

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 75 (2013)
Heft: 9

Rubrik: Sicherheit

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Reifenprofil und Bremsen entscheiden über die Hangtauglichkeit: Mit der Wahl einer AS-Bereifung bei dieser Mehrfachpendelachse könnte das seitliche Abrutschen bei der Schichtlinienfahrt noch vermindert werden. Wichtig ist, dass sämtliche Räder eine Bremse haben, denn sonst können die nötigen Kräfte nicht auf den Boden übertragen werden. Dies gilt auch bei Strassenfahrten. (Bilder: Ruedi Gnädinger)

Nur keine Ausrutscher mehr

Der Thematik um das Rutschen bei schweren Transporten auf der Strasse gewidmet ist dieser zweite Teil der Serie «Rutschen, Schleudern, Kippen» (erster Teil siehe Ausgabe Juni/Juli). Sicher ist: Die Rutschgefahr lässt sich einschätzen.

* Ruedi Gnädinger

An Silvester wünschen wir unseren Bekannten einen guten und fröhlichen Rutsch ins neue Jahr. Sonst haben wir aber das Rutschen und Ausrutschen in weniger guter Erinnerung. Da ist einmal der Ausrutscher als Fauxpas im übertragenen Sinn oder der Ausrutscher auf Glatteis. Über beide Missgeschicke ärgert man sich im Nachhinein, weil sie nicht nötig und vermeidbar gewesen wären. Das Gleiche gilt auch, wenn ein Fahrzeug ins Rutschen gerät und es dadurch zum Unfall kommt. Mit verschiedenen Überlegungen kann die Rutschgefahr eines Fahrzeuges oder An-

* Ruedi Gnädinger wirkte über viele Jahre als Experte für Landtechnik und landwirtschaftliches Bauen bei der Agridea in Lindau ZH und ist heute Mitinhaber der Gnädinger Engineering GmbH in Benken SG.

hängerzuges beurteilt werden. Dazu ist abzuklären, welche Kräfte bei einem kritischen Einsatz auf die Räder wirken und ob sie dabei die Bodenhaftung nicht verlieren. Die Risikobeurteilung erfolgt also in zwei Schritten: erstens mit der Erfassung der auftretenden Kräfte und zweitens mit der Prüfung, ob die mögliche Haftung der Reifen auf oder abseits von Strassen ausreichend ist. Dieser Beitrag befasst sich nur mit der Thematik um das Rutschen bei schweren Transporten auf der Strasse.

Die auftretenden Kräfte

Bei den auftretenden Kräften ist zu unterscheiden, ob sie längs oder quer zur Fahrtrichtung auftreten. Für die resultierenden Gegenkräfte an den Rädern sind folgende Begriffe üblich:

- längs zur Fahrtrichtung = Bremskraft oder Umfangskraft (Bsp. bremsen auf der Geraden)
- quer zur Fahrtrichtung = Querkraft (Bsp. hangabtreibende Kraft bei der Schichtlinienfahrt am Hang oder Zentrifugalkraft bei der Kurvenfahrt)

In der Praxis – zum Beispiel beim Bremsen in Kurven – treten Längs- und Querkräfte gleichzeitig auf. Die daraus resultierende Kraft ist massgebend dafür, ob das entsprechende Rad die Haftung nicht verliert. Die resultierende Kraft lässt sich grafisch mit dem Kräfteparallelogramm bestimmen (siehe linkes Bild S. 3). Da diese resultierende Kraft immer grösser ist als die einzelne Längs- oder Querkraft, gelten im Grenzbereich der Haftung – also in kritischen Situationen – folgende Grundsätze:



Erhöhte Gefahr bei Kurvenfahrt

Am Traktorradd entstehen Kräfte in Längs- und Querrichtung. Diese Kräfte addieren sich im Massstab der Vektoren im Kräfteparallelogramm. Beim Bremsen in Kurven besteht daher eine erhöhte Gefahr, dass das Fahrzeug ausbricht und ins Rutschen gerät.

– bremsen oder lenken!

und

– zuerst genügend abbremsen, dann lenken!

Die nötigen Bremskräfte auf einer Achse werden beeinflusst von der aktuellen Achslast, der Bremsverzögerung, dem Strassengefälle und den Kräften anderer Achsen, welche zu viel, zu wenig oder überhaupt nicht bremsen und sich über die Deichsel auch auf das Zugfahrzeug übertragen.

Den Haupteinfluss auf die nötige Bremskraft hat die gewünschte Geschwindigkeitsverminderung (Verzögerung). Bei der Verzögerung wird angegeben, um wie viel sich die Geschwindigkeit je Sekunde vermindert. Und da die Geschwindigkeit in den Grundeinheiten in Meter je Sekunde angegeben wird, ist die Einheit der Verzögerung demzufolge Meter je Sekunde im Quadrat (m/s^2).

Ein Körper im freien Fall hat eine Beschleunigung (Erdbeschleunigung) von $9,81 \text{ m/s}^2$. Wenn sich dieser Körper mit der Masse von einem Kilogramm aber auf dem Boden befindet und sich daher nicht beschleunigen kann, entwickelt er eine Gewichtskraft von $9,81 \text{ Newton}$. Diese Kraft ist aber auch nötig, um einen bewegten Körper mit $9,81 \text{ m/s}^2$ zu verzögern. In der Fahrzeugtechnik wird dieser Sachverhalt etwas vereinfacht, indem eine Geschwindigkeitsverminderung von $9,81 \text{ m/s}^2$ als eine hundertprozentige Verzögerung bezeichnet wird, welche auch eine Bremskraft benötigt, die der Ge-



Kräfte beim Bremsen auf einer Strasse mit Gefälle

Rot = Gewichtskraft auf Fahrbahn (abhängig von Leergewicht, Ballast und Stützlast)
Gelb = mögliche Bremskraft am Reifenumfang (abhängig von der Bremsanlage und der montierten Reifengrösse)

Blau = hangabtreibende Kraft (abhängig von Gewicht und Gefälle)

Rot = nötige Kraft für die Verzögerung

Grün = nötige Kraft zum Ziehen bei der Bergfahrt auf der gleichen Strasse beim Beschleunigen mit der gleichen Intensität wie beim Bremsen

wichtskraft der jeweiligen Achse oder des Fahrzeuges entspricht. Eine Abbremsung von 100 % erreichen aber nur neuzeitliche Autos, währenddem die gesetzliche Anforderung bei landwirtschaftlichen Anhängern 34 % oder $3,36 \text{ m/s}^2$ (Zulassung für 30 km/h) und 38 % oder $3,72 \text{ m/s}^2$ (Zulassung für 40 km/h) beträgt.

Bremsen müssen auch für Gefällstrecken ausreichen

Viele der Selbstunfälle ereignen sich beim Bremsen auf abfallenden Strassen, denn hier wirken nebst den Kräften für die Verzögerung noch die hangabtreibenden Kräfte. Bei 10 % Gefälle sind dies, vereinfacht gerechnet, 10 % der Radlast (Gewichtskraft). Wie sich die Kräfte an einem gebremsten Rad verhalten, ist in Bild rechts oben vereinfacht dargestellt. Der Einfluss einer möglichen Gewichtsverlagerung und der Rollwiderstand wurden bewusst weggelassen. Wichtige Einflussgrößen sind:

- Gewichtskraft: Sie bestimmt, welche Kräfte für die Verzögerung und zur Aufhebung der hangabtreibenden Kraft nötig sind.
- Bremskraft der Bremse: Sie ist die mögliche Kraft (gemessen am Radumfang), welche die vorhandene Bremsanlage bei einem bestimmtem Pedaldruck erreicht. Wenn die mögliche Bremskraft 100 % der Radlast erreichen kann, ist theoretisch eine hundertprozentige Abbremsung möglich. Bei einem weniger stark beladenen Fahrzeug ist daher die Verzögerung besser.

- Auf die Strasse übertragbare Bremskraft: Nebst der vorhandenen Bremskraft am Rad wird sie von der Haftung des Reifens auf der Fahrbahn beeinflusst. Die auf die Strasse übertragbare Bremskraft kann daher kleiner sein als die Kraft der Bremse am Radumfang. Die Unterschiede können bei nasser, verschmutzter Fahrbahn oder auf Naturstrassen und bei winterlichen Verhältnissen sehr gross sein (siehe Tabelle Kraftschlussbeiwerte bei Gleitreibung).

Lastverteilung – Geschwindigkeit

Landwirtschaftliche Fahrzeuge haben in der Regel einfache hydraulisch betätigte Bremsen mit nach dem Gesetz genügender Wirkung. Werden diese in Stand gehalten und die Fahrzeuge sachgerecht eingesetzt, ist ein gefahrloser Betrieb möglich. Zwar gibt es immer mehr Betriebsleiter, welche sich eine aufwendigere und teurere Technik anschaffen (Druckluftanlagen). Unfälle zeigen jedoch, dass diese verbesserte Technik bei «landwirtschaftlichen Geschwindigkeiten» einen eher geringen Mehrnutzen hat. Diese verbesserte Technik ist zudem nicht nur teurer, sondern muss auch verstanden, sachgerecht bedient und gewartet werden. Ein Problem der einfachen Technik ist die Abstimmung der Bremse bei den Anhängern. Die Bremsen werden so kalibriert, dass sie bei maximaler Belastung und im Bereich der vom Gesetzgeber geforderten Verzögerung optimal funktionieren (kein Überbremsen). Wird nun das Ladegut zu unterschiedlich auf die Achsen verteilt, ist

Kraftschlussbeiwerte von Reifen bei Gleitreibung

Fahrbahn	trocken	nass	
		sauber	verschmutzt
Beton, Asphalt, Teer	0,6 bis 0,9	0,4 bis 0,6	0,3 bis 0,4
Pflastersteine	0,45 bis 0,55	0,25 bis 0,35	0,15 bis 0,2
Erdweg, Acker	0,4 bis 0,5		0,2
Festgefahrene Schneedecke	0,2		
Glatteis	0,1 bis 0,15	0,05	

(Quelle: Institut für Verkehrswesen der Universität Wien)

die Bremskraft bei den wenig beladenen Achsen im Verhältnis zur Achslast zu gering, die entsprechende Achse wird überbremst und die Räder können blockieren. Besonders ausgeprägt ist diese Situation, wenn ältere Anhänger an Traktoren neuerer Bauart mit leistungsfähigen Bremsen angehängt werden. Führt nun ein solcher Anhängerzug in einem kleineren Gang (Bremswirkung des Motors) auf einer Gefällstrecke, kann mit der Betätigung der Fussbremse (Betriebsbremse) der Traktor bereits überbremst werden, und er beginnt zu rutschen. Der Fahrer muss hier sofort richtig reagieren, auskuppeln und den Anhängerzug mit der Betriebsbremse anhalten. Sind die Bremsen ausreichend und richtig aufeinander abgestimmt, das Gefährt den Umständen entsprechend (Fahrbahnzustand und Gefälle) beladen und die Ladung gleichmässig verteilt, wird das Anhalten so problemlos möglich sein.

Das Haftungsvermögen der Reifen

Welche Kraft mit einem Reifen auf die Strasse übertragbar ist, kann mit dem Kraftschlussbeiwert berechnet werden. Dieser Kraftschlussbeiwert ist eine Verhältniszahl zwischen Radlast und der möglichen Kraftübertragung beim Bremsen oder Ziehen auf die Fahrbahn (Boden). Ein Rad

mit einer Radlast von 1000 kg (entspricht 1000 daN) kann bei einem Kraftschlussbeiwert von 0,8 folgende Zug oder Bremskraft auf die Fahrbahn übertragen: $1000 \text{ daN} \cdot 0,8 = 800 \text{ daN}$ (= 80 % der Radlast).

Wichtig: Nebst den Strassenverhältnissen hat der Schlupf einen beachtenswerten Einfluss, und daher ist beim Bremsen in kritischen Situationen nicht mit dem Kraftschlussbeiwert bei Haftreibung, sondern dem niedrigeren Wert bei Gleitreibung zu rechnen (siehe Tabelle).

Die Überprüfung

Nicht immer wurde eine bestimmte Strecke mit der zur Verfügung stehenden Fahrzeugkombination und der entsprechenden Beladung schon befahren und daher fehlt die Erfahrung, ob es «geht» beziehungsweise ob dieser Transport sicher ist. Mit der folgenden Kontrollrechnung kann überprüft werden, ob der Einsatz bezüglich Bremsen sicher ist. Sie ist vereinfacht, dafür sind vorsichtige Werte einzusetzen, damit die Sicherheit trotzdem gewährleistet ist.

1. *Schritt*: Bestimmung der nötigen auf die Strasse übertragbaren Kraft

- Gesamtgewicht \times nötige Kraft für Verzögerung und Gegenkraft für das Gefälle

- Bsp: 25 Tonnen Gesamtgewicht (25 000 daN) 30 % für Verzögerung +10 % für Gefälle = 40 % = 10 000 daN

2. *Schritt*: Bestimmung der möglichen auf die Fahrbahn übertragbaren Kraft der einzelnen Achsen

- Dafür gibt es zwei limitierende Faktoren, nämlich die Kraft, welche die Bremse aufbauen kann, und die Kraft, welche tatsächlich auf die Strasse übertragen werden kann.

• Erreicht ein Anhänger zum Beispiel bei voller Belastung und gleichmässiger Verteilung des Ladegutes eine Verzögerung von 30 %, entspricht dies einer Kraft am Radumfang von 30 % der jeweiligen Radlast. Beispiel für eine Achse: Achslast (5000 daN) 30 % Verzögerung Umfangskraft beider Räder zusammen (1500 daN). Diese Kraft können die Reifen gut auf die Fahrbahn übertragen, denn dafür ist nur ein Kraftschlussbeiwert von $1500 \text{ daN} / 5000 \text{ daN} = 0,3$ nötig.

• Beträgt aber wegen einer geringen Beladung die Achslast nur noch 2500 daN, verändert sich die Bremskraft am Umfang der Räder bei gleichem Bremspedaldruck nicht und beträgt weiterhin 1500 daN. In diesem Fall braucht es einen Kraftschlussbeiwert von $1500 \text{ daN} / 2500 \text{ daN} = 0,6$, um die Kraft auf die Fahrbahn übertragen zu können. Dies ist bei einer nassen, aber geteerten Fahrbahn noch knapp möglich (siehe Tabelle Kraftschlussbeiwerte).

• In jedem Fall darf nur mit der Kraft gerechnet werden, welche: a) die Bremsanlage entwickeln kann (Kraft am Radumfang) und b) auch noch auf die Fahrbahn übertragbar ist (Kraftschlussbeiwert).

3. *Schritt*: Kontrolle, ob die Summe der auf die Fahrbahn übertragbaren Bremskräfte der einzelnen Achsen das notwendige Total gemäss Schritt 1 erreicht. ■

Beispiel: Traktor (Vorderachse durch zugeschalteten Allradantrieb gebremst) mit Einachsanhänger, 16 Tonnen aktuelles Gesamtgewicht (16 000 daN), 30% für die Verzögerung +10% für das Gefälle = 40% = **6400 daN**.

Achsen	Achslasten maximal zulässig und aktueller Beladung		Mögliche Verzögerung bei Achslast		A: Mögliche Bremskraft an Rädern	B: Auf die Fahrbahn übertragbar	Kleinerer Wert von A und B
	zulässig	aktuell	zulässig	aktuell			
Traktor-vorderachse	4000 daN	3000 daN	45%	60%	1800 daN ¹⁾	1800 daN ²⁾	1800 daN ³⁾
Traktor-hinterachse	6000 daN	5000 daN	45%	54%	2700 daN	3000 daN	2700 daN
Achse Anhänger	8000 daN	8000 daN	35%	35%	2800 daN	4000 daN	2800 daN
Total	18000 daN	16000 daN	–	–	–	–	7300 daN

Das Gefährt ist bezüglich Sicherheit für diesen Einsatz gut geeignet, da die mögliche auf die Fahrbahn übertragbare Bremskraft von 7300 daN eindeutig über den benötigten 6400 daN liegt. Dies ist aber nur der Fall, weil der Anhänger eine wirksame Bremse hat. Die gezeigte rechnerische Überprüfung gibt dem gewissenhaften Fahrer bei Traktor-Anhänger-Kombinationen, mit denen er nicht besonders vertraut ist, die nötige Sicherheit. Natürlich macht er trotzdem nach dem Anfahren noch eine Bremsprobe.

1) 4000 daN, davon 45 % = 1800 daN

2) bei Kraftschlussbeiwert 0,6

3) 3000 daN \times Kraftschlussbeiwert 0,6 = 1800 daN