

Biologisk luftrensning i grisestalde

- Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyr-godkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Peter Kai¹, Michael Jørgen Hansen¹, Gustav M. Callesen² og Brian H. Jacobsen²

¹Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet

²Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



Datablad

Titel:	Biologisk luftrensning i grisestalde - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav
Forfattere:	Seniorrådgiver Peter Kai og seniorforsker Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU Videnskabelig assistent Gustav M. Callesen og Lektor Brian Jacobsen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU
Fagfællebedømmelse:	Seniorrådgiver Lise Bonne Guldborg, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Johanna Höglund, specialkonsulent Anna Feldberg Marsbøll og akademisk medarbejder Majbrit Guldborg, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Miljøministeriet (MIM) Departementet
Dato for bestilling/levering:	25.02.2019/24.11.2022
Faglig redaktion afsluttet:	01.10.2021
Journalnummer:	2022-0448024
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet. I tillæg er afsnittet om økonomi finansieret af KU.
Ekstern kommentering:	Udkast til notatet blev præsenteret og diskuteret ved møder afholdt i en følgegruppe nedsat af Departementet. Følgegruppen bestod ud over Departementet af repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Danmarks Naturfredningsforening, Kommunernes Landsforening, København Fur, Landbrug & Fødevarer og Økologisk Landsforening. Følgegruppen har ligeledes haft mulighed for at kommentere skriftligt på udkast til notatet. Kommentarerne og AUs håndtering kan findes via dette LINK .
Eksterne bidrag:	KU har skrevet notatets afsnit om økonomi. Økonomiafsnittet består af udtræk fra notater omhandlende økonomisk analyse af driftssystemer og miljøteknologier udarbejdet af KU.
Kommentarer til bestilling:	Miljøministeriet (MIM) Departementet har bedt AU om at revidere det tekniske grundlag for BAT i Danmark jf. bestilling af 25. februar 2019 benævnt "BAT-projektet". Bestillingen er opdateret d. 16. august 2019. Forventninger til omfang og detaljeringsgrad er løbende blevet opdateret. MIM Departementet har ønsket en samlet slutlevering af hele BAT-projektet.
Kommentarer til besvarelse:	Notatet har ikke været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Ophavsret:	Notatet er omfattet af gældende regler om ophavsret.
Citeres som:	Kai, P, Hansen, MJ., Callesen, GM. og Jacobsen, BH. 2022. Biologisk luftrensning i grisestalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 38 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Forord

Det er en af de grundlæggende betingelser for at opnå miljøgodkendelse, at ansøgninger om etablering eller udvidelse af husdyrbrug med en ammoniakemission, der overstiger 750 kg NH₃-N per år, har truffet de nødvendige foranstaltninger til at forebygge og begrænse ammoniakforureningen ved anvendelse af den bedste tilgængelige teknik (BAT).

Formålet med dette projekt har været at opdatere det faglige grundlag for en efterfølgende politisk fastsættelse af grænseværdier for ammoniakemission (BAT-krav), der anvendes ved miljøgodkendelse af husdyrbrug.

Projektet er gennemført som et samarbejde mellem Aarhus universitet (AU) og Københavns Universitet (KU). Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU har været projektleder i forhold til den tekniske og miljømæssige beskrivelse af effekter af stalde og teknologier, mens lektor Brian H. Jacobsen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU, har været projektleder for de økonomiske analyser.

Som led i projektet har AU og KU udarbejdet en serie notater, der omfatter nærmere definerede driftssystemer og teknologier indenfor driftsgrenene grise, kvæg, fjerkræ og mink:

Driftssystembeskrivelser er notater, der beskriver den typiske indretning og drift af specifikke stald- og stityper til bestemte dyregrupper og de dermed forbundne emissioner af ammoniak, lugt og drivhusgasser samt de vigtigste ressourceforbrug, der knytter sig til produktionen. Notaterne er udarbejdet af AU. Driftssystembeskrivelserne indeholder med få undtagelser økonomiske nøgletal, som er udtræk fra økonomi-notater udarbejdet af KU.

Teknologibeskrivelser er notater, der beskriver specifikke typer af teknologier og deres miljøeffekt, når de anvendes i specifikke stald-/stityper og de dermed forbundne ressourceforbrug og emissioner af ammoniak og lugt. Teknologibeskrivelsernes tekniske og miljømæssige del er udarbejdet af AU, mens de økonomiske nøgletal er udtræk fra økonomi-notater udarbejdet af KU.

Økonomiske udrednings- og dokumentationsnotater beskriver dels forudsætningerne for økonomiske analyser af virkemidler til reduktion af ammoniakemissionen i husdyrproduktionen samt de økonomiske konsekvenser forbundet med anvendelse af stalde og teknologier. Disse er udarbejdet og publiceret af KU.

Som opsummering er der for hver driftsgren (for grise opdelt på produktionstype) udarbejdet et **resumé- og analysenotat**, der sammenholder miljømæssige og økonomiske effekter ved anvendelsen af stalde og teknologi, herunder i diverse kombinationer og som funktion af husdyrholdets størrelse.

Biologisk luftrensning i grisestalde

Resumé

Emission af ammoniak		Biologisk luftrensning kan reducere emissionen af ammoniak fra grisestalde. Effektiviteten afhænger af anlægstype og drift.
Emission af lugt		Biologisk luftrensning kan reducere emissionen af lugt fra grisestalde. Effektiviteten afhænger af anlægstype og drift.
Emission af støv		Udledningen af støv fra staldanlæg til det omgivende miljø reduceres. Der er ingen effekt på støvindholdet i stalddrummet.
Emission af drivhusgasser fra stald		Biologisk luftrensning har ingen eller meget begrænset effekt på metanemissionen. Omsætning af kvælstof i biologiske luftrensningsanlæg og dertil hørende lagring af lænsevand kan give anledning til produktion af lattergas.
Energi		Der er øget energiforbrug til drift af ventilationsanlæg og vandpumper.
Affald og spildevand		Lænsevand fra biologiske luftrensningsanlæg kan opbevares i gylletank sammen med grisegylle.
Miljøfremmede stoffer		Ingen dokumenteret effekt. Der produceres sandsynligvis ingen miljøfremmede stoffer.
Virkning på lager og mark		Indholdet af kvælstof i lænsevand fra biologiske rislefiltere fordeler sig typisk med halvdelen på ammonium-form og halvdelen som nitrit og nitrat. Lagret i gylletank og udbragt sammen med den øvrige husdyrgødning skønnes det, at ca. 80% af lænsevandets kvælstofindhold kan udnyttes i marken.
Driftssikkerhed		Biologiske luftrensere optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste anses for driftssikre.
Merinvestering		Analysen omfatter investeringer i luftrensere og kanaler ved 10, 20, 40 og 100% luftrensning. Investeringen udgør 190-1334 kr. per stiplads for slagtegrise, 85-536 kr. per stiplads for smågrise og 255-1.535 kr. per årso.
Driftsomkostninger		De samlede driftsomkostninger udgør 43-303 kr. per m ² produktionsareal i slagtegrisestalde, svarende til 8-52 kr. per produceret slagtegris. For smågrisestalde er meromkostningerne 43 til 259 kr. per m ² produktionsareal svarende til 2-13 kr. per produceret smågris. For sotalde udgør meromkostningerne 21 til 208 kr. per m ² produktionsareal svarende til 37 til 227 kr. per årso. Meromkostningerne udgør 1-18% af de samlede produktionsomkostninger.
Omkostningseffektivitet		Omkostningseffektiviteten ved biologisk luftrensning er opgjort til 58 til 391 kr. per kg NH ₃ -N for slagtegrisestalde, 67 til 529 kr. per kg NH ₃ -N for smågrisestalde, og 47 til 459 kr. per kg NH ₃ -N for sotalde.
Referencesystem		Samme dyrekategori og staldtype uden luftrensning.

Definitioner

- Biofilter: Luftrensere, hvor den forurenede luft ledes gennem en - ofte organisk - filtermatrice, som holdes fugtig, men ikke vandmættet, og hvor der ikke produceres lænsevand i større mængde.
- Delluftrensning: Luftrensning af en delluftstrøm af ventilationsluften. Normalt er delluftstrømmen prioriteret i forhold til den andel af ventilationsluften, der ledes urensset ud af stalden.
- Filter/filtermedium/filtermatrice: Struktur, som ventilationsluften ledes igennem med henblik på filtrering af luftens urenheder. Filtermatricen i biologiske rislefiltere er ofte fremstillet af imprægneret cellulose eller plastmateriale og har en tredimensionel opbygning, der dels giver stor grænseflade mellem skrubbervand og ventilationsluft og dels skaber overflade for vækst af mikroorganismer.
- Fuld luftrensning/100% luftrensning: Dimensionering af et luftrensningsanlæg, så al ventilationsluften fra en stald ledes gennem luftrenseren.
- Gulvudsugning: Ventilationsprincip, hvor ventilationsluften – helt eller delvist - ventileres via udsugningsåbninger lokaliseret i gyllekummen, typisk med indstik til en ventilationshovedkanal lokaliseret under inspektionsgangen. 100% gulvudsugning er tidligere anvendt i især farestalde på grund af forbedret indeklima. Gulvudsugning er typisk mere energikrævende end traditionel staldventilation, og samtidig øges især ammoniakfordampningen fra gylleoverfladen som følge af øget luftskifte/luft hastighed hen over gyllen i gyllekanalen. For lugtstoffer ses en anden lugtstoffsammensætning i afkastluft fra gulvudsugning, herunder punktudsugning, sammenlignet med afkastluft fra almindelig staldventilation.
- Lattergasproduktion, direkte: Emission af lattergas fra stalde, gødningslagre og landbrugsjord.
- Lattergasproduktion, indirekte: Sekundær emission af lattergas som dannes på baggrund af ammoniak og NO_x udledt fra stalde, gødningslagre og landbrugsjord. Ammoniak og NO_x deponeres efterfølgende i naturen, hvor en vis andel undergår nitrifikation og efterfølgende denitrifikation med deraf følgende dannelse af lattergas, som fordamper.
- Luftvasker: Luftrensere, hvis funktionsprincip primært baserer sig på absorption af forureningsgasser i væskedråber i et reaktionskammer. Vanddråberne dannes ved anvendelse af dyser og lignende og fjernes fra luften ved hjælp af et dråbefang.
- Lænsevand: Procesvand som pumpes (lænses) fra luftrenseren til ekstern lagring; typisk en gylletank. Lænsevandet indeholder ammoniak og andre kvælstofforbindelser, lugtstoffer og støvpartikler, og fjernes fra luftrenseren med henblik på at opretholde en passende kvalitet af det recirkulerede vand i luftrenseren, så luftrenserens renseseffektivitet opretholdes.
- Nitrifikationshæmmer: Kemisk forbindelse, som sænker den hastighed, hvormed bakterier i jorden omdanner ammonium til nitrat i en proces kaldet nitrifikation. Ved tilstedeværelsen af nitrifikationshæmmer hæmmes nitrifikationens første trin, hvorved ammonium forbliver på ammoniumform i stedet for at blive omdannet nitrit.
- Punktudsugning: Type af gulvudsugning, hvor 10-20% af den samlede ventilationskapacitet ventileres via udsugningsåbninger lokaliseret i gyllekummen under lejearealet i stien eller under de første spalter ved siden af lejearealet. Punktudsugningen prioriteres i forhold til rumventilationen.
- Rislefilter: Luftrensere, hvor den forurenede luft ledes gennem en inert filtermatrice, som overrisles med procesvand. Ved passage af luften absorberes forureningsgasserne i en biofilm på overfladen af filtermatricen.

Beskrivelse

Biologiske luftrensningsanlæg, der anvendes til rensning af ventilationsluft fra grisestalde, opdeles typisk i tre hovedgrupper: biologiske luftvaskere, biologiske rislefiltre og biofiltre. Da Miljøstyrelsens teknologiliste pt. kun har optaget biologiske rislefiltre, omtales kun disse i det følgende.

Biologiske luftrensere af typen rislefiltre er konstrueret af inerte filterelementer, som løbende overrisles med recirkuleret vand fra et eller flere underliggende kar. Når forurenede staldluft passerer igennem filtret, absorberes ammoniak, lugtstoffer og støvpartikler i vandfilmen på filtrets overflade. En del af den fjernede ammoniak omsættes via nitrifikation til nitrit og nitrat og kræver løbende fjernelse (lænsning) for at undgå hæmning af filtrets mikrobiom og dermed nedsættelse af den biologiske omsætning af blandt andet lugtstoffer (Ottosen et al., 2011). Biologiske rislefiltre kan reducere både ammoniak, lugt og støv.

Det er pt. tre biologiske luftrensere af typen rislefiltre opført på Miljøstyrelsens teknologiliste. Disse beskrives i det følgende (se Figur 1 for illustrering af biologisk to-trins rislefilter):

Farm AirClean BIO Flex 2-stage (SKOV A/S)

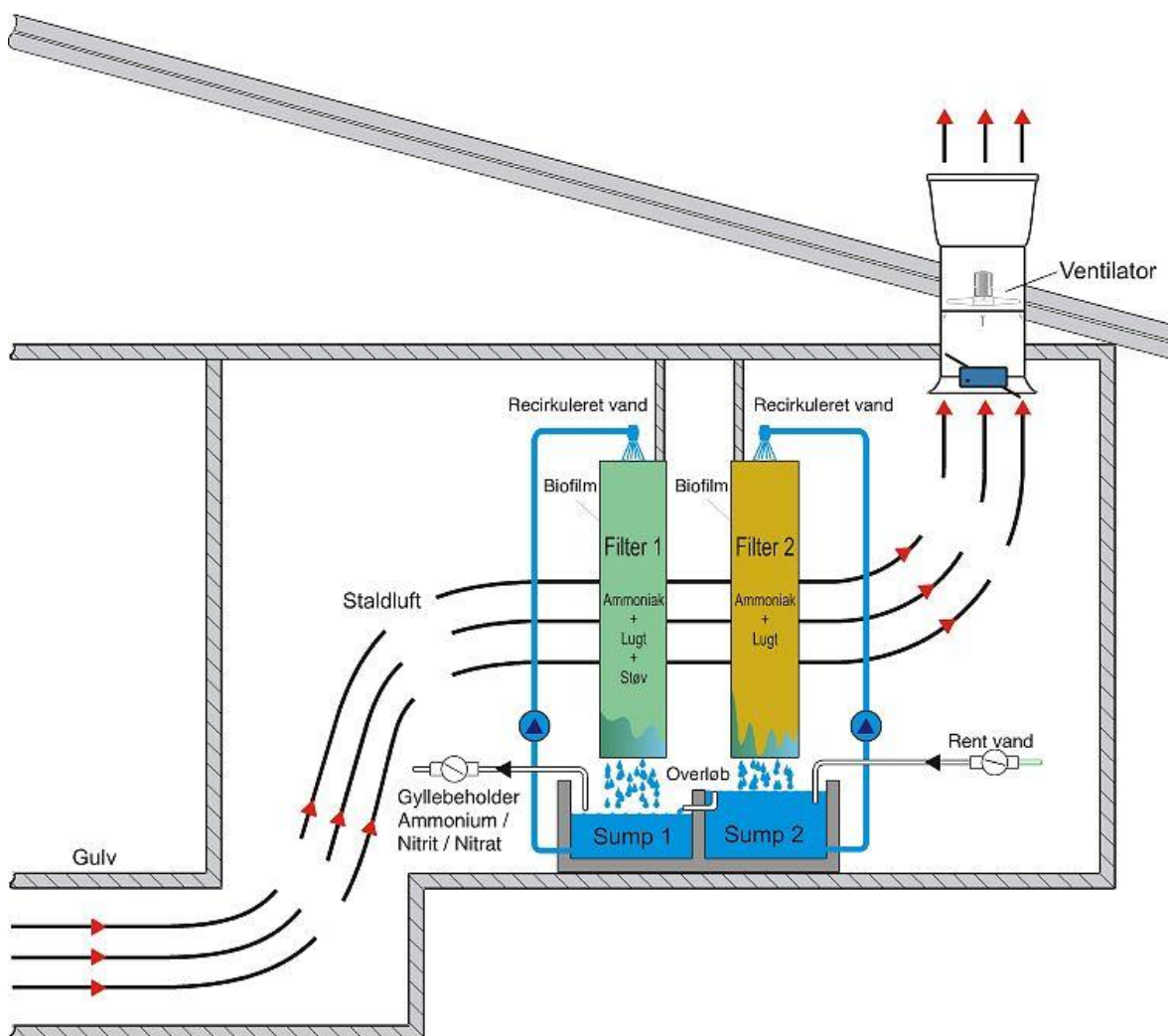
Farm AirClean BIO Flex 2-stage er en biologisk luftrenser af typen rislefilter bestående af to rækker befugtede cellulosefilter-elementer, som er monteret lodret i et hus eller kabinet. Både det første og det andet trin i luftrenseren består af 15 cm tykke cellulosefiltre. Hver filterrække er 2,0 m høj. Bredden af filtrene kan være fra 2 til 50 m (anlægslængde) afhængig af den maksimale ventilationskapacitet for luftrenseren. Filtrene overrisles med recirkuleret vand fra et vandkar lokaliseret under hver filterrække. Rent vand tilføres i karret under anden filterrække, hvor der er overløb til karret under første filterrække. Tilførsel af rent vand styres af vandniveauet i karret under første filterrække. For at undgå akkumulering af uønskede stoffer, herunder nitrit, som hæmmer den mikrobielle omsætning, pumpes (lænses) der jævnlige vand fra karret under første filterrække (Ottosen et al., 2011). Mængden af læns vand bestemmes af vandets konduktivitet (ledningsevne) i karret under anden filterrække. Et automatisk vaskesystem rengør første filterrække med jævne mellemrum for at fjerne støv og overskydende biomasse. En perforeret plade er monteret foran første filterrække med henblik på at fordele luften jævnt over filtrets frontareal og for at for-separere støv i luften.

Luftrenseren er testet og godkendt med en maksimum-kapacitet på 3600 m³ luft/time per m² frontareal (MELT, 2014).

Farm AirClean BIO Flex 3-stage (SKOV A/S)

Farm AirClean BIO Flex 3-stage minder i opbygning om den foregående, men er opbygget af tre rækker befugtede cellulosefiltre, som ligeledes er monteret lodret efter hinanden. Første og anden filterrække består af 15 cm cellulosefilter-elementer svarende til første og anden filterrække i 2-stage versionen ovenfor og som tilsvarende overrisles. Den tredje filterrække er 60 cm og fungerer som et biofilter uden løbende overrisling. Hver filterrække er 2,0 m høj. Bredden af filtrene kan være fra 2 til 50 m (anlægslængde) afhængig af den maksimale ventilationskapacitet for luftrenseren.

Luftrenseren er testet og godkendt med en maksimum-kapacitet på 2100 m³ luft/time per m² frontareal (MELT, 2015).

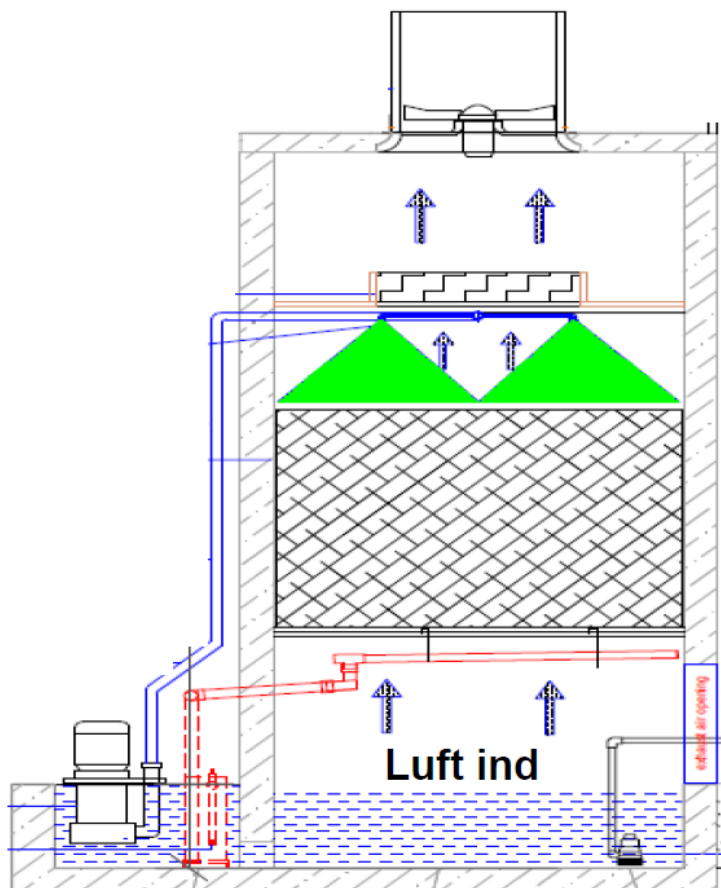


Figur 1. Skitse af biologisk to-trins risefilter fra SKOV A/S (Kilde: SKOV A/S).

BAC-1 (KJ Klimateknik A/S)

BAC-1 er en biologisk luftrensning, der er opbygget af filterelementer bestående af polypropylen (Figur 2). Filteret er opbygget af tre lag bestående af henholdsvis et 30 cm filterelement med en specifik overflade på $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$, et 30 cm filterelement med en specifik overflade på $120 \text{ m}^2/\text{m}^3$ samt til sidst et 120 cm filterelement med en specifik overflade på $240 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Over filterelementerne er der monteret kegledyser til at overrisle filtrene, $1,5 \text{ dyse}/\text{m}^2$, der yder $13 \text{ l}/\text{min}$ ved et vandtryk på $0,5 \text{ bar}$ (Oldenburg, 2018). Over dyserne er der monteret et dråbefang. Filtrets samlede dimensioner er højde: $1,8 \text{ m}$, bredde: $1,8 \text{ m}$ og længde: $2,4 \text{ m}$. Luftrensningens tværsnitareal (frontareal) er $4,32 \text{ m}^2$ og filtervolumen er $7,78 \text{ m}^3$. Luften tilføres fra bunden af luftrensning og passerer lodret gennem filteret. Luftrensning har en nominel maksimumkapacitet på $14.000 \text{ m}^3/\text{time}$ svarende til 3.300 m^3 luft/time per m^2 frontareal. Filterelementerne overrisles kontinuerligt med recirkuleret procesvand fra et kar placeret i bunden af luftrensning. Vandets ledningsevne måles kontinuerligt i opsamlingskarret. Når vandets ledningsevne overstiger $30 \text{ mS}/\text{cm}$ bliver en del af procesvandet lænset, og der efterfyldes med frisk vand. Tilsvarende efterfyldes løbende frisk vand som erstatning for tab af vand som følge af fordampning. Vandpåfyldning reguleres af en niveaumåler i karret. Procesvandets pH-værdi monitoreres kontinuerligt ved hjælp af en pH-føler, idet pH-værdien justeres til et niveau på $6,3 - 6,8$ ved

tilsætning af henholdsvis koncentreret svovlsyre (96%) ved stigende pH-værdi, mens der ved fallende pH-værdi tilsættes N-Lock™. N-Lock™ er et firmaprodukt, der indeholder et nitrifikationshæmmende stof nitrapyrim, som hæmmer bakteriernes omdannelse af ammonium til nitrat.



Figur 2. Principskitse af BAC-1 biologisk luftrensning fra KJ Klimateknik A/S (Kilde: KJ Klimateknik A/S).

Godkendelser

Ovennævnte biologiske luftrensere er pt. godkendt til anvendelse ved fuld luftrensning og delvis luftrensning (se nedenfor). De er ikke godkendt til anvendelse i forbindelse med punktudsugning eller gulvudsugning.

Filtrene er endvidere dokumenteret i mekanisk ventilerede grisestalde, hvorfor de angivne miljøeffekter ikke kan forventes at være opnåelige i andre typer af stalde, fx naturligt ventilerede stalde og stalde, hvor grisene har adgang til udeareal.

Management

Anvendelse af biologisk luftrensning har ingen betydning for primærdriften i staldene. Luftrensere kræver dog løbende tilsyn og vedligeholdelse/service omfattende vurdering af filterenes beskaffenhed (støv, biofilm), vandingssystem inklusive dyser (tilstopning, jævn vandfordeling over filteroverflade), tilsyn, rengøring og kalibrering af diverse sensorer (pH-føler, trykføler, konduktivitetføler mv.). Dette bør foretages af fagpersoner.

Ammoniakemission

Tabel 1 viser dokumenterede ammoniakreduktioner for biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste. Dokumentationen af de nævnte luftrensere er baserede på gennemførte test i slagtegrisestalde i henhold til VERA testprotokollen for luftrensning. Det vurderes, at ammoniakreduktionerne med rimelighed kan betragtes som gældende for grisestalde med mekanisk ventilation ved anvendelse af fuld og delvis luftrensning.

Tabel 1. Ammoniakreduktioner af biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste. Ammoniakreduktionerne er gældende for den del af staldluften, som passerer gennem luftrenseren.

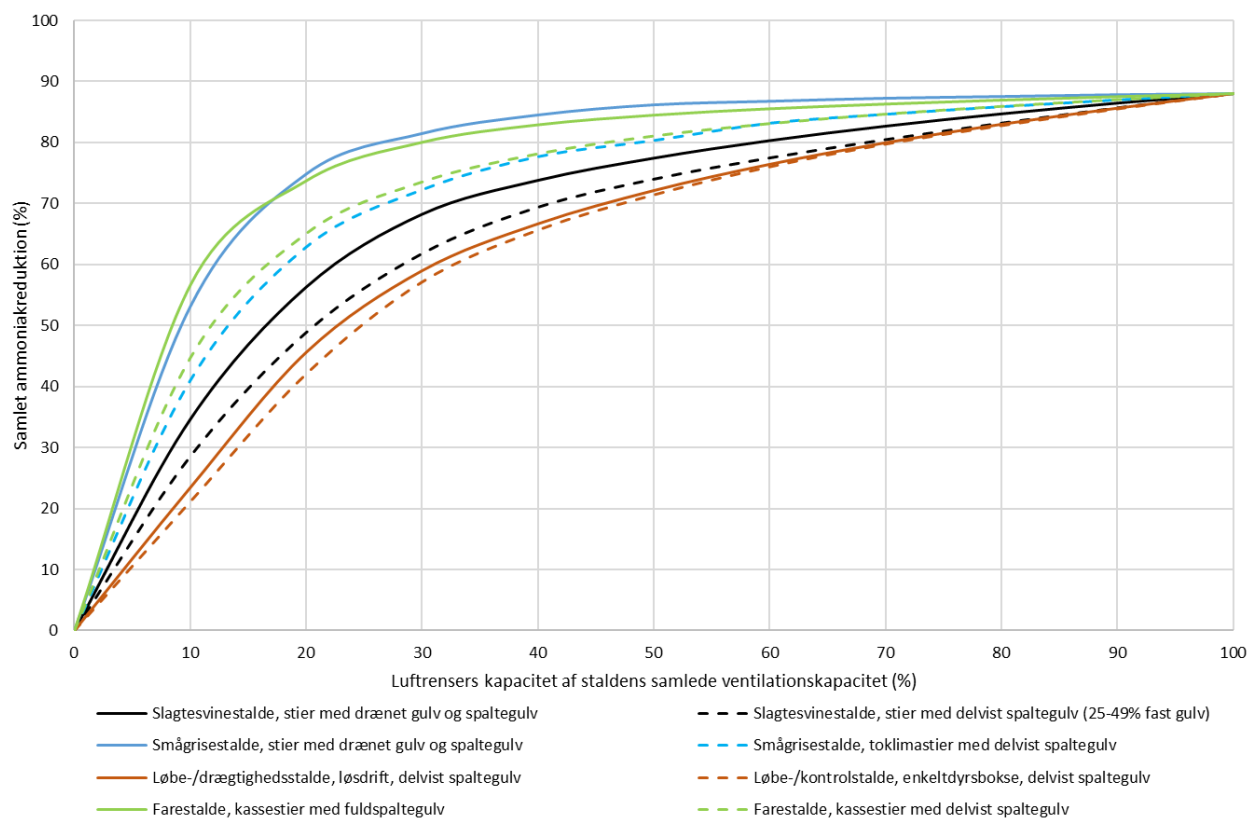
	Ammoniakreduktion (%)	Maksimal ventilationskapacitet (m ³ luft/time per m ² filter frontareal)
BAC-1 (KJ Klimateknik A/S) ¹	89	3300
Farm AirClean BIO Flex 2-stage (SKOV A/S) ²	88	3600
Farm AirClean BIO Flex 3-stage (SKOV A/S) ³	87	2100

Kilde: ¹MELT (2019), ²MELT (2014), ³MELT (2015).

Delluftrensning

Alle husdyrstalde skal ventileres kontinuerligt året rundt for at opretholde ønskede klimatiske tilstande i stalden. Om sommeren kører ventilationsanlægget med høj ydelse for at fjerne overskudsvarmen fra stalden, mens der om vinteren, når udetemperaturen er lav, anvendes en betydeligt mindre luftmængde til at opretholde en tilfredsstillende luftkvalitet. Typisk kører ventilationsanlægget i en slagtegrisestald med en ydelse på under 25% af staldens ventilationskapacitet i halvdelen af året. Dimensioneres et luftrensningsanlæg, så 25% af ventilationsanlæggets samlede kapacitet behandles i en luftrenser, vil al udsugningsluft blive rensset i halvdelen af årets timer (Kai et al., 2007). For at opnå den største effekt af delluftrensning prioriteres luftydelsen gennem luftrenseren, hvilket vil sige at al ventilationsluft ledes igennem luftrenseren, indtil luftrenserens kapacitet er nået. Først når staldens ventilationsbehov overstiger luftrenserens kapacitet, ledes ubehandlet luft ud af stalden via et eller flere almindelige ventilationsafkast.

Figur 3 viser generelle sammenhænge mellem årlig reduktion i ammoniakemissionen for forskellige kategorier af grise og staldtyper som funktion af luftrenserens kapacitet sat i forhold til staldens samlede ventilationskapacitet. Beregningerne er kun gældende for luftrensning, hvor ventilationsluften udsuges via loftsventilation eller lignende, og hvor luft til luftrenseren prioriteres i forhold til ventilationsluft, der udledes urensset. Figuren gælder ikke for gulvudsugning, herunder punktudsugning.



Figur 3. Sammenhæng mellem luftrensers kapacitet i forhold til den samlede ventilationskapacitet og den årlige reduktion i ammoniakemissionen ved anvendelse af en biologisk luftrensere med en renseeffekt på 88%. Figuren er ikke gældende for gulvudsugning, herunder punktudsugning.

Den årlige reduktion i ammoniakemissionen fra en given stalde afhænger ud over af luftrensersens renseeffektivitet og dimensionering af den anvendte ventilationsstrategi i stalden.

Appendiks A giver en samlet oversigt over effekt af forskellige niveauer af biologisk luftrensning på ammoniakemission, elforbrug, vandforbrug, lænsevand og arbejdstidsforbrug.

Gulvudsugning og punktudsugning

Delrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrensersens tilsluttes et punktudsugningsanlæg, som trækker en prioriteret del af luftmængden under spaltegulvet/det drænedede gulv i stierne. Ved denne fremgangsmåde koncentrerer en stor andel af ammoniak- og lugtemissionen i en lille luftmængde, som efterfølgende kan renses i en luftrensere.

Det er kun luftrensere optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste i forhold til gulv- eller punktudsugning, som kan anvendes. I skrivende stund er ingen biologiske luftrensere opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med angivelse af gulv- eller punktudsugning som mulighed.

Lugtemission

Tabel 2 viser dokumenterede lugtreduktioner for biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste. Dokumentationen af de nævnte luftrensere er baserede på gennemførte test i slagtegrisestalde i henhold til VERA testprotokollen for luftrensning. Det vurderes, at reduktionerne med rimelighed kan

betragtes som gældende for alle grisestalde med mekanisk ventilation ved anvendelse af fuld og delvis luftrensning.

Tabel 2. Biologiske luftrenseres effekt på lugtemissionen.

	Lugtreduktion (%)	Maksimal ventilationskapacitet (m ³ luft/time per m ² filter front-areal)
BAC-1 (KJ Klimateknik A/S)¹	68	3300
Farm AirClean BIO Flex 2-stage (SKOV A/S)²	74	3600
Farm AirClean BIO Flex 3-stage (SKOV A/S)³	81	2100

Kilde: ¹MELT (2019), ²MELT (2014), ³MELT (2015).

Delluftrensning

Lugtreduktionen beregnes ved maksimal ventilationsydelse i stalden direkte ud fra luftrenserens kapacitet i forhold til staldens samlede ventilationskapacitet samt luftrenserens lugtreduktionseffekt som:

$$\text{Lugtreduktion} = V_{\text{max,luftrenser}} \cdot V_{\text{max,stald}} \cdot R_{\text{luftrenser}} \quad [1]$$

hvor $V_{\text{max,luftrenser}}$ er luftrenserens maksimale ventilationsydelse (m³/time), $V_{\text{max,stald}}$ er staldens maksimale ventilationsydelse (m³/time), $R_{\text{luftrenser}}$ er luftrenserens renseseffektivitet (%).

Gulv- og punktudsugning

Samme beskrivelse som angives ved ammoniakemission. Ingen biologiske luftrensere er pt. godkendte til brug ved punktudsugning.

Støvemission

Reduktion i støvemissioner målt i biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste fremgår af Tabel 3.

Tabel 3. Biologiske luftrenseres effekt på støvemissioner.

Reduktion	Total-støv % (v/v)	PM10 ⁴ % (v/v)	PM2,5 ⁴ % (v/v)
BAC-1 (KJ Klimateknik A/S)¹	97	Ikke målt	Ikke målt
Farm AirClean BIO Flex 2-stage (SKOV A/S)²	70	79	87
Farm AirClean BIO Flex 3-stage (SKOV A/S)³	73	Ikke målt	Ikke målt

Kilde: ¹Sørensen (2019), ²MELT (2014), ³MELT (2015), ⁴Massen (vægten) af partikler med aerodynamisk diameter henholdsvis mindre end 10 µm (PM10) og 2,5 µm (PM2,5) per m³ luft.

Drivhusgasemissioner

Som følge af en lav vandopløselighed af metan i filtervæsken og en lav opholdstid i luftrenseren har biologiske luftrensere ingen eller kun meget beskedne effekt på fjernelse af metan fra staldluften (Van der Heyden et al., 2015). Biologiske luftrensere kan derimod resultere i dannelse af lattergas som følge af denitrifikation af skrubbevandets indhold af nitrit og nitrat. Undersøgelser af biologiske luftrensere har vist, at 2-5% af den frarensede ammoniak typisk omdannes til lattergas (N₂O) (Melse

et al., 2012; Van der Heyden et al., 2016). Omvendt er der en reduceret ammoniakemission fra stalden, hvilket reducerer den indirekte lattergasemission. Det ekstra kvælstof tilført med lænse vandet kan erstatte kvælstof i handelsgødning, som er forbundet med ammoniakemission efter udbringning afhængig af gødningsform (EMEP/EEA, 2019), anvendelse af nitrifikationshæmmere og udbringningsmetoder.

Ressourceforbrug

Tidsforbrug

Undersøgelser viser, at der afhængig af fabrikat og model samt størrelse af luftrensere skal påregnes et vist tidsforbrug til tilsyn og vedligeholdelse af luftrensere. Tabel 4 viser dokumenterede totale tidsforbrug til tilsyn og vedligeholdelse af biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste. De anførte tidsforbrug er baseret på testforløb over et år og omfatter landmandens eget tidsforbrug til almindeligt tilsyn. Dertil kommer tidsforbrug til større vedligeholdelsesopgaver, som typisk påhviler leverandøren af luftrenseren eller en person med tilsvarende faglig kompetence. Dette tidsforbrug forudsættes indeholdt i en serviceaftale. Der er ikke fundet specifikke data vedrørende Farm AirClean BIO Flex 2-stage. Det formodes, at der ikke er større forskel i tidsforbrug mellem denne og 3-stage modellen fra samme firma.

Ved central-luftrensningsanlæg samles luften fra de enkelte staldsektioner og transporteres i store kanaler til en centralt placeret luftrenser. Eventuelt tilsyn og vedligeholdelse af kanalsystemerne er ikke inkluderet i nedenstående tabel 4.

Tabel 4. Tidsforbrug til landmandens tilsyn af biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste.

	BAC-1 ¹	Farm AirClean BIO Flex 2-stage	Farm AirClean BIO Flex 3-stage ²
Tidsforbrug i alt, min./år	832	-	2000
Filter-frontareal, m²	4,32	-	10,0
Tidsforbrug, min./år per m² filterfront	193	-	200

Kilde: ¹Sørensen et al. (2019), ²Riis (2012).

Tabel 5 tabulerer det estimerede tidsforbrug ved 100% luftrensning for relevante grisestalde. Estimerterne er baseret på baseret på produktspecifikke tidsforbrug tabuleret i Tabel 4.

Tidsestimaterne i Tabel 5 er beregnet som følger:

$$T_d = \frac{V_{max} \cdot T_{renser}}{L_{max} \cdot P} \quad [2]$$

hvor T_d er det estimerede tidsforbrug per produceret dyr (minutter per produceret gris eller årso), T_{renser} er det produktspecifikke tidsforbrug fastlagt ved test jævnfør Tabel 4 (minutter/år per m² filterfrontareal), V_{max} er den maksimale ventilationsydelse per stiplads (slagtegrise: 100 m³/time; smågrise: 40 m³/time; søer, gylte, orner og polte i løbe-/drægtighedsstalde: 100 m³/time; Diegivende søer: 400 m³/time), L_{max} er den maksimale last af luftrenseren (m³/time per m² filterfrontareal), P er antallet af producerede dyr per år per stiplads (slagtegrise: 3,76; smågrise: 6,0) eller antallet af årsøer i forhold til antallet af dyr i den pågældende stald (løbe-/drægtighedsstalde: 1,12; farestalde:

4,11). Sidstnævnte tal er baseret på standarddefinitionen af et produktionsanlæg til søer jævnfør Kai og Adamsen (2017).

Ligning [3] er benyttet til omregning fra tidsforbrug per produceret gris eller årssø til tidsforbrug/år per m² produktionsareal:

$$T_a = \frac{T_d \cdot P}{A} \quad [3]$$

hvor T_a er det estimerede tidsforbrug per år per m² produktionsareal, og A er produktionsarealet per stiplads (slagtegrisestalde med drænet gulv og spaltegulv: 0,65 m²; slagtegrisestalde med delvist fast gulv: 0,70 m²; smågrisestalde: 0,30 m²; løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift: 1,83 m²; løbe-/kontrolstalde, enkeltdyrsbokse: 1,34 m²; farestalde: 4,48 m²). Det bemærkes, at nævnte arealer i sostalde her er anført per stiplads og ikke per årssø.

Tabel 5. Forventet tidsforbrug til landmandens tilsyn ved 100% luftrensning for biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste.

Dyrekategori og stitype	Enhed	BAC-1	Farm Air-Clean BIO Flex 3-stage	Gen-nemsnit
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	Min./produceret gris	1,4	1,5	1,5
	Min./[år · m ² produktionsareal]	8,0	8,8	8,4
Slagtegrisestalde, delvist fast gulv	Min./produceret gris	1,4	1,5	1,5
	Min./[år · m ² produktionsareal]	7,5	8,2	7,8
Smågrisestalde	Min./produceret gris	0,35	0,38	0,36
	Min./[år · m ² produktionsareal]	7,0	7,6	7,3
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftstier	Min./årssø	4,6	5,1	4,9
	Minutter/[år · m ² produktionsareal]	2,7	2,9	2,8
Løbe-/kontrolstalde, enkeltdyrsbokse	Min./årssø	4,6	5,1	4,9
	Min./[år · m ² produktionsareal]	3,7	4,1	3,9
Farestalde	Min./årssø	5,1	5,6	5,3
	Min./[år · m ² produktionsareal]	4,7	5,1	4,9

Tidsforbrug i stald med delluftrensning

Appendiks tabulerer estimerede værdier for tidsforbrug til overvågning og vedligeholdelse ved delluftrensning i grisestalde. Visse opgaver formodes at være ligefrem proportional med filterets størrelse, mens andre kan være ligefrem proportionale med antallet af "renseenheder" eller antallet af sensorer, der skal serviceres. Det er dog som grundlag for beregningerne antaget, at tidsforbruget er ligefrem proportionalt med luftrensernes filterfrontareal.

Energiforbrug

Biologiske luftrensningsanlæg er forbundet med et ekstra energiforbrug i form af el til drift af ventilatorer og vandpumper og kan opdeles i: 1) transport af staldluft til luftrensere, 2) passage af staldluften gennem luftrenseren samt 3) driften af vandpumper. Energiforbruget til transport af staldluft til luftrenseren afhænger af luftrensningsanlæggets tilslutning til det enkelte staldrum. Ofte er luftrensningsanlægget indbygget i en central enhed, der renser luft fra flere eller alle staldsektioner i en

stald. Det er derfor ikke muligt at fastlægge generiske værdier for dette energiforbrug. Energiforbruget til passage af staldluften gennem luftrenseren afhænger af ventilatorernes energieffektivitet, luftydelsen samt filterets opbygning og tilstand (modtryk).

Biologiske filtre skal konstant befugtes ved anvendelse af dyser eller lignende, der drives af vandpumper, der opererer ved konstant last. Energiforbruget til drift af vandpumper afhænger af vandpumpernes energieffektivitet, vanddysernes karakteristik og vandmængden.

Riis (2012) testede en biologisk Farm AirClean BIO Flex 3-stage luftrenser i en slagtegrisestald ved 100% luftrensning og over et forløb på et år. Luftrenseren havde et filter-frontareal på 10 m² og en nominel ventilationskapacitet på 35.000 m³/time svarende til en specifik ventilationskapacitet på 3500 m³/time per m² filterfrontareal. Elforbruget til drift af vandpumper blev opgjort til 5541 kWh/år svarende til 4,5 kWh per produceret slagtegris eller 554 kWh/år per m² filterfrontareal. Elforbruget til ventilation blev opgjort til i alt 11.547 kWh/år svarende til 9,4 kWh produceret slagtegris eller 1155 kWh/år per m² filterfrontareal.

Sørensen et al. (2019) gennemførte test af en biologisk BAC-1 luftrenser i en slagtegrisestald ved 100% luftrensning over et forløb på et år. Luftrenseren havde med et filter-frontareal på 4,32 m² og en nominel ventilationskapacitet på 16.000 m³/time svarende til en specifik ventilationskapacitet på 3700 m³/time per m² filter-frontareal. Elforbruget til drift af vandpumper blev opgjort til 2235 kWh/år svarende til 3,4 kWh per produceret slagtegris eller 517 kWh/år per m² filterfrontareal. Elforbruget til ventilation blev opgjort til 4998 kWh/år svarende til 7,6 kWh per produceret slagtegris eller 1157 kWh/år per m² filterfrontareal.

Tabel 6 viser en oversigt over dokumenterede specifikke elforbrug til ventilation og vandpumper for biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste.

Tabel 6. Oversigt over specifikke elforbrug til drift af biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste.

	Ventilation	Vandpumper	Maks. filterbelastning
Enhed	kWh/(år · m ² filter frontareal)	kWh/(år · m ² filter frontareal)	m ³ luft/(time · m ² filterfrontareal)
BAC-1¹	1157	517	3700
Farm AirClean BIO Flex 3²	1155	554	3500

Kilde: ¹Sørensen et al. (2019), ²Riis (2012)

Baseret på de specifikke elforbrug angivet i Tabel 6 er energiforbrug til ventilation gældende for forskellige dyrekategorier og stityper beregnet for 100% luftrensning (se

Tabel 7). Estimerne er beregnet som for tidsforbrug ved anvendelse af ligning [2] og [3].

Tabel 7. Estimerede standard-elforbrug til ventilation ved 100% luftrensning for biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste.

Dyrekategori og stitype	Enhed	BAC-1	Farm Air-Clean BIO Flex 2	Farm Air-Clean BIO Flex 3	Gen-nemsnit
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spal-tegulv	kWh/produceret gris	8,3	8,7	8,8	8,6
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	48	50	51	50
Slagtegrisestalde, delvist fast gulv	kWh/produceret gris	8,3	8,7	8,8	8,6
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	45	47	47	46
Smågrisestalde	kWh/produceret gris	2,1	2,2	2,2	2,2
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	42	44	44	43
Løbe-/drægtigheds-stalde, løsdriftsstier	kWh/årsso	28	29	29	29
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	16	17	17	16
Løbe-/kontrolstalde, enkeltdyrsbokse	kWh/årsso	28	29	29	29
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	22	23	24	23
Farestalde	kWh/årsso	30	32	32	31
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	28	29	29	29

Tilsvarende er standard-elforbrug til drift af vandpumper estimeret ved 100% luftrensning (Tabel 8).

Tabel 8. Estimerede standard-elforbrug til drift af vandpumper ved 100% luftrensning for biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste.

		BAC-1	Farm Air-Clean BIO Flex 2	Farm Air-Clean BIO Flex 3	Gen-nemsnit
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spal-tegulv	kWh/produceret gris	3,7	3,0	4,2	3,6
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	22	17	24	21
Slagtegrisestalde, delvist fast gulv	kWh/produceret gris	3,7	3,0	4,2	3,6
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	20	16	23	20
Smågrisestalde	kWh/produceret gris	0,93	0,74	1,06	0,91
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	19	15	21	18
Løbe-/drægtigheds-stalde, løsdrift	kWh/årsso	12	9,9	14	12
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	7,1	5,7	8,1	6,9
Løbe-/kontrolstalde, individuel opstaldning	kWh/årsso	12	9,9	14	12
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	10	7,9	11	9,7
Farestalde	kWh/årsso	14	11	15	13
	kWh/(år · m ² produktionsareal)	12	9,9	14	12

Delluftrensning

Der er foretaget beregninger af energiforbrug til henholdsvis ventilation og filterbefugtning ved forskellige niveauer af delluftrensning gældende for forskellige dyrekategorier og stityper. Disse fremgår af [Appendiks A](#).

Vandforbrug

Luftrensning er forbundet med et vandforbrug, som hovedsageligt skyldes fordampning af vand fra filtrets overflade, når varm og tør staldluft passerer igennem filtret. Luftrensens kapacitet i forhold til den samlede ventilationskapacitet (delluftrensning) samt indeklima-strategi (temperatur-setpunkter mv.) har derfor betydning for vandforbruget.

Derudover er der ved biologisk luftrensning et vandforbrug i form af lænsevand, som skyldes, at der løbende pumpes (lænses) vand fra luftrenseren. Ved lænsning efterfyldes luftrenserens vandreservoir med rent vand. Dette gøres for at opretholde et passende miljø for mikroorganismene, idet især nitrit i modsat fald kan nå inhiberende eller endog toksiske niveauer. Mængden af lænsevand afhænger af mængden af kvælstof i vandet, som igen er afhængig af filtrets renseseffekt.

Riis (2012) testede en biologisk luftrenser af typen Farm Airclean Bio Flex 3-stage (SKOV A/S) ved fuld luftrensning i en slagtegrisestald. Det samlede vandforbrug blev opgjort til 416 m³ per år svarende til 339 liter vand per produceret slagtegris eller 41,6 m³/år per m² filterfrontareal.

Sørensen et al. (2019) testede en BAC-1 biologisk luftrenser ved fuld luftrensning i en slagtegrisestald over et forløb på et år. Det samlede vandforbrug blev opgjort til 160 m³/år svarende til 244 liter vand per produceret slagtegris eller 37,0 m³/år per m² filterfrontareal.

I denne teknologibeskrivelse er det samlede vandforbrug estimeret for diverse stalde til grise og varierende delluftrensning op til 100%, og det er beregnet som summen af vandfordampning ved ventilationsluftens passage gennem filtrene plus lænsevand. Vandforbruget til fordampning er beregnet ved anvendelse af dimensioneringsprogrammet StaldVent. Dette program beregner på timebasis mængden af vand, som luft kan optage ved passage gennem luftrenseren. Beregningen tager hensyn til, at temperaturen falder som følge af fordampningen af vand. Lænsevandsmængden er der redegjort for nedenfor.

Se [Appendiks A](#) for detaljerede estimater af vandforbrug til hhv. fordampning og lænsevand for grisestalde ved varierende niveauer af luftrensning.

Andet ressourceforbrug

BAC-1 har et løbende forbrug af koncentreret svovlsyre og nitrifikationshæmmer (N-Lock™). Sørensen et al. (2019) rapporterede et forbrug på hhv. 0,40 kg svovlsyre og 0,007 kg N-Lock™ per produceret slagtegris ved fuld luftrensning. Forbruget svarer til henholdsvis $(0,40 \cdot 3,76 / 0,65) = 2,3$ kg koncentreret svovlsyre/år per m² og $(0,007 \cdot 3,76 / 0,65) = 0,040$ kg N-Lock™/år per m².

Virkning på lager og under udbringning af husdyrgødning

Biologiske rislefiltre producerer lænsevand, som indeholder kvælstof i form af ammonium, nitrit og nitrat. Lænsevandet anvendes som kvælstof-gødning i marken. Lænsevandet lagres typisk i gylletanken og øger derved det samlede lagerbehov. Litteraturen viser dog stor variation mellem studier. Årsagen hertil er en kombination af luftrenserens renseseffektivitet, luftrenserens kapacitet i forhold til staldens generelle ventilationskapacitet, samt hvordan mængden af lænsevand reguleres i luftrenseren.

Læsevandsmængder

Riis (2012) målte en gennemsnitlig læsevandsmængde på 167 liter per produceret slagtegris ved rensning af al ventilationsluft med en Farm AirClean Biosystem 3-trinsluftrensere. Læsevandet svarede til ca. 50% af den tilførte vandmængde. Læsevandet indeholdt i gennemsnit 4,4 g kvælstof per liter men med en stor variation over tid (95% konfidensinterval: 1,5 – 8,5). Overført til gylletank, forøges gyllemængden af lager med ca. 30% (ved 100% luftrensning).

Sørensen et al. (2019) testede en BAC-1 biologisk luftrensere ved fuld luftrensning i en slagtegrisestald over et forløb på et år. Læsevandet indeholdt i gennemsnit 5,6 g kvælstof per liter og blev opgjort til 87 liter per producerede slagtegris. Dette svarede til ca. 36% af den tilførte vandmængde. Overført til gylletank, forøges gyllemængden af lager med ca. 20% (ved 100% luftrensning).

Som det fremgår af ovenstående, varierer mængden af læsevand og dets indhold af kvælstof afhængig af luftrensere.

I denne teknologibeskrivelse er mængden af læsevand beregnet ud fra et fastsat indhold af kvælstof i læsevandet på 5,0 g/l.

Omsætning af kvælstof ved lagring af læsevand

I biologiske rislefiltre udgør ammonium-N omtrent halvdelen af læsevandets kvælstofindhold, mens resten findes som nitrit- og nitrat-N (Hahne & Vorlop, 2004; Juhler et al., 2009, Riis, 2011, Riis, 2012). I Danmark overføres læsevandet typisk til gylletanken for videre lagring sammen med gylle. Ved hjælp af ^{15}N isotopteknik er det vist, at ca. 80% af nitrit og nitrat reduceres tilbage til ammonium ved såkaldt dissimilatorisk nitrat-reduktion, mens de resterende ca. 20% denitrificeres til frit kvælstof med risiko for frigivelse af intermedieære NO_x -forbindelser (NO , N_2O) (Møller, 2005).

Med baggrund i ovenstående estimeres, at ca. 90% af den med læsevand tilførte kvælstofmængde er til stede i ammonium-form og 10% denitrificeres.

Miljøfremmede stoffer

Der er ikke fundet dokumentation for, at Farm AirClean BIO Flex luftrensere tilføres eller producerer miljøfremmede stoffer.

PH-værdien i luftrensere af typen BAC-1 reguleres ved tilsætning af koncentreret svovlsyre og en nitrifikationshæmmer kaldet N-Lock™, som ifølge produktdatabladet indeholder nitrapyridin (CAS nr. 1929-82-4) og 1,2-benzisothiazolin-3-one med følgende klassificering i henhold til forordning (EF) 1272/2008: "Kronisk toksicitet for vandmiljøet - Kategori 2 - H411".

Driftssikkerhed

Der skal påregnes overvågning af luftrenseren. Afprøvningerne af biologisk luftrensning har alle haft problemer med stabil drift af anlæggene, ligesom det er meget vigtigt for driften af filtrene, at de rengøres jævnlige. Hvis filtret i luftrenseren tilstoppes med støv og/eller meget kraftig belægning af biofilm, forøges tryktabet over luftrenseren betragteligt. Dette medfører lavere rensningseffekt, forhøjet energiforbrug, nedsat luftgennemstrømning i luftrenseren og efterfølgende nedsat luftskifte i

staldene, hvilket kan forringe grisenes nærmiljø. Biologiske luftrensere fra SKOV A/S leveres med en automatisk vaskerobot til renholdelse af filtrene.

Udtørring af filterets overflade som følge af afbrydelse af befugtningen eller uens befugtning har negativ indvirkning på biofiltrets mikrobiom og dermed på biofiltrets renseseffektivitet, ligeledes kan længerevarende stilstand uden ventilation påvirke biofiltres mikrobiom negativt og bør derfor undgås.

Biologiske luftrensere kan være følsomme over for kemikalier i produkter anvendt til rengøring og desinfektion i stalde. Så vidt muligt bør staldluften ledes udenom luftrenseren i rengøringssituationer. Leverandøren af luftrenseren kan med fordel konsulteres i forbindelse med valg af disse produkter.

Etablering i eksisterende stalde

Biologiske luftrensningsanlæg kan monteres i eksisterende grisestalde. Ud over selve luftrenseren, kræver det etablering af luftkanaler fra stalden til luftrenseren samt ændret ventilationsstyring.

Økologi

Der er intet direkte forbud for anvendelse af biologiske luftrensning i økologiske grisestalde, men det fremgår af reglerne for indretning og drift af økologiske stalde, at "der skal være rigelig naturlig ventilation og naturligt lys i bygningen" (KFO, 2008). Det kan fortolkes, så der til stadighed skal være naturlig ventilation økologiske stalde, og, i tilfælde af kombineret naturlig og mekanisk ventilation, at ventilationen i stalden kan sikres i tilstrækkelig grad ved naturlig ventilation alene, såfremt det mekaniske ventilationsanlæg svinger. Mekanisk luftrensning af al ventilationsluften vurderes derfor ikke at kunne gennemføres i overensstemmelse med økologi-reglerne, mens mekanisk punktudsugning med luftrensning af op til måske 20 m³ per time eller delluftrensning af en tilsvarende luftmængde vurderes at kunne gennemføres i overensstemmelse af økologi-reglerne.

Der foreligger ingen dokumentation for anvendelse af luftrensning, herunder biologisk luftrensning, i økologiske stalde. Økologiske grisestaldes indretning og drift adskiller sig så meget fra konventionelle stalde, blandt andet i form af krav om løbegård/udeareal i økologiske stalde, at det vurderes nødvendigt at tilvejebringe måledata fra økologiske stalde, førend biologisk luftrensning bør kunne anvendes i forbindelse af ansøgning om miljøgodkendelse af økologiske grisestalde.

Udbredelse

Det har ikke været muligt at få præcise oplysninger om antallet af biologiske luftrensningsanlæg i danske grisestalde. Teknologiens udbredelse vurderes at være lav (<100 stalde).

Økonomi

Investering

Investeringen i biologisk luftrensning består af en omkostning til selve luftrensningsanlægget og en omkostning til etablering af et kanalsystem til transport af luften fra staldrummet til luftrenseren. Det

biologiske luftrensingsanlæg adskiller sig fra det kemiske ved at have en mindre kapacitet per enhed nemlig 20.000 m³/time mod 25.000 m³/time for kemisk rensning. Det er derfor lettere at finde en størrelse (antal enheder) der passer til den ønskede kapacitet.

Gråkjær A/S og SKOV A/S har i samarbejde med SEGES leveret data for omkostningerne ved hhv. opsætning af kanaler, hus til luftrenseren og selve luftrenseren inkl. montage. SKOV A/S har endvidere leveret data for serviceomkostningerne forbundet med biologisk luftrensning. Der indgår i SKOVs A/S vurdering af omkostningerne til service, at omkostningerne er faldende per enhed ved stigende anlægstørrelse. Det er således ikke muligt at anvende en fast omkostning per m³ luft per time. De indhentede angivelser af investering i luftrenser og staldrum er på niveau med opgørelser indhentet fra andre producenter.

Analyser er gennemført for 10, 20, 40 og 100% luftrensning efter aftale med Miljøministeriet. Der er foretaget analyser for slagtegrise, smågrise og søer (farestald/ løbedrægtighedsstald). En mere detaljeret beskrivelse af forudsætninger og de gennemførte analyser kan findes i Callesen og Jacobsen (2021a+b).

Driftsomkostninger

Løbende driftsomkostninger

Følgende omkostninger anvendes per enhed (Tabel 9). Omkostning til service er skønnet af SKOV A/S, men der er nogen forskel mellem firmaer omkring dette, idet andre firmaer angiver, at serviceomkostningerne for biologisk rensning er noget højere end ved kemisk rensning.

Tabel 9. Omkostninger per enhed anvendt i analysen.

El	0,83	Kr./kWh
Vand	6	Kr./m ³
Syre	0,95	Kr./l
Arbejdstid	197	Kr./ton
Handelsgødning	7,61	Kr./kg N

Kilde: Callesen og Jacobsen (2021 a+b)

Samlede driftsomkostninger

De samlede omkostninger ved biologisk luftrensning fremgår af de følgende tabeller (tabel 10-15), der beskriver meromkostningen per m² og per dyr. "Niveau" i tabellerne refererer til luftrenserens kapacitet i forhold til staldens samlede ventilationskapacitet.

Analysen viser, at omkostningen per m² og dyr falder med stigende produktionsomfang og, at specielt det mindste produktionsomfang har høje omkostninger per enhed. Analysen viser også, at omkostningen er noget højere ved 100% luftrensning end ved 10-40% delluftning.

Tabel 10. Biologisk luftrensning i slagtegrisestalde (kr. per m² produktionsareal)

Niveau ¹		Antal stipladser				
		450	2.000	4.000	8.000	12.000
10%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	167	64	50	50	46
10%	Stier med 25-49% fast gulv	155	60	47	46	43
10%	Stier med 50-75% fast gulv	156	60	47	47	44
20%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	187	90	88	79	81
20%	Stier med 25-49% fast gulv	173	82	81	72	74
20%	Stier med 50-75% fast gulv	174	84	82	74	76
40%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	218	140	126	117	117
40%	Stier med 25-49% fast gulv	201	128	115	107	107
40%	Stier med 50-75% fast gulv	203	130	117	109	109
100%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	303	257	255	241	241
100%	Stier med 25-49% fast gulv	275	234	231	218	218
100%	Stier med 50-75% fast gulv	278	236	234	221	221

Tabel 11. Biologisk luftrensning i slagtegrisestalde (kr. per prod. slagtegris)

Niveau ¹		Antal stipladser				
		450	2.000	4.000	8.000	12.000
10%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	29	11	9	9	8
10%	Stier med 25-49% fast gulv	29	11	9	9	8
10%	Stier med 50-75% fast gulv	29	11	9	9	8
20%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	32	15	15	14	14
20%	Stier med 25-49% fast gulv	32	15	15	13	14
20%	Stier med 50-75% fast gulv	32	16	15	14	14
40%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	38	24	22	20	20
40%	Stier med 25-49% fast gulv	37	24	21	20	20
40%	Stier med 50-75% fast gulv	38	24	22	20	20
100%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	52	45	44	42	42
100%	Stier med 25-49% fast gulv	51	43	43	41	41
100%	Stier med 50-75% fast gulv	52	44	44	41	41

Tabel 12. Biologisk luftrensning i smågrisestalde (kr. per m² produktionsareal)

Niveau ¹		Antal stipladser			
		2.300	4.600	9.200	15.500
10%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	84	60	47	43
10%	To-klimastier med delvist fast gulv	85	61	47	43
20%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	96	67	58	58
20%	To-klimastier med delvist fast gulv	105	76	66	66
40%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	132	111	108	110
40%	To-klimastier med delvist fast gulv	132	111	108	110
100%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	254	224	210	212
100%	To-klimastier med delvist fast gulv	259	228	215	216

Tabel 13. Biologisk luftrensning i smågrisestalde (kr. per produceret smågris)

Niveau ¹		Antal stipladser			
		2.300	4.600	9.200	15.500
10%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	4	3	2	2
10%	To-klimastier med delvist fast gulv	4	3	2	2
20%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	5	3	3	3
20%	To-klimastier med delvist fast gulv	5	4	3	3
40%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	7	6	5	5
40%	To-klimastier med delvist fast gulv	7	6	5	5
100%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	13	11	11	11
100%	To-klimastier med delvist fast gulv	13	11	11	11

Tabel 14. Biologisk luftrensning i sostalde (kr. per m² produktionsareal)

Niveau ¹		Antal årssøer				
		330	500	1.000	2.000	3.000
10%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	82	58	35	26	21
10%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	133	94	57	42	38
10%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	130	91	54	39	35
20%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	84	60	40	30	26
20%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	139	101	69	53	49
20%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	136	98	67	51	46
40%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	90	72	49	40	42
40%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	150	123	90	87	78
40%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	147	120	87	84	75
100%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	119	97	96	84	79
100%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	208	170	167	150	144
100%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	204	166	163	146	140

Tabel 15. Biologisk luftrensning i sostalde (kr. per årssø)

Niveau ¹		Antal årssøer				
		330	500	1.000	2.000	3.000
10%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	144	101	60	45	37
10%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	145	102	62	45	41
10%	Farestalde kassestier med fuldspaltegulv	142	99	59	42	38
20%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	147	105	71	52	46
20%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	151	110	76	58	53
20%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	148	107	73	55	50
40%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	157	126	86	69	74
40%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	164	134	99	95	85
40%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	160	131	95	92	82
100%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	208	171	168	147	139
100%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	227	185	183	163	157
100%	Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	222	181	178	159	153

Omkostningseffektivitet

Omkostningseffektiviteten udtrykker meromkostningen per kg sparet NH₃-N-udledning ved anvendelse af miljøteknologi. De gennemførte analyser i tabel 16-18 viser, at omkostningen per kg NH₃-N for slagtegrise er lavest for de største bedrifter og specielt højest for det mindste produktionsomfang uanset rensningsniveau. Der er en tendens til stigende omkostninger i kr. per kg NH₃-N med stigende rensningsniveau, men den gælder ikke for alle kombinationer, idet der i nogle tilfælde opnås de laveste omkostninger per kg NH₃-N ved 20% luftrensning.

Der er betydelig forskel mellem staldsystemer, og der er en tendens til, at omkostningen per kg NH₃-N er lavest for staldsystemer, der er forbundne med høj emission. Der synes at være en svag tendens til, at omkostningen per kg NH₃-N er lavest for slagtegrise.

Tabel 16. Omkostningseffektivitet ved biologisk luftrensning i slagtegrisestalde (kr./kg NH₃-N)

Niveau ¹		Antal stipladser				
		450	2.000	4.000	8.000	12.000
10%	Stier med drænet og spaltegulv	209	80	63	62	58
10%	Stier med 25-49% fast gulv	287	110	86	85	79
10%	Stier med 50-75% fast gulv	391	151	119	117	109
20%	Stier med drænet og spaltegulv	144	69	68	61	62
20%	Stier med 25-49% fast gulv	186	88	87	78	80
20%	Stier med 50-75% fast gulv	257	123	121	108	111
40%	Stier med drænet og spaltegulv	128	82	74	69	69
40%	Stier med 25-49% fast gulv	152	97	87	81	81
40%	Stier med 50-75% fast gulv	209	134	120	112	113
100%	Stier med drænet og spaltegulv	151	129	127	120	121
100%	Stier med 25-49% fast gulv	165	140	138	130	131
100%	Stier med 50-75% fast gulv	232	197	195	184	184

Tabel 17. Omkostningseffektivitet ved biologisk luftrensning i smågrisestalde (kr. pr. kg NH₃-N)

Niveau ¹		Antal stipladser			
		2.300	4.600	9.200	15.500
10%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	132	94	74	67
10%	To-klimastier med delvist fast gulv	352	253	198	179
20%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	108	75	65	65
20%	To-klimastier med delvist fast gulv	292	211	185	184
40%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	132	111	108	110
40%	To-klimastier med delvist fast gulv	307	258	250	255
100%	Stier med drænet gulv og spaltegulv	231	203	191	192
100%	To-klimastier med delvist fast gulv	529	466	438	441

Tabel 18. Omkostningseffektivitet ved biologisk luftrensning i sostalde (kr. pr. kg NH₃-N)

Niveau ¹		Antal årssøer				
		330	500	1.000	2.000	3.000
10%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	294	207	123	91	75
10%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	459	323	195	144	130
10%	Farestald, kassestier med fuldspaltegulv	176	123	73	53	47
20%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	153	110	74	54	48
20%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	322	235	161	124	113
20%	Farestald, kassestier med fuldspaltegulv	142	102	70	53	48
40%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	112	90	61	50	53
40%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	289	237	174	168	150
40%	Farestald, kassestier med fuldspaltegulv	134	109	79	76	68
100%	Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv	108	89	87	76	72
100%	Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	358	293	289	258	249
100%	Farestald, kassestier med fuldspaltegulv	185	151	149	132	128

Litteratur

Callesen, G.M. og Jacobsen, B.H. (2022a). Forudsætninger for analyser af virkemidler til reduktion af ammoniakemissionen i landbruget. IFRO Udredning Nr. 2022/29.

Callesen, G.M. og Jacobsen, B.H. (2022b). Omkostninger ved biologisk luftrensning på grisebedrifter. IFRO Dokumentation Nr. 2022/09.

EMEP/EEA (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. 3.D Crop production and agricultural soils.

https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/3-d-crop-production-and/at_view/file#pdfjs.action=download

- Hahne, J. & Vorlop, K.-D. (2004). Waste Air Scrubbers Useful in Reducing Ammonia Emissions from Piggeries? *Landtechnik* (2): 106-107.
- Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen (2021). Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug. BEK nr. 2225 af 27/11/2021. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2021/2225>
- IPCC (2006). The Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10. Emission from livestock and manure management. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf
- Jensen, T.L. & Hansen, M.J. (2006). Slagtegrisestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S. Meddelelse nr. 737. Landsudvalget for svin, Den rullende Afprøvning.
- Juhler, S., Revsbech, N.P., Schramm, A., Herrmann, M., Ottosen, L.D.M & Nielsen, L.P. (2009). Distribution and rate of microbial processes in an ammonia-loaded air filter biofilm. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 75 (11): 3705-3713.
- Kai, P., & Adamsen, A. P. S. (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning: Del 2: Emissionsfaktorer. Aarhus Universitet. Technical Report BCE-TR-12
- Kai, P., Strøm, J.S. & Jensen, B.E. (2007). Delrensning af ammoniak i staldluft, *Grøn viden*, DJF husdyrbrug nr. 47, september 2007, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet.
- KFO (2008). Artikel 10, stk. 1 i Kommissions forordning (EF) nr. 889/2008 af 5. september 2008 om gennemførelsesbestemmelser til Rådets forordning (EF) nr. 834/2007 om økologisk produktion om mærkning af økologiske produkter, for så vidt angår økologisk produktion, mærkning og kontrol (med senere ændringer).
- Melse, R. W., Ploegaert, J. P. M., & Ogink, N. W. M. (2012). Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammonia removal performance and its fluctuations. *Biosystems Engineering*, 113(3): 242-252.
- MELT (2014). MELT indstilling om optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste: Farm AirClean BIO Flex 2-stage. <https://mst.dk/media/169046/indstilling-af-skovpdf-mediemarkiv.pdf>.
- MELT (2015). MELT indstilling om optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste: Farm AirClean BIO Flex 3-stage. <https://mst.dk/media/169047/indstilling-af-skov-flex-3-mediemarkiv.pdf>.
- MELT (2019). MELT indstilling om optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste: BAC-1 biologisk luftrensning. https://mst.dk/media/183562/melt-indstilling_kj-klimateknik_bac-1-biologisk-luftrensning.pdf
- Miljøstyrelsen (2011a). Biologisk luftrensning. Slagtesvin. 1. udgave. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen, 23.05.2011, 10 s.

- Miljøstyrelsen (2011b). Biologisk luftrensning. Sær. 1. udgave. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen, 29.04.2011, 16 s.
- Miljøstyrelsen (2011c). Biologisk luftrensning. Smågrise. 1. udgave. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen, 29.04.2011, 12 s.
- Miljøstyrelsen (2011d). Forudsætninger for de økonomiske beregninger ved biologisk luftrensning – slagtesvin. Miljøstyrelsen, maj 2011.
- Møller, A. (2005). Slutrapport "Rensning af afgangsstof fra stalde – opfølgning og realisering" (2003–2005) støttet af Direktoratet for Fødevarerhverv http://agricon-tact.dk/pdf/5_SLUTRAPPORT%20Luftrensning.pdf.
- Oldenburg, J. (2018). Prüfbericht 17.181 Rev. 1. RIMU – Agrartechnologie GmbH 1-stufiger biologischer Abluftwäscher System RIMU für die Schweinehaltung.
- Ottosen, L. D. M., S. Juhler, L. B. Guldborg, A. Feilberg, N. P. Revsbech & L. P. Nielsen (2011). Regulation of ammonia oxidation in biotrickling airfilters with high ammonium load. Chemical Engineering Journal 167(1): 198-205.
- Riis, A.L. (2011). Ammoniakreduktion og driftsomkostninger ved Farm AirClean Bio System fra SKOV A/S i en smågrisestald. Meddelelse nr. 915, Videncenter for Svineproduktion, 19 s.
- Riis, A.L. (2012). Test af Farm AirClean 3-trins BIO FLEX fra SKOV A/S i en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 930. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning, 31 s.
- Sørensen, K.B., M. Jørgensen og M.B.F. Nielsen (2019). Afprøvning af biologisk luftrensning BAC-1 fra KJ Klimateknik A/S. SEGES Svineproduktion, meddelelse nr. 1184, 16 s.
- Staldvent 5.0 – Professionel. Danish Exergy Technology A/S DXT.
- Van der Heyden, C., P. Demeyer & E.I.P. Volcke (2015). Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. Biosystems Engineering, 134: 74-93.
- Van der Heyden, C., E. Brusselman, E.I.P. Volcke & P. Demeyer (2016). Continuous measurements of ammonia, nitrous oxide and methane from air scrubbers at pig housing facilities. Journal of Environmental Management, 181: 163-171.

Appendiks A

Oversigt (tabel 19) over effekt af biologisk luftrensning ved anvendelse af en biologisk luftrensner med en egen ammoniakrenseeffekt på 88% som funktion af dyrekategori, staldtype og luftrensnerens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet. Værdierne er fastlagt ved simulering under standardiserede betingelser ved anvendelse af programmet StaldVent. En årssø er defineret som 365 stalddage per sø inklusive polte og besætningsorner, og de tabulerede værdier udgør relative bidrag per årssø fra henholdsvis løbe-/drægtighedsstald og farestald.

Tabel 19. Biologisk luftrensning. Ammoniakreduktion, elforbrug, vandforbrug, lænsevandsproduktion og tidsforbrug afhængig af staldtype og dimensionering af luftrensning beregnet per produceret gris eller årssø. En årssø er defineret som 365 stalddage per sø inklusive polte og besætningsorner. Nedenstående værdier udgør det relative bidrag per årssø fra henholdsvis løbe-/drægtighedsstald og farestald.

Luftrensers kapacitet i forhold til total ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vand-pumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Lænsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug
%	%	%	kg NH ₃ -N	kg NH ₃ -N	kWh	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
Slagtegrisestalde, stier med drænet gulv og spaltegulv											
0	0	0	0,42	0	2,6	0	2,6	0	0	0	0
10	25,8	34,6	0,27	0,15	4,1	0,36	4,5	53	29	82	0,19
20	45,3	56,3	0,18	0,24	5,3	0,73	6,0	89	47	136	0,37
30	59,2	68,2	0,13	0,29	6,2	1,1	7,2	115	57	172	0,56
40	68,3	73,8	0,11	0,31	6,7	1,5	8,1	131	62	193	0,74
50	75,5	77,4	0,095	0,33	7,1	1,8	8,9	145	65	210	0,93
60	81,7	80,3	0,083	0,34	7,5	2,2	9,7	156	67	223	1,1
70	87,1	82,6	0,073	0,35	7,8	2,5	10	166	69	235	1,3
80	91,9	84,6	0,064	0,36	8,1	2,9	11	175	71	246	1,5
90	96,2	86,4	0,057	0,36	8,4	3,3	12	183	73	256	1,7
100	100	88,0	0,051	0,37	8,6	3,6	12	191	74	265	1,9
Slagtegrisestalde, stier med 25-49% fast gulv											

Luftrensers kapacitet i forhold til total ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vand-pumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug
%	%	%	kg NH ₃ -N	kg NH ₃ -N	kWh	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
0	0	0	0,34	0	2,9	0	2,9	0	0	0	0
10	21,3	28,5	0,24	0,097	4,1	0,36	4,5	43	19	63	0,15
20	39,0	48,8	0,17	0,17	5,1	0,73	5,8	83	33	116	0,29
30	53,0	61,7	0,13	0,21	5,9	1,1	7,0	113	42	155	0,44
40	63,4	69,4	0,10	0,24	6,5	1,5	8,0	135	47	182	0,58
50	71,3	73,9	0,089	0,25	7,0	1,8	8,8	151	50	201	0,73
60	78,0	77,4	0,077	0,26	7,3	2,2	9,5	165	53	218	0,9
70	84,1	80,4	0,067	0,27	7,7	2,5	10	178	55	232	1,0
80	89,8	83,1	0,057	0,28	8,0	2,9	11	190	56	246	1,2
90	95,1	85,6	0,049	0,29	8,3	3,3	12	201	58	259	1,3
100	100	88,0	0,041	0,30	8,6	3,6	12	212	59	272	1,5
Slagtegristalde, stier med 50-75% fast gulv											
0	0	0	0,26	0	2,9	0	2,9	0	0	0	0
10	21,3	28,5	0,19	0,074	4,1	0,36	4,5	43	15	58	0,15
20	39,0	48,8	0,13	0,13	5,1	0,73	5,8	83	25	108	0,29
30	53,0	61,7	0,099	0,16	5,9	1,1	7,0	113	32	145	0,44
40	63,4	69,4	0,080	0,18	6,5	1,5	8,0	135	36	171	0,58
50	71,3	73,9	0,068	0,19	7,0	1,8	8,8	151	38	189	0,73
60	78,0	77,4	0,059	0,20	7,3	2,2	9,5	165	40	205	0,9
70	84,1	80,4	0,051	0,21	7,7	2,5	10	178	42	220	1,0
80	89,8	83,1	0,044	0,22	8,0	2,9	11	190	43	233	1,2
90	95,1	85,6	0,037	0,22	8,3	3,3	12	201	45	246	1,3
100	100	88,0	0,031	0,23	8,6	3,6	12	212	46	258	1,5
Smågristalde, stier med drænet gulv og spaltegulv											

Luftrenser kapacitet i forhold til total ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vand-pumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug
%	%	%	kg NH ₃ -N	kg NH ₃ -N	kWh	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
0	0	0	0,061	0	0,33	0	0,33	0	0	0	0
10	42,0	53,6	0,028	0,033	1,09	0,09	1,2	16,7	6,5	23,2	0,036
20	67,1	74,6	0,016	0,045	1,55	0,18	1,7	25,5	9,1	34,6	0,073
30	78,4	80,9	0,012	0,049	1,75	0,27	2,0	29,7	9,9	39,6	0,11
40	85,5	83,8	0,010	0,051	1,88	0,36	2,3	32,2	10,3	42,5	0,15
50	90,9	85,6	0,0088	0,052	1,98	0,45	2,5	33,9	10,5	44,4	0,18
60	93,2	86,3	0,0084	0,053	2,02	0,55	2,6	35,0	10,6	45,6	0,22
70	95,4	86,8	0,0080	0,053	2,06	0,64	2,8	35,8	10,6	46,4	0,26
80	97,2	87,2	0,0078	0,053	2,09	0,73	2,9	36,4	10,7	47,1	0,29
90	98,7	87,6	0,0075	0,053	2,12	0,82	3,0	37,0	10,7	47,7	0,33
100	100	88,0	0,0073	0,054	2,14	0,91	3,1	37,4	10,7	48,1	0,36
Smågrisestalde, 2-klimastier med 50-75% fast gulv											
0	0	0	0,029	0	0,56	0	0,56	0	0	0	0
10	28,3	41,0	0,017	0,012	1,01	0,10	1,1	15,3	2,4	17,6	0,04
20	48,3	62,8	0,011	0,018	1,32	0,20	1,5	26,2	3,6	29,8	0,07
30	61,7	72,2	0,0081	0,021	1,54	0,30	1,8	33,0	4,2	37,2	0,11
40	70,8	77,6	0,0065	0,023	1,68	0,40	2,1	37,9	4,5	42,4	0,15
50	78,0	80,3	0,0057	0,023	1,79	0,50	2,3	41,7	4,7	46,3	0,18
60	83,8	83,1	0,0049	0,024	1,89	0,60	2,5	44,2	4,8	49,0	0,22
70	88,7	84,6	0,0045	0,025	1,96	0,70	2,7	46,4	4,9	51,3	0,26
80	92,9	85,8	0,0041	0,025	2,03	0,79	2,8	48,4	5,0	53,4	0,29
90	96,6	86,9	0,0038	0,025	2,09	0,89	3,0	50,3	5,0	55,4	0,33
100	100	88,0	0,0035	0,026	2,14	0,99	3,1	52,1	5,1	57,2	0,36
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftstier med delvist fast gulv											

Luftrensers kapacitet i forhold til total ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vand-pumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug
%	%	%	kg NH ₃ -N	kg NH ₃ -N	kWh	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
0	0	0	1,99	0	15	0	15	0	0	0	0
10	17,9	23,4	1,52	0,466	17	1,2	18	155	93	248	0,49
20	35,4	45,6	1,08	0,907	20	2,4	22	308	181	489	1,0
30	49,8	59,0	0,817	1,17	22	3,6	25	437	235	672	1,5
40	60,6	66,6	0,664	1,33	23	4,9	28	537	265	802	1,9
50	69,5	72,1	0,556	1,43	24	6,1	31	619	287	906	2,4
60	77,2	76,4	0,470	1,52	26	7,3	33	691	304	995	2,9
70	83,9	79,9	0,400	1,59	27	8,5	35	754	318	1072	3,4
80	89,8	82,9	0,340	1,65	27	10	37	812	330	1142	3,9
90	95,2	85,6	0,287	1,70	28	11	39	864	341	1205	4,4
100	100	88,0	0,240	1,75	29	12	41	912	350	1262	4,9
Løbe-/kontrolstalde, enkeltdyrskbokse med delvist fast gulv											
0	0	0	1,62	0	15	0	15	0	0	0	0
10	17,9	23,4	1,28	0,342	17	1,2	19	162	76	238	0,49
20	35,4	45,6	0,939	0,681	20	2,4	22	322	148	470	1,0
30	49,8	59,0	0,695	0,925	22	3,6	26	461	191	652	1,5
40	60,6	66,6	0,557	1,06	23	4,9	28	567	216	783	1,9
50	69,5	72,1	0,464	1,16	25	6,1	31	653	234	887	2,4
60	77,2	76,4	0,389	1,23	26	7,3	33	728	247	975	2,9
70	83,9	79,9	0,329	1,29	27	8,5	35	793	259	1052	3,4
80	89,8	82,9	0,280	1,34	27	9,7	37	852	269	1121	3,9
90	95,2	85,6	0,236	1,38	28	11	39	906	277	1183	4,4
100	100	88,0	0,195	1,42	29	12	41	956	285	1241	4,9
Førestalde, kassestier med fuldspaltegulv											

Luftrenserens kapacitet i forhold til total ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vand-pumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug
%	%	%	kg NH ₃ -N	kg NH ₃ -N	kWh	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
0	0	0	1,39	0	7	0	7,0	0	0	0	0
10	38,0	56,6	0,603	0,787	16	1,3	18	163	157	320	0,53
20	58,8	73,7	0,366	1,02	21	2,7	24	266	205	471	1,1
30	71,0	80,0	0,278	1,11	24	4,0	28	328	222	550	1,6
40	78,9	82,9	0,238	1,15	26	5,3	32	369	230	599	2,1
50	84,3	84,4	0,216	1,17	28	6,6	34	398	235	633	2,7
60	88,5	85,5	0,202	1,19	29	8,0	37	421	238	659	3,2
70	91,9	86,3	0,191	1,20	29	9,3	39	441	240	681	3,7
80	94,8	86,9	0,182	1,21	30	11	41	459	242	701	4,3
90	97,5	87,5	0,174	1,22	31	12	43	475	243	718	4,8
100	100	88,0	0,167	1,22	31	13	45	491	245	736	5,3
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv											
0	0	0	0,69	0	10	0	10	0	0	0	0
10	29,3	44,7	0,38	0,31	16	1,3	18	196	61,6	258	0,53
20	48,9	65,0	0,24	0,45	20	2,7	23	332	90	422	1,1
30	61,7	73,5	0,18	0,51	23	4,0	27	419	101	520	1,6
40	71,0	78,1	0,15	0,54	25	5,3	31	481	108	589	2,1
50	78,2	81,0	0,13	0,56	27	6,6	33	529	112	641	2,7
60	84,0	83,1	0,12	0,57	28	8,0	36	569	115	684	3,2
70	88,8	84,6	0,11	0,58	29	9,3	38	603	117	720	3,7
80	93,0	85,9	0,10	0,59	30	11	41	633	119	752	4,3
90	96,6	87,0	0,09	0,60	31	12	43	650	120	770	4,8
100	100	88,0	0,08	0,61	31	13	45	685	121	806	5,3

Tabel 20. Biologisk luftrensning. Ammoniakreduktion, elforbrug, vandforbrug, lænsevandsproduktion og tidsforbrug afhængig af stalddtype og dimensionering af luftrensning beregnet per år per m² produktionsareal.

Luftrenserens kapacitet i forhold til stalldens ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vandpumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Lænsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug, service og vedligeholdelse af luftrenser
%	%	%	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
Slagtegrisestalde, stier med drænet gulv og spaltegulv											
0	0	0	2,3	0	15	0	15	0	0	0	0
10	25,8	34,6	1,5	0,80	24	2,1	26	305	168	473	0,84
20	45,3	56,3	1,0	1,3	31	4,2	35	515	273	788	1,7
30	59,2	68,2	0,73	1,6	36	6,3	42	664	331	995	2,5
40	68,3	73,8	0,60	1,7	39	8,4	47	758	358	1116	3,4
50	75,5	77,4	0,52	1,8	41	10	52	839	376	1215	4,2
60	81,7	80,3	0,45	1,8	43	13	56	902	390	1292	5,0
70	87,1	82,6	0,40	1,9	45	15	60	960	402	1362	5,9
80	91,9	84,6	0,35	1,9	47	17	64	1012	411	1424	6,7
90	96,2	86,4	0,31	2,0	48	19	67	1059	420	1478	7,6
100	100	88,0	0,28	2,0	50	21	71	1105	427	1532	8,4
Slagtegrisestalde, stier med 25-49% fast gulv											
0	0	0	1,9	0	16	0	16	0	0	0	0
10	21,3	28,5	1,4	0,542	22	1,9	24	233	104	337	0,78
20	39,0	48,8	0,97	0,928	28	3,9	31	446	178	625	1,6
30	53,0	61,7	0,73	1,173	32	5,8	38	606	226	831	2,3
40	63,4	69,4	0,58	1,318	35	7,8	43	724	253	977	3,1
50	71,3	73,9	0,49	1,405	37	9,7	47	811	270	1081	3,9
60	78,0	77,4	0,43	1,471	39	12	51	886	283	1169	4,7
70	84,1	80,4	0,37	1,528	41	14	55	955	294	1249	5,5
80	89,8	83,1	0,32	1,579	43	16	59	1019	304	1323	6,2

Luftrenserens kapacitet i forhold til staldens ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vandpumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug, service og vedligeholdelse af luftrensere
%	%	%	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
90	95,1	85,6	0,27	1,627	45	18	62	1080	313	1392	7,0
100	100	88,0	0,23	1,671	46	19	66	1138	321	1459	7,8
Slagtegrisealde, stier med 50-75% fast gulv											
0	0	0	1,4	0	16	0	16	0	0	0	0
10	21,3	28,5	1,0	0,40	22	1,9	24	233	80	313	0,78
20	39,0	48,8	0,72	0,68	28	3,9	31	446	136	583	1,6
30	53,0	61,7	0,54	0,86	32	5,8	38	606	172	778	2,3
40	63,4	69,4	0,43	0,97	35	7,8	43	724	194	917	3,1
50	71,3	73,9	0,36	1,0	37	9,7	47	811	207	1018	3,9
60	78,0	77,4	0,32	1,1	39	12	51	886	216	1103	4,7
70	84,1	80,4	0,27	1,1	41	14	55	955	225	1180	5,5
80	89,8	83,1	0,24	1,2	43	16	59	1019	232	1251	6,2
90	95,1	85,6	0,20	1,2	45	18	62	1080	239	1319	7,0
100	100	88,0	0,17	1,2	46	19	66	1138	246	1383	7,8
Smågrisealde, stier med drænet gulv og spaltegulv											
0	0	0	1,2	0	6,6	0	6,6	0	0	0	0
10	42,0	53,1	0,563	0,637	21,8	2,0	24	334	130	464	0,73
20	67,1	74,8	0,302	0,898	30,9	4,0	35	510	183	693	1,5
30	78,4	81,4	0,223	0,977	35,0	6,0	41	594	199	793	2,2
40	85,5	84,5	0,186	1,014	37,6	7,9	46	645	206	851	2,9
50	90,9	86,1	0,166	1,034	39,5	9,9	49	679	210	889	3,6
60	93,2	86,7	0,159	1,041	40,4	11,9	52	699	212	911	4,4
70	95,4	87,2	0,153	1,047	41,2	13,9	55	715	213	928	5,1
80	97,2	87,5	0,150	1,050	41,8	15,9	58	728	214	942	5,8

Luftrenserens kapacitet i forhold til staldens ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vandpumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug, service og vedligeholdelse af luftrensere
%	%	%	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
90	98,7	87,8	0,146	1,054	42,4	17,9	60	739	214	953	6,6
100	100	88,0	0,144	1,056	42,8	19,9	63	748	215	963	7,3
Smågrisestalde, 2-klimastier med delvist fast gulv											
0	0	0	0,56	0	11,2	0	11	0	0	0	0
10	28,3	41,0	0,331	0,229	20,2	2,0	22	305	48	353	0,73
20	48,3	62,8	0,208	0,352	26,5	4,0	30	524	73	596	1,5
30	61,7	72,2	0,156	0,404	30,7	6,0	37	661	84	744	2,2
40	70,8	77,6	0,125	0,435	33,6	7,9	42	758	90	848	2,9
50	78,0	80,3	0,110	0,450	35,9	9,9	46	833	93	926	3,6
60	83,8	83,1	0,095	0,465	37,7	11,9	50	884	96	981	4,4
70	88,7	84,6	0,086	0,474	39,3	13,9	53	929	98	1027	5,1
80	92,9	85,8	0,079	0,481	40,6	15,9	56	969	100	1068	5,8
90	96,6	86,9	0,073	0,487	41,8	17,9	60	1006	101	1107	6,6
100	100	88,0	0,067	0,493	42,8	19,9	63	1041	102	1143	7,3
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdribsstier med delvist fast gulv											
0	0	0	1,2	0	8,4	0	8,4	0	0	0	0
10	17,9	23,4	0,92	0,28	9,8	0,69	11	89	53	142	0,28
20	35,4	45,6	0,65	0,55	11	1,4	13	176	104	280	0,56
30	49,8	59,0	0,49	0,71	12	2,1	14	250	134	384	0,83
40	60,6	66,6	0,40	0,80	13	2,8	16	307	152	458	1,1
50	69,5	72,1	0,34	0,86	14	3,5	17	354	164	518	1,4
60	77,2	76,4	0,28	0,92	15	4,2	19	395	174	569	1,7
70	83,9	79,9	0,24	0,96	15	4,9	20	431	182	613	1,9
80	89,8	82,9	0,20	1,0	16	5,6	21	464	189	653	2,2

Luftrenserens kapacitet i forhold til staldens ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vandpumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug, service og vedligeholdelse af luftrensere
%	%	%	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
90	95,2	85,6	0,17	1,0	16	6,2	22	494	195	688	2,5
100	100	88,0	0,14	1,1	16	6,9	23	521	200	721	2,8
Løbe-/kontrolstalde, enkeltdyrsbokse med delvist fast gulv											
0	0	0	1,3	0	12	0	12	0	0	0	0
10	17,9	23,4	1,0	0,30	14	0,97	15	130	60,7	190	0,39
20	35,4	45,6	0,71	0,59	16	1,9	18	258	118	376	0,78
30	49,8	59,0	0,53	0,77	17	2,9	20	369	153	522	1,2
40	60,6	66,6	0,43	0,87	19	3,9	23	454	173	626	1,6
50	69,5	72,1	0,36	0,94	20	4,9	25	522	187	709	1,9
60	77,2	76,4	0,31	0,99	21	5,8	26	582	198	780	2,3
70	83,9	79,9	0,26	1,0	21	6,8	28	634	207	842	2,7
80	89,8	82,9	0,22	1,1	22	7,8	30	682	215	897	3,1
90	95,2	85,6	0,19	1,1	23	8,7	31	725	222	947	3,5
100	100	88,0	0,16	1,1	23	9,7	33	765	228	993	3,9
Færestalde, kassestier med fuldspaltegulv											
0	0	0	1,3	0	6,4	0	6,4	0	0	0	0
10	38,0	56,6	0,56	0,74	15	1,2	16	149	144	294	0,49
20	58,8	73,7	0,34	0,96	20	2,4	22	244	188	432	1,0
30	71,0	80,0	0,26	1,0	22	3,6	26	301	204	505	1,5
40	78,9	82,9	0,22	1,1	24	4,9	29	339	211	550	2,0
50	84,3	84,4	0,20	1,1	25	6,1	31	365	215	581	2,4
60	88,5	85,5	0,19	1,1	26	7,3	34	386	218	604	2,9
70	91,9	86,3	0,18	1,1	27	8,5	36	405	220	625	3,4
80	94,8	86,9	0,17	1,1	28	9,7	37	421	222	643	3,9

Luftrensers kapacitet i forhold til staldens ventilationskapacitet	Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses	Ammoniakreduktion	Ammoniakemission	Sparet ammoniakemission	Elforbrug ventilation	Elforbrug vandpumper	Samlet elforbrug	Vandfordampning	Løsevand	Samlet vandforbrug	Tidsforbrug, service og vedligeholdelse af luftrensere
%	%	%	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	Kg NH ₃ -N	kWh	kWh	Liter	Liter	Liter	Minutter
90	97,5	87,5	0,16	1,1	28	11	39	436	223	659	4,4
100	100	88,0	0,16	1,1	29	12	41	450	224	675	4,9
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv											
0	0	0	0,66	0	9,2	0	9,2	0	0	0	0
10	29,3	44,7	0,37	0,29	15	1,3	16	180	59	239	0,49
20	48,9	65,0	0,23	0,43	19	2,7	21	305	86	390	1,0
30	61,7	73,5	0,17	0,49	21	4,0	25	384	97	481	1,5
40	71,0	78,1	0,14	0,52	23	5,3	180	441	103	544	2,0
50	78,2	81,0	0,13	0,53	25	6,6	305	485	107	592	2,4
60	84,0	83,1	0,11	0,55	26	8,0	34	522	110	632	2,9
70	88,8	84,6	0,10	0,56	27	9,3	36	553	112	665	3,4
80	93,0	85,9	0,093	0,57	27	11	38	581	113	694	3,9
90	96,6	87,0	0,086	0,57	28	12	40	596	115	711	4,4
100	100	88,0	0,080	0,58	29	13	42	628	116	745	4,9

Andel af samlet ventilationsluftmængde der renses

Ved anvendelse af StaldVent er der lavet beregning af volumen af rensede staldluft i forhold til den samlede ventilationsluft per år. Beregningerne er gennemført for relevante kategorier af grise og staldd typer og for luftrensning fra 10% deluftrensning til 100% luftrensning.

Effektiv ammoniakreduktion

Ammoniakreduktionen udtrykker den effektive reduktion i ammoniakemissionen beregnet som den tidsvægtede ammoniakemission fra henholdsvis luftrensere og urensede staldluft sat i forhold til staldens standardammoniakemission per produceret gris, årssø og per år per m² produktionsareal. Beregningerne er foretaget i StaldVent ved anvendelse af specifikke standardbetingelser for hver dyrekategori og staldtype. Der henvises til Kai et al., (2007) for uddybning af beregningsprincipperne.

Ammoniakemission

Ammoniakemissionen udtrykker den samlede ammoniakemission ved anvendelse af varierende niveauer af luftrensning fra ingen luftrensning til 100% luftrensning.

Sparet ammoniakemission

Ammoniakemission fra et givet niveau af luftrensning fratrukket standard-ammoniakemissionen fra hver kategori af grise og staldd type uden luftrensning.

Elforbrug til ventilation

Elforbruget til ventilation udtrykker det samlede elforbrug til ventilation per produceret gris, årssø og per år per m² produktionsareal ved anvendelse af luftrensning i varierende grad fra ingen luftrensning til luftrensning af al ventilationsluft (kaldet fuld eller 100% luftrensning). Der foreligger kun ganske få undersøgelser, som dokumenterer elforbruget ved luftrensning, og typisk er der tale om målinger foretaget i slagtegrisestalde. Elforbruget er estimeret på baggrund af afprøvninger, som typisk er testopstillinger og ikke fuldt integrerede systemer. Det betyder, at energiomkostningerne til transport af luften fra stalden til luftrenseren kun i begrænset omfang må formodes indbefattet i de rapporterede test-energiforbrug.

I mangel af empiriske målinger er elforbruget i intervallet mellem ingen luftrensning og fuld luftrensning estimeret ved ikke-lineær interpolation, idet det estimerede energiforbrug vægtes i forhold til mængden af staldluft, der renses i forhold til mængden af staldluft, der ledes urensede ud af stalden.

Eksempel: Slagtegrisestald med drænet gulv og spaltegulv og 20% deluftrensning:

af Tabel 19 aflæses:

Elforbrug ved 0% luftrensning = 2,6 kWh/produceret slagtegris

Elforbrug ved 100% luftrensning = 8,3 kWh/produceret slagtegris

Andel af samlet ventilationsluftmængde, der renses ved 20% luftrensning = 45%

Elforbruget beregnes som: $8,6 \cdot 0,45 + 2,6 \cdot (1 - 0,45) = 5,3$ kWh/produceret slagtegris.

Energiforbruget ved delluftrensning underestimeres formodentlig ved anvendelse af ovennævnte metode, idet den gennemsnitlige belastning af en luftrenser afhænger af niveauet for luftrensning. Det specifikke energiforbrug er fortrinsvis baseret på målinger ved 100% luftrensning, hvor den gennemsnitlige belastning af luftrenseren er lavere end luftrenserens godkendte kapaciteter jævnfør Tabel 1. Den gennemsnitlige ventilationsydelse i fx slagtegrisestalde er skønsmæssigt 40-50% af ventilationsanlæggets kapacitet. Ved 10% delluftrensning opererer luftrenseren næsten konstant ved fuld kapacitet. Den gennemsnitlige belastning falder med stigende niveau for delrensning.

Elforbrug til vandpumper

Energiforbruget til vandpumper skønnes proportionalt med luftrenserens filterfrontareal og er beregnet på grundlag af det gennemsnitlige specifikke energiforbrug til drift af vandpumper angivet i Tabel 6.

Vandfordampning

Vandfordampning er den samlede mængde vand, der fordamper som følge af ventilationsluftens passage gennem en luftrenser og er beregnet for varierende niveauer af delluftrensning. Beregningerne er foretaget i StaldVent ved anvendelse af specifikke standardbetingelser for hver dyrekategori og stitype. Det er antaget, at staldluften efter passage gennem filtret er mættet med vanddamp (100% relativ fugtighed), og at energien til fordampning af vand stammer fra luftens fri energi, så luftens temperatur sænkes som resultat af tabet af fri energi.

Løsevand

I den tidligere version af teknologibeskrivelsen er løsevandsmængden fastsat til 1 liter per 3,5 g N (Miljøstyrelsen, 2011). Baseret på tre undersøgelser af biologiske luftrensere på Miljøstyrelsens teknologiliste, er løsevandsmængden beregningsmæssigt fastsat til 1 liter per 5,0 g N fjernet med luftrenseren.