

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projekt:

Untersuchung von klimatischen Einflüssen auf den Gleitreibbeiwert von Antirutschmatten

Das IGF-Vorhaben 16794 N / 1 der Forschungsvereinigung Deutscher Forschungsverbund Verpackungs-, Entsorgungs- und Umwelttechnik e.V. Hamburg – DVEU Geschäftsstelle Dortmund, Giselherstr. 34, 44319 Dortmund, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Ausgangssituation:

Bei der Ladungssicherung nehmen Reibungskräfte in Kombination mit Antirutschmatten eine bedeutsame Rolle ein. Obwohl Antirutschmatten sehr verbreitet sind und auch oft eingesetzt werden, fehlen bislang Untersuchungen, die es ermöglichen, die Leistungsfähigkeit einer Antirutschmatte unter extremen Klima- bzw. Witterungsbedingungen zu beurteilen.

Der Gleitreibbeiwert einer Antirutschmatte kann nicht direkt gemessen oder errechnet werden, sondern wird aus der ermittelten Reibungskraft, die zwischen den Kontaktflächen

wirkt, bestimmt. Diese Reibungskraft wird mittels einer geeigneten Mess- bzw. Zugvorrichtung ermittelt. Aus dem Quotienten der gemessenen Gleitreibungskraft und der Gewichtskraft wird unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabschlags der Gleitreibbeiwert für das jeweilige Reibsystem ermittelt. In der aktuellen Version der VDI Richtlinie 2700 Blatt 14 [1] wird der Gleitreibbeiwert allerdings nur bei trockenem Zustand in einem Temperaturbereich von 15 °C bis 30 °C betrachtet, innerhalb der DIN EN ISO 12195-1 [2] ist für die Laborversuche eine Temperatur von +20 °C, mit einer rel. Luftfeuchte von 60 % vorgesehen. In der Praxis wirken allerdings unterschiedliche klimatische Belastungen in Form von Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen auf den Transport ein, d. h. es findet weitestgehend kein Transport unter gleichen bzw. konstanten Witterungsbedingungen statt. Je nach Jahreszeit und Örtlichkeit können sehr warme und auch trockene Umgebungsbedingungen vorgefunden werden, die allerdings durch Abkühlung und Feuchtigkeitseinflüsse zu nassen, kalten und auch frostigen Bedingungen variieren.

Da das Ladegut auch unter diesen Verhältnissen befördert bzw. gesichert werden muss, ist es zwingend erforderlich, das Verhalten des Gleitreibbeiwertes von Antirutschmatten unter klimatischen Extrembedingungen zu betrachten. Je nach Ladegut, Gewicht, Zurrwinkel und Vorspannkraft kann bereits die Abnahme des ursprünglichen Gleitreibbeiwertes um ein Zehntel – bspw. durch Temperatur- und Feuchteeinwirkungen - die Anzahl der tatsächlich erforderlichen Zurrgurte verdoppeln. Die Folgen solch einer unterdimensionierten Ladungssicherung wären kaum vorhersehbar.

Vorgehensweise:

Zur Umsetzung des Forschungsvorhabens wurde - aufbauend auf den ermittelten Antirutschmattenarten - eine entsprechende Prüfsystematik erarbeitet, die konstante klimatische Bedingungen gewährleistet. Dazu war es erforderlich, die versuchsrelevanten Parameter sowie den passenden Versuchsaufbau zu bestimmen. Damit die klimatischen Einflüsse auf Antirutschmatten überprüft werden können, musste zunächst das Klima während der Transportprozesse betrachtet und für die nachfolgenden Versuchsreihen bestimmt werden, das neben der einwirkenden Temperatur auch die Luftfeuchte berücksichtigt. Des Weiteren war es erforderlich, die Reibungskombinationen zu bestimmen, d. h. welche Ladungsträger mit welcher Matte auf welcher Ladefläche gesichert werden. Anhand der festgelegten Klimate wurden im nachfolgenden Schritt die Temperatur und die

rel. Luftfeuchte variiert, um anhand der unterschiedlichen Konstellationen die Leistungsfähigkeit der Antirutschmatten gegenüber den klimatischen Einflüssen zu untersuchen. Die systematische Auswertung der Messreihen erfolgte sowohl tabellarisch als auch grafisch mittels einer computergestützten Auswerteeinheit.

Projekthinhalte:

Die ganzheitliche Betrachtung von zu verpackendem Gut, der Transportverpackung sowie der Ladeeinheitenbildung und -sicherung bildet die Grundlage zur Durchführung einer ordnungsgerechten Ladungsbildung und -sicherung. Das Verpackungsmaterial muss einerseits mit dem Füllgut kompatibel sein und andererseits qualitativ den verkehrsüblichen, d. h. mechanischen und klimatischen Beanspruchungen während des Transports gerecht werden. Die am häufigsten auftretenden Transportbelastungen sind Schwingungen und Stöße. Die Schwingungen treten beim Transport vorwiegend durch Abrieb, Ermüdungsbrüche oder sich lösende Reibverbindungen hervor. Diese Reibverbindungen zwischen Ladungsträger und Ladefläche setzen sich zum einen aus der statischen Reibung und zum anderen aus den Komponenten der Gleitreibung zusammen. Um die Reibung generell zu erhöhen und um das Verrutschen der Ladung zu erschweren, werden primär Antirutschmatten zwischen Ladefläche, Ladungsträger oder Ladegut gelegt.

Antirutschmatten werden in den unterschiedlichsten Längen, Breiten, Dicken und Materialzusammensetzungen angeboten. Zu den gängigsten gehören Antirutschmatten aus Gummigranulat. Der Aspekt der Sortenreinheit spielt bei den Granulatmatten eine wichtige Rolle. Greift man bei der Herstellung nur auf eine Sorte zurück, kann man von konstanten vergleichbaren Eigenschaften ausgehen, die sich auch positiv auf einen gleichbleibenden Gleitreibbeiwert auswirken. Werden bei der Herstellung der Granulatmatten dagegen mehrere Sorten verarbeitet, hat dieser Material-Mix Auswirkungen auf die qualitativen Eigenschaften. Durch die unterschiedlichen Gummianteile und den damit verbundenen abweichenden Materialqualitäten weichen die Gleitreibbeiwerte z. T. stark voneinander ab. Neben der Kautschuksorte spielt auch der Bindemittelanteil eine bedeutende Rolle bei Antirutschmatten aus Gummigranulat. Ein geringer Anteil ist oftmals mit einer geringen Reißdehnung der Matte verbunden, was bspw. Auswirkungen auf die Ablegekriterien und Mindestanforderungen der Matte hat (vgl. hierzu VDI 2700 Blatt 15, [3]). Durch

Einsparungen am Bindemittel können jedoch kostengünstige Granulatmatten hergestellt werden, d. h. der PU-Bindemittelanteil ist ein wichtiger, aber auch kostenintensiver Bestandteil bei Granulatmatten. Bei einem hohen Bindemittelanteil kann man bzgl. der Materialeigenschaften von Sicherheitsreserven ausgehen, die eine hohe Reißdehnung und auch eine längere Haltbarkeit ermöglichen. Von Bedeutung ist auch die Größe der Granulatkörnung, da eine grobkörnige Mischung in der Regel kostengünstiger ist. Aufgrund der größeren Hohlräume können Granulatmatten kleine Schmutzpartikel und geringe Wassermengen aufnehmen und somit das Gleitreibverhalten positiv beeinflussen. Ein Nachteil bei den hohlräumigen, mit Wasser angesammelten Matten ergibt sich bei Frost, wenn sich Eis in den Hohlräumen gebildet hat, der die Matten beschädigen kann. Abhängig von der Größe des verwendeten Gummigranulats besitzen die Matten eine fein- bzw. grobkörnige, offenporige Oberflächenstruktur und je nach Granulatvariante eine klassisch schwarze oder auch bunt gesprenkelte Farbe.

Wie zu erkennen ist, gibt es bei der Auswahl einer geeigneten Antirutschmatte materialbedingte Vor- und Nachteile, die anwendungsspezifisch abzuwiegen sind - auch bei Antirutschmatten aus Vollgummi. Die Vollgummimatten und Granulatmatten gehören zu den am meisten verwendeten rutschhemmenden Materialien bei der Ladungssicherung und bilden somit die Basis für die am Institut durchgeführten Untersuchungen der klimatischen Einflüsse auf den Gleitreibbeiwert. Aktuell wird der Gleitreibbeiwert nach VDI 2700 Blatt 14 bei trockenen Bedingungen ermittelt, der dafür vorgesehene Temperaturbereich darf zwischen +15 °C und +30 °C und die rel. Luftfeuchtigkeit zwischen 50 % und 80 % liegen [1]. Diese Anforderungen stimmen allerdings oftmals nicht mit den realen Bedingungen überein, denn im Sommer sind trockene und sehr warme Klimate vorzufinden, wobei im Herbst kühle und vor allem auch feuchte bzw. regnerische Bedingungen hinzukommen und im Winter meist kalte, frostige bzw. eisige Tage auftreten. Bislang gibt es keine konkreten Ergebnisse, wie sich der Gleitreibbeiwert außerhalb des o. g. Bereichs verhält. Das Institut für Distributions- und Handelslogistik hat sich daher zum Ziel gesetzt, hierzu weitere Erkenntnisse zu erarbeiten. Innerhalb eines Klimabereichs von -30 °C bis +60 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 30 % bis 90 % wurden innerhalb zehn verschiedener Klimate über 180 unterschiedliche Prüfkombinationen in der institutseigenen Klimakammer getestet und ausgewertet. Zu den Reibpartnern gehörten neben der weit verbreiteten Europalette (Holz) auch die Kufen einer Kunststoffpalette sowie die einer Stahlpalette. Als Ladefläche wurde ein

gebrauchter Siebdruckboden von einem Trailer ausgebaut und in der Klimakammer positioniert, um darauf die Versuche mit einer Zuggeschwindigkeit von 100 mm / min durchzuführen.

Erkenntnisse:

Das Material der Antirutschmatten (Kautschuk bzw. Gummi) ist durch die großen kettenförmigen und verzweigten Makromoleküle ein organischer Stoff und wird daher weitestgehend den Elastomeren zugeordnet. Durch diesen makromolekularen (verketteten) Aufbau besitzen diese die Eigenschaften einer großen Dehnbarkeit und einer geringen Steifigkeit. Ein weiteres Merkmal dieser Elastomere ist die außerordentlich starke Temperaturabhängigkeit, d. h. sie weisen sowohl ein elastisches als auch viskoelastisches Verhalten auf. Durch diese Viskoelastizität weicht Gummi vom klassischen Reibverhalten wie bspw. Metall im Rahmen der Coulombschen Reibgesetze ab (vgl. [4]). Bei der Versuchsdurchführung war besonders auffallend, dass mit sinkender Temperatur im Frostbereich die viskoelastischen Eigenschaften des Gummis abnehmen und die Steifigkeit stark zunimmt. Bei einer Temperatur von 23 °C hat sich bei den Prüflingen eine vollständige Reversibilität der Formänderung bei Entlastung ergeben. Im Vergleich hierzu hat der Prüfling bei einer Temperatur von -25 °C nicht mehr die Ursprungsform eingenommen, d. h. je tiefer die Temperatur sinkt, desto härter wird die Gummimischung. Dieses Verhalten hat sich auch bei den Messergebnissen des Gleitreibbeiwertes bemerkbar gemacht.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Gleitreibbeiwertmessungen einer Antirutschmatte aus Vollgummi zu sehen. Dabei erkennt man auch den eindeutigen und stufenweisen Abfall des Gleitreibbeiwertes im Frostbereich. Beim Referenzklima von 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchtigkeit liegt der Gleitreibbeiwert noch bei sicheren 0,9, durch die zunehmende Kälte hat sich dieser allerdings bei -30 °C um mehr als die Hälfte auf 0,4 reduziert. Neben der Gleitreibbeiwertabnahme bei frostigen Bedingungen wurde auch die Beobachtung gemacht, dass der Gleitreibbeiwert der Vollgummimatte auch bei steigender Temperatur minimal abnimmt, d. h. im Vergleich zum ermittelten Maximalwert liegt diese Abnahme bei 0,1 oder bei vereinzelt Vollgummimatten sogar bei bis zu 0,2.

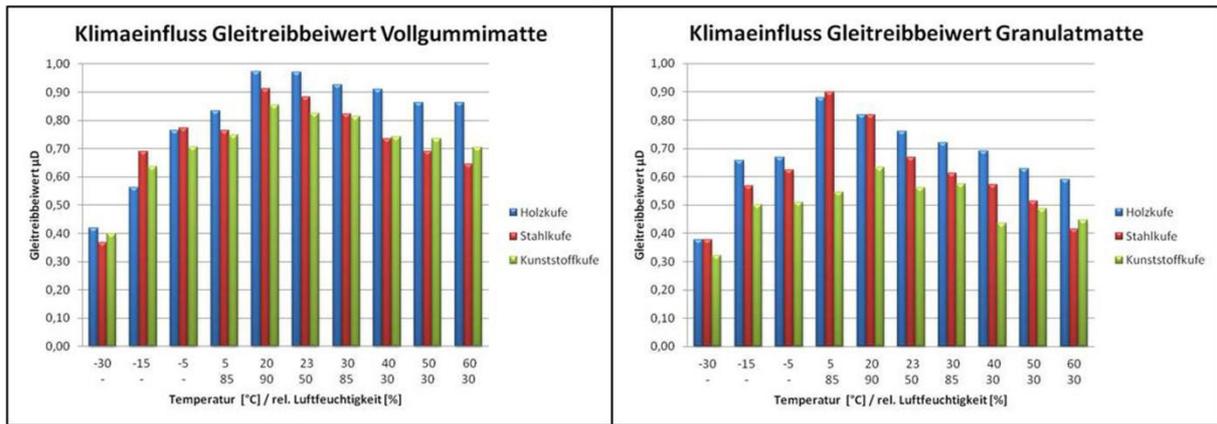


Abbildung 1: Vergleich des Gleitreibverhaltens einer Vollgummimatte und Granulatmatte

Ein ähnliches Gleitreibverhalten hat sich auch bei den Granulatmatten ergeben. Bei den Gummigranulatmatten nimmt der Gleitreibbeiwert bei Temperaturanstieg stärker ab, als bei Vollgummimatten (vgl. Abbildung 1). Wie bereits zuvor erwähnt, unterscheiden sich Granulatmatten in der Sortenreinheit und auch beim Bindemittelanteil. Die Auswirkungen dieser Anteile innerhalb des getesteten Klimabereichs haben Unterschiede zu „qualitativ hochwertigen“ Granulatzusammensetzungen aufgezeigt.

In Abbildung 2 ist der Verlauf einer Granulatmatte mit geringem Bindemittelanteil und hohem Granulatmix zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Gleitreibbeiwert dieser Materialmischung viel früher abnimmt, d. h. bereits bei 20 °C sind erste Verluste beim Reibverhalten anzunehmen, wobei bei steigender Temperatur nur minimale Schwankungen des Reibbeiwertes zu verzeichnen sind. Eine weitere Erkenntnis aus den Versuchen mit hochwertigen Granulatmatten (sortenrein, hoher Bindemittelanteil) ist, dass der Gleitreibbeiwert im Temperaturbereich von +5 °C bis +20 °C einen Maximalwert erreicht.

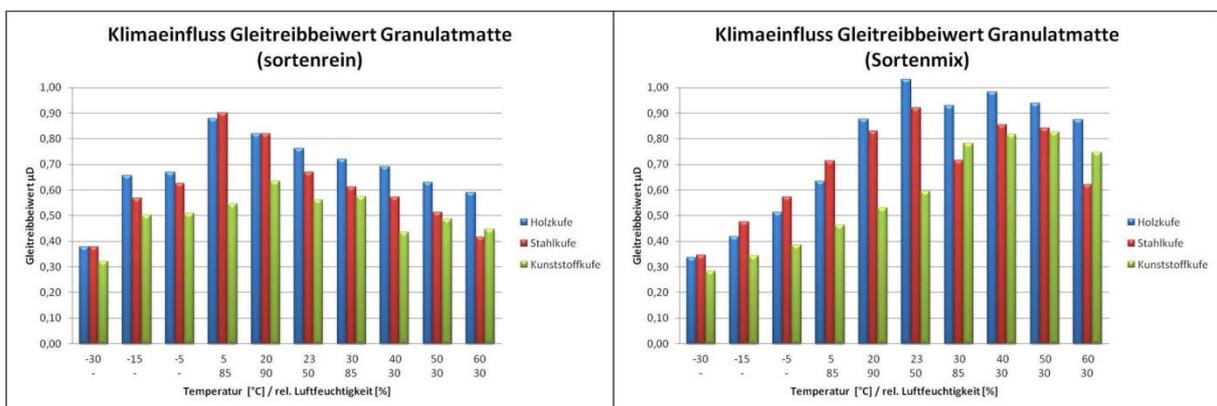


Abbildung 2: Vergleich des Gleitreibverhaltens zwischen sortenreiner Granulatmatte und Sortenmix

Neben den klimatischen Untersuchungen wurden auch Gleitreibbeiwertmessungen unter Nässe durchgeführt. Für die erste Feuchtigkeitsbedingung wurden die Prüflinge und der Siebdruckboden mit einem 0,3 mm hohen Wasserfilm überzogen, um anschließend die erforderlichen Zugversuche durchzuführen. Für die zweite Feuchtigkeitssimulation wurde die Wasserhöhe auf dem Siebdruckboden auf 1 mm erhöht, und die Antirutschmatten wurden einem halbstündigen Wasserbad ausgesetzt. Das Ergebnis der Testreihen ist in Abbildung 3 am Beispiel einer Stahlkufe zu sehen. Im Vergleich zu den Messergebnissen unter trockenen Bedingungen ist bereits bei geringer Nässeeinwirkung (0,3 mm) ein Abfall des Gleitreibbeiwertes festzustellen. Dieser Abfall fällt bei den Granulatmatten niedriger aus als im Vergleich zu den Vollgummimatten. Dies ist auf den Hohlraumanteil der Granulatmatten zurückzuführen, da dieser die Wassermenge größtenteils aufnehmen kann. Anders verhält es sich bei den Messergebnissen nach dem Vollbad. Die Hohlräume der Granulatmatte sind bereits mit Wasser "vollgesaugt", d. h. während des Versuches kann kein Wasser mehr aufgenommen werden bzw. aufgrund der Belastung tritt Wasser sogar aus den Hohlräumen aus, und es bildet sich ein minimal "seifiger" Wasserfilm zwischen den Reibflächen. Die Folge ist ein noch weiter sinkender Gleitreibbeiwert bei den Granulatmatten. Die Vollgummimatten weisen dagegen keinen weiteren Abfall des Gleitreibbeiwertes auf, da diese kein Wasser aufnehmen und nach Verdrängen des Wasserrestfilms auf der Materialoberfläche wieder einen ähnlichen bzw. konstanten Gleitreibbeiwert aufweisen können, wie bei dem zuvor durchgeführten Nässeversuch mit einer Wasserhöhe von 0,3 mm.

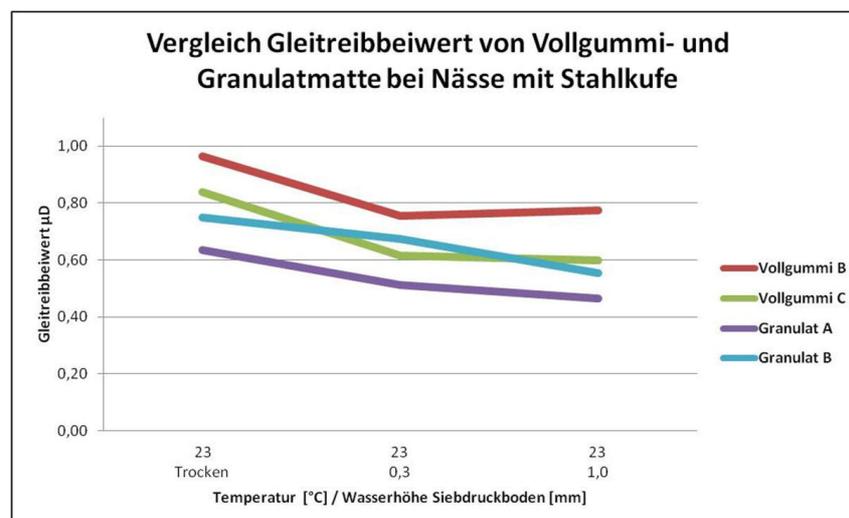


Abbildung 3: Verhalten des Gleitreibbeiwertes von Granulatmatten und Vollgummimatten bei Nässe

Fazit:

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Gesetze der Festkörperreibung nicht ohne Weiteres für die Bestimmung des Gleitreibbeiwertes von Antirutschmatten aus Gummi übertragen lassen. Der Gleitreibbeiwert von Antirutschmatten ist von Temperatur- und Nässeinwirkungen abhängig und kann je nach Klima und Prüfkombination im Extremfall bis zu 50 % vom ursprünglichen Wert abweichen. Des Weiteren kann bei den sortenreinen, qualitativ hochwertigen Granulatmatten und Vollgummimatten im Temperaturbereich von etwa +5 °C bis +30 °C von einem "optimalen Bereich" der Gleitreibung ausgegangen werden, d. h. innerhalb dieser Temperaturspanne – vorausgesetzt sind trockene Umgebungsbedingungen – kann der Gleitreibbeiwert als konstant angenommen werden. Ab +30 °C sind bei vereinzeltten Matten bereits erste Schwankungen beim Gleitreibbeiwert zu verzeichnen, der bei steigender Temperatur (innerhalb der Versuchsreihen bis +60 °C) bis zu zwei Zehntel abnimmt. Je nach Ladegut, Gewicht, Zurrwinkel und Vorspannkraft kann sich die dafür erforderliche Anzahl der Zurrgurte verdoppeln.

Für die Anwendung in der Praxis erfordert dies zunächst eine Überarbeitung bzw. Ergänzung der aktuellen VDI Richtlinie, um eine eindeutige Prüfvorschrift für den klimatischen Einfluss zu definieren. Darüber hinaus sind auch die Hersteller von Antirutschmatten gefordert, leistungsfähige bzw. alternative Materialien zu entwickeln, die den klimatischen Anforderungen standhalten. Hilfreich wäre auch eine eindeutige und einheitliche Kennzeichnung der Antirutschmatten, die die Auslegung und Überprüfung der Ladungssicherung nicht nur für die Anwender, sondern auch für die Kontrollorgane erleichtern würde.

Quellen:

- [1] VDI 2700 Blatt 14 – Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen; Ermittlung von Reibbeiwerten, Beuth Verlag, Berlin, 2011
- [2] DIN EN 12195-1 – Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen – Sicherheit – Teil 1: Berechnung von Sicherungskräften, Deutsche Fassung, Beuth Verlag, Berlin, 2011
- [3] VDI 2700 Blatt 15 – Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen; Rutschhemmende Materialien, Beuth Verlag, Berlin, 2009

[4] Röthemeyer, F.; Sommer, F.: Kautschuk Technologie – Werkstoffe, Verarbeitung, Produkte. 2. überarb. Auflage, Hanser Verlag, München, 2006

Kontakt:

Institut für Distributions- und Handelslogistik des VVL e. V.

Giselherstr. 34

44319 Dortmund

www.vvl-ev.de

info@idh.vvl-ev.de