Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV

Nutztierhaltung | Fachbericht

Interessenskonflikt Tierschutz – Umweltschutz am Beispiel von Stallböden in der Rinderhaltung

12.6.2024

Anna-Sophia Stocker, Christina Rufener, Gertraud Schüpbach

Eine Publikation zur Förderung des Tierwohls

In Zusammenarbeit mit

VETERINARY • PUBLIC • HEALTH • INSTITUTE

UNIVERSITÄT BERN

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Deutsch 2

Résumé en français 2

Riassunto italiano 3

1 Einleitung 4

2 Boden 4

2.1 Einleitung 4

2.2 Einflüsse des Bodens auf das Tierwohl 4

2.3 Einflüsse des Bodens auf die Umwelt 7

2.4 Wichtigste Schlussfolgerungen 9

3 Entmistungsmanagement 9

3.1 Einleitung 9

3.2 Einflüsse des Entmistungsmanagements auf das Tierwohl 10

3.3 Einflüsse des Entmistungsmanagements auf die Umwelt 11

3.4 Wichtigste Schlussfolgerungen 12

4 Kostenüberlegungen 12

5 Schlussfolgerungen 13

6 Literatur 13

Zusammenfassung Deutsch

Ein Grossteil der Ammoniak-Emissionen stammt in der Schweiz aus der Tierproduktion in der Landwirtschaft, davon rund ein Drittel aus Ställen und Laufhöfen von Nutztieren. Die Art des Bodens im Laufbereich und das Entmistungsmanagement haben einen Einfluss auf diese Emissionen. Gleichzeitig sind beide Aspekte äussert wichtig im Zusammenhang mit dem Tierwohl, was Klauengesundheit, Trittsicherheit, Verschmutzung und Verhalten betrifft. In diesem Bericht wird der aktuelle Stand der Forschung im Hinblick auf mögliche Interessenskonflikte zwischen Umweltschutz und Tierwohl aufgezeigt.

Es erfolgte eine Literaturanalyse von wissenschaftlichen Publikationen, der Fachpresse sowie Veröffentlichungen der landwirtschaftlichen Beratung. Hieraus ergibt sich, dass im Hinblick auf den Umweltschutz und das Tierwohl insbesondere die Bodenbeschaffenheit (Materialien, Materialeigenschaften, Gefälle) und das Entmistungsmanagement (Entmistungssystem, Reinigungsintervall, Bildung von Schmierschichten, Befeuchten der Laufflächen, erhöhte Fressstände) relevant sind. Grundsätzlich bestehen keine grossen Interessenskonflikte zwischen Tierwohl- und Umweltschutzaspekten (Fokus auf NH3) bei der Gestaltung der Laufgangfläche und des Entmistungssystems. Einer der wichtigsten Aspekte im Hinblick auf das Tierwohl ist die Art des Bodens (Gummimatten vs Betonböden). Quergefälle sowie erhöhte Fressstände sollten im Hinblick auf Emissionsminderungen bedacht werden. Das Entmistungssystem und die Reinigungsfrequenz ist sowohl hinsichtlich Tierwohl als auch Umweltschutz wichtig.

Résumé en français

En Suisse, la production animale dans l'agriculture est responsable de la majeure partie des émissions d'ammoniac, dont un tiers est attribuable aux locaux de stabulation et aux aires d'exercice des animaux de rente. Si le type de sol des aires d'exercice et la gestion de l'évacuation du fumier ont une influence sur ces émissions, ils sont aussi essentiels dans le contexte du bien-être animal (santé des onglons, sûreté du pas, souillures et expression du comportement). Le présent rapport fait état des dernières recherches sur les éventuels conflits d'intérêts entre la protection de l'environnement et le bien-être des animaux.

Pour y parvenir, les auteurs ont analysé les bibliographies des publications scientifiques, de la presse spécialisée et des contributions de la vulgarisation

agricole. Le résultat ? Ce sont surtout les caractéristiques du sol (matériaux, propriétés des matériaux, pentes) et la gestion de l'évacuation du fumier (système d'évacuation du fumier, fréquence de nettoyage, formation de couches grasses, humidification des aires de circulation, stalles d'alimentation surélevées) qui sont déterminantes pour la protection de l'environnement et le bien-être des animaux. Aucun conflit d'intérêts majeur n'oppose ces deux aspects (accent sur l'ammoniac [NH_3]) au moment de la conception des aires d'exercice et du système d'évacuation du fumier. S'agissant du bien-être des animaux, l'un des principaux points à considérer est le type de sol (béton ou tapis en caoutchouc). Pour réduire les émissions d'ammoniac, il s'agit d'envisager des pentes transversales et des stalles d'alimentation surélevées. Quant au système d'évacuation du fumier et la fréquence de nettoyage, ils sont pertinents tant pour le bien-être animal que pour la protection de l'environnement.

Riassunto italiano

In Svizzera, gran parte delle emissioni di ammoniaca è dovuta alla produzione animale in agricoltura e circa un terzo provengono dalle stalle e dai cortili per gli animali da reddito. Il tipo di pavimento nella zona di transito e la gestione della rimozione del letame influiscono sulle emissioni e sono inoltre entrambi aspetti estremamente importanti per il benessere degli animali in termini di salute degli unghioni, sicurezza antisdrucciolo, sporcizia e comportamento. Questo rapporto illustra lo stato attuale della ricerca in merito ai possibili conflitti di interesse tra la protezione dell'ambiente e il benessere degli animali.

Da un'analisi della letteratura condotta sulle pubblicazioni scientifiche e della consulenza agricola, oltre che sulla stampa specializzata, è emerso che per la protezione dell'ambiente e il benessere degli animali sono particolarmente rilevanti le caratteristiche del pavimento (materiali, loro proprietà e pendenza) e la gestione della rimozione del letame (sistema impiegato, frequenza della pulizia, scivolosità, umidità delle zone di transito, stand di foraggiamento rialzati). In linea di principio non si evidenziano particolari conflitti d'interessi tra il benessere degli animali e la protezione dell'ambiente (per quanto riguarda l'ammoniaca) nella concezione delle zone di transito e dei sistemi di rimozione del letame. Uno degli aspetti fondamentali per il benessere degli animali è il tipo di pavimento (cemento vs. tappeto di gomma). Per ridurre le emissioni è necessario valutare il ricorso a pendenze trasversali e stand di foraggiamento rialzati. La scelta del sistema di rimozione del letame e la frequenza di pulizia sono a loro volta importanti sia per il benessere degli animali che per la protezione dell'ambiente.

1 Einleitung

Ammoniak (NH3) als Luftschadstoff stammt in der Schweiz grösstenteils aus der Landwirtschaft. Im Jahr 2020 war NH3 für 94 % (41.3 kt NH3-N) der Emissionen verantwortlich. Davon fallen 93 % auf die Tierproduktion und rund ein Drittel dieser Emissionen stammt aus Ställen und Laufhöfen von Nutztieren. Die Rindviehhaltung ist dabei für 77 % der Emissionen aus der Tierproduktion verantwortlich (1). Der Bundesrat hat zum Ziel, die NH3-Emissionen im Vergleich zu 2005 um 40 % zu senken, bisher wurden aber in der Landwirtschaft nur 7 %, insgesamt nur 11 % Reduktion erreicht (2).
NH3 entsteht aus dem im Harn vorhandenen Harnstoff. Die Bildung wird dabei durch das Enzym Urease unterstützt, welches von Mikroorganismen auf kotverschmutzten Flächen gebildet wird. In der Regel entsteht der grösste Anteil der Emissionen dabei innerhalb von 2 Stunden nach dem Harnabsatz (3).
Das Interesse an tierfreundlicheren Haltungssystemen führt bei Kühen zu einem Trend hin zu Laufstallhaltung und weg von der Anbindehaltung. Da in Laufstallsystemen eine grössere verschmutzte Fläche entsteht, fallen dabei unweigerlich höhere NH3-Emissionen an. Durch Fütterung, Mist- und Güllemanagement und bauliche Massnahmen im Stall können diese aber reduziert werden (4). Gleichzeitig können die Art des Bodens und das Entmistungsmanagement einen Einfluss auf das Tierwohl haben, was an Faktoren wie Klauengesundheit, Trittsicherheit, Verschmutzung und Verhalten erkennbar ist (5,6).
Dieser Bericht soll den aktuellen Stand der Forschung aufzeigen und darlegen, ob und wo mögliche Interessenskonflikte zwischen Umweltschutz, mit Fokus auf NH3-Reduktion, und Tierwohl bestehen. Der Bericht basiert auf einer Literaturanalyse, welche mögliche Einflüsse von Laufgangböden und Mistmanagement auf das Tierwohl und die Umwelt darlegt und die identifizierten Interessen gegenüberstellt.

2 Boden

2.1 Einleitung

In der Laufstallhaltung häufig vorkommende Bodentypen sind Beton, Gummimatten und Gussasphalt, entweder planbefestigt oder als Spaltenböden. Viele Studien vergleichen generell die Art der Materialien. Innerhalb dieser Gruppen kann aber auch die Oberflächenstruktur variieren und durch Eigenschaften wie Reibungskoeffizienten und Abrasivität charakterisiert werden. Verschiedene bauliche Massnahmen wie Bodenstrukturen oder Gefälle zielen darauf ab, die zu verschmutzende Fläche zu verkleinern oder den Harnabfluss zu beschleunigen, um damit die NH3-Produktion zu vermindern.

2.2 Einflüsse des Bodens auf das Tierwohl

2.2.1 Materialien

Einfluss auf das Liege- und Komfortverhalten

Eine Meta-Analyse bei Mastrindern (7) konnte keinen Effekt beim Einsatz von Gummimatten über Betonspaltenböden oder Strohpolsterung auf die Gesamtliegezeit pro Tag und die Verschmutzung der Tiere finden. Auf Betonspaltenböden können ähnliche Liegepositionen wie auf Gummiböden erreicht werden (8). Das Liegeverhalten kann jedoch über die Gesamtliegezeit hinweg beeinflusst werden. Häufigkeit von Aufstehen / Abliegen, Dauer der Steh- / Liegeperioden und atypische Liege- / Aufstehvorgänge sprechen für einen besseren Komfort der Tiere, wenn Betonspaltenböden mit Gummimatten belegt werden (9,10).
Auf weicheren Gummiböden führen Kühe und Mastrinder natürliche Verhaltensweisen wie Selbstpflege und soziale Interaktionen im Vergleich zu Betonspaltenböden häufiger aus (11–13) und wenn sie wählen können bevorzugen sie einen Aufenthalt auf Gummiböden (14,15). Komfortable Laufgangböden können

aber in Kombination mit weniger bequemen Liegeboxen dazu führen, dass Kühe vermehrt in den Laufgängen liegen, mit stärkerer Verschmutzung und erhöhter Mastitisproblematik als Folge (16,17).

Einfluss auf die Klauengesundheit
Zahlreiche Studien verglichen die Klauengesundheit von Mastrindern und Milchkühen auf konventionellen Betonböden mit Böden mit daraufgelegten Gummimatten. Klauenwachstum und Klauenabrieb auf Gummiböden sind vermindert, jedoch nicht mit vermehrtem Auftreten von Lahmheit verbunden (9,18–24). Klauenerkrankungen treten unterschiedlich häufig auf. Auf Betonböden kommen vermehrt Sohlenblutungen und Weisse-Linie-Erkrankungen vor (8,19,22,23,25-28), Gummiböden sind hingegen eher mit vermehrtem Auftreten von Sohlenulzera und Ballenhornerosionen assoziiert (23,25,26,28,29). Die häufigeren Ballenhornerosionen sind möglicherweise mit einer verminderten Drainage auf Gummispaltenböden verbunden und konnten in einer Studie durch den zusätzlichen Einsatz eines Mistschiebers reduziert werden (26). Einige Studien fanden generell mehr Klauenerkrankungen entweder auf Betonböden (30) oder Gummiböden (31–33).
Insgesamt sind Gummiböden häufiger als Betonböden mit einem tieferen Auftreten von Lahmheit assoziiert (13,23,26,34). Ein fehlender Unterschied in der Klauengesundheit von Kühen im Laufstall bei verschiedenen Bodenbelägen lässt sich auch durch ein verändertes Verhalten der Kühe erklären, die sich bei härteren Böden vermehrt in den Liegeboxen aufhalten (35).
Entscheidend ist aber auch, welchen Boden die Tiere gewohnt sind. Beim Wechsel von einem weicheren auf einen härteren Bodentyp besteht eine höhere Gefahr von Klauenerkrankungen wie Sohlenblutungen und Weisse-Linie-Erkrankungen als bei einem Wechsel zwischen zwei harten Bodentypen und die Tiere brauchen eine längere Akklimatisationszeit und gute Klauenpflege (23,26). Böden aus Gussasphalt führen zu einem stärkeren Klauenabrieb (21) und vermehrtem Auftreten von flachen Sohlen im Vergleich zu Beton und Gummi (36). Besteht der gesamte Boden aus Gussasphalt, haben Milchkühe eine schlechtere Klauengesundheit und zeigen häufiger Lahmheit, als wenn zusätzlich ein Teil des Bodens (34-45 %) aus Gummimatten oder planem Beton besteht (37).

Einfluss auf die Trittsicherheit
Ganganalysen mit Drucksensoren zeigen, dass die Druckbelastung auf die Klauen von Milchkühen beim Gang auf planen Betonböden signifikant höher ist als auf Böden, die zusätzlich mit Gummimatten belegt sind (38). Untersuchungen zum kurzfristigen Einfluss des Bodentyps auf die Muskelaktivität führen nicht zu klaren Unterschieden zwischen Beton- und Gummiböden (39,40). Gummiböden führen zu einem verbesserten Gangbild und erhöhter Trittsicherheit der Kühe (28,41–45), sowohl bei älteren als auch bei neuen Matten (41). Auf Asphalt machen Kühe längere Schritte, ein Zeichen für Trittsicherheit, als auf Betonböden, aber kürzere Schritte als auf Gummiböden (17,46,47). Die Eignung von Asphalt im Laufgang ist nach Haufe et al. (47) über Beton aber unter Gummi einzuordnen. Eine klare Überlegenheit eines Bodens (Gummi, Beton, Asphalt) im Hinblick auf die Trittsicherheit ist aber nicht immer ersichtlich (28,36,46).

2.2.2 Materialeigenschaften

Einfluss von Reibung und Abrasivität
Einige Möglichkeiten, die Oberflächeneigenschaften von Laufgangböden weiter zu beschreiben sind Reibungskoeffizient, Abrasivität und Rutschfestigkeit. Höhere Reibungskoeffizienten, bei harten Böden auch höhere Abrasivität, führen zu einem besseren Gangbild (48). Gemessene und empfohlene Reibungskoeffizienten unterscheiden sich etwas je nach Studie. Phillips und Morris (49) geben als optimalen Gleitreibwert 0.4-0.5 μ an. Steiner et al. (17,50) sehen Werte < 0.3 μ als problematisch und Werte > 0.35 μ für neue Böden als erstrebenswert an. Werte > 0.4 wären auf den untersuchten harten Böden nicht erreichbar. Gummimatten haben die höchsten, Betonböden die tiefsten Reibungskoeffizienten und Gussasphalt liegt dazwischen (17,48). Innerhalb von Betrieben und Bodenmaterialien gibt es aber grosse Schwankungen. Auf Gummiauflagen sind passende Oberflächenstrukturen notwendig. Betonspaltenböden und Gummigranulatböden weisen bereits nach

wenigen Jahren Alterungserscheinungen und eine ungenügende Trittsicherheit auf, Asphaltböden hingegen behalten ihre Rutschfestigkeit länger (17).
Die Abrasitivät von Asphalt ist sehr hoch und bei Gummimatten sehr gering. Betonböden mit eingestampftem Muster (hexagonal) sind abrasiver als andere Betonböden mit Spalten, glatt oder mit eingefrästen Rauten (48). Die Abrasivität von Gussasphalt kann aber durch unterschiedliche Zusammensetzung und Oberflächenbearbeitung beeinflusst werden und für einen geringeren Klauenabrieb optimiert werden (51). Aufgrund der tiefen Abrasivität empfehlen Steiner et al. (17) bei Gummiauflagen in allen Laufbereichen, Teilbereiche (ca. 20 % notwendig) mit abrasiveren Böden auszustatten, um einen genügenden Klauenabrieb zu gewährleisten.

Einfluss auf die Rutschfestigkeit
Die Rutschfestigkeit, gemessen mit dem Skid-resistance Test, ist bei Beton mit eingestampftem Muster und Gummi am höchsten, auf glattem Beton, Betonspaltenboden und Asphalt am tiefsten, insbesondere, wenn zusätzlich Gülle auf dem Boden vorhanden ist (48).Die Rutschfestigkeit von Beton nimmt mit der Zeit ab. Betonböden können chemisch oder mechanisch aufgeraut werden, was aber häufig nur eine kurzfristige Wirkung erzielt (52). Durch das Aufrauen mit Fräsverfahren können scharfe Kanten entstehen, die wiederum eine Verletzungsgefahr für Klauen darstellen (53). Die Rutschfestigkeit von Gummimatten kann unter Praxisbedingungen von Labormessungen abweichen, wenn es durch schlecht abgeschobene Mistschichten zu einem oberflächlichen Antrocknen kommt. Bei Gummimatten mit stärker gerauter Oberfläche kommt dieses Problem weniger vor (54). Ist auf dem Boden zudem vermehrt Gülle («Slurry») vorhanden, führt das zu vermehrtem Ausrutschen und unsicherem Gang (45,55).
Eine Analyse (5) hat zusammenfassend verschiedene Böden verglichen. Natürliche Böden (Gras, Sand) bieten die beste Unterlage für Klauengesundheit und Gangbild von Kühen. Gummiböden bieten eine akzeptable künstliche Alternative, aber es muss auf die richtige Reibung geachtet werden. Asphalt und Beton sind die schädlichsten Oberflächen. Asphaltböden haben eine hohe Abrasivität und Betonböden führen zu einer stärkeren Belastung der Klauen.

Einfluss auf die Komprimierbarkeit
Unabhängig der Rauheit der Bodenoberfläche kann auch eine Erhöhung der Komprimierbarkeit des Bodens das Gangbild verbessern (45). Gummiböden sollen ein Einsinken der Klauen um ca. 3 mm ermöglichen (17).

Einfluss der Anordnung von Rillen oder Spalten
Kühe auf Betonböden mit längsverlaufenden Rillen («grooved») oder querverlaufenden Spalten gleicher Weite haben keine Unterschiede im Gangbild und den gezeigten Verhaltensweisen. Allerdings ist bei Entmistung mittels Mistschieber auf beiden Böden der Rillenboden nach Entmistung stärker verschmutzt als der Spaltenboden (56). In einem Vergleich von Betonböden mit Rillen, Betonspaltenboden, planbefestigtem Betonboden und Tiefstreu waren die Klauenwinkel steiler bei Tieren auf Spalten- und Rillenböden als auf dem planen Boden und Tiere auf Spaltenboden hatten weniger Dermatitis Digitalis (57).

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
Ein anderer, erwähnenswerter Aspekt von Gummimatten wurde in einem Projekt zum Migrationsverhalten von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) aus Stallmatten (58) untersucht. Experimente mit handelsüblichen Matten zeigten keinen Hinweis auf einen signifikanten Übergang von PAK auf Tiere oder Milch. Anhand der Untersuchungen wurden zudem Richtwerte für die Migrationswerte von PAK für den Herstellungsprozess vorgeschlagen.

2.2.3 Gefälle

Durch ein Gefälle von 3% kann der Harn besser abfliessen. Einerseits ist somit bei Böden mit Gefälle die Restverschmutzung etwas höher, andererseits sind die Laufgänge trockener, was sich positiv auf die Klauengesundheit auswirken kann. Das Gefälle hat aber einen indirekten Zusammenhang mit der Häufigkeit des Ausrutschens, da es vermehrt zur Bildung von Schmierschichten und häufigerem Ausrutschen kommen kann (59,60). Untersuchungen zu längerfristigen Auswirkungen von Laufgangböden mit Gefälle auf die Klauengesundheit fehlen. Kurzfristig hat ein Gefälle von bis zu 9 % bei Kühen keinen Einfluss auf Unruheverhalten, Muskelaktivität und Zeit bis zum Abliegen nach einer Stehphase von 90 Minuten (61).

Schräge Böden sind je nach Bodentyp unterschiedlich leicht zu erreichen. Ein Gefälle auf Gussasphaltböden ist im Vergleich zu Beton und Gummimatten schwierig zu gestalten (62,63). Auf dem Markt existieren Gummimatten mit bereits eingebautem Gefälle (z.B. profiKURA 3D, Kraiburg, Deutschland), bei einem Neubau kann der Beton bereits mit Gefälle versehen werden (59).

2.3 Einflüsse des Bodens auf die Umwelt

2.3.1 Materialien & Materialeigenschaften

In Bezug auf Einflüsse auf die Umwelt wird in den hinzugezogenen Studien meist nicht zwischen Materialien und Materialeigenschaften unterschieden. Sie werden deshalb hier zusammen beschrieben.

Oberflächenrauheit

Die Verflüchtigung von NH3 ist von der Urease-Aktivität auf dem Boden abhängig. Messungen auf Beton zeigen, dass eine Erhöhung der Oberflächenrauheit genauso wie eine grössere Wassereindringtiefe die Urease-Aktivität und somit die NH3-Produktion einer Harnlache auf dem Boden vergrössern (64). Von Steiner et al. (65) wurden Kenngrössen zum Vergleich von Laufflächen entwickelt: das offene und geschlossene Leervolumen (Vop, Vcl) spielen für das Emissionsvolumen eine Rolle. Je tiefer die Summe von Vop und Vcl, desto geringer die Restverschmutzung nach Entmistung und somit das mögliche Emissionsvolumen. Grob strukturierte, rauere Böden haben höhere Werte. Die Volumina von Gussasphalt nahmen mit dem Alter zu, die von Betonböden ab.

Bei zusätzlichem Gefälle ist nur Vop emissionsrelevant, da der Harn aus den offenen Leerflächen abfliessen kann. Innerhalb von Materialgruppen gibt es je nach Beschichtung oder vorhandenen Oberflächenstrukturen starke Unterschiede. Im Hinblick auf Rutschfestigkeit für die Kühe wird empfohlen, mittlere Werte des Leervolumens anzustreben.

Spalten und Perforationen

Verschiedene Studien konzentrieren sich auf den Unterschied der Emissionsraten von NH3 zwischen Spalten- und planbefestigten Böden ohne Gefälle. Zwei Meta-Analysen (66,67) fanden keinen Unterschied zwischen diesen Bodentypen im Hinblick auf die NH3-Emissionen in Milchviehställen. Ein grösserer Einfluss auf die Emissionen spielen Temperatur und Jahreszeit. Bougouin et al. (68), ebenfalls eine Meta-Analyse, fanden zwar höhere NH3-Emissionsraten auf planbefestigten Böden als auf Spaltenböden, allerdings wurden in dieser Studie auch Tiefstreuställe zu den planbefestigten Böden dazugezählt.

Ein planer Betonboden mit Rillen und Perforationen (0.5 % der Fläche), zusammen mit passendem gsezahnten Mistschieber, führte bei Swierstra et al. (69) zu einer Reduktion der NH3-Emissionen um 46 % (35 % bei geschlossenen Perforationen) im Vergleich zu einem konventionellen Betonspaltenboden ohne Mistschieber. Ein direkter Vergleich von perforierten (Entmistungsroboter mit Wasserbesprühung) und planbefestigten Laufflächen (Entmistung mittels Mistschieber) ohne Gefälle wurde im Emissionsversuchsstall des Agroscope durchgeführt (70). Die NH3-Emissionen zeigten über alle untersuchten Jahreszeiten betrachtet keine klaren Unterschiede. Es waren jedoch auf perforierten Laufflächen höhere Methan-Emissionen zu sehen, weshalb perforierte Laufflächen nicht als NH3-Minderung empfohlen werden sollten.

Zurzeit werden im Verbundvorhaben Emissionsminderung Nutztierhaltung (EmiMin) vom KTBL verschiedene Bodenbeläge (spezielle Rillen, Perforationen mit Dichtungsklappen) mit Schiebersystemen untersucht, um eine schnellere Trennung von Kot und Harn zu erreichen (71).

2.3.2 Gefälle

Ein planer Boden mit Gefälle von 3 % und zentraler Harnsammelrinne führte, je nach Studie, zu einer Reduktion der NH3-Emissionen um 21-52 % (59,72–74). Eine zusätzliche Wasserbesprühung führte zu einer Reduktion der NH3-Emissionen um 65 %. Ergänzende seitliche Harnsammelrinnen hatten keinen signifikanten Effekt (59,73).
Von Agroscope wurden bei Gefällen von 0-5 % auf Gummibelägen und Beton das Abflussverhalten von Harn aus einem Kot-Harn-Gemisch gemessen (75). Dabei kam es bis zu einem Gefälle von 3 % zu einem erheblichen Rückgang der Abflusszeit und zurückbleibenden Masse, eine weitere Erhöhung des Gefälles führte nur noch zu geringen Veränderungen. Das Gefälle hatte hier einen deutlich stärkeren Einfluss als die Oberflächenstruktur auf die Ausbreitung von Flüssigkeit.
In einem Zeitungsartikel (76) wurde zudem bemerkt, dass die tatsächlich gemessenen Gefälle in Laufställen oft tiefer sind, als von den Betriebsleitern angegeben und über die Längsachse zum Teil stark variieren.

2.3.3 Empfohlene Massnahmen zur Reduktion der NH3-Emissionen

Von verschiedenen Stellen werden unterschiedliche Massnahmen zur Emissionsminderung von NH3 empfohlen. Einige sind hier beschrieben.

UNECE
Im «Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von NH3-Emissionen aus landwirtschaftlichen Quellen» der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (77) werden verschiedene Kategorien definiert. Unter Kategorie 1 fallen gut erforschte, (potenziell) praktikable Techniken, für die quantitative Daten zur emissionsmindernden Wirkung vorliegen. Dazu wird ein gerillter, mit Drainageöffnungen perforierter Boden und gezahntem Kotschieber gezählt. Techniken der Kategorie 3 seien aus praktischen Gründen vermutlich auszuschliessen oder die Wirksamkeit wurde noch nicht bewiesen. Kotschieber ohne Drainageöffnungen und verschiedene Spülsysteme auf glatten und / oder geneigten Böden werden in diese Kategorie eingeteilt.

KTBL
Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) in Deutschland listet als Stallböden zur Emissionsminderung in der Rinderhaltung folgende Bodentypen auf: a) perforierter Boden mit Profil, reduzierter Schlitzanteil und Dichtungsklappen; b) perforierter Boden mit Profil und Dichtungsklappen; c) Gummiauflage mit reduziertem Schlitzanteil für perforierten Boden; d) Gummiauflage mit konvexer Wölbung für perforierten Boden; e) planbefestigter Boden mit Gefälle und Harnsammelrinne und f) planbefestigter Boden mit Profil (78).

KOLAS, BLW
Die Konferenz der Landwirtschaftsämter der Schweiz (KOLAS) und das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) gaben die Empfehlungen zur Finanzierung einzelbetrieblicher Massnahmen im Rahmen von Ammoniak-Ressourcenprojekten – Rascher Harnabfluss von Laufflächen in der Rindviehhaltung heraus (79). Dazu gehören planbefestigte Laufflächen mit einem Quergefälle von 3 %, einer zentralen Harnsammelrinne und häufiger Entmistung. Nicht zur Finanzierung empfohlen werden hingegen perforierte Böden, gerillte Böden mit gezähntem Schieber und mobile Entmistung planbefestigter Böden.

2.4 Wichtigste Schlussfolgerungen

Insgesamt scheinen Gummimatten im Kuhstall das Tierwohl im Vergleich zu Beton- und Gussasphalt zu verbessern, was sich an geändertem Verhalten sowie verbessertem Gangbild und erhöhter Trittsicherheit zeigt. Die Einflüsse auf die Klauengesundheit sind nicht immer eindeutig, was auch daran liegen kann, dass sich die Kühe in Laufställen bei unbequemeren Böden vermehrt in den Liegeboxen aufhalten (35). Asphaltböden haben eine hohe Abrasivität und Betonböden führen zu einer starken Druckbelastung der Klauen (5).

Höhere Reibungskoeffiziente bedeuten eine bessere Rutschfestigkeit und Trittsicherheit (48). Gummimatten haben zwar eine hohe Rutschfestigkeit aber eine tiefe Abrasivität, so dass im Stall Teilbereiche mit abrasiveren Materialien empfohlen werden (65). Auf eine dem Boden angepasste Klauenpflege sollte jedoch grundsätzlich geachtet werden (36). Es gibt aber auch Unterschiede zwischen verschiedenen Gummimatten und Praxisbeobachtungen der Rutschfestigkeit können von den Messungen bei neuen Matten abweichen (54). Aus den Gummimatten kommt es nicht zu einem Übergang von PAK auf die Tiere (58).

Längerfristige Studien zu Auswirkungen von Quergefälle im Laufgang auf die Klauengesundheit sind nicht vorhanden, kurzfristig führt ein Gefälle aber nicht zu vermehrtem Unruheverhalten (61). Ein Gefälle von 3 % kann indirekt über die vermehrte Bildung von Schmierschichten zu häufigerem Ausrutschen führen (59).

Zwischen Spaltenböden und planbefestigten Böden allgemein gibt es keine Unterschiede in der NH3-Produktion. Ein Quergefälle im Laufgang mit zentraler Harnsammelrinne führt zu einem schnelleren Abfliessen des Harns und zur Reduktion der NH3-Emissionen (59). Ein weiterer, oft untersuchter Bodentyp ist ein planer Boden mit Rillen, Perforationen und gezahntem Schieber, welcher ebenfalls eine Reduktion erzielen kann (69). Je kleiner die Oberflächenrauheit eines Bodens, desto tiefer ist nach der Entmistung die Restverschmutzung und somit das mögliche Emissionsvolumen (65). Der Einfluss der Oberflächenstruktur auf die Emissionsreduktion ist aber geringer als der von Quergefälle (75).

Von Organisationen (UNECE, KTBL, KOLAS / BLW) empfohlene Massnahmen zur NH3-Minderung über bestimmte Bodentypen unterscheiden sich untereinander etwas. Neuere Untersuchungen der Agroscope zeigen, dass perforierte Laufflächen nicht als NH3-Minderungsmassnahme zu betrachten und in Hinblick auf erhöhte Methan-Emissionen nicht zu empfehlen sind (70). In der Schweiz werden planbefestigte Laufflächen mit 3 % Gefälle und zentraler Harnsammelrinne empfohlen (79).

3 Entmistungsmanagement

3.1 Einleitung

Saubere Böden sind sowohl für das Tierwohl als auch die Emissionsbildung relevant (60). Für Böden ohne Perforationen ist es offensichtlich, dass eine Form von Entmistung stattfinden muss. Bei perforierten Laufflächen in Milchkuhställen ist der Durchtritt alleine aber ebenfalls nicht ausreichend um den Mist zu entfernen und eine zusätzliche Reinigung notwendig (80). Die gebräuchlichen Systeme Mistschieber und Reinigungsroboter wurden in verschiedenen Studien auf ihre Wirkung auf Tierwohl und Emissionen untersucht. Die Kühe können direkt vom Entmistungsgerät / -vorgang beeinflusst werden oder durch den Zustand der Laufgänge zwischen Entmistungsphasen. Wie schnell und gründliche Harn und Mist von den Laufflächen entfernt werden beeinflusst die Entstehung von NH3-Emissionen (3). Studien, welche die Sauberkeit / Restverschmutzung nach Entmistung beschreiben werden hier in Abschnitt 3.3 (Einflüsse auf die Umwelt) beschrieben, saubere Flächen sind aber auch für das Tierwohl relevant.

3.2 Einflüsse des Entmistungsmanagements auf das Tierwohl

Ist auf dem Boden vermehrt Gülle («Slurry») vorhanden, führt das zu vermehrtem Ausrutschen und unsicherem Gang (45,55).

Entmistungssystem

Es existieren verschiedene stationäre Entmistungssysteme für Laufgänge wie Falt-, Klapp- und Kombischieber. Schlankere Faltschieber, die sich beim Zurückfahren zusammenfalten, werden von Kühen besser akzeptiert als Klapp- und Kombischieber (62,63). Eine Studie fand aber keinen Einfluss des Schiebertyps auf das Verhalten beim Ausweichen / Übersteigen, und die Kühe weichen besonders zu Beginn der Entmistung in andere Stallbereiche aus (6).

Faltschieber sind mit einem längeren Öffnungsweg verbunden, weshalb der Schieber bereits ausserhalb des Laufgangs starten muss. Klapp- und Kombischieber führen beim Fahren vermehrt zu einem «Güllesee» vor dem Schieber, so dass es zu einer stärkeren Verschmutzung der Klauen kommt. Die Ruheposition dieser Schieber befindet sich zudem üblicherweise am Laufgangende im Stall, was eine höhere Verletzungsgefahr für die Kühe bedeuten kann (81).

Eine Belastung durch den Schiebervorgang ist durch eine Erhöhung der Herzfrequenz messbar, diese ist aber gering, solange genügend Platz für das Ausweichen der Kühe vorhanden ist und Sackgassen vermieden werden. Kühe in der Hauptfressphase werden durch die Entmistung gestört, unterbrechen die Futteraufnahme häufiger und verlagern sie vermehrt in die Nachstunden (6). Schieber sollten maximal 20 cm hoch sein und müssen auf ein vorhandenes Gefälle angepasst sein (79).

Bei der Reinigung von Spaltenböden mittels Roboter besteht eine gute Adaptation der Kühe an die Roboter und die Tiere reagieren insgesamt wenig darauf (82). Wenn der Roboter unmittelbar am Fressgitter vorbeifährt, findet eine Unterbrechung des Fressens statt, diese ist aber gering und die Kühe kehren danach meist wieder zum Fressgitter zurück (80). Der Anpassungsprozess der Kühe nach Einführung eines Roboters ist aber möglicherweise nach einigen Wochen noch nicht abgeschlossen, was bei Verhaltensanalysen in Betracht gezogen werden sollte (83).

Von Agroscope wurde eine Umfrage zum Einsatz von aufnehmenden Entmistungsroboter in der Praxis durchgeführt, mit Resultaten aus 31 Betrieben (84). Diese sind schwerer und grösser als die Roboter für den Einsatz auf Spalten, nehmen den Mist auf und deponieren ihn in einer Abwurfgrube. Die meisten Betriebe waren grundsätzlich zufrieden mit dem Roboter. Die Kühe zeigten sich in der Angewöhnungsphase meist neugierig, manchmal auch ängstlich und nervös. Mögliche Gefahren ergaben sich aber durch Managementfehler, den Entmistungsroboter selber, Sackgassen und die Abwurfgruben der Gülle. Managementfehler, die zu Problemen beim Robotereinsatz führen können, waren vergessenes Öffnen des Fressgitters oder Abkalben ausserhalb der Abkalbebucht. Je nach Produkt fehlt auch ein automatisches Abschalten des Roboters beim Fahren gegen Hindernisse. Ungefähr die Hälfte der Betriebe meldeten Schwanz- und Klauenverletzungen, wobei hier nicht genau geklärt ist, ob der Roboter die Ursache war. Durch den Roboter kann es zum Mitschieben von Kälbern, Kälberverletzungen bis zu Kälberverlusten kommen. Die Abwurfgruben des Roboters werden zum Teil ungenügend gegen Abstürze gesichert. Durch eine sorgfältige Planung, Betrieb gewisser Routen nur unter Aufsicht und technische Massnahmen wie Einbau eines Abschaltmechanismus oder erhöhte Fressstände können diese Problembereiche kontrolliert werden.

Mistschiebergeschwindigkeit

Eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit des Schiebers bringt neben schnellerem Verschleiss und schlechterer Reinigungswirkung auch nervösere Tiere und ein höheres Verletzungsrisiko mit sich (63). Optimal ist eine Geschwindigkeit von maximal 4 m / min (62).

Reinigungsintervall

Das Reinigungsintervall auf planbefestigten Böden ist so zu wählen, dass die Klauen auf dem verschmutzten Boden möglichst wenig aufweichen können (62). Eine höhere Entmistungsfrequenz von 12 mal statt 3 mal pro Tag verbessert die Bein- und Klauensauberkeit von Kühen (85), kann aber zu einem vermehrten Ausrutschen der Tiere wegen Bildung von Schmierschichten führen (59). Wird

häufiger entmistet, können niedrigere stationäre Schieber gewählt werden, da pro Entmistungsdurchgang wenige Masse anfällt (79). Mit Entmistungsroboter auf Spaltenböden genügt eine mittlere Reinigungshäufigkeit von 32 Fahrten pro Tag für eine gute Reinigungsqualität, aufgeteilt auf mehrere Routen in Lauf-, Quer- und Fressgängen (80).

Bildung von Schmierschichten
Auf trockenen Laufflächen kann der vorhandene Kot nur schlecht vor dem Schieber hergeschoben werden, was die Reinigungsqualität herabsetzt und zur Bildung von Schmierschichten führen kann. Schmierschichten führen zu häufigerem Ausrutschen bei Kühen. Ein höheres Entmistungsintervall und vorhandene Gefälle führen durch das raschere Abfliessen von Harn zu einem stärkeren Antrocknen. Ohne Gefälle und mit 3 mal statt 12 mal Entmisten rutschen die Kühe weniger aus, die Laufflächen sind aber dementsprechend stärker verschmutzt (59).

Befeuchten der Laufflächen
Ein gezieltes Befeuchten der Laufflächen (planbefestigt, 3 % Quergefälle mit Harnsammelrinne, Entmistung mittels Schieber) für zehn Minuten pro Tag kann die Bildung von Schmierschichten und somit die Ausrutschhäufigkeit reduzieren (86). Auch beim Entmistungsroboter auf Spaltenböden kann mit Wassersprühfunktion die Reinigungsqualität verbessert und die Schmierschichtenbildung verringert werden (80).

Erhöhte Fressstände
Erhöhte Fressstände (10 cm hoch, 160 cm tief) mit Fressplatzabtrennungen führen zu einem ungestörteren Fressvorgang während der Entmistung, es ist aber etwas weniger Lauffläche für die Tiere vorhanden (85). Agroscope hat dazu ein Merkblatt herausgegeben (87).

3.3 Einflüsse des Entmistungsmanagements auf die Umwelt

Entmistungssystem
Beim Einsatz von Mistschiebern auf planen Böden führen Hartgummischieber zu einer geringeren Restverschmutzung als Metallschieber, da sie flexibler sind und sich an kleinere Unebenheiten anpassen können (60). Der Bodentyp hat im Vergleich dazu einen höheren Einfluss auf die Restverschmutzung, diese ist auf Gummimatten deutlich geringer als auf Betonböden (88). Auf handelsüblichen Gummimatten ist sie, bei gleicher Oberflächenstruktur, etwas geringer als auf speziell weichen Gummimatten (60).
Eine NH3-reduzierende Wirkung von 33-44 % auf Spaltenböden konnte mit einem neuartigen Reinigungsgerät erzielt werden (89). Der dazu entwickelte Prototyp wurde mit Hochdruckdüsen zur Nassreinigung, mechanischer Spaltenreinigung und Gummischieber entwickelt. In einem Artikel der BauernZeitung von Agrofutura und Agroscope (90) wurde eine Wissensübersicht zur Wirkung von herkömmlicher Reinigungsrobotern auf die NH3-Emissionen präsentiert. Bisher gäbe es keine Studien, die eine Minderung der NH3-Emissionen durch Spaltenreinigungs- und Entmistungsroboter auf perforierten und planbefestigten Böden zeigen. Dies weil die meisten Emissionen bereits innerhalb der ersten halben Stunde entstehen und die Roboter eine geringe Flächenleistung haben und nicht schnell genug zur Stelle sind. Sie verbringen über die Hälfte der Tageszeit an der Ladestation (80). Zudem ist zu bedenken, dass lange Einstreu in den Boxen zur Verstopfung von Perforationen, Spalten und Harnsammelrinne führen kann, was die Emissionsminderung verkleinert (78,80).

Reinigungsintervall
Eine Erhöhung der Schieberfrequenz von 12 auf 96 mal täglich führt nur zu einer geringen Reduktion der NH3-Emissionen, der Einbau eines Gefälles hat einen deutlich höheren Effekt (72).

Befeuchten der Laufflächen
NH3-Emissionen aus Milchviehställen sind bei steigenden Temperaturen höher (67). In einem UFA-Revue-Artikel wird erwähnt, dass Sprüh- und Verneblungsanlagen an heissen Tagen zwar zu einer Verbesserung des Tierwohls führen, die Umgebungstemperatur und Exkremente aber zu wenig abgekühlt wird, um darüber auch eine Verminderung der NH3-Emissionen zu erzielen (91). Nach gezielter Besprühung der Lauffläche hinter dem Mistschieber (6 l / Kuh / Tag) auf einem Boden mit Gefälle konnte eine zusätzliche NH3-Reduktion im Vergleich zur Variante ohne Besprühung erreicht werden, 65 % statt 50 % im Vergleich zum Spaltenboden (73). Dies vermutlich durch erleichterten Abfluss und Verdünnung des Harns.

Erhöhte Fressstände
Fressstände reduzieren die Grösse der stark verschmutzten Laufflächen und ermöglichen ungestörter eine häufigere Entmistung. Die NH3-Emissionen werden dabei je nach Jahreszeit um 8-19 % reduziert (85).

3.4 Wichtigste Schlussfolgerungen

Die gebräuchlichen Mistschieber und Spaltenroboter können tiergerecht betrieben werden und beeinflussen das Verhalten der Tiere wenig, sofern einige Aspekte beachtet werden. Es muss genügend Platz zum Ausweichen für die Tiere vorhanden sein und Sackgassen vermieden werden (6,80). Eine Entmistung während der Hauptfressphasen sollte vermieden werden, sofern keine Fressstände vorhanden sind (85). Durch die kleinere verschmutzte Fläche und die Ermöglichung häufigerer Entmistung führen Fressstände zu einer Reduktion von NH3. Mögliche Probleme beim Einsatz von Festboden-Entmistungsrobotern können wahrscheinlich durch sorgfältige Planung, technische Massnahmen und Betrieb gewisser Routen unter Aufsicht kontrolliert werden (84). Eine zweistündige Reinigung führt zu erhöhter Sauberkeit, kann aber, genauso wie das Gefälle, eine Bildung von Schmierschichten bewirken, was zu vermehrtem Ausrutschen der Tiere führt (59). Die Schmierschichtenbildung kann durch Befeuchten der Laufflächen reduziert werden, eine leichte zusätzliche Reduktion ist ebenfalls möglich, solange ein Gefälle vorhanden ist (73,80,86). Die Restverschmutzung nach der Reinigung ist auf Gummimatten geringer als auf Beton und Hartgummischieber sind besser als Metallschieber (60,88). Herkömmliche Reinigungsroboter auf Spaltenböden und planbefestigten Böden führen zwar zu einer erhöhten Sauberkeit, aber nicht zu einer Reduktion der NH3-Emissionen (90).

4 Kostenüberlegungen

Der Einsatz von Gummiböden, v.a. als Aufrüstung eines bestehenden Betonbodens, sind mit erhöhten Kosten verbunden (52). Eine Studie aus Schweden (92) führte Modellanalysen in Milchkuhherden für die Kosten und Nutzen vor und nach dem Einbau von Gummimatten über Betonböden (Spalten oder planbefestigt) durch. Mit verbesserter Gesundheit und Leistung wurde ein Gewinn von plus 13-16 % pro Kuh beim Einsatz von Gummimatten prognostiziert. Für den Einbau von Harnsammelrinne und Gefälle, belegt mit handelsüblichen Gummimatten, sind Mehrinvestitionen notwendig. Modellrechnungen (59) kamen für 60 Tiere je nach Stallanordnung zu CHF 330.- bis 470.- pro Kuhplatz oder CHF 280.- bis 290.- pro Meter Laufgang. Für den Einsatz eines Mistschiebers 12 mal pro Tag entsteht in einen Stall mit 60 Tieren ein Stromverbrauch von ca. 1100 kWh (93). Bei zusätzlicher Befeuchtung der Laufflächen, 1 mal pro Tag für 10 min während 210 Tagen, kommen etwa 35 m^3 Wasser dazu, wofür vermutlich kein zusätzlicher Güllelagerraum notwendig ist (86).
Für einen Spaltenroboter bei optimaler Entmistung mit Wassereinsatz wurden ein Stromverbrauch von 1386 kWh (23.1 kWh / Tier / Jahr) und ein Wasserverbrauch von 192 m^3 (3.2 m^3 / Tier / Jahr) berechnet (80), es kann aber als Kompromiss auch nur jede zweite Fahrt des Roboters mit Wassereinsatz programmiert werden.

5 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich bestehen keine grossen Interessenskonflikte zwischen Tierwohl- und Umweltschutzaspekten (Fokus auf NH3) bei der Gestaltung der Laufgangfläche und des Entmistungssystems.

- Aus Sicht des Tierwohls sind bezüglich der **Art des Bodens** Gummimatten am besten geeignet, die tiefe Abrasivität muss jedoch beachtet werden. Sie lassen sich auch mit dem Mistschieber besser reinigen als Betonböden. Bezüglich der Oberflächenstruktur muss ein Kompromiss gefunden werden, da eine bessere Griffigkeit / Rauheit der Oberfläche eine höhere mögliche Restverschmutzung und somit mögliches Emissionsvolumen bedeutet. Es wird empfohlen, mittlere Werte des Leervolumens anzustreben. Auch wenn die Struktur des Bodens das Abflussverhalten beeinflusst, hat ein Quergefälle stärkere Auswirkungen. Ideal ist dabei ein Gefälle von 3 %, so dass der Harn in eine zentral verlaufende Harnrinne abfliessen kann.
- Es gibt international Uneinigkeit bezüglich empfohlener Massnahmen zur Ammoniakminderung, es kommt aber laufend neue Forschung dazu und einige Bodentypen werden derzeit noch untersucht. In der Schweiz werden planbefestigte **Böden mit Quergefälle** von 3 % und zentraler Harnsammelrinne in Kombination mit häufiger Entmistung (alle 2 h) empfohlen. Studien bezüglich der längerfristigen Auswirkungen eines Quergefälles auf das Tierwohl existieren nicht, kurzfristig besteht jedoch kein Effekt. Zusätzlich dazu werden **erhöhte Fressstände** empfohlen, die zwar den Laufgang etwas verschmälern, aber ungestörteres Fressen ermöglichen und die NH3-Emissionen verringern. Für beide Massnahmen wurden von Agroscope Merkblätter herausgegeben (87,94).
- Zur **Entmistung** wird auf planbefestigten Böden wird ein stationärer Mistschieber empfohlen. Bei häufiger Entmistung fällt pro Reinigung weniger Mist an, so dass der Schieber tiefer sein kann. Als tiergerecht wird maximal 20 cm angegeben. Ein Einsatz von Entmistungsrobotern auf planen Böden oder Spaltenböden scheint nicht zu einer Minderung der NH3-Emissionen beizutragen, sind aber eine Alternative zu stationären Mistschiebern. Ein gut geplanter Einsatz ist hier entscheidend, um Problemkreise bezüglich Tierwohl zu reduzieren.
- Ein Konflikt existiert in der Bildung von **Schmierschichten**. Diese entstehen vermehrt bei schneller abtrocknenden Flächen durch Gefälle oder häufigerer Entmistung. Sie können zu häufigerem Ausrutschen der Tiere führen. Um Schmierschichten entgegenzuwirken, müssen solche Flächen regelmässig befeuchtet werden, was einen erhöhten Wasserverbrauch mit sich bringt. Eine weitere Reduktion der NH3-Emissionen ist dabei aber potentiell möglich.

6 Literatur

1. Kupper T, Häni C, Bretscher D, Zaucker F. Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990-2020. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Oetiker+Partner AG im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). 2022;

2. BAFU (Bundesamt für Umwelt). Landwirtschaft als Luftschadstoffquelle [Internet]. [cited 2023 Aug 22]. Available from: https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html

3. Zähner M. EMIBAU: Vorsorgliche Emissionsminderungsmassnahmen bei Bauinvestitionen in der Landwirtschaft: Schlussbericht. Tänikon; 2005 Feb.

4. Zähner M, Keck M, Hilty R. Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen: Minderung beim Bau und Management. FAT-Berichte Nr 641. 2005;1–12.

5. Medina-Gonzalez P, Moreno K, Gomez M. Why Is the Grass the Best Surface to Prevent Lameness? Integrative Analysis of Functional Ranges as a Key for Dairy Cows' Welfare. Animals. 2022 Feb;12(4).

6. Buck M, Wechsler B, Gygax L, Steiner B, Steiner A, Friedli K. Wie reagieren Kühe auf den Entmistungsschieber? Untersuchungen zum Verhalten und zur Herzakvitität. ART-Bericht 750 [Internet]. 2012 [cited 2023 Jul 28];1–8.
Available from: https://ira.agroscope.ch/en-US/publication/29111

7. Keane MP, McGee M, O'Riordan EG, Kelly AK, Earley B. Effect of floor type on performance, lying time and dirt scores of finishing beef cattle: A meta-analysis. Livest Sci. 2018 Jun 1;212:57–60.

8. Lowe DE, Gordon AW, Lively FO. Effect of overlaying rubber on fully slatted concrete floors on hoof health and lying postures in finishing dairy-origin bulls offered two contrasting diets. Animal. 2019 May;14(5):1043–51.

9. McGettigan CE, McGee M, O'Riordan EG, Kelly A. K. and Earley B. Effect of concrete slats versus rubber-covered slats on the performance, behaviour, hoof health, cleanliness of finishing beef steers and performance, cleanliness and hoof health of weanling cattle. Livest Sci. 2022 Dec;266.

10. Gygax L, Mayer C, Schulze Westerath H, Friedli K, Wechsler B. On-farm assessment of the lying behaviour of finishing bulls kept in housing systems with different floor qualities. Animal Welfare. 2007;16:205–8.

11. Leskovec J, Voljc M, Zgur S. Effect of a High Welfare Floor and a Concrete Slatted Floor on the Growth Performance, Behavior and Cleanliness of Charolais and Limousin Heifers: A Case Study. Animals. 2022 Apr;12(7).

12. Magrin L, Gottardo F, Brscic M, Contiero B, Cozzi G. Health, behaviour and growth performance of Charolais and Limousin bulls fattened on different types of flooring. Animal. 2019 Nov;13(11):2603–11.

13. Brscic M, Ricci R, Prevedello P, Lonardi C, De Nardi R, Contiero B, et al. Synthetic rubber surface as an alternative to concrete to improve welfare and performance of finishing beef cattle reared on fully slatted flooring. Animal. 2015 Aug;9(8):1386–92.

14. Platz S, Ahrens F, Bahrs E, Nueske S, Erhard MH. Association between floor type and behaviour, skin lesions, and claw dimensions in group-housed fattening bulls. Prev Vet Med. 2007 Jul;80(2–3):209–21.

15. Telezhenko E, Lidfors L, Bergsten C. Dairy cow preferences for soft or hard flooring when standing or walking. J Dairy Sci. 2007;90(8):3716–24.

16. Vokey FJ, Guard CL, Erb HN, Galton DM. Effects of alley and stall surfaces on indices of claw and leg health in dairy cattle housed in a free-stall barn. J Dairy Sci. 2001;84(12):2686–99.

17. Steiner B, Zähner M, Keck M. Rutschfestigkeit von Rinderstallböden-Folgerungen für neue Materialien. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. 2011;7–12.

18. Cozzi G, Tessitore E, Contiero B, Ricci R, Gottardo F, Brscic M. Alternative solutions to the concrete fully-slatted floor for the housing of finishing beef cattle: Effects on growth performance, health of the locomotor system and behaviour. Veterinary Journal. 2013 Aug;197(2):211–5.

19. Murphy VS, Lowe DE, Lively FO, Gordon AW. The impact of floor type on lameness and hoof health of dairy origin bulls. Animal. 2018 Nov 1;12(11):2382–90.

20. Magrin L, Gottardo F, Contiero B, Brscic M, Cozzi G. Time of occurrence and prevalence of severe lameness in fattening Charolais bulls: Impact of type of floor and space allowance within type of floor. Livest Sci. 2019 Mar;221:86–8.

21. Telezhenko E, Bergsten C, Magnusson M, Nilsson C. Effect of different flooring systems on claw conformation of dairy cows. J Dairy Sci. 2009 Jun;92(6):2625–33.

22. Graunke KL, Telezhenko E, Hessle A, Bergsten C, Loberg JM. Does rubber flooring improve welfare and production in growing bulls in fully slatted floor pens? Animal Welfare. 2011 May;20(2):173–83.

23. Bergsten C, Telezhenko E, Ventorp M. Influence of Soft or Hard Floors before and after First Calving on Dairy Heifer Locomotion, Claw and Leg Health. Animals. 2015 Sep;5(3):662–86.

24. Brscic M, Gottardo F, Tessitore E, Guzzo L, Ricci R, Cozzi G. Assessment of welfare of finishing beef cattle kept on different types of floor after short-or long-term housing. Animal. 2015 Dec 16;9(6):1053–8.

25. Fjeldaas T, Sogstad ÅM, Østerås O. Locomotion and claw disorders in Norwegian dairy cows housed in freestalls with slatted concrete, solid concrete, or solid rubber flooring in the alleys. J Dairy Sci. 2011 Mar;94(3):1243–55.

26. Bergsten C., Telezhenko E, Ventorp M. Importance of soft and hard flooring system for claw conformation, locomotion, claw- and leg health in heifers and first calvers. Sustainable animal husbandry: prevention is better than cure, Volume 1 Proceedings of the 14th International Congress of the International Society for Animal Hygiene (ISAH), Vechta, Germany. 2009;

27. Kremer P V., Nueske S, Scholz AM, Foerstery M. Comparison of claw health and milk yield in dairy cows on elastic or concrete flooring. J Dairy Sci. 2007;90(10):4603–11.

28. Haufe HC, Gygax L, Wechsler B, Stauffacher M, Friedli K. Influence of floor surface and access to pasture on claw health in dairy cows kept in cubicle housing systems. Prev Vet Med. 2012 Jun 1;105(1–2):85–92.

29. Kremer P V, Nueske St, Scholz AM, Foerster M. Rubber vs. concrete flooring - Impact on claw health and milk yield in dairy cows. Tierärztliche Praxis Großtiere. 2008;36(6):377–83.

30. Magrin L, Brscic M, Contiero B, Cozzi Giulio and Gottardo F. Short communication: Reference intervals for claw dimensions of intensively finished Charolais and Limousin young bulls and heifers housed on different flooring systems. Livest Sci. 2020 May;235.

31. Earley B, McNamara JD, Jerrams SJ, O'Riordan EG. Effect of concrete slats, three mat types and out-wintering pads on performance and welfare of finishing beef steers. Acta Vet Scand. 2017 May;59(34).

32. Keane MP, McGee M, O'Riordan EG, Kelly AK, Earley B. Effect of floor type on hoof lesions, dirt scores, immune response and production of beef bulls. Livest Sci. 2015 Oct;180:220–5.

33. Ahrens F, Platz S, Link C, Mahling M, Meyer HHD, Erhard MH. Changes in hoof health and animal hygiene in a dairy herd after covering concrete slatted floor with slatted rubber mats: A case study. Journal of Dairy Science . 2011 May;94(5):2341–50.

34. Dewell RD, Dewell GA, Euken RM, Sadler LJ, Wang C, Carmichael BA. Association of floor type with health, well-being, and performance parameters of beef cattle fed in indoor confinement facilities during the finishing phase. Bov Pract (Stillwater). 2018;52(1):16–25.

35. Haufe HC, Friedli K, Wechsler B, Steiner B. Laufflächen im Liegeboxenlaufstall: Ein Vergleich verschiedener Bodenarten im Hinblick auf die Klauengesundheit und das Tierverhalten. ART-Bericht 723 [Internet]. 2010 Mar [cited 2023 Jul 28];1–8. Available from: https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/21027

36. Haufe HC, Friedli K, Gygax L, Wechsler B. Influence of floor surface and access to pasture on claw characteristics in dairy cows kept in cubicle housing systems. Schweiz Arch Tierheilkd. 2014;156(4):171–7.

37. Führer G, Majoroš Osová A, Vogl C, Kofler J. Prevalence of thin soles in the hind limbs of dairy cows housed on fully-floored vs. partially-floored mastic asphalt areas in Austria. Veterinary Journal. 2019 Dec 1;254.

38. Fischer D, Friebel LIG, Grund S, Winter W, Wagner FC, Muelling CKW. Gait Analysis in Walking and Trotting Dairy Cows on Different Flooring Types with Novel Mobile Pressure Sensors and Inertial Sensors. Animals. 2022 Sep;12(18).

39. Schütz KE, Rajapaksha E, Mintline EM, Cox NR, Tucker CB. Stepping behavior and muscle activity of dairy cattle standing on concrete or rubber flooring for 1 or 3 hours. J Dairy Sci. 2018 Oct 1;101(10):9472–82.

40. Rajapaksha E, Winkler C, Tucker CB. Effect of rubber flooring on dairy cattle stepping behavior and muscle activity. J Dairy Sci. 2015 Apr;98(4):2462–71.

41. Dawson CR, Henley PA, Schroeder AR, Meteer WT, Hayes CA, Felix TL, et al. Effects of rubber matting on feedlot cattle growth performance, locomotion, and carcass characteristics in slatted floor facilities. J Anim Sci. 2022 Mar;100(3).

42. Franco-Gendron N, Bergeron R, Curilla W, Conte S, DeVries T, Vasseur E. Investigation of dairy cattle ease of movement on new methyl methacrylate resin aggregate floorings. J Dairy Sci. 2016 Oct 1;99(10):8231–40.

43. Schütz KE, Cox NR. Effects of short-term repeated exposure to different flooring surfaces on the behavior and physiology of dairy cattle. J Dairy Sci. 2014 May;97(5):2753–62.

44. Friedli K, Gygax L, Wechsler B, Schulze Westerath H, Mayer C, Thio T, et al. Gummierte Betonspaltenböden für Rindvieh-Mastställe: Vergleich mit eingestreuten Zweiflächenbuchten und Betonvollspaltenbuchten. FAT-Berichte Nr 618. 2004;1–8.

45. Rushen J, De Passillé AM. Effects of roughness and compressibility of flooring on cow locomotion. J Dairy Sci. 2006;89(8):2965–72.

46. Alsaaod M, Huber S, Beer G, Kohler P, Schüpbach-Regula G, Steiner A. Locomotion characteristics of dairy cows walking on pasture and the effect of artificial flooring systems on locomotion comfort. J Dairy Sci. 2017 Oct 1;100(10):8330–7.

47. Haufe HC, Gygax L, Steiner B, Friedli K, Stauffacher M, Wechsler B. Influence of floor type in the walking area of cubicle housing systems on the behaviour of dairy cows. Appl Anim Behav Sci. 2009 Jan;116(1):21–7.

48. Telezhenko E, Magnusson M, Bergsten C. Gait of dairy cows on floors with different slipperiness. J Dairy Sci. 2017 Aug 1;100(8):6494–503.

49. Phillips CJC, Morris ID. The locomotion of dairy cows on floor surfaces with different frictional properties. J Dairy Sci. 2001;84(3):623–8.

50. Steiner B. Bodengestaltung in Melkständen. ART-Schriftenreihe 9. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART; 2009. p. 41–7.

51. Steiner B, Van Caenegem L, Schellenberg K. Beständigkeit von Stallböden aus Gussasphalt. Agrarforschung [Internet]. 2008;15(11):536–41. Available from: www.agroscope.admin.ch

52. Steiner B, Van Caenegem L. Laufflächen in Ställen tiergerechter gestalten: Ausführung und Sanierung von planbefestigten Laufflächen für Rindvieh. FAT-Berichte Nr 594. 2003;1–12.

53. Steiner B. Sanierung von Beton-Laufflächen: Entwicklung und Bewertung von neuen Verfahren. ART-Berichte Nr 690. 2007;1–12.

54. Pöllinger A, Zentner A. Rutschsicherheit von gummierten Laufgangböden. Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein. 2016;25–32.

55. Phillips CJC, Morris ID. The locomotion of dairy cows on concrete floors that are dry, wet, or covered with a slurry of excreta. J Dairy Sci. 2000;83(8):1767–72.

56. Stefanowska J, Swierstra D, Braam CR, Hendriks M. Cow behaviour on a new grooved floor in comparison with a slatted floor, taking claw health and floor properties into account. Applied Animal Behaviour Science . 2001 Feb;71(2):87–103.

57. Somers JGCJ, Schouten WGP, Frankena K, Noordhuizen-Stassen EN, Metz JHM. Development of claw traits and claw lesions in dairy cows kept on different floor systems. J Dairy Sci. 2005;88(1):110–20.

58. Gruber L, Barwitz M, Franz R, Fiedler D, Smolic S, Schlummer M, et al. Migrations- und Materialanalysen von Nutztierstallmatten auf Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) während realer Einsatzbedingungen sowie Evaluierung eines Richtwerts zur Migration von PAK aus Stallmatten für eine geplante Etablierung eines Prozessaudits (Kurztitel: PAK aus Stallmatten). Groß-Umstadt ; 2018.

59. Zähner M, Poteko J, Zeyer K, Schrade S. Laufflächengestaltung: Emissionsminderung und verfahrenstechnische Aspekte - erste Ergebnisse aus dem Emissionsversuchsstall Tänikon. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. 2017;13–8.

60. Poteko J, Zähner M, Steiner B, Schrade S. Residual soiling mass after dung removal in dairy loose housings: Effect of scraping tool, floor type, dung removal frequency and season. Biosyst Eng. 2018 Jun 1;170:117–29.

61. Rajapaksha E, Tucker CB. How do cattle respond to sloped floors? An investigation using behavior and electromyograms. J Dairy Sci. 2014;97(5):2808–15.

62. Pöllinger A. Bewertung von Entmistungsverfahren in Rinderlaufställen. Gumpensteiner Bautagung. 2001;35–42.

63. Steiner B, Keck M. Stationäre Entmistungsanlagen in der Rinder- und Schweinehaltung. FAT-Berichte Nr 542. 2000;1–20.

64. Braam CR, Swierstra ; D. Volatilization of Ammonia from Dairy Housing Floors with Different Surface Characteristics. Journal of Agricultural Engineering Research [Internet]. 1999;72:59–69.
Available from: http://www.idealibrary.comon

65. Steiner B, Kilian M, Haidn B, Keck M. Optische Kenngrößen zum Vergleich von Laufflächen in Ställen. Landtechnik. 2010;5:346–9.

66. Poteko J, Zähner M, Schrade S. Effects of housing system, floor type and temperature on ammonia and methane emissions from dairy farming: A meta-analysis. Biosyst Eng. 2019 Jun 1;182:16–28.

67. Qu Q, Groot JCJ, Zhang K, Schulte RPO. Effects of housing system, measurement methods and environmental factors on estimating ammonia and methane emission rates in dairy barns: A meta-analysis. Biosyst Eng. 2021 May 1;205:64–75.

68. Bougouin A, Leytem A, Dijkstra J, Dungan RS, Kebreab E. Nutritional and Environmental Effects on Ammonia Emissions from Dairy Cattle Housing: A Meta-Analysis. J Environ Qual. 2016 Jul;45(4):1123–32.

69. Swierstra D, Braam CR, Smits MC. Grooved Floor System for Cattle Housing: Ammonia Emission Reduction and Good Slip Resistance. Appl Eng Agric. 2001;17(1):85–90.

70. Schrade S, Zeyer K, Mohn J, Leinweber T, Zähner M. Vergleich von perforierten und planbefestigten Laufflächen in der Milchviehhaltung: NH3- und CH4-Emissionen. 14. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. KTBL-Tagungsband; 2019. p. 51–6.

71. KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Verbundvorhaben Emissionsmindeurng Nutztierhaltung (EmiMin) [Internet]. 2020 [cited 2023 Jul 27].
Available from: https://www.ktbl.de/themen/emimin

72. Braam CR, Ketelaars JJMH, Smits MCJ. Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. Netherlands Journal of Agricultural Science . 1997;45:49–64.

73. Braam CR, Smits MCJ, Gunnink H, Swierstra D. Ammonia emission from a double-sloped solid floor in a cubicle house for dairy cows. Journal of Agricultural Engineering Research. 1997 Dec;68(4):375–86.

74. Swierstra D, Smits MCJ, Kroodsma W. Ammonia Emission from Cubicle Houses for Cattle with Slatted and Solid Floors. J agric Engng Res. 1995;62:127–32.

75. Steiner B, Keck M, Keller M, Weber K. Vergleich des Abflussverhaltens auf planbefestigten Laufflächenbelägen in Rinderställen. Agrarforsch Schweiz. 2012;3(5):258–63.

76. Schrade S, Steiner B. Weniger Ammoniakbelastung durch saubere Laufflächen. Der fortschrittliche Landwirt. 2012;22:12–3.

77. UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). Guidance document on preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources (ECE/EB.AIR/120). 2014.

78. KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Christ F, Fritzsche S, Grimm E, Wagner K, Zang S. Förderfähige Techniken zur Emissionsminderung in Stallbauten. KTBL, 2. aktualisierte Auflage. 2022.

79. KOLAS-BLW-Arbeitsgruppe Ammoniak, Egli A, Fischler M, Hofer P, Luzi V, Schrade S, et al. Rascher Harnabfluss von Laufflächen in der Rindviehhaltung. Empfehlungen der KOLAS und des BLW zur Finanzierung einzelbetrieblicher Massnahmen im Rahmen von Ammoniak-Ressourcenprojekten. 2013.

80. Leinweber T, Zähner M, Schrade S. Bewertung eines Entmistungsroboters bei Milchvieh aus ethologischer und verfahrenstechnischer Sicht. Landtechnik. 2019;74(3):55–68.

81. Läpke J, Pelzer A, Büscher W. Stationäre Entmistungssysteme für planbefestigte Laufflächen in Milchviehställen. DLG-Merkblatt 365. 2010 Oct 14;1–18.

82. Stülpner A, Adeili S, Haidn B, Dörfler R, Bernhardt H. Reaktionen von Milchkühen beim Einsatz eines Spaltenroboters. Landtechnik. 2014;69(5):225–31.

83. Doerfler RL, Post K, Winckler C, Bernhardt H. Räumlich-zeitliches Verhalten und Herzaktivität von Milchkühen bei der Einführung eines Spaltenreinigungsroboters. KTBL-Schrift 511: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. 2016;178–86.

84. Zähner M, Pitzen L, Schrade S. Entmistungsroboter - halten sie, was sie versprechen? Ergebnisse einer Umfrage auf Praxisbetrieben. Weiterbildungskurs für Baufachleute. Forschungsanstalt Agroscope; 2022.

85. Zähner M, Zeyer K, Mohn J, Hildebrandt F, Burla JB, Schrade S. Untersuchungen zu erhöhten Fressständen in der Milchviehhaltung im Hinblick auf Tierverhalten und Ammoniakemissionen. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. 2019;47–52.

86. Zähner M, Schrade S. Befeuchtung reduziert Schmierschichten. UFA-Revue. 2021;1:54–5.

87. Zähner M, Schrade S. Erhöhter Fressbereich mit Fressplatzabtrennungen (Fressstände) für Milchkühe. Agroscope Merkblatt Nr 81. 2020;

88. Poteko J, Schrade S, Steiner B, Zähner M. Entwicklung und Validierung einer Messmethode zur Quantifizierung der Restverschmutzung nach der Entmistung von planbefestigten Laufflächen. 12th Conference Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming. 2015;1–6.

89. Georg H, Retz S. Emissionsreduktion bei Haltung auf Spaltenböden: Bewertung eines neuartigen Reinigungsverfahrens. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. 2011;25–8.

90. Uebersax A, Jenni S, Schrade S, Fischler M. Langsamer Kampf gegen Ammoniak: Für die Säuberung von Laufflächen in Rindviehställen sind vielerorts Reinigungsroboter im Einsatz. Sie können die Ammoniak-Emissionen nicht nachweislich reduzieren. BauernZeitung. 2018 Jul 6;

91. Baumgartner Ch, Birrer F, Boéchat S, Gnädinger R, Keck M, Uebersax A. Ammoniakverluste im Rindviehstall und Laufhof reduzieren. UFA-Revue [Internet]. 2008 [cited 2023 Jul 28];1:31–4. Available from: https://link.ira.agroscope.ch/fr-CH/publication/25023

92. Owusu-Sekyere E, Hansson H, Telezhenko E, Nyman AK, Ahmed H. Economic impact of investment in animal welfare-enhancing flooring solutions - Implications for promoting sustainable dairy production in Sweden. British Food Journal. 2023 Jul;

93. Zähner M, Schrade S. Planbefestigte Laufflächen mit Gefälle und Harnsammelrinne sowie Fressstände - Teil II. Austausch Baubranche. Forschungsanstalt Agroscope; 2019.

94. Zähner M, Schrade S. Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne in Laufställen für Milchkühe. Agroscope Merkblatt Nr 80. 2020 Jan;

Sprachversionen dieses Dokuments:
Deutsch mit Zusammenfassung in Französisch und Italienisch

Bildnachweis:
M. Zähner, Agroscope, 2016

Kontakt
Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV
Postfach
CH-3003 Bern
info@blv.admin.ch
www.blv.admin.ch