



Verkenning van maatregelen voor het verminderen van emissies van bioaerosolen uit melkgeitbedrijven

Albert Winkel, Thomas Hagenars, Francesca Marcato, Francesca Neijenhuis en Jan Verkaik

Openbaar
Rapport 1612



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verkenning van maatregelen voor het verminderen van emissies van bioaerosolen uit melkgeitenbedrijven

Albert Winkel ¹, Thomas Hagnaars ², Francesca Marcato ¹, Francesca Neijenhuis ¹, Jan Verkaik ¹

¹ Wageningen Livestock Research

² Wageningen Bioveterinary Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Themanaam' (projectnummer BO-43-209-054).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, Januari 2026

Rapport 1612

Synopsis

In dit rapport is verkend welke maatregelen de emissies van bioaerosolen uit geitenstallen en stromestopslagen kunnen verminderen in relatie tot het verhoogde risico op longontstekingen bij omwonenden van geitenbedrijven. Bioaerosolen zijn zwevende deeltjes en druppeltjes van organische oorsprong met daarin micro-organismen en microbiële stoffen zoals endotoxinen. De verkenning is uitgevoerd aan de hand van een eerdere verkenning voor de intensieve veehouderij uit 2016, aangevuld met aanvullend literatuuronderzoek en rondetafelgesprekken met dertig geitenhouders. De verkenning heeft in totaal ruim 100 mogelijke maatregelen opgeleverd. De maatregelen zijn beoordeeld op het emissieverlagende effect, toepasbaarheid in de geitenhouderij, toepasbaarheid bij nieuwbouw versus bestaande bouw, ongewenste neveneffecten en het draagvlak. Hoofdstuk 5 van dit rapport (Synthese en slotsom) besluit met een aantal groepen van maatregelen die perspectiefvol zijn. Dit rapport reikt deze kennis aan ter ondersteuning van politieke en maatschappelijke discussie rond het thema, voor visievorming en beleidsvorming, voor de verdere ontwikkeling en onderzoek van maatregelen, en voor geitenhouders die aan de slag willen met maatregelen om emissies van bioaerosolen te verlagen.

Abstract

This report explores which measures can reduce bioaerosol emissions from goat barns and manure storages in relation to the increased risk of pneumonia in residents living near dairy goat farms. Bioaerosols are airborne particles and droplets of organic origin containing microorganisms and microbial molecular structures such as endotoxins. The study was conducted based on a previous study aimed at intensive livestock farming from 2016, supplemented with further literature research and roundtable discussions with a total of thirty goat farmers. The study yielded a total of over 100 potential measures. The measures were assessed based on their emission-reducing effect, applicability in goat farming, applicability to new construction versus existing buildings, undesirable side effects, and willingness among farmers. Chapter 5 of this report (Synthesis and conclusions) concludes with a number of groups of measures that offer promising potential. This report provides this knowledge to facilitate political and social debate on the topic, for vision and policy development, for the further development and research of measures, and for goat farmers who want to get started with lowering emissions of bioaerosols.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/708521> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2026

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Voorgeschiedenis en aanleiding	5
1.2	Verkenning	6
1.3	Doel	6
2	Theoretisch kader bij emissies bioaerosolen geitenhouderijen	7
2.1	Uitleg over de termen fijnstof, inhaleerbaar stof, bioaerosolen, micro-organismen, bacteriën, endotoxinen	7
2.2	Inhoudelijke reflecties bij deze verkenning	8
2.3	Bronnen, processen en factoren bij het ontstaan van bioaerosolen	10
2.4	Emissiekarakteristieken en verspreiding in de atmosfeer	11
2.5	Samenvatting studies emissies fijnstof/bioaerosolen geitenstallen	12
2.6	Overzicht van succesvolle maatregelen voor emissiereductie van fijnstof (bij andere veehouderijsectoren)	14
3	Achtergrond bij de lijst van 23 bacteriën in geitenhouderijen	16
3.1	De lijst van 23 bacteriën	16
3.2	Eigenschappen van de 23 bacteriën	17
3.2.1	Temperatuur (bronmateriaal en lucht) en Gramtypering	17
3.2.2	Zuurstofgehalte	18
3.2.3	Relatieve luchtvochtigheid	18
3.2.4	Zuurgraad (pH)	18
3.2.5	Grootte en vorm	18
3.3	Omgevingscondities in geitenstallen	19
4	Literatuurverkenning en rondetafelgesprekken maatregelen	20
4.1	Werkwijze	20
4.2	Resultaten	21
5	Synthese en slotsom	23
5.1	Geen ideale maatregel	23
5.2	Maatregelen die op korte termijn genomen kunnen worden	23
5.2.1	Piekperioden bij instrooien en uitmesten van stropotstallen voorkomen	23
5.2.2	Stapelen stalmaatregelen met bescheiden individueel effect	24
5.2.3	Mechanische ventilatie met 'end-of-pipe' luchtreiniging	24
5.2.4	Verminderen bioaerosolemissies uit stromestopslagen	25
5.3	Alternatieve, potentieel emissiearme, huisvestingsconcepten	26
5.4	Niet toepasbaar, wel in de lijst van Bijlage 2	26
5.5	Mogelijkheden voor verder onderzoek en ontwikkeling	26
5.6	Vooruitblik	27
6	Bronnen	28
7	Dankwoord	30
Bijlage 1	Scoring van effectiviteit van maatregelen	31
Bijlage 2	Lijst met maatregelen	34

1 Inleiding

1.1 Voorgeschiedenis en aanleiding

Op 4 februari 2025 is het eindrapport verschenen van het onderzoek 'Veehouderij en Gezondheid Omwonenden III' ([Van der Giessen et al., 2025](#)), dat is uitgevoerd door RIVM, Universiteit Utrecht, het NIVEL en Wageningen University & Research. Uit dit onderzoek bleek opnieuw dat er meer longontstekingen voorkomen onder mensen die in de omgeving van een geitenhouderij wonen. Meer dan 30 verschillende bacteriën waarvan bekend is dat ze bij mensen een longontsteking kunnen veroorzaken, kwamen voor in de stallucht van minstens 25% van de onderzochte geitenbedrijven. Na samenbrengen van deze resultaten met die van de andere deelstudies uit het VGO-III onderzoek resulteerde een kandidatenlijst met daarop 18 soorten bacteriën en vijf groepen bacteriën op genusniveau, die a) voorkomen in de stallucht, b) in meer of mindere mate in de andere deelstudies zijn gevonden en c) longontsteking bij mensen kunnen geven. Verspreiding van deze bacteriën uit geitenhouderijen via de lucht naar omwonenden zou (onderdeel van) een causaal mechanisme voor de extra longontstekingen kunnen zijn.

Eveneens op 4 februari 2025 heeft minister Agema van VWS middels een adviesaanvraag¹ de Gezondheidsraad verzocht eerdere Gezondheidsraadadviezen over de gezondheidsrisico's rond veehouderijen ([Gezondheidsraad, 2018](#); [Gezondheidsraad, 2012](#)) te actualiseren. Dit geactualiseerde advies is in twee delen verschenen. In het eerste deel, van 3 juli 2025 ([Gezondheidsraad 2025a](#)), oordeelde de commissie dat het verband tussen wonen in de nabijheid van geitenhouderijen en longontstekingen waarschijnlijk **oorzakelijk** is. De commissie identificeerde verder een **multicausaal werkingsmechanisme** waarin een samenspel van factoren mogelijk verantwoordelijk is voor de associatie. In dat werkingsmechanisme spelen emissies van fijnstof, micro-organismen en endotoxinen een rol. In het tweede deel, van 8 december 2025 ([Gezondheidsraad, 2025b](#)), beoordeelde de commissie het gezondheidsrisico voor omwonenden binnen 1 km als **aanzienlijk verhoogd**. Het **terugdringen van de emissie** (uitstoot) van fijnstof, micro-organismen en endotoxinen uit geitenhouderijen is volgens de commissie de meest aangewezen manier om gezondheidsrisico's te beperken. Bij een voorgenomen nieuw vestiging van een geitenhouderij en bij een voorgenomen realisering van woningen en andere gevoelige bestemmingen adviseert de commissie om uit voorzorg ten minste een afstand van 1 kilometer aan te houden. De commissie schrijft daarover: *'Afstandsnormen (...) zijn zeker aangewezen zolang niet duidelijk is of uitstootverminderende maatregelen afdoende zijn'*. Daarmee legt de commissie een verbinding tussen afstandsnormen en emissieverminderende maatregelen; het onderwerp van dit rapport.

Op 6 februari 2025 heeft minister Wiersma van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) aan de Tweede Kamer toegezegd een spoedadvies te vragen aan Wageningen University & Research (WUR) over mogelijkheden om emissies van bacteriën uit geitenhouderijen te verminderen. In het spoedadvies van de WUR van 10 april 2025 ([Winkel & Hagenars, 2025](#)) is beschreven welke mogelijkheden er bestaan om op korte termijn (enkele maanden) meer informatie op te leveren over de (on-)mogelijkheden voor maatregelen op bedrijfsniveau. Ook werd een tweede fase onderzoek geadviseerd, met een ontwikkelprogramma voor emissiereducerende maatregelen en metingen. De slotsom van de notitie was dat op korte termijn een verkenning mogelijk is aan de hand van drie activiteiten (genummerd 1, 2a en 2b, 3).

Op 10 juni 2025 is het onderzoek voor de eerste fase, zoals beschreven in het spoedadvies, in opdracht gegeven door het ministerie van LVVN. Het onderhavige rapport vormt het resultaat van dit eerste fase onderzoek. De activiteiten worden verder uitgewerkt in de volgende paragraaf 1.2.

¹ <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviesaanvragen/2025/02/04/adviesaanvraag-vws-gezondheidsrisicos-omwonenden-veehouderijen-i.h.b.-geitenhouderijen>

1.2 Verkenning

In dit rapport is het volgende verkend:

1. Er is samengevat wat bekend is over relevante eigenschappen van de bacteriën die in het VGO-III onderzoek zijn aangetroffen. Het VGO-III rapport bevat informatie over de bronnen in de stal waarin, naast de stallucht, genetisch materiaal van deze bacteriën is aangetroffen. In het onderhavige rapport wordt samengevat wat bekend is over de eigenschappen van deze bacteriën en over de invloed van omgevingscondities op de groei en overleving van deze bacteriën, waaronder Gramtypering (Grampositief, Gramnegatief), temperatuur (van bronmateriaal en lucht), vochtigheidsgraad, zuurstofgehalte en zuurgraad.
Daarnaast is samengevat wat bekend is over de omgevingscondities die voorkomen in geitenstallen, met name in het stromestpakket en in de stallucht. Deze kennis kan richting geven voor maatregelen om overleving, groei, aerosolisatie (het zwevend worden in lucht) en emissie (uitstoot uit de stal naar de buitenlucht) van deze micro-organismen te verminderen.
2. a. Het op een rij zetten van de recente wetenschappelijke literatuur (2015-heden) over processen en factoren die een rol spelen bij de emissie van bioaerosolen uit stallen in algemene zin, en mogelijkheden voor het verminderen van die emissies.
b. Op basis hiervan zijn maatregelen semi-kwantitatief beoordeeld op toepasbaarheid in de geitenhouderij, toepasbaarheid bij bestaande bouw en nieuwbouw, verwacht effect en onzekerheid van het effect. De scores zijn opgenomen in een spreadsheet. Daarnaast is er aandacht besteed aan eventuele ongewenste neveneffecten (waaronder ammoniakemissie, verminderde diergezondheid en verminderd dierwelzijn) en aan het draagvlak voor een maatregel. Deze laatste aspecten zijn meegenomen in het hoofdstuk 'Synthese en slotsom'.
3. Het voeren van rondetafelgesprekken met geitenhouders waarin is gereflecteerd op de conceptresultaten uit 1. en 2. alsook het oogsten van aanvullende of verfijnde ideeën om emissies van bioaerosolen te verlagen. De ervaring leert dat wanneer veehouders inzicht krijgen in de processen en factoren die emissies op hun bedrijf (of in hun sector) beïnvloeden, zij vanuit hun praktijkervaring in staat zijn praktische oplossingen te bedenken waarin bedrijfsuitrusting of bedrijfsmanagement zodanig wordt aangepast dat ongewenste effecten (zoals emissies) worden voorkomen of verminderd.

1.3 Doel

Het doel van deze verkenning is om inzichtelijk te maken welke (groepen van) maatregelen bioaerosolemissies uit geitenstallen en stromestopslagen kunnen verminderen. De maatregelen worden beoordeeld op toepasbaarheid in de geitenhouderij, toepasbaarheid bij nieuwbouw versus bestaande bouw, het verwachte effect (emissievermindering van fijnstof, endotoxinen en micro-organismen), ongewenste neveneffecten en het draagvlak. Dit rapport reikt deze kennis aan ter ondersteuning van politieke en maatschappelijke discussie rond het thema, voor visievorming en beleidsvorming, voor de verdere ontwikkeling en onderzoek van maatregelen, en voor geitenhouders die aan de slag willen met maatregelen om emissies van bioaerosolen te verlagen.

2 Theoretisch kader bij emissies bioaerosolen geitenhouderijen

2.1 Uitleg over de termen fijnstof, inhaleerbaar stof, bioaerosolen, micro-organismen, bacteriën, endotoxinen

Fijnstof (PM₁₀ en PM_{2.5})

In dit rapport wordt gesproken over fijnstof, inhaleerbaar stof, bioaerosol, micro-organismen, bacteriën en endotoxinen. De betekenis van, en de relatie tussen, deze termen wordt hier eerst uitgelegd. **Fijnstof** is een algemene verzamelterm voor alle in de lucht zwevende vloeibare druppeltjes en vaste deeltjes kleiner dan 10 micrometer (een micrometer is éénderuitendste millimeter). Fijnstof wordt ook **PM₁₀** genoemd. Daarbij staat PM voor 'particulate matter' en 10 voor de bovengrens in de grootte van de zwevende deeltjes. Omdat de deeltjes zo klein zijn blijven ze lang in de lucht zweven en kunnen ze bij inademen diep in de luchtwegen komen. Fijnstof in de lucht komt van natuurlijke processen, zoals bosbranden, vulkaanuitbarstingen en het opwaaien van bodemstof. Maar ook van menselijke processen, zoals industrie-schoorstenen, verbrandingsmotoren en houtstook. De eigenschappen van de deeltjes (grootte, dichtheid, vorm, kleur, chemische samenstelling) verschillen tussen bronnen. Zo zijn de deeltjes uit de uitlaat van (diesel)auto's bijvoorbeeld relatief klein (tot 2 à 3 micrometer). Ze bevatten veel roet (koolstof) maar geen organische moleculen of micro-organismen. Fijnstof uit stalgebouwen is relatief grof van grootte (voornamelijk tussen 3 en 10 micrometer). Naast PM₁₀ wordt ook nog PM_{2.5} onderscheiden dat bestaat uit in de lucht zwevende vloeibare druppeltjes en vaste deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer. Fijnstof, PM₁₀ en PM_{2.5} zijn begrippen uit de buitenluchtkwaliteit.

Inhaleerbaar stof (PM₁₀₀)

In de binnenlucht en bij stofblootstelling tijdens het werk is ook **inhaleerbaar stof** belangrijk. Dit zijn in de lucht zwevende vloeibare druppeltjes en vaste deeltjes kleiner dan 100 micrometer (ééntiende millimeter; PM₁₀₀). Dit zijn relatief grote deeltjes die niet lang zwevend blijven en na inademing vooral in de mondholte, neusholte en keel neerslaan. Ondanks dat ze niet diep in de luchtwegen komen, kunnen deze deeltjes wel veel stofmassa het lichaam binnen brengen en gezondheidseffecten veroorzaken.

Bronnen en samenstelling van stof in stallen

Stof in stallen is voornamelijk afkomstig van 'organische bronnen': mest, veren, haar, huid, voer, stro(oisel) en insecten. Het bevat organische moleculen (zoals eiwitten), **micro-organismen (bacteriën, schimmels, gisten en virussen²)** en moleculaire bestanddelen van micro-organismen (ook wel "pathogen associated molecular patterns" (PAMP's) genoemd). PAMP's zijn moleculaire structuren die karakteristiek zijn voor een micro-organisme, niet of nauwelijks voorkomen in het lichaam van mens en dier, en door het immuunsysteem worden herkend als lichaamsvreemd ("niet-zelf"). PAMP's zijn bijvoorbeeld endotoxinen (Gramnegatieve bacteriën), peptidoglycaan (Grampositieve bacteriën), lipoteichoïnezuur (Grampositieve bacteriën) en (1→3)β-glucanen (schimmels). **Endotoxinen** zijn moleculaire structuren in de celwand van Gramnegatieve bacteriën die vrijkomen als de bacteriecel sterft/uiteen valt en na herkenning door het immuunsysteem tot sterke ontstekingsreacties leiden.

Relatie tussen fijnstof, micro-organismen en emissiereductie

In de lucht zwevende micro-organismen en endotoxinen komen bijna altijd voor als onderdeel van een vast deeltje of vloeibaar druppeltje. Ze zitten dus meestal ergens in of aan. Het deeltje of druppeltje beschermt tegen bijvoorbeeld uitdroging of afdoding door UV-straling in zonlicht. Als de concentratie van fijnstof in stallucht wordt verminderd, wordt tegelijk de concentratie van micro-organismen en endotoxinen verminderd. Micro-organismen in fijnstof kunnen niet alleen worden verminderd, maar – omdat ze levend

² Formeel zijn virussen geen zelfstandig functionerende levensvorm en worden daarom niet gerekend tot de micro-organismen, maar om pragmatische redenen worden ze hier onder één noemer geschaard.

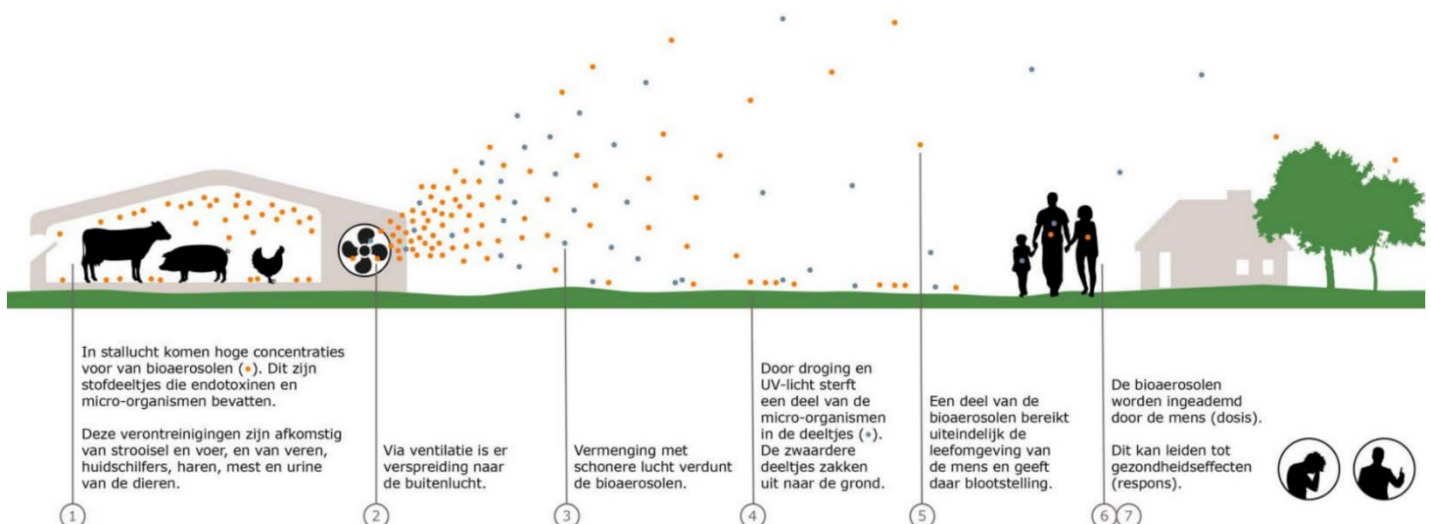
zijn – ook worden geïnactiveerd (gedood), bijvoorbeeld door UV-straling. Ze zijn dan nog wel aanwezig in lucht, maar kunnen niet meer zorgen voor infectie bij een mens of dier.

Bioaerosolen

Bioaerosol (bio = leven, aerosol = oplossing in lucht) is de term voor zwevende druppeltjes en deeltjes van biologische oorsprong. Stof uit stallen is dus in het algemeen een bioaerosol, behoudens een zeer klein deel van niet-organische oorsprong (zoals deeltjes uit de uitlaat van een trekker). Stof en bioaerosol kunnen in de veehouderij als synoniemen gezien worden. Bij de aanpak van gezondheidseffecten rond geitenhouderijen gaat het om het reduceren van de emissies van bioaerosolen, de combinatie van stof (dat wil zeggen: de deeltjes en druppeltjes zelf), micro-organismen en endotoxinen. Hierna gebruikt het rapport de term 'bioaerosolen'.

2.2 Inhoudelijke reflecties bij deze verkenning

- Processen en factoren bij emissies van bioaerosolen uit stallen, en mogelijkheden voor het verminderen van die emissies, zijn in het verleden in overzichtsrapportages op een rij gezet door [Zhao et al. \(2014\)](#), [Aarnink et al. \(2015a\)](#), [Aarnink et al. \(2015b\)](#), en [Winkel et al. \(2016a\)](#). In laatstgenoemde rapportage is verkend welke bestaande en nieuwe maatregelen genomen zouden kunnen worden om stalemissies van bioaerosolen te verlagen. Voor de meest perspectievolle maatregelen zijn jaarkosten (investeringskosten en exploitatiekosten) berekend. De rapportage van [Winkel et al. \(2016a\)](#) was echter voornamelijk gericht op emissies van bioaerosolen uit pluimveehouderij en daarnaast varkenshouderij omdat deze twee diercategorieën het overgrote deel van fijnstofemissies uit de veehouderij voor hun rekening nemen. Het onderhavige rapport gaat specifiek over emissies van bioaerosolen uit de geitenhouderij.
- In [Winkel et al. \(2016a\)](#) zijn de processen van stalbron naar omwonenden schematisch weergegeven (Figuur 2.1). Dit processchema is eveneens van toepassing op de situatie van dit rapport. Het onderhavige rapport richt zich op stappen 1 en 2 in de procesketen van Figuur 2.1. De verspreiding van bioaerosolen in de atmosfeer en de effecten op omwonenden vallen buiten de scope van het onderhavige rapport.



Figuur 2.1 Procesketen van stalemissie tot gezondheidseffect bij omwonenden. Bron: Winkel et al. (2016 a).

- Een melkgeitenbedrijf bestaat potentieel uit drie deelbronnen: **de stal(len)**, de **mestopslag** en eventuele **percelen** waar stromest wordt uitgereden en/of geiten worden geweid. Emissie uit de stal is een continu proces waarbij wel dal- en piekperioden optreden. Emissie uit de mestopslag lijkt vooral plaats te vinden bij het uitstorten, omzetten en opladen van de stromest. De frequentie hiervan is meestal enkele malen per jaar. Emissie vanuit het uitrijden van stromest op percelen vindt ook plaats in een beperkt aantal gebeurtenissen per jaar. Bedacht moet worden dat stromest van een geitenbedrijf op percelen uitgereden kan worden op een andere locatie of regio dan die van het geitenbedrijf. Er moet

dus onderscheid gemaakt worden tussen de bedrijfslocatie (met stal(len), erf, voeropslagen en mestopslag) en de perceelslocaties (waar stromest wordt uitgereden). In de verschillende onderzoeken naar veehouderij en de gezondheid van omwonenden is de geitenbedrijfslocatie als uitgangspunt genomen. Mogelijke gezondheidseffecten bij omwonenden van perceelslocaties zijn in voornoemde onderzoeken niet bekeken. Voor de bedrijfslocatie geldt dat de stallen vrijwel zeker het belangrijkste bijdragen aan de totale emissiehoeveelheid³ van bioaerosolen uit een geitenbedrijfslocatie. Het onderhavige rapport richt zich daarom **primair op de stal(len)** op het geitenbedrijf. **Secundair wordt ook de stromestopslag** betrokken in dit rapport. Het thema 'emissies van bioaerosolen tijdens het uitrijden van geitenstromest' valt buiten de scope van dit rapport.

- Bioaerosolen in de veehouderij zijn in lucht zwevende deeltjes en druppeltjes van biologische oorsprong waarin micro-organismen en endotoxinen aanwezig zijn. In het VGO-III onderzoek ([Van der Giessen et al., 2025](#); par. 7.3.2.4 op blz. 76-78) is bevestigd dat de emissiehoeveelheid (van deeltjes/druppeltjes zelf (het fijnstof), evenals de niet-infectieuze componenten daarin (endotoxinen), relatief laag is voor een geitenbedrijf van gemiddelde omvang ten opzichte van andere typen veehouderijen. De emissies zijn lager dan die van bedrijven voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens van elk een gemiddelde omvang. Het VGO-III rapport wijst er verder op ([Van der Giessen et al., 2025](#); par. 7.6.2.4 op blz. 90-91 en par. 8.3.2 op blz. 97) dat het verhoogde risico op longontsteking rond specifiek geitenhouderijen (gecorrigeerd voor de aanwezigheid van andere veehouderijtypen) wijst op een specifieke oorzaak voor de geitenhouderij. Dat wil zeggen: een agens dat alleen/vooral/in bijzonder hoge mate in geitenhouderijen voorkomt. Het voorgaande, in combinatie met het vinden van bacteriën in geitenstallucht die bij mensen een longontsteking kunnen veroorzaken, heeft geleid tot de hypothese dat verspreiding van bacteriën uit geitenhouderijen via de lucht naar omwonenden een causaal mechanisme voor de extra longontstekingen zou kunnen zijn. Tegelijkertijd is onbekend:
 - welke van de gevonden bacteriën uit VGO-III daadwerkelijk verantwoordelijk zijn voor het verhoogde voorkomen van longontstekingen rond geitenhouderijen;
 - tijdens welke momenten en processen deze micro-organismen emitteren;
 - uit welke plaatsen (deelbronnen) binnen het bedrijf zij afkomstig zijn;
 - in welke hoeveelheden deze micro-organismen emitteren;
 - en tot welk niveau emissies daarvan teruggebracht zouden moeten worden om aan het einde van het processchema in Figuur 2.1 tot gezondheidskundig relevant lagere blootstellingen te leiden.

Als gevolg daarvan kunnen er slechts adviezen worden gegeven gericht op emissies van bioaerosolen, en de micro-organismen daarin, in algemene zin.

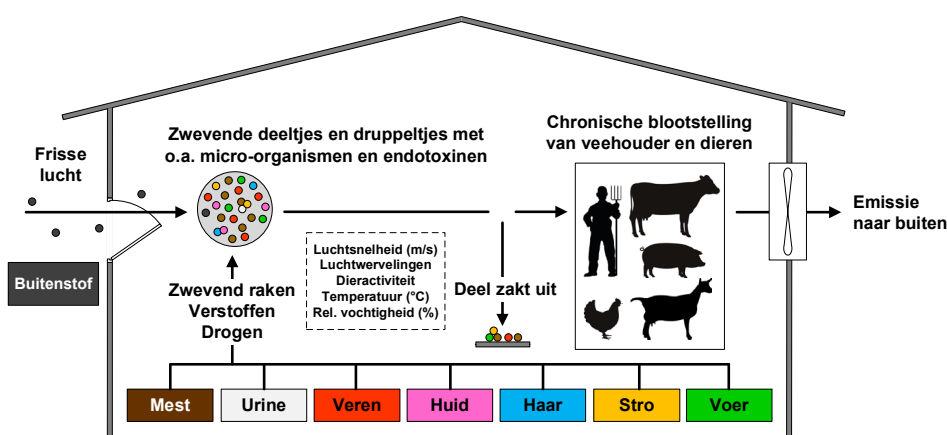
- In het eerste deeladvies van de Gezondheidsraad ([Gezondheidsraad 2025a](#); par. 3.3 op blz. 20-25) worden vier mogelijke biologische werkingsmechanismen beschreven:
 - 1) ziekteverwekkers die specifiek op geitenhouderijen voorkomen verspreiden zich via de lucht en veroorzaken longontstekingen bij omwonenden;
 - 2) algemeen voorkomende micro-organismen komen in grote hoeveelheden vrij uit geitenbedrijven en vergroten het dragerschap onder omwonenden en daarmee het risico op longontstekingen;
 - 3) bioaerosolen uit geitenbedrijven maken omwonenden gevoeliger voor longontstekingen door beïnvloeding van het luchtwegmicrobioom;
 - 4) bioaerosolen uit geitenbedrijven maken omwonenden gevoeliger voor longontstekingen door luchtweg- en longproblemen te veroorzaken of te verergeren.Het eerste mechanisme beschrijft de commissie als niet waarschijnlijk. Het meest plausibele mechanisme acht de commissie het ontstaan van verhoogd dragerschap van algemeen voorkomende micro-organismen en het gevoeliger worden van omwonenden door ontstekingsreacties, luchtwegmicrobioom verschuivingen en een verhoogde infectiegevoeligheid. In het tweede deeladvies van de Gezondheidsraad ([Gezondheidsraad, 2025b](#); par. 1.2 op blz. 7-8) wordt het '*multicausaal werkingsmechanisme, waarin meerdere blootstellingen en processen gelijktijdig een rol spelen*' nogmaals kort samengevat en geïllustreerd in Figuur 2 van dat rapport.

³ Een andere term is: emissievracht. De woorden 'emissiehoeveelheid' en 'emissievracht' zijn synoniemen. Ze betekenen beide een hoeveelheid van een stof dat in totaal wordt uitgestoten. Het woord 'emissie' betekent een hoeveelheid van een stof dat per tijdseenheid wordt uitgestoten en is daarmee een uitstootsnelheid.

- De verkenning in het onderhavige rapport had raakvlakken/overlap met de adviesaanvraag⁴ van VWS aan de Gezondheidsraad waar het gaat over 'bedrijfsfactoren [...] die het risico op longontsteking vergroten'. Deze bedrijfsfactoren overlappen met het beschrevene in de notitie van 10 april (Winkel & Hagenaars, 2025). Dit vroeg om procesafstemming tussen beide adviesaanvragen. Deze procesafstemming heeft plaatsgevonden in gesprekken tussen vertegenwoordigers van de Gezondheidsraad en onderzoekers van WUR op 8 september en 22 oktober 2025. Uit de afstemming bleek dat de timing van het tweede deeladvies van de Gezondheidsraad zodanig was dat de resultaten van het onderhavige rapport daarin nog niet konden worden meegenomen (omdat deze nog niet beschikbaar waren). Tijdens beide overleggen heeft de Gezondheidsraad de onderzoekers verder inhoudelijk geraadpleegd, zoals vermeld in de lijst met incidenteel geraadpleegde deskundigen in het rapport van het tweede deeladvies.

2.3 Bronnen, processen en factoren bij het ontstaan van bioaerosolen

In Figuur 2.2 wordt schematisch en vereenvoudigd weergegeven hoe bioaerosolen ontstaan in stallen.



Figuur 2.2 Bronnen, processen en factoren bij het ontstaan van bioaerosolen in stallen. In melkgeitenstallen zijn alle genoemde bronnen aanwezig, behalve veren. Overgenomen (met aanpassingen) van Winkel (2016d).

De bronnen van bioaerosolen in geitenstallen zijn waarschijnlijk vooral het stro, de mest/urine (samen vormen ze stromest dat als pakket de stropot vormt), huid en haar van de geiten en voer (zowel ruwvoer als mengvoer). Strodeeltjes komen in de lucht terecht door het instrooien van de stal, vooral als dat gebeurt met stroblazers of stroverdelers aan een rail aan het dak. De kwaliteit en het al dan niet ontstoft zijn van het stro is ook van invloed. Op de vloer raakt het stro bevuild met mest en urine. Het bewegen van de dieren op dit pakket stromest leidt tot aerosolisatie (het zwevend in lucht raken) van de deeltjes in het stromestpakket. Bij het uitmesten van de stropot (bijv. met een shovel) komen grote hoeveelheden aerosolen vrij. Ruwvoer, mengvoer, huid en haren hebben als bron waarschijnlijk een kleinere bijdrage. Dieractiviteit, luchtwervelingen en een hoge luchtsnelheid bespoedigen dat deeltjes van de gesedimenteerde staat opgenomen worden in de stallucht (zwevend raken, aerosoliseren) en verhinderen dat deeltjes weer uitzakken (sedimenteren) naar oppervlakken. In natuurlijk geventileerde stallen wordt gestreefd naar laminair stromende lucht met een snelheid van minder dan 0,3 m/s zodat dit in de praktijk een beperkte rol zal spelen, uitgezonderd situaties met harde wind en/of openstaande staldeuren. Geaerosoliseerde en weer gesedimenteerde deeltjes kunnen opnieuw aerosoliseren (re-aerosolisatie), zowel in de stal als in de leefomgeving. Uit de verschillende bronnen in de stal ontstaat een zeer heterogene mix van zwevende

⁴ <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviesaanvragen/2025/02/04/adviesaanvraag-vws-gezondheidsrisicos-omwonenden-veehouderijen-i.h.b.-geitenhouderijen>

deeltjes en druppeltjes van verschillende grootte (aerodynamische diameter⁵), dichtheid, vorm, kleur, chemische samenstelling, en belading met micro-organismen en endotoxinen.

2.4 Emissiekarakteristieken en verspreiding in de atmosfeer

Stallen moeten voldoende worden geventileerd om de door de dieren geproduceerde water(damp), koolstofdioxide en warmte af te voeren en te vervangen door frisse lucht. Via de ventilatie, natuurlijk of mechanisch, worden bioaerosolen met de luchtstroom mee naar de buitenlucht uitgestoten. Voor het verspreidingspatroon (in de ruimte en de tijd) van bioaerosolen in de buitenlucht, en dus ook voor de blootstelling van omwonenden, is het relevant op welke manier het emissieproces plaats vindt:

- de posities van de emissiepunten op het bedrijf ten opzichte van de positie van gevoelige objecten in de leefomgeving, zoals woningen. Hoe groter deze afstand tussen emissiepunt(en) en gevoelig object, hoe meer verdunning en depositie er kan optreden en hoe lager de blootstelling wordt;
- de richting van de uitstroom van de ventilatielucht (horizontaal of verticaal);
- de hoogte waarop de ventilatielucht uittreedt;
- de snelheid waarmee de ventilatielucht uittreedt, en;
- de warmte-emissie van de ventilatielucht. Hoe groter het verschil in temperatuur tussen de uitgestoten stallucht en de omgevingslucht, hoe hoger het stijgt.

Deze parameters beïnvloeden niet de emissiehoeveelheid maar de manier waarop die emissiehoeveelheid (de massa van gassen, deeltjes en druppeltjes met alles wat daar in en op zit) zich verspreid in de atmosfeer.

Wat betreft de tweede tot en met de vijfde bullet zorgen een *verticale uitstroom* (verticale dakkokers, verticale schachten, schoorstenen, nokopeningen in natuurlijk geventileerde stalen) in plaats van een horizontale uitstroom (gevelventilatoren, dwarsventilatie in natuurlijk geventileerde stallen), een *grotere uittreehoogte* (het principe van een lange schoorsteen in de industrie), en een *hogere uittreesnelheid*, ervoor dat de emissiehoeveelheid hoger in de atmosfeer wordt losgelaten. Dit beïnvloedt onder andere de mate van verdunning en het depositiepatroon; en daarmee de blootstelling in de omgeving. Voor bioaerosolen, in relatie tot de gezondheidsrisico's van omwonenden, kan niet zonder meer worden aangenomen dat het hoger in de atmosfeer loslaten van de emissiehoeveelheid tot een afname van het risico zal leiden.

Bij uittrede hoger in de atmosfeer legt de luchtverontreiniging een langere weg af van emissiepunt naar de directe leefomgeving van omwonenden. Het gebied dat uiteindelijk door de pluim wordt aangestroken wordt daarmee groter maar gemiddeld daalt de blootstellingsconcentratie in het gebied. Echter, als die lagere concentratie in een deel van de blootstelling-respons curve (voor een micro-organisme of een bepaalde stof) zit waarbij er (nog steeds of evenveel) effecten optreden, kan het netto effect zijn dat de gezondheidslast toeneemt. Het effect van het hoger in de atmosfeer loslaten van de emissiehoeveelheid is situatie specifiek. Het bijvoorbeeld toepassen van een schacht of schoorsteen kan in de ene situatie de pluim over nabij gelegen woningen heen tillen naar een gebied zonder bewoning (gunstig), maar in een andere situatie de pluim over een onbewoond gebied heen tillen en een daarachter gelegen woonwijk aanstrijken (ongunstig).

⁵ De **aerodynamische diameter** van een deeltje of druppeltje is gelijk aan de diameter van een perfect rond bolletje met een dichtheid van 1 g/cm³ dat in stilstaande lucht dezelfde terminale valsnelheid heeft als het deeltje in kwestie, ongeacht de vorm of dichtheid van het deeltje in kwestie.

2.5 Samenvatting studies emissies fijnstof/bioaerosolen geitenstallen

In Nederland zijn emissies uit geitenstallen empirisch onderzocht in vijf studies. Deze worden hierna weergegeven. In de laatste drie studies zijn de emissies van fijnstof/bioaerosolen bepaald.



Huis in 't Veld, J.W.H., E. Evers, G. Mol (2002)
Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII. Natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten
Rapport 2002-18. Wageningen, Instituut voor Milieu- en Agritechniek
<https://edepot.wur.nl/160301>



Beurskens, A.G.C., P. de Gijsel, J.M.G. Hol (2004)
Geuremissie van een stal voor melkgeiten
Rapport 95. Wageningen, Agrotechnology and Food Innovations BV.
<https://edepot.wur.nl/158236>



Aarnink, A.J.A., et al. (2012; 2014)
Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen
Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen: aanvullende metingen
Rapporten 489 en 712, Lelystad, Wageningen UR Livestock Research
<https://edepot.wur.nl/216316>
<https://edepot.wur.nl/297415>



Mosquera, J., Y. Goselink, P.H.R. van Valkengoed, J.M.G. Hol (2025)
Stalemissie van ammoniak, methaan, lachgas, geur en PM10: Resultaten van praktijkmetingen in stallen voor jongvee, blankvleeskalveren, rosé vleeskalveren, geiten, biggen, vleesvarkens en dragende zeugen
Rapport 1512. Wageningen, Wageningen Livestock Research
<https://doi.org/10.18174/674362>



Van der Giessen, J., et al. (2025)
Veehouderij en gezondheid omwonenden (VGO-III)
Paragraaf 7.3 Geitenbedrijvenstudie
Rapport 2024-0167. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0167.pdf>

Samengevat blijkt uit deze studies t.a.v. emissies uit melkgeitenstallen het volgende:

- De meerderheid van de geitenstallen wordt natuurlijk geventileerd via open zijgevels en een open nok. In deze stallen wordt de ventilatiehoeveelheid gestuurd door de mate waarin winddoeken in de open zijgevels worden gesloten. Een minderheid van de geitenstallen wordt mechanisch geventileerd (via ventilatoren). Deze stallen hebben ventilatietechnisch een geslotener karakter om onderdruk in de stallen te hanteren.
- In natuurlijk geventileerde stallen is het ventilatiedebiet (kuubs lucht per uur per dier) groter dan in mechanisch geventileerde stallen. In de Geitenbedrijvenstudie in VGO-III (Van der Giessen et al., 2025; par. 7.3.2.1 op blz. 71-72) bedroeg het gemiddelde ventilatiedebiet 95 m³/uur per geit in elf natuurlijk geventileerde stallen versus 38 m³/uur per geit in vier mechanisch geventileerde stallen. In de studie van Mosquera et al. (2025; Tabel 6.6 op blz. 97) waren deze gemiddelden 146 m³/uur per geit in twee natuurlijk geventileerde stallen en 59 m³/uur per geit in drie mechanisch geventileerde stallen.
- Door het lagere ventilatiedebiet zijn de concentraties van CO₂ en het temperatuurverschil (ΔT) tussen de stallucht en buitenlucht groter in mechanisch geventileerde geitenstallen dan natuurlijk geventileerde geitenstallen. De meetgegevens van temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en CO₂ concentratie (van stallucht en buitenlucht) suggereren dat het ventilatiedebiet in de praktijk hoger zou mogen zijn gelet op de optimale condities voor de geiten, vooral bij mechanisch geventileerde stallen, en vooral in koudere perioden waarin de ventilatiehoeveelheid lijkt te worden 'geknepen' om de warmte van de dieren vast te houden in het stalgebouw. Een potentieel nadeel van een hoger ventilatiedebiet voor de leefomgeving is

dat het kan leiden tot hogere emissies van fijnstof en ammoniak (tenzij er reiniging van ventilatielucht wordt toegepast).

- Het ventilatiedebiet in geitenstallen kan accuraat worden bepaald door de CO₂-massabalansmethode. In deze methode wordt het ventilatiedebiet bepaald door het oplossen van een balansvergelijking tussen enerzijds de berekende productie van CO₂ door de dieren en anderzijds het gemeten CO₂-concentratieverschil tussen de uitgaande ventilatielucht en de binnenkomende buitenlucht (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Naast de ademlucht van de dieren is ook de aanwezige mest nog een bron van CO₂. Volgens Pedersen et al. (2008) bedraagt deze bijdrage 10% van de bijdrage van de dieren, mits de mest minder dan drie weken in de stal verblijft en uitgezonderd diepstrooiselsystemen (zoals potstallen). In stropotstallen voor geiten produceert de stropot een aanzienlijk grotere hoeveelheid CO₂ dan de genoemde 10%. Deze CO₂-productie neemt toe met de dikte van de stropotlaag (tussen circa 5 en 75 cm) (Mosquera et al., 2025; par. 6.5 op blz. 103-104). Gemiddeld bedraagt de CO₂-productie door de stropot 40% van de CO₂-productie door de geiten (Mosquera et al., 2025). De CO₂-productie uit de stropot is afkomstig van de activiteit van levende micro-organismen in de stropot. Het bepalen van de CO₂-productie door de stropot, additioneel aan de CO₂-productie door de geiten, door middel van het uitvoeren van boxmetingen, is nodig om tot accurate ventilatiedebiet en emissies te komen. In Mosquera et al. (2025) zijn deze boxmetingen ook uitgevoerd. De gemeten potbijdragen in de CO₂-productie zijn meegenomen in de CO₂-massabalansmethode. De aldus berekende ventilatiedebieten bleken goed overeen te komen met de werkelijke ventilatiedebieten, zoals bepaald met meetwaaiers in mechanisch geventileerde geitenstallen (Mosquera et al. (2025)). De CO₂-massabalansmethode voor geiten is dus accuraat mits de CO₂-bijdrage van de pot wordt gemeten en gebruikt in de methode. In de Geitenbedrijvenstudie van VGO-III (Van der Giessen et al., 2025) zijn de ventilatiedebieten geschat op basis van de door Mosquera et al. (2025) bepaalde gemiddelde productie van CO₂ door stropotten van 40% in plaats van de 10% zoals genoemd voor kortdurend verblijf van mest in de stal.
- Concentraties van fijnstof (PM₁₀) in geitenstallen zijn relatief laag en stabiel tijdens de nacht. Bij zonsopkomst, of het aangaan van verlichting, en het actiever worden van de dieren, stijgen de fijnstofconcentraties en worden deze grilliger. De grootschalige verplaatsing van de dieren van de hoofdstal naar de melkstal is terug te zien in periodes van verhoogde concentraties (frequentie: twee maal per dag). In deze perioden brengen de dieren waarschijnlijk deeltjes in de lucht door het trappelen op het stromestpakket. Zeer hoge piekperiodes worden gezien bij het instrooien van de stropot (frequentie: dagelijks) en bij het uitmesten van de stropot (frequentie: maandelijks tot enkele keren per jaar).
- Ongeveer 35% van het PM₁₀₀ (inhaleerbaar stof) in de lucht van geitenstallen bestaat uit PM₁₀. Ongeveer 1% van het PM₁₀₀, equivalent aan ongeveer 4% van het PM₁₀, in de lucht van geitenstallen bestaat uit PM_{2.5}. Alle percentages zijn uitgedrukt op basis van massaconcentraties.
- De huidige emissiefactor voor fijnstof (PM₁₀) uit geitenstallen in de Omgevingsregeling bijlage V⁶ bedraagt 19 gram PM₁₀/dierplaats per jaar en is rond 2010 tot stand gekomen op basis van een afleiding van de gemeten fijnstofemissie bij melkkoeien. De fijnstofemissie in de drie studies die daarna zijn uitgevoerd bleken hoger. In de studie van Aarnink et al. (2012; 2014) bedroeg de PM₁₀ emissie uit twee natuurlijk geventileerde geitenstallen gemiddeld 47 gram PM₁₀/dierplaats per jaar. Deze waarde is echter een onderschatting doordat in de studie van Aarnink et al. (2012; 2014) de CO₂-productie door de stropotten te laag is ingeschat; de werkelijke waarde lag vermoedelijk circa 30% hoger (circa 61 gram PM₁₀/dierplaats per jaar). In de studie van Mosquera et al. (2025) bedroeg de PM₁₀ emissie uit vijf geitenstallen gemiddeld 170 gram PM₁₀/dierplaats per jaar. In de Geitenbedrijvenstudie in VGO-III (Van der Giessen et al., 2025) bedroeg de PM₁₀ emissie uit vijftien geitenstallen gemiddeld 119 gram PM₁₀/dier per jaar. Deze metingen waren echter niet uitgevoerd met als doel om een emissiewaarde vast te stellen en kunnen niet als voldoende representatief worden beschouwd (er werden slechts één, twee of drie 24-uursmetingen per bedrijf uitgevoerd (in plaats van minimaal zes); de metingen werden niet persé op de daarvoor benodigde manier gespreid over het jaar; en bepaalde metingen werden gericht (in plaats van random) uitgevoerd tijdens bepaalde activiteiten en omstandigheden, zoals het uitmesten van een pot of de lammerperiode).

⁶ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528>

- In de Geitenbedrijvenstudie in VGO-III ([Van der Giessen et al., 2025](#)) bedroeg het endotoxinegehalte in het inhaleerbaar stof (PM₁₀₀) van geitenstallen gemiddeld 1251 Endotoxin Units (EU)/mg (range: 939-1699). Het endotoxinegehalte in het fijnstof (PM₁₀) bedroeg gemiddeld 1456 EU/mg (range: 1135-1913). Dit is hoger dan in het stof van leghennen en vleeskuikens (circa 200-700 EU/mg), maar lager dan in het stof van varkens (ca. 1400-4100 EU/mg) ([Winkel et al., 2018](#)).

2.6 Overzicht van succesvolle maatregelen voor emissiereductie van fijnstof (bij andere veehouderijsectoren)

Sinds circa 2008 is fijnstof (PM₁₀) een component waarop getoetst moet worden in het vergunningentraject bij de nieuwbouw, uitbreiding of aanpassing van een stal. Vooral voor pluimvee is een groot aantal (technische) maatregelen ontwikkeld, experimenteel beproefd en op praktijkbedrijven gevalideerd. Succesvolle technieken zijn tegenwoordig opgenomen in de Omgevingsregeling bij de Omgevingswet, in bijlage VI ⁷. In Tabel 2.1 wordt een overzicht geboden van de technieken, hun toepasbaarheid en reductiepercentage voor de jaaremissie van fijnstof. De technieken uit Tabel 2.1 zijn opgenomen in de lijst van maatregelen in de onderhavige studie.

Tabel 2.1 Overzicht van fijnstofreducerende technieken in Bijlage VI bij de Omgevingsregeling, hun toepasbaarheid en reductiepercentage voor de jaaremissie van fijnstof, met name bedoeld voor **pluimvee, varkens en vleeskalveren**.

Code in Or ¹⁾	Omschrijving techniek	Reductie jaaremissie fijnstof ²⁾	Werkingsprincipe	Bron of end-of-pipe?	Toepasbaar bij geiten?
LW1	Biologische luchtwassers	57-75%	Wassen deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
LW1	Biofilters (biobedden)	80%	Wassen deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
LW2	Chemische luchtwassers	33-35, 70%	Wassen deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
LW3	Water luchtwasser ³⁾	33%	Wassen deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
LW4	Meervoudige luchtwassers	76, 80%	Wassen deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
AP1	Oliefilm op strooisel (3 syst.)	15, 30, 54%	Deeltjes plakken vast aan strooisel	Bron	Waarschijnlijk niet
AP2	Ionisatie stallucht (4 syst.)	16, 31, 49, 52%	Elektrisch laden en afvangen deeltjes	Bron	Misschien
AP2	Ionisatie ventilatielucht ³⁾	57%	Elektrisch laden en afvangen deeltjes	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
AP3	Mestdroogtunnels (3 syst.)	30, 55, 55%	Filteren deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Nee
AP100.1	Droogfilterwand	40%	Filteren deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
AP100.2	Strooiselschuif	20%	Minimaliseren strooiselhoeveelheid	Bron	Nee
AP100.3	Luchtconditioneringsunit	80%	Filteren en wassen uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
AP100.4	Warmtewisselaar	1-95%	Filteren deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie
AP100.5	Stoffilters	1-95%	Filteren deeltjes uit ventilatielucht	End-of-pipe	Bij mechanische ventilatie

¹⁾ Or = Omgevingsregeling.

²⁾ Dit betreft het reductiepercentage voor de emissie van PM₁₀ en geldt voor de diercategorie die daarbij wordt vermeld in de Omgevingsregeling. Dit betreffen voornamelijk de diercategorieën pluimvee, varkens en vleeskalveren.

³⁾ Techniek wordt thans niet door een leverancier op de markt verkocht.

⁷ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528>

Uit het overzicht in Tabel 2.1 blijkt dat **mestdroogtunnels** en **strooiselschuiven** niet bij melkgeiten ingezet kunnen worden omdat ze specifiek aangrijpen op legpluimveestallen. Het dagelijks aanbrengen van een **oliefilm** op strooisel bij vleeskuikens en leghennen is effectief ([Winkel et al., 2016b](#)) maar is niet of nauwelijks geadopteerd in de praktijk wegens aversie tegen het vernevelen van plantaardige olie. Bij melkgeiten lijkt deze maatregel weinig perspectiefvol omdat er (in tegenstelling tot vleeskuikens en leghennen) dagelijks vers stro over de stropot wordt aangebracht waarmee de aangebrachte oliefilm weer wordt tenietgedaan en omdat contact tussen de olie en het uier van melkgeiten ongewenst is. Het ioniseren van stalstof in de stallucht is zeer effectief bij pluimvee ([Winkel et al., 2016b](#)). Van niet alle **ionisatiesystemen** kan zonder meer aangenomen worden dat zij bij geitenstallen zullen werken, dit zal onderzoek moeten uitwijzen. Er zijn op hoofdlijnen drie methoden van ionisatie van stallucht: 1) systemen met coronadraden die in de stalruimte zijn gespannen waarop een hoge spanning staat en waarbij het stalplafond dient als geaard collectoroppervlak voor stofaanhechting; 2) systemen met koolstofborsteltjes die volgens de leverancier kleinere deeltjes laat aggregeren tot grotere deeltjes die sedimenteren en niet snel meer zwevend raken; en 3) systemen die als standalone luchtreinigingsunits in de stalruimte hangen en (al dan niet na actief aanzuigen) de stallucht via ioniseren en afvangen in de unit ontdoen van deeltjes. Waarschijnlijk zijn alleen methoden 2) en 3) geschikt voor geitenstallen omdat methode 1) natte reiniging van het stalplafond frequente (elke circa twee maanden) vergt wat bij geiten niet mogelijk is. Tot slot zijn er een tiental technieken die fijnstof verwijderen uit de ventilatieluchtstroom voordat deze het stalgebouw verlaat. Deze technieken zijn alleen inzetbaar als "**end-of-pipe toepassing**" bij mechanisch geventileerde stallen. **Ionisatie van ventilatielucht** (in de Omgevingsregeling weergegeven onder de term 'ionisatiefilter') is het elektrisch laden van stofdeeltjes in de ventilatielucht waarna deze op collectoroppervlakken worden verzameld. Het in Tabel 2.1 weergegeven reductiepercentage van 57% is afkomstig van een meetcampagne aan een prototype verbonden aan leghennenstallen ([Winkel et al., 2016c](#)). In de industrie worden met dergelijke units reductiepercentages behaald tot dicht bij honderd procent. De techniek laat ammoniak, geur en broeikasgassen ongemoeid, maar tegen stof is het zeer effectief tegen een laag elektraverbruik. Om deze techniek toepasbaar te maken voor geitenstallen (en pluimveestallen) is verdere ontwikkeling nodig, mede op basis van de kennis in de industrie ([Winkel et al., 2016c](#)).

3 Achtergrond bij de lijst van 23 bacteriën in geitenhouderijen

3.1 De lijst van 23 bacteriën

In het VGO-III eindrapport (Van der Giessen et al., 2025) zijn 23 bacteriën (18 soorten en vijf geslachten) geïdentificeerd die als mogelijk oorzakelijk agens in aanmerking komen; de lijst is weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Lijst van 23 bacteriën met gramtypering en zuurstofafhankelijkheid.

Naam bacterie (soort/genus)	Gramtypering (positief of negatief)	Zuurstofafhankelijkheid (aeroob of anaeroob)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	Gram-negatief	Aeroob
<i>Acinetobacter haemolyticus</i>	Gram-negatief	Aeroob
<i>Actinomyces</i> [Genus]	Gram-positief	Meestal facultatief anaeroob
<i>Clostridium perfringens</i>	Gram-positief	Anaeroob
<i>Enterococcus hirae</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	Gram-negatief	Anaeroob
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Gram-negatief	Facultatief anaeroob
<i>Lactococcus lactis</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Micrococcus</i> [Genus]	Gram-positief	Aeroob
<i>Micrococcus luteus</i>	Gram-positief	Aeroob
<i>Moraxella</i> [Genus]	Gram-negatief	Aeroob
<i>Mycobacterium</i> [Genus]	Gram-positief	Meestal aeroob
<i>Nocardia</i> [Genus]	Gram-positief	Aeroob
<i>Paeniclostridium sordellii</i>	Gram-positief	Anaeroob
<i>Pseudomonas putida</i>	Gram-negatief	Aeroob
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Staphylococcus cohnii</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Staphylococcus lentus</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Staphylococcus lugdunensis</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Gram-negatief	Aeroob
<i>Streptococcus dysgalactiae</i>	Gram-positief	Facultatief anaeroob

Elk van deze 23 is in de wetenschappelijke literatuur beschreven als aanwezig bij geiten en beschreven als oorzaak van longontsteking bij de mens. Van elk van deze 23 werd DNA aangetroffen in stalluchtmonsters op minimaal vier van de 16 aan de VGO-III Geitenbedrijvenstudie deelnemende geitenbedrijven, en werd bovendien DNA aangetroffen in de buitenlucht en/of bij patiënten, omwonenden en/of geitenhouders. Deze lijst van 23 kan worden gebruikt als 'algemene indicator' bij het ontwerpen en het testen van maatregelen om de bacterie-emissie uit geitenhouderijen te verminderen. 'Algemeen' omdat er niet één specifieke bacterie als oorzaak is aangewezen (vgl. Q-koorts); 'indicator' omdat niet kan worden uitgesloten dat ook enkele andere, moeilijker detecteerbare, bacteriën een rol spelen.

Sommige van de bacteriën op de lijst van 23 komen veel voor in het milieu (zoals in de bodem) en sommige staan bekend als veelvoorkomend op de huid of in de (geiten)darm. Dit betekent dat het niet mogelijk zal zijn om een geitenbedrijf geheel vrij te krijgen van alle bacteriën op 'de lijst van 23' door maatregelen te nemen op het gebied van diergezondheid en bioveiligheid.

De maatregelen die in dit rapport worden geïnventariseerd richten zich op de reductie van de bacterie-emissies uit geitenbedrijven, met de lijst van 23 als algemene indicator. Hoewel elke 'procent' reductie van die emissie waarschijnlijk bijdraagt aan het reduceren van de blootstelling van omwonenden, is niet goed bekend hoe een blootstellingsreductie doorwerkt op het effect van die blootstelling. De kennislacunes over blootstelling en respons aan micro-organismen in veehouderij-gerelateerde bioaerosolen zijn samengevat in hoofdstuk 4 van [Winkel et al. \(2016a\)](#).

3.2 Eigenschappen van de 23 bacteriën

Bacteriën zijn aanwezig in bronnen zoals de stropot, en daarvanuit komen deze (als onderdeel van deeltjes en druppeltjes) in de stallucht. Zoals beschreven in het VGO-III rapport ([Van der Giessen et al., 2025](#)) is er geen eenduidige relatie aanwezig tussen bacteriën op de lijst van 23 en hun voorkomen in een monstertype/bron. Er zijn wel verschillen tussen bacteriën in de mate waarin ze werden gevonden in verschillende monstertypen. Sommige zijn vooral te vinden zijn in het stalmilieu, andere soorten zijn meer in voer of water te vinden, en weer andere zijn vooral aanwezig in de melk. Inzicht in de mate waarin de bacteriën op de lijst van 23 elk kunnen overleven en/of groeien onder bepaalde omstandigheden is relevant omdat maatregelen bedoeld of onbedoeld de omstandigheden in bijvoorbeeld stromestpakket of stallucht kunnen beïnvloeden. Een voorbeeld van een maatregel die de omstandigheden beïnvloedt, is 'Verhogen pH in stromestpakket door toevoegen van kalk' (zie Bijlage 2), met als doel om de groei van bacteriën te verminderen. Het effect van veranderingen in omstandigheden op groei en overleving hangt vaak af van de bacteriesoort; de 23 bacteriën vallen in verschillende categorieën die verschillend reageren op veranderingen. Daarnaast kan reductie van de ene bacterie een andere bacterie meer kans geven (interactie). Op basis van de huidige stand van kennis is niet precies te voorspellen hoe een maatregel de groei en overleving van de 23 bacteriën als geheel beïnvloedt. Op basis van de wetenschappelijke literatuur en algemene bacteriologische principes kunnen wel algemene tendensen worden aangegeven voor de invloed van de volgende belangrijke omgevingscondities op groei en overleving van de bacteriën: temperatuur, zuurstofgehalte, relatieve luchtvochtigheid en zuurgraad (pH). Overigens kunnen sommige bacteriën zich, vaak in de bodem, aan de invloed van ongunstige omstandigheden onttrekken door sporen te vormen. Op de lijst van 23 staan twee sporevormende bacteriën: *Clostridium perfringens* en *Paeniclostridium sordellii*. Tijdens en vlak na het aerosoliseren (zwevend raken in lucht) van bacterie-houdende deeltjes tot bioaerosolen ondervinden de bacteriën een grote stress door de veranderende omstandigheden, waardoor in deze korte periode het overlevingspercentage snel afneemt. Daarna, eenmaal enige tijd in de lucht, stabiliseert de overleving. Dit is beschreven aan de hand van literatuur in Bijlagen 8 en 9 bij het VGO-II Rapport ([Hagenaars et al., 2017](#), online bijlagen) en in een eerdere literatuur review van [Zhao et al. \(2012\)](#). In beide stadia is de overleving van de bacteriën afhankelijk van temperatuur en luchtvochtigheid.

Hieronder wordt eerst de invloed van de verschillende omgevingscondities besproken, in samenhang met eigenschappen van de bacteriën. Vervolgens wordt in paragraaf 3.3 de informatie besproken die beschikbaar is over de heersende condities in geitenstallen en wat deze betekenen voor groei en overleving van de 23 bacteriën.

3.2.1 Temperatuur (bronmateriaal en lucht) en Gramtypering

Op grond van algemene microbiologische kennis zou voor de meeste van de bacteriën op de lijst van 23 een temperatuur van het bronmateriaal van ruwweg tussen de 30 en 37 °C optimaal zijn voor groei. Voor de meeste geldt dat bij temperaturen van 4 °C of lager de groei sterk gereduceerd of nihil is. Er staan op deze lijst geen thermofiele (warmte-minnende) bacteriën, waarbij thermofiele organismen worden gedefinieerd als organismen die een temperatuur verdragen van boven de **45 °C**. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat soms bepaalde stammen van een bacterie thermofiel kunnen zijn binnen een soort die (of geslacht dat) dat in zijn algemeenheid niet is. Dit betekent dat als de temperatuur van een bronmateriaal (zoals stromest) langdurig boven 45 °C ligt (bijvoorbeeld door compostering) het aantal levende bacteriën daarin zal verminderen. Over het algemeen wordt voor kiemdoding tijdens compostering een temperatuur van **55 tot 60 °C** als richtlijn aangehouden.

Na aerosolisatie van bacteriën vanuit het bronmateriaal is de luchttemperatuur een belangrijke factor voor de overleving van de bacterie. Het effect van de luchttemperatuur is anders dan van de temperatuur van bronmateriaal. Wetenschappelijke literatuur over het effect van luchttemperatuur en Gramtypering (Grampositief, Gramnegatief) op de overleving van airborne bacteriën is op een rij gezet in bijlage 9 bij het VGO-II rapport (auteurs: Schijven & Swart; online bijlage 9 bij: [Hagenaars et al., 2017](#)). Schijven en Swart hebben vervolgens, op basis van deze literatuurgegevens, de effecten van luchttemperatuur en Gramtypering op de overleving van airborne bacteriën gemodelleerd. In zijn algemeenheid blijkt uit deze modellering dat **Gramnegatieve bacteriën slechter overleven in lucht** dan Grampositieve bacteriën en dat de **overleving van beide Gramtypen bacteriën afneemt met toenemende luchttemperatuur** (bij 20 °C luchttemperatuur is de overleving substantieel lager dan bij 10 °C luchttemperatuur). Uit Tabel 3.1 blijkt dat 7 van de 23 bacteriesoorten/-geslachten Gramnegatief zijn (relatief kwetsbaarder in lucht) en 16 van de 23 Grampositief (relatief minder kwetsbaar in lucht).

3.2.2 Zuurstofgehalte

Op de lijst van 23 bacteriën staan zowel aerobe bacteriën (die zuurstof nodig hebben om te kunnen gedijen), anaerobe bacteriën (die zonder zuurstof kunnen overleven en groeien; en die vaak slecht gedijen wanneer het zuurstofgehalte relatief hoog is) als facultatief anaerobe bacteriën (die bij voorkeur zuurstof gebruiken in hun stofwisseling, maar hun stofwisseling ook zonder zuurstof kunnen volbrengen). Voor een overzicht zie Tabel 3.1. Vooral **anaerobe bacteriën overleven minder goed in de lucht** als deel van een bioaerosol. Uit Tabel 3.1 blijkt dat slechts drie bacteriesoorten (*Clostridium perfringens*, *Fusobacterium necrophorum* en *Paeniclostridium sordellii*) anaeroob zijn; de overige zijn aeroob of facultatief anaeroob. Dit betekent dat **het overgrote deel van de bacteriën op de lijst van 23, gelet op blootstelling aan zuurstof, een periode van verblijf in lucht mogelijk relatief goed overleeft** en dat **blootstelling van bronmateriaal aan lucht (zuurstof) voor het verminderen van de aanwezigheid van deze bacteriën in bronmateriaal geen perspectiefvol principe lijkt**.

3.2.3 Relatieve luchtvochtigheid

In het algemeen overleven Grampositieve bacteriën beter dan Gramnegatieve bacteriën onder droge omstandigheden. Voor een overzicht van de Gramtypering van de 23 bacteriesoorten/-geslachten zie Tabel 3.1. De negatieve invloed van droogte op de overleving van bacteriën speelt een belangrijke rol wanneer de bacterie zich in de lucht bevindt als deel van een bioaerosol. Over de precieze invloed van relatieve luchtvochtigheid op de overleving in de (stal)lucht van specifiek de bacteriën op de lijst van 23 werd geen informatie gevonden in de literatuur.

3.2.4 Zuurgraad (pH)

Op grond van algemene microbiologische kennis zou een neutrale tot licht basische pH optimaal zijn voor groei van de meeste bacteriën op de lijst. Dit betekent dat zure of sterk basische omstandigheden de groei belemmeren.

3.2.5 Grootte en vorm

De grootte (gemeten als diameter of breedte) van de meeste bacteriën op de lijst van 23 ligt tussen de 0.5 en 1.5 µm; de enkelen waarvan de grootte buiten dit bereik kan vallen, kunnen groottes vanaf 0.2 µm ofwel tot 3 µm hebben. De bacteriesoorten/-geslachten verschillen in hun vorm (morfologie): sommige hebben een ronde vorm (kokken), andere zijn staafvormig en een enkeling vormt draden (filamenten). Vandaar ook dat hun grootte op verschillende wijze wordt weergegeven (diameter versus breedte). Aangezien in de lucht het merendeel van de bacteriën op of in deeltjes en druppeltjes zit, geeft de diameter/breedte een idee van de minimum-grootte van die deeltjes en druppeltjes waar ze in of op zitten. Uitgaande van een dichtheid (soortelijke massa) van bacteriecellen rond 1 g/cm³ betekent het bovengenoemde groottebereik dat een enkelvoudige, vrij in de lucht zwevende, bacteriecel een deeltje van circa 1 micrometer aerodynamische diameter (PM₁) kan vormen en dat meerdere bacteriecellen onderdeel kunnen zijn van deeltjes in de PM_{2.5} fractie. In een PM₁₀ of in inhaalbaar stof (PM₁₀₀) deeltje zijn potentieel zeer grote aantallen (tientallen tot tienduizenden) bacteriecellen aanwezig.

3.3 Omgevingscondities in geitenstallen

In het stromestpakket in geitenstallen zijn de omstandigheden gunstig voor bacteriegroei vanwege de in het algemeen voedingsrijke omstandigheden. Door het urineren van de geiten krijgt het stromestpakket een regelmatige toevoer van vocht. In de literatuur vonden we geen gegevens over de temperatuur, vochtigheid en pH van stropotten in geitenstallen. De temperatuur van het stropakket vertoont naar verwachting flinke variatie, afhankelijk van onder meer dikte, leeftijd en meetpositie in de laag. Op basis van de studie van [Ward et al. \(2002\)](#) bij rundvee lijken temperaturen van ca. 20 tot boven de 40 °C mogelijk. Als dit inderdaad, zoals wel wordt verwacht, overeenkomstig is met condities in het stromestpakket in geitenstallen, dan zijn de temperaturen gunstig voor groei van de bacteriën op de lijst ondanks dat deze niet thermofiel zijn. Op grond van literatuur voor rundvee wordt een (licht) basische waarde voor de pH van het stromestpakket verwacht. In de onderste laag van het stromestpakket heersen meer anaerobe omstandigheden. Hieraan aangepaste bacteriën zijn in principe de anaerobe en facultatief anaerobe bacteriën uit de lijst van 23. In de bovenste laag, met meer aerobe omstandigheden, heersen groeicondities die ook voor aerobe bacteriën uit de lijst gunstig lijken.

Jaargemiddelde temperaturen in vijf Nederlandse melkgeitenstallen (twee natuurlijk geventileerd en drie mechanisch geventileerd; [Mosquera et al., 2025](#)) varieerden tussen de 16 en 20 °C. In de twee natuurlijk geventileerde stallen bleef de temperatuur in de winter grotendeels boven de 10 °C en in de zomer grotendeels onder de 25 °C. In de drie mechanisch geventileerde stallen bleef de temperatuur in de winter grotendeels boven de 15 °C en in de zomer grotendeels onder de 25 °C. 24-uursmetingen van de temperatuur in 15 stallen in het VGO-III onderzoek ([Van der Giessen et al., 2025](#)) vallen in deze bandbreedte. Op grond van de bevindingen in bijlage 9 bij het VGO-II rapport (auteurs: Schijven & Swart; online bijlage 9 bij: [Hagenaars et al., 2017](#)) wordt verwacht dat de gemiddelde temperatuur gevonden in de zomer minder gunstig is voor overleving van de bacteriën in de stallucht dan die in de winter.

De jaargemiddelde relatieve luchtvochtigheid (RLV) in dezelfde vijf Nederlandse geitenstallen varieerde tussen 64 en 69%. In de twee natuurlijk geventileerde stallen bleef de RLV in het voorjaar grotendeels boven de 45% en in het najaar grotendeels onder de 80%. In de drie mechanisch geventileerde stallen was de seizoenvariatie van de RLV minder groot. 24-uursmetingen in 15 stallen in het VGO-III onderzoek vallen in dezelfde bandbreedte. Gezien de geringe variatie in de jaargemiddelde RLV worden binnen deze variatie geen grote verschillen tussen bedrijven in overleving van de bacteriën in de stallucht verwacht.

De bovenstaande informatie en conclusies zijn gebruikt als achtergrond bij de expert-scoring van maatregelen in Bijlage 2.

4 Literatuurverkenning en rondetafelgesprekken maatregelen

4.1 Werkwijze

Literatuurverkenning maatregelen

Voor de lijst van maatregelen is Tabel 1 in [Winkel et al. \(2016a\)](#) als basis genomen. Deze tabel bevat ruim 75 maatregelen gegroepeerd in 14 maatregelengroepen. In dit rapport zijn dezelfde maatregelengroepen gebruikt. De maatregelen richten zich op het verminderen van de emissie van bioaerosolen uit geitenstallen. Een eventuele maatregelengroep 'beleid' (waaronder afstandsnormen, vermindering van dieren aantallen, enzovoort) valt buiten de scope van deze studie. Er is een extra maatregelengroep 'overig' toegevoegd waarin herontwerpen van houderijsystemen in zijn gebracht.

1. Maatregelengroep stro(oisel)
2. Maatregelengroep voer
3. Maatregelengroep voersysteem
4. Maatregelengroep mest
5. Maatregelengroep dieractiviteit beperken
6. Maatregelengroep olie-/waterfilm
7. Maatregelengroep biosecurity en diergezondheidsmanagement
8. Maatregelengroep ionisatie (in de stal)
9. Maatregelengroep stalklimaat
10. Maatregelengroep ventilatie
11. Maatregelengroep 'end of pipe' bestaand (verwijdering ammoniak, geur en fijnstof)
12. Maatregelengroep 'end of pipe' desinfectie
13. Maatregelengroep 'out of pipe'
14. Maatregelengroep stalontwerp (toegevoegd in onderhavige rapport)

De lijst is nog verder uitgebreid met resultaten van een literatuuronderzoek in de databases Web of Science, CAB Abstracts en Google Scholar met combinaties van de volgende Engelse zoektermen:

- "bioaerosol", "airborne bacteria", "endotoxin"
- "livestock", "chicken", "poultry", "pig", "goat", "cattle"
- "mitigation", "reduction", "air filtration", "oil spraying", "scrubber", "emission control"
- "barn", "stable", "housing"

De maatregelen voor emissiereductie aangetroffen in de nieuwste literatuur zijn gegroepeerd in een *mind map* en beoordeeld op overlap van bestaande maatregelen. De effectiviteit (het vermogen om de emissie te verminderen) van elke maatregel is gescoord van ---- (zeer sterk negatief effect = toename emissie) via 0, naar ++++ (zeer positief effect = afname emissie). In enkele gevallen is met een '?' aangegeven dat het effect onbekend is en onvoldoende in te schatten. De methode waarmee tot een score werd gekomen is weergegeven in Bijlage 1.

Rondetafelgesprekken

De rondetafelgesprekken met geitenhouders zijn gehouden op woensdag 26 november 2025 in Boxtel en maandag 1 december 2025 in Apeldoorn. Bij de gesprekken waren respectievelijk 18 en 12 geitenhouders aanwezig, en daarnaast vier onderzoekers van WUR. Aan het tweede gesprek namen ook twee onderzoekers van Universiteit Utrecht deel. Het benaderen en uitnodigen van geitenhouders werd mede georganiseerd door LTO Geitenhouderij. De gesprekken werden geleid door een dierenarts-onderzoeker die niet bij het onderzoek betrokken was. Na een kennismaking met elkaar is er eerst een kennisbasis gelegd via een presentatie door een WUR-onderzoeker over de stand van kennis van bioaerosolemissies in de veehouderij in het algemeen en de geitenhouderij in het bijzonder. Het doel daarvan was om alle deelnemers te voorzien

van een gelijke kennisbasis maar ook te stimuleren om deze kennis te vertalen naar mogelijkheden voor emissievermindering in de praktijk. De gepresenteerde kennisbasis is in dit rapport uitgewerkt in hoofdstuk 2. Vervolgens zijn de maatregelen per maatregelengroep plenair besproken waarbij voor iedere maatregelgroep de volgende vragen centraal stonden:

- *aanvullingen*: welke mogelijkheden ziet u nog meer?
- *afwenteling en synergie*: welke ongewenste neveneffecten zouden er kunnen optreden? Of kan er sprake zijn van win-win (bijvoorbeeld minder emissies én lagere kosten)?
- *draagvlak*: ziet u een maatregel zitten? Welke maatregelen vindt u wel/niet passend bij uw bedrijf of persoon?

Van de bijeenkomsten zijn notulen gemaakt. Geitenhouders hebben op uitgeprinte overzichten van de maatregelen individueel opmerkingen kunnen maken aan de hand van boven genoemde drie aspecten. De overzichten zijn na de bijeenkomsten verzameld en als basis gebruikt voor een score van de maatregelen op draagvlak in het overzicht van Bijlage 2.

4.2 Resultaten

Literatuurverkenning

De literatuurverkenning heeft 26 aanvullende ideeën voor maatregelen opgeleverd alsook een viertal nieuwe huisvestingsconcepten voor geiten die (ten opzichte van de traditionele stropothuisvesting) emissiearm zouden kunnen zijn.

Rondetafelgesprekken

De rondetafelgesprekken hebben 6 aanvullende ideeën voor maatregelen opgeleverd. Het totaal aantal te beoordelen maatregelen bedroeg daarmee ruim 100. Een overzicht van alle maatregelen is weergegeven in Bijlage 2.

Belangrijke karakteristieken/typering van de Nederlandse geitenhouderij en noties uit de rondetafelgesprekken met in totaal 30 geitenhouders waren:

- Het grootste deel van de geitenhouders beschikt niet over (voldoende) **grond** voor de teelt van gras of snijmaïs of voor het weiden van geiten bij huis. Ruwvoer wordt veelvuldig aangekocht. Dit betekent dat **weidegang** als emissiereducerende maatregel niet breed toepasbaar is (dit geldt uiteraard niet voor biologische melkgeitenbedrijven).
- Het (jaarrond) houden van geiten in potstallen is het reguliere huisvestingsstelsel. De geitenhouderij is één van de grootste, zo niet de grootste, **stro**verbruiker in de Nederlandse veehouderij. Het stro is afkomstig uit meerdere EU-landen, waaronder Frankrijk en Duitsland. Biologische geitenbedrijven gebruiken soms (deels) eigen geteeld stro.
- De stromest uit geitenstallen wordt in veel gevallen afgevoerd naar akkerbouwbedrijven. De stromest is een kwalitatief hoogwaardige mestsoort die geitenhouders over het algemeen goed kunnen afzetten. De stromest wordt voornamelijk toegediend op akkerbouwpercelen en in de boom- en fruitteelt. Die percelen liggen niet (per se) in de nabijheid van het geitenbedrijf. Dit onderschrijft de notie uit hoofdstuk 2 dat emissies bij toediening van de stromest op percelen niet gebonden zijn aan de locatie van het geitenbedrijf en niet als verklaring kunnen dienen voor het vaker voorkomen van longontsteking bij omwonenden van de geitenbedrijfslocatie.
- Het grootste deel van de geitenhouders beschikt over **natuurlijk geventileerde hoofdstallen** met open zijgevels en een open nok waarbij de ventilatiehoeveelheid kan worden geregeld met het openen en sluiten van de winddoeken in de zijgevels. Een minderheid van de geitenhouders beschikt over mechanisch geventileerde hoofdstallen. Het grootste deel van de aanwezige geitenhouders zou graag bij natuurlijk geventileerde stallen blijven omdat dit eenvoudig en goedkoop is. Mechanische ventilatie brengt voor geitenhouders een grote kostenpost met zich mee vanwege het elektriciteitsverbruik van ventilatoren. Ook is er bezorgdheid dat de geitenhouderij met mechanische ventilatie een meer gesloten karakter krijgt wat ten koste zou kunnen gaan van het arbeidsplezier en van de transparantie

en acceptatie van geitenhouderij in de samenleving. De positieve keerzijde van mechanische ventilatie is dat end-of-pipe maatregelen uit maatregelengroepen 11 en 12 toepasbaar zijn waarmee emissies van verschillende stoffen naar verwachting sterk (>50%) kunnen worden gereduceerd.

- De algemene opinie van de deelnemende geitenhouders ten opzichte van **end-of-pipe maatregelen** (dat wil zeggen: luchtwassers, biobedden, filters, warmtewisselaars) in combinatie met mechanische ventilatie is doorgaans: "als het echt moet, dan moet het, maar liever niet". Er is duidelijk meer acceptatie ten aanzien van **bronmaatregelen** die emissies aanpakken in de stal zelf, vooral wanneer die gepaard gaan met een beter stalklimaat en/of een betere diergezondheid. Het gaat dan bijvoorbeeld om vloerkoeling (verlagen temperatuur in de stropot, voorkomen hittestress), ionisatie van stallucht, stofarme methoden van instrooien en voeren, enzovoort. De algemene houding is gematigd positief ten opzichte van het **in pandig opslaan van stromest** als dit een bijdrage levert aan het verminderen van bioaerosolemissies door windinvloeden. Enkele geitenhouders experimenteren met **alternatieve huisvestingsconcepten** met weinig of geen stro.
- Door meerdere geitenhouders werd aangegeven dat een **weerbare, gezonde veestapel** gezien wordt als de basis van een gezonde geitenhouderij waaruit als gevolg ook minder (pathogene) micro-organismen emitteren. Er is veel acceptatie voor maatregelen die de gezondheid van dieren verbeteren, ziekte(uitbraken) voorkomen en voor maatregelen die gaan over **bioveiligheid**.
- Per maatregelengroep zijn er nieuwe ideeën aangedragen en zijn de toepasbaarheid, neveneffecten, synergistische effecten (win-win), en wenselijkheid (acceptatie) plenair bediscussieerd. Deze informatie is vastgelegd via de notulen en de ingevulde overzichten van maatregelen door de geitenhouders.

5 Synthese en slotsom

Dit rapport presenteert een inventarisatie van mogelijkheden om de emissie van bacteriën uit geitenhouderijen te verminderen, met het oog op de blootstelling van mensen die in de omgeving wonen en bij wie een verhoogd risico op longontstekingen is gevonden. Uit deze studie is een lijst voortgekomen van circa 100 maatregelen, elk met een expertscore voor de verwachte effectiviteit, en ingedeeld in 14 maatregelengroepen. Deze lijst (zie Bijlage 2) kan gezien worden als een palet aan te overwegen opties voor implementatie en/of verder onderzoek. Dit palet wordt hierna in groepen besproken.

5.1 Geen ideale maatregel

Een ideale maatregel zou emissies van bioaerosolen in hoge mate verminderen, breed inpasbaar zijn in huidige bedrijven, geen ongewenste neveneffecten geven of zelfs extra voordelen geven, een grote mate van acceptatie hebben, faalongevoelig zijn en weinig kosten. Een dergelijke ideale maatregel is niet geïdentificeerd. Maatregelen lopen uiteen van managementmaatregelen gericht op specifieke bronnen en/of aerosolisatieprocessen binnen de stal tot zogenoemde 'end-of-pipe' maatregelen gericht op het reinigen van uitgaande ventilatielucht en tot herontwerp van stallen bij nieuwbouw of renovatie. In zijn algemeenheid heeft een bronaanpak als voordeel ten opzichte van een end-of-pipe aanpak dat deze ook blootstelling voor dieren, veehouders en medewerkers kan reduceren.

5.2 Maatregelen die op korte termijn genomen kunnen worden

In de hierna volgende paragrafen worden groepen maatregelen besproken die binnen één tot twee jaar toegepast zouden kunnen worden.

5.2.1 Piekperioden bij instrooien en uitmesten van stropotstallen voorkomen

Uit metingen in geitenstallen blijkt dat emissies van fijnstof overdag hoger en grilliger zijn dan 's nachts en dat er overdag, op het basispatroon, forse piekperioden plaatsvinden tijdens het instrooien (en uitmesten) van de stropot. Gedurende deze momenten zijn de werknemers en dieren flink blootgesteld. Omdat de pieken kortdurend zijn en in de buitenlucht vermenging en verdunning plaatsvindt, zal het blootstellingspatroon bij omwonenden minder grillig verlopen. Met het **stofarm instrooien van de stropot** kan een substantieel deel van de stofvorming en emissie worden voorkomen. Het gebruik van een stroblazer (op de hefarmen van een shovel, op de giek van een verreiker, op de hefinrichting achter een tractor, enzovoort), stroblaaswagen (achter een tractor), of stroverdeler (bewegend aan een rail aan de dakconstructie) is efficiënt en arbeidsbesparend, maar geeft een mist van strostof in de stal omdat het stro met kracht over verre afstand over het staloppervlak wordt geblazen. Alternatieve manieren van instrooien zijn bijvoorbeeld: 1) stro verdelen via aan de dakconstructie hangende ruiven die door de stal bewegen waarbij de geiten het stro uit de ruif trekken en verspreiden; 2) strobalen in de pot zetten waarna de geiten het uit elkaar trekken en verspreiden; 3) stro met vjzelleidingen de stal in transporteren en uitstrooien uit valopeningen boven de pot. **Ontstof strooisel** kan worden aangekocht, maar kan ook op het bedrijf worden gemaakt met een onstoffingsmachine (al dan niet verbonden met een vjzelleiding systeem). **Van nature stofarmer strooisel**, zoals vlasstro, hennepstro, koolzaadstro en zonnebloempitdoppen, kan waarschijnlijk in beperkte mate bijdragen aan het verminderen van bioaerosolemissies maar onduidelijk is nog hoeveel precies. Door **winddoeken (deels) te sluiten** en/of **de mechanische ventilatie tijdelijk te verlagen**, krijgt grofstof na instrooien de tijd om uit te zakken naar het stromestpakket en emitteert het niet naar buiten, maar de blootstelling voor de geiten (en mogelijk werkenden) wordt ermee vergroot.

Piekperioden van emissies bij het uitmesten komen voor in frequenties van elke paar weken tot enkele malen per jaar. Het stromestpakket wordt machinaal uitgeschept, de stal uitgereden en elders op het bedrijf (erf, loods, sleufsilos) gestort. Het voorkomen of verminderen van deze emissiepieken is moeilijk. Het vooraf bevochtigen van de stropot met grote hoeveelheden water zal vooral inwerken op de bovenlaag van het stromestpakket, maar niet of weinig op de diepere lagen die bij het uitscheppen en storten ook worden beroerd. Aanbevolen wordt om stofarm instrooien en het voorkomen van piekemissies bij het uitmesten tot speerpunten te maken voor verdere uitwerking en implementatie in de geitenhouderij.

5.2.2 Stapelen stalmaatregelen met bescheiden individueel effect

Een aantal maatregelen uit de lijst is relatief eenvoudig in te voeren, is soms ook passend bij andere doelstellingen rondom bijvoorbeeld diergezondheid, bioveiligheid en hygiëne, maar heeft naar verwachting een bescheiden effect op de emissie van bioaerosolen. Ze kunnen toegepast worden vanuit de gedachten "alle beetjes helpen" (**stapelingsmaatregelen**). Voorbeelden zijn:

- het kiezen voor dakisolatie bij nieuwbouw of renovatie wat warmte door zoninstraling vermindert;
- het verlagen van de staltemperatuur door waterverneveling (adiabatisch koelen) tijdens warme perioden;
- het desinfecteren van de kale stropotvloer na uitmesten, voordat de eerste laag stro wordt ingebracht;
- het regelmatig strooien van hygiënepoeders met vochtabsorberende en desinfecterende werking;
- het regelmatig reinigen van het drinkwatersysteem;
- het voorkomen van insleep en verspreiding van ziekteverwekkers door een schone weg/vuile weg principe, looproutes van jonge naar oudere dieren, hygiënesluis met bedrijfskleding, enzovoort;
- het vaccineren van geiten tegen ziekteverwekkers uit de lijst van 23 bacteriën, bijvoorbeeld *Clostridium perfringens* en *Staphylococcus aureus*;
- stofzuigen van vloeren en overige droge/niet-stro oppervlakken;
- het stofarm verstrekken van voer/rantsoen.

5.2.3 Mechanische ventilatie met 'end-of-pipe' luchtreiniging

Het grootste deel van de geitenstallen wordt natuurlijk geventileerd. Bij **natuurlijke ventilatie** stroomt frisse lucht de stal binnen via open zijgevels en verlaat de stal via een open strook in de nok van de stal. Deels vindt er ook "dwarsventilatie" plaats: via de ene zijgevel naar binnen en via de andere naar buiten. De ventilatiehoeveelheid kan worden geregeld door het meer of minder sluiten van winddoeken (gordijnen) in de zijgevelopeningen. De voordelen van natuurlijke ventilatie zijn de eenvoud en het lage of afwezige energieverbruik. Doorgaans is de ventilatiehoeveelheid bij natuurlijke ventilatie groter dan bij mechanische ventilatie door de grote zijgevelopeningen in combinatie met de stuwende kracht van de wind. De hoeveelheid natuurlijke ventilatie kan ook "slim" geregeld worden. Daarbij wordt het gewenste stalklimaat gerealiseerd door de stand van de winddoeken (semi)continu aan te passen aan de weersomstandigheden en het actuele stalklimaat. De regeling van de winddoeken vindt plaats door een klimaatcomputer en daaraan verbonden sensoren voor het stalklimaat alsook een weerstation buiten de stal dat bijvoorbeeld buitentemperatuur, windsnelheid en regenval meet.

Bij **Mechanische ventilatie** werpen ventilatoren (in de gevel, luchtkanaal of ventilatorschacht) stallucht naar buiten. Daardoor ontstaat er onderdruk in de stal en wordt er frisse lucht door luchtinlaten aangezogen. In pluimveestallen met (overdekte) uitlopen (waar onderdruk moeilijk te realiseren is door de vele uitloopopeningen) wordt ook balansventilatie toegepast waarbij ventilatoren zowel de luchtuitworp als de luchtinblaas voor hun rekening nemen. Mechanische ventilatie heeft nadelen, zoals het hogere elektriciteitsverbruik. Mechanisch geventileerde stallen kunnen een (ongewenst) geslotener karakter geven, al is een open en transparant karakter van het stalgebouw ook te realiseren door het stalontwerp, de toepassing van glas, enzovoort. Mechanische ventilatie biedt ook mogelijkheden. Die mogelijkheden zijn:

- end-of-pipe luchtreiniging door bijvoorbeeld luchtwassers (waterwassers; chemische, biologische en gecombineerde wassers), biobedden, end-of-pipe ionisatie, droogfilterwand en (absoluut)filters;
- aanvullende stappen die de resterende deeltjes en druppeltjes desinfecteren (bijvoorbeeld door UV-straling of op kiemdoding gerichte zure/oxiderende wasvloeistoffen);

- conditionering van de ingaande lucht en daarmee een nauwkeuriger stuurbaar stalklimaat, bijvoorbeeld door warmtewisseling (warmteoverdracht van uitgaande naar ingaande ventilatielucht) en luchtkoeling (zoals padcooling).

Een verschuiving naar mechanische ventilatie is een relatief grote verandering voor de Nederlandse geitenhouderij en vergt ook een **integrale discussie** van de sector over het (door de sector en maatschappij) gewenste type stallen en het type houderij voor de toekomst waarbij naast emissies van bioaerosolen ook andere emissies (ammoniak, geur), dierwelzijn, efficiëntie en arbeidsgemak, energieverbruiken, brandveiligheid, landschappelijke inpassing, enzovoort, een rol spelen. Een omschakeling van natuurlijk naar mechanische ventilatie maakt, in combinatie met een end-of-pipe luchtreiniging, reductie van de bacterie-emissies mogelijk van naar verwachting 50% tot waarden nabij 100% (afhankelijk van type luchtreiniging).

Luchtwassers en biobedden in de veehouderij (eerste bullet hierboven) zijn primair gericht op het verwijderen van ammoniak en geur. Luchtwassen verwijderd doorgaans ook zo'n 30 tot 75% van het fijnstof als PM₁₀ (Mosquera et al., 2011; Melse et al., 2011; Melse et al., 2012). Voor inhaleerbaar stof (PM₁₀₀) liggen de percentages hoger, voor PM_{2.5} lager. De mate van verwijdering van PM₁₀ is vooral afhankelijk van de verblijftijd (*empty bed residence time*) van de lucht in de luchtwasser dat weer mede afhankelijk is van het aantal wasstappen. Gecombineerde luchtwassers, met meerdere wasstappen en een lange verblijftijd (>3 seconden) hebben doorgaans de hoogste verwijderingsrendementen: tot 80-95% voor PM₁₀ (Melse et al., 2012). De effectiviteit van luchtwassen ten aanzien van specifiek het afvangen dan wel inactiveren (doden) van micro-organismen is in relatief weinig studies en praktijkproeven verkend (bijv. Aarnink et al., 2004; Zucker et al., 2005; Zhao et al., 2011).

End-of-pipe ionisatie, de droogfilterwand en (absoluut)filters (eerste bullet hierboven) laten ammoniak en geur ongemoeid en verwijderen alleen het (fijn)stof als zijnde zwevende deeltjes en druppeltjes (zie Tabel 2.1 voor de reductiepercentages).

Deze bestaande end-of-pipe technieken kunnen geoptimaliseerd, uitgebreid of gecombineerd worden om een zo hoog mogelijke verwijdering van (fijn)stof alsook kiemdoding te krijgen. Dit vergt verder **onderzoek en ontwikkeling**.

5.2.4 Verminderen bioaerosolemissies uit stromestopslagen

Na het uitmesten wordt de stromest op uiteenlopende manieren opgeslagen op het bedrijf:

- op een betonnen mestplaat (op het erf);
- in een sleufsilos (op het erf);
- onder een afdak;
- inpandig in een mestloods of onder een verlengde kap van de stal.

Volgens Artikel 7.76ih, lid 1a, van het Besluit houders van dieren⁸ moet de mest direct na verwijdering uit de stal 30 dagen luchtdoorlatend afgedekt worden opgeslagen alvorens het wordt uitgereden, tenzij de mest direct en afgedekt wordt afgevoerd naar een erkend composteringsbedrijf. Deze regel is ingesteld naar aanleiding van de omvangrijke Q-koorts uitbraak onder geiten in Nederland tussen 2007 en 2011 om de eventuele aanwezigheid van de veroorzaker, de bacterie *Coxiella burnetii*, in stromest te verminderen. Voldoende compostering werkt echter ook in algemene zin verlagend op het aantal niet-thermofiele (niet hitte-minnende) bacteriën.

Uit de stromestopslagen kunnen op twee manieren bioaerosolemissies optreden: 1) door het uitstorten, opladen en omzetten van de stromesthoop, en 2) door windemissie wanneer de wind de stromesthoop aanstrijkt en deeltjes en druppeltjes meeneemt. Beide typen emissies kunnen worden verminderd door **stromestopslagen inpandig** te situeren waarbij wind- en luchtinvloeden zoveel mogelijk worden voorkomen. Gedacht kan worden aan mestloodsen die rondom (grotendeels) afgesloten zijn, bijvoorbeeld gebruik makend van dichte gevels, space-boarding, windbreekgaas, enzovoort. Enige (natuurlijke) ventilatie is nodig voor het composteringsproces en voor het voorkomen van te hoge concentraties van gassen zoals

⁸ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217>

ammoniak. Bioaerosolemissies uit de mestloods tijdens piekmomenten van het uitstorten, opladen en omzetten van de stromest kunnen verminderd worden door tijdens deze activiteiten de mestloods af te sluiten, bijvoorbeeld door winddoeken te laten zakken over openingen met windbreekgaas, luiken te sluiten, enzovoort. Blootstelling van werkenden aan stof en gassen in de mestloods verdient bescherming door gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen. Uit hoofdstuk 3 blijkt dat de 23 bacteriesoorten en -geslachten niet thermofiel zijn. Dit betekent dat hun aantal in mest substantieel verminderd kan worden door **compostering** plaats te laten vinden waarbij de **mesttemperatuur 55 tot 60 °C** bereikt. Onbekend is of deze mate van compostering op geitenbedrijven in de praktijk bereikt wordt. Aanbevolen wordt om dit in kaart te brengen en – wanneer dit niet algemeen het geval blijkt – na te gaan op welke manieren de gewenste compostering bereikt kan worden. Tot slot zouden de geitensector, overheid en andere stakeholders, een **integrale discussie** kunnen voeren over stromestopslag en compostering op het primaire geitenbedrijf en mogelijke alternatieven die deze emissiebron weg nemen, zoals het direct (en afgedekt) afvoeren van uitgemeste stromest naar composteringsbedrijven.

5.3 Alternatieve, potentieel emissiearme, huisvestingsconcepten

In de geitenhouderij wordt geëxperimenteerd met **alternatieve huisvestingssystemen** ten opzichte van de stropothuisvesting. In deze concepten wordt de **stropot verkleind of achterwege gelaten**, worden materialen gebruikt als beton, hout, rubber, kunststof en staal, en zitten elementen als **roosters, ondiepe mestkelders met scheiding/afvoer van mest en urine**, en **leefniveaus** voor de geiten. Enkele van dergelijke concepten zijn al in de praktijk gerealiseerd door innovatieve geitenhouders. Sommige concepten blijken in de praktijk op (onvoorziene) problemen te stuiten en zijn weer gestaakt; deels is dit 'vallen en opstaan' een normaal onderdeel van het innovatieproces. Doel van deze concepten is om **emissies te verlagen en beter aan te sluiten bij de warmtehuishouding en behoeften van de geit**. In oktober 2025 is het rapport 'Ontwerpen met melkgeiten en andere stakeholders – Eerste stappen voor het herontwerpen van melkgeitenstallen' ([Puente-Rodríguez et al., 2025](#)) uitgebracht. In dit rapport is onder andere een systeemanalyse uitgevoerd van de huidige stropotstal (hoofdstuk 2), zijn de behoeften van de geit op een rij gezet (sociaal gedrag, rusten, zelfverzorging, voortplanting, enzovoort; hoofdstuk 3), is een programma van eisen opgesteld voor geitenstallen, zijn er gedragsobservaties gedaan aan geiten op platformen (leefniveaus) in de stal en zijn drie ontwerpen voor alternatieve huisvestingsconcepten uitgewerkt: de Beekdal-stal, de Tribunest al en Het Podium. Aanbevolen wordt om de emissies van onder andere bioaerosolen uit deze huisvestingsconcepten te kwantificeren (met de conventionele stropothuisvesting als vergelijkingswaarde) maar ook te begrijpen (inzicht in processen en factoren). Dergelijke alternatieve huisvestingssystemen kunnen waarschijnlijk verschillende emissies verlagen, waaronder die van bioaerosolen.

5.4 Niet toepasbaar, wel in de lijst van Bijlage 2

Een deel van de geïdentificeerde maatregelen is **niet toepasbaar** bij geitenbedrijven. Bijvoorbeeld de strooiselschuif die bij leghennen de meststrooisellaag op de vloer maximeert tot 3 cm en zo de emissie van fijnstof met circa 20% vermindert. Een strooiselschuif werkt nu eenmaal niet op een stropot. Deze maatregelen zijn wel opgenomen in de lijst (Bijlage 2) zodat duidelijk is dat ze niet zijn vergeten maar dat ze niet toepasbaar zijn bij geitenbedrijven. **Weidegang** is vaak alleen toepasbaar (en voorwaardelijk) op biologische bedrijven en zou kunnen resulteren in reductie van bioaerosolemissies uit de stallen ten opzichte van continu opstallen.

5.5 Mogelijkheden voor verder onderzoek en ontwikkeling

Eerder in dit rapport zijn de volgende mogelijkheden voor verder onderzoek en ontwikkeling aangedragen die hierna worden samengevat:

- het verder uitwerken van opties voor het verlagen van stofemissies bij instrooien en uitmesten in de vorm van **stofarmer strooisel**, het **ontstoffen van strooisel**, methoden voor **stofarm instrooien** en methoden van **stofarm uitmesten**;
- het beter **begrijpen van de processen in de stropot** in geitenstallen in de tijd wat betreft laagdikteopbouw, bevuilingsgraad, temperatuur, vochtigheidsgraad, zuurstofgraad, het optreden van compostering, microbiële samenstelling en microbiële concentratie. Op basis van deze informatie kan gekeken worden of het vaker uitmesten van stropotten tot lagere bacterie-emissies kan leiden en welke frequentie optimaal is;
- het bepalen van de mate van **compostering in stromestopslagen** op het primaire melkgeitenbedrijf dat in de praktijk bereikt wordt en – wanneer de mate van compostering onvoldoende is om tot effectieve kiemdoding (van niet-thermofiele kiemen) te komen – na te gaan op welke manieren de gewenste compostering wel bereikt kan worden. Voldoende compostering draagt naar verwachting bij aan lagere emissies van levende micro-organismen bij windemissie uit de stromesthoop, bij het omzetten en opladen van stromest, en bij het uitrijden van stromest op percelen;
- het bepalen van de toepasbaarheid en de effectiviteit van **ionisatietechnieken** in geitenstallen in het verminderen van fijnstofconcentraties en -emissies. De toepasbaarheid en effectiviteit van ionisatietechnieken is nu voornamelijk vastgesteld voor pluimveestallen (Tabel 2.1). Een bredere inzet bij geitenstallen kan emissies van bioaerosolen mogelijk verminderen;
- het vaststellen van de emissies van onder andere bioaerosolen uit **alternatieve, potentieel emissiearme, huisvestingsconcepten** voor melkgeiten en het begrijpen van de processen en factoren bij die emissies;
- het (waar nodig) geschikt maken van bestaande **end-of-pipe luchtreinigingstechnieken** voor geitenstallen en het optimaliseren, combineren of uitbreiden van technieken om een zo hoog mogelijke verwijdering van (fijn)stof alsook kiemdoding te krijgen. Deze maatregelengroep is alleen toepasbaar bij mechanische ventilatie en vergt een integrale discussie over de vorm van de geitenhouderij in de toekomst.

5.6 Vooruitblik

Dit rapport presenteert een inventarisatie van mogelijkheden om de emissie van bioaerosolen uit geitenhouderijen te verminderen, met het oog op de blootstelling van de omgeving in verband met het verhoogde risico op longontstekingen. De inventarisatie heeft niet een concrete selectie van maatregelen opgeleverd die op korte termijn en met een vastgesteld effect ingezet kunnen worden. Wel levert deze inventarisatie een palet van maatregelen op die in dit hoofdstuk in groepen gepresenteerd en besproken zijn. Om te komen tot concrete maatregelen zijn er naar de mening van de auteurs twee zaken nodig: a) een **integrale discussie**, gevolgd door **keuzes**, over welke maatregelengroepen door geitensector, overheden en andere stakeholders als gewenst worden gezien, mede op basis van de visies die bestaan over de vorm van de melkgeitenhouderij in de toekomst; en b) het eventueel doorontwikkelen of optimaliseren van uit a) voortgekomen wenselijke maatregelengroepen en het **vaststellen van hun effectiviteit** ten aanzien van het reduceren van de emissies van micro-organismen, fijnstof, endotoxinen en ammoniak.

6 Bronnen

- Aarnink, A.J.A., W.J.M. Landman, R.W. Melse, P. de Gijssel, Huynh Thi Thanh Thuy, T. Fabri, 2004. Voorkomen van verspreiding van ziektekiemen en milieu-emissies via luchtreiniging. Rapport 059. Wageningen UR, Agrotechnology and Food Innovations. <https://edepot.wur.nl/42665>.
- Aarnink, A.J.A., M. Cambra-López, H.T.L. Lai, N.W.M. Ogink, 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Samenvattende rapportage. Rapport 452. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/171536>.
- Aarnink, A.J.A., J. Mosquera, M. Cambra López, H.I.J. Roest, J.M.G. Hol, M.C. van der Hulst, Y. Zhao, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink, 2012. Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen. Rapport 489. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/216316>.
- Aarnink, A.J.A., H.I.J. Roest, J.W.H. Huis in 't Veld, M.C. van der Hulst, J.M.G. Hol, J. Mosquera, N.W.M. Ogink, 2014. Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen; aanvullende metingen. Rapport 712. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/297415>.
- Aarnink, A.J.A., Y. Zhao, A. Dekker, N.W.M. Ogink, 2015a. Processen en factoren die van invloed zijn op de emissie van bio-aerosolen uit stallen. Rapport 829. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/343378>.
- Aarnink, A.J.A., T.J. Hagenaars, N.W.M. Ogink, 2015b. Technieken voor reductie van bio-aerosol emissies uit stallen. Rapport 828. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/343380>.
- Cambra-López, M., T. Hermosilla, H.T.L. Lai, A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink, 2011. Particulate matter emitted from poultry and pig Houses: source identification and quantification. Transactions of the ASABE 54:629-642. <https://doi.org/10.13031/2013.36466>.
- CIGR, 2002. Climatization of Animal Houses: Heat and moisture production at animal and house levels. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences. https://www.cigr.org/sites/default/files/documets/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf.
- Gezondheidsraad, 2012. Gezondheidsrisico's rond veehouderijen. Publicatienummer 2012/27. Den Haag: Gezondheidsraad. <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/2012/11/30/gezondheidsrisicos-rond-veehouderijen>.
- Gezondheidsraad, 2018. Gezondheidsrisico's rond veehouderijen: vervolgadvis. Publicatienummer 2018/04. Den Haag: Gezondheidsraad. <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/2018/02/14/gezondheidsrisicos-rond-veehouderijen-vervolgadvis>.
- Gezondheidsraad, 2025a. Gezondheidsrisico's rond veehouderijen 2025: deel I. Publicatienummer 2025/12. Den Haag: Gezondheidsraad. <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/2025/07/03/advies-gezondheidsrisicos-rond-veehouderijen-2025-deel-i>.
- Gezondheidsraad, 2025b. Gezondheidsrisico's rond veehouderijen 2025: deel II. Publicatienummer 2025/20. Den Haag: Gezondheidsraad. <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/2025/12/08/advies-gezondheidsrisicos-rond-veehouderijen-2025-deel-ii>.
- Hagenaars, T., P. Hoeksma, A.M. de Roda-Husman, A. Swart, I. Wouters, 2017. Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (aanvullende studies). Analyse van gezondheidseffecten, risicofactoren en uitstoot van bioaerosolen. Rapport 2017-0062. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <https://www.rivm.nl/publicaties/veehouderij-en-gezondheid-omwonenden-aanvullende-studies-analyse-van>.
- Removal of particulate matter (PM10) by air scrubbers at livestock facilities: results of an on-farm monitoring program. Transactions of the ASABE 55:689-698. <https://doi.org/10.13031/2013.41378>.
- Melse, R.W., J.M.G. Hol, F. Dousma, G.M. Nijboer, J.W.M. Huis in 't Veld, 2011. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit pluimveehouderij; validatie van een luchtwassysteem met water als wasvloeistof bij twee pluimveebedrijven. Rapport 502. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/184259>.

-
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, R.W. Melse, A. Winkel, G.M. Nijeboer, J.P.M. Ploegaert, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2011. Fijnstofemissie uit stallen: luchtwassers. Rapport 295. Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/163741>.
- Mosquera, J., Y. Goselink, P.H.R. van Valkengoed, J.M.G. Hol, 2025. Stalemissie van ammoniak, methaan, lachgas, geur en PM10: Resultaten van praktijkmetingen in stallen voor jongvee, blankvleeskalveren, rosé vleeskalveren, geiten, biggen, vleesvarkens en dragende zeugen. Rapport 1512. Wageningen, Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/674362>.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp, A.J.A. Aarnink, 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1205>.
- Puente-Rodríguez, D., B. Bremmer. H. Hopster, 2025. Ontwerpen met melkgeiten en andere stakeholders: Eerste stappen voor het herontwerpen van melkgeitenstallen. Rapport 1597. Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/702437>.
- Van der Giessen, J., Th. Hagenaars, M. de Rooij, B. Cornu Hewitt, A. Lotterman, I. Roof, M-L. Odendaal, A. Meijer, J. Verkaik, A. Winkel; J. IJzermans, Ch. Baliatsas, D. Bogaert, R. van Gageldonk-Lafeber, A. Bossers, L. Smit, 2025. Veehouderij en gezondheid omwonenden (VGO-III). Actualisatie epidemiologische studies 2014-2019. Onderzoek naar longontstekingen rond geitenhouderijen 2018-2024. RIVM-rapport 2024-0167. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0167.pdf>.
- Ward, W.R., J.W. Hughes, W.B. Faull, P.J. Cripps, J.P. Sutherland, J.E. Sutherst, 2002. Observational study of temperature, moisture, pH and bacteria in straw bedding, and faecal consistency, cleanliness and mastitis in cows in four dairy herds. *Veterinary Record* 151:199-206. <https://doi.org/10.1136/vr.151.7.199>.
- Winkel, A., I.M. Wouters, T.J. Hagenaars, D.J.J. Heederik, N.W.M. Ogink, I. Vermeij, 2016a. Additionele maatregelen ter vermindering van emissies van bioaerosolen uit stallen: verkenning van opties, kosten en effecten op de gezondheidslast van omwonenden. Rapport 949. Wageningen UR Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/385496>.
- Winkel, A., J. Mosquera Losada, A.J.A. Aarnink, P.W.G. Groot Koerkamp, N.W.M. Ogink, 2016b. Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. *Biosystems Engineering* 150:104-122. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.014>.
- Winkel, A., J. Mosquera Losada, A.J.A. Aarnink, P.W.G. Groot Koerkamp, N.W.M. Ogink, 2016c. Evaluation of a dry filter and an electrostatic precipitator for exhaust air cleaning at commercial non-cage laying hen houses. *Biosystems Engineering* 129:212-225. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.10.006>.
- Winkel, A., 2016d. Particulate matter emission from livestock houses: measurement methods, emission levels and abatement systems. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen. <http://dx.doi.org/10.18174/390454>.
- Winkel, J.J. Erbrink, I.M. Wouters, J.W.H. Huis in 't Veld, D.J.J. Heederik, N.W.M. Ogink, 2018. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: eindrapport endotoxine metingen. Rapport 1092. Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/496898>.
- Winkel, A., T. Hagenaars, 2025. Notitie: advies verlagen bacterie-emissies in geitenhouderijen. Notitie, Wageningen Livestock Research en Wageningen Bioveterinary Research van 10 april 2025. <https://edepot.wur.nl/694256>.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, M.C.M. de Jong, N.W.M. Ogink, P.W.G. Groot Koerkamp, 2011. Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Transactions of the ASABE* 54: 285-293. <https://doi.org/10.13031/2013.36256>.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, M.C.M. de Jong, P.W.G. Groot Koerkamp, 2012. Airborne microorganisms from livestock production systems and their relation to dust. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 44: 1071-1128. <https://doi.org/10.1080/10643389.2012.746064>.
- Zucker, B.-A., P. Scharf, C. Kersten, W. Müller, 2005. Einfluss einer Biowäscher-Chemowäscher-Kombination auf die Emission von Bioaerosolen aus einem Entenmaststall. *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft* 65:370-373.

7 Dankwoord

De auteurs danken Myrna de Rooij (UU), Gerrit Koop (UU), Lidwien Smit (UU), Marieke Opsteegh (RIVM), Anja Versteeg (RIVM), Marieke de Cock (RIVM) en Marloes Heijne (RIVM) voor advies en commentaar op conceptversies, en Myrna de Rooij en Gerrit Koop daarnaast voor deelname aan een rondetafelgesprek. De auteurs danken Ingrid van Dixhoorn voor het leiden van de rondetafelgesprekken. De auteurs danken Peter Hobbelen (WBVR) en Jose Gonzales (WBVR) voor hulp bij het literatuuronderzoek in hoofdstuk 3. De auteurs danken de dertig geitenhouders die deelnamen aan de rondetafelgesprekken. Tot slot danken de auteurs Jos Tolboom (voorzitter LTO Geitenhouderij) en Nico Verduin (voorzitter Nederlandse GeitenZuivel Organisatie) voor het becommentariëren van een conceptversie van dit rapport vanuit het perspectief van de melkgeitenhouderij.

Bijlage 1 Scoring van effectiviteit van maatregelen

Om het effect van maatregelen, in het bijzonder op de stalemissie van levensvatbare bacteriën uit de lijst van 23, in detail te beoordelen is observationeel onderzoek vereist. In deze deskstudie werd een ruwe inschatting gemaakt van het verwachte effect van maatregelen, op basis van het werkingsprincipe van een maatregel, informatie uit de wetenschappelijke literatuur en expertkennis.

In Bijlage 2 is voor elke maatregel de verwachte effectiviteit semi-kwantitatief gescoord. De effectiviteit betreft hier primair de impact op de bacterie-emissie uit de stal. Daarnaast worden semi-kwantitatieve scores gegeven voor de verwachte impact op de stalemissie van fijnstof (PM₁₀), endotoxinen en ammoniak. Dit dient om eventuele gunstige of ongunstige neveneffecten van maatregelen op deze drie typen emissies zichtbaar te maken.

Met bacterie-emissie wordt bedoeld: de totale emissie van levensvatbare bacteriën inclusief die op de lijst van 23 omdat betrouwbaar onderscheid op dit niveau van beoordelen van effect van maatregelen niet te maken is.

De verandering van de totale emissie wordt aangeduid met een semi-kwantitatieve score zoals eerder gebruikt door [Winkel et al. \(2016a\)](#) en hier gedefinieerd in Tabel B1.

Tabel B1 Definitie van semi-kwantitatieve scores gebruikt in Bijlage 2.

Score	Definitie
?	Effect onbekend
++++	Zeer sterk positief effect
+++	Sterk positief effect
++	Positief effect
+	Licht positief effect
0	Geen effect
-	Licht negatief effect
--	Negatief effect
---	Sterk negatief effect
----	Zeer sterk negatief effect

Met 'negatief effect' wordt een toename van de emissie bedoeld, met 'positief effect' een reductie. Een enkele + resp. - correspondeert met 0-25% reductie resp. toename, etc., ++++ resp. ---- met 75-100% reductie resp. toename. Hoewel in principe een toename de 100% kan overschrijden, komt dit in de praktijk in dit onderzoek niet voor en is er daarom geen weergave voor bedacht. Met '0/+' wordt een reductie van de orde van 0-10% aangeduid.

De methode van scoring sluit aan op de door [Winkel et al. \(2016a\)](#) gehanteerde scoring. Een verschil tussen beide scores is dat de huidige score specifiek voor geitenstallen is uitgevoerd en de eerdere nog een gemiddelde is van alle reguliere veehouderijsectoren. Het effect op de totale emissie van ammoniak is direct ingeschat op basis van de verwachte invloed van de maatregelen op de vorming van ammoniak. Basis voor de scoring voor bacteriën, PM₁₀ en endotoxinen is een expert-inschatting (consensus van drie onderzoekers) van de impact die de maatregel heeft op de emissie vanuit verschillende bronnen in de stal. We onderscheiden daarbij zes bronnen (of brongroepen): strooisel, mest, voer, ruwvoer, dier-gerelateerd, buiten. 'Buiten' is de bijdrage van de buitenlucht die als ventilatielucht de stal ingaat. 'Dier-gerelateerd' duidt alle bronnen afkomstig van het dier - afgezien van mest - aan en omvat huid, haar, afscheiding, melk, ademhalingslucht, nageboorte en verworpen vrucht. Op basis van een inschatting van de rangorde van de bronnen ten aanzien van hun relatieve bijdrage aan de totale stalemissie, wordt uit de impact op de emissie

vanuit de verschillende bronnen een inschatting van het effect op de totale emissie (d.w.z. vanuit alle bronnen samen) afgeleid. Dit is gedaan aan de hand van tabellen B2 en B3. Hoe hoger de ingeschatte bijdrage van een bron aan de emissie, hoe meer potentie voor emissiereductie er is voor maatregelen gericht op deze bron.

Opgemerkt moet worden dat de totale hoeveelheid bacterie-emissie niet noodzakelijkerwijs de beste indicator is van het relevante blootstellingsrisico voor omwonenden. Waarschijnlijk is ook de samenstelling van de mix van bacteriën van belang. Indien één of meer specifieke bronnen of processen in de stal vanwege de samenstelling van hun bacterie-emissie duidelijk belangrijker zouden zijn dan andere voor de relevante blootstelling, zouden maatregelen die specifiek op zulke bronnen aangrijpen mogelijk meer effect op de relevante blootstelling hebben dan de huidige score op bacterie-emissie laat zien. Bijvoorbeeld, in het geval dat de gezondheidslast grotendeels zou worden bepaald door één of enkele van de 23, zou een maatregel die zich specifiek richt op één of enkele bronnen waar deze één of enkele bacteriën voornamelijk aanwezig zijn, mogelijk meer effect op de relevante blootstelling hebben dan de huidige score op bacterie-emissie laat zien. Een ander voorbeeld is: bij uitmesten wordt het stropakket omgewoeld en aerosoliseren deeltjes uit diepere lagen van het stropakket; dieper dan de oppervlaktelaag waaruit onder reguliere omstandigheden deeltjes aerosoliseren. Dit uitmesten vindt eens per zoveel weken of maanden plaats. Mocht de bacteriesamenstelling bij dit uitmestproces verschillen ten opzichte van de reguliere omstandigheden en mocht dit gekoppeld zijn aan relevante blootstelling, dan kunnen maatregelen gericht op emissiereductie specifiek bij uitmesten mogelijk meer effect op de relevante blootstelling hebben dan de huidige score op bacterie-emissie laat zien.

Tabel B2 Leidraad gebruikt voor het inschatten van het effect van maatregelen op bacterie-emissie. In de tabel staat de inschatting voor van het effect op de totale emissie (d.w.z. vanuit alle bronnen samen). Ook gebruikt voor het inschatten van het effect van maatregelen op endotoxinenemissie.

			Inschatting effect maatregel op emissie endotoxinen uit bron								
			++++	+++	++	+	0	-	--	---	---
Emissie-rangorde van bron(nen) waar maatregel op aangrijpt	1	Mest	+++ tot +++++	++ tot +++	+ tot ++	+	0	0/-	-	--	---
	2+	Stro(oisel)	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	2+	Ruwvoer	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	2+	Voer (niet ruwvoer)	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	2+	Dier-gerelateerd	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	2+	Buiten	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-

Tabel B3 Leidraad gebruikt voor het inschatten van het effect van maatregelen op PM₁₀-emissie. In de tabel staat de inschatting voor van het effect op de totale emissie (d.w.z. vanuit alle bronnen samen). Deze leidraad is afgeleid van een inschatting van bronattributies zoals weergegeven in Tabel B4.

			Inschatting effect maatregel op emissie PM ₁₀ uit bron								
			++++	+++	++	+	0	-	--	---	---
Emissie-rangorde van bron(nen) waar maatregel op aangrijpt	1	Stro(oisel)	++ tot +++	+ tot ++	+	0/+	0	0/-	-	--	---
	2	Mest	+ tot ++	+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	-	--
	3+	Voer	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	3+	Ruwvoer	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	3+	Buiten	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-
	3+	Dier-gerelateerd	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/-	0/-	0/-	0/-

Tabel B4 Ruwe inschatting bronattributies aan PM_{10} emissie voor een natuurlijk geventileerde geitenstal, gebruikmakend van gegevens voor melkvee in Aarnink et al. (2011) en Cambra-López et al. (2011).

Emissie-rangorde van bronnen		Geschatte bronattributie	Motivatie
1	Stro(oisel)	Stro/strooisel 50% ($\pm$ 20%)	Dit is ruwweg het dubbele van de 27% bij melkvee.
2	Mest	Mest 30% ($\pm$ 15%)	Dit is bij melkvee 21%. Hoger ingeschat voor geiten omdat mest meer blijft liggen dan bij roostervloeren met kelders eronder
3	Voer (niet-ruwvoer)	Voer 10% ($\pm$ 5%)	Dit is bij melkvee circa 12%. Het voerregime is sterk vergelijkbaar met dat bij melkvee.
4	Ruwvoer	Ruwvoer 5% ($\pm$ 3%)	Dit is bij melkvee circa 17%. Het voerregime is sterk vergelijkbaar met dat bij melkvee.
5	Buiten	Buiten 5% ($\pm$ 3%,)	Dit is bij melkvee circa 1%. Een staluitvoering met natuurlijke ventilatie is sterk vergelijkbaar met melkvee
6	Dier-gerelateerd	Hooguit enkele procenten	Dit betreft huid, haar, afscheiding, melk, ademhalingslucht, nageboorte en verworpen vrucht. Bij varkens dragen huidschilfers voor 11 tot 15% bij.

Bijlage 2 Lijst met maatregelen

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG=Natuurlijk geventileerd; MGS= (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid: N=nee; J=ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
1	Maatregelengroep stro(oisel)											
1.1	Van nature stofarm stro(oisel), bijvoorbeeld hennep, vlas, stropellets, houtkrullen, koolzaadstro	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N	NG+M GS	+ tot ++	0/+	0/+	0	Integrale beoordeling nodig van geschiktheid van alternatief strooisel voor geit en van de mogelijkheden voor gebruik van potstalmest (stikstofimmobilisatie).	J	J
1.2	Gebruik van dennenzaagsel (naast stro) dat dempend effect heeft op bacteriegroei; onder voorwaarde dat het zaagsel stofarm verstrekt wordt	M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	-	0 tot ?	0 tot ?	0	Toepasbaarheid afhankelijk van toxiciteit	M	M
1.3	Ontstof stro(oisel) - score PM10 obv aannee dat het minimaal 50% minder stofgevend is dan niet-ontstof strooisel	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N	NG+M GS	+ tot ++	0/+	0/+	0	Vergt techniekontwikkeling	J	J
1.4	Goede kwaliteit stro(oisel)	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N	NG+M GS	+	0/+	0/+	0	Is kwestie van aanbod en oogstomstandigheden elders in Europa	J	J
1.5	Stofarm verstrekken	M	Bron: stro(oisel) ↓	B+N	NG+M GS	+	0/+	0/+	0	Vergt systeemontwikkeling	J	J
1.6	Stro bevochtigen voor inbrengen	M	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	+ tot ++	0/+	0/+	0/-	Misschien niet toepasbaar vanwege mogelijk negatief effect op de uiergezondheid. Hoe kan men dit praktisch invullen: hoeveel liter water per ton? Hoe inpasbaar bij gebruik stroverdelers?	M	M
1.7	Oppervlak (m2) per geit verdubbelen, daardoor droger en schoner oppervlak	M	Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0 tot +	- tot ----	Verhoogt het dierenwelzijn	J	M
1.8	Gebruik van zonnebloemdoppen	M	Bron: strooisel + Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	?	?	?	?	Beschikbaarheid zonnebloemdoppen voldoende? Vergt inventarisatie van praktische toepassingmogelijkheden (o.a. uitmestfrequentie, omwoelen pot, uitrijden/uitmesten toplaag vanwege volume toename). Zonnebloemdoppenmest bevat hoge concentratie stikstof; vergt verdunding voor aanwenden	J	J
1.9	Instrooien met ventilatie uit/ met gordijnen dicht	M	Sedimentatie tijd geven	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0	Problematisch voor dierenwelzijn en diergezondheid	J	N
1.10	'Lasagnepot' (afdekken op stropakket met dik stro)	M	Aerosolisatie ↓	B+N	NG+M GS	?	?	?	0/+	Vergt meer stro	M	J

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG=Natuurlijk geventileerd; MGS= (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N= nee; J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
2	Maatregelengroep voer en drinkwater											
2.1	Zeoliet (is een natuurlijke klei met een hoog absorptievermogen voor o.a. gas en toxines) toevoegen aan voer.	M	Ammoniak en toxines binden ↓	B+N	NG+M GS	0 tot -	+	0	+ tot ++	N.v.t	N	N
2.2	Benzoëzuur toevoegen aan voer	M	Ammoniak binden ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Niet geschikt voor melkgeiten	N	N
2.3	Toedienen probiotica		Beïnvloeding darmflora	B+N	NG+M GS	0	?	?	0	Vergt integrale aanpak inclusief diergezondheidsmanagement	J	J
2.4	Citroenzuur in drinkwater (ook azijn)	T, S	Manifestatie microorganismen ↓ (pH-averse MO)	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Vergt integrale aanpak inclusief diergezondheidsmanagement en smakelijkheid	N	N
2.5	Vetgehalte verhogen (het toevoegen van olie of vet aan pellets/brokjes om daarmee de stofproductie hieruit te verlagen)	M, B	Bron: mengvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0	Voedingstechnisch niet geschikt voor geiten	N	N
2.6	Stofarm rantsoen (grondstoffen, natte bijproducten, water toevoegen, melasse, brok ipv meel)	M, B	Bron: mengvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0		J	J
2.7	Coaten van pellets met vet/lignine (Ook met een laagje vet of lignine rond de pellet kan stofvorming worden gereduceerd)	M, B	Bron: mengvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0	Voedingstechnische ruimte beperkt	J	J

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B =Bestaande stal; N = nieuwe bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG=Natuurlijk geventileerd; MGS= (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid: N= nee, J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee, J= ja, M= misschien
3	Maatregelengroep voersysteem											
3.1	Stofarm voermengen in voerkeuken	M	Bron: mengvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0	Vergt systeemontwikkeling	J	J
3.2	Stofarm voertransport vizel leiding, voerverdeler (robot)	S, B	Bron: droogvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0	Vergt systeemontwikkeling. Afhankelijk van staluitvoering	J	J
3.3	Voerbakken/-systeem afsluiten	S, B	Bron: droogvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	1	Niet geschikt voor geiten	N	N
3.4	Lage valhoogte valpijp in vreetbak	S	Bron: droogvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	2	Vergt systeemontwikkeling	J	J
3.5	Minder vermorsing (voerbakontw.)	S, B	Bron: voer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	3	Vergt systeemontwikkeling	J	J
3.6	Bronafzuiging rond voerbak	S, B	Bron: droogvoer ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	4	Vergt systeemontwikkeling	J	J

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingsprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N = nee; J = ja (of voorwaardelijk ja); M = misschien	Weergave draagvlak: N = nee; J = ja; M = misschien
4	Maatregelengroep mest											
4.1	Zeoliet (is een natuurlijke klei met een hoog absorptievermogen voor o.a. gas en toxines) toevoegen aan stropot.	M	Ammoniak en toxines binden ↓	B+N	NG+M GS	-	0/+ tot ++	0	+ tot ++		J	J
4.2	Kalk toevoegen aan pot	M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	0/-	0/+	0/+	0/-	Vereist afweging van opbrengst t.a.v reductie bacterie-emissie t.o.v. neveneffecten op emissie PM10 en ammoniak	J	J
4.3	Strooien van pH-neutrale poeders met vochtabsorberende en desinfecterende werking	M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	0/-	0/+	0/+	0	Vereist afweging van opbrengst t.a.v reductie bacterie-emissie t.o.v. neveneffecten op emissie PM10	J	J
4.4	Vaker uitmesten (bijv. 12x ipv 2x per jaar)	M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	0/-	?	?	0/- tot -	Vereist afweging van opbrengst t.a.v reductie bacterie-emissie t.o.v. neveneffecten op emissie PM10 en ammoniak	J	J
4.5	Dagelijks verwijderen mest uit andere gedeelten dan pot	M	Bron: vaste mest ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	+		J	J
4.6	Droog reinigen (bezemen/schuiven) in plaats van hogedrukreinigen (na uitmesten, bij reinigen wachtruimte melkstal en lammeren opfok afdelingen)	M	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0 tot 0/+	0/-		J	J
4.7	Hogedrukreinigen ipv droog reinigen (na uitmesten, bij reinigen wachtruimte melkstal en lammeren opfok afdelingen)	M	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0 tot 0/-	0/+		J	J
4.8	Frequent stofzuigen van oppervlakken	M	Bron: alle behalve stropot ↓	B+N	NG+M GS	0/+ tot +	0/+	0/+	0	Evt. ontwikkeling robotstofzuigers voor vloeroppervlakken	J	M
4.9	Sprayen van probiotica in de stalruimte	S, T	Werkingsmechanisme via stalruimte onduidelijk	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Vergt integrale aanpak inclusief diergezondheidsmanagement	M	M
4.10	Microbiële reiniging via vernevelingssysteem	S, T	Divers werkinsmechanisme, afhankelijk van product. Zie WUR rapport 1115 (Winkel et al 2018): doding van micro-organismen (disinfectie), inhibitie van enzymen, verlaging van de pH van mest en oxidatie, enzymatische afbraak, absorptie of maskering van geurcomponenten	B+N	NG+M GS	0 tot +	0 tot +	0 tot +	0 tot -	Vergt integrale aanpak inclusief diergezondheidsmanagement	J	J
4.11	Pot desinfecteren met chemische middelen na uitmesten. Zoals: Addition of chlorine (chlordioxide, hypochlorite, chloramine) or sodium hypochlorite (NaOCl) as chemical disinfectants to water	T, M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0/+	0/+	0	Integrale aanpak nodig van effect op milieu (o.a. bodemleven)	J	M
4.12	Film die overblijft na uitmesten desinfecteren (bijvoorbeeld met kalk)	T, M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	0/-	0/+	0/+	0	Integrale aanpak nodig van effect op milieu (o.a. bodemleven)	J	J

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingsprincipe	Toepasbaar bij: B =Bestaande stal; N = nieuwe te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG=Natuurlijk geventileerd; MGS= (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N= nee; J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
5	Maatregelengroep dieractiviteit											
5.1	Beperken verlichtingsduur (uur/dag)	M, T	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	0 tot +	0 tot +	0 tot +	0		M	N
5.2	Minder melkbeurten (2x ipv 3x daags)	M	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0		J	M
5.3	Weidegang (8 uur/dag)	M	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	+	+	+	0/+	Toepasbaar alleen bij biologisch, en vaak geen huiskavel beschikbaar hiervoor	N	N

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingsprincipe	Toepasbaar bij: B =Bestaande stal; N = nieuwe te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG=Natuurlijk geventileerd; MGS= (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N= nee; J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
6	Maatregelengroep olie-/waterfilm											
6.1	Oliefilm op stropakket via leiding/nozzles (1xdaag; koolzaadotie)	T, S	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	+ tot ++	+ tot ++	+ tot ++	0	Niet toepasbaar i.v.m. uiergezondheid	N	N
6.2	Oliefilm op vloeroppervlak (niet de stropot)	T, S	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0	Niet toepasbaar i.v.m. uiergezondheid	N	N
6.3	Slightly acidic electrolyzed water (SAEW) spray, op stropot	T, S	Opname lucht ↓ en pH ↓	B+N	NG+M GS	0 tot +	0 tot +	0 tot +	0/-	Niet toepasbaar i.v.m. uiergezondheid	J	N
6.4	Vernevelen van water voorafgaand aan uitmesten	T, S	Opname lucht ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0 tot +	0 tot +	0	Vereist integrale aanpak ter voorkoming van verontreiniging van oppervlaktewater	J	M

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijstelsel of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuwe te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid: N = nee; J = ja (of voorwaardelijk ja); M = misschien	Weergave draagvlak: N = nee; J = ja; M = misschien
7	Maatregelengroep biosecurity en diergezondheidsmanagement											
7.1	Quarantine aangevoerde dieren	S, T	Voorkomen insleep van bedrijfsvreemde micro-organismen	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Good practice	J	J
7.2	Routering in de stal (bijv. jongvee naar volwassen)	M	Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0/+	0	Good practice	J	J
7.3	Verhogen van diergezondheid op het bedrijf (luchtwezen, uier, darm...)	M	Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0/+	0/+	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.4	Uitslecteren supershedders specifieke bacteriën (bijv. S. lugdunensis) mbv melkcontrole	M	Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0/+	0/+	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.5	Vaccinatie tegen specifieke microorganismen uit de 23	M	Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0/+	0/+	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan) en integrale aanpak dierwelzijn (bulten door enten)	M	J
7.6	Reiniging/ schoonmaken watersysteem (wordt soms in gemest)	M, T	Manifestatie micro- organismen ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0/+	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.7	Erf/stal dicht t.a.v. personen	S, M	Insleep via mens ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.8	Schone/zuile weg principe erf	S, M	Insleep via mens ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.9	Spoelplaats voertuigen vuile weg	S, M	Insleep via mens ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.10	Aanwezigheid hygiënisluis/douche, bedrijfskleding, laarzenborstels, etc.	S, M	Insleep via mens ↓	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.11	Inlaat dicht t.a.v. vliegen/vogels	T	Insleep via vliegen/vogels ↓	B+N	MGS	0	0	0	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.12	Ongediertebestrijdingsplan	T, M	Insleep via muis, rat, etc.	B+N	NG+M GS	0	0	0	0	Good practice (bedrijfsgezondheidsplan)	J	J
7.13	Behandeling luchtinlaat (zie 11./12.)	T	Insleep via lucht ↓	B+N	MGS	0	0	0	0		J	M

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijstelsel of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B =Bestaande stal; N = nieuwe te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG=Natuurlijk geventileerd; MGS= (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N= nee; J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
8	Maatregelengroep ionisatie (in de stal) en andere methoden voor afvangen stof											
8.1	Titaniumhoudende coating van muur + UV	B, S, T	Kan geurcomponenten afbreken	B+N	NG+M GS	0	0	0		N.v.t. (score 0) en UV onveilig	N	N
8.2	Ionisatie stallucht	T,S	Concentraties ↓	B+N	NG+M GS	0/+ tot ++	0/+ tot ++	0 tot ++	0	Waarborging brandveiligheid vereist	M	J
8.3	Ionisatoren met koolstofborsteltjes	T,S	Concentraties ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0 tot 0/+	0	Waarborging brandveiligheid vereist	J	J

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijstelsel of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N= nee; J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
9	Maatregelengroep stalklimaat											
9.1	Potvloerkoeling mbv water	T,M	Manifestatie microorganismen ↓	B+N	NG+M GS	0	?	?	0/+	Vergt systeemontwikkeling	M	M
9.2	Luchtsnelheid verlagen (Door hoge luchtsnelheden en turbulenties in luchtstromen te voorkomen kan het neerslaan van stofdeeltjes worden bespoedigd) bijv. door geautomatiseerd natuurlijk ventileren	T,M	Sedimentatie ↑	B+N	MGS, NG (bijv. windb reekgaa s)	0/+	0/+	0/+	0/+	Vooral van toepassing in de zomer	J	J
9.3	Luchtvochtigheid verhogen (Door het vergroten van de luchtvochtigheid, bijvoorbeeld door het vernevelen van kleine waterdruppeltjes, nemen deeltjes water op, worden groter en zwaarder en slaan daardoor eveneens sneller neer. Deze aanpak lijkt voornamelijk effectief bij hoge luchtvochtigheden en voor de grotere deeltjes)	T,M	Sedimentatie ↑	B+N	NG+M GS	+	0/+	0/+	-/0	Veelal in strijd met optimaal stalklimaat. Vergt een integrale aanpak, inclusief diergezondheid en dierwelzijn	N	N
9.4	Dak-isolatie	S	Ventilatievolume ↓	B+N	NG+M GS	0/+	0/+	0/+	0/+	Win-win met dierwelzijn	J	J

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijstelsel of stal	Werkingsprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N= nee; J= ja (of voorwaardelijk ja); M= misschien	Weergave draagvlak: N=nee; J= ja; M= misschien
10	Maatregelengroep ventilatie											
10.1	Debiet + luchtcooling (Door de ingaande lucht te koelen, bijvoorbeeld door koeling met grondwater (van circa 10 °C), kan worden volstaan met een kleiner luchtdebiet en zijn emissies lager - vooral in de zomer), PAD koeling	T	Ventilatievolume ↓	N	MGS	+	+	+	+	Win-win met dierwelzijn in de zomer	J	M
10.2	Debiet + omdr. dag-/nachtritme	M	Ventilatievolume ↓	B+N Daglicht- dichte stallen	NG+M GS	+	+	+	+	Niet toepasbaar vanwege dierwelzijn	N	N
10.3	Recirculeren + beh. 11./12. (>60% praktisch onhaalbaar; verschil tussen recirculatie-debiet en ventilatie-debiet)	S,T	Zie 11./12.	B+N	MGS	0/+	0/+	0/+	0	Praktisch is recirculatie vanwege bepekt debiet nog onvoldoende effectief	N	M

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingsprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid: N = nee; J = ja (of voorwaardelijk ja); M = misschien	Weergave draagvlak: N = nee; J = ja; M = misschien
11	Maatregelengroep 'end of pipe' bestaand (verwijdering ammoniak, geur en fijnstof)											
11.1	Warmtewisselaar om in de winter warmte uit ventilatie te kunnen terugwinnen in combinatie met filtering van uitgaande lucht op fijnstof	T,S	Impactie	B+N	MGS	+ tot ++	+ tot ++	+ tot ++	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.2	Droogfilterwand	T,S	Impactie	B+N	MGS		++	+	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.3	Grofstoffilters	T,S	Filtratie	B+N	MGS	+++	+++	+	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.4	Absoluutfilters	T,S	Filtratie	B+N	MGS	++++	++++	++++	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.5	Elektrostatische precipitator (ESP)	T,S	Ionisatie	B+N	MGS	++	++	++	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.6	Biobed (biofilter)	T,S	Filtratie + microb. omz.	B+N	MGS	++++	++	?	70%	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	M	M
11.7	Simpele waterwassers	T,S	Wash-out	B+N	MGS	++	+ tot ++	+ tot ++	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.8	Chemische luchtwassers obv zwavelzuur	T,S	Wash-out + chem.omz.	B+N	MGS	++	+ tot ++	+ tot ++	70-95%	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.9	Warmtewisselaar met koeling- en luchtwassen	M, T	Lagere temperatuur (en dus lager debiet, in zomer) en lagere luchtvochtigheid (in winter); Wash-out	B+N	MGS	++	+ tot ++	+ tot ++	++ tot ++++	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
11.10	Biologische luchtwassers	T,S	Wash-out + microb.omz.	B+N	MGS	+++	++ tot +++	?	70-85%	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	M	M
11.11	Gecombineerde luchtwassers	T,S	Combinatie 11.7- 11.9	B+N	MGS	++++	+++ tot ++++	?	70-90%	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	M	M
11.12	Cycloon stofafscheider	T, S	Stofcentrifuge	B+N	MGS	+ tot ++++	+ tot ++++	+ tot ++++	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijstelsel of stal	Werkingssprincipe	Bestaande stal; N = nieuwe te bouwen of grondig te renoveren stal	Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toegevoegde waarde	Weergave toepasbaarheid: N = nee; J = ja (of voorwaardelijk ja); M = misschien	Weergave draagvlak: N = nee; J = ja; M = misschien
12	Maatregelengroep 'end of pipe' desinfectie											
12.1	Luchtwassings met chloriden	T,S	Chem. oxidatie	B+N	MGS	+	+	++++	+	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.2	Luchtwassings met ozon	T,S	Chem. oxidatie	B+N	MGS	+	+	++	+	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.3	Luchtwassings met peroxide	T,S	Chem. oxidatie	B+N \	MGS	+	+	++	+	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.4	Luchtwassings met peroxone	T,S	Chem. oxidatie	B+N	MGS	+	+	+++	+	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.5	Luchtwassings met per-azijnzuur	T,S	Chem. oxidatie	B+N	MGS	+	+	++++	++++	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.6	Luchtwassings met EOW	T,S	Chem. oxidatie	B+N	MGS	+	+	+++	+	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.7	Fysische nabeh. met UVc-straling	T,S	UVc-behandeling	B+N	MGS	0	0	+++ tot ++++	0	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.8	Fysische nabeh. met koude plasma	T,S	Koude plasma beh.	B+N	MGS	+++	+++	++++	+++	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M
12.9	Fotokatalytische nabehandeling (titanium + UVC)	T,S	Fotokatalyse = ozonproductie. Combinatie van UVC straling en ozonvorming is desinfecterend	B+N	MGS	0	0	+++	+	Alleen geschikt voor stallen met mechanische ventilatie	J	M

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N = nee; J = ja (of voorwaardelijk ja); M = misschien	Weergave draagvlak: N = nee; J = ja; M = misschien
13	Maatregelengroep out-of-pipe											
13.1	Uitstroom ombuigen naar verticaal	T,S	Verdunning atm. ↑	B+N	MGS	0	0	0	0	N.v.t.	J	M
13.2	Verticale uitstroomsnelheid ↑	T,S	Verdunning atm. ↑	B+N	MGS	0	0	0	0	N.v.t.	J	M
13.3	Emissiepunt verhogen	T,S	Verdunning atm. ↑	B+N	MGS	0	0	0	0	N.v.t.	J	M
13.4	Verplaatsen emissiepunt	T,S	Vergroten afstand	B+N	MGS	0	0	0	0	N.v.t.	J	M
13.5	Vegetatieve buffers rond stal	B	Impactie	B+N		0/+	0/+	0/+	0	Vereist zijn wintergroene bomen (zoals dennen of coniferen) van 6 meter hoog; Afhankelijk van situering bedrijfslocatie	M	M

Nummer	Maatregel	Type: B = maatregel buiten het bedrijf; M = managementmaatregel; S = maatregel t.a.v. stalontwerp; T = techniek aanvullend op reguliere houderijsysteem of stal	Werkingprincipe	Toepasbaar bij: B = Bestaande stal; N = nieuw te bouwen of grondig te renoveren stal	Toepasbaar bij: NG = Natuurlijk geventileerd; MGS = (deels) mechanisch geventileerde stallen	Score voor reductie van fijnstof (PM10)	Score voor reductie van endotoxinen	Score voor reductie van bacteriën	Score voor reductie van ammoniak	Toepasbaarheid	Weergave toepasbaarheid N = nee; J = ja (of voorwaardelijk ja); M = misschien	Weergave draagvlak: N = nee; J = ja; M = misschien
14	Maatregelengroep stalontwerp											
14.1	Mestbe-/verwerking in afgesloten, mechanisch geventileerde ruimte, in combinatie met end-of-pipe maatregel. Doel is voorkomen van (piek)emissies en verwaaiing	S	Opname lucht ↓	B+N		+++ op buiten mesthoop-emissie	+++ op buiten mesthoop-emissie	+++ op buiten mesthoop-emissie	0/+	Toepasbaar bij nieuwbouw of renovatie	J	M
14.2	Geen strooisel, dit betekent ook: geen stropot. Daarom huisvesting op rooster of wellicht op beton (dichte vloer). Scores hier onder voorwaarde dat nieuwe systeem de PM10 emissiebijdrage uit mest met minimaal 50% vermindert tov het potstalsysteem	S	Bron: stro(isel) ↓ en Bron: mest ↓	N	NG, MGS	++-+++	+ tot +++	+ tot ?	++ tot +++	Misschien toepasbaar mits doorontwikkeld. Integrale aanpak met o.a. dierwelzijn (omgevingstemperatuur) en diergezondheid nodig	J	M
14.3	Beekdalstal (uit WLR Rapport Puentes et al 2025): gericht op maximale emissiereductie (o.a. ammoniak); 50% doorlatende roostervloer met mestbandsysteem eronder; geen strooisel; plateaus langs de wanden zonder emissiereductie met stimulans om daar niet te urineren	S	Bron: stro(isel) ↓ en Bron: mest ↓	N	NG, MGS	++ tot +++	+ tot +++	+ tot ?	++ tot +++	Misschien toepasbaar mits doorontwikkeld. Integrale aanpak met o.a. dierwelzijn (omgevingstemperatuur) en diergezondheid nodig	M	M
14.4	Tribunestal (uit WLR Rapport Puentes et al 2025): gericht op maximale dierenwaardigheid; geïnspireerd op ervaringen met BlijGeit concept; diergedrag en behoeften meikelt als uitgangspunt; excretiegedrag ook meegenomen. Coating ivm urease en porositeit. Een helling van 6% waar feces en urine van afglijden. 2/3 van oppervlakte wordt gevormd door tribunes; op de resterende 1/3 oppervlak wordt stropotsysteem toegepast	S	Bron: stro(isel) ↓ en Bron: mest ↓	N	NG, MGS	0/+ tot ++	0/+ tot ++	0/+ tot ++	0/+ tot ++	Misschien toepasbaar mits doorontwikkeld. Integrale aanpak met o.a. dierwelzijn (omgevingstemperatuur) en diergezondheid nodig	M	M
14.5	Nieuw ontwerp (uit WLR Rapport Puentes et al 2025): vochtdoorlatende vloer voor afvoer urine en zuigrobots om mest af te voeren	S	Bron: stro(isel) ↓ en Bron: mest ↓	N	NG, MGS	++ tot +++	+ tot +++	+ tot +++	++ tot +++	Misschien toepasbaar mits doorontwikkeld. Integrale aanpak met o.a. dierwelzijn (omgevingstemperatuur) en diergezondheid nodig	M	M
14.6	Podiumstal: Nieuw ontwerp (uit WLR Rapport Puentes et al 2025): Tribunes tegen muur met mestopslag eronder, van tribune tot voerrek loopgebied - vloer heeft laagje stro of iets anders dat absorbeert, mestschuivers schuiven dit in de mestopslag onder de tribune. Onderdruk en luchtwassers op de mestopslag resulteren in sterk gereduceerde ammoniakemissie	S	Bron: stro(isel) ↓ en Bron: mest ↓	N	NG, MGS	++ tot +++	+ tot +++	+ tot +++	++ tot +++	Misschien toepasbaar mits doorontwikkeld. Integrale aanpak met o.a. dierwelzijn (omgevingstemperatuur) en diergezondheid nodig	J	M
14.7	VrijLevenStal: Nieuw stalontwerp met zand ipv strooisel en klimfaciliteiten (zand en bergen (klimtoestellen)) - urine afvoer onder zandbed, mest frequent paneren en uitzeven of verwijderen met robot	S	Bron: stro(isel) ↓ en Bron: mest ↓	N	NG, MGS	++ tot +++	++ tot +++	++ tot +++	+ tot +++	Misschien toepasbaar mits doorontwikkeld. Integrale aanpak met o.a. dierwelzijn (omgevingstemperatuur) en diergezondheid nodig	M	M

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

