Nationale Drehscheibe Ammoniak

Beurteilung von emissionsmindernden Massnahmen im Rahmen der Drehscheibe Ammoniak

Massnahme 26

Wärmetauscher für Mastpoulets

Version: 01

Datum: 15.06.2026

Autoren/-innen:

Stéphanie Vuille[1], Thomas Kupper[1], Markus Bucheli[2], Kilian Appert[3], Eric von Ah[4], Barbara Steiner[5], Annelies Uebersax[5], Michel Fischler[6]

[1]Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen

[2]Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung, Hohenrain

[3]Arenenberg, Salenstein

[4]Römerrain Landwirtschaftliche Beratung, Pfäffikon

[5]Agrofutura AG, Brugg

[6]mf Landwirtschaft und Umwelt, Zürich

1. Definition

Thema: Stallklima

Anwendungsbereich: Mastpoulets

Tierkategorie: Mastpoulets

Hersteller: verschiedene Hersteller, z.B. Inauen AG, Appenzell, Globogal AG, Lenzburg

URL: RINAUEN_Gefluegelmaststall_interaktiv_12_21-1.pdf, Seite 31, CleanTherm oder globogal.ch/menu/warmeruckgewinnung-wrg/

Kurzbeschreibung: Lüftungssystem, bei dem mit der Wärme der Abluft die Zuluft erwärmt wird. Für dieses System wird auch oft der Begriff Wärmerückgewinnung (WRG) verwendet. Die Reduktion von Ammoniakemissionen erfordert ein System, das eine ausreichende Luftzirkulation im Stall gewährleistet.

2. Beschreibung des Systems

Mastpouletsställe müssen im Hinblick auf ein optimales Klima (Staub, Temperatur etc.) ausreichend gelüftet werden. Dabei wird die Abluft aus dem Stall weg- und Luft mit Aussentemperatur zugeführt. Im Winter verursacht die Lüftung einen erheblichen Wärmeverlust. Ein Wärmetauscher kann diesen Verlust verringern, indem die Zuluft mit der Wärme der Abluft erwärmt wird (siehe Abbildung 1). Die einströmende und die ausströmende Luft werden nicht vermischt. Mithilfe des Wärmetauschers lässt sich die Luftaustauschrate optimieren, währenddem gleichzeitig die optimale Temperatur aufrechterhalten wird. Zur Reduktion der Ammoniakemissionen ist zusätzlich eine Optimierung der internen Luftzirkulation erforderlich im Hinblick auf eine verbesserte Trocknung der Einstreu (VERA, 2019).



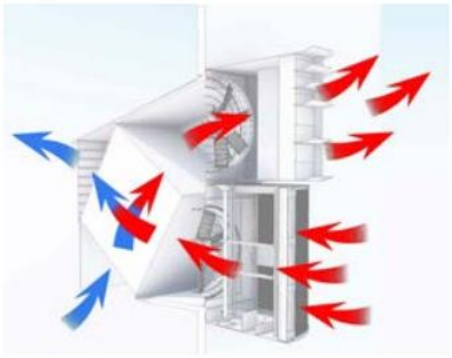


Abbildung 1: Links: Wärmetauscher (Quelle: VERA, 2019). Rechts: Schema des Funktionsprinzips des Wärmetauschers mit der warmen Abluft (rote Pfeile), welche die kalte Zuluft (blaue Pfeile) erwärmt und umgekehrt (Quelle: RINAUEN_Gefluegelmaststall_interaktiv_12_21-1.pdf, 08.05.2023).

3. Prinzip der Emissionsminderung

Der Wärmetauscher wirkt indirekt durch das folgende Prinzip auf die Ammoniakemissionen:

- Trocknung der Einstreu aufgrund der Verminderung der relativen Feuchtigkeit der Zuluft und verbesserter Zirkulation der Luft im Stall. In einer trockenen Einstreu sind die Bedingungen für die mikrobiellen Prozesse weniger günstig, was eine Reduktion der Bildung von Ammoniak zur Folge hat.

4. Hinweise zur Emissionsminderung (Messungen unter Praxisbedingungen)

Emissionsmessungen publiziert in Zeitschrift oder Bericht:

- Hensen et al. (2010): 6 Messungen auf 4 Betrieben mit dem Wärmetauscher Agro Climat Unit. Die Ergebnisse zeigen eine durchschnittliche Emission von 20 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr, was einer Reduktion von 70% entspricht (Referenzwert: 0.068 kg NH_3 pro Tierplatz und Jahr, Ellen et al., 2017).

VERA-Prüferklärung: verfügbar

- VERA (2019): Agro Clima Unit (ACU) Clima1 200, Typ 2.5 für Mastpouletsställe erreicht eine Emissionsreduktion von 28%.

Listung in Umweltverordnung NL[1]: ja

- 6 Emissionsfaktoren für 6 Geflügelkategorien (Mastpoulets, Perlhühner, Masttruten und Elterntiere). In Tabelle 1 sind die Emissionsfaktoren der beiden Hauptkategorien Mastpoulets und Masttruten aufgeführt. In der Beilage 5 der Umweltverordnung NL ist für alle 6 Emissionsfaktoren derselbe Referenzbericht OW 2010.13.V1[2] angegeben. Der Emissionsfaktor des Systems HE5.8 stammt aus dem Bericht von Hensen et al. (2010).

Tabelle 1: Emissionsfaktoren von Stallsystemen mit Wärmetauscher im Vergleich zur Referenz (Stallsystem ohne emissionsmindernde Techniken) für Mastpoulets und -truten (Quelle: https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2024-07-01#BijlageV; 17.07.2025)

[1] https://wetten.overheid.nl (13.01.2026). Früher Rav Liste; diese ist seit dem 01.01.2024 nicht mehr gültig. https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav-0/emissiefactoren-per/ (13.01.2026). Die Rav Liste wurde durch die Liste in Beilage V der Umweltverordnung ersetzt.

[2] https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/dierenverblijven/systeembeschrijvingen-stallen/ow-2010-13/ (17.07.2025)

Geflügelkategorie	Codes UmV*	Emissionsfaktor [kg NH_3/Tierplatz/Jahr]	Emissionsfaktor; Referenz [kg NH_3/Tierplatz/Jahr]	Emissions-reduktion [%]
Mastpoulets	HE5.8	0.021	0.068	69.2
Masttruten	HG4.5	0.210	0.680	69.2

* Codes gemäss Beilage 5 der Umweltverordnung NL[1].

Listung auf Umweltbundesamt DK[3]: im Jahr 2016 aufgenommen.

- Agro Climat Unit (ACU) Clima 200, Typ 2.5 für Mastpouletsställe erreicht eine Emissionsreduktion von 30%. Dieser Wert basiert auf denselben Messungen wie angegeben in VERA (2019).

Auf der Website von natural resources Wales ist der Wärmetauscher als Massnahme zur Reduktion von Ammoniakemissionen aufgeführt, mit einer Reduktion um 35% bei Mastpoulets und 15-20% bei Legehennen[4].

Teil eines laufenden Messprogramms: ja, Messungen der Gruppe Gasförmige Emissionen Landwirtschaft der HAFL zusammen mit der Branche auf einem Praxisbetrieb sind im Gange.

5. Nachweis der Emissionsreduktion (Messungen im labor- oder Pilotmassstab) oder Einschätzung aufgrund von Wirkungsprinzipien

-

6. Umsetzungsempfehlungen oder Praxiserfahrungen

Im Schlussbericht von Van Caenegem et al. (2020) wird die Leistung eines Minergie-A/P Mastgeflügelstalls über ein Jahr beurteilt. Durch die Wärmedämmung, die Wärmeruckgewinnung und eine optimierte Luftrate wurde der Wärmebedarf von 160'000 kWh auf 69'369 kWh reduziert. Etwa drei Viertel der Energieeinsparung war auf die Wärmerückgewinnung und ein Viertel auf die verbesserte Wärmedämmung zurückzuführen. Aufgrund der reduzierten Energiekosten sollten sich die Investitionskosten für den Wärmetauscher innert drei bis vier Jahren kompensieren lassen. Zwecks Minimierung der Probleme mit der hohen Staubbelastung sind die Rohrbündelwärmetauscher (Firma Globogal) senkrecht angeordnet und haben eine integrierte Reinigung. Eine gründliche Reinigung nach jedem Mastdurchgang ist dennoch erforderlich und vom Dach aus möglich (Abbildung 2). Weitere Informationen sind in Van Caenegem et al. (2020) aufgeführt.

[3] https://en.lbst.dk/agriculture/environmental-technologies-for-livestock-holdings/list-of-environmental-technologies/livestock-housing-system (08.04.2025)

[4] Natural Resources Wales / Reducing ammonia emissions from agriculture (08.05.2023)



Abbildung 2: Rohrbündel-Wärmetauscher, Aussen- und Innenansicht des Minergie-A/P Geflügelstalls (Van Caenegem et al. 2020).

Dezat und Pattier (2015) führten eine Umfrage unter Produzenten von Mastpoulets mit Wärmetauschern durch. Die Autoren betonen die Wichtigkeit, den Wärmetauscher zwischen den einzelnen Umtrieben zu reinigen. Ein schlecht gereinigter und nicht desinfizierter Wärmetauscher führt zur Verbreitung von Mikroorganismen. Zudem beeinträchtigt die Verschmutzung seine Effizienz. Die Autoren weisen darauf hin, dass eine langjährige Erfahrung des Betreibers die Effizienz der Anlage leicht positiv beeinflusst.

In der Studie von Bokkers et al. (2010) wurden Daten von 25 Betrieben, welche den Agro Clima Unit Wärmetauscher installiert hatten, erhoben (gleiches Produkt wie geprüft in VERA, 2019). Die Betriebe sind mit dem Wärmetauscher zufrieden, da sich das Stallklima und die Qualität der Einstreu verbessert haben. Die Temperatur im Stall ist homogener und die Tiere nutzen die Stallfläche gleichmässiger. Die Meinungen zu den Auswirkungen des Wärmetauschers auf die Staubbelastung sind dagegen unterschiedlich. Der Hauptgrund für den Kauf eines Wärmetauschers ist vor allem die Reduktion von Energieverbrauch und Kosten. Einige Betriebe heben auch eine bessere Leistung der Tiere hervor. Bokkers et al. (2010) führten ebenfalls Untersuchungen vor und nach der Installation von Wärmetauschern durch. Auf 13 Betrieben stellten sie eine Reduktion des Gasverbrauchs um 38% fest. Der Wärmetauscher hatte keine negativen Auswirkungen auf die Parameter wie Sterblichkeit, Futteraufnahme und Wasserverbrauch der Tiere. Sie beobachteten einen tendenziell höheren durchschnittlichen Tageszuwachs der Mastpoulets. Der Einfluss des Betreibers scheint jedoch wichtiger zu sein als der Effekt des Wärmetauschers. Die Produzenten sind im Allgemeinen mit der Anlage zufrieden, aber oft wird die unpraktische Reinigung hervorgehoben.

Der Wärmetauscher Earny Typ 40.000 der Firma Big Dutchman International GmbH wurde von der DLG für seine Effizienz bei der Wärmerückgewinnung ausgezeichnet (Bericht 6140 F)[5]. Die Ergebnisse zeigen eine Wärmerückgewinnungseffizienz von 57%. Die Messungen fanden im Winter zwischen Dezember und Ende April in einem Stall mit ca. 40'000 Mastpoulets statt. In der Schweiz vermarktet die Firma Inauen AG den CleanTerm[6]-Wärmetauscher, der nach dem gleichen Konzept wie der Earny-Wärmetauscher von Big Dutchman

[5] DLG, Test Report, 6140F, 12-735, Big Dutchman International GmbH, Heat Exchanger Earny Type 40.000, Efficiency of heat recovery under practical conditions (08.05.2023)
[6] RINAUEN_Gefluegelmaststall_interaktiv_12_21-1.pdf (31.05.2023)

funktioniert, jedoch für Mastpouletsställe in Schweizer Grösse geeignet ist. Laut Hersteller spart der CleanTerm-Wärmetauscher in der kalten Jahreszeit 57% der Heizkosten ein.

7. Angaben zum Betrieb des Systems

Gemäss Bokkers et al. (2010) muss die Lüftungsrate des Wärmetauschers für ein optimales Stallklima je nach Alter der Tiere angepasst werden. Chevalier et al. (2012) stellten fest, dass 19% der Betriebe (insgesamt 201 auswertbare Fragebögen) Probleme im Winter mit dem Einfrieren der Wärmetauscherblöcke hatten. Um diese Probleme zu vermeiden, empfehlen die Autoren Temperaturmesssonden, die den Betrieb der Zuluftventilatoren stoppen, wenn sich die Temperatur 0°C nähert. In ihrer Umfrage verfügten 21% der Landwirte über solche Sonden. Das Einfrieren des Wärmetauscherblocks kann erhebliche Schäden verursachen. Die Autoren empfehlen deshalb, das Auftauen nicht zu erzwingen, sondern das Schmelzen des gebildeten Eises abzuwarten.

8. Angaben zur Installation des Systems

Ein Wärmtauscher kann sowohl in neuen als auch in bestehenden Gebäuden installiert werden. In der Umfrage von Chevalier et al. (2012) hatten 70% der mit einem Wärmetauscher ausgestatteten Gebäude ein Durchschnittsalter von 19 Jahren. Die befragten Betriebe bewerteten die Qualität der Abdichtung und die Isolation der Gebäude als gut bis ausgezeichnet, was hinsichtlich einer optimalen Energieeinsparung sehr wichtig ist. Chevalier et al. (2012) stellten fest, dass die meisten Wärmetauscher an den Längsseiten der Gebäude und nicht an den Stirnseiten installiert sind. Sie beobachteten eine grössere Energieeinsparung bei Wärmetauschern, die an den Längsseiten installiert waren. Sie vermuten, dass dies auf eine bessere Luftverteilung zurückzuführen ist. Je nach Grösse der Ställe können mehrere Wärmetauscher installiert werden. Die Untersuchung von Bokkers et al. (2010) schloss insgesamt 37 Wärmetauscher auf 25 Betrieben ein. Pro Betrieb waren 1 bis 5 Wärmetauscher installiert. Krommweh et al. (2021) hatten einen Wärmetauscher zusammen mit einem Luftwäscher in einem Schweinemaststall installiert. Die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten sowie deren Effizienz werden dort beschrieben.

9. Beurteilung der Emissionsreduktion aufgrund der vorliegenden Daten

Für das System Wärmetauscher bzw. Wärmerückgewinnung liegen die unten aufgeführten Informationen hinsichtlich Emissionsreduktion für Mastpouletsställe vor. Sie beziehen sich alle auf den Agro-Clima-Unit-Wärmetauscher (ACU), clima+, Typ 2.5:

- Emissionsreduktion von 28% gemäss VERA-Prüferklärung (VERA, 2019). Grundlage: Messungen in zwei Mastpouletsställen nach dem Case-Control Ansatz gemäss Vorgabe von VERA (2018) mit Emissionsmessungen mit und ohne Betrieb des Wärmetauschers zeitlich aufeinanderfolgend im gleichen Stall.
- Emissionsreduktion von 30% gemäss Listung auf Umweltbundesamt DK.
- Liste in Beilage 5 der Umweltverordnung NL unter 2010.13.V mit Emissionsreduktion von 69% basierend auf den Ergebnissen von Hensen et al. (2010) sowie aktualisiert nach Ellen et al. (2017).

Eine allgemein gehaltene Empfehlung für den Wärmetauscher als Massnahme zur Reduktion von Ammoniakemissionen liegt im deutschen Bericht der Wissenschaftlichen Dienste (2016) vor. Die Website von natural resources Wales gibt für einen Wärmetauscher eine Reduktion von Ammoniakemissionen um 35% bei Mastpoulets an.

Die Bestimmung von Emissionen von Mastpouletsställen ist schwierig und aufwändig, da die Emissionshöhe mit zunehmender Mastdauer stark zunimmt. Zusätzlich treten an verschiedenen Messtagen des gleichen Betriebs und zwischen verschiedenen Betrieben grosse

Unterschiede in der Emissionshöhe auf (Winkel et al., 2009). Dies hat zur Folge, dass Messwerte zur Ermittlung einer Emissionsreduktion einer Technik wie einem Wärmetauscher, die mittels der Methoden von VERA (2019; Case-Control Ansatz mit und ohne Betrieb des Wärmetauschers an aufeinanderfolgenden Tagen im gleichen Stall) oder Hensen et al. (2010; Messungen an einzelnen Tagen in mehreren Ställen mit Wärmetauscher und Vergleich mit einem Standardemissionsfaktor) eine grössere Unsicherheit aufweisen. Zudem ist die Beschreibung der Methode wie angewendet in VERA (2019) sehr summarisch, nicht nachvollziehbar und damit die Datenqualität schwer einschätzbar.

Aufgrund der vorliegenden Messdaten schätzen wir das Potenzial eines Wärmetauschers bzw. Wärmerückgewinnung zur Reduzierung der Ammoniakemissionen eher konservativ auf 30% und stützen uns dabei auf den niedrigeren Wert von VERA (2019) bzw. des dänischen Umweltbundesamts. Für die Anwendung einer eher konservativen Schätzung spricht auch die Tatsache, dass es unsicher ist, ob die in der Schweiz installierten Anlagen eine ähnliche Wirkung haben wie das untersuchte System. Aufgrund der anderen Vorteile, wie Energieeinsparung (Chevalier et al., 2012) oder Verbesserung des Stallklimas, ist der Wärmetauscher insgesamt eine interessante Technik.

Voraussetzung für das Erreichen einer Emissionsreduktion ist eine ausreichende Verteilung der Luft im Stall, so dass die Einstreu trocken bleibt. Weiter muss der Wärmetauscher entsprechend den Angaben der Hersteller gereinigt werden. Weitere Informationen zu den Messdaten und den zugrundeliegenden Studien sind im Anhang aufgeführt.

10. Tierwohl

Ohne Wärmetauscher wird im Winter die Lüftungsrate oft reduziert, um die Temperatur entsprechend dem Wärmebedarf der Tiere zu gewährleisten und Heizkosten zu sparen. Die üblichen Gasheizungen erhöhen die Luftfeuchtigkeit. Dadurch ist die Luftqualität im Stall eingeschränkt. Mit einem Wärmetauscher lässt sich der Wärmeverlust und die relative Luftfeuchtigkeit der Zuluft reduzieren. Dadurch lässt sich eine ausreichende Luftaustauschrate eher gewährleisten. Somit verbessert der Wärmetauscher das Stallklima indirekt.

Die Beschaffenheit der Einstreu wurde von Van Caenegem et al. (2020) während sämtlicher Umtriebe als sehr gut beurteilt. Trockene Einstreu aufgrund des Einsatzes eines Wärmetauschers vermindert das Risiko von Fussballen- und Fersenläsionen (de Jong et al., 2014; Van Caenegem et al., 2020; van Harn et al., 2012) und von weiteren negativen Auswirkungen auf die Tiere wie tiefere Tageszunahmen, tiefere Futter- und Wasseraufnahme, stärkere Verschmutzung der Tiere (de Jong et al., 2014).

11. Anmerkungen/Einschränkungen

Keine

12. Referenzen

Bokkers, E.A.M., van Zanten, H.H.E., van den Brand, H., 2010. Field study on effects of a heat exchanger on broiler performance, energy use, and calculated carbon dioxide emission at commercial broiler farms, and the experiences of farmers using a heat exchanger. Poultry Science 89, 2743–2750.

Chevalier, D., Nicolas, C., Amand, G., Cloarec, M.L., La Mornière, A. de, Dezat, E., 2012. La récupération de chaleur en aviculture : retour d'expérience d'éleveurs utilisateurs, pays de la Loire, FR. 14 pp. Document SPACE CRAPL-CRAB-ITAVI -version définitive (synagri.com) (31.05.2023).

de Jong, I.C., Gunnink, H., Van Harn, J., 2014. Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. Journal of Applied Poultry Research 23, 51–58.

Dezat, E., Pattier, S., 2015. Résultats de l'enquête avicole : Echangeurs récupérateurs de chaleur en poulet de chair : Quels résultats? Bretagne, FR. 4 pp. Résultats échangeurs.pdf (synagri.com) (31.05.2023).

Ellen, H.H., Groenestein, C.M., Ogink, N.W.M. 2017. Actualisiering ammoniak emissiefactoren pluimvee. Livestock Research Report 1015. Wageningen NL. Wageningen UR livestock Research, 65 pp.

Hensen, A., van de Bulk, W., Blom, M., Bleeker, A., 2010. Emissiemetingen stalsystemen met Agro Clima Unit ECN-E--10-087. Energy research Centre of the Netherlands. Schagen NL. 68 pp.

Krommweh, M.S., Deeken, H.F., Licharz, H., Büscher, W., 2021. Heating performance and ammonia removal of a single-stage bioscrubber pilot plant with integrated heat exchanger under field conditions. Energies 14, 6484.

Mosquera, J., Ellen, H., Hol, J., Huis in 't Veld, J., Nijeboer, G.M., Ploegaert, J., Ogink, N., 2013. Emissies uit een vleeskuikenstal met strooiselbeluchting en warmtewisselaar. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen, NL: Wageningen UR Livestock Research, 43 pp.

Van Caenegem, L. Stauffer, D., Sax, M., Ruprecht, K., 2020. Minergie-A/P Mastgeflügelstall-Geflügelmastall, Berghof, 3429 Hellsau BE-Monitoring Bericht, Bern, CH. Bundesamt für Energie BFE. 42 pp.

van Harn, J., Aarnink, A.J.A., Mosquera, J., van Riel, J.W., Ogink, N.W.M., 2012. Effect of bedding material on dust and ammonia emission from broiler houses. American Society of Agricultural and Biological Engineers 55(1), 219-226.

VERA, 2011. VERA test protocol: Covers and other mitigation technologies for reduction of gaseous emisions from stored manure, Copenhaguen, DK. The International VERA Secretariat. Version 2. 26 pp.

VERA, 2019. Verification statement: Agro Clima Unit (ACU) Clima + 200, type 2.5. Verification statement 007, Copenhaguen, DK. The International VERA Secretariat. 18 pp. VERA-VERIFIZIERUNGSERKLARUNG-Rokkedahl-Energi-ApS-Deutsch.pdf (vera-verification.eu) (08.05.2023).

Winkel, A., Mosquera, J., Kwikkel, R.K., Gerrits, F.A., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2009. Dust emission from animal houses: broilers. Rapport 275. Revised version from January 2011. Wageningen, NL: Animal Sciences Group of Wageningen UR.

Wissenschaftliche Dienste, 2016. Indoor-Massnahmen zur Emissionsminderung bei der Geflügelhaltung. Berlin, DE. Deutscher Bundestag. 13 pp. wd-5-093-16-pdf-data.pdf (bundestag.de) (19.06.2023).

Anhang – Zusammenfassung der verschiedenen Messberichte

Die VERA-Prüferklärung (VERA, 2019) für den Agro-Clima-Unit-Wärmetauscher (ACU), clima+, Typ 2.5 basiert auf Messungen in zwei Mastpouletsställen nach dem Case-Control Ansatz gemäss Vorgabe von VERA (2018), wobei die Emissionsmessungen mit und ohne Betrieb des Wärmetauschers vermutlich zeitlich aufeinanderfolgend im gleichen Stall erfolgten. Die Emissionsreduktion gemäss VERA (2019) beträgt 28%.

In den Niederlanden führten Hensen et al. (2010) 6 Messungen über fast ein Jahr in 4 Mastpouletsställen mit dem gleichen Wärmetauscher Agro Clima Unit durch. Der Durchschnittswert ihrer Messungen betrug 20 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr. Diese Messdaten wurden zur Festlegung des Emissionsfaktors für dieses System in der Beilage 5 der Umweltverordnung unter OW 2010.13.V1 verwendet, wo ein Emissionsfaktor von 21 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr für Mastpoulets angegeben ist (Ergebnisse von Hensen et al., 2010 und aktualisiert nach Ellen et al., 2017). Dies entspricht einer Emissionsreduktion von 69%. Um diesen Faktor zu erreichen, muss die Mindestkapazität des Wärmetauschers mindestens 0.35 m^3 pro Tierplatz und Stunde betragen und der Wärmetauscher muss bis zum Ende der Mastperiode in Betrieb sein.

Ebenfalls in den Niederlanden führten Mosquera et al. (2013) sechs über ein Jahr verteilte Messungen über 24 Stunden auf einem Betrieb für ein System durch, das einen Wärmetauscher mit einem Heizungssystem kombiniert (OW 2009.14.v1). Das Heizungssystem wärmt die Luft im Stall auf und die durch Ventilatoren auf die Liegefläche geblasen wird. Die gemessene Emission betrug rund 35 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr Im Vergleich zum Emissionsfaktor der Referenz von 68 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr führte das gemessene System zu einer Verringerung der Emissionen um 49%. Laut den Autoren bietet der Wärmetauscher allein eine Emissionsreduktion von 10.9±6.8 %. Mosquera et al. (2013) stellten auch eine grosse Variabilität der Emissionen fest mit einem Minimum 2.9 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr und einem Höchstwert 171 g NH_3 pro Tierplatz und Jahr.