

Die Trittsicherheit von Stallfußböden und der Einflußfaktor Reibwiderstand

Dr.-Ing. H. Bähr, Humboldt-Universität zu Berlin, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Bereich Veterinärhygiene
Dipl.-Landw. L. Türpitz, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

Problematik

Während der letzten 10 Jahre ist die einstreulose Tierhaltung zur dominierenden Variante in der Tierproduktion geworden. Gleichlaufend dazu erfolgte die Entwicklung von Stallfußböden, die den wichtigsten Anforderungen entsprechender mobiler und stationärer Entmistungsverfahren zu genügen hatten. Die von den Tieren alters-, tierart- und nutzungsspezifisch gestellten unterschiedlichen Ansprüche an den Stallfußboden sind bisher nur zum Teil quantifiziert worden. Diese Ansprüche betreffen besonders die Eigenschaften Wärmedämmung, Selbstreinigung und die Trittsicherheit. Die Trittsicherheit ist zur Zeit jedoch weder inhalts- noch zahlenmäßig ausreichend zu definieren.

Eine Möglichkeit, Trittsicherheit in meßbaren Größen darzustellen, wird darin gesehen, zunächst die ermittelten Werte einzelner Einflußfaktoren in ihrer Wirkung einzuschätzen, die sie auf die Bewegung der Tiere bei entsprechenden Stallfußböden zeigen. Als direkt qualitativ wirkende Einflußfaktoren sind anzusehen:

- Materialkennwerte, wie Reibwert, Elastizität, Härte und Festigkeit
- funktionelle Gestaltung der Fußbodenoberfläche; sie betrifft Bauelemente, Profilierung, Elementkombination und Abmessungen
- funktionelle Eigenschaften der Oberfläche, wie Kotbeseitigungsgrad, Kotdurchtritt, Selbstreinigung und Harnabfluß.

Weiterhin treten folgende, indirekt wirkende Faktoren in Erscheinung:

- Ungünstige Stallklimabedingungen, z. B. niedrige Stalltemperatur und hohe relative Luftfeuchtigkeit, führen zusammen mit ungenügender Reinigung bzw. Selbstreinigung durch das Fehlen eines Kot und Harn bindenden Mediums zur Bildung einer Schmierschicht.
- Die gegenseitigen Beeinträchtigungen der Tiereigenbewegungen durch Abdrängen und Stoßen in der Gruppenhaltung erhöhen die Reaktionskraftwirkungen der Tiere. Sie treten häufiger auf bei hohen Belegungsdichten der Stallfläche, welche jedoch der effektiven Nutzung des umbauten Raumes und der Mechanisierungseinrichtungen sowie der Gewährleistung des notwendigen Kotdurchtritts bei Spaltenfußboden dienen.
- Die Disposition zu Haltungsschäden, die sich bei zunehmender Untrainiertheit und bei Mehrbelastungen während Ein-, Um- und Ausstellungen in modernen Haltungssystemen mit bewegungsarmen Ausstellungsformen durch Verletzungen in den Extremitäten ausdrückt, kann die Unterbewertung einer bestimmten Oberflächengestaltung nach sich ziehen.

Die komplexe Wirkung der insgesamt vorhandenen Einflußgrößen ist noch nicht quantifizierbar.

Ausgehend von dieser Situation und von den gegenwärtig in Frage kommenden Fußbodenmaterialien einschließlich der bevorzugt angewendeten funktionellen Gestaltungsprinzipien bei Spaltenfußböden und planbefestigten Fußböden kommt dem Faktor Reibwiderstand als meßbarem Materialkennwert eine besondere Bedeutung zu. Der Reibungskoeffizient ist deshalb auch als Kennziffer für die Anforderungen zur Oberflächengestaltung im Fachbereichstandard TGL 32 456 „Bauwerksteil Stallfußboden, Anforderungen“ vorgesehen worden. Die Einschätzung der begrenzenden Werte des Reibwiderstands ist mit Hilfe einzelner Messungen an Stallfußböden, praktischer Einsatzbedingungen und entsprechender Verhaltensbeobachtungen erfolgt.

Messungen des Reibwiderstands

Bei Untersuchungen zur Anwendung von perforierten Stallfußböden aus Polyäthylen wurden bereits im Jahr 1968 zur Charakterisierung des Faktors Reibwert Vergleichsmessungen an verschiedenen Materialien durchgeführt [1]. Das Gerät zur Messung der Haft- bzw. Gleitreibung besteht aus einem Grundrahmen mit abnehmbarer Grundplatte, auf der das zu untersuchende Material befestigt werden kann (Bild 1). Hierauf reibt das an der Belastungsplatte befestigte Material. Die durch ein Stahlseil mit dem Zugkraftmesser verbundene Belastungsplatte ist mit Hilfe einer Gewindespindel geradlinig verschiebbar. Sowohl an der Belastungsplatte als auch an der Grundplatte lassen sich verschiedene Materialien leicht befestigen. Durch Lösen der Grundplatte vom Grundrahmen kann das Gerät auch auf bereits verlegten Fußböden eingesetzt werden. Für Reibwertmessungen sind an der Belastungsplatte jeweils drei Klauen oder Klauenpaare mit entsprechender Befestigungsmöglichkeit anzubringen (Bild 2). Umfangreichere Untersuchungen mit einem mechanisch weiterentwickelten, ebenfalls transportablen Gerät wurden aus der Ungarischen Volksrepublik bekannt (Bild 3) [2] [3]. Hierbei wird die Belastungsplatte und ihre Auflast durch Elektromotor mit Hilfe von Schneckengetriebe und Schraubenspindel mit einer Geschwindigkeit von 1 mm/s bewegt. Ein Registriergerät zeichnet den Reibwiderstand kontinuierlich auf. An der Belastungsplatte waren zunächst auch 3 Klauen befestigt. Sie sind später durch drei wasserabweisende Zylinder von 15 mm Durchmesser, bestehend aus „Metamid“, einem Caprolaktampolymer, ersetzt worden. Bei allen genannten Geräten beruht das Meßprinzip auf der Anwendung der Gesetzmäßigkeiten der Reibung, besonders der Haft- und Gleitreibung, wie sie in [4] dargestellt sind. Beim Meßvorgang ist der Grenzfall (die waagrecht gerichtete Kraft hat

Bild 1. Reibwertmeßgerät nach [1]

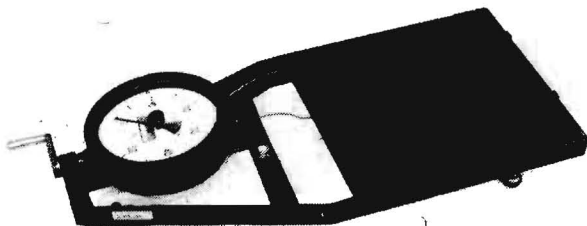
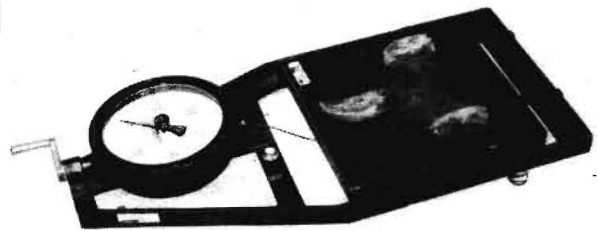


Bild 2. Reibwertmeßgerät; gewendete Belastungsplatte mit drei Rinderklauen



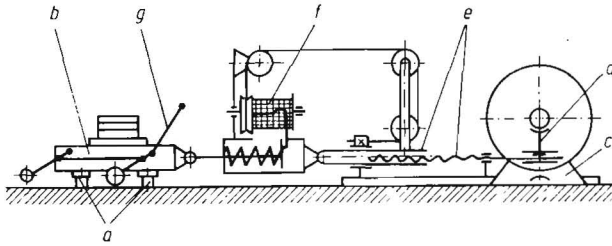


Bild 3. Schema des Reibwertmeßgeräts nach [2]; a Reibkörper, b Rahmen, c E-Motor, d Schneckengetriebe, e Schraubenspindel, f Schreibvorrichtung, g Hebevorrichtung

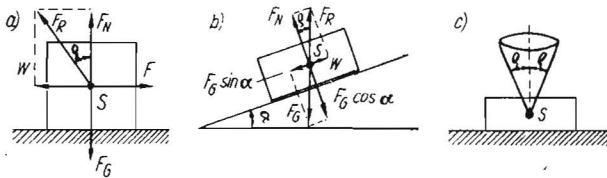


Bild 4. Schema der Krafrichtungen bei Reibung nach [2]

den Mindestwert F erreicht und ist gleich dem Haftreibungswiderstand W_0 zu überschreiten. Dabei ist W_0 der Normalkraft F_N proportional. Der Proportionalitätsfaktor dieser Beziehung ist der Haftreibungskoeffizient μ_0 . Während der Bewegung des Reibkörpers auf der Unterlage ist der Gleitreibungswiderstand W zu überwinden. Entsprechend Bild 4a gelten die Beziehungen

$$W = \mu F_N$$

$$\mu = W/F_N = \tan \varrho$$

Die Höhe von F_N ergibt sich aus der Masse der Gesamtanlage, die aus der Masse der Belastungsplatte nach [1] bzw. des Rahmens nach [2] zuzüglich der aufgelegten Massen besteht (Bilder 1 und 3). Der Gleitreibungskoeffizient μ wurde somit aus der Beziehung

$$\mu_{\text{vorhanden}} = \frac{\text{aufgewendete Zugkraft}}{\text{Gesamtbelastung}}$$

errechnet.

Zwischen den Reibungskoeffizienten μ_0 und μ konnte kein Unterschied festgestellt werden [1] [2]. Der Einfluß der Geschwindigkeit auf den Gleitreibungskoeffizienten kann vernachlässigt werden, da er im Vergleichsversuch bei festgelegter konstanter Vorschubgeschwindigkeit und konstanter Gesamtbelastung ohne Bedeutung ist.

Eine Gleitbewegung tritt auf, wenn auf den entsprechenden Körper, im speziellen Fall den Horschuh, eine Kraft in einem größeren Winkel als ϱ zur Senkrechten wirkt. Dabei ist gleichgültig, in welcher Richtung die Kraft angreift. Diesen Sachverhalt stellt das Modell des Reibungskegels mit einem Öffnungswinkel von 2ϱ dar (Bild 4c). Der Reibungskegel gibt auch die mögliche Größe des sogenannten Schrittwinkels einer Extremität zur Senkrechten an.

Für den Reibwiderstand auf der schiefen Ebene, beispielsweise auf geneigtem Stallfußboden in Liegeboxen oder auf geneigten Treibflächen, muß die Kraft, die noch kein Gleiten verursachen kann, um den Faktor $\sin \alpha$ geringer sein als auf einer waagerechten Fläche, wobei dann $F_G \sin \alpha < W$ sein muß (Bild 4b). Der Grenzfall ist bei $F_G \sin \alpha = W$ erreicht.

Bei Messungen der Varianten „Wasserzusatz“ und „Kotzusatz“ erhöhten sich die erhaltenen Reibungskoeffizienten infolge der Erweichung der Hornsubstanz durch Wasseraufnahme. Eine Erhöhung des Gleitreibungskoeffizienten konnte auch bei Messungen von nassem gegenüber trockenem Leder auf Metall und Gußeisen festgestellt werden [4]. Auf dem elastischen Material Gummi zeigten sich keine Differenzen zwischen trockenen und feuchten Varianten. Bei der Ermittlung von Reibwiderstandswerten an feuchten und verkoteten Varianten ergab sich weiterhin

eine geringere Streuung der Meßwertreihen bei allen untersuchten Fußbodenmaterialien. Die höchste Streuung einer dieser Meßreihen betrug $s\% = \pm 5,6$. Entsprechend den erhaltenen Erkenntnissen beim praktischen Vergleich von Materialvarianten in der Tierhaltung wird angenommen, daß die durch Wasseraufnahme bedingte Konsistenz der Hornschuhe im Versuch den normalen Bedingungen am besten entspricht. Eine Übersicht der bisher erhaltenen Meßergebnisse ist in Tafel 1 dargestellt.

Auswertung der Meßergebnisse

Die Auswertung der vorliegenden Ergebnisse erlaubt bereits einige grundsätzliche Feststellungen. Sie basieren auf den in Tafel 1 dargestellten Werten und auf dem Vergleich dieser Werte mit praktischen Einsatzerfahrungen auf entsprechenden Fußböden.

Geht man von dem genannten Mindestwert des Gleitreibungskoeffizienten $\mu = 0,40$ aus [2], dann sind die traditionellen Materialien, wie Beton- und Asphaltnutzschichten, als ausreichend zu bezeichnen, jedoch nicht die in den letzten 10 Jahren im Angebot vorhandenen Materialien, wie Stahl oder Plaste. Diese Beurteilung ist den eigenen Erkenntnissen entsprechend nur für planbefestigte Stallfußböden anwendbar, wenn die Variation der funktionellen Gestaltung ausschließlich auf die Neigung der Trittlfläche beschränkt bleibt. Bei perforierten Fußböden ist außer dem Reibwiderstand der Einfluß der Faktoren der funktionellen Gestaltung bei den meisten Materialien vorhanden und zu berücksichtigen. Dabei ist festzustellen, daß ein entsprechender Formschluß der perforierten Stallfußböden bei Gleitreibungskoeffizienten von $\mu < 0,20$ nicht mehr wirksam ist. Wird eine Erhöhung des Formschlusses bei derartigen Materialien dennoch angestrebt, beispielsweise durch Vergrößerung der Spaltenbreiten, so treten während längerer Haltungsdauer Mißbildungen und Schäden am Bewegungsapparat auf. Andererseits verursachen Fußböden mit Kies oder Splitt als Oberflächenmaterial oder mit brüchiger ausgewaschener Trittlfläche Abschürfungen und Verletzungen durch zu hohe Rauhigkeit (Formschluß).

Die höheren Reibwiderstandswerte bei Untersuchungen mit Hornschuhen an den meisten feuchten Oberflächen gegenüber den

Tafel 1. Bisher ermittelte Gleitreibungskoeffizienten μ unter Berücksichtigung trockener, nasser bzw. verkoteter Oberflächen

Fußbodenoberflächenmaterial	$\mu_{\text{vorhanden}}$		
	trocken	naß	verkotet
Metalle			
Stahlblech	0,26	0,26	0,25 ··· 0,27
KTS-Spaltenboden, parallel zu den Spalten	0,27 ··· 0,29	—	—
quer zu den Spalten	0,24 ··· 0,30	—	—
Plastwerkstoffe			
PE-hart-Platten	0,08 ··· 0,17	0,18	0,19
PE-Spaltenboden	0,19 ··· 0,22	—	—
PVC-schlagfest	0,09	0,32	0,28
Polyesterspachtel	0,55	0,57	0,49
Epoxidharzspachtel	0,55 ··· 0,62	—	—
Polyurethan, gespritzt	0,56 ··· 0,58	—	—
gegossen	0,66 ··· 0,70	0,56	—
Bitumenhaltige Schichten			
Asphalt	0,75 ··· 0,79	0,78 ··· 0,86	0,57 ··· 0,63
Kaltbitumenestrich	0,36 ··· 0,40	0,36 ··· 0,43	—
Gummi			
Gummiplatte (d = 4 mm, ohne Profil)	0,57	0,59	0,58
Ungar. Gummimatte	0,65	0,53	0,55
Holz			
Kiefer, parallel zur Faser	0,11	—	—
quer zur Faser	0,21	—	—
Beton			
Betonestrich (DDR)	0,46	0,65	0,62
Betonestrich (UVR)	0,70 ··· 0,86	0,70 ··· 0,92	0,56 ··· 0,81

Tafel 2. Erforderliche Mindestgröße des Gleitreibungskoeffizienten μ

Aufstellungsart und Tierart	μ erforderlich planbefestigter Fußboden	Spalten- fußboden
Gruppenhaltung		
Kuh, Färse, Jung- und Zuchtsau	0,40	0,30
Jung- und Mastrind, Mastschwein, Schaf	0,35	0,25
Kalb, Ferkel, Jungschwein, Lamm	0,30	0,25
Einzelhaltung		
Kuh, Färse, Jung- und Zuchtsau	0,35	0,25
Jung- und Mastrind, Mastschwein, Schaf	0,30	0,25
Kalb, Ferkel, Jungschwein, Lamm	0,25	0,20

Tafel 3. Gleitreibungskoeffizient μ_B zur Beurteilung der Stallfußböden in Abhängigkeit von der funktionellen Gestaltung

Nutzschichtmaterial bzw. -konstruktion	μ_B
Beton unegglättet, Plastspachtel besandet, Asphalt, elastische Beschläge (Gummi oder Plaste), Kaltbitumenestrich	0,40
Beton gegglättet	0,35
Gußeisen- und Betonspaltenböden, Spaltenböden mit Gummi	0,30
Metallspaltenböden	0,25
Spaltenböden aus PVC- oder PE-Profilen	0,20

gleichen trockenen Materialien lassen auch auf einen erhöhten Formschluß des feuchten Hornmaterials mit der Oberfläche des Stallfußbodens schließen, wie er in der Praxis ebenfalls vorhanden sein muß. Daraus ist zu entnehmen, daß in der Praxis zwischen leicht verkoteten Oberflächen, wie sie bei normaler Bewirtschaftung erreicht werden, und Oberflächen mit ausgebildeter Schmierschicht zu unterscheiden ist.

Die praktischen Bedingungen der Tierhaltung, wie Tieralter, Tierart und Nutzungsrichtung, haben ebenfalls Bedeutung bei der Bewertung des Reibwiderstands, besonders als Kriterien bei der Festlegung von Grenzwerten des Faktors μ . So ist zum Beispiel zu unterscheiden, ob die Fußbodenoberflächen von kleinen oder großen Tieren genutzt werden. Kleinere Tiere können sich auf glatteren Flächen viel besser und schadloser bewegen als große und schwerere Tiere. Außerdem handelt es sich bei den größeren Tieren um wertvolle Zucht- und Nutztierbestände, die Vermeidung von Verletzungen ist hier besonders notwendig.

Aufgrund der Erkenntnis, daß eine geringere gegenseitige Beeinflussung der Tiere in Einzelhaltung auch geringere Reaktionskräfte der Tiere nach sich zieht, sind die niedrigeren Anforderungen an den Reibkoeffizienten vertretbar.

Bei besonderer Beachtung der verschiedenen Nutzungsbedingungen für die einzelnen Tiergruppen und Haltungsverfahren sind unterschiedliche Maßstäbe zur Einschätzung der Fußbodenoberflächen zweckmäßig. Das wurde bei der Festlegung der Mindestwerte für den Faktor der Gleitreibung im Rahmen der Erarbeitung des Entwurfs des Fachbereichsstandards TGL 32456 „Bauwerksteil Stallfußboden, Anforderungen“ berücksichtigt. Die erarbeiteten Werte, die in den Standardentwurf aufgenommen worden sind, enthält Tafel 2. Die Größe des geforderten Gleitreibungskoeffizienten bewegt sich somit zwischen $\mu = 0,40$ und $\mu = 0,20$ entsprechend den haltungstechnischen und technologischen Bedingungen. Gleichzeitig ist eine von der funktionellen Gestaltung abhängige Beurteilung von Stallfußböden in diesem Vorschlag enthalten (Tafel 3). Diese Beurteilung für den Stallfußbodeneinsatz stimmt mit den bisherigen praktischen Erfahrungen über die Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Baustoffe für die jeweiligen Produktionsrichtungen weitgehend überein [5] [6] [7].

Zusammenfassung

Ausgehend von den aufgezeigten Zusammenhängen, Gesetzmäßigkeiten, Ergebnissen und Schlußfolgerungen einschließlich der Forderungen des zu erwartenden Entwurfs des Fachbereichsstandards TGL 32456 ist die Möglichkeit aufgezeigt worden, durch Schaffung und Anwendung entsprechender Reibwiderstandsmeßgeräte eine exakte und rationale Variantenbeurteilung vorzunehmen und damit die Entwicklung optimal gestalteter, materialsparender Stallfußböden weiter voranzutreiben.

Die Materialeigenschaften und die Gestaltung der Stallfußböden haben bei der einstreulosen Tierhaltung in stärkerem Maß den vom Tier gestellten Anforderungen zu entsprechen. Eine dieser Anforderungen ist die Trittsicherheit. Die direkt und indirekt auf sie wirkenden Einflußfaktoren werden genannt, eine Quantifizierung der komplexen Wirkung der Einflußfaktoren ist zur Zeit noch nicht möglich.

Die Ermittlung des Reibwiderstands als Materialkennwert hat bei den gegenwärtig anwendbaren Gestaltungsprinzipien des Stallfußbodens große Bedeutung für einen objektiveren Ausdruck der Eigenschaft Trittsicherheit. Die erforderlichen Gleitreibungskoeffizienten für die Haltungsbereiche und die Koeffizienten in Abhängigkeit von der Fußbodengestaltung, die nur an Hand praktischer Einsatzbedingungen einzuschätzen sind, wurden dargestellt.

Literatur

- [1] Türpitz, L.: Vergleichende Ergebnisse und Empfehlungen für die Auswahl von geeignetem Fußbodenmaterial (Haftreibung). Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, Forschungszwischenbericht 1968 (unveröffentlicht).
- [2] Beer, G.; Kovacs, A.: Az istállópadozat csúszósságának meghatározása, a nyugalmi súrlódási tényező mérése. (Die Bestimmung der Rutschfestigkeit des Bodenbelages von Ställen, die Messung des Haftreibungskoeffizienten). Sonderdruck aus: Magyar Állatorvosok Lapja (1974) Nr. 9, S. 628—630.
- [3] Beer, G.; Kovacs, A.: Az istálló-álláspadozat csúszósságának vizsgálata. (Die Untersuchung der Rutschfestigkeit des Bodenbelages von Stallbuchten). Sonderdruck aus: Különlenyomat a Kísérletügyi Közlemények LXVI/B. Állattenyésztés 1973, H. 1—3.
- [4] Draht, R.: Mechanik starrer Körper. In: Grundwissen des Ingenieurs. 8., verb. Auflage. Leipzig: Fachbuchverlag 1971.
- [5] Henning, H.J.; Lüpfert, T.; Brink, R.: Ergebnisse der Prüfung von Spaltenböden und Kotrosten für die Rinder-, Schweine- und Lämmerhaltung. agrartechnik 23 (1973) H. 11, S. 502—505.
- [6] Prange, H.; Baumann, G.: Beziehungen zwischen Fußbodengestaltung und Gliedmaßengesundheit in der modernen Schweinehaltung. Mh. Vet.-Med. 27 (1972), H. 12, S. 450—457.
- [7] Prange, H.; Lemke, E.; Blaha, T.: Ergebnisse zur Gliedmaßen- und Klauengesundheit bei Schweinen. Tierzucht 29 (1975) H. 10, S. 467—470.