

Sammelroboter zur Entmistung in Rinderlaufställen - Chancen und Grenzen!?

Alfred Pöllinger-Zierler¹, Andreas Zefferer¹, Christian Fritz¹,
Bernhard Rudorfer¹



Zusammenfassung

Im Rahmen des Großprojektes „Innovation Farm“ mit dem Hintergrund Digitalisierung in der Landwirtschaft voranzutreiben, wurde eine Praxisuntersuchung (Use Case) zum Thema Sammelroboter gestartet. Im Rahmen dieses Projektes wurden eine Praxisumfrage, erste Emissionsmessungen und Erhebungen zur Restverschmutzung auf zwei Praxisbetrieben und ökonomische Berechnungen durchgeführt.

In einer modellhaften Kalkulation wurden anhand der Emissionsmessungen zwischen 7 kg (Betrieb 2) und 20 (Betrieb 1) Ammoniakemissionen pro GVE und Jahr berechnet. Die Unterschiede zwischen den beiden Versuchsbetrieben lassen sich zum einen aufgrund der unterschiedlichen Stallbausysteme – Offenfrontstall versus Cuchettenstall erklären. Aufgrund der Außenklimabedingungen auf Betrieb 2 findet vermutlich ein rascherer Ammoniakabtransport statt, der mit dem verwendeten Messsystem nicht erfasst werden kann. Zum anderen wird dieser Effekt bei der Emissionsmassenbilanzrechnung (kg NH₃-N/GVE und Jahr durch die unterschiedliche großen Laufgang- und Fressgangflächen verstärkt. Am Betrieb 1 muss die gemessene Ammoniakfracht pro Quadratmeter auf eine größere Fläche bezogen werden (4,7 m²/GVE auf Betrieb 1 zu 3,7 m²/GVE auf Betrieb 2). Weder die Methode noch die Messdauer lassen einen endgültigen und wissenschaftlich abgesicherten Schluss auf die tatsächliche Emissionssituation auf den Betrieben zu.

Hinsichtlich der Restverschmutzung zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Betrieben. Die Oberflächenstruktur hat erfahrungsgemäß einen sehr entscheidenden Einfluss auf den Anteil der Restverschmutzung. Grundsätzlich lassen sich Oberflächen mit geringer Makrorauheit besser reinigen. Interessanterweise schlägt sich diese Tatsache nicht auf das Emissionsgeschehen auf diesen Flächen nieder. Das wiederum bestätigt das Ergebnis aus vielen Versuchen, dass ein häufiges Abschieben einer emissionsaktiven Oberfläche alleine nicht hilft die Emissionsraten zu senken, sondern nur die Kombination aus möglichst sauberer Oberfläche und einem raschen Harnabfluss. Inwieweit sich durch die gute Reinigung auch völlig trockene Laufgangoberflächen und damit ein Stopp der Ammoniakfreisetzung erreichen lässt, muss im Sommerbetrieb weiter bemessen werden.

Aus der Praxiserhebung geht als Hauptmotivation für die Anschaffung eines Sammelroboters eindeutig die einfachere Integration in das Stallbaukonzept hervor. Ebenso wird die damit verbundene automatisierte Zwischengang- und Auslaufflächenreinigung als wesentlicher Vorteil gesehen.

¹HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

*Ansprechperson: Alfred Pöllinger-Zierler

E-Mail: alfred.poellinger-zierler@raumberg-gumpenstein.at

Die betriebswirtschaftliche Betrachtung der Investition bringt Mehrkosten für die Anschaffung und den Betrieb eines Sammelroboters von rund 2.100 € gegenüber einem Klappschieber mit sich. Die Ersparnis an Arbeitszeit wiegt die Kosten des Roboters nicht auf. Demgegenüber können die möglichen Vorteile einer Investition in diese Technik in den Bereichen flexibleres Management, Umsetzung eines einfacheren Stallbaukonzeptes, flexiblere Nachnutzung und bessere Anpassung der Reinigung an die Verschmutzungsintensität bestimmter Aktivitätsbereiche liegen. Während sich mit der Schieberentmistung „nur“ ganze Laufgänge mit dem gewählten Intervall reinigen lassen, können mit dem Sammelroboter stärker frequentierte und damit stärker verschmutzte Oberflächen (Beispiel: Wartebereiche oder vor Kraftfutterstationen) gezielter sauber gehalten werden. Zudem ist die Gefahr des Mitschiebens von frisch geborenen Kälber, so wie es bei der automatisierten intervallgesteuerten Schieberentmistung befürchtet wird, nicht möglich.

Die Automatisierung und Digitalisierung wird auch in der Tierhaltung verstärkt voranschreiten, der Sammelroboter der Firma Lely stellt dafür einen weiteren Baustein dafür dar.

Weitere Untersuchungen sind für den Winterbetrieb in Offenfrontställen, bezüglich des Einflusses auf die Klauengesundheit und der möglichen Integration in den emissionsmindernden Stallbau (Laufgangflächen mit Quergefälle, Rillenboden,...) erforderlich.

Schlagwörter: Rinder, Entmistung, Sammelroboter, Automatisierung

Einleitung

Die tägliche Arbeitsroutine auf viehhaltenden Betrieben mit Stallhaltung beinhaltet neben der Fütterung, der Tierkontrolle und der je nach Nutzungsrichtung notwendigen Melkarbeit auch die Entmistungsarbeit. In diesen Bereichen haben in den letzten Jahren, nicht nur aufgrund zunehmend größerer Tierbestände pro Einzelbetrieb, sondern auch aufgrund der abnehmenden Arbeitskräfteverfügbarkeit die Themen Mechanisierung, Automatisierung und Digitalisierung stark an Bedeutung gewonnen. Die Haltung von Rindern auf begrenzten Flächen bedeutet, dass in Ställen große Mengen an Ausscheidungen anfallen. Ziele für ein effizientes Entmistungssystem sind die Arbeitsentlastung, verbesserte Haltungsbedingungen für die Tiere, die Reduktion von Nährstoffverlusten, Ammoniakemissionen und der unkontrollierte Eintrag von Düngerresten (MB84, 2008).

Die rasant zunehmende Automatisierung und Digitalisierung hat auch vor rinderhaltenden Betrieben nicht haltgemacht. Sind es im Bereich der Fütterung die (halb-) automatisierten Fütterungssysteme (AFS), im Bereich der Melktechnik die automatischen Melksysteme (AMS) und im Bereich der Tierkontrolle sämtliche Systeme der Tierüberwachung (z.B. Brunsterkennungssysteme), so beginnt sich auch in der Entmistungstechnik das Thema „Entmistungsroboter-Sammelroboter“ verstärkt durchzusetzen. Die Hintergründe für deren Entwicklung sind vielschichtig zu sehen. Zum einen ist man mit dieser neuen Technik deutlich flexibler in der baulichen Weiterentwicklung auf den Betrieben – Zubauten können auch rechtwinklig, entgegen geradliniger Mistachsen, realisiert werden, Zwischengänge werden und Ausläufe können mitgereinigt werden. Zum anderen kann das Entmistungsmanagement besser auf die örtliche Verschmutzungssituation angepasst werden - auf „verschmutzungsintensiveren“ Flächen (z.B. im Bereich der Kraftfutterstation)

kann die Entmistungshäufigkeit einfacher angepasst werden als bei herkömmlichen Schieberanlagen. Damit ist grundsätzlich ein weiterer Bereich mitbetroffen, nämlich die Auswirkungen auf die Klauengesundheit. Für eine hohe Klauengesundheit ist ein möglichst trockenes Stehen und Gehen für die Tiere erforderlich. In der Literaturarbeit von Dörfler et al. (2014) wird der eindeutig positive Effekt von Spaltenrobotern auf die Klauengesundheit beschrieben. Inwieweit diese Ergebnisse auf planbefestigte Oberflächen zu übertragen sind, ist offen. Generell wird aber immer wieder auf die Wichtigkeit von gut gereinigten Stallfußbodenoberflächen im Zusammenhang mit der Klauengesundheit gesprochen (Naas et al., 2014). Bei Schieberanlagen mit Zeituhrsteuerung lässt sich das Entmistungsintervall ebenfalls einfach anpassen, wird allerdings von der Praxis nicht gerne angenommen. Der Grund dafür liegt in der Gefahr, dass neugeborene Kälber in Ausnahmefällen auch einmal im Laufgangbereich eines Stalles abgelegt werden und dann mitgeschoben werden können. Mit dem Sammelroboter wird diese Gefahr als nicht gegeben angesehen.

Auf mit Kot und Harn verschmutzten Oberflächen - im Wesentlichen sind das Fress- und Laufgänge sowie Ausläufe - entstehen Ammoniakemissionen. Aufgrund der NEC-Richtlinie – einer EU Richtlinie (Richtlinie (EU), 2016) zur Reduktion von Luftschadstoffen – ist die Landwirtschaft zur Reduktion von Ammoniakemissionen verpflichtet. Deshalb ist neben der Ausgestaltung der emissionsaktiven Oberflächen (Bewegungsflächen) auch der Reinigungsqualität besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Im Zusammenhang mit Ammoniakemissionen und der Laufgangreinigung, wird auch immer wieder auf die Befeuchtung der zu reinigenden Oberflächen hingewiesen (Zähner et al., 2005). Ob die mittransportierte Wassermenge und der damit stattfindenden Bewässerung der Laufgänge vor dem Aufnehmen und auch nach der Reinigung der Laufgänge eine emissionsmindernde Wirkung haben, müsste in einer eigenen Arbeit wissenschaftlich fundiert untersucht werden. In einer Untersuchung von Mistschiebern auf Spaltenböden konnte eine Reduktion der Ammoniakemissionen von 32,7 % und 43,8 % im zeitlichen Abstand von 4 und 6 Stunden nach der Reinigung gemessen werden (Heiko et al., 2011). Allerdings handelte es sich dabei nicht um einen handelsüblichen Mistschieber für Spaltenböden, sondern um einen mit Hochdruckdüsen und Reinigungsbürsten zusätzlich ausgestatteten Reinigungsroboter.

Die Reinigungsqualität von Mistschiebern mit unterschiedlichen Materialien für die Schieberleisten wurde im Rahmen einer Dissertation an der ART in Tänikon untersucht (Poteko et al., 2014). Ein Fazit aus dieser Arbeit war, dass es Potenziale hinsichtlich der Optimierung gibt und im Wesentlichen die Kombination mit einer Befeuchtung der zu reinigenden Fläche wichtig ist. In einer weiteren Untersuchung wurde das Tierverhalten im Zusammenhang mit Spaltenrobotern untersucht und festgestellt, dass sich die Tiere sehr rasch an den Umgang mit einem Roboter im Tierbereich arrangieren und damit keine negativen Reaktionen zu erwarten sind (Stülpner et al., 2014). Demnach ist auch auf planbefestigten Oberflächen auf stärker verschmutzungsgefährdeten Stellen ein häufigeres Entmistungsintervall möglich und lassen sich zugleich Ammoniakemissionen reduzieren (Schrade et al., 2011). Um diesen Reduktionseffekt zu erzielen braucht es allerdings Begleitmaßnahmen (Laufgangneigung von 1,5 bis 3,0 % und eine Harnsammelrinne). Ob diese bauliche Voraussetzung auch mit einem Sammelroboter kombinierbar ist, konnte bis dato nicht bestätigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Messungen zur Restverschmutzung und zur Emissionsaktivität auf zwei Milchviehbetrieben durchgeführt. Damit sollten Aussagen hinsichtlich

der Reinigungsqualität, sowie eine Einschätzung hinsichtlich einer emissionstechnischen Bewertung möglich sein. Der Grundrissplan eines der beiden untersuchten Praxisbetriebe wurde planerisch auf den Einbau einer herkömmlichen Schieberbahn abgeändert. Darauf aufbauend wurde ein direkter Vergleich bezüglich der Bau- und Investitionskosten gezogen. Arbeitswirtschaftliche Unterschiede wurden ebenfalls anhand dieser Unterlagen skizziert und in die ökonomische Betrachtung miteinbezogen. Weiters wurde ein Fragebogen an Betriebe versandt, die in den letzten 1-2 Jahren in diese Technik investiert hatten.

Tabelle 1:
Betriebsdaten der
beiden Versuchsbetriebe

Betriebsdaten	Betrieb 1	Betrieb 2
Stallsystem	Offenfront mit Liegeboxen	Cuchetten mit Liegeboxen
Bodenoberfläche	Betonboden glatt	Betonboden strukturiert
Bewirtschaftete Fläche	15 ha Acker, 40 ha Grünland	40 ha Acker, 37 ha Grünland
Milchleistung in kg/Kuh/Jahr	8.000	12.000
Harnstoffgehalt in mg/kg Milch	24	25
Milchkühe Anzahl	55	75
Jungvieh weiblich Anzahl	50	65
Jungvieh männlich Anzahl	50	30
Fütterung	30 % Maissilage, 70 % Grassilage	50 % Maissilage, 50 % Grassilage
Kraftfuttereinsatz	3 kg via Mischwagen, max. 3 kg über Melkroboter	5,5 kg via Mischwagen, max. 4,5 kg über Melkroboter

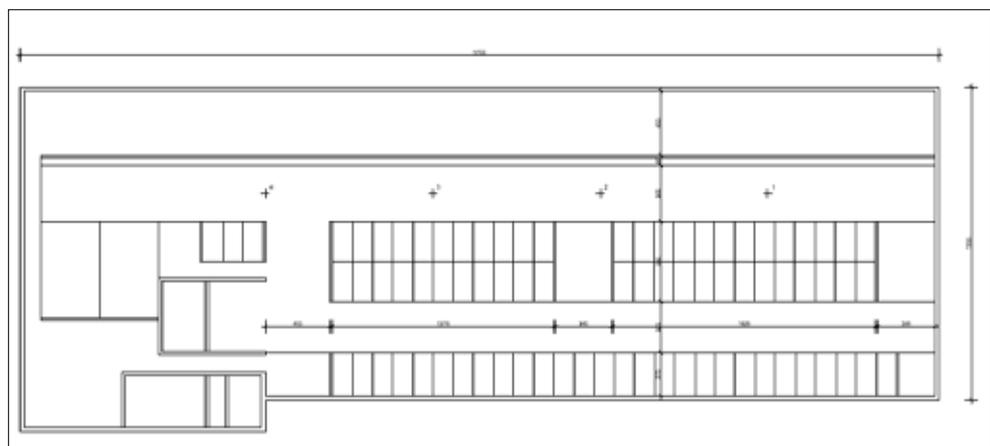
Material und Methoden

Betriebsauswahl

Für die Datenerhebung wurden zwei Betriebe in der Nähe der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ausgewählt und bisher an einem Tag bemessen (Frühjahr). Im Sommer werden weitere Messungen (Emissionen, Verschmutzung) und Erhebungen zur Praktikabilität durchgeführt, um damit mögliche besondere Bedingungen, die zu unterschiedlichen Jahreszeiten auftreten können, zu erfassen. In der Tabelle 1 sind die Betriebsdaten der beiden Versuchsbetriebe dargestellt.

Im Rahmen einer Fragebogenerhebung wurden weitere fünf Betriebe zu diesem Entmistungssystem befragt.

Abbildung 1: Grundriss Betrieb 1 mit den 4 Messpunkten (HBLFA Raumberg-Gumpenstein)



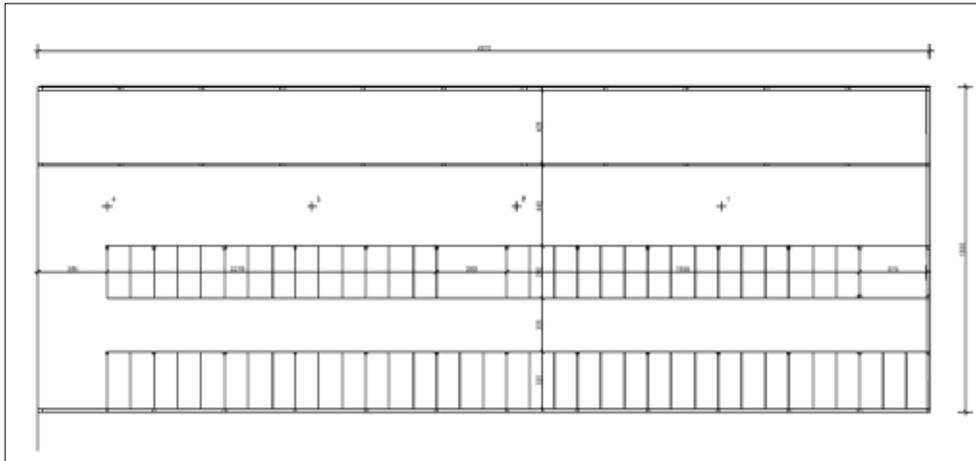


Abbildung 2: Grundriss Betrieb 2 mit den 4 Messpunkten (HBLFA Raumberg-Gumpenstein)

Emissionsmessungen auf der Laufgangoberfläche

Die Emissionsmessungen wurden auf den Fressgängen der beiden Betriebe durchgeführt. Dabei wurden 4 Messpunkte im Bereich des Fressganges bestimmt, auf denen die Messhaube aufgesetzt wurde (siehe Abbildung 1 und 2). Die Luft der konstant aktiv überströmten Laufgangoberfläche wurde vom Gasmessgerät auf die Schadgase hin analysiert. Die Messungen wurden an unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt. Parallel dazu wurden Lufttemperatur, Luftfeuchte und Oberflächentemperatur im Bereich des Messpunktes erhoben.

Jeder Betrieb wurde auf je vier Punkten vormittags und nachmittags bemessen, beginnend mit Punkt eins bis zu Punkt vier (siehe dazu Abbildung 1 und Abbildung 2). Vor den Gasmessungen wurde die bemessene Fläche mit dem Lely Collector abgeschoben. Vor jedem Messpunkt wurde fünf Minuten lang die Frischluft bemessen, um die Hintergrundkonzentration an Ammoniak der Zuluft genau zu kennen. Danach wurde ein Messpunkt

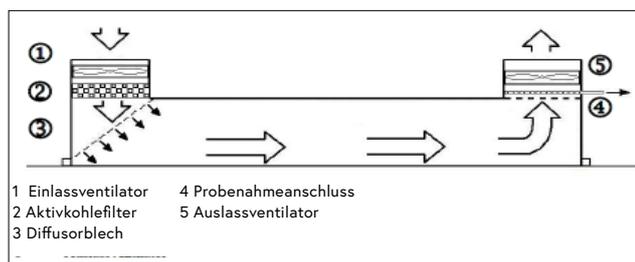


Abbildung 3: Funktionsprinzip der Messhaube; Detailbeschreibung (VDI-3880)

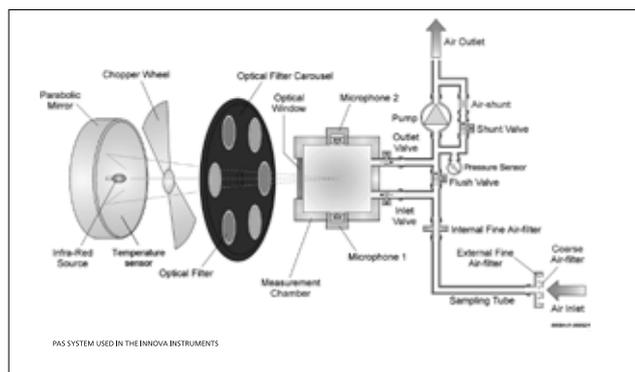


Abbildung 4: Aufbau der Messeinheit (Lu-masense Technologies, 2016)



Abbildung 5: Gasmesshaube mit Gasmesstechnik (HBLFA Raumberg-Gumpenstein)

für 30 Minuten bemessen, dann erfolgte wieder eine Messung der Frischluft. Die Zeitpunkte der Messungen wurden dokumentiert, um die Ammoniakemissionen richtig zuordnen zu können. Bei der Messhaube handelte es sich um eine transportable, aktiv belüftete Messhaube mit 0,5 m² Grundfläche und 6,4 cm/s Mittlere Überströmungsgeschwindigkeit, 15,6 s Kontaktzeit der Luft über der Oberfläche und 30 m³/(m²xh) Flächenspezifische Belüftungsrate. Zur Messung der Ammoniakkonzentrationen wurde ein Gasmonitor Innova 1412 verwendet. Dieses Gasmess-System misst die Ammoniakkonzentration nach dem photoakustischen Messprinzip. Zusätzlich wurden die Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit einem Testo 400 und die Bodenoberflächentemperatur mit einem Testo 845 bemessen.

Neben den gemessenen Ammoniakwerten wurden diese Werte in Kilogramm per GVE und Jahr für die beiden Versuchsbetriebe und den Referenzbetrieb berechnet. Dazu wurden die NH₃ Emissionen in Parts per Million (ppm) gemessen und mussten für die Massenstrombestimmung umgerechnet werden.

Dabei gilt: 1 ppm NH₃ = 0,7084 mg/m³ (Hartung, 1995). Wie oben beschrieben hat die Messhaube eine flächenspezifische Belüftungsrate von 30 m³/(m²xh). Mit den Tagesmittelwerten an Ammoniakwerten (ppm) der drei Betriebe konnte somit der Massenstrom für Ammoniak in Gramm pro Stunde und Quadratmeter berechnet werden. Dieses Ergebnis wurde im Anschluss mit der Stallfläche (m²) pro GVE multipliziert und in Kilogramm auf das Jahr hochgerechnet.

Abbildung 6:
Restverschmutzungsunter-
suchungen
(HBLFA Raumberg-Gumpen-
stein)



Messung der Restverschmutzung

In beiden Stallungen wurden an den vier Messbereichen Restverschmutzungsuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde ein Quadratmeter-Messrahmen ausgelegt und die Restverschmutzung nach dem Abschieben mit einem Abzieher und einer Spachtel von der Oberfläche entnommen und gewogen.

Als Referenz dazu wurde eine Restverschmutzungsuntersuchung im Rinderforschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Dabei wurden im Bereich des Fressganges ebenso 4 Punkte nach dem Abschieben mittels Schrapper beprobt.

Praxiserhebung

Zusätzlich zu den Messungen auf den beiden Betrieben wurde eine Praxiserhebung mittels eines Fragebogens durchgeführt. Dabei wurden Betriebe, welche in den letzten ein bis zwei Jahren in diese Technik der Entmistung investiert hatten, hinsichtlich folgender Punkte befragt:

- Bodenbelag
- Kaufentscheidungsgründe

- Bisherige Entmistungsart
- Eigene Einschätzung zur Restverschmutzung im Vergleich zu anderen Entmistungsarten
- Eigene Einschätzung zu Auswirkungen auf die Klauengesundheit

Wirtschaftlichkeit

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit erfolgt aus der betriebswirtschaftlichen Perspektive. Es erfolgt der Vergleich einer fiktiven Stallbau- und Stallarbeitsvariante mit Roboter und einer Variante mit einem Klappschieber (ohne Roboter). Es wurden die Unterschiede in den einzelnen Kostenpositionen gegenübergestellt. Betroffen sind insbesondere die Maschinenkosten und die Arbeitskosten, aber auch Kosten für laufende Betriebsmittel und Teile der Gebäudekosten.

Auch leistungsseitig könnten Unterschiede bestehen. Dies wäre etwa dann der Fall, wenn ein Unterschied im Verschmutzungsgrad zu einer geringeren oder höheren (1) Klauengesundheit beiträgt und dies in weiterer Folge die Milchleistung beeinflusst. Ein wichtiger Vorteil könnte auch sein, dass man bei einem Neubauvorhaben mit dem Roboter mehr (2) Flexibilität beim Bau von Stall- und Güllelager erreicht, was zugunsten der erzielbaren Standplätze wirken könnte. Eine andere, potenzielle Erlösposition könnte bestehen, wenn aufgrund einer verringerten Restverschmutzung eine (3) Ammoniakminderung resultiert und für diese ein (kalkulatorischer) Erlös angesetzt werden könnte. Denkbar wäre außerdem, dass mit dem Robotereinsatz (4) freie Arbeitsstunden entstehen, die in anderen Bereichen produktiver genutzt werden können.

Die Möglichkeit einer Bewertung der genannten Positionen wurde in der Arbeitsgruppe zur Bautagung diskutiert. Da aber der einzelbetriebliche Kontext über den Wert entscheidet, erfolgt keine Bewertung dieser Erlöspositionen in Form von Geldbeträgen in der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Vielmehr werden die möglichen Vorteile im abschließenden Fazit nochmal qualitativ beschrieben.

Der Kostenvergleich der Varianten mit und ohne Roboter erfolgt ausgehend von den Eckdaten zu Betrieb 1 (Tabelle 1). Die Betrachtung erfolgt damit für einen Tierbestand von 55 Milchkühen mit zwei Schieberbahnen, einem Lauf- und einem Fressgang und drei Quergängen (Abbildung 1). Betreffend die Technikinvestition wird von einem Lely Discovery 120 Collector ausgegangen. Der Roboter würde sich gemäß Datenblatt für max. 500 m² bzw. 100 Tierplätze eignen. Als Methode der Betrachtung erfolgt eine Differenzkostenrechnung für den betreffenden Stallbereich bzw. für die betroffenen Prozesse. Die Auswertung umfasst die jährlichen kalkulatorischen Kosten inkl. Zinskosten i.H.v. 2,5 % sowie inkl. der Umsatzsteuer.

Es werden die Unterschiede in den folgenden Kostenpositionen betrachtet:

- Laufende Kosten für Betriebsmittel wie Strom und Wasser sowie für Reparaturen
- Investitionskosten für den Ankauf von Roboter oder Schieber bzw. damit verbundene Abschreibung und Instandhaltung
- Bauliche Kosten im Bereich des Abwurfschachts bzw. im Wartebereich des Schiebers inkl. der zugehörigen Arbeitskosten
- Arbeitskosten für verbleibende Reinigungsarbeiten (insb. Reinigung der Quergänge bei der Variante Schieber)

Laufende Kosten

Die Verbrauchswerte für die laufenden Betriebsmittel - werden ausgehend von einer Untersuchung zu einem ähnlichen Entmigungsroboter und anhand der Datenblätter des Herstellers abgeschätzt. Konkret werden die Datenblätter für den Discovery 90 SW und den Discovery 120 Collector herangezogen und mit den Auswertungen von Zähler et al. (2018) bzw. Leinweber et al. (2019) zu ersterem Gerät abgeglichen. Die beiden Geräte verfügen über die gleiche Batterie, das Gewicht unterscheidet sich mit 340 zu 390 kg, die Fahrgeschwindigkeit mit 240 zu 150 mm/s. Verbunden mit der Aufnahmefunktion des Discovery 120 Collector liegt ein wesentlicher Unterschied in der Leistungsaufnahme mit 50 zu 125 W gemäß Herstellerdatenblatt. Das Wasserdurchsatzvermögen unterscheidet sich mit max. 1 l pro min zu max. 3,5 l pro Minute.

Wasserbedarf

Der Wasserbedarf wird ausgehend von den Werten aus Literatur und Datenblatt, mit 4,5 m³ Wasser pro TP und Jahr angesetzt. Der Wasserpreis in der Berechnung beträgt € 1 pro m³. Bezüglich des Wassereinsatzes gehen Zähler et al. (2018) bzw. Leinweber et al. (2018) von 300 Nutzungstagen pro Jahr aus. Ausgehend von den Erfahrungen auf den betrachteten Praxisbetrieben rechnen wir im vorliegenden Beitrag mit einer Winterruhe von 4 Monaten, d.h. 244 Tage Einsatzzeit. Es verbleiben 2 Wintermonate mit einer Einleitung in die Güllegrube und einer entsprechend zusätzlich benötigten Vorhaltekapazität.

Stromeinsatz

Betreffend den Stromeinsatz für Discovery 90 SW stellen Zähler et al. (2018), je nach Reinigungsvariante, einen Bedarf von 15 bis 35 kWh pro Kuh und Jahr fest. Das Datenblatt für den Discovery 120 Collector gibt 3 kWh Energieeinsatz pro Tag, was bei 55 Tierplätzen (TP) ca. 20 kWh pro TP entsprechen würde. Verbunden mit der mehr als doppelt so hohen Leistungsaufnahme gegenüber dem Discovery 90 SW und entsprechenden Laufzeiten erscheint ein Erreichen dieses Wertes als fraglich. Der Stromeinsatz wird für die Berechnung mit 25 kWh pro TP und Jahr angesetzt. Für den Vergleich mit dem Klappschieber wird dessen Strombedarf mit 1,5 kWh pro Stunde für 700 Stunden pro Jahr eingesetzt. Der Strompreis beträgt € 0,16 pro kWh.

Die Reparaturkosten werden beim Schieber mit 0,5 % pro 100 Stunden und 1,75 Betriebsstunden pro Tag veranschlagt. Für die Variante mit Entmigungsroboter belaufen sich die kalkulierten Reparaturkosten auf 0,1 % pro 100 Stunden und gemäß Datenblatt 9,6 Betriebsstunden pro Tag. Steuerung bzw. Programmierung des Roboters erfolgen per Smartphone-App. Hierfür wird ein Anteil von 5 % der betrieblichen Kosten für die digitale Infrastruktur i.H.v. € 51 pro Jahr für Smartphone, Internetzugang, PC/Laptop und WLAN veranschlagt.

Fixe Maschinenkosten

Die Fixkosten aus der Investition in den Roboter bzw. den Schieber betreffen die auf die Nutzungsdauer verteilten Anschaffungskosten und den Ansatz für Zinsen (und Versicherung). Die Anschaffungskosten werden mit € 18.000 für den Klappschieber bzw. € 36.000 für den Roboter abgeschätzt (inkl. Lieferung, Montage und Inbetriebnahme). Die Nutzungsdauer wird für beide Varianten mit 12 Jahren veranschlagt.

Bauliche Kosten

Die baulichen Kosten betreffen bei der Variante ohne Schieber eine Ersparnis an Betonarbeiten im Bereich Abwurfschacht und rund um den Einbau des Schiebers. In Summe betrifft dies 15,25 m³ an Betonvolumen á € 168 pro m³. Außerdem reduzieren sich die Arbeiten beim Betonieren der Laufgänge für Gefälle, Harnsammelrinne und Aussparungen dies wurde mit 24 Arbeitsstunden á € 60 veranschlagt. Hinzu kommen beim Roboter die Kosten für eine zusätzlich zu errichtende Güllelagerkapazität für die Lagerung während zwei Wintermonaten.

Arbeitskosten

Der Arbeitszeitbedarf bei der Variante Roboter und bei der Variante Schieber anhand von Schick (2004) und Höhendinger (2019) wird mit 0,12 bzw. 0,64 Stunden pro TP und Jahr angenommen. Die verbleibenden Arbeiten betreffen einerseits die Roboterbetreuung, andererseits die Reinigung von zwei Quergängen bei der Variante mit Schieber. Dies entspricht einer Reduktion im Arbeitszeitbedarf mit dem Reinigungsroboter von 4,4 min pro Tag. Der Lohnansatz beträgt € 20 pro Stunde.

Tabelle 2: Übersicht über die zugrundeliegenden Daten der Kostenberechnung

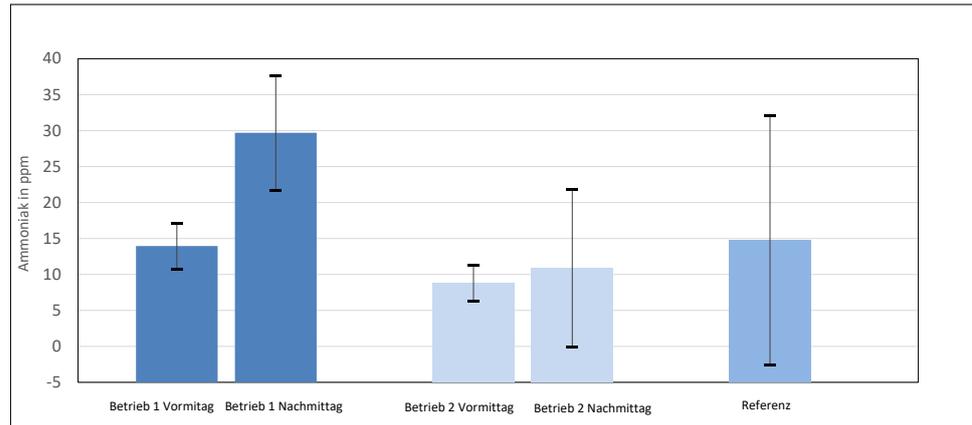
Laufende Kosten	Schieber	Roboter	Einheit	Preis	Einheit
Wassereinsatz	0,1	4,5	m ³ /TP/Jahr	1	€/m ³
Stromeinsatz	18	25	kWh/TP/Jahr	0,16	Ct/kWh
Reparaturkostenansatz	0,5 %	0,1 %	pro 100 h		
Reparaturkosten	575	1261	€/Jahr		
Einsatzzeit	1,75	9,6	h/d		
Digitale Infrastruktur (anteilig)	0 %	5 %			
Investitionskosten					
Lely Discovery 120 Collector, Nutzungsdauer 12 J.	18.000	36.000	€/Stück		
Gebäudekosten					
Güllegrube zusätzliche Einleitung Waschwasser, 2 Monate, Errichtungskosten Betonieren		0,8	m ³ /TP/Jahr	144	€/m ³
Ersparnis Betonieren Abwurfschacht, Aufbau Schieber, säurebeständig, inkl. Arbeit		-15,3	m ³	168	€/m ³
Minderarbeit betonieren Laufgang, Gefälle, Harnsammelrinne, Schiene		24	h	55	€/h
Nutzungsdauer Betonarbeiten Stall und Güllegrube		30	yr		
Arbeitskosten					
Arbeitszeitbedarf bzw. Arbeitskosten eingespart mit Roboter	0,61	-0,49	h/TP/Jahr	20	€/h
Arbeitszeitbedarf eingespart in Minuten pro Tag	5,5	-4,4	min/d		

Ergebnisse

Emissionsmessungen

In Abbildung 7 sind die Mittelwerte und die Standardabweichung der Ammoniakkonzentrationen (in ppm) auf den einzelnen Betrieben zu unterschiedlichen Tageszeitpunkten dargestellt. Bei den beiden Versuchsbetrieben wurde am Vormittag und am Nachmittag ein Mittelwert aus den Einzelmessungen erstellt. Bei der Referenzmessung stammen die Daten aus einem Versuch aus dem Rinderforschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Projekt EmiScrap 2013-2014) bei vergleichbaren Außenklimabedingungen.

Abbildung 7:
Mittlere Ammoniakkonzentrationen (inkl. Standardabweichung) eines ausgesuchten Tages auf den Laufgangoberflächen von drei Liegeboxenlaufställen für Milchvieh



Die Ammoniakemissionen bei den Vormittagsmessungen sind niedriger als die der Nachmittagsmessungen. Mit steigenden Lufttemperaturen und Oberflächentemperaturen (siehe Tabelle 3) werden auch höhere Ammoniakemissionen gemessen.

Die Werte für den Referenzbetrieb wurden dem Projekt EmiScrap entnommen und den Versuchsmessungen gegenübergestellt. Dazu wurde ein Tag mit einigermaßen vergleichbaren Temperaturen ausgewählt. Man sieht hier einen Mittelwert ähnlich der Vormittagsmessung beim Betrieb 1 und der Messungen auf dem Betrieb 2, bei jedoch gleichzeitig sehr hoher Standardabweichung. Zu erklären ist die hohe Standardabweichung mit der

Tabelle 3: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Oberflächentemperatur während der Ammoniakmessungen

Parameter	Betrieb 1 VM	Betrieb 1 NM	Betrieb 2 VM	Betrieb 2 NM	Referenz
Lufttemperatur in °C	8,7 - 10,8	16,3 - 18,7	5,9 - 10,9	16,2 - 20,3	12 - 23
Luftfeuchtigkeit in %	52 - 60	40 - 47	57 - 70	44 - 45	54 - 82
Oberflächentemperatur in °C	9,2 - 10,9	17,1 - 19,3	6,2 - 11,3	16,5 - 20,7	12 - 26

VM=Vormittag; NM=Nachmittag

Stallbauweise im Referenzstall, wo sich der Fressgang innerhalb des Stalles befindet und die Laufgänge im Außenbereich liegen.

Um die Ammoniakemissionen der drei Betriebe anders bewerten zu können, wurden die Ammoniakemissionen in Kilogramm pro Großvieheinheit (GVE) und Jahr bei modellhafter Annahme - gleichbleibende Klimabedingungen - berechnet. In Tabelle 4 finden sich die Ergebnisse dieser Berechnung.

Parameter	Betrieb 1	Betrieb 2	Referenz
Tagesmittel NH ₃ (ppm)	22,7	9,82	14,77
Stallfläche in m ²	390	420	630
GVE	83	112,5	94,5
Stallfläche pro GVE (m ² /GVE)	4,73	3,73	6,67
Ammoniakemissionen in kg/GVE/a	20	6,8	18,3

Tabelle 4: Ammoniakemissionen aus den Stallsystemen 1-3, in kg NH₃-N pro GVE, Messperiode Übergangszeit mittels Haubmessungen und Modellierung (2021)

Die beiden Versuchsbetriebe unterscheiden sich hinsichtlich der emissionsrelevanten Stallfläche, der Anzahl der GVE und somit der Stallfläche pro GVE. Betrieb 1 hat ca. einen Quadratmeter pro GVE mehr an Platz. Diese erhöhte emissionsrelevante Stallfläche pro GVE erhöht die berechneten Ammoniakemissionen je GVE. Durch das niedrigere Tagesmittel der gemessenen Ammoniakemissionen und der niedrigeren Stallfläche je GVE liegen die Ammoniakemissionen in kg/GVE und Jahr bei Betrieb 2 um mehr als die Hälfte niedriger als bei Betrieb 1.

Da der Referenzstall die größte emissionsrelevante Stallfläche pro GVE aufweist, steigen damit auch die Ammoniakemissionen pro GVE und Jahr an, obwohl das gemessene Tagesmittel zwischen dem der beiden Betriebe liegt.

Restverschmutzung

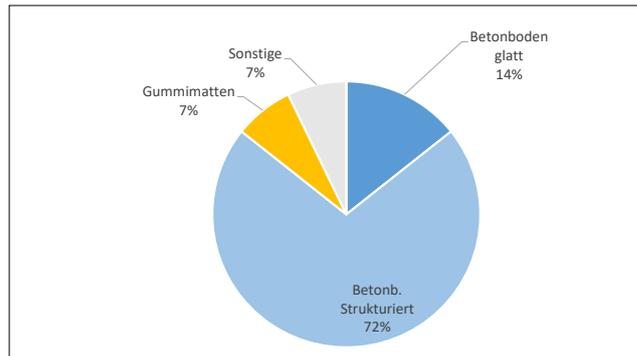
In der Tabelle 5 ist die Restverschmutzung der beiden Versuchsbetriebe und des „Referenzbetriebes“ angeführt. Man sieht, dass der Betrieb 1 die geringste Restverschmutzung und somit den besten Reinigungsgrad erreicht. Die durchschnittliche Restverschmutzung bei Betrieb 1 liegt bei 147 g/m², bei Betrieb 2 liegt die durchschnittliche Restverschmutzung bei 389 g/m². Dabei ist zu bedenken, dass Betrieb 1 und Betrieb 2 zwar dasselbe Entmistungssystem, den Lely Collector, verwenden, aber eine unterschiedliche Bodenstruktur aufweisen. In Tabelle 1 ist ersichtlich, dass Betrieb 1 einen glatten, und Betrieb 2 einen strukturierten Betonboden hat. Durch den strukturierten Boden wird die Reinigungsleistung etwas schlechter, da in den Rillen beim Abreinigen der Fläche immer Kot/Harn-Gemisch hängen bleibt.

Die Referenz zu den beiden Ergebnissen bildet der Rinderforschungsstall in Raumberg-Gumpenstein. Hier sind Gummimatten verbaut und das Abschieben der Flächen erfolgt beinahe stündlich während der Hauptaktivitätszeiten (6-20 Uhr) automatisch mit einem Schiebersystem. Der Grad der Restverschmutzung liegt hier zwischen dem von Betrieb 1 und 2.

Parameter	Restverschmutzung		
	Betrieb 1	Betrieb 2	Referenz
Min	54	312	225
Max	301	478	401
Mittelwert	147	389	295

Tabelle 5: Minima, Maxima und Mittelwert der Restverschmutzung in g Frischmasse/m²

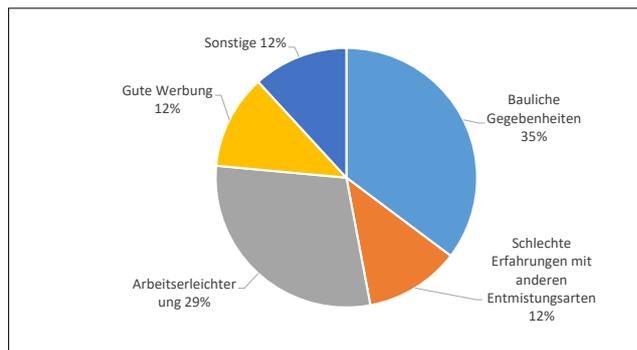
Abbildung 8: Aufteilung der Bodenbeläge



Praxiserhebung

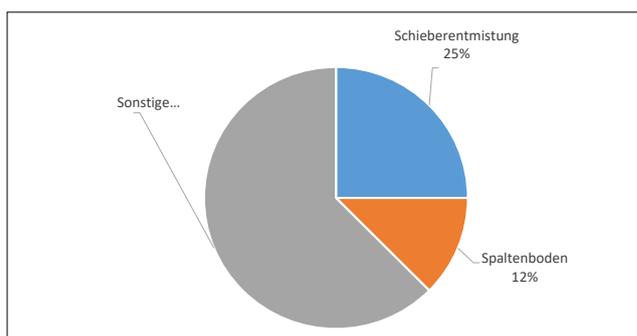
In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Mehrheit der Betriebe, welche einen Lely Collector besitzen, einen strukturierten Betonboden verbaut haben. Die übrigen Betriebe haben einen glatten Betonboden, Gummimatten oder Gussasphalt verbaut.

Abbildung 9: Kaufentscheidungen



Bei den Gründen für den Kauf konnten bis zu drei Nennungen gewählt werden. Man sieht hierbei in Abbildung 9, dass der Großteil der Betriebe das automatische Entmistungssystem aufgrund vereinfachter baulicher Ausführung und aus Gründen der Arbeitserleichterung erworben haben. Zum Punkt bauliche Gegebenheiten haben die meisten Teilnehmer der Umfrage die vereinfachte Stallbauweise angesprochen. Sie sind einerseits nicht baulich gebunden und Quergänge und für einen Schieber unerreichte Flächen können sehr gut mitgereinigt

Abbildung 10: Bisherige Entmistungsart



werden. Auch schlechte Erfahrungen mit anderen Entmistungsarten und gute Werbung spielten in der Entscheidung des Kaufes eine Rolle.

Bei der Frage, welche Entmistungsart vor dem Kauf des automatischen Entmistungssystems Lely Collector im Stall vorhanden war, stellte sich heraus, dass die Mehrheit einen neuen Stall gebaut hatten und vorher noch kein automatisiertes Entmistungssystem verbaut wurde. Händische Reinigung oder Reinigung mit dem Hoftrac (mobile Entmistung) und einem Gummischild wurde vor dem Kauf angewandt. Diese Fälle sind in der Kategorie Sonstige eingeschlossen (siehe Abbildung 10). Einige Betriebe hatten zuvor aber auch eine Schieberentmistung und/oder Spaltenböden.

Die Betriebe konnten aber auch Schätzungen abgeben, wie hoch sie die Restverschmutzung im Vergleich zu einem herkömmlichen Entmistungssystem bewerten würden. Über 50 % der Betriebe schätzten die Restverschmutzung viel geringer, 29 % schätzten die Restverschmutzung geringer und 14 % der Betriebe würden keinen Unterschied zu einem Schieber erwarten.

Der letzte Punkt der Befragung umfasste eine Einschätzung der positiven oder auch negativen Einflüsse des automatischen Entmistungssystems auf die Klauengesundheit. Dabei sprachen sich 100 % der befragten Betriebe dafür aus, dass sich die Klauengesundheit verbessert hat, 57 % davon behaupteten sogar, dass die Klauengesundheit sich um ein Vielfaches verbessert hat.

Wirtschaftlichkeit

Ausgehend von den oben gezeigten Berechnungsdaten ergeben sich beim Betrieb mit einem Entmistungsroboter um ca. € 2.100 pro Jahr höhere Kosten als mit einem Schieber. Dies entspricht ca. € 40 pro Tierplatz und Jahr. Hierbei ist der Kostenvorteil aus der eingesparten Arbeitszeit i.H.v. 4,4 min pro Tag bzw. ca. € 500 pro Jahr bereits eingerechnet. Auch bei einer Einsparung von 8 min pro Tag und einem Stundensatz von € 40 würde die Arbeitszeiteinsparung die höheren Gesamtkosten noch nicht aufwiegen. In der Berechnung der Arbeitszeitedifferenz für die Reinigung der Quergänge ohne Roboter wurde bereits die Kombination mit Tierbeobachtung und Boxenpflege berücksichtigt. Für die Betreuung des Robotersystems sind ca. 7 Stunden pro Jahr enthalten. Die wichtigste Kostendifferenz liegt in den höheren Anschaffungskosten des Roboters gegenüber dem Klappschieber mit einem Abschreibungsbetrag, der € 1.500 pro Jahr höher liegt. Auch der Unterschied in den abgeschätzten Reparaturkosten macht einen wichtigen Anteil aus. Hinzu kommen höhere laufende Kosten für Wasser, Strom und digitale Geräte, in Summe resultieren höhere laufende Kosten von ca. € 1 000 pro Jahr. Die anteiligen Gebäudekosten verursachen einen geringeren Anteil der Kostendifferenz. Die Reinigung mit dem Collector erfordert zwar eine höhere Güllelagervorhaltekapazität während der Übergangsmo-nate (2 von 6 Monaten), andererseits bedeutet der Entmistungsroboter auch Kostenvorteile aufgrund von eingesparten Betonarbeiten für Abwurfschacht und Querkanal.

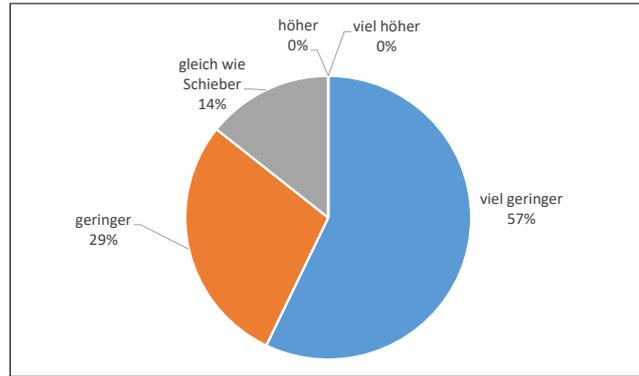


Abbildung 11: Schätzung der Restverschmutzung im Vergleich zu anderen Entmistungsarten

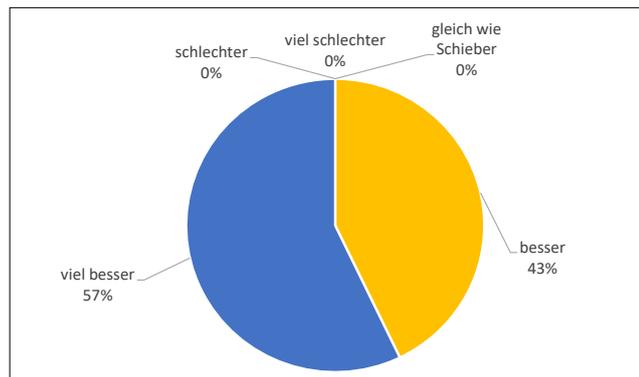


Abbildung 12: Auswirkungen auf die Klauengesundheit

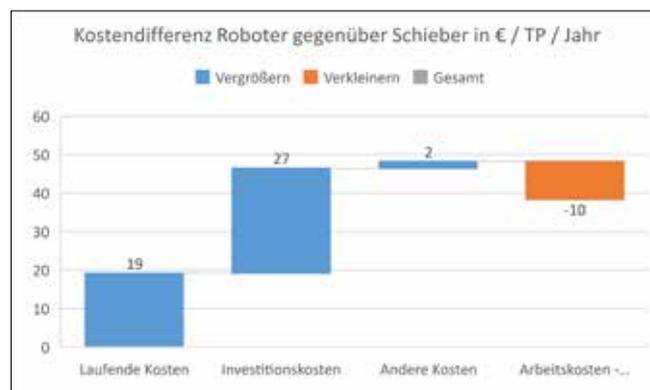


Abbildung 13: Übersicht über die Bereiche mit Mehr- und Minderkosten des Sammelroboters gegenüber dem Klappschieber.

Blau: Bereich mit höheren Kosten
Orange: Bereich mit geringeren Kosten

Tabelle 6: Kostenunterschiede zwischen Sammelroboter- und Klappschieber in € pro Jahr bzw. € pro TP und Jahr (negative Werte bedeuten, dass die Variante mit Roboter geringere Kosten aufweist)

	Schieber €/Jahr	Roboter €/Jahr	Kostendifferenz €/Jahr	Kostendifferenz €/TP/Jahr
Laufende Kosten			1.054	19
Wassereinsatz	6	248	242	4,4
Stromeinsatz	158	220	62	1,1
Reparaturkostenansatz pro 100 h				
Reparaturkosten	575	1261	687	12,5
Einsatzzeit				
Digitale Infrastruktur (anteilig)	0	51	51	0,9
Investitionskosten			1.500	27
Lely Discovery 120 Collector, Nutzungsdauer 12 J.	1.000	3.000	1.500	27
Gebäudekosten			69	1,2
Güllegrube zusätzliche Einleitung Waschwasser, 2 Monate, Errichtungskosten Betonieren			198	3,6
Ersparnis Betonieren Abwurfschacht, Aufbau Schieber, säurebeständig, inkl. Arbeit			-85	-1,6
Minderarbeit betonieren Laufgang, Gefälle, Harnsammelrinne, Schiene			-44	-0,8
Nutzungsdauer Betonarbeiten Stall und Güllegrube				
Arbeitskosten			-539	-10
Arbeitszeitbedarf bzw. Arbeitskosten eingespart mit Roboter	671	132	-539	-10
Arbeitszeitbedarf eingespart in Minuten pro Tag				
Zinsansatz, summiert über alle Positionen			26	0,5
Summe der Mehr- und Minderkosten			2110	38

Die vorliegende Berechnung ergibt, dass keine ausreichenden Kosteneinsparungen vorliegen, um einen Betrieb mit Entmistungsroboter zu rechtfertigen. Allerdings können Vorteile in anderen Bereichen liegen, beispielsweise einer höheren baulichen Flexibilität.

Literaturverzeichnis

DÖRFLER, R. L., KÖSTLER C., BERNHARD H., PETERMAIER H., (2014): The impact of the cleaning effect of scraper robots on claw health in dairy cows, Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, AgEng 2014, 06.-10.07.2014.

GEORG, H., RETZ, S. , (2011): Emissionsreduktion bei Haltung auf Spaltenböden, Bewertung eines neuartigen Reinigungsverfahrens, Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2011, S 25 – 28.

HÖHENDINGER, M., KERN, S., STUMPENHAUSEN, J., TREIBER, M., BERNHARDT, H., (2019). Estimation of effects on the workload at dairy farms caused by automatization. In Actual Tasks on Agricultural Engineering: PROCEEDINGS OF THE 47 INTERNATIONAL SYMPOSIUM (pp. 453-461).

LEINWEBER, T., ZÄHNER, M. , SCHRADER, S., (2019): Bewertung eines Entmistungsroboters bei Milchvieh aus ethologischer und verfahrenstechnischer Sicht. LANDTECHNIK 74(3), 55–68

MB84, (2008): ÖKL Merkblatt 1. Auflage Nr. 84. Entmistungsverfahren in Rinderställen. Verfasser: ÖKL-Arbeitskreis Landwirtschaftsbau. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 1040 Wien, Gußhausstraße 6

NAESS, G., RUUD, L. E., und BOE, K. E., (2014): Alley floor Cleanliness in Dairy Cubicle Barns, Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, AgEng 2014, 06.-10.07.2014.

POTEKO, J. und SCHRADER, S., (2014): Entmistungsqualität verbessern, UFA-REVUE, 7-8, 2014,71.

RICHTLINIE (EU), (2016): RICHTLINIE (EU) 2016/2284 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG.

SAGKOB, S., NIEDERMEIER, J., BERNHARDT, H., (2011). Verfahrensvergleich eines stationären und mobilen Schiebersystems für die Flüssigentmistung. Landtechnik, 66(4), 238-242.

Schick M., Moritz C.H. (2004): Entmistung von Milchviehställen. Stationär oder mobil? FAT-Berichte Nr. 619, Ettenhausen / 2004.

SCHRADER, S., KECK, M., ZEYER, K., EMMENEGGER, L., (2011): Ammoniak-Emissionen von Milchviehlaufställen mit Laufhof: Im Winter weniger Verluste, ART-Bericht NR. 745, Agroscope Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen.

STEINER, B. UND KECK, M. (2000): Stationäre Entmistungsanlagen in der Rinder- und Schweinehaltung. FAT-Berichte Nr. 542 / 2000. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon.

STEINER, B., FRIEDLI, K., & ZÄHNER, M. (2017). Entmistungsschieber in Milchviehlaufställen: Tiergerechtheit-Planung und Ausführung. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. Tierhaltungsnews aus Forschung und Praxis, 19.

STÜLPNER, A., ADEILI, S., HAIDN, B., DÖRFLER, R., BERNHARDT, H., (2014): Reaktionen von Milchkühen beim Einsatz eines Spaltenroboters, Landtechnik 69(5), S 225 – 231, 2014.

ZÄHNER, M., KECK, M., HILTY, R., (2005): Ammoniak-Emissionen von Rinderställen, Minderung beim Bau und Management, FAT-Bericht Nr. 641/2005, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen.

ZÄHNER, M., SCHRADE, S., LEINWEBER, T., GALLMANN, E., (2018): Perforierte Laufflächen bei Milchvieh: Bewertung der Entmistung mit einem Roboter. Weiterbildungskurs für Baufachleute , 5./6. November 2018

Gendererklärung: Generell wurde in diesem Tagungsband die in der deutschen Sprache übliche, männliche Anrede gewählt. Diese Anrede für personenbezogene Bezeichnungen bezieht sich jeweils auf alle Geschlechter gleich. Keinesfalls soll dies eine Ablehnung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen.