert bekam, die von einer Drittperson gesteuert wurde.

Beim Aufleuchten der Lampe war eine Vollbremsung fällig. Bei derart realitätsnahen Fahrten wird meist schlechter gebremst als in schulmässigen Übungen mit markiertem Bremspunkt.

Alle diese Übungen bringen zwar Überraschung ins Spiel, aber mit Schreck haben sie nichts zu tun.

Was heisst Schreck?

Der Verhaltensforscher, Motorradinstructor und Buchautor Prof. B. Spiegel sagt:

Ein Ereignis muss plötzlich, überraschend und bedrohlich eintreten, damit es Schreck auslöst.

Die Plötzlichkeit können wir nicht beeinflussen. Hingegen plädiert Spiegel dafür, durch mentales und aktives Training Überraschungseffekt und Bedrohlichkeit anzugehen und sie damit zu entschärfen. Demzufolge müsste ein plötzlich auftretendes Ereignis dann nicht mehr Schreck auslösen.

Die Richtigkeit dieser Empfehlung ist nicht zu bestreiten. Es braucht aber langes und regelmässiges Training, um dem Ziel der Schreck-

vermeidung näher zu kommen. Hand aufs Herz, liebe Leserinnen und Leser – wer tut das?

(Anmerkung: Ich habe bisher mit Training erreicht, dass mich Kies oder Kuhfladen in einer Rechtskurve nicht mehr erschrecken. Als aber in einer abschüssigen Waldpartie ein Reh hinter einem Busch hervor über die Fahrbahn setzte, erschrak ich mächtig und riss voll an der Bremse. Der Sturz fand nicht statt – dank ABS!)

Physiologische Abläufe und Auswirkungen

Wir kennen den Ausdruck «gelähmt vor Schreck». Der kommt nicht von ungefähr. Die vom schreckauslösenden Ereignis ausgehenden Reize greifen über das Nervensystem in die vegetativen Funktionen unseres Körpers ein. Das kann von Blässe und Schweissausbruch über gesteigerte Herzfrequenz bis zu Krämpfen und partiellen Lähmungen führen. Die Anfälligkeit und das Ausmass dieser Wirkungen sind individuell verschieden.

So oder so wird die menschliche Sensomotorik gestört. Die vielschichtige Bewegungskoordination für eine erfolgreiche Vollbremsung auf zwei Rädern funktioniert im Schreck nicht. «Popometer» und Fingerspitzengefühl sind ausser Betrieb. Eine kontrollierte Bremsung ist in diesen Sekunden unmöglich und der Unfall ist nur mit viel Glück zu vermeiden. Erschwerend kommt hinzu, dass in der kritischen Zeitspanne meist nicht nur ein einziger Fehler, sondern eine ganze Abfolge davon produziert wird, weil der Regelmechanismus zur Unterbrechung dieser Fehlerkaskade blockiert ist. Ein Fehler zieht den andern nach.

Ursache der meisten Bremsunfälle mit nachfolgendem Sturz ist eine **Schreckbremsung**.

6. Technische Bremshilfen

Laut Gesetz müssen Motorräder mit zwei voneinander unabhängigen Bremskreisen ausgerüstet sein. Wir kennen das: Handbremse vorne, Fussbremse hinten. Damit ist den Vorschriften Genüge getan. Nur – im Notfall ist die Bremswirkung entscheidend, nicht die Vorschriften. Die Schwierigkeiten, welche Fahrer von Motorrädern mit modernen Bremsanlagen bei einer Vollbremsung heute meistern müssen, konnten sich die Paragraphenschreiber von damals kaum vorstellen.

6.1 Verbundbremsen / Integralbremsen

Auf der Suche nach technischen Verbesserungen brachte Moto Guzzi bereits 1974 eine Verbundbremse auf den Markt. Bremste man mit der Fussbremse das Hinterrad, so bremste das Vorderrad mit. 1976 baute Honda eine Rennmaschine mit einer Verbundbremse und nannte dieses System CBS (Combined Brake System), kurz: Kombibremse. Es dauerte aber noch etliche Jahre, bis sich ein ausgereiftes CBS in Serienmaschinen durchsetzte. Ein Meilenstein in dieser Geschichte war 1993 die CBR 1000 mit dem Dual CBS.

Honda baute das CBS in zwei Varianten:

- *Single CBS:* Die Handbremse bremst nur vorne, die Fussbremse hinten und vorne. Böse Zungen sagen, das sei etwas für die «Autobremser», also für Leute, die zum Bremsen einfach mit dem Fuss aufs Pedal drücken. Natürlich ergibt sich eine deutliche Bremswegverkürzung, wenn auch vorne mitgebremst wird.
- *Dual CBS:* Egal, ob man mit der Hand oder mit dem Fuss bremst, es werden immer Anteile beider Bremsen aktiviert. Die Vertei-

lung der Bremskraft auf Vorder- und Hinterrad erfolgt nach einem vorgegebenen, fest eingestellten Verhältnis.

Trotzdem: wer die volle Bremsleistung abrufen will, muss beide Bremsen betätigen.

Eine CBS-Verbundbremse kann Vorteile bringen. Sie erreicht aber niemals die Sicherheit eines ABS.

BMW ging ähnliche Wege und nennt sein Verbundbremssystem Integralbremse. Mit Ausnahme der 650er-Einzyylindermodelle sind neue BMW mit einer Integralbremse ausgerüstet, sofern sie über ein ABS verfügen. BMW, die ohne ABS bestellt werden – und das sind wenige – haben eine konventionelle Bremsanlage, d.h. vorne und hinten je eine separate Bremse.

Bei den mit ABS und Bremskraftunterstützung ausgerüsteten Modellen gibt es zwei Varianten:

- *Teilintegralbremse:* Der Handbremshebel wirkt auf das Vorderrad und das Hinterrad, der Fussbremshebel nur auf das Hinterrad. Dadurch lässt sich das Motorrad beim Langsamfahren und beim Abbiegen um Hausecken feinfühlig und ohne Kipprisiko verzögern. Sportlich angehauchte Fahrer können vor dem Anbremsen einer Kurve den Töff mit der Hinterradbremse «strecken».
- *Vollintegralbremse:* Die Tourermodelle LT und RT haben ein vollintegrales Bremssystem. Sowohl der Hand- als auch der Fussbremshebel wirken voll auf beide Bremsen.

Bei BMW erfolgt die Bremskraftverteilung adaptiv. Eine Regeleinheit verteilt die Bremskraft abhängig vom Beladungszustand auf beide Räder. Mit Sozius kann hinten mehr Bremskraft auf die Fahrbahn gebracht werden als ohne. Der aktuelle Beladungszustand wird aus der ersten Bremsung im Regelbereich nach Beginn der Fahrt errechnet (deshalb nach dem Weg-

fahren bitte einmal voll reinlangen!). Dieser Wert wird gespeichert, solange die Zündung eingeschaltet bleibt. Jede Bremsung im Regelbereich errechnet die Bremskraftverteilung neu. So kann eine optimale Bremskraftübertragung und ein möglichst kurzer Bremsweg erreicht werden.

6.2 Bremskraftverstärker

Autos haben Servobremse. Das ist heute Standard und niemand spricht darüber. Als Fahrer merkt man das nur noch, wenn man mit abgestelltem Motor die Garageneinfahrt hinunterrollt und plötzlich anhalten sollte. Man muss sich tüchtig gegen das Bremspedal stemmen, damit der Wagen hält.

Motorräder kannten bisher kraftunterstützte Bremsen nicht. Moderne Töffbremsen sind so ausgelegt, dass man mit zumutbarer Handkraft genügend hohe Bremskräfte erzeugen, ja sogar das Rad blockieren kann.

Bremsen sind ein Sicherheitsfaktor. Wenn sich die Sicherheit jetzt noch mit Komfort paaren liesse, umso besser. So entwickelte BMW einen elektro-hydraulischen Bremskraftverstärker, der heute in den Mehrzylindermaschinen zu finden ist. Vorteile sind höhere Bremswirkung mit weniger Kraftaufwand sowie schnellerer Bremsdruckaufbau. Beides verhilft zu kürzeren Bremswegen.

Die Dosierbarkeit dieser Servobremse wurde anfänglich kritisiert. Besonders die Fussbremse beim Vollintegralsystem erforderte viel Gespür, um beim Antippen des Pedals nicht gleich voll zu ankern. Die Dosierbarkeit wurde seither laufend verbessert. Bei den 2004-Modellen ist sie recht nah am Ziel.

Nun haben wir gelernt, dass eine derart wirkungsvolle Bremse für Durchschnittsfahrer gefährlich werden kann. Jeder Töfffahrer kennt die Pro-

blematik des blockierten Vorderrads. Das weiss auch BMW.

Deshalb kommt der Bremskraftverstärker nur zusammen mit einem Antiblockiersystem (ABS) zur Anwendung.

6.3 Antiblockiersysteme (ABS)

Das Thema ABS spaltet die Töffgemeinde. Die Meinungen reichen von «Alle Bremsen Sicher» bis zu «Anfänger-Brems-System».

Es geht mir in diesem Kapitel darum, dem Leser Antiblockiersysteme und ihre Eigenschaften, Vorteile und Einschränkungen näher zu bringen.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die grundsätzliche Funktion und auf das, was Antiblockiersysteme heute können, bzw. nicht können und was ein ABS dem Fahrer bringt.

Grundlagen dazu sind die fahrphysikalischen Abläufe beim Bremsvorgang, die Grenzen der menschlichen Sensomotorik und reiche eigene Erfahrung auf diversen ABS-Maschinen.

Wer wissen möchte, wie diese Blockierverhinderer diverser Marken im Detail funktionieren, und worin sie sich unterscheiden, soll sich bitte bei den Herstellern oder in der Fachpresse informieren.

Zweck des Motorrad-ABS

Der Zweck ist ein anderer als beim Auto. ABS ist nicht gleich ABS. Ein ABS am Auto ermöglicht beim Bremsen in Kurven eine ausreichende Lenkbarkeit, indem die Räder nicht blockieren und der Wagen nicht ausbricht, weil genügend Haftreibung und Seitenführung erhalten bleiben.

Anders beim Motorrad. Ein Dauerrisiko für jeden Töfffahrer ist ein Sturz durch ein überbremstes, blockiertes Vorderrad (siehe Kapitel 5).

Wenn nun ein technisches System das Blockieren des Vorderrads bei jedem Fahrbahnzustand verhindern kann, unterbleibt in den meisten Fällen der Sturz, auch wenn hart zugelangt wird.

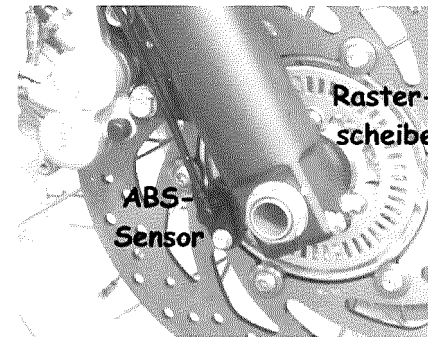
Ein Motorrad-ABS hat zum Zweck, die Sicherheit der Fahrer zu erhöhen durch:

- Verhinderung von Stürzen
- Höhere Ausnutzung des Bremsenpotenzials

Grundsätzliche Funktionsweise

Ein ABS besteht aus einer Sensorik, einem elektronischen Rechner und einer hydraulischen Einheit mit Druckmodulator und Ventilen.

Jedes Rad trägt eine Loch- oder Rasterscheibe. Ein Sensor tastet diese Scheibe berührungslos ab. Dreht sich das Rad, so entstehen elektrische Impulse. Deren Frequenz folgt der Radumdrehungszahl. Steht das Rad still, so gibt es keine Impulse, die Frequenz ist gleich null.



Beim Bremsvorgang wird mit dem Bremshebel Druck erzeugt, welcher wie gewohnt die Bremsen betätigt. Solange sich das Rad noch dreht, tut der Druckmodulator nichts. Wir nehmen die gewohnte Bremswirkung wahr. Droht ein Rad aber stillzustehen, sinkt die Frequenz des Sensors gegen null. Der Rechner veran-

lasst den Druckmodulator sofort den Bremsdruck abzusinken. Dadurch kann sich das Rad wieder drehen, obwohl man immer noch fest am Hebel zieht. Je nach Hersteller und Modell spürt man ein mehr oder weniger starkes Pulsieren im Bremshebel. Bei neusten Systemen ist das Pulsieren kaum mehr spürbar. Einfachere ABS regeln 5 – 6 mal pro Sekunde, aufwendigere Systeme 14 – 15 mal.

Das heisst: Ein modernes ABS kann das Vorderrad 5 bis 15 mal pro Sekunde an die Blockiergrenze bringen und sofort wieder drehen lassen, auch dann, wenn sich die Blockiergrenze wegen unterschiedlicher Griffigkeit der Fahrbahn rasch ändert (Reibwertsprünge).

ABS in der Praxis

Kritiker behaupten, ohne ABS erreiche man kürzere Bremswege. Das ist ebenso richtig wie falsch. Der Schlüssel liegt im Wörtchen «man».

Mit einer modernen Bremsanlage ohne ABS kann man auf idealer Fahrbahn enorm kurze Bremswege erreichen, wenn das Potenzial voll ausgeschöpft wird. Dazu muss die Verzögerung über den ganzen Bremsweg nahe an der Blockiergrenze liegen. Solche Spitzenwerte lassen sich mit ABS nicht ganz erreichen, weil an der Blockiergrenze das ABS öfters den Bremsdruck absenkt. Dadurch wird die mittlere Verzögerung minim kleiner und der Bremsweg ein wenig länger. Theoretisch haben die Kritiker Recht. In der Praxis liegen sie voll daneben.

Denn nun kommt das Entscheidende: wer ist «man». Ist es der Profi-Testfahrer, der sich auf idealer Bahn für technische Vergleiche von Bremsanlagen vor der Messung schrittweise an die Grenze des Machbaren herantastet? Oder sind wir es, du oder ich, wenn wir auf der Landstrasse lustvoll dahin gleiten und plötzlich vor einem entgegenkommenden Linksabbieger den Anker werfen müssen?

Der Ausgang solcher Vorfälle wird von den Realitäten bestimmt. Ohne ABS erreichen weder der Testprofi noch wir im **ersten** Versuch so hohe Verzögerungswerte wie das mit ABS möglich ist.

Im Notfall haben wir nur einen Versuch und können nicht vorher ausprobieren, ob an genau dieser Stelle die Fahrbahn auch schön griffig ist.

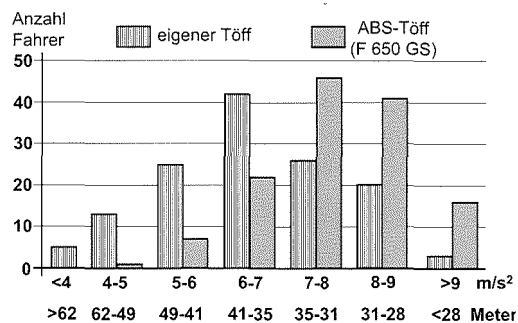
Das ABS verzögert unabhängig vom Fahrbahnzustand immer nahe an der Blockiergrenze, auch wenn sich die Griffigkeit innert wenigen Metern drastisch verändert. Damit können wir das, was die Bremsen unseres Töffs zu leisten vermögen, besser ausnutzen, ohne einen Sturz befürchten zu müssen. Und wir können durch angstfreies, schnelles Zupacken den Bremsweg nochmals verkürzen, weil am Anfang der Bremsung der Gewinn am grössten ist.

Im Alltag ist eine ABS-Bremse überlegen.

Dies zeigte ein Feldversuch mit 130 Töfffahrern wie du und ich. Ihre bei schulmässigem Bremsen erreichten Verzögerungen wurden zuerst auf dem eigenen Töff – ohne ABS – gemessen. Dann gab man ihnen eine F 650 GS ABS, erklärte ihnen das ABS, liess sie ein paar Probebremsungen machen und mass erneut die Verzögerungen bei Vollbremsung. Obwohl der ABS-Töff nicht die vertraute eigene Maschine war, erzielten alle ein besseres Resultat. Es gab keine schlechten Bremsen mehr und die guten nahmen überproportional zu (s. Grafik).

Damit ist belegt, dass auch gute Bremsen von ABS profitieren. Dabei nutzten viele das Potenzial der ABS-Bremse nicht aus. Bei voller Ausnutzung liegen auf trockener Fahrbahn Werte über 8 m/s^2 drin. Das Argument, ABS sei nur etwas für Banausen, gehört in den

Papierkorb. Neueste Untersuchungen zeigten überdies, dass Herzfrequenz und Muskelanspannung während einer Vollbremsung bei ABS-Bremsern deutlich tiefer waren. Ein weiterer Pluspunkt zugunsten der Sicherheit.



Bremsverzögerung von 130 Durchschnittsfahrern und resultierender Bremsweg aus 80 km/h .

Optimale Bremswirkung bei unterschiedlichsten Bedingungen erzielen Bremsanlagen, bei welchen Verbundbremsen mit ABS kombiniert sind. (Aktuelle Beispiele: Honda CBS-ABS; BMW Integral-ABS).

Einschränkungen

Bremsen in der Kurve

Im Gegensatz zum Auto ist ein Motorrad-ABS nur beschränkt kurventauglich. Bremsen in Schräglage stellt bekanntlich höchste Ansprüche. Heutige ABS unterstützen diesen Vorgang nicht perfekt. Ein Teil der Reibungskraft wird immer für die Seitenführung gebraucht (siehe Kapitel 5.3, Kammscher Kreis) und steht als Bremskraft nicht zur Verfügung.

Ein voll kurventaugliches ABS müsste deshalb den Regelbereich schräglagenabhängig nach unten verschieben. Diese Technologie ist noch nicht reif. Langsam regelnde ABS können zudem durch ihr Pulsieren Unruhe ins Fahrwerk bringen. In Schräglage ist das unerwünscht.

Zwar funktioniert ein ABS bei leichteren Schräglagen (bis gegen 20°) gut. Die Bremsung gelingt keineswegs schlechter als ohne ABS. Trotzdem sollten ABS-Fahrer sich antrainieren, in Kurven nicht brüsk bis in den Regelbereich zu bremsen.

In einer Schrecksekunde können wir das Mass unserer Schräglage nicht ausreichend abschätzen. Sind wir zu schräg, kann auch ein ABS das Wegschmieren nicht verhindern. Sollten wir doch einmal in der Kurve bremsen müssen, dann so wie im Kapitel 5.3 beschrieben. Die beschränkte Kurventauglichkeit ist aber kein Argument gegen ABS.

Salto mortale: Töffs mit kurzem Radstand und hohem Schwerpunkt (Sportler, Streetfighter und Enduros) heben bei hohen Verzögerungswerten, d.h. bei griffiger Fahrbahn und warmen Reifen das Hinterrad und neigen gar zum Überschlag. Bevor das Hinterrad allzu hoch steigt (siehe Titelbild), löst man tunlichst kurz die Bremse, um den Salto mortale zu vermeiden.

ABS-Bremsen garantieren hohe Verzögerungen. Dadurch besteht ein Überschlagrisiko. BMW rüstet deshalb viele Modelle mit einem Überschlagschutz aus. Bei abgehobenem Hinterrad löst die Vorderradbremse kurz, sodass das Hinterrad wieder auf den Boden kommt.

Merke: Nicht jedes ABS schützt vor Überschlägen!

Spontanes Lösen der Bremse

Der Vollständigkeit halber sei noch ein Punkt erwähnt, der bei einigen ABS verbesserungsfähig ist. Es kann passieren, dass bei scharfem Anbremsen einer Kurve auf welliger Fahrbahn (von Schwerverfahrzeugen aufgestossene Buckel) das Fahrwerk in Schwingungen gerät, welche das Vorderrad stark entlasten. Dadurch neigt das gebremste Rad zum Blockieren, was vom

ABS sofort durch Lösen der Bremse verhindert wird. Der Töff macht plötzlich einen Sprung nach vorne. Das kann Unerfahrene ganz schön erschrecken. In diesem Fall darf man nie vor Schreck die Bremse loslassen! Dranbleiben, es greift sofort wieder.

Nach meiner Erfahrung kommt dies nicht allzu häufig und nicht bei jedem ABS vor. Am besten probiert man an geeigneter Stelle aus, wie der eigene Töff reagiert. So kann man Überraschungen vorbeugen.

Persönlicher Kommentar zu ABS am Töff

Zum Ersten: Motorradfahren ist eine emotionale Sache. Unsere kleine Welt wäre ärmer, wenn wir den geliebten Töff nicht reiten könnten! Egal, ob wir uns einem behäbigen Chopper, einem fahrdynamischen Sporthobel oder einem dicken Tourenschiff verschrieben haben.

Zum Zweiten: Bremsen auf zwei Rädern folgt physikalischen Gesetzen, die wir weder schönreden noch überlisten können. Egal, ob wir Schönwetterfahrer, abgebrühte Langstreckentouristen oder Piloten der Kurvenwetter-Fraktion sind.

Zum Dritten: In Schrecksituationen sind unsere Sensomotorik und unser Regelvermögen eingeschränkt oder gar blockiert. «Popometer» und Fingerspitzengefühl sind ausser Betrieb. Dass dabei ein ABS an Strassentöffs die Sicherheit der Fahrer erhöht, ist erwiesen. Viele Bremsunfälle könnten durch flächendeckende Einführung von ABS verhütet werden.

Was Not tut, ist Bewusstseinsbildung und Abbau von Vorurteilen. Die meisten ABS-Kritiker verbreiten eine vorgefasste Meinung. Sie haben weder selber mit ABS-Töffs gebremst noch sich mit der Komplexität einer Vollbremsung auf zwei Rädern auseinandergesetzt. Und sie überschätzen ihre Fähigkeiten.

Auf der Rennstrecke braucht es kein ABS. Dort herrschen andere Bedingungen und es wird anders gebremst. Hobby-Sportpiloten fahren aber ihre meisten Kilometer auf öffentlichen Strassen, nicht auf Rundstrecken. Und bei einem Vergleichstest unter Fahrern unterschiedlicher Motorradtypen schnitten ausgerechnet die Fahrer von Sportmotorrädern am schlechtesten ab.

Ein Sport-ABS dürfte etwas «schärfer» abgestimmt und müsste abschaltbar sein.

Beim technischen Stand der heutigen Bremsen ist das ABS am Motorrad, was die Sicherheitsgurte im Auto. Bei deren Einführung gab es auch jegliche Einwände. Heute ist der Nutzen unbestritten und Gurten tragen wurde Pflicht.

Ein ABS macht den Töff nicht langsamer und nicht schneller, es macht ihn nur sicherer. Ein Restrisiko bleibt immer. Hundertprozentige Sicherheit gibt es nicht. Und man muss aus ABS auch keine Religion machen. Nur haben muss man es.

ABS am Töff ist die Sicherheitsgurte des Bikers.



7. Training – das A und O des Bremsens

Wer diese Broschüre durchgelesen hat, weiss eine ganze Menge über das Bremsen auf zwei Rädern. Bremsen kann er deswegen noch nicht besser, denn Wissen und Können sind zweierlei.

Mit wissen wie man bremst, meistern wir keine Notsituation. Aber das Wissen um die Vorgänge beim Bremsen mit dem Töff erleichtert uns das richtige Üben. Zum Könnern entwickeln wir uns einzig und allein durch Training.

Ein Sportler oder ein Musiker, der gut sein will, übt häufig. Tut er es eine Zeitlang nicht, so fällt er ab. Kein Töfffahrer bestreitet das. Und trotzdem: wer übt regelmässig Vollbremsungen? Dazu sind die teuren Reifen doch zu schade...

Wer sich die Chance auf eine gelungene Bremsung im Notfall wahren will, muss sich gewisse Automatismen antrainieren. Dazu braucht es das Wissen, den Willen und Beharrlichkeit. Rekorde in der Töffbeherrschung sind erwünscht.

Auf konkrete Anweisungen, wie solche Bremsübungen zu gestalten sind, verzichte ich ausdrücklich. Ein für jedes Motorrad gültiges Rezept gibt es nicht. Je nach Bauart des Töffs sind einzelne Details beim Bremsmanöver anders zu handhaben.

Die Feinheiten für eine optimale Vollbremsung sind mit einem Supersportler oder einem dicken Cruiser nicht identisch. Noch grösser sind die Unterschiede bei Motorrädern ohne und mit ABS. Beim Wechsel auf einen ABS-Töff muss man umlernen, denn die optimale Handhabung ist nicht gleich. In Unkenntnis dieser Unterschiede nutzen viele Umsteiger die Vorteile eines ABS nicht voll aus. Es ist eindrücklich, was mit Training aus einer ABS-Bremsanlage herausgeholt werden kann. Die-

ses Training ist auch nötig, um die verinnerlichte «Beisshemmung» vor einem blockierten Vorderrad los zu werden, wenn man bisher nur Töffs ohne ABS gefahren ist.

(Es erfordert einiges an Übung und Vertrauen in die ABS-Technik, um auf einer mit nassem Laub belegten Strasse bei Tempo 60 voll in die vordere Bremse zu greifen – aber es geht!)

Kurse besuchen!

Um sich beim Üben von Vollbremsungen nicht falsche Muster anzutrainieren oder – was schwieriger ist – falsche Verhaltensweisen abzugewöhnen, sei eine Weiterbildung bei einem kompetenten Ausbilder empfohlen, am besten bei einer professionellen Lehrperson, bei der Motorradausbildung voll und ganz im Zentrum steht.

Nebst guten Töff-Fahrschulen verhelpen auch Weiterbildungskurse bekannter Institutionen zu persönlichen Fortschritten.

Qualifizierte Anbieter solcher Kurse sind u.a.:

- Test & Training TCS
- Cornu Master School
- Veltheim Driving Center

Gute Tipps von Profis zum selber Üben findet man im Buch «Perfekt Motorrad fahren» (siehe Literaturhinweise).

Der Blick und die Kaffeebohne

«Nicht mit den Zähnen bremsen!», ruft der Instruktor. Tatsächlich verkrampten sich viele Übende beim Bremsen derart, dass man ihre Zähne knirschen hört.

Verkrampt schaffen wir nie eine gute Bremsung!

Zur Kontrolle der nötigen Lockerheit gibt es einen einfachen Trick: Vor jeder Bremsübung klemmen wir uns eine Kaffeebohne zwischen

die Zähne. Ist die Bohne nach dem Stillstand noch ganz, so liegen wir richtig. Durch ihre Sprödeheit zerbricht die Bohne, sobald wir «mit den Zähnen bremsen». Auch wenn wir das unbewusst tun, beweist es uns die kaputte Kaffeebohne.

Dass die Blickführung bei jedem Fahrmanöver auf dem Töff von entscheidender Bedeutung ist, wissen wir längst. Das gilt auch beim Bremsen. Der richtige Blick und die Kaffeebohne führen uns zum Erfolg.

Am Anfang dieser Broschüre steht «Wer Gas gibt, muss auch bremsen».

Manche Töfffahrer spötteln: «Wer brems, verliert». Dieser Spottruf bewahrheitet sich leider allzu häufig in der Form: «Wer **falsch** brems, verliert».

Möge diese Informationsschrift das Bewusstsein der Leserinnen und Leser stärken, dass sicheres Bremsen auf zwei Rädern nur mit Training zu erreichen ist.

Wer richtig bremsen kann, fährt sicherer – gute Fahrt!

Literaturhinweise (Auswahl)

Bücher für jedermann

- MOTORRAD action team
Perfekt fahren mit MOTORRAD
1. Auflage 2002
Motorbuch Verlag Stuttgart
ISBN 3-613-02176-5
- Bernt Spiegel
Die obere Hälfte des Motorrads
Über die Einheit von Fahrer und Maschine
Motorbuch Verlag Stuttgart
ISBN 3-613-02268-0
- Bernt Spiegel
Motorradtraining alle Tage
Motorbuch Verlag Stuttgart
ISBN 3-613-02501-9

Fachbücher

- Jürgen Stoffregen
Motorradtechnik
5. überarbeitete Auflage
Vieweg Verlagsgesellschaft
ISBN 3-528-44940-3
- Gaetano Cocco
Motorrad-Technik pur
1. Auflage 2001;
Motorbuch Verlag Stuttgart
ISBN 3-613-01995-7

Internet-Links

- www.besser-bremsen.de
Eine Kampagne der Deutschen Versicherungen mit vielen Informationen und Downloads (sehr empfehlenswerte Website)
- www.verkehrssicherheitsrat.ch/mototra.htm
Enthält eine Liste anerkannter Kursanbieter

Ausgewählte Beiträge in Fachzeitschriften

- MOTORRAD 10/03
Mensch und ABS
- Tourenfahrer 8/2003
ABS – Alle Systeme im Vergleich

Forschungsbericht der deutschen Bundesanstalt für Strassenwesen bast (Februar 2004)

- Joachim Funke / Hermann Winner
Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
ISBN 3-86509-094-X
zu beziehen bei:
Wirtschaftsverlag NW; Bremerhaven
E-mail: vertrieb@nw-verlag.de

Notizen