



# MILJØTEKNOLOGIER I DET PRIMÆRE JORDBRUG - DRIFTSØKONOMI OG MILJØEFFEKTIVITET

MICHAEL JØRGEN HANSEN, TAVS NYORD, LINE BLOCK HANSEN, LOUISE MARTINSEN, BERIT HASLER, PETER KRYGER JENSEN, BO MELANDER, ANTON GÅRDE THOMSEN, HANNE DAMGAARD POULSEN, PETER LUND, JØRN NYGAARD SØRENSEN, CARL-OTTO OTTOSEN OG LILLIE ANDERSEN

DCA RAPPORT NR. 029 · SEPTEMBER 2013



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



# MILJØTEKNOLOGIER I DET PRIMÆRE JORDBRUG - DRIFTSØKONOMI OG MILJØEFFEKTIVITET

DCA RAPPORT NR. 029 · SEPTEMBER 2013



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

**Michael Jørgen Hansen<sup>1)</sup>, Tavs Nyord<sup>1)</sup>, Line Block Hansen<sup>5)</sup>, Louise Martinsen<sup>5)</sup>, Berit Hasler<sup>5)</sup>,  
Peter Kryger Jensen<sup>2)</sup>, Bo Melander<sup>2)</sup>, Anton Gårde Thomsen<sup>2)</sup>, Hanne Damgaard Poulsen<sup>3)</sup>, Peter Lund<sup>3)</sup>,  
Jørn Nygaard Sørensen<sup>4)</sup>, Carl-Otto Ottosen<sup>4)</sup> og Lillie Andersen<sup>4)</sup>**

Aarhus Universitet

<sup>1)</sup>Institut for Ingeniørvidenskab, <sup>2)</sup>Institut for Agroøkologi og <sup>3)</sup>Institut for Husdyrvidenskab, <sup>4)</sup>Institut for Fødevarer,

<sup>5)</sup>Institut for Miljøvidenskab

Blichers Allé 20

Postboks 50

8830 Tjele

# MILJØTEKNOLOGIER I DET PRIMÆRE JORDBRUG - DRIFTSØKONOMI OG MILJØEFFEKTIVITET

---

Serietitel	DCA rapport
Nr.:	029
Forfattere:	Michael Jørgen Hansen, Tavs Nyord, Line Block Hansen, Louise Martinsen, Berit Hasler, Peter Kryger Jensen, Bo Melander, Anton Gårde Thomsen, Hanne Damgaard Poulsen og Peter Lund, Jørn Nygaard Sørensen, Carl-Otto Ottosen og Lillie Andersen
Udgiver:	DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: www.dca.au.dk
Rekvirent:	Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Fotograf:	Forsidefoto: Carl-Otto Ottosen, Aarhus Universitet. "Højteknologisk produktion af agurk med kunstlys både i top og bund".
Tryk:	www.digisource.dk
Udgivelsesår:	2013
	Gengivelse er tilladt med kildeangivelse
ISBN:	978-87-92869-78-4
ISSN:	2245-1684

Rapporterne kan hentes gratis på [www.dca.au.dk](http://www.dca.au.dk)

## Videnskabelig rapport

Rapporterne indeholder hovedsageligt afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, vidensynteser, rapporter og redegørelser til myndigheder, tekniske afprøvninger, vejledninger osv.



## **Forord**

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på bestilling fra NaturErhvervstyrelsen (NAER). Rapporten er udarbejdet som led i "Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2013-2016" (Punkt BT-2013-2 i aftalens Bilag 2).

Rapporten giver en samlet oversigt over miljøteknologier, der benyttes inden for det primære jordbrugs erhverv, herunder deres miljøeffekt, omkostninger samt omkostningseffektivitet. Rapporten anvendes af NAER til prioritering af ansøgninger i anledning af Fødevareministeriets miljøteknologiordning, omfattende tilskud til investeringer i nye grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion<sup>1</sup>. Miljøteknologiordningen er målrettet tilskud til investeringer i ny teknologi inden for følgende fem indsatsområder: *1) Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion og husdyrgødning; 2) Reduktion af pesticid anvendelsen; 3) Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring, omsætning af foderstoffer samt anvendelse af husdyrgødning; 4) Reduktion af energiforbruget respektive reduktion af vand-, næringsstof- og pesticidforbruget i gartnerisektoren samt 5) Etablering af miljøvenlige produktionsanlæg til dyrehold med henblik på reduceret lugt, emission, vandforbrug eller næringsstoffer.*

Der kan kun søges støtte i indsatsområde 5 for teknologier, der er nævnt i indsatsområde 1 og 3. Derfor er der i nærværende rapport ikke lavet et afsnit, der beskriver indsatsområde 5 nærmere, men henvist til afsnit 1 og 3. For yderligere information henvises til NAER.

I opdraget fra NAER er det beskrevet, at for at komme i betragtning til medtagning i nærværende rapport, skal der være tale om en teknologi med en positiv miljøforbedring på minimum 10 %, set i forhold til "standardteknologi". For energibesparelse i gartnerisektoren gælder, at reduktionen skal være mindst 30 %. Desuden må en teknologi ikke have en udbredelse på mere end 50 % af markedet. Rapporten blev første gang udarbejdet i 2010 og er siden opdateret i 2011 og 2012 (Kai et al., 2010; Kai et al., 2011; Hansen et al., 2012).

AU Foulum, august 2013

*Susanne Elmholt, koordinator for myndighedsrådgivning ved DCA*

---

<sup>1</sup> Jf. Bekendtgørelse nr. 569 af 31/05/2013 om tilskud til investeringer i nye grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion



# Indholdsfortegnelse

<b>Indholdsfortegnelse</b> .....	<b>5</b>
<b>Indsatsområde 1: Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion og husdyrgødning</b> .....	<b>7</b>
Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet .....	7
Kemisk og biologisk luftrensning til stalde .....	10
Gylleforsuring (svin, kvæg) .....	17
Gyllekøling (svin / ammoniak) .....	20
Spaltegulvsskrabere (kvæg / ammoniak) .....	24
Etagesystem med gødningsbånd (fjerkræ / ammoniak) .....	25
Daglig tømning af gødningsrender i minkhaller (mink / ammoniak) .....	26
Høje skorstene (svin og fjerkræ / lugt) .....	29
Fast overdækning af gyllebeholder (svin, kvæg, mink / ammoniak) .....	29
Teknikker til overdækning af gyllebeholder .....	31
Udbringning af husdyrgødning.....	33
<b>Indsatsområde 2: Reduktion af pesticidanvendelsen</b> .....	<b>43</b>
Omkostningseffektivitet ved reduktion af pesticidanvendelsen.....	43
Rækkedyrkningsystemer .....	43
Autostyring og sektionsafblending af sprøjter .....	44
GPS udstyr til autostyring .....	45
Sensorbaseret ukrudtsprøjte .....	45
Stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse) .....	47
Injektionsprøjter til stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse) .....	48
<b>Indsatsområde 3: Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring, omsætning af foderstoffer samt anvendelse af husdyrgødning</b> .....	<b>49</b>
Biologi med miljøeffekt .....	50
Fodringsrelaterede miljøteknologier .....	50
Samme teknologi påvirker flere miljøeffekter .....	52
Samlet vurdering af fodringsrelaterede teknologier, der understøtter en reduceret udskillelse af næringsstoffer, ammoniak og metan .....	53
<b>Indsatsområde 4: Reduktion af energiforbruget respektive vand-, næringsstof- og pesticidforbruget i gartnerisektoren</b> .....	<b>55</b>
Energi.....	55
Vandreduktion i gartnerisektoren .....	69
Pesticidreduktion i gartnerisektoren .....	69
Pesticidreduktion i gartnerisektoren .....	69
<b>Indsatsområde 5: Etablering af miljøvenlige produktionsanlæg til dyrehold med henblik på reduceret lugt, emission, vandforbrug eller næringsstoffer</b> .....	<b>75</b>
<b>Referencer</b> .....	<b>77</b>
<b>Bilag</b> .....	<b>78</b>





## **Indsatsområde 1: Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion og husdyrgødning**

*Post doc Michael Jørgen Hansen, adjunkt Tavs Nyord, ph.d. studerende Line Blok Hansen, akademisk medarbejder Louise Martinsen og seniorforsker Berit Hasler*

Indledningsvis skal nævnes, at i den første udgave af rapporten fra 2010 (Kai *et al.*, 2010) og i opdateringen fra 2011 (Kai *et al.*, 2011) blev de afsnit under Indsatsområde 1, der omhandler reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra husdyrproduktion, udarbejdet af forsker Peter Kai, Institut for Ingeniørvidenskab. Opdatering af disse afsnit er fra 2012 overtaget af Michael Jørgen Hansen.

Som grundlag for at prioritere ansøgninger i regi af *bekendtgørelsen om tilskud til projekter vedrørende investeringer i nye processer og teknologier på primære jordbrugsbedrifter* er der foretaget beregninger af de enkelte teknologiers omkostningseffektivitet målt i "kr. pr. kg sparet ammoniakemission" og lignende enheder. Dette giver det bedst mulige grundlag for at sammenligne og prioritere forskellige miljøteknologier ud fra devisen "mest miljø for pengene".

### **Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet**

#### **Ammoniakemission fra stald, lager og udbringning**

Beregningerne vedrørende miljøteknologier, der knytter sig til stalde, er i nærværende rapport foretaget på grundlag af kvælstofudskillelsen fra husdyr, som beskrevet i "Normtal for husdyrgødning 2012/2013" (Poulsen, 2012), som er en årlig opdatering af Poulsen *et al.* (2001). Fra 2011 beregnes ammoniakemissionen fra stalde med gyllesystemer på grundlag af total ammonium kvælstof (TAN), men af hensyn til sammenligneligheden inden for indsatsområde 1, er det valgt at beregne ammoniakemissionen af den samlede mængde kvælstof ab dyr. I tabel 1.1 er angivet værdierne for udskillelse ab dyr, den totale ammoniakemission fra stald, lager og udbringning og den samlede ammoniakemission pr. dyreenheder (DE).

Tabel 1.1. Udskillelse af kvælstof af dyr samt samlet ammoniakemission fra stald, lager og udbringning beregnet med udgangspunkt i normtal 2012/2013. Ammoniakemissioner er beregnet på grundlag af husdyrgødningens samlede indhold af kvælstof (total-N). Ammoniakemissionen pr. DE er baseret på det gældende beregningsgrundlag for beregning af dyreenheder (Tabel 1.2).

Dyreart og -kategori	Udskillelse	Ammoniakemission (stald, lager og udbringning)	
	kg N ab dyr	kg NH <sub>3</sub> -N pr. årsdyr el. prod. dyr	kg N/DE
Slagtesvin, drænet gulv (30-102 kg)	2,82	0,65	23,4
Slagtesvin, 25-49 % fast gulv (30-102 kg)	2,82	0,58	20,7
Slagtesvin, 50-75 % fast gulv (30-102 kg)	2,82	0,50	18,0
Drægtige søer, delv. fast gulv	18,7	4,0	24,6
Diegivende søer, kassesti med delv. Spaltegulv	6,5	1,27	18,1
Smågrise, to-klimastald (7,2-30 kg)	0,49	0,08	15,7
Malkekøer (stor race), ringkanal eller bagskyl	141,4	25,5	19,1
Malkekøer (stor race), gødningskanal med linespil	141,4	22,9	17,2
Malkekøer (jersey), ringkanal eller bagskyl	119,8	21,6	19,0
Fjerkræ, skrabeægsproduktion, gulvsystem med gødningskumme (100 årshøner)	81,8	37,1	61,5
Fjerkræ, skrabeægsproduktion, etagesystem med gødningsbånd (100 årshøner)	81,8	18,4	30,5
Mink, bure, gødningsrende (ugentlig tømning) (1 årstæve)	5,64	2,38	71,3

Beregning af antallet af DE er baseret på det gældende grundlag for fastsættelse af dyreenheder jf. Bilag 2 punkt B i *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v.* (Bek. nr. 717 af 2/7 2009). Tabel 1.2 viser eksempler på antal årsdyr og producerede dyr, der medgår til 1 DE.

Tabel 1.2. Husdyrarter og antal til 1 dyreenhed.

Dyretype	Enhed	Antal enheder til 1 DE
Malkekøer stor race uden opdræt (9234 kg mælk)	1 årsko	0,75
Malkekøer Jersey uden opdræt (6555 kg mælk)	1 årsko	0,88
Søer med grise til frav. (4 uger, ca. 7,3 kg)	1 årssø	4,3
Smågrise fra 7,3 til 32 kg	1 prod. dyr	200
Slagtesvin fra 32 til 107 kg	1 prod. dyr	36
Høner til ægproduktion	1 årsdyr	166
Mink, ildere o.l.	1 årstæve	30

### **Driftsøkonomi og omkostningseffektivitet**

I lighed med teknologirapporten fra 2012 (Hansen *et al.*, 2012) er der beregnet driftsøkonomiske kalkuler og miljøeffektivitet for en række miljøteknologier, hvoraf nogle er nye i forhold til Hansen *et al.* (2012). I lighed med de tidligere års rapporter er omkostningerne beregnet i driftsøkonomiske priser og ikke i samfundsøkonomiske priser. De driftsøkonomiske omkostninger giver landmænd viden om omkostningerne ved at indføre teknologien på bedriften.

I lighed med Hansen *et al.* (2012) er grundlaget for beregningerne af omkostningerne ved teknologierne i videst muligt omfang harmoniseret, så miljøteknologiernes driftsøkonomi og miljøeffektivitet kan sammenlignes på så ensartet et grundlag som muligt.

De økonomisk betragtninger har i nærværende rapport taget udgangspunkt i en opdatering af forudsætningerne i det omfattende udredningsarbejde vedrørende miljøteknologier i landbruget, der er pågået i de seneste år i regi af Miljøstyrelsen. Omkostningsberegningerne i nærværende rapport er opdateret til 2013 priser. I nogle tilfælde er genberegningen sket med udgangspunkt i omkostningerne angivet i 2012-rapporten, og disse er så prisfremskrevet. Dette gælder for f.eks. værdien af N og S i handelsgødning. Normtal for husdyrgødning er ligeledes opdateret. De øvrige økonomiske beregningsforudsætninger fremgår af Bilag 2.

### **Kapitalomkostninger**

Kapitalomkostningerne omfatter gennemsnitlige årlige omkostninger til forrentning og afskrivning af investeringerne. Der er anvendt en rente på 4 % iht. de seneste anbefalinger fra Finansministeriet (Energistyrelsen, 2013). Investeringen afskrives over teknologiens forventede levetid. Der oplyses om netto-investeringsbehovet ved implementering af miljøteknologien, herunder pr. DE.

### **Driftsomkostninger**

Driftsomkostninger omfatter alle meromkostninger, der direkte relaterer til anvendelsen af den enkelte teknologi, herunder energi, vandforbrug, vedligeholdelse, arbejdskraft, mv.

Det skal bemærkes, at det i nærværende rapport er valgt ikke at inddrage evt. udbyttetigninger i afgrøder, som følge af et højere N indhold i gyllen end normtallene angiver. Derimod værdisættes den sparede kvælstofudledning som sparet indkøb af handelsgødning og er værdisat med 2013-prisen på kvælstof (8,45 kr./kg). Dette er valgt for at ensrette udregninger for stald- og markteknologier. Anvendelsen af svovlsyre ved gylleforsuring og i luftrensningsanlæg, baseret på syre, medfører en berigelse af gyllen med svovl, som kan erstatte svovl i handelsgødning. Ved gylleforsuring overstiger den tilsatte mængde svovl til gyllen planternes behov i marken. Ifølge Landbrug og Fødevarer kan der regnes med, at omkostningerne til svovlgødning efter norm i svinebrug andrager ca. 45 kr./ha og i kvægbrug ca. 90 kr./ha, og således udgør den maksimale værdi af sparet svovl i

handelsgødning. Det skal her bemærkes, at ved beregning af omkostningseffektivitet for Markforsuring og Tankforsuring, er det valgt at benytte et gennemsnit for svovlgødskning på både kvæg- og svinebrug. Den gennemsnitlige værdi af svovl er sat til 70 kr. ha. Her er der taget højde for, at den største mængde af forsuret gylle vil blive udbragt på græsmarker. Yderligere tilførsel af svovl til marken ud over behovet betragtes i analysen som tabt.

### **Miljøeffektivitet**

Så vidt muligt er teknologiernes miljømæssige effekt af hensyn til sammenligneligheden beregnet på et ensartet grundlag og præsenteret med samme enhed. Effekten på ammoniakemissionen er dels præsenteret som den procentvise reduktion i hhv. stald, lager og udbringning. Desuden er der foretaget en beregning af den samlede miljøeffekt i kg sparet kvælstofudledning pr. DE fra stald, lager og udbringning beregnet på grundlag af normtal for husdyrgødning 2012/2013.

Hvis en påtænkt miljøinvestering ønskes gennemført samtidig med en produktionsudvidelse, kan miljøeffekten af den påtænkte investering beregnes på grundlag af husdyrholdets størrelse efter udvidelsen, dvs.:

$$\begin{aligned} & \textit{Ammoniakemission efter udvidelse ekskl. implementeret miljøteknologi} \\ & \textit{minus} \\ & \textit{Ammoniakemission efter udvidelse inkl. implementeret miljøteknologi.} \end{aligned}$$

### **Omkostningseffektivitet**

Omkostningseffektiviteten er opgjort som omkostningerne til at reducere udledningen af kvælstof, dvs. kr. pr. kg sparet N-udledning fra stald, lager og udbringning inkl. værdien af sparet kvælstof og evt. svovl i handelsgødning. Dette tal fremkommer ved at dele de gennemsnitlige årlige omkostninger, inkl. værdien af sparet handelsgødning, med den samlede miljøeffekt i kg sparet ammoniak-N.

## **Kemisk og biologisk luftrensning til stalde**

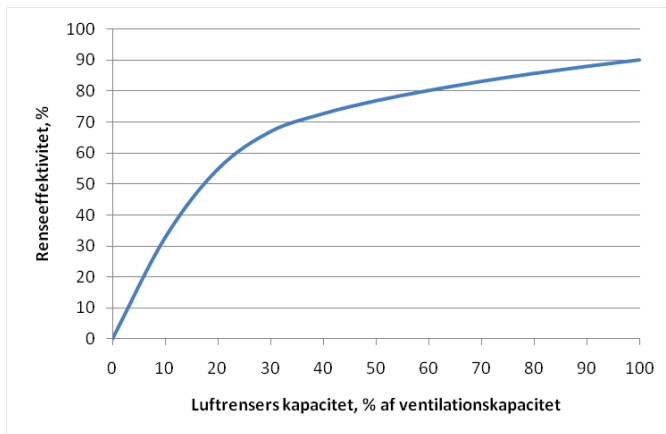
Overordnet set er der to typer af luftrensere til stalde, kemisk og biologisk luftrensning. Kemisk luftrensning er baseret på en renseproces, hvor ventilationsluften ledes igennem en filtermatrice, der konstant overrisles med en syreopløsning, typisk fortyndet svovlsyre (Miljøstyrelsen, 2009a). Derved opsamles luftens indhold af ammoniak og støv fra luften. Luftens passage gennem filteret kan finde sted enten efter tværstrøms- eller modstrømsprincippet. Filtermatricen skaber en passende væskeoverflade, som er nødvendig for massetransporten af ammoniak fra luften til væsken. Den lave pH-værdi af væsken medfører, at den absorberede ammoniak omdannes til ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), der ikke fordamper.

Ved biologisk luftrensning ledes ventilationsluften gennem et filtermateriale med en stor overflade, hvorpå en biofilm bestående af mikroorganismer omsætter ammoniak og lugtstoffer i staldluften (Miljøstyrelsen, 2011a). Der findes forskellige typer af biologiske luftrensere, men den mest udbredte er den biologiske luftvasker, hvor filtermaterialet overrisles med recirkuleret vand. Af hensyn til at opretholde den mikrobielle aktivitet i luftrenseren læses der med jævne mellemrum overrislingsvand og tilsættes frisk vand. Der mangler stadig kvantitativ viden om, hvad der sker med det frarensede ammoniakkvælstof i læse vandet. Forsøg har vist, at i størrelsesordenen 50 % af det frarensede ammoniakkvælstof forlader luftrenseren med læse vandet i form af ammoniak/ammonium, mens den anden halvdel forlader luftrenseren i form af nitrit eller nitrat (Juhler *et al.*, 2009). Der er ligeledes stor usikkerhed om, i hvilket omfang de enkelte kvælstofforbindelser vil være at genfinde i gyllen ved udbringning og således kan forventes at have gødningsværdi. I Miljøstyrelsens teknologiblade om biologisk luftrensning (Miljøstyrelsen, 2011a,b,c) antages det konservativt, at halvdelen af læse vandets indhold af kvælstof kan udnyttes i marken.

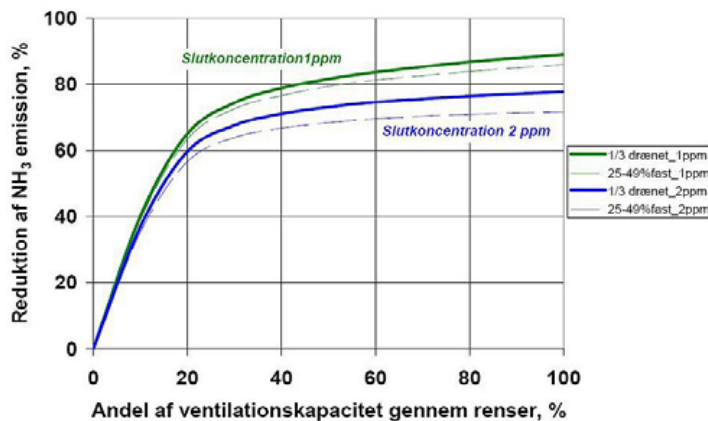
### **Delluftrensning**

Alle husdyrstalde skal ventileres kontinuerligt året rundt; om sommeren opererer ventilationsanlægget med høj ydelse for at fjerne overskudsvarmen, mens der om vinteren, når udetemperaturen er lav, skal anvendes en betydeligt mindre luftmængde til at køle stalden sammenlignet med om sommeren. Typisk opererer ventilationsanlægget i en slagtesvinestald med drænet gulv med en ydelse på under 25 % af maksimumkapaciteten cirka halvdelen af året. Dvs. at hvis man projekterer sit ventilationsanlæg, så 25 % af luften renses, vil al udsugningsluft blive renses omkring halvdelen af året (Kai *et al.*, 2007). Afhængig af kravet til ammoniakreduktion, kan der derfor med fordel anvendes et luftrensningsanlæg med en lavere kapacitet end staldens ventilationsbehov. Ved delluftrensning er luftrenserens kapacitet lavere end staldens ventilationsbehov. For at opnå den største effekt, ledes staldluften igennem luftrenseren i det omfang, denne har kapacitet. Først når staldens luftbehov overstiger luftrenserens kapacitet, ledes urensset luft ud i atmosfæren.

Figur 1.1 kan anvendes til at skønne den samlede ammoniakreduktion for en slagtesvinestald med drænet gulv ved varierende kapacitet af en kemisk luftrenser, mens Figur 1.2 viser sammenhængen mellem en biologisk luftrenserens kapacitet og reduktionen i ammoniakemissionen fra en slagtesvinestald med drænet gulv. Figurerne bygger på idealiserede forhold, og i praksis kan der forekomme afvigelser som følge af brug af anden ventilationstype, ventilationsstrategi og dimensionering af ventilationsanlægget, ligesom staldtypen har indflydelse på effektiviteten af den samlede ammoniakreduktion. Det må derfor anbefales, at der foretages konkrete beregninger med Staldvent til fastlæggelse af et mere præcist estimat for renseseffektiviteten i det konkrete tilfælde (Kai *et al.*, 2007).



Figur 1.1 Sammenhæng mellem luftrensersens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med drænet gulv. Luftrensere anvender syre til at binde ammoniakken i luften og har en effektivitet på 90 % for så vidt angår den del af luften, der renses.



Figur 1.2. Sammenhæng mellem luftrensersens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med henholdsvis drænet gulv og delvist fast gulv. Luftrensere er en biologisk luftvasker, der reducerer ammoniakkoncentrationen i luften til en konstant slutkoncentration på hhv. 1 og 2 ppm for så vidt angår den del af luften, der renses. Kilde: Kai et al. (2007).

### Gulvudsugning kombineret med luftrensning

Delrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrensere tilsluttes et gulvudsugningsanlæg med en begrænset ventilationskapacitet. Princippet ved denne fremgangsmåde er at koncentrere så stor en andel af ammoniak- og lugtemissionen i så lille en luftmængde som muligt og efterfølgende rense luften med enten en biologisk eller kemisk luftrensere. Der er på nuværende tidspunkt gennemført to afprøvninger, som indikerer at gulvudsugning kan anvendes til at koncentrere ammoniak og lugt i en lille luftmængde (10-20 % af maksimumventilationen), mens koncentrationen af ammoniak og lugt er lav i den resterende normale loftsudsugning (Pedersen *et al.*, 2010; Pedersen & Jensen, 2010). Det er dog i forbindelse med Miljøstyrelsens teknologiudredningsprojekt vurderet, at teknologien endnu mangler dokumentation, bl.a. som følge af en risiko

for, at emissionen af ammoniak og lugt kan stige ved uhensigtsmæssig dimensionering af gulvudsugningsanlægget. Der er et igangværende projekt under GUDP om emissionsforhold ved forskellige former for gulvudsugning med henblik på efterfølgende luftrensning, som skal være med til at afklare dette.

### **Kemisk luftrensning (svin / ammoniak)**

Der foreligger en række danske undersøgelser der dokumenterer effektiviteten af kemisk luftrensning til svinestalde. Riis (2008) afprøvede en 1-trins Bovema syre-luftrensere på afgangsluften fra en smågrisestald og fandt en rensningseffektivitet på 99,7 %. Den samlede reduktion i ammoniakemissionen fra stalden blev opgjort til 57 %, idet luftrensningens kapacitet udgjorde 34 % af staldens samlede ventilationskapacitet. Bovema-luftrensningen bliver ikke længere forhandlet i Danmark. Riis (2009) fandt en ammoniakreduktion på 92 % for en kemisk luftvasker fra Scan Airclean A/S ved fuld luftrensning i en kombineret smågrise- og poltestald. Den kemiske luftvasker var opbygget af filtermoduler af fabrikatet Inno+ fra Holland og var centralt placeret i stalden. Scan Airclean a/s eksisterer ikke længere, men firmaets teknologi bliver videreført af MHJ Agroteknik A/S.

For en kemisk luftrensning, som kan fjerne 90 % af ammoniakken i luften, kan det beregnes, at ammoniaktabet reduceres med 0,32 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 11,4 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100 % luftrensning). Ved 60 % delluftrensning kan der beregnes et sparet ammoniaktab på 0,28 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 10,2 kg N pr. DE, og ved 20 % delluftrensning 0,19 kg N pr. produceret slagtesvin eller 7,0 kg N pr. DE.

Tabel 1.3 viser et skøn over investeringsbehov, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved brug af en decentral kemisk luftrensning med en rensningseffektivitet på 90 %. Decentrale luftrensningsanlæg er opbygget således, at de kun renses luften fra én eller få staldsektioner og således i modsætning til centrale luftrensningsanlæg ikke kræver store hovedluftkanaler for at transportere luften. Sidstnævnte type er ikke beskrevet yderligere i nærværende rapport. Beregningerne i Tabel 1.3 er kun gældende for slagtesvin, opstaldet i stier med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv. Tabel 1.3 er således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldtyper til slagtesvin, idet staldtypen har betydning for emissionen af ammoniak internt i stalden og dermed på mængden af ammoniak-kvælstof, som renses. Den økonomiske kalkule kan heller ikke forventes at være gældende for øvrige slagtesvinestalde med mekanisk ventilation. Det anbefales f.eks. at supplere det diffuse luftindtag med loftsventiler i stalde med delvist fast gulv, hvilket forøger omkostningerne. Øvrige typer af svin kræver således særskilt beregning af både miljøeffekt og driftsøkonomi. Det er antaget, at læsevandet fra syrerenseren ledes til gyllebeholder. Det er antaget, at den tilledte ammoniak bidrager til en marginalt forøget emission fra lager og ved udbringning. Alternativet til denne løsning kunne være at opbevare læsevand i en separat beholder og bringe det ud separat, hvorved det samlede

kvælstof tab ville blive mindre. Imidlertid medfører denne løsning forøgede omkostninger til separat lagring af lænse vandet, hvilket påvirker omkostningseffektiviteten negativt.

Tabel 1.3. Skøn over investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af kemisk luftrensning i slagtesvinestalde med drænet gulv. Eksemplet omfatter en decentral luftrenser med en effektivitet på 90%.

Kemisk luftrensning	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
<b>100 % luftrensning</b>						
Investering, kr./DE	4501	3738	3829	3829	3829	4331
Årlige meromkostninger, kr./DE	888	692	675	636	626	701
Kg N reduceret pr. DE	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret <sup>1)</sup>	78	61	59	56	55	61
<b>60 % luftrensning</b>						
Investering, kr. /DE	4155	3392	2243	2243	2243	2654
Årlige meromkostninger, kr./DE	871	662	494	464	448	502
Kg N reduceret pr. DE	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret <sup>1)</sup>	85	65	49	46	44	49
<b>20 % luftrensning</b>						
Investering, kr. /DE	2887	2077	1246	1018	953	853
Årlige meromkostninger, kr./DE	654	424	281	214	184	170
Kg N reduceret pr. DE	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret <sup>1)</sup>	94	61	40	31	26	24

<sup>1)</sup> Inklusiv værdien af sparet kvælstof tab. Kilde: Genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2012).

## Biologisk luftrensning (svin / ammoniak og lugt)

### Ammoniak

Ved en afprøvning af en 2-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S blev det vist, at luftrensningsanlægget var i stand til at reducere ammoniak koncentrationen til et niveau mellem 1,2 og 2,4 ppm i afgangsluften. Den biologiske to-trins renser fra SKOV A/S var opbygget med to vertikale filtre på hver 15 cm. Ammoniak koncentrationen i den urensede staldluft varierede mellem 4,1-9,0 ppm. Der blev således observeret en renseeffekt med hensyn til ammoniak på 50-60 % i sommer månederne og 75-85 % i vinter månederne (Jensen & Hansen, 2006). Ved en senere afprøvning af en 2-trins biologiske luftrenser fra SKOV A/S fandt Lyngbye & Hansen (2008), at ammoniak koncentrationen i afgangsluften fra en slagtesvinestald blev reduceret fra 4,0 ppm til 1,0 ppm, svarende til en reduktion på 74 %. Luftrenseren blev belastet med en luftmængde svarende til 3191 m<sup>3</sup> pr. m<sup>2</sup> filterfrontareal pr. time. Ved forsøget blev luftmængden til filteret halveret til 1596 m<sup>3</sup> pr. m<sup>2</sup> filterfrontareal pr. time, hvorved ammoniak koncentrationen blev reduceret fra 4,0 til 0,4 ppm, svarende til en 89 % reduktion.

I en senere afprøvning blev en 2-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S kombineret med et vertikalt biofilter bestående af 60 cm knuste trærødder (Riis, 2010a). Ammoniak koncentrationen blev i



gennemsnit reduceret fra 10 ppm til 0,7 ppm svarende til en gennemsnitlig renseeffektivitet på 93 %. Hovedparten af reduktionen fandt imidlertid sted allerede ved passage gennem de to første trin, hvor der blev registreret en koncentration på 1,2 ppm svarende til en reduktion på 87 %.

Den seneste afprøvning af en 3-trins biologisk luftrensere fra SKOV A/S blev gennemført over et helt år og viste, at luftrenseren var i stand til at reducere ammoniakemissionen med 94 % (Riis, 2012). Den biologiske 3-trins renser fra SKOV A/S var opbygget med to vertikale filtre på 15 cm og efterfølgende et vertikalt filter på 60 cm. Den primære fjernelse af ammoniak fandt sted i de to første trin. Undersøgelsen viste endvidere, at ammoniakkoncentrationen blev reduceret til et niveau mellem 1-2 ppm i de varme sommermåneder med maksimumventilation.

I en afprøvning af en biologisk luftrensere fra Dorset Milieutechniek B.V. blev der målt en reduktion i ammoniakemissionen på 77 % (Sørensen, 2011). Den biologiske luftrensere fra Dorset Milieutechniek B.V. var opbygget med et horisontalt filter på 90 cm. Afprøvningen viste ligeledes, at ammoniakkoncentrationen blev reduceret til et niveau mellem 1 og 2 ppm.

I forhold til biologisk luftrensning omregnes der fra en fast slutkoncentration til en aktuel reduktionsprocent ved hjælp af programmet StaldVent (Kai *et al.*, 2007)

Andre biologiske luftvaskere er under udvikling, men kan endnu ikke betragtes som værende klar til udbredt anvendelse. Indledende tests af disse anlæg har vist, at de er i stand til at reducere ammoniak i staldluften. Der mangler dog endnu tilstrækkelig dokumentation mht. reduktion af ammoniak mv. Anlæggene omfatter: CleanTube fra Skiold A/S (Sørensen & Riis, 2008), VengSystem (Riis, 2010b).

For en biologisk luftrensere med en effektivitet, svarende til en konstant ammoniakkoncentration efter renseren på 2 ppm uafhængigt af koncentrationen før renseren, kan det beregnes at ammoniaktabet fra stald, lager og udbringning reduceres med 0,28 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 10,0 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100 % luftrensning). For delluftrensning, hvor luftrenserens kapacitet er 60 % af staldens beregnede maksimale ventilationsbehov, kan det samlede sparede ammoniaktab opgøres til 0,27 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 9,6 kg N pr. DE. Ved 20 % delluftrensning kan det samlede ammoniaktab tilsvarende opgøres til 0,21 kg N pr. produceret slagtesvin eller 7,7 kg N pr. DE.

Tabel 1.4 viser skøn over investeringsbehov, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved anvendelse af biologisk luftrensning. Der er indarbejdet eksempler på 100 % luftrensning samt henholdsvis 60 % og 20 % delluftrensning. Beregningerne i Tabel 1.4 er kun gældende for slagtesvin opstaldet i stier med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv. Tabel 1.4 er således ikke gældende for så vidt angår

miljøeffekten ved brug af andre staldtyper til slagtesvin, idet staldtypen har betydning for emissionen af ammoniak internt i stalden og dermed på mængden af ammoniak-kvælstof, som renses. Den økonomiske kalkule kan heller ikke forventes at være gældende for øvrige slagtesvinestalde med mekanisk ventilation, idet det anbefales at supplere det diffuse luftindtag med loftsventiler i stalde med delvist fast gulv, hvilket forøger omkostningerne. Øvrige typer af svin kræver således særskilt beregning af både miljøeffekt og driftsøkonomi.

Tabel 1.4. Skøn over investeringsbehov, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved anvendelse af decentral biologisk luftrensning i slagtesvinestalde med drænet gulv. For forklaring af benævnelsen "% luftrensning" henvises til afsnittet om delluftrensning. Miljøeffekten er beregnet på grundlag af effekten af teknologien på emissionerne fra stald, lager og udbringning af husdyrgødning.

Biologisk luftrensning	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
<b>100% luftrensning</b>						
Investering, kr./DE	3576	2383	1710	1710	1710	1710
Årlige meromkostninger, kr./DE <sup>1)</sup>	867	626	558	530	535	531
Kg N reduceret pr. DE	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Omkostningseffektivitet, kr. /kg N reduceret <sup>1)</sup>	87	62	56	53	53	53
<b>60% luftrensning</b>						
Investering, kr. /DE	3173	1913	1430	1430	1430	1430
Årlige meromkostninger, kr./DE <sup>1)</sup>	690	480	425	399	391	386
Kg N reduceret pr. DE	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret <sup>1)</sup>	72	50	44	42	41	40
<b>20% luftrensning</b>						
Investering, kr./DE	2475	1462	922	922	922	922
Årlige meromkostninger, kr./DE <sup>1)</sup>	594	339	220	208	205	207
Kg N reduceret pr. DE	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Omkostningseffektivitet, kr. /kg N reduceret <sup>1)</sup>	78	44	29	27	27	27

<sup>1)</sup>Inklusiv værdien af sparet kvælstof. Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra SKOV A/S.

## Lugt

**Biologiske luftrensere:** SKOV A/S's biologiske luftrensere "Farm Airclean BIO modul 2 trin" er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 73 % (Miljøstyrelsen, 2013). Dorset Biological Combi Aircleaner er ligeledes opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en effekt i forhold til lugt på 40 %. For begge produkters vedkommende er anført, at opførelsen på teknologilisten er midlertidig forlænget efter særlig aftale med Miljøstyrelsen.

Andre biologiske luftrensere er under udvikling, men kan endnu ikke betragtes som værende klar til udbredt anvendelse. Indledende tests af disse anlæg har vist, at de i varierende omfang har potentiale til at reducere lugt i staldluften. Anlæggene omfatter: CleanTube fra Skiold A/S (Sørensen & Riis, 2008) og VengSystem (Riis, 2010b).

**Biofiltre:** Der er foretaget afprøvninger af yderligere biofiltre, der er opbygget af forskellige filtermaterialer, som har demonstreret disse filteres potentiale til lugtreduktion (Jensen *et al.*, 2005; Riis *et al.*, 2008). Ingen af disse anlæg er kommercielt tilgængelige. Det kommercielt tilgængelige

BIO-REX Hartmann biofilter med træflis har i en afprøvning vist en lugtreduktion på 77 % (Riis & Jensen, 2007). Der rapporteres om driftsmæssige problemer under afprøvningen, der kan have påvirket filterets effektivitet.

## **Gylleforsuring (svin, kvæg)**

### **Ammoniakemission fra svinestalde**

Der er tidligere gennemført en afprøvning af gylleforsuring fra Infarm A/S og Staring Maskinfabrik A/S, hvor det blev vist, at ammoniakemissionen blev reduceret med 70 % (Pedersen, 2004). Senest er det blevet vist, at gylleforsuring fra Jørgen Hyldgård Staldservice A/S reducerer ammoniakemissionen med 71 % (Pedersen & Albrechtsen, 2012). En kombination af forsuring med svovlsyre og tilsætning af hydrogenperoxid (brintoverilte) med henblik på at opnå en lugtmæssig reduktion er rapporteret afprøvet i en slagtesvinestald (Pedersen, 2007). Sammenlignet med en ubehandlet kontrolstald medførte behandlingen en gennemsnitlig reduktion i ammoniakemissionen på 85 %. Det er imidlertid uafklaret, om reduktionen udelukkende kan tilskrives en effekt af svovlsyretilsætningen, som var markant større end tidligere rapporteret, eller om den skyldes en kombineret effekt af svovlsyre og brintoverilte.

### **Tab under lagring og udbringning**

Svovlsyrebehandling af gylle reducerer ammoniakemissionen under lagring og udbringning af gylle på mark. Reduktionsgraden for lager er ikke endeligt dokumenteret, men det vurderes at ammoniaktabet fra en beholder med forsuret gylle udgør 1 % af den tilførte kvælstofmængde (Kai *et al.*, 2008) svarende til en reduktion på 50 % sammenlignet med gyllebeholdere med flydelag.

Ammoniaktabet under og efter udbringningen er behandlet i nedenstående afsnit om udbringning af gylle, og de anvendte gennemsnitlige emissionsfaktorer for ammoniak fremgår af Tabel 1.23.

Med udgangspunkt i ovenstående kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 9,6 kg N/DE i slagtesvinestalde med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv svarende til en reduktion på 13,8 kg N/DE eller netto 59 %. Tabel 1.6 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv.

## Slagtesvin

På baggrund af ovenstående er der fremdeles regnet med en reduktion i ammoniakemissionen på 70 % ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv. Der foreligger ingen dokumentation for effekten af forsuring af gylle i slagtesvinestalde med andre gulvtyper, herunder delvist fast gulv. I Tabel 1.5 er vist de forventede effekter af gylleforsuring i slagtesvinestalde med andre gulvprofiler end drænet gulv.

Tabel 1.5. Forventet reduktion i ammoniakemissionen fra slagtesvinestalde ved anvendelse af gylleforsuring. Reduktioner i % sammenlignet med staldsystemer uden forsuring med henholdsvis 33 % drænet gulv/67 % spaltegulv, samt samme gulvprofil uden gylleforsuring.

	33 % drænet gulv/67% spaltegulv	Delvist fast gulv, 25-49 % fast gulv	Delvist fast gulv, 50-75 % fast gulv
33 % drænet gulv/67 % spaltegulv + forsuring	70	-	-
Delvist fast gulv, 25-49 % fast gulv + forsuring	75	68	-
Delvist fast gulv, 50-75 % fast gulv + forsuring	80	-	65

Kilde: Miljøstyrelsen (2009b).

Tabel 1.6 angiver de forventede effekter ved gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv.

Tabel 1.6. Skøn over investeringsbehov, årlige driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv.

Slagtesvinestalde med drænet gulv	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13.667	7467	4920	2690	1913	1632
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1511	857	594	359	280	249
Omkostningseffektivitet, kr./kg N reduceret inkl. værdien af N og S	109	62	43	26	20	18

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S.

## So- og smågrisestalde

Der er ikke rapporteret forsøg med gylleforsuring i hverken so- eller smågrisestalde. PH-værdien i sogylle er generelt højere end i slagtesvinegylle, hvorfor en forsuring af sogylle til pH 5,5 til 5,8 alt andet lige burde resultere i en større reduktion i ammoniakemissionen sammenlignet med slagtesvinestalde. I smågrisestalde er gyllens pH-værdi derimod generelt lavere end i slagtesvinestalde, hvorfor effekten af gylleforsuring alt andet lige burde være mindre. Til gengæld kan der være driftsmæssige forhold, som influerer på den tilsigtede effekt, herunder hygiejnen af den faste del af stigulvet. Samlet set vurderes det derfor, at de ovennævnte reduktionsprocenter kan anvendes. Ved beregningen af miljøeffekten af gylleforsuring er reduktionsprocenten ved gylleforsuring fastsat i forhold til samme staldsystem uden gylleforsuring. For løbe-/drægtighedsstalde og smågrise-

stalde med delvist fast gulv er der således antaget en reduktion i ammoniaktabet fra stalden på 65 %.

For gylleforsuring i sostalde andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 10,9 kg N/DE fra løbe-drægtighedsstalde med delvist spaltegulv og 8,1 kg N/DE farestalde med delvist spaltegulv. Ved en vægtning på 70 % fra løbe-drægtighedsstalden og 30 % fra farestalden giver det en vægtet ammoniakemission på 10,1 kg N/DE fra soholdet, svarende til en vægtet reduktion på 12,6 kg N/DE eller netto 55 %. Tabel 1.7 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist spaltegulv.

Tabel 1.7. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist fast gulv.

Sostalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13.667	7467	4920	2710	1940	1684
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1589	935	671	439	360	332
Omkostningseffektivitet, kr./kg N reduceret inkl. værdien af N og S	126	74	53	35	29	26

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S.

For gylleforsuring i smågrisestalde med delvist spaltegulv andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 8,6 kg N/DE svarende til en reduktion på 10,5 kg N/DE eller netto 55 %. Tabel 1.8 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Tabel 1.8. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Smågrisestalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13.667	7467	4920	2690	1927	1642
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1.635	981	717	483	405	374
Omkostningseffektivitet, kr./kg N reduceret inkl. værdien af N og S	155	93	68	46	38	36

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S.

### Kvægstalde

Der regnes ligeledes fremdeles med, at ammoniakemissionen fra kvægstalde med ringkanalsystem eller bagskylsanlæg med gylleforsuring reduceres med 50 % sammenlignet med ingen syrebehandling (Miljøstyrelsen, 2009c). Da gylleforsuring ligeledes giver anledning til reduceret ammoniaktab under lagring på 50 %, sammenlignet med gylle med flydelag (Kai *et al.*, 2008), kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 11,3 kg N/DE (stor race) svarende

til en reduktion på 7,8 kg N/DE eller 41 % sammenlignet med ingen gylleforsuring. Omkostningseffektiviteten forbedres betydeligt med stigende besætningsstørrelse, Tabel 1.9.

Tabel 1.9. Skøn over investeringsbehov, omkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i kvægstalde med spaltegulv og ringkanal (stor race) med forskellig besætningsstørrelse.

	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	8667	4333	2600	1422	948	748
Samlede årlige omkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1064	586	394	266	213	191
Omkostningseffektivitet, kr./kg N reduceret inkl. værdien af N og S	137	76	51	34	27	25

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S.

For lille race (Jersey) kan det på tilsvarende vis beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 11,3 kg NH<sub>3</sub>-N/DE svarende til en reduktion på 7,7 kg NH<sub>3</sub>-N/DE eller 41 %. Under forudsætning af, at omkostningsniveauet er ens for stor race og jersey, er omkostningseffektiviteten af gylleforsuring i stalde med henholdsvis jersey og stor race stort set ens.

### Drivhusgasser

Forsøg har vist, at der potentielt kan opnås en betydelig reduktion i emissionen af metan fra stald og lager ved forsuring af gylle. Et laboratorieforsøg har vist, at emissionen af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var næsten 90 % lavere end fra den ubehandlede kontrolgylle ved målinger over 100 dage (Petersen *et al.*, 2012). Tilsvarende effekter er opnået i forsøg med gylle fra slagtesvin, som var forsuret enten i stalden med udstyr fra Jørgen Hyldgaard Staldservice, eller i gyllelager med udstyr fra Harsø A/S (Petersen og Olesen, 2011). Hansen (2008) viste ligeledes ved et laboratorieforsøg fra kvæggylle, lagret i syv uger, var 67 % lavere end den ubehandlede kontrolgylle. Forsøgene peger entydigt på en meget signifikant og stabil reduktion af metanudledningen under lagring af gylle.

### Gyllekøling (svin / ammoniak)

Gyllekøling kan anvendes i stalde med gyllekanal såvel som med mekanisk udmugning (linespil, skraber). Gyllekølingssystemet etableres ved nedstøbning af PEL-slanger i bunden af gyllekanalerne i stalden. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 35-40 cm. I stalde med gyllesystem kan køleslangerne alternativt udlægges direkte oven på kanalbunden. Køleslangerne forbindes til en varmepumpe. Gyllekøling er mest relevant i svinebesætninger, hvor den indvundne varme kan anvendes til opvarmningsformål, hvilket typisk drejer sig om besætninger med søer og smågrise.

Ved køling vha. varmepumpe er økonomien stærkt afhængig af afsætningsmulighederne af varmeenergien. I sobesætninger kan en del af varmen fra køling af gyllen i drægtighedsstalde eksempelvis afsættes til opvarmning af farestalde (rumopvarmning og opvarmning af smågrisehuler). I slagtesvinestalde kan der derimod kun i sjældne tilfælde regnes med at være afsætningsmulighed for overskudsvarmen fra varmepumpen og da kun om vinteren.

Hvordan gyllekøling påvirker emissionen af ammoniak afhænger af staldtypen og af køleeffekten pr. m<sup>2</sup>, hvorfor der ikke kan gives et entydigt tal for reduktionen. En dansk undersøgelse med køling i bunden af gyllekanalerne i en slagtesvinestald med fuldspaltegulv har vist, at ammoniakemissionen blev reduceret med ca. 10 %, for hver 10 W/m<sup>2</sup> køleeffekt (Pedersen, 1997). En afprøvning af gyllekøling i en drægtighedsstald med mekanisk udmugning viste, at ved en gennemsnitlig køleeffekt på 24 W/m<sup>2</sup> blev ammoniakemissionen reduceret med 31 % (Pedersen, 2005).

For køling i stalde med mekanisk udmugning med linespil eller anden mulighed for hyppig mugning antages det i gældende BAT-blad (Miljøstyrelsen, 2009d), at der kan opnås NH<sub>3</sub>-reduktion jf. nedenstående ligning 1:

$$\text{Reduktion (\%)} = -0,008x^2 + 1,5x \quad [1]$$

hvor x = køleeffekt, W/m<sup>2</sup>.

Tilsvarende kan effekten estimeres for stalde med traditionelt gyllesystem med ca. 40 cm. dybe gyllekanaler, jf. ligning 2:

$$\text{Reduktion (\%)} = -0,004x^2 + x \quad [2]$$

Den øvre grænse for gyldigheden af ovenstående ligninger [1] og [2] er ikke afklaret. Det vurderes dog, at mulighederne for afsætning af den indvundne varmeenergi og dermed driftsøkonomien vil være begrænsende for, hvor stor en køleeffekt der i praksis vil blive anvendt.

Reduktionen i ammoniakemissionen fra stalden afhænger af dyrearten og staldsystemet såvel som af køleeffekten. Tabel 1.10 angiver hvor meget ammoniakkvælstof, der spares ved etablering af gyllekøling i svinestalde. De sparede ammoniaktab er baseret på beregning af tab fra hhv. stald, lager og udbringning på grundlag af udskillelsen af total-N som anført i normtal 2012/2013.

Tabel 1.11 angiver det anslåede investeringsbehov for anvendelse af gyllekøling i so-, smågrise- og slagtesvinestalde. Investeringsbehovet afhænger af staldanlæggets opbygning og af evt. tilknyttede faciliteter, der kan aftage varmen fra anlægget. Evt. tilkobling til disse er ikke indregnet i kalkulen. Anskaffelse og drift af kalorifere til udledning af evt. overskydende varme til atmosfæren er ligeledes ikke indregnet i nærværende kalkule.

Tabel 1.10. Beregnet tab af NH<sub>3</sub>-N fra stald, lager samt sparet N-tab ved gyllekøling i svinestalde, kg N pr. DE.

	Køleeffekt, W/m <sup>2</sup>						
	0	10	20	30			
	Samlet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab
Drægtighedsstalde, delv. spaltegulv, linespil	24,6	22,9	1,8	21,3	3,3	19,9	4,7
Smågrise, toklimastalde	15,7	15,2	0,5	14,7	1,0	14,2	1,4
Slagtesvin, 25-49 % fast gulv	20,7	19,7	1,0	18,8	1,9	18,0	2,7
Slagtesvin, 50-75 % fast gulv	18,0	17,3	0,7	16,6	1,4	16,0	2,0

Grundlag: Normtal 2012/2013. Referencen er samme staldtype uden gyllekøling.

Tabel 1.11. Anslået investeringsbehov ved etablering af gyllekøling i svinestalde, kr. pr. DE.

	Køleeffekt W/m <sup>2</sup>	Dyreenheder, DE					
		75	150	250	500	750	950
Drægtighedsstald, delv. spaltegulv, linespil	10	1467	933	700	550	500	474
	20	1867	1333	1000	850	733	684
	30	2000	1667	1400	900	867	737
Smågrise, toklimastald	10	1467	933	700	500	467	421
	20	1800	1267	1000	750	600	526
	30	1867	1333	1000	850	733	684
Slagtesvin, 25-49 % fast gulv/ 50-75 % fast gulv	10	1667	1000	800	600	533	474
	20	1800	1267	1000	800	667	579
	30	2000	1333	1100	850	667	684

Kilde: Opdaterede investeringsomkostninger fra Klimadan A/S.

Gyllekøling er forbundet med et energiforbrug til drift af varmepumpe og cirkulationspumpe. Tabel 1.12 viser anslået energiforbrug og deraf følgende omkostninger til drift af gyllekøling i stalde til forskellige kategorier af grise. Energiforbruget ved gyllekøling afhænger, ud over den specifikke køleeffekt pr. m<sup>2</sup>, af staldtypen og er proportional med antallet af dyreenheder.

Driftsøkonomien ved gyllekøling afhænger i særdeles høj grad af mulighederne for at nyttiggøre den indvundne varmeenergi. Hvis en større andel af den indvundne varme kan udnyttes, så opnås der en større gevinst ved brug af køling. Når al den indvundne varme nyttiggøres, viser analysen, at der for alle staldtyper er tale om et positivt afkast af investeringen, se Tabel 1.13.

Tabel 1.12. Anslået energiforbrug og -omkostninger ved gyllekøling i svinestalde.

	Energiforbrug, kWh/DE pr. år			Omkostninger til el, kr./DE pr. år		
	10	20	30	10	20	30
Køleeffekt, W/m <sup>2</sup>						
Slagtesvin, 25-49 % fast gulv	184	368	552	102	203	305
Slagtesvin, 50-75 % fast gulv	92	184	276	51	102	152
Smågrise, toklimastald	157	314	472	87	174	260
Drægtighedsstald, delvist spaltegulv, linespil	472	944	1416	260	521	781

Kilde: Energiforbrug: NIRAS (2009). Omkostning: Egne beregninger.



Sobesætninger kan i højere grad end slagtesvinebesætninger afsætte den indvundne varme internt i produktionsanlægget fx i farestalde og smågrisestalde. Det er muligt at benytte den indvundne varme til bl.a. opvarmning i stalde, driftsbygninger, stuehus, vådfoderanlæg, vaskevand og korn-tøringsanlæg.

Tabel 1.13. Gennemsnitlig omkostningseffektivitet ved gyllekøling i svinestalde, kr. pr. kg sparet ammoniakkvælstof inkl. værdien af sparet N-tab. Tal i parentes angiver variationsbredden for 75 – 950 DE. Negativt fortegn angiver en økonomisk gevinst.

	Drægtighedsstalde, Delv. spg, linespil			Smågrisestalde toklimastald		
Køleeffekt, W/m <sup>2</sup>	10	20	30	10	20	30
100 % varmeudnyttelse	-446	-487	-525	-126	-148	-166
	(-464 – -404)	(-499 – -461)	(-537 – -508)	(-147 – -83)	(-163 – -123)	(-175 – -148)
0 % varmeudnyttelse	185	182	186	84	74	71
	(167 – 227)	(169 – 207)	(174 – 203)	(63 – 128)	(60 – 100)	(62 – 89)
	Slagtesvinestalde, 25-49 % fast gulv			Slagtesvinestalde, 50-75 % fast gulv		
Køleeffekt, W/m <sup>2</sup>	10	20	30	10	20	30
100 % varmeudnyttelse	-258	-305	-334	-119	-174	-203
	(-298 – -169)	(-330 – -261)	(-351 – -299)	(-175 – 2)	(-208 – -114)	(-227 – -155)
0 % varmeudnyttelse	183	155	146	184	142	127
	(143 – 272)	(130 – 199)	(129 – 181)	(128 – 305)	(108 – 202)	(103 – 175)

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Klimadan A/S.

### Dimensionering af gyllekøling

Ved dimensionering af gyllekølingsanlæg skal der overvejes en række forhold herunder antal kvadratmeter gylleareal, der ønskes kølet, størrelsen af varmepumpen, varmebehov i andre dele af produktionsanlægget og privatbeboelse. Som udgangspunkt kan det antages, at en varmepumpe opererer med en COP-værdi<sup>2</sup> på 3. Det vil sige, at for hver kWh strøm der forbruges, genereres der ca. tre kWh varme, idet differencen er at betragte som køleeffekten, dvs., der køles ca. med den dobbelte effekt af el-optaget. Ydermere skal varmepumpens driftstid tages i betragtning. På dette grundlag kan man dimensionere sit gyllekølingsanlæg.

Et eksempel: en landmand ønsker at benytte gyllekøling i sin stald svarende til 1000 m<sup>2</sup> gyllekanal. Der ønskes opnået en køleeffekt på 10 W/m<sup>2</sup> svarende til et samlet kølebehov på (1000 m<sup>2</sup> x 10 W) = 10.000 W eller 10 kW. Hvis der regnes med en varmepumpe med en COP<sup>1</sup>-værdi på 3, skal der som minimum anvendes en varmepumpe med et el-optag på (10/2 kW) = 5 kW. Varmepumpen vil så ved konstant drift generere varme svarende til (5 kW el + 10 kW køl) = 15 kW. Hvis varmepumpen imidlertid er større end de 15 kW, fx 20 kW, kan køleeffekten ved konstant drift beregnes til 13 W/m<sup>2</sup>. Da ønsket imidlertid er 10 kW/m<sup>2</sup> skal varmepumpen således kun være i drift ca. (8760 x 10/13) = 6738 timer pr. år eller ca. 75 % af tiden for at opnå den ønskede køleeffekt.

<sup>2</sup> COP, Coefficient of Performance, angiver forholdet mellem energi-output og -input.

## **Drivhusgas**

Gyllekøling kan grundet afkølingen af gylle bidrage til en reduceret udledning af metan fra stalden og kan derved reducere drivhusgaspåvirkningen. Hilhorst *et al.* (2001) fandt, at et temperaturfald i gylle fra 20 °C til 10 °C reducerede metanemissionen med 30 – 50 %. Modelberegninger af Sommer *et al.* (2003) viste tilsvarende en reduktion på 31 % ved at reducere gyllens temperatur fra 15 °C om vinteren og 20 °C om sommeren til 10 °C.

## **Spaltegulvsskrabere (kvæg / ammoniak)**

Fæces og ajle, der befinder sig oven på spaltegulves bjælker, bidrager i betragtelig grad til emission af ammoniak i kvægstalde.

Ved skrabning af spaltegulvets overflade med enten en stationær skraber eller en robotskraber kan spaltegulvets overside løbende renses for fæces og ajle, hvorved ammoniakemissionen reduceres. Der er kun lavet en enkelt måling i én ringkanalstald med spaltegulvsskraber. I *Udredningsrapport for teknologier* (Mikkelsen *et al.*, 2006) er det vurderet, at hyppig skrabning af spaltegulvet i kvægstalde reducerede ammoniaktabet med 20 pct. Senere har en arbejdsgruppe under Miljøstyrelsen udarbejdet et teknologiblad (Miljøstyrelsen, 2010a), hvori der argumenteres for, at effekten af hyppig skrabning af spaltegulvet i kvægstalde opjusteres til 25 pct. i ringkanalstalde og stalde med bagskyl samt 33 pct. i stalde med spaltegulv og gødningskanal med linespil, sammenlignet med samme staldtype uden spaltegulvsskraber. Selvom det empiriske grundlag for en fastsættelse af miljøeffekten af spalteskrabere hviler på et spinkelt grundlag, er der i det følgende valgt at følge indstillingen fra Miljøstyrelsen. Med baggrund i nævnte antagelser kan det beregnes, at nettomiljøeffekten af hyppig skrabning af spaltegulvet i ringkanalstalde, stalde med bagskyl samt stalde med spaltegulv og gødningskanal med linespilanlæg andrager 1,9 kg N pr. DE for stor race. Teknologien er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste og kan benyttes ved ansøgning om miljøgodkendelse af husdyrproduktion. Tabel 1.14 angiver anslåede driftsomkostninger og økonomisk miljøeffektivitet ved etablering og drift af spaltegulvsskrabere i sengebåsestalde med spaltegulv (ringkanal, bagskyl, kanal med linespil).

Tabel 1.14. Skøn over investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af wiretrukne spaltegulvsskrabere samt robotskrabere i kvægstalde med spaltegulv i gangarealerne (ringkanal, bagskyl, samt gødningskanal og linespil).

Wiretrukne spaltegulvsskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	1295	661	448	448	448	447
Samlede årlige omkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	281	140	93	93	93	93
Omkostningseffektivitet, kr./kg N reduceret inkl. værdien af N	149	74	49	49	49	49
Robotskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	1723	871	520	260	347	274
Samlede årlige omkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	258	139	91	55	67	57
Omkostningseffektivitet, kr./kg N reduceret inkl. værdien af N	136	74	48	29	36	30

Kilde: Genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2012).

## Etagesystem med gødningsbånd (fjerkræ/ammoniak)

Etagestalde er skrabeægsstalde, hvor der i tillæg til gulvarealet etableres plateauer i op til to højder over gulvet (heraf navnet etagesystem eller etageanlæg), som hønsene kan opholde sig på (Miljøstyrelsen, 2011d). Foder- og vandforsyning samt redekasser forefindes på plateauerne. Under hvert af plateauerne er der monteret et gødningsbånd. Det antages, at 75 % af gødningen falder på gødningsbåndene, som ved hyppig drift bevirker, at hovedparten af gødningen fjernes fra stalden til ekstern lagring eller anvendelse, inden der sker en betydelig nedbrydning af gødningens indhold af urinsyre til ammonium og ammoniak. Gulvarealet tilføres strøelse og fungerer som hønsenes skrabeområde. Det antages, at 25 % af gødningen afsættes i dybstrøelsesarealet på gulvet, hvor gødningen henligger, indtil stalden tømmes, dvs. ca. én gang årligt, når stalden tømmes for høns. Etagesystemet kan benyttes ved produktion af skrabeæg, frilandsæg og økologiske æg. For stalde med udearealer regnes der med, at 10 % af gødningen falder uden for stalden. Ved beregning af ammoniaktab skal der korrigeres herfor. Nærværende kalkule har taget udgangspunkt i en skrabeægproduktion med en maksimal belægningsgrad på ni høner pr. m<sup>2</sup> nytteareal.

### Ammoniakemission

Ved tømning af gødningsbåndene tre gange ugentligt kan ammoniaktabet fra stald, lager og udbringning estimeres til 18,4 kg N pr. 100 årshøner eller 30,5 kg N pr. DE (Tabel 1.1), hvilket sammenlignet med referencesystemet *gulvsystemet med gødningskælder* giver anledning til en samlet sparet emission på 31,0 kg N pr. DE fra stald, lager og udbringning svarende til en reduktion på 50 pct. Tabel 1.15 angiver skønnet nettoinvesteringsbehov, driftsomkostninger, miljøeffekt og omkostningseffektivitet for etagesystemet i skrabeægproduktionen sammenlignet med gulvsystemet.

Nettoinvesteringsbehovet omfatter gødningsbånd og slats, hvilket udgør miljøteknologien. Fodrings- og vandsystemer samt redekasser er fratrukket. Der er ikke indregnet evt. meromkostninger til opbevaring af staldgødningen.

Tabel 1.15. Skøn over øget investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af etage-system i skrabeægsproduktion. Beregningseksempel 100 DE og tømning af gødningsbånd tre gange ugentligt.

	I alt	Pr. årshøne	Pr. DE
Investeringsbehov (gødningsbånd og slats), (kr.)	1.177.000	71	11.770
Forrentning og afskrivning (4 %, 15 år), (kr./år)	105.861	6,38	1.059
Vedligeholdelse (kr./år)	19.308	1,16	193
Arbejde (kr./år)	1718	0,11	18,5
El (kr./år)	1050	0,06	10,5
Årlige omkostninger i alt ekskl. sparet N (kr./år)	128.072	7,72	1281
Sparet N-udledning (kg N/år)	3100	0,19	31,0
Værdi af sparet N-udledning (6 kr./kg N)	26.196	1,58	262
Årlige omkostninger i alt inkl. værdi af sparet N, kr./år	101.876	6,1	1019
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N			33

Kilde: Genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2012).

## Daglig tømning af gødningsrender i minkhaller (mink/ammoniak)

For at nedsætte tabet af næringsstoffer til omgivelserne ved udvaskning og ammoniakemission er der i Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 607 af 15. juli 2002, den såkaldte *pelsdyrfarmbekendtgørelse*, stillet krav om, at gødningen, herunder også urinen, skal opsamles og føres til gødningsanlæg. Dette krav anses for opfyldt, hvis minkhaller konstrueres og drives i overensstemmelse med husdyrgødningsbekendtgørelsens bestemmelse for stalde til andre dyrearter, dvs. med tæt gulv og tætte rørsystemer til opsamling af flydende gødning.

I en vejledning til pelsdyrfarmbekendtgørelsen (Skov- og Naturstyrelsen, 2004) beskrives der 10 valgmuligheder med forskellige kombinationer af rendebredder, udmugningshyppigheder, tilførsel af halm under burene og proteinindhold i foderet, hvorved kravet om et maksimalt tab på 1,65 kg NH<sub>3</sub>-N per årstæve anses for opfyldt (Tabel 1.16).

Der er i Skov- og Naturstyrelsens vejledning anvendt følgende vurderinger af effekten ved de forskellige virkemidler:

1. -/+1 cm ændret rendebredde giver +/- 0,025 kg N mindre/større tab per årstæve.
2. I forhold til ugentlig tømning giver 2 gange/uge 0,15 kg mindre og daglig tømning 0,3 kg N mindre per årstæve.
3. Tilførsel af 0,2 kg halm udover halm ad lib. reducerer tabet 0,05 kg N per årstæve.
4. Forskellen mellem halm ad lib og ingen krav til halm under burene ansættes til 0,1 kg N per årstæve
5. For hver %-enhed proteinindholdet sænkes i % af OE i perioden uge 30-47 reduceres tabet med 0,03 kg N per årstæve (basis 33 pct).

Tabel 1.16. Oversigt over metoder til opfyldelse af ammoniakkrav i henhold til pelsdyrfarmbekendtgørelsen.

Rendebredde	Hyppeghed af udmugning i renden	Tilførsel af halm	Proteinindhold i % af OE (uge 30 – 47)
over 36,5 cm	1 gang om ugen	halm ad lib.	ingen krav
over 32 cm	1 gang om ugen	halm ad lib.	32 %
over 32 cm	1 gang om ugen	ingen krav	31 %
over 32 cm	2 gange om ugen	ingen krav	ingen krav
over 32 cm	1 gang om ugen	halm ad lib + 0,2 kg	ingen krav
over 28 cm	Dagligt	ingen krav	ingen krav
over 28 cm	2 gange om ugen	halm ad lib.	ingen krav
over 28 cm	2 gange om ugen	ingen krav	32 %
over 28 cm	1 gang om ugen	halm ad lib.	31 %
over 28 cm	1 gang om ugen	halm ad lib. + 0,2 kg	32 %

Kilde: Skov- og Naturstyrelsen (2004).

Pedersen og Sandbøl (2002) foretog på baggrund af en forsøgsrække en regressionsanalyse med henblik på at beskrive sammenhængen mellem tømningshyppighed af hhv. gødning og strø, temperatur samt dyrenes kropsvægt. Resultatet af analysen er vist i formel [3]:

$$A = a + bt_g^{0,5} + cT + dT^2 + eTt_g^{0,5} + fw + gTS + hTt_s \quad [3]$$

hvor  $A$  = ammoniakemission, g  $\text{NH}_3/24$  timer pr. dyr;  $t_g$  = tid efter sidste tømning i dage;  $T$  = temperatur i °C,  $t_s$  = tid efter udskiftning af strøelse under burene i dage;  $w$  = kropsvægt i kg;  $S$  er tilstedeværelse af strøelse under burene (0=ingen halm; 1= halm); samt  $a, b, c, d, e, f, g, h$  = regressionskoefficienter.

Med baggrund i ovenstående viser Pedersen og Sandbøl (2002), at daglig tømning af gødningsrender sammenlignet med ugentlig tømning medfører, at ammoniakemissionen reduceres med hhv. 25 % ved 6 °C og 46 % ved 16 °C. Pedersen og Sandbøl (2002) indikerer således, at daglig tømning giver anledning til større reduktion end de tidligere nævnte 0,3 kg N.

Ifølge en VERA-verifikation (VERA, 2013) er ammoniakemissionen fra minkhaller med daglig tømning af gødningsrenderne 26 % lavere end ved ugentlig tømning. Med udgangspunkt i normalt 2012/2013 er ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning på 71,3 kg N/DE fra en stald med ugentlig tømning. Sammenholdt med ugentlig tømning af gødningsrenderne giver daglig tømning en reduktion i ammoniaktabet på 13,7 kg N/DE.

### **Systemer til automatisk tømning af gødningsrender på minkfarme**

Mink afsætter fæces bagest i buret over gødningsrender. Urin afsættes ligeledes hovedsageligt bagest i buret, men dog ikke helt så konsistent som fæces. En vis andel bliver således ikke opsamlet i gødningsrenderne men bliver opsamlet i halm, der henligger under burene.

Gødningsrenderne tømmes ved, at gyllen skubbes hen til en faldstamme, der er forbundet med et lukket udslusningssystem til en fortank eller pumpe, hvorefter det føres til lagertank. Dette kan gøres manuelt eller mekanisk. Manuel tømning er arbejdskrævende og kan således vanskeligt forenes med hyppig tømning af gødningsrenderne. Der er imidlertid udviklet mekaniske system, der kan anvendes ved hyppig tømning af gødningsrenderne. Der findes pt. to systemer til automatisk tømning af gødningsrender: 1) Fulldautomatisk skraber og 2) skraber med wiretræk.

En fulldautomatisk skraber består af en batteridrevet motor til drift af skraberens samt en styringsenhed. Skraberens kører på kanten af gødningsrenden og skubber gødningen foran sig frem til en faldstamme for enden af gødningsrenden. Når gødningen er skubbet ned i faldstammen, kører skraberens tilbage til udgangspositionen for opladning af batteriet. Skraberens kan programmeres til forskellige tømningshyppigheder samt til ikke at køre i perioder med frostvejr, idet frossen minkgødning kan beskadige udstyret. En enhed består af en skraber, der skubber gødningen i én rende. Regler om brandsikring stiller krav om flugtvej for hver 50 meter, hvilket således angiver den maksimale længde af en gødningsrende.

En skraber med wiretræk består af en motor, som typisk trækker en wire med en række skraber over to enheder af gødningsrender. Ved at køre frem og tilbage trækkes gødningen i gødningsrenderne gradvis frem mod en faldstamme. Systemet kan i princippet etableres på alle typer af gødningsrender, idet det kun er formen på skraberne, der skal tilpasses. Wiretræk kan startes både automatisk og manuelt. Senest er systemet udviklet til at kombinere automatik og vakuumanlæg. Anlægget kan indstilles til forskellige tømningshyppigheder. Længden af hver gødningsrende er begrænset til 50 meter grundet tidligere nævnte krav. Som udgangspunkt er derfor regnet med, at der skal etableres en enhed for hver 2 x 50 meter gødningsrende.

Tabel 1.17 angiver investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet for automatisk daglig tømning af gødningsrender på minkfarme sammenlignet med manuel ugentlig tømning ved henholdsvis en fuldautomatisk skraber og en skraber med wiretræk.

Tabel 1.17. Skøn over investeringsbehov, driftsomkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af automatisk daglig tømning af gødningsrender på minkfarme sammenlignet med manuel ugentlig tømning (75-250 DE).

	<b>Fuldautomatisk skraber</b>	<b>Skraber med wiretræk</b>
Investeringsbehov, kr./DE	6225 – 6285	10.358 – 10.418
Årlige meromkostninger, kr./DE	1089-1096	1168 – 1176
Kg N reduceret pr. DE	13,7	13,7
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N	71	77

Kilde: Henrik Bækgaard, København Fur (pers. medd. 2013) og genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2012).

## Høje skorstene (svin og fjerkræ/lugt)

Det tidligere Danmarks Miljøundersøgelser har udviklet simuleringsprogrammet OML-Multi (operationel meteorologisk luftspredningsprogram) til beregning af forureningskoncentrationer i miljøet omkring virksomheder. For mange staldanlæg med naboer inden for nogle hundrede meter kan udledning af den lugtende staldluft via en høj skorsten være en løsning på et lugtproblem, idet lugten vil blive fortyndet, inden den når ud til naboerne. I landbruget er der etableret ganske få skorstensløsninger. En af årsagerne er, at ventilationsluftmængderne er store sammenlignet med mange industrivirksomheder, ligesom der typisk er mange ventilationsafkast på stalde, og de er typisk spredt ud over hele det bebyggede areal. Derfor vil rørsystemer ofte være ret omfattende i staldanlæg, og dermed relativt omkostningstunge. Endvidere skal den styring, der skal regulere ventilationen i flere staldsektioner, være mere avanceret end traditionel styring af staldventilationsanlæg.

I forbindelse med sagsbehandlingen for såvel landbrug som industri kan skorstensløsninger anvendes til reduktion af lugt hos naboer, beliggende relativt tæt på lugtkilden. For husdyrbrug kan anvendes *Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug* (Skov- og Naturstyrelsen, 2006).

## Fast overdækning af gyllebeholder (svin, kvæg, mink/ammoniak)

Ifølge Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1695 af 19. december 2006 "Bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v." med senere ændringer skal beholdere for flydende husdyrgødning være forsynet med fast overdækning. Lovgiv-

ningen giver dog mulighed for at etablere anden overdækning. Overdækning af gyllebeholdere er stillet som lovkrav for at reducere ammoniak- og lugtemissionen.

Beholdere for flydende husdyrgødning skal dog altid forsynes med fast overdækning i form af flydedug, teltoverdækning eller lignende, hvis de etableres helt eller delvist inden for eller med en afstand på mindre end 300 m fra anlægget til de naturtyper, der er anført i § 7 i Lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug. Undtaget herfor er beholdere, såfremt der er foretaget ammoniakreducerende tiltag (f.eks. syretilsætning).

Et tæt flydelag eller lag på gyllen vil opfylde kravet om overdækning. Nogle former for gylle danner naturligt et tæt flydelag, og her er yderligere overdækning ikke nødvendig. I andre tilfælde vil etablering af flydelag være nødvendigt.

Tæt overdækning i form af naturligt flydelag kan erstatte fast overdækning, såfremt der føres logbog. Logbogen skal sikre, at der er tilstrækkeligt flydelag på beholderen, til at det kan betragtes som tæt overdækning. Lovgivningen giver hermed to muligheder:

1. Tæt overdækning i form af naturligt flydelag, halm, letklinker (leca) eller lignende.
2. Fast overdækning i form af flydedug, teltoverdækning eller lignende.

Det er under danske forhold fundet, at fast overdækning af gyllebeholdere vil reducere ammoniakemissionen (Tabel 1.18).

Tabel 1.18. Emissionsfaktorer for ammoniak fra gyllelagre med eller uden overdækning. Emissionen er vist som tab af ammoniak (NH<sub>3</sub>) i procent af indholdet af henholdsvis total-N og TAN ab stald.

	Svinegylle		Kvæggylle		Minkgylle	
	Total-N	TAN <sup>1)</sup>	Total-N	TAN <sup>1)</sup>	Total-N	TAN <sup>1)</sup>
Intet flydelag	9	11,4	6	10,3	9	12,9
Naturligt flydelag	2	2,5	2	3,4	2	2,9
Flydedug	1,5	1,9	1,5	2,6	1,5	2,1
Teltoverdækning	1	1,3	1	1,7	1	1,4
Betondæk	1	1,3	1	1,7	1	1,4

Kilde: Hansen *et al.* (2008) og Miljøstyrelsen (2010b). <sup>1)</sup> Emissionsfaktoren for TAN (= total ammoniumnitrogen) er beregnet.

De fleste af ovenstående angivelser af ammoniakemissionen er baseret på danske undersøgelser. Imidlertid er der ikke lavet en undersøgelse af teltoverdækning, og derfor er ammoniakreduktionen baseret på et skøn.

Ifølge Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2010b) findes der i Danmark ca. 1500 gylletanke, som har monteret teltoverdækning, og meget få gylletanke med betondæk. Betondæk er hovedsageligt mon-



teret på tanke under 500 m<sup>3</sup>. Fast overdækning kan anvendes på alle beholdere, som er dimensioneret til lastpåvirkning fra teltoverdækning og /eller betondæk.

## **Teknikker til overdækning af gyllebeholder**

### **Flydedug**

En flydedug ligger direkte på gylleoverfladen, og kan være udført med en ombukket kant langs beholderkanten. Den ombukkede kant kan være udført på en sådan måde, at det er muligt at opsamle en mindre mængde regnvand.

### **Teltoverdækning**

En teltoverdækning er en tæt overdækning af kunststof, der udspændes som et telt over beholderen. Gyllebeholderen forsynes med en høj centermast af metal eller træ. Masten monteres lettest, hvis beholderen er tømt og rengjort, men nogle leverandører af teltoverdækninger kan også montere masten og overdækningen, mens der er gylle i beholderen. Teltdugen spændes ud imellem masten og beholderens elementer. Dugen bør holdes fri fra beholderkanten, ellers udsættes dugen for stor slitage.

Der frigives svovlbrinte fra gyllen. Svovlbrinte sammen med kondens på dugens underside og ilt fra luften danner svovlsyre, der kan angribe betonen. For at undgå at der drypper kondensvand på betonelementernes indvendige side, kan der monteres et "skørt" på indvendig side af teltdugen. Det indvendige "skørt" vurderes at være tilstrækkelig sikring mod nedbrydning af betonen, og der er således ikke behov for ekstra kontrol af beholderen. Åbninger til omrøring og tømning kan udføres i forskellig størrelse afhængig af brugerens ønske. Der er dog ingen producenter, som laver åbninger større end ca. 3,0 x 6,0 m. Det ville svække selve dugen, hvis åbningen udføres større. Placering, antal og størrelse på åbningerne bestemmes individuelt.

### **Betondække**

Et betondæk er typisk understøttet af en eller flere betonsøjler afhængig af beholderens diameter. Betondæk anvendes hovedsageligt til mindre beholdere, da prisen ved store beholdere er meget høj.

### **Flydebrikker**

Flydebrikker er opbygget som en sekskantet plade og er fremstillet af et plastmateriale. Flydebrikker er udviklet til at forme en flydende overdækning til gyllebeholdere, hvor der ikke dannes et naturligt flydelag. Flydebrikker danner en overflade af elementer, der tilsammen dækker hele gylleoverfladen.

Da flydebrikker flyder på en væskeoverflade, vil de selvfølgelig være påvirket af vind og vejr. Ved stor vindhastighed vil flydebrikker presses sammen i "klumper", og der vil opstå et uafdækket areal på gylleoverfladen. Det generelle billede er, at det er mest kritisk for beholdere større end 20 m i diameter. Der kan dog opstå periodiske åbninger på mindre beholdere. Flydebrikker bør tilsættes i vindstille vejr, og når der er gylle i beholderen. Væskeoverfladen bør fremstå flydende og fri for naturligt flydelag. Flydebrikkerne vil i løbet af kort tid fordele sig i et dækkende mønster.

### **Letklinker**

Tæt overdækning kan som nævnt etableres ved, at gyllelageret tilføres et overdækningslag bestående af letklinker. Letklinker består af tusinde små lukkede, luftfyldte celler, hvor cellevæggene er hårdtbrændte tegl. Hvis der slipper enkelte korn med ud ved tømning af beholderen, sker der ikke noget ved det, da letklinker vurderes til at have jordforbedrende egenskaber. Der skal anvendes et ca. 10 cm tykt lag letklinker. Der vil normalt være behov for efterfyldning af letklinker efter tømning af gyllebeholderen. Der kan normalt regnes med en efterfyldning på ca. 10 % af flydelagets tykkelse. Letklinker bør tilsættes i vindstille vejr, og når beholderen er tom. I løbet af ca. 14 dage vil letklinkerne "kitte" sig sammen i forbindelse med gyllen. For at flydelaget af letklinker kan opnå så lang en levetid som muligt, er det vigtigt at de bundfældende sedimenter i gyllen røres op og pumpes ud ved så fyldt en gyllebeholder som muligt. Herved mindskes behovet for omrøring væsentligt, når den sidste gylle skal pumpes op, og dermed også risikoen for at flydelaget af letklinker pumpes med. For at undgå at letklinker pumpes over i gyllevognen, som kan medføre tilstopning af slanger på gylleudlæggeren, skal man være meget opmærksom på pumpekapaciteten. Overdækningen kræver løbende tilsyn, og der kan være behov for efterfyldning.

### **Driftsomkostninger**

Da der ikke gives tilskud til miljøteknologier med henblik på at overholde et eksisterende lovkrav, kan der ikke opnås tilskud til indkøb af flydedug, flydebrikker og letklinker. Disse teknikker kan i øvrigt heller ikke siges at have væsentlig anderledes miljøeffekt end et naturligt flydelag. Teltoverdækning og betondække vil derimod reducere miljøbelastningen, mere end loven stiller krav om, og derfor vurderes det, at kun teltoverdækning og betondække opfylder kriterierne for tilskud.

### **Teltoverdækning**

Der er kun foretaget beregninger for teltoverdækning, da betondæk vurderes at være en urealistisk dyr miljøteknologi. Omkostningen til teltoverdækning varierer kun lidt mellem de forskellige producenter og forhandlere. Der er taget udgangspunkt i en gennemsnitspris. Der er tillagt omkostninger til vedligehold samt en meromkostning til udbringning, da teltoverdækningen besværliggør tømning af gyllebeholderen. Til gengæld spares en omkostning til at etablere flydelag på anden vis

(fx halm), da svinegylle ikke naturligt danner flydelag. Samtidig forhindrer overdækningen regnvandet i at havne i tanken, hvilket giver en besparelse på udkørsel af gylle.

Skal der påsættes teltoverdækning på en eksisterende gylletank kræves det, at tanken først skal tømmes og renses. Denne omkostning er anslået til ca. 15.000 kr. for en tankstørrelse på ca. 2.000 m<sup>3</sup>. Denne ekstraomkostning indgår ikke i nedenstående beregninger, men bør tillægges, hvis der er tale om en eksisterende tank, Tabel 1.19.

Reduktionsomkostningerne for slagtesvin er beregnet i forhold til drænet gulv. Reduktionsomkostningerne vil være noget lavere for faste gulve, men dette skyldes at gulvtypen i sig selv reducerer emissionen af ammoniak langt mere end selve overdækningen.

Tabel 1.19. Skøn over økonomiske konsekvenser ved anvendelse af teltoverdækning.

Antal DE	Slagtesvin			Mink	
	75	250	950	75	250
Samlede meromkostninger pr. kg N reduceret inkl. værdi af sparet handelsgødning ved teltoverdækning	145	97	48	248	166

Kilde: Genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2012).

Overdækning formodes også at begrænse udledningen af drivhusgasser, men dette er ikke kvantificeret. Ligeledes giver overdækning anledning til reducerede lugtgener. Dette har dog ikke været muligt at prissætte, idet generne i høj grad afhænger af den konkrete lokalisering.

## Udbringning af husdyrgødning

I forbindelse med udbringning af gylle og fast gødning, kan der ske en betydelig emission af ammoniak og lugt. Emissionen er afhængig af gødningstype, klimatiske forhold, udbringningstidspunkt samt håndterings- og udbringningsteknologi. Emissionen afhænger endvidere af gødningens fysiske og kemiske sammensætning og af gødningens overfladeareal efter udbringningen. Emissionen kan derfor begrænses ved at ændre gødningens sammensætning, fysisk/kemiske egenskaber samt ved at benytte optimal udbringningsteknologi. Udbringning i bånd (slæbeslangeudlægning) og specielt indarbejdning i jorden (nedfældning) begrænser emissionen, men kan samtidig have uheldige bivirkninger i form af højere energiforbrug, lav kapacitet, skader på afgrøde og højere potentiale for drivhusgasemission i form af øget lattergasemission. Derfor er der de senere år udviklet en metode, som ændrer gyllens kemiske egenskaber ved at tilsætte syre for at sænke gyllens pH. Over 90 % af gødningen fra danske husdyr håndteres som gylle ved udbringning. I det følgende vil der derfor primært blive fokuseret på udbringning af gylle og ikke fast møg.

Ca. 80 % af den ubehandlede svinegylle udbringes i dag med slæbeslanger, mens den resterende mængde nedfældes. For kvæggylle vurderes det, at kun ca. 50 % af gyllen overfladeudbringes, mens resten nedfældes enten på græs eller sort jord. Per juni 2013 er der 80-90 SyreN markforsuringssystemer i drift i Danmark, samt 40-50 gylleomrørere med mulighed for at udføre tankforsuring i forbindelse med omrøring af gylletanke (Personlig meddelelse fra Morten Toft, Biocover A/S, Vester Skovvej 6, 6600 Vejen, Tlf: 2963 4936; <http://www.harso.dk> ; <http://www.oerumsmeden.dk/>). Da kapaciteten på disse systemer er relativt stor, vurderes det, at der i 2013 udbringes lige så meget forsuret gylle på slætgræsmarker, som der nedfældes gylle på disse. Derfor er alle tre teknologier medtaget i 2013 rapporten, da græsnedfældning, modsat de tidligere år, vurderes til ikke at blive anvendt på mere end 50 % af "markedet" for gylleudbringning på slætgræsmarker.

Effekt af forsuring i stalden er allerede beskrevet, og her skal blot tilføjes, at der i 2010 blev gennemført en stor undersøgelse for at belyse effekten af staldforsuring på ammoniaktabet ved udbringning. På baggrund af denne og en nylig dansk-tysk undersøgelse, er emissionskoefficienterne for tab af N ved udbringning af gylle for de forskellige teknologier blevet opdateret.

## Nedfældning af gylle på græsmarker

### **Ammoniakemission**

Nedfældning begrænser emission af ammoniak fra den udbragte gylle i forhold til slæbeslangeudlægning. Begrænsningen afhænger af den benyttede teknik, og i hvor høj grad gyllen indarbejdes i jorden. Hvis gyllen ikke dækkes helt med jord under udbringningen, kan emissionen af ammoniak forløbe over en lang periode på op til 3-10 døgn. Nedfældning af gylle i græsmarker sker næsten udelukkende med skiveskærsnedfældere. Derfor tager beregningerne i denne rapport udgangspunkt i denne type nedfældere. Gylleudbringning med slæbesko er ikke medtaget her, da denne udbringningsform ikke kan betegnes som en nedfælder pga., at gyllen ikke placeres under jordoverfladen. Den gennemsnitlige ammoniakemission fra gylle, udbragt med henholdsvis slæbeslanger og nedfældning, er vist i Tabel 1.20.

*Tabel 1.20. Gennemsnitlig emission af ammoniak fra gylle udbragt i foråret til slætgræs med henholdsvis slæbeslanger og nedfældning. Alle emissionskoefficienter er opgivet i % af den totale mængde kvælstof (total N) udbragt og er baseret på værdier fra Alfam modellen (Hansen et al., 2008). Tallene, vist i tabellen, er et gennemsnit af emissionskoefficienterne for udbragt gylle i februar, marts og april måned.*

<b>NH<sub>3</sub> tab, % af udbragt total N</b>	
Slangeudlagt	15,4
Nedfældning i vintersæd	9,2*

\*40 % reduktion i forhold til slæbeslanger (Nyord et al, 2013; Seidel et al, 2013)

## **Lugt**

Den lugtreducerende effekt af gyllenedfældning er blevet undersøgt i danske og udenlandske undersøgelser. Disse undersøgelser viser samstemmende, at nedfældning effektivt kan begrænse lugten af udbragt gylle i forhold til slæbeslangeudbringning (Nyord & Hansen, 2008; Nyord *et al.*, 2010; Hanna *et al.*, 2000; Moseley *et al.*, 1998). Med den teknik, der er til rådighed i øjeblikket, vil der ved nedfældning i slætgræs normalt ske en så overlig placering af gyllen, at lugtreduktionen bliver mindre end i de ovenstående undersøgelser. Dette betyder, at nedfældning i græs har en lavere effekt på lugtgenen af gylleudbringningen end eksempelvis sortjordsnedfældning. Men dog begrænses lugten markant, og nedfældning er uden tvivl den teknologi, der reducerer lugten fra udbragt gylle mest.

## **Drivhusgasser**

Idet nedfældning af gylle begrænser emissionen af ammoniak, vil nedfældningen isoleret set begrænse den indirekte emission af drivhusgassen lattergas (Olesen *et al.*, 2004). Nedfældningen betyder dog samtidig, at gyllen placeres i et bånd, som fremmer forholdene for de biokemiske processer, der kan føre til produktion og dermed en direkte emissions af lattergas. Dette betyder, at nedfældning samlet set øger risikoen for emission af lattergas fra landbrugsjord. En række undersøgelser har således vist, at udledningen af lattergas fra nedfældet gylle ofte er højere end fra overfladeudbragt gylle. I en undersøgelse, gennemført af Rodhe *et al.* (2006), blev det fundet, at udledningen af lattergas fra græs jord, tilført slæbeslangeudlagt gylle, udgjorde 0,2 kg N<sub>2</sub>O-N per ha, og at nedfældning af gylle øgede udledningen af lattergas til 0,75 kg N<sub>2</sub>O-N per ha. Tilsvarende resultater er fundet af Wulf *et al.* (2002), idet nedfældning af gylle til henholdsvis ubevokset jord og græsafgrøde øgede lattergasemissionen med en faktor på henholdsvis 2 og 3 sammenlignet med overfladeudlægning. Chadwick (1997) fandt, at nedfældning øgede lattergasemissionen signifikant fra 0,03 til 0,08 kg N<sub>2</sub>O-N per ha. En dansk undersøgelse, foretaget på lerjord, har også vist en stigning i lattergas-emissionen (Thomsen *et al.*, 2010). I et toårigt forsøg blev der ene år fundet en øget lattergas-emission fra nedfældet gylle i forhold til slæbeslangeudlagt gylle (fra 0,49 til 1,86 kg N<sub>2</sub>O-N per ha), mens der i det andet år ikke blev fundet nogen signifikant forskel.

Det formodes dog, at lattergasemissionen under danske forhold generelt ikke er så stor, da en stor del af landbrugsjordene er sandjorde med relativt lille vandholdende evne og høj porøsitet. I den forbindelse skal det nævnes, at så vidt vides, er der ikke udført langtidsstudier af lattergasemissionen efter nedfældning af gylle på sandede jorde. På den baggrund er det valgt ikke at tage den øgede lattergasemission med som parameter i udregning af de miljøøkonomiske omkostninger, da det er meget usikkert hvor stor effekt nedfældning reelt har på drivhusgasudledningen.

### **Energiforbrug**

Trækraftforbruget ved nedfældning er højere end ved slangeudlægning, da en tand eller et skær skal trækkes gennem jorden. Det større trækraftbehov øger brændstofforbruget, og Hansen *et al.* (2003) målte, at øverlig nedfældning i græs, afhængig af nedfældningsteknik, øgede dieselforbruget med mellem 2 og 5 liter pr. ha, hvilket svarer til en øgning af dieselforbruget på mellem 0,1 og 0,2 liter per tons gylle udbragt. Høy (2009) målte et ekstra trækraftbehov på 1,4-1,8 kW pr. tand ved nedfældning i vintersæd med en smal tand i ca. 10 cm dybde i forhold til slangeudlægning, hvilket vurderes at svare til 7,5 kW ekstra motoreffekt per tons gylle udbragt.

### **Driftsomkostninger**

Danske Maskinstationer og Entreprenører, DME, har anslået en merpris på nedfældning med en 12 m græsnedfælder, i forhold til slangeudlægning, ved normal doseringsmængde (30-40 tons/ha), på 3-5 kr. pr. ton gylle i slætgræs. I Tabel 1.21, og det følgende, er der regnet med en ekstraomkostning på 4 kr./ton gylle ved nedfældning set i forhold til slangeudlægning. Se i øvrigt Bilag 2 for yderligere information om forudsætninger for udregning af omkostningseffektiviteten.

*Tabel 1.21. Forudsætninger for beregning omkostningseffektivitet af nedfældning af gylle i slætgræs, i forhold til udbringning med slæbeslanger.*

<b>Forudsætninger</b>	
<b>Nedfældning i slætgræs</b>	
Meromkostning, kr. pr. ton gylle	4
Udbringning, tons pr. ha	30*
Afgrødeskade ved ekstra kørsel, Fe/år	200
Værdi af N, kr./år	380

\*gennemsnitlig mængde per udbringning. Der kan ske flere udbringninger per mark/år.

For at ensrette udregninger for stald- og markteknologi, er den kvælstof, der ikke fordamper, som følge af lavere emissionskoefficient ved græsnedfældning end slæbeslangeudbringning, værdisat med prisen for indkøbt kvælstof anno 2013. Dette er et bevidst valg, selvom det ikke stemmer helt overens med virkeligheden, da kvælstoffet normalt ikke substituerer indkøbt handelsgødning, men snarere vil resultere i et merudbytte i marken.

### **Omkostningseffektivitet for nedfældning i slætgræs**

Gylleudbringning med en 12 m bred skiveskærsnedfælder øger afgrødeskaden set i forhold til gylleudbringning med en 24 m bred slæbeslangebom (Jørgensen *et al.* 2009). Den største effekt er fundet ved gylleudbringning i det tidlige forår før første slæt. Green *et al.* (2010) har fundet et tab, der svarer til ca. 175 Fe/ha ved gyllekørsel før første slæt. I det følgende er der regnet med et udbytetab, som følge af ekstra færdsel i marken, på 200 Fe/år.

Hvis gyllen blev bragt ud med slæbeslanger på slætgræs, vurderes det samlede tab af N at blive ca. 20 kg/ha/år. Dette reduceres til 12 kg/ha/år ved at benytte græsnedfældning og altså en reduktion på 8 kg N/ha/år. Hvis det forudsættes, at en nedfælder benyttes til udbringning af 30.000 ton gylle/år, og der i gennemsnit udbringes 30 ton/ha/år (her antages det, at tildelinger af gylle på slætgræs kan ske flere gange på samme mark/år), vil brugen af sådan en nedfælder bevirke en reduceret ammoniakemission på i alt 8060 kg/N/år. Dermed kan det udregnes, at med meromkostning forbundet med nedfældning, fratrukket gødningsværdien svarende til 199.335 kr./år, vil omkostningseffektiviteten blive 36,2 kr./kg sparet N, se Tabel 1.22.

Tabel 1.22. Beregning af omkostningseffektivitet for 12 m græsnedfælder

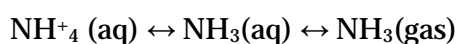
	<b>Kr./år</b>
Meromkostning forbundet med brug af 12 m græsnedfælder	120.000
Udbyttetab	240.000
Værdi af sparet N	68.107
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N	36,2

Ud over de ovennævnte effekter giver nedfældning reducerede lugtgener. Det er ikke muligt at pris-sætte disse lugtgener, primært fordi de i høj grad afhænger af lokale forhold. Ligeså er den potentielt øgede lattergasemission ikke medtaget i disse beregninger, som tidligere nævnt. Det øgede traktormotor effektbehov i forbindelse med nedfældning er en del af prisforskellen på 4 kr./ton udbragt gylle og skal derfor ikke medregnes særskilt.

## **Forsuring af gylle**

### **Ammoniakemission**

Normalt forefindes mellem 50 og 85 % af kvælstofindholdet i gylle på ammoniumform ( $\text{NH}_4^+$ ). Ammonium vil normalt forefindes på vandig opløsning ( $\text{NH}_4^+$ ) (aq), som vil stå i kemisk ligevægt med ammoniakindholdet i opløsning ( $\text{NH}_3$ ) (aq) og ammoniakindholdet på gasform ( $\text{NH}_3$ ) (gas).



Højere pH forskyder ligevægten mod højre, hvilket kan føre til et betydeligt ammoniaktab i situationer, hvor ammoniakgassen kan diffundere væk, som eksempelvis i forbindelse med gyllens udbringning, hvor gyllens overfladeareal væsentligt forøges. Et lavt pH i gyllen vil derimod forskyde ligevægten mod venstre, hvilket sikrer, at hovedparten af gyllens kvælstofindhold forbliver på ammoniumform, der ikke tabes i forbindelse med gyllens udbringning. Målet med forsuring er at sænke gyllens pH for at reducere  $\text{NH}_3$  emissionen.

Forsuring af gylle ved udbringning kan ske på to måder: 1) tildele svovlsyre i lagertanken umiddelbart før udbringning, således at gyllens pH er 6,0 eller lavere (herefter benævnt tankforsuring) eller 2) forsuring i forbindelse med udbringning, hvor svovlsyren tilsættes gyllen direkte ude på gyllevognen, så pH sænkes til 6,4 eller lavere (herefter benævnt markforsuring). pH grænseværdierne for de to forsuringsmetoder er fastlagt af Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2011e). For begge teknikker gælder, at det er muligt at tilpasse syretildeling til netop den type gylle som teknikken anvendes til. Det vil sige, at syreforbruget per kubikmeter gylle vil variere efter gylletype. Det vil også sige, at begge teknikker i princippet kan forsure gyllen til præcis det pH niveau, som man ønsker. I det følgende er der regnet med, at pH sænkes til 6,4 eller lavere ved markforsuring og 5,5 (som stiger til maksimalt 6,0 ved efterfølgende lagring) ved tankforsuring. Der findes en publikation, der beskriver effekten på emission af ammoniak ved markforsuring (Nyord *et al.*, 2010), men ingen der beskriver effekten ved tankforsuring. Når den alligevel medtages på denne liste skyldes det, at effekten på ammoniaktabet i marken ved at sænke gyllens pH til 6,0 eller lavere er veldokumenteret. Det vil sige, at det "kun" bør dokumenteres, at gylle har en pH på 6,0 eller lavere ved udbringning. Det er blevet undersøgt af AgroTech, hvorvidt pH ændres i gylletanken efter tilsætning af svovlsyre til pH <6,0. I denne undersøgelse var konklusionen klar, at sænkes pH til under 6,0, og hvis der ikke tilsættes "frisk" gylle, da vil pH være stabil i minimum 3 uger (AgroTech, 2012). For at reducere risikoen for at pH stiger i lagringsperioden, har Miljøstyrelsen besluttet, at hvis gylle forsures i lagertanken, skal gyllens pH sænkes til maksimum 5,5. Denne beslutning er truffet, da det har vist sig, at hvis der ikke tilsættes frisk gylle, vil pH i langt de fleste tilfælde ikke stige til over 6,0 - selv ikke ved en efterfølgende lang lagringsperiode.

En tredje forsuringsmetode er staldforsuring, som er beskrevet i afsnittet på side 18. Gylleforsuring ved denne metode påvirker også ammoniaktabet ved udbringning. I de følgende udregninger er det forudsat, at staldforsuret gylle har en pH på ca. 5,7-5,9, når den forlader stalden og ca. pH 6,1-6,3 ved udbringning.

I 2010 gennemførte Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, en række forsøg til at belyse effekten af forsuring på tabet af ammoniak ved udbringning af gylle. Her blev det fundet, at ved at forsure gyllen til pH 6,4 eller lavere ved udbringning i marken, blev ammoniakemissionen reduceret med ca. 65 % i forhold til ubehandlet gylle (upubliceret data). Der blev ikke påvist nogen signifikant forskel mellem markforsuring og staldforsuring, men det skal nævnes her, at der i gennemsnit blev brugt 2,4 l koncentreret svovlsyre per ton gylle ved markforsuring og 3,3 l per ton gylle ved staldforsuring (Nyord *et al.*, 2013). Kai *et al.* (2008) viste, at ammoniaktabet ved udbragt staldforsuret gylle var ca. 67 % lavere end ubehandlet gylle. Det skal dog bemærkes, at man i undersøgelsen fandt op til 50 % ammoniaktab af den tilførte mængde ammonium-N ved udbringning af ubehandlet gylle. Dette er et meget stort tab ved udbringning af gylle i vintersæd. Dette store tab



skyldes sandsynligvis særlige vejromstændigheder på forsøgsdagen. Jo større ammoniaktab fra referencegyllen, desto større potentiale for at reducere tabet vil der være ved forsuring. I emissionsforsøgene fra 2010 var gennemsnittet af ammoniaktabet fra referencegylle, udbragt i vintersæd, ca. 25 % af tilført ammonium-N. En Farmtest gennemført af Videncentret for Landbrug (Jensen, 2011), fandt, at syreforbruget ved staldforsuring på 15 kvægbrug i gennemsnit var 8 kg/ton gylle = 4,4 L syre/ton gylle. Ved forsuring af svinegylle har forbruget vist sig at være helt op til 7 L syre/ton gylle (upublicerede data). Da det må formodes, at syreforbruget ved tankforsuring er nærmest identisk med staldforsuring, regnes der i det følgende med 4,5 L syre/ton gylle. Dette skal ses som en slags gennemsnit for kvæg, svin og minkgylle, men det skal bemærkes, at langt det meste gylle, der tankforsures, er kvæggylle.

I det følgende er der regnet med, at tankforsuring reducerer ammoniaktabet ved udbringning med 50 % i forhold til ubehandlet gylle. Det er forudsat, at udbringning af markforsuret gylle medfører en reduktion af ammoniaktabet med 40 %, Tabel 1.23. Forskellen på de to forsurningsmetoder kan henføres til forskelle i anvendt mængde syre/ton gylle ved de to teknologier. Særligt vil ammoniaktabet formodentligt reduceres mere ved udbringning af tankforsuret end markforsuret gylle i perioder, hvor emissionen af ammoniak forløber over relativ lang tid, da den øgede syremængde vil sænke pH i gylle-jord blandingen, der henlægger på jordoverfladen.

*Tabel 1.23. Gennemsnitlig emission af ammoniak ved udbringning af forsuret og ubehandlet gylle. Alle emissionskoefficienter er baseret på værdier fra Alfam modellen (Hansen et al., 2008). Tallene i tabellen er et gennemsnit af emissionskoefficienterne for februar, marts og april måned.*

<b>NH<sub>3</sub> tab ved udbringning af gylle</b>	<b>(% af udbragt total N)</b>
Slangeudlagt ubehandlet gylle	15,4
Tankforsuret gylle	7,7
Markforsuret gylle	9,2

### **Lugt**

Der er ikke mange undersøgelser, der beskæftiger sig med lugt fra forsuret gylle. Der er dog målt lugtkoncentration i svinestalde, hvor der blev foretaget forsuring af gyllen. To afprøvninger har således vist, at forsuring ingen effekt havde på lugtkoncentrationen i stalden på trods af, at ammoniakkoncentrationen i staldluften blev reduceret markant (Pedersen, 2004; Pedersen, 2007). Samme resultat blev fundet i en undersøgelse udført af Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, i 2010. Her blev der målt lugt, efter markforsuret kvæggylle blev bragt ud på græs. Nyord *et al.* (2010), fandt, at markforsuring ikke påvirker lugten, det vil sige, at lugten fra gyllen hverken øges eller reduceres som følge af forsuringen. Det vurderes, at dette også gælder for tankforsuring.

### **Drivhusgasser**

I 2010 gennemførte Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, et forsøg, hvor effekten på drivhusgasudledningen fra overfladeudbragt forsuret gylle blev sammenlignet med ubehandlet forsuret gylle. Den endelige databearbejdning er endnu ikke udført, men de foreløbige resultater tyder på, at der ingen effekt er af forsuring.

### **Energiforbrug**

Det vurderes, at energiforbruget ikke øges nævneværdigt ved forsuring i lagertanken eller i forbindelse med udbringning i forhold til traditionel gylleudbringning. Dog skal det nævnes, at energiforbruget ved produktion af svovlsyre er relativt højt.

### **Driftsomkostninger**

Erfaringerne med både mark- og tankforsuring er begrænsede, da teknologierne stadig er af nyere dato. Derfor skal beregningerne af driftsomkostninger, og derved miljøeffektivitet, tages med store forbehold.

Syreforbruget ved markforsuring er i de følgende beregninger sat til 2 L/ton gylle til forsuring til pH 6,4 eller lavere. Dette vil naturligvis variere alt efter hvilken gylle, der er tale om, men erfaringer fra de to første år med systemet i drift har været, at bruges der 1-2 L syre/ton gylle, vil pH som oftest være under 6,4 (Morten Toft, Biocover A/S, Veerst Skovvej 6, 6600 Vejen, Mobil 29 63 49 36, e-mail [mt@biocover.dk](mailto:mt@biocover.dk), personlig meddelelse, 2012). Det skal dog understreges, at der så vidt vides endnu ikke findes uafhængige opgørelser af syreforbruget pr. ton gylle. Indtil videre er der kun publiceret resultater fra et forsøg, hvor NH<sub>3</sub> emissionen efter udbringning af markforsuret gylle er målt (Nyord *et al.*, 2013). Som tidligere angivet, resulterede dette forsøg i en reduktion på ca. 65 % i forhold til udbringning af ubehandlet gylle. Syreforbruget i dette forsøg var noget højere end de 1-2 L syre/ton gylle, som er det forbrug, der tilsyneladende anvendes i praksis. Derfor bliver der i det følgende regnet med et syreforbrug på 2 L koncentreret svovlsyre/ton gylle ved markforsuring. Dette syreforbrug er dog stadig mindre end fundet i Nyord *et al.* (2013), og derfor vil der i det følgende blive regnet med en reduktion i NH<sub>3</sub> emissionen ved udbringning af gylle med et markforsuringssystem, på 40 % af tabet ved udbringning af ubehandlet gylle. Disse antagelser understøttes af (Seidel *et al.*, 2013) og endnu upublicerede data fra forsøg i Danmark og Tyskland, som Aarhus Universitet og Christian-Albrechts-Universität zu Kiel foretager i fællesskab.

Som tidligere skrevet, forudsættes det i disse beregninger, at der anvendes 4,5 L syre/ton gylle ved tankforsuring. Dette gælder for begge de to fabrikater af tankforsuring, der så vidt vides, er på det danske marked, nemlig Harsø 10" gylleomrører med tankforsuring og Ørum TF 12.

For at udregne omkostninger pr. kg reduceret N, omregnes den procentvise reduktion til kg N/ha, som er angivet i Tabel 1.24. Det forudsættes, at en gyllevogn udbringer 60.000 ton gylle/år, og at der i gennemsnit for alle kombinationer af afgrøder og gylletyper udbringes i gennemsnit 30 ton gylle/ha/år.

Tabel 1.24. Reduceret ammoniakemission ved forsuring af gylle i forbindelse med udbringning af 60.000 ton gylle. Emissionskoefficienterne er angivet i Tabel 1.23.

<b>Svinebedrift</b>	
<b>Slæbeslangeudbringning</b>	
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	15,4 (20)
<b>Markforsuring</b>	
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	9,4 (12)
Reduceret emission i kg/ha	7,8
<b>Tankforsuring</b>	
Emissionskoefficienter (tab i kg/ha)	7,7 (10)
Reduceret emission i kg/ha	10

### **Omkostningseffektivitet for forsuring af gylle i lager og under udbringning**

Omkostningseffektiviteten for de to systemer er beregnet, som beskrevet nedenfor og i Tabel 25.

#### **Markforsuring**

Hvis gyllen bringes ud med slæbeslanger, vurderes det samlede tab af N at blive ca. 20 kg/ha/år. Dette reduceres til 12 kg/ha/år ved at benytte markforsuring og altså en reduktion på 8 kg N/ha/år. Hvis det forudsættes, at markforsuring kan benyttes til udbringning af 60.000 ton gylle/år, og der i gennemsnit udbringes 30 ton/ha/år, vil brug af markforsuring bevirke en reduceret ammoniakemission på i alt 16.120 kg N/år. Dermed kan det udregnes, at meromkostning forbundet med markforsuring, fratrukket gødningsværdien, er 167.620 kr./år, se Tabel 1.25. Dermed bliver omkostningseffektiviteten 10 kr./kg sparet N.

#### **Tankforsuring**

Hvis gyllen bringes ud med slæbeslanger, vurderes det samlede tab af N at blive ca. 20 kg/ha/år. Dette reduceres til 10 kg/ha/år ved at benytte tankforsuring og altså en reduktion på 10 kg N/ha/år. Hvis det forudsættes, at tankforsuring kan benyttes til udbringning af 60.000 ton gylle/år, og der i gennemsnit udbringes 30 ton/ha/år, vil brug af markforsuring bevirke en reduceret ammoniakemission på i alt 20.020 kg N/år. Dermed kan det udregnes, at meromkostning forbundet med tankforsuring, fratrukket gødningsværdien, er 511.948 kr./år, se Tabel 1.25. Dermed bliver omkostningseffektiviteten 25,6 kr./kg sparet N.

Tabel 1.25. Beregning af omkostningseffektivitet for mark- og tankforsuring. Meromkostning fratrukket gødningsværdien kr./år er beregnet som en forskel til udbringning af ubehandlet gylle udbragt med 24 m slæbeslangebom.

	<b>Markforsuring (kr./år)</b>	<b>Tankforsuring (kr./år)</b>
Investering	521.000	510.000
Ekstra vedligehold	30.000	0
Ekstra tidsforbrug	19.200	3.756
Omkostninger til syre	339.120	763.020
Værdi af sparet N og S	276.214	309.169
Kg sparet N, kg/år	16120	20020
Meromkostning fratrukket gødningsværdien, kr./år	167.620	511.948
Omkostningseffektivitet, kr./kg N, inkl. værdi af sparet N	10	25,6

## **Indsatsområde 2: Reduktion af pesticidanvendelsen**

*Seniorforsker Peter Kryger Jensen, lektor Bo Melander og seniorforsker Anton Thomsen*

Indledningsvis skal nævnes, at i forhold til de to første udgaver af rapporten (Kai et al., 2010 og Kai et al., 2011) har Anton Thomsen i 2012 på ønske fra NaturErhvervstyrelsen tilføjet et afsnit om sensorer.

### **Omkostningseffektivitet ved reduktion af pesticidanvendelsen**

Der er ikke angivet nogen rangordning af de beskrevne teknologier til pesticidreduktion i regnearket (Bilag 1). Dette er ikke foretaget, da teknologierne vedrører forskellige anvendelsesområder, som varierer fra almindelige landbrugsafgrøder til højtavlerproduktioner af frugt, bær og grønsager. Det vurderes ikke at være muligt at opstille objektive kriterier for sammenligning af teknologier til så forskellige formål. Såfremt der hos ansøger indsamles information om, hvilket areal teknologien skal anvendes på, antal årlige behandlinger pr arealenhed og forventet pesticidreduktion ved hver anvendelse, kan der foretages en beregning af den samlede behandlingsindeks besparelse pr år, og denne kan holdes op mod prisen på teknologien. Hvis der i ovenstående beregning inddrages prisen på de anvendte pesticider, kan der foretages en beregning af årlig besparelse ved at anvende teknologien og dermed i hvor høj grad, teknologien forrentes for avleren både uden og med et eventuelt tilskud.

### **Rækkedyrkningssystemer**

Systemer til ukrudtsbekæmpelse i rækkedyrkede afgrøder kan bestå af en radrenser eventuelt i kombination med en båndsprøjte. Systemet kan primært anvendes i afgrøder, der dyrkes på stor rækkeafstand som roer, majs samt en række specialafgrøder. Systemet er også relevant i afgrøder, der normalt etableres bredsæet, men som kan dyrkes på større rækkeafstand uden, at det påvirker udbyttet. Det vigtigste eksempel er vinterraps, hvor det i en periode hvor udvalget af herbicider var meget begrænset, var ret udbredt at dyrke på 50 cm rækkeafstand og foretage radrensning evt. i kombination med båndsprøjtning. Der er ikke specielle krav til såudstyret. Ved at kombinere med styresystemer i form af GPS styring af såning, radrensning og båndsprøjtning, eller ved at anvende optiske styresystemer, kan båndbredden reduceres og anvendelsen af herbicider minimeres i systemet. Båndsprøjtning kan foretages med uafskærmede sprøjter eller med sprøjter, hvor dyserne er afskærmet. Afskærmning af dysen ved båndsprøjtning sikrer en mere korrekt sprøjtning og reducerer afdriftsrisikoen væsentligt.

I kartofler kan mekaniske løsninger udgøre en del eller hele ukrudtsbekæmpelsen i form af gentagen hypning, nedtagning af kammene og genopbygning af kammene.

Radrensning, herunder i kombination med båndsprøjtning, har tidligere været udbredt i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i roer. Primært af kapacitetsmæssige årsager blev teknikken afløst af bredsprøjtning. Inden for de senere år har systemet også kortvarigt været anvendt i vinterraps, som ovenfor beskrevet. Teknologien med GPS styring af alle arbejdsprocesser er til rådighed, ligesom optiske styresystemer er til rådighed, men de udbydes ikke i Europa.

Anvendelse af ovenstående systemer skønnes at kunne reducere herbicidanvendelsen med over 60 % i de pågældende afgrøder.

### **Autostyring og sektionsafblænding af sprøjter**

Automatisk sektionsafblænding af sprøjter slukker automatisk for sektioner af sprøjten, der bevæger sig ind over områder af marken, der allerede er sprøjtet. Dermed sikrer sektionsafblænding mod overlap, specielt ved kørsel i uregulære marker. En sektion kan i princippet bestå af en enkelt dyse, dvs. 50 cm sprøjtebredde. Af økonomiske årsager består en sektion pt. af flere dyser og dermed flere meters sprøjtebredde. Automatisk sektionsafblænding sikrer således ikke mod overlap, så længe bredden af overlappet er mindre end bredden af en sektion på sprøjten. Ved såning med manuel styring af traktor/såmaskine foretages der typisk et vist overlap. Da der typisk anvendes marksprøjter, som er væsentligt bredere end såmaskinen, summeres dette overlap op. Ved såning med en 4 meters såmaskine, hvor der køres med 10-20 cm overlap, vil der således totalt summeres et overlap på 60-120 cm, hvis der anvendes en 24 meter bred sprøjte. Dette overlap vil således blive sprøjtet med mindre sprøjtens sektionsinddeling er på enkeltdysebasis. Ved at anvende autostyring med højpræcisions GPS-udstyr i forbindelse med såning kan dette overlap undgås, og kombinationen af autostyring og automatisk sektionsafblænding kan derfor reducere pesticidanvendelsen yderligere. Automatisk sektionsafblænding er afhængig af et præcist GPS-udstyr, og det samme udstyr kan anvendes til autostyring.

Det skønnes, at der er solgt ca. 100 systemer med autostyring, og systemet forventes inden for en kortere tidshorisont at være standard på nye traktorer. Systemet er en forudsætning for dyrknings-systemer i faste kørespor og tilbyder en række besparelsesmuligheder og rationaliseringsgevinster i øvrigt.

Det skønnes, at autostyring i forbindelse med såning kan reducere pesticidanvendelsen med ca. 3 %.

Det skønnes, at automatisk sektionsafblænding kan reducere pesticidanvendelsen med ca. 3 %.

Totalt skønnes kombinationen af autostyring og automatisk sektionsafblænding af sprøjter at kunne reducere pesticidanvendelsen med 5-10 %.

## **GPS-udstyr til autostyring**

Se under autostyring og sektionsafblænding af sprøjter.

## **Sensorbaseret ukrudtssprøjte**

Ved total bekæmpelse af ukrudt kan der anvendes en relativt simpel sensorteknologi, der registrerer grøn biomasse. Teknologien er specielt anvendelig ved total ukrudtsbekæmpelse, hvor al plantevækst er uønsket. Teknologien kan være relevant ved bekæmpelse af rodukrudt i stubmarker, samt ved total ukrudtsbekæmpelse af ukrudt før afgrødens fremspiring. For at opnå den maksimale besparelse på herbicidforbruget, kræves det, at der er monteret en sensor pr. dyseenhed. Jo større bredde af sprøjtebommen der dækkes af en enkelt sensor, des mindre bliver potentialet for herbicidbesparelse. Teknologien er kommercielt til rådighed og markedsføres i Danmark.

Det skønnes, at teknologien vil kunne reducere herbicidanvendelsen til de to beskrevne anvendelsesområder med op til 80 %.

I det følgende er en række sensorsystemer på det danske marked beskrevet:

**Sensor:** Yara N-sensor (version WB)

**Måleprincip:** Bestemmelse af afgrødens spektrale reflektans (procent reflekteret sollys) relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Sensoren er tag-monteret på en traktor. Sensoren indeholder to enkeltsensorer. Målingerne foretages i en skrå vinkel på begge sider af traktoren, og målefeltets samlede areal er stort, hvilket giver robuste målinger i stærkt varierende afgrøder.

**Status for anvendelse i Danmark:** Et større antal sensorer i praktisk brug. Sensoren har indgået i en række videnskabelige og praktiske forsøg, hvor der er udviklet lokale algoritmer til tildeling af kvælstof. Ligeledes er sensorens anvendelsesmuligheder til tildeling af pesticider ved at blive undersøgt.

**Specielle forhold:** Sensoren er solgt i et stort antal (>1000) hovedsageligt i Europa, og der er udviklet algoritmer til primært N-gødsning af en række afgrøder. En nyere version af Yara sensoren (version ALS) er baseret på aktiv belysning af afgrøden via indbygget lyskilde, og fungerer der-

for uafhængigt af sollyset. ALS sensoren er prissat til ca. 254.000 kr. For den praktiske anvendelse er det en fordel at kunne arbejde på alle døgnets timer.

**Sensor:** Fritzmeier Isaria system

**Måleprincip:** Aktiv bestemmelse af afgrødens spektrale reflektans relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Målingerne foretages fra to målebomme placeret i traktorens frontlift. Afstanden til afgrøden er kort, og arealet af det samlede målefelt derfor begrænset.

**Status for anvendelse i Danmark:** Ny sensor på markedet. Nogle få sensorer er solgt inden for de seneste to år, og sensoren er under indledende anvendelse og evaluering.

**Specielle forhold:** Afgrøden belyses aktivt af fire spektrale LED lyskilder placeret i hvert af de to sensorhoveder. Reflektansen bestemmes tilsvarende i fire bølgelængder i det synlige og nærinfrarøde område. På grund af den aktive belysning kan der arbejdes på alle døgnets timer.

**Sensor:** GreenSeeker

**Måleprincip:** Aktiv bestemmelse af afgrødens spektrale (rød og nærinfrarød) reflektans relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Sensorerne placeres typisk direkte på marksprøjte eller andet redskab. Antallet af sensorer varierer. Fire eller seks sensorer er typisk for systemer solgt i Danmark.

**Status for anvendelse i Danmark:** Sensoren har været produceret i en årrække. I Danmark forventes der solgt ca. 15 systemer i første halvdel af 2012. Ingen anvendelse i Danmark før dette tidspunkt her.

**Specielle forhold:** Sensoren er aktiv og kan anvendes i alle døgnets timer. Sensoren placeres typisk lavt, og arealet af det samlede målefelt er derfor begrænset. Anvendelse af et større antal sensorer kan kompensere herfor.

**Sensor:** WeedSeeker

**Måleprincip:** Samme spektralsensor som anvendes i GreenSeeker. Hver sensor udstyret med en sprøjtedyse med hurtig åbne- og lukketid. Dysen aktiveres, når sensoren detekterer grøn plantevækst. Sensorerne placeres typisk direkte på marksprøjte eller andet redskab.

**Status for anvendelse i Danmark:** Sensoren har været produceret i en årrække. I Danmark forventes der solgt 1 stort (ca. 90 sensorer) system i 2012. Ingen tidligere anvendelse her.

**Specielle forhold:** Sensoren har typisk været markedsført i Danmark og internationalt i forbindelse med små systemer, som anvendes til ukrudtssprøjtning på mindre arealer i byer, lufthavne, langs veje og jernbaner etc. Store systemer anvendes internationalt typisk til sprøjtning af ukrudt i forbindelse med pløjefri dyrkning. På grund af den direkte kobling mellem sensor og sprøjtedyse er sensoren anvendelig til ukrudtsbekæmpelse i rækkeafgrøder som typiske gartneriafgrøder.



**Sensor:** OptRx

**Måleprincip:** Aktiv bestemmelse af afgrødens spektrale (rød og nærinfrarød) reflektans relateret til biomasse og klorofylindhold og derigennem til kvælstofindholdet. Sensorerne placeres typisk direkte på marksprøjte eller andet redskab. Antallet af sensorer kan varieres.

**Status for anvendelse i Danmark:** Sensoren er ny på markedet.

**Specielle forhold:** Afgrøden belyses aktivt af tre spektrale LED lyskilder placeret i hvert sensorhoved. Refleksionen bestemmes tilsvarende i tre bølgelængder. På grund af den aktive belysning kan der arbejdes på alle døgnets timer. Selv om sensoren har en relativt stor åbningsvinkel, er det samlede målefelt kun mellemstort. Ved anvendelse af fire eller flere sensorer kan arealet af målefeltet forøges, og den rumlige dækning forbedres.

### **Stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse)**

Dette begreb dækker over, at den enkelte marks behov for plantebeskyttelse varierer og derfor vil en varieret tildeling af plantebeskyttelsesmidler være mest optimal. Konceptet er længst udviklet til ukrudtsbekæmpelse, hvor undersøgelser har vist at det er muligt at reducere herbicidindsatsen med over 50 %. Stedspecifik plantebeskyttelse forudsætter, at der foretages en stedspecifik registrering af behovet for plantebeskyttelse forud for eller i forbindelse med tildelingen ("real time"). Ud fra registreringerne udarbejdes et GPS baseret tildelingskort, mens der med "real time" registrering foretages varieret tildeling i samme arbejdsgang baseret på denne registrering. Tildeling kan foretages med konventionelle sprøjter, hvor der er mulighed for at variere doseringen af det forudvalgte middel/blanding inden for visse grænser afhængig af den anvendte dyseteknologi. Mere avancerede systemer i form af injektionssprøjter kan variere såvel dosering som middelsammensætning. Injektionsteknologien stiller til gengæld større krav til den anvendte software, da der typisk er en forsinkelse fra det tidspunkt, hvor en indstilling aktiveres til det tidspunkt, hvor det ønskede middel/og dosering er ude ved dysen.

Den væsentligste barriere for anvendelse af stedspecifik ukrudtsbekæmpelse er registreringsarbejdet. Det er konkluderet, at manuel ukrudtsregistrering er for omkostningstungt i forhold til besparelspotentialt med de nuværende prisrelationer (Gerhards & Christensen, 2003; Christensen et al., 2009). Udvikling af automatiske systemer til registrering af ukrudtsarter og -planter er derfor en forudsætning for videre udvikling og implementering af konceptet. Sådanne koncepter arbejdes der med i flere forskningsprojekter.

Denne teknologi er ikke beskrevet i regnearket (Bilag 1), da der pt. ikke findes kommercielle pakkeløsninger.

Det skønnes, at teknologien på sigt vil kunne reducere herbicidanvendelsen med over 50 %, når der er udviklet systemer til automatisk ukrudtsregistrering.

## **Injektionssprøjter til stedspecifik plantebeskyttelse (ukrudtsbekæmpelse)**

Med et injektionssystem på en marksprøjte, sprøjtes midlerne ind i væskestrømmen mellem tanken og bommen/dyserne. Pesticiderne medbringes på sprøjten i koncentreret form. Der kan medbringes op til 6 forskellige midler med de systemer, der er på det danske marked. Sprøjtetanken indeholder rent vand, der udsprøjtes i en konstant væskemængde per hektar, mens middel og dosering kan varieres trinløst hen over marken. Doseringen af hvert middel kan således varieres ubegrænset, ligesom blandingsforholdet mellem de forskellige produkter kan varieres. Teknologien er således oplagt for på et tidspunkt at kunne realisere det fulde potentiale, der er ved stedspecifik plantebeskyttelse, men anvendelsen er stadig afhængig af, at der udvikles automatiske systemer til registrering af bekæmpelsesbehovet som beskrevet under stedspecifik plantebeskyttelse.

Injektionsteknologien indebærer også nogle udfordringer. Eksempelvis skal midler på fast form opløses, før de kan anvendes, og rester af de opløste produkter skal derefter opbevares i anden emballage. Ligeledes er der en udfordring omkring rengøring af de beholdere, der anvendes til de koncentrerede produkter. I forhold til stedspecifik plantebeskyttelse er der yderligere en udfordring. Afhængigt af hvor det koncentrerede middel sprøjtes ind (slangediameter, cirkulationssystem etc.), går der en vis tid, fra det koncentrerede middel er introduceret i væskestrømmen, til den korrekte/tilstræbte dosering opnås ude ved alle dyser. På sprøjter, der ikke er optimeret mht. reaktionslængde, kan denne være væsentligt over 100 meter (Lyngvig, 2012). I en farmtest er det tidligere vurderet, at de fleste hydrauliske sprøjter kan monteres med injektionssystem og optimeres til en maksimal reaktionslængde på 30-40 meter (Pedersen & Laursen, 2001). På det danske marked reklamerer en af forhandlerne med en reaktionslængde på ca. 10 meter, hvilket dog ikke er verificeret. Såfremt en sprøjte med injektionssystem skal anvendes til at tildele midler og doser stedspecifikt, giver det nogle udfordringer. Såfremt tildelingen skal foregå på basis af et forud registreret tildelingskort, vil det formentlig være muligt at programmere sig ud af denne problematik såfremt sprøjtens rute i marken ligger fast. Ved "realtime" registrering og tildeling vil det kræve, at sensor (eller andet registreringsudstyr) er placeret på sprøjtereds-kabet, så bekæmpelsesbehovet er registreret foran bommen i en afstand, der svarer til reaktionslængden samt den tid, der er behov for til processering og beslutning.

### **Indsatsområde 3: Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring, omsætning af foderstoffer samt anvendelse af husdyrgødning**

*Sektionsleder Hanne Damgaard Poulsen og seniorforsker Peter Lund*

Husdyrenes produktivitet og sundhed er afhængige af tildelingen af næringsstoffer og energi, hvorfor der gennem tiderne har været stor fokus på tilstrækkelig forsyning til at sikre produktion, sundhed, velfærd, produktkvalitet mv. Samtidig har der gennem de senere årtier været stor bevågenhed på den mængde næringsstoffer, der ikke udnyttes til produktion, og som derfor udskilles med gødningen. Husdyrgødning indeholder mange værdifulde næringsstoffer samt energirige kulstof forbindelser, men hvis gødningen ikke anvendes korrekt, kan det give anledning til næringsstofophobning på landbrugsarealer, der tilføres husdyrgødning med efterfølgende risiko for tab til vandmiljøet. Dertil kommer risikoen for luftformigt tab af ammoniak, NO<sub>x</sub>, metan mv.

Forskning og forsøg har sammen med rådgivning stor fokus på effektivisering af næringsstofomsætning og -udnyttelse for at begrænse tabene, og det har over årene resulteret i en stærkt reduceret udledning og dermed udvaskning af næringsstoffer som kvælstof og fosfor samt emitteret ammoniak pr. kg produkt. Men forskning og forsøg afdækker til stadighed nye muligheder til reduktioner, og der er stadig ikke udnyttede potentialer. De efterfølgende afsnit vil kort summere disse potentialer.

Der er ikke foretaget en egentlig økonomisk vurdering af de fodringsrelaterede teknologier, idet de nævnte tiltag oftest vil have en bred effekt på flere miljøfaktorer (N udledning, ammoniak emission, fosforudledning og emission af CO<sub>2</sub> ækvivalenter) og i hele kæden (stald, lager og udbringning). I stedet er der opstillet en prioriteret liste inden for de nævnte teknologiske delområder.

## **Biologi med miljøeffekt**

Virkemidlerne bag forbedringerne (opnåede og forventede) kan relateres til biologiske teknologier:

- 1) effektivitetsstigninger (foderudnyttelse) opnået gennem avl og management
- 2) foderoptimering (fodervurdering, fastlæggelse af næringsstofbehov)
- 3) tilpasset fodring til dyrenes behov (fasefodring, flere foderblandingstyper)
- 4) erstatning af råprotein med industrielle aminosyrer (svin, fjerkræ, (kvæg?))
- 5) brug af højkvalitets foderfosfater (MCP)
- 6) brug af enzymer som fytase
- 7) andre foderadditiver (senest benzosyre)
- 8) andet

Ovennævnte "biologiske/fysiologiske" tiltag har været en forudsætning for den store reduktion i udskillelse og tab af næringsstoffer og gasser, der løbende er registreret over de seneste årtier, men de enkelte virkemidler har ikke samme relevans hos alle husdyrarter. Samtidig er viden om de enkelte virkemidlers effekt ikke ens for alle husdyrarter, så der ligger fortsat ikke-belyste potentialer og venter, ligesom fortsat udvikling og kendskab til foderoptimeringsteknologi og næringsstofbehov vil muliggøre yderligere biologisk betingede forbedringer.

## **Fodringsrelaterede miljøteknologier**

Foruden de biologisk orienterede teknologier, som er nævnt ovenfor, er der i dag også fokus på teknologi som staldindretning, indeklimastyring og -strategi, gødningshåndtering herunder gylleforsuring, gylleafkøling mv., som beskrives i et særskilt kapitel og ikke omtales nærmere i dette kapitel.

Derimod bliver teknologier, der retter sig mod udmøntningen af ovennævnte biologiske potentialer, behandlet nærmere i det følgende.

### **Fasefodring eller fodring tilpasset dyrenes fysiologiske behov**

Det vurderes, at potentialet ikke er udnyttet fuldt ud hos alle husdyrarter, idet det har været nemmere/billigere at udmønte hos nogle husdyrarter end hos andre. Tilpasset fodring (fasefodring, præcisionsfodring) medfører, at det enkelte dyr får tildelt foder med et mere korrekt næringsstofindhold i forhold til dets fysiologiske stadie. Fasefodring udvikles også løbende, idet det faglige grundlag for at udvide antallet af faser fra to til tre til multifaset fodring etableres og dokumenteres. Principielt vil anvendelse af flere faser bevirke en mere præcis fodring tilpasset dyrenes behov. Dette forudsætter øget viden om ændringerne i dyrenes behov gennem vækst og/eller reprodukti-

on, men i takt med, at denne viden opnås, skabes der også et fagligt grundlag for at introducere flere faser i fasefodringen. Eksempler:

- 1) Gruppeopdeling af dyr med samme fysiologiske stadium, som muliggør specifik fodring med foderrationer, der er tilpasset dyrenes aktuelle næringsstoffbehov. Dette muliggør en mere effektiv udnyttelse af foderets næringsstoffer med følgelig lavere udskillelse og emission.
- 2) Udfodringsudstyr (automater, blandingsudstyr mv.) som muliggør tildeling af det "fysiologisk korrekte foder" til grupper og/eller enkelte dyr.
- 3) Overvågningsudstyr til vurdering af optimal fodringsstrategi/udfodring til sikring af høj produktivitet og sundhed, som en forudsætning for effektiv næringsstofudnyttelse og reduceret udskillelse og tab.
- 4) Udstyr til begrænsning af afgrødetab (høst, lagring) og foderspild i stalden.

De nævnte eksempler/virkemidler forventes alle generelt at have en forbedrende effekt på næringsstofudnyttelsen og dermed udskillelsen af næringsstoffer samt på emissionen af f.eks. ammoniak. Der forventes derfor følgende effekter:

- 1) Nedsat kvælstofudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret udvaskning)
- 2) Nedsat emission af ammoniak (og dermed reduceret emission)
- 3) Nedsat fosforudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret ophobning)
- 4) Nedsat emission af CO<sub>2</sub> ækvivalenter (eks. metan)

Ovennævnte virkemidler giver ikke samme udslag på de fire nævnte potentielle effekter, hvorfor det er vanskeligt at karakterisere "værdien i effekt" af hver kr., der investeres i de tekniske tiltag til udmøntning af den biologiske viden. Det betyder, at der for flere af tiltagene vil være mulighed for at opnå gevinst på alle fire nævnte effekter, men effekterne kan ikke umiddelbart slås sammen (adderet). Dette forudsætter, at der sker en prioritering af, hvilken af de "fire effekter", der vurderes at være den mest efterspurgt i det konkrete tilfælde (afhængig af bedrift, miljøgodkendelse mv.).

Udover ovennævnte tiltag vedr. fasefodring/tilpasset fodring, som forventes at have mere generel effekt på næringsstofudskillelse og emission, er der tiltag, der er mere målrettet en enkelt af de ovennævnte fire effekter. Eksempel:

- 1) fedttildeling i foderrationen, som forventes at medføre en reduktion i emissionen af metan (CO<sub>2</sub> ækvivalenter)

I visse husdyrproduktioner (eksempelvis kvæg) kan der være behov for etablering af udstyr til sikker iblanding af relevante fedttyper til fodrerationerne med henblik på opnåelse af det fodringsmæssige potentiale for reduktion i emissionen af metan. En sidegevinst er, at det samtidig vil forhindre et energitab hos malkekøer. Samtidig forventes der øget fokus på udvikling af pålideligt og driftssikkert on line udstyr, der kan bidrage til mere sikker og præcis udfodring/dosering af foder (f.eks. ensilage).

### **Samme teknologi påvirker flere miljøeffekter**

Fodringsmæssige tiltag har grundlæggende effekter på næringsstofudnyttelse og emissioner i hele kæden, idet virkemidlerne angriber ved "kildens rod". Det betyder eksempelvis, at en nedsættelse af udskillelsen af kvælstof med gødning og urin alt andet lige også medfører en reduceret emission af ammoniak. Derfor vil udmøntning af ændret fodring (biologisk teknologi) medføre tværgående effekter, som også vil påvirke effekten af de "tekniske teknologier", der måtte kobles på efterfølgende. Grundlæggende vil de nævnte biologiske tiltag kunne begrænse behovet for efterfølgende teknologiske tiltag, ligesom effekten af evt. teknologiske tiltag vil være afhængig af næringsstofindhold og -koncentration i husdyrgødningen.

Vurdering af omkostningseffektiviteten (investering i forhold til opnået miljøeffekt) skal foretages i forhold til de specifikke krav, der ligger på den enkelte bedrift. En egentlig vurdering af de gennemgæede virkemidlers effekt og omkostningseffektivitet vil derfor omfatte, at der foretages en værdisætning af de fire effekter (kvælstofudledning, emission af ammoniak, udledning af fosfor, emission af CO<sub>2</sub> ækvivalenter) individuelt eller samlet for to eller flere. En sådan vurdering er ikke foretaget, idet det forudsætter en vægtning af de fire effekters "værdi". I stedet er der gennemført en vurdering af de forskellige teknologiers samlede effekt med henblik på en vurdering af den forventede effekt inden for grupperingen af de forskellige teknologier.

De nævnte teknologiske tiltag til udmøntning af de biologiske potentialer har væsentlig nyhedsværdi inden for nogle husdyrgrene, hvor de inden for andre produktionsgrene ikke har samme nyhedsværdi. Samtidig kan det nævnes, at tilpasset fodring/præcisionsfodring/fasefodring har bred effekt på næringsstofudnyttelse og -udskillelse, således at udnyttelsen af alle næringsstoffer og energi forbedres til gavn for miljø og produktionseffektivitet. Denne analyse har taget udgangspunkt i nyhedsværdien af de nævnte teknologier i forhold til praksis på den enkelte bedrift, hvor nogle af de nævnte teknologier er specifikke for bestemte husdyrarter, hvorfor en teknologi kan have nyhedsværdi hos en dyreart men ikke hos andre.

Oplysninger, der vil være gavnlige for effektvurderingen i de enkelte situationer, vil omfatte følgende: angivelse af nuværende og forventet fodringspraksis og fodersammensætning efter etablering af teknologien, produktionseffektivitet, angivelse af nuværende husdyrgødningstal (til belysning/vurdering af potentiel effekt), angivelse af, om tiltaget skal kombineres med andre teknologiske tiltag (eksempelvis forsuring)? Sidstnævnte kan være af væsentlig betydning, idet det ofte er manglende additivitet af effekter, når forskellige teknologier kombineres.

### **Samlet vurdering af fodringsrelaterede teknologier, der understøtter en reduceret udskillelse af næringsstoffer, ammoniak og metan**

En samlet vurdering af udstyr/teknikker inden for de fire hovedgrupperinger af tiltag er anført i nedenstående oversigtstabel (Tabel 3.1), hvori der også er anført en vurdering af de forskellige tiltags effekter på de fire forskellige miljøfaktorer. Hvis der for hver dyrekategori er flere teknologier, er der foretaget en samlet vurdering inden for hver hovedgruppering ved angivelse af 1-3 stjerner, hvor 3 stjerner angiver den største forventede effekt på de fire miljøfaktorer. Dyrekategorierne er opdelt i to hovedgrupper: drøvtyggere, primært kvæg (K) samt andre (A). Den vurderede effekt er angivet i % i forhold til normtal for gødningsplanåret 2011/12 og kan variere mellem de forskellige dyrekategorier, men der er ikke foretaget en egentlig vurdering mellem de to kategorier K og A. Den eksakte effekt skal vurderes i de enkelte tilfælde, så værdierne i tabellen skal betragtes som vejledende. Der er ikke angivet eventuelle grænseværdier ift. sundheds-/velfærdsparametre.

Tabel 3.1. Samlet oversigt og vurdering af teknologier, der knytter sig til fodring af husdyrene og disses omsætning af næringsstoffer i foder og foderstoffer. Effekterne er angivet i % i forhold til normalt 2012/2013-værdierne for udskillelse af næringsstoffer og emission af ammoniak. Den henvises til <http://anis.au.dk/normtal/>, hvor baggrundsværdier for foder, foderforbrug mv. findes. Effektens størrelse er vurderet ud fra effekt af helt ny teknologi eller effekt af opgradering af gammel med ny version af teknologien.

1)	Teknik	Uddybning	N	Ammoniak	P <sup>2)</sup>	Gas/metan <sup>3)</sup>	Samlet
K	<b>1. Gruppeopdeling</b>	Brug af specifikt udfodringsudstyr til faseopdelt fodring (punkt 2) kræver gruppeopdeling af dyr i samme fase	5-10	10-20	5-15	2-3	
A		Brug af specifikt udfodringsudstyr til faseopdelt fodring (punkt 2) kræver gruppeopdeling af dyr i samme fase <sup>4)</sup>	5-15	5-15	0-15	-	
K	<b>2. Udfodringsudstyr og fodring</b>	Automatisk fodring Mixeranlæg	5-10	10-20	5-15	2-3	*
K		Kraftfoderanlæg	5-10	10-20	5-15	2-3	*
K		Foderblander med vejeudstyr	5-15	10-25	5-25	2-6	***
K		Udstyr til fedttilsætning (tanke og doseringsudstyr)	-	-	-	9-11	Kun effekt på metan
A		Udstyr til etablering af fasefodring ved nyetablering af fasefodring <sup>3)</sup>	5-15	5-15	0-15	-	
K	<b>3. Overvågningsudstyr</b>	On-line analyse af mælkeprøver - eksempelvis herd navigator	5-15	10-20	5-20	2-5	**
K+ A	<b>4. Foderhåndtering</b>	Vejeudstyr i foderproduktionen Udstyr til finere formaling af foderkorn	5-10	0	5-15	0	
K+ A		Udstyr til udtagning af ensilage	2-5	0	5-10	0	

<sup>1)</sup> K= kvæg (drøvtyggere); A = svin/fjerkræ (andre)

<sup>2)</sup> Ved beregning af effekten af fosfor, skal der tages hensyn til, at effekten af fytase kun opnås, hvis der i udgangspunktet anvendes foderfosfat (mineralsk fosfat). Ikke alle foderblandinger indeholder aktuelt foderfosfat. Her vil der ikke kunne opnås yderligere effekt af fytase.

<sup>3)</sup> Dyreeffekt (ekskl. mark og lager); kun hos drøvtyggere

<sup>4)</sup> Generelt kan der regnes med, at jo flere faser, der anvendes, desto større er effekten.

Stjerner (\*, \*\*, \*\*\*) angiver den samlede vurderede effekt, hvor antallet af stjerner angiver størrelsen (tre stjerner har størst effekt).



## **Indsatsområde 4: Reduktion af energiforbruget respektive vand-, næringsstof- og pesticidforbruget i gartnerisektoren**

*Seniorforsker Jørn Nygaard Sørensen, lektor Carl-Otto Ottosen, sektionsleder Lillie Andersen, seniorforsker Peter Kryger Jensen og lektor Bo Melander*

Indledningsvis skal nævnes, at de dele vedrørende Indsatsområde 4, der omhandler reduktion af energiforbruget i gartnerisektoren i 2010 blev udarbejdet af Niels-Erik Andersson, daværende Institut for Havebrugsproduktion (Kai et al., 2010). I 2013 er denne del opdateret af Carl-Otto Ottosen. Afsnit vedrørende reduktion af vand- og næringsstofforbruget er opdateret af Lillie Andersen og Jørn Nygaard Sørensen.

### **Energi**

#### **Solfangere**

Energiproduktionen på solfangere afhænger af solindstrålingen. Energiproduktionen er derfor størst om sommeren og lille i vinterperioden. Solfangere bruges som supplerende energikilde til opvarmning i boliger, typisk ved brug af en ekstra varmespiral i varmtvandsbeholderen eller en ekstra varmeveksler (fjernvarme). Afgangstemperaturen fra et solfangeranlæg kan være høj, op mod 60-80 °C, men kapaciteten, altså den vandmængde, som kan afgives med høj temperatur, afhænger af solfangeranlæggets størrelse.

Der er tidsforskydning mellem væksthushets behov for varme, og varme, produceret med solfangeranlægget. For at kunne udnytte solfangere i et gartneri skal de tilsluttes en akkumuleringstank. Ved at se på gartneriets energiforbrug i sommerhalvåret kan en energibesparelse og reduktion i CO<sub>2</sub> udledning opnås ved, at kedelanlægget holdes varmt ved hjælp af varme fra solfangeren, og ved at væksthuset opvarmes helt eller delvist med varme fra solfangeren.

Solceller vil dog også kunne have en sekundær funktion, hvis de placeres i væksthuset, hvor de kan fungere som affugtere, hvis koldt vand pumpes igennem i de kritiske perioder.

Almindelige solfangere, som findes på markedet, kan anvendes i gartnerierne. Når teknikken hidtil ikke har været anvendt i gartnerierne, skal det ses i sammenhæng med kapacitet/størrelse af solfangeranlægget og energiforbrugsmønster og energibehov til opvarmning af væksthus.

#### **Lagring af varme i jorden på kort og langt sigt**

Der er begrænsninger på, hvor varmt vandet må være, når det pumpes ned i stillestående grundvand (aquifer). Det er et myndighedskrav, at aquiferen er energineutral over en periode på 12 må-

neder. Det vil sige, at energimængden, som er lagret, skal modsvares af en tilsvarende udtrukket energimængde fra aquiferen. Når varme skal lagres, afhænger lagringsformen af temperaturen. Hvis varmen kommer f.eks. fra en solfanger eller fra en varmepumpe, vil vandtemperaturen typisk være på 60 °C eller højere, og energien skal kun lagres kortvarigt for at undgå for stort tab. Dvs., at lagring skal ske i en isoleret akkumuleringstank. Lagring af energi i akkumuleringstank har været benyttet i mange år i gartnerierne, og i kombination med solvarme kan økonomien i større enheder forventes at være bedre. Da akkumuleringstank vil kunne udligne energiforbruget i mindst halvdelen af året, vil de med stigende energiudgifter – og afgifter have kortere tilbagebetalingstid.

Er der tale om vand med lav temperatur, ca. 20 °C, er den vandmængde, der skal lagres, stor, for at få en stor energireserve, og her er et aquifert system velegnet.

Lagring af varme i grundvandet kræver, at grundvandet står stille, og at porøsiteten skal være god (min. 30 %), så det er muligt at pumpe vand op og ned med mindst mulig pumpekapacitet. En del energi fra aquiferen vil tabes på grund af hydrauliske forhold, og aquifererne må ikke ligge for tæt på hinanden, da der kan opstå interferens, hvor energi flyttes mellem aquifererne. Vands varmekapacitet er  $4,15 \text{ MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$ , mens sands er  $1,2\text{-}1,4 \text{ MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$ , altså ca. en tredjedel af vands. Det har i sammenhæng med aquifere systemer ikke den store praktiske betydning, andet end at sandlagets tykkelse kan være afgørende for, om det er muligt at etablere et aquifert system. Anvendelse af aquifer varmelagring er kendt fra industrien og i mindre omfang til boligopvarmning, og er anvendt i lille omfang i hollandske gartnerier.

Investering i et aquifert system vil afhænge af undergrunden, først og fremmest af hvor store mængder vand, der kan pumpes op og ned, og hvor stor den samlede kapacitet til lagring skal være. Etablering af aquiferen koster mellem 3.000 og 5.000 kr. pr. kW, udtrykt som kølekapacitet. I etableringsomkostningerne indgår en forundersøgelse af undergrunden, hvor det konstateres, om undergrunden er egnet som aquifer eller ej. Anlægget etableres ved to borer til den nødvendige dybde og etablering af forsyningsledninger med pumper frem til en varmeveksler. Hertil kommer udgifter til varmevekslere og evt. varmepumpe og konvektorer i væksthuset. Den udgift afhænger af størrelsen af det areal, som opvarmes.

Miljøeffekten afhænger af, hvilken energikilde gartneriet bruger. Stenkul har den højeste CO<sub>2</sub> afgivelse på 95 kg CO<sub>2</sub> pr. GJ, og fjernvarme mindst med 34 kg CO<sub>2</sub> pr. GJ. Miljøeffekten vil derfor afhænge af, hvor stor en energimængde der kan ekstraheres fra væksthuset og genanvendes. Genanvendelse af energi fra væksthuset vil kræve energi til drift af pumper, varmeveksler og konvektorer og eventuelt en varmepumpe. Ved konvertering af en del af energiforbruget til ekstraktion og varmelagring vil elektricitetsforbruget øges, og CO<sub>2</sub> emissionen fra elforbruget (15 kg CO<sub>2</sub> pr. GJ) skal modregnes.

Energi fra varmelagring i aquifere systemer har lav exergi, dvs. varmeudnyttelsespotentiale, og for at kunne udnytte energien i eksisterende vandbårne varmesystemer skal exergien forøges, hvilket kan ske ved hjælp af en varmepumpe. Med en varmepumpe kan der ske forbedring af effektfaktoren andre steder i energiforsyningskæden. Blandt andet kan der foretages køling af røggassen fra kedler, hvorved der trækkes mere energi ud.

Lagring af varme i grundvand skal ses i sammenhæng med energiekstraktion fra væksthuset, og hvor lagringen sker for en længere periode.

Datamaterialet vedr. drift og energiforhold af energiekstraktionssystemer og aquiferer er mangelfuldt i relation til brug i gartnerierhvervet, og i den sammenhæng skal der ikke blot ses på energiforbruget til opvarmning, men også til affugtning.

### **Isolering af trempler**

Glas eller kanalplader i nordsiden af væksthuset kan erstattes af højtisolerende bygningselementer. Energibesparelsen afhænger af det areal, som erstattes med et højtisolerende materiale. Materialet findes på markedet, lige som materialet har været anvendt ved nybyggeri i de seneste 2-3 år. Der er en uddybende redegørelse for energibesparelspotentialet under punktet: *to- eller flerlags dækkematerialer glas/plast*, se endvidere Tabel 4.1 og 4.2.

### **Isolering af sokler**

Det er muligt at isolere væksthuses sokkel ved nybygning, men soklen kan ikke efterisoleres i eksisterende byggeri. Det skyldes, at væksthuset står direkte på jorden, og det kan ikke sammenlignes med udvendig isolering af soklen på et hus med kælder. Moderne blokvæksthuse har typisk et punktfundament, hvor søjlerne forankres. Her anvendes højtisolerende bygningselementer som sokkel og som den nederste del af væggen. Det er muligt at erstatte det nederste glas i trempel og gavle med højtisolerende bygningselementer, svarende til dem, som anvendes ved permanent isolering af trempler.

Soklen udgør en forholdsvis lille del af den samlede overflade af væksthuset, og isolering har marginal indflydelse på væksthuses varmekonsum.

### **To- eller flerlags dækkematerialer glas/plast**

Isolerende dækkematerialer, i form af kanalplader nedsætter energiforbruget, men energibesparelsen afhænger af det areal, hvor glas erstattes med isolerende dækkemateriale. Nedsættelsen af energiforbruget afhænger også af det antal lag, som pladen består af. Varmetransmissionskoefficienten reduceres fra 3,1 for en dobbeltlagsplade til 1,6  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  for 6-lagsplade. Til sammenligning har glas en varmetransmissionskoefficient på 6,5  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Anvendes permanent isolering, dvs. materialer uden lysgennemgang, kan varmetransmissionskoefficienten reduceres til 0,4  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ .

Der er i det følgende givet nogle eksempler på den forventede energibesparelse ved at udskifte enkeltlagsglas med 2 lags-kanalplader.

Det er lettest at erstatte enkeltlagsglas med dobbelte kanalplader i fritliggende væksthuse. Et almindeligt fritliggende væksthuse, bygget i glas og uden isoleringsgardiner, har et typisk varmeforbrugstal (P-værdi) på  $8,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Det er ikke ualmindeligt, at gavlene i eksisterende fritliggende væksthuse består af kanalplader, hvilket giver en P-værdi på  $8,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Når der meget ofte bruges kanalplader i gavlene, er det, fordi det er vanskeligt at montere et træksystem til et isoleringsgardin. Ved isolering af gavlene udelades monteringen af et skygge- eller isoleringsgardin. Udskiftes yderligere f.eks. den nordvendte trempel med kanalplader, reduceres P-værdien til  $7,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  og med begge trempeler isoleret til  $7,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Hvis f.eks. den nordvendte tagflade også udskiftes, reduceres P-værdien til  $6,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , og med begge tagflader udskiftet med dobbelte kanalplader bliver P-værdien  $4,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . I stedet for kanalplader kan glasset i nordtrempelen erstattes med permanent isolering. Det vil reducere P-værdien i et glashus fra  $8,5$  til  $8,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . I et fritliggende væksthuse, bygget i kanalplader, vil isolering af nordtrempelen med permanent isolering sænke P-værdien fra  $4,5$  til  $4,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Reduktionen i energiforbruget ved anvendelse af kanalplader i et fritliggende væksthuse er angivet i Tabel 54.1.

Tabel 5. Ændring i det årlige energiforbrug for et fritliggende væksthuse ved isolering med 2 lags-kanalplader ved en sætpunktstemperatur på  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Isolering	P-værdi [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]	Årligt energiforbrug [kWh pr $\text{m}^2$ ]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,5	887	-
Permanent isolering af nordtrempel	8,1	846	5
Gavle	7,9	825	7
Gavle og nordtrempel	7,7	804	9
Gavle og trempeler	7,5	783	12
Gavle, trempeler og en tagflade	6,0	626	29
Gavle, en trempel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	5,8	605	32
Alle udvendige flader i kanalplade	4,5	470	47
Permanent isolering af nordtrempel, øvrige flader i kanalplader	4,3	449	49

Hvis væksthuset er bygget som en blok (Venloblok), er mulighederne for at bruge isolerende dækmaterialer mindre på grund af tagkonstruktionens udformning. Tagkonstruktionen består af mange små tage med skotrender imellem, og der er ikke udviklet et profilsystem til kanalplader.

I gavlene bruges ofte kanalplader, og af samme årsag som for fritliggende væksthuse, fordi det er vanskeligt at montere et velfungerende træksystem til et isoleringsgardin.

En glas-Venloblok har en P-værdi på 8,1 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Ved isolering af gavlene bringes P-værdien ned på 7,7 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Isoleres nordtremplen med kanalplader, fås en P-værdi på 7,5 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Bruges der i stedet permanent isolering i nordtremplen, reduceres P-værdien til 7,2 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Bruges der desuden kanalplader i sydtremplen, bliver P-værdien 7,0. Den vanskeligste del at isolere på et blok-væksthus er som nævnt taget, men de teoretiske beregninger ved udskiftning med kanalplader er medtaget i Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Ændring i energiforbrug for et blokvæksthus (Venloblok) ved isolering med 2-lags-kanalplader ved en sæt-punktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Årligt energi- forbrug [kWh pr m <sup>2</sup> ]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,1	846	-
Gavle	7,7	804	5
Gavle og nordtrempe	7,5	783	7
Gavle og permanent isolering af nordtrempe	7,2	752	11
Gavle, kanalplader i sydtrempe og permanent isolering af nordtrempe	7,0	731	14
Gavle, trempel og en tagflade	5,8	605	28
Alle flader isoleret med akrylplader	4,3	449	47
Nordtrempe permanent isoleret og øvrige flader i kanalplade	4,1	428	49

Den forventede energibesparelse står dog ikke altid mål med det, som opnås i virkeligheden. I væksthuse, bygget helt eller delvist i kanalplader, bliver luftfugtigheden højere og energiforbruget til affugtning stiger. Affugtning er en energiforbrugende proces, der sker ved brug af naturlig ventilation, samtidig med, at der tilføres energi til væksthuset.

Investering i udskiftning af glas til kanalplader vil variere en del afhængig af væksthustype og alder og typen af kanalplader. Jo højere lystransmission kanalplader har, desto højere er prisen, og investeringen kan ligge mellem 400 til 600 kr. pr. kvadratmeter.

Ud fra reduktionen i energiforbruget kan miljøpåvirkningen i form af lavere CO<sub>2</sub> emission beregnes. Den mængde CO<sub>2</sub>, som dannes pr. energienhed, er afhængig af den anvendte energikilde. Data fra Energistyrelsen viser, at det samlede energiforbrug i gartnerierne i 2008 lå på 7.343 TJ, fordelt på 2.151 TJ fra fjernvarme, 1.832 TJ fra stenkul, 1.264 TJ fra naturgas, 1.039 TJ fra elektricitet, 624 TJ fra fuelolie, 366 TJ fra gasolie og 66 TJ fra andre energikilder

(<http://www.danskgartneri.dk/Publikationer/~~/media/danskgartneri/Publikationer/Dansk%20Gartneri%20i%20tal/Tal%20om%20gartneriet%202012.ashx>).

Anvendelse af 2- eller flerlagsdækkematerialer påvirker ikke elektricitetsforbruget, idet hovedparten anvendes til kunstlys. Stenkul afgiver den største mængde CO<sub>2</sub> pr. energienhed produceret og har derfor den største miljøpåvirkning (Tabel 4.3).

Tabel 4.3. Reduktionen i CO<sub>2</sub>-emissionen i kg pr. kvadratmeter pr. år for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C ved forskellige grader af isolering med 2-lagskanalplader.

Isolering	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie	Stenkul
Permanent isolering af nordtrepel	5	9	12	12	15
Gavle	8	13	17	17	21
Gavle og nordtrepel	10	16	21	22	27
Gavle og trepler	13	22	28	30	36
Gavle, trepler og en tagflade	31	53	69	72	88
Gavle, en trepel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	35	58	76	80	97
Alle udvendige flader i kanalplade	51	86	111	117	143
Permanent isolering af nordtrepel, øvrige flader i kanalplader	53	90	116	122	149

### Gardinanlæg

Gardiner i væksthuse har to funktioner. Den ene er afskærmning mod sol (høj lysintensitet), og den anden er energibesparelse om natten. Gardiner anvendes i alle potteplantegartnerier og i en del agurkegartnerier.

Energibesparelse ved brug af gardiner i væksthuse har været kendt længe, og virkningen af at bruge gardiner er målt i en del forsøg. Energibesparelsen afhænger af det materiale, som gardinerne er fremstillet af, og energibesparelsen opstår gennem påvirkning af tre faktorer:

1. Et glasvæksthuse har et energitab gennem konvektion, hvor luften i væksthuset afkøles af det kolde glas.
2. Et glasvæksthuse har et naturligt luftskifte, hvor varm luft siver ud og erstattes med kold luft.
3. Der sker energitab gennem langbølget varmestråling fra alle overflader i væksthuset.

I litteraturen er der stor variation i angivelsen af energibesparelsen ved brug af gardiner, og en af årsagerne skal findes i, at der ikke er taget hensyn til luftskiftet i væksthuset. Ældre væksthuse har ofte et højere naturligt luftskifte end moderne væksthuse, og luftskiftet reduceres yderligere, hvis der bruges kanalplader som dækkematerialer i stedet for glas.

Et gardin, som er tæt, dvs., at luften har svært ved at passere igennem materialet, reducerer energitabet ved konvektion. Samtidig er et tæt gardin med til at reducere luftskiftet i væksthuset. Strålingstab kan reduceres, hvis der bruges et gardin, som indeholder aluminium. Aluminium bruges, fordi det er billigt og kan fremstilles som en tynd folie, der limes på en plastfilm. Energibesparelsen er derfor afhængig af det gardinmateriale, som anvendes. Yderligere er energibesparelsen afhængig af, hvilken styringsstrategi der anvendes, og om der anvendes mere end ét lag gardiner.

### ***Gardinmaterialer og energibesparelse***

I litteraturen angives værdier fra 20 til over 40 % i energibesparelse ved anvendelse af gardiner. I nogle tilfælde angives endnu højere energibesparelser, fordi energibesparelsen kun er udregnet for den periode, hvor gardinerne er trukket for. Der er ingen energibesparelse, når gardinerne er trukket fra, hvad de er om dagen, men væksthuset vil fortsat kræve opvarmning. Energibesparelsen angives i nogle tilfælde på årsbasis og i andre tilfælde kun for vinterperioden.

Der findes ingen standard for måling af et gardinmateriales energibesparende effekt, og fabrikanter af gardinmaterialer angiver ikke, hvilken metode de har brugt til fastsættelse af energibesparelsesprocenten.

En realistisk værdi for ét lag gardin er en energibesparelse på mellem 20 til 30 %, lavest for transparente materialer og højest for gardiner helt i aluminium.

Der findes kun få oplysninger om størrelsen af energibesparelsen, når der installeres to lag gardiner i væksthuset. Energibesparelsen bliver større, men igen afhænger besparelsen af gardinmateriales egenskaber. Bruges tætte gardiner og vandret montering, fås en højere energibesparelse, fordi den stillestående luft mellem de to gardinlag øger isoleringen. Energibesparelsen stiger med 10 til 15 %, når der installeres et ekstra lag gardiner.

Et krav, uanset om der er installeret ét eller to lag gardiner for at få den maksimale energibesparelse, er at inddækningen, dvs. dér, hvor gardinet ligger an mod konstruktionen, er tæt. Det løses på forskellig vis bl.a. ved overlapninger og en såkaldt fodpose ved soklen.

Gardinmaterialerne slides og nedbrydes af UV lys, som der findes lidt af i et væksthus, selv i et glasvæksthus. Ved slitage opstår utætheder i gardinmaterialerne, og energiforbruget forøges. Levetiden for et gardinanlæg er erfaringsmæssigt mellem 5 og 7 år. Udskiftning af slidte gardinmaterialer mindsker energiforbruget, men et skift til et andet og mere isolerende materiale vil betyde en lille reduktion i energiforbruget.

### ***Andre gardintyper***

NIR gardiner er karakteriseret ved at kunne reflektere en del af solens nærinfrarøde stråling. Refleksionen opnås ved brug af nanoteknologi, og idéen er at reducere varmebelastning af væksthuset i perioder med høj indstråling. Undersøgelser på Københavns Universitet viser, at NIR gardiner, anvendt som isoleringsgardiner, ikke giver en større energibesparelse end gardiner fremstillet af samme materiale, blot uden NIR-egenskaber, og at deres funktionalitet ikke er tilfredsstillende (Rosenqvist pers medd.).

Mørklægningsgardiner bruges i forbindelse med kortdagsbehandling af planter for at inducere blomstring i perioder, hvor den naturlige dagslængde er længere end den kritiske dagslængde. Mørklægningsgardiner er lystætte gardiner. De har endvidere gode isolerende egenskaber og kan give en energibesparelse på ca. 30 %, bl.a. fordi de fremstilles med en overside bestående af aluminium.

Der sker kun en reduktion i energiforbruget, når gardinerne er trukket for, og energibesparelsen er målelig i perioder med højt energiforbrug (fra januar til og med april og fra september til og med december). Væksthuse kan klassificeres efter deres varmekonsum (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>), som afspejler væksthuses energitekniske tilstand. Jo højere et varmekonsum, des dårligere er den energitekniske tilstand. Typisk har ældre fritliggende væksthuse et meget højt varmekonsum, mens moderne blokvæksthuse har et mindre varmekonsum. I nedenstående Tabel 4.4 ses den procentvise energibesparelse ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum, afhængig af, hvor stor en ændring der efterfølgende sker i varmekonsummet. En realistisk forbedring af varmekonsummet ved installation af gardiner ligger mellem 2-2,5 og afhænger blandt andet af gardinmaterialet og monteringsmetoden.

Tabel 4.4. Procentvis energibesparelse i perioderne januar-april og september-december ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Varmeforbrugstal uden gardiner	Varmeforbrugstal med gardiner lukket mellem solnedgang og solopgang			
	4.5	5	5.5	6
6,5	18	13	9	4
7	21	17	13	8
7,5	23	19	16	12
8	26	22	18	15
8,5	27	24	21	17

Ud fra besparelserprocenterne kan reduktionen i CO<sub>2</sub> emissionen beregnes ud fra den anvendte energikilde for en given ændring i varmekonsummet.

Tabel 4.5. Reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionen i kg pr. kvadratmeter i perioderne januar-april og september-december ved ændring i varmekonsummet for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Ændring i varmekonsum (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie	Kul
0,5	3	5	7	7	9
1,0	6	11	14	15	18
1,5	10	16	21	22	27
2,0	13	21	28	29	36
2,5	16	27	35	37	44
3,0	19	32	42	44	53
3,5	22	38	48	51	62
4,0	25	43	55	58	71



### **Styring**

Energibesparelsen er afhængig af den styringsstrategi, der bruges, og energibesparelsen stiger med den tid, som gardinerne er trukket for. Normalt styres gardinerne efter lyset og trækkes for sidst på dagen og åbnes igen om morgenen. Energibesparelsen i litteraturen er i langt de fleste tilfælde angivet efter denne simple styringsstrategi.

Der kan opnås en yderligere energibesparelse ved at styre gardinerne efter en energibalancemodel eller fremløbstemperaturstyring. De to nævnte styringsstrategier giver en yderligere energibesparelse i størrelsesordenen 10-15 %, set i forhold til styring efter lys.

I mange agurkegartnerier bruges gardinerne kun om natten, hvis udendørstemperaturen er under 5 °C, hvilket selvsagt giver en mindre energibesparelse, end hvis gardinerne anvendes året rundt.

### **Økonomisk effekt**

Det er vanskeligt at sætte en økonomisk effekt på brugen af gardiner. Det skyldes, at gartneriernes varmeforbrugstal ikke er ens, og inden for et gartneri kan der være forskellige varmeforbrugstal for hvert væksthuse. Da varmeforbrugstallet afhænger af væksthuses alder, vedligeholdelsesstand og væksthustype, er det nødvendigt at inddrage denne viden for at kunne skønne den økonomiske effekt.

Et andet forhold, som vil spille ind, både på den økonomiske og miljømæssige effekt, er, hvilken energikilde, der anvendes i gartneriet. Anvendes kul, er opvarmningsprisen lav, mens miljøpåvirkningen er stor, fordi der dannes meget CO<sub>2</sub> pr. produceret energienhed. Bruges naturgas, er opvarmningsprisen højere, mens miljøpåvirkningen er mindre pga. mindre CO<sub>2</sub> emission (Tabel 4.5).

### **Klimaskærm**

Overkitning eller dæklister til sprosser reducerer det naturlige luftskifte i væksthuset, og giver en energibesparelse. Der er ikke udført kontrollerede forsøg med tætning af væksthuse, men energitabet ved ukontrolleret luftskifte kan udgøre mere end 10 % af det samlede energitab.

Udskiftning af enkeltlagsglas med f.eks. dobbelte kanalplader giver en energibesparelse på ca. 40 %, set i forhold til glasvæksthus med gardiner. Hvis der monteres gardiner i et kanalpladevæksthus, er virkningen af gardinet relativt mindre end i et glasvæksthus.

### **Bedre udnyttelse af fjernvarme**

1) Fjernvarme er, som ordet siger, transport af varme over lange afstande. For at opnå bedst mulig energiøkonomi i fjernvarme, skal afkølingen på forbrugsstedet være så stor som mulig. Det er beklageligt at pumpe store mængder varmt vand rundt, hvis afkølingen samtidig er meget lille. Her

skal der ses på energiomkostningen til transport af energi i forhold til den forbrugte energimængde hos aftageren.

I gartnerier, tilsluttet fjernvarme, er varmefladen i væksthuse forøget for at kunne maksimere nedkølingen. En yderligere nedkøling kan ske ved brug af kaloriferer eller anblæste varmeflader.

Kaloriferer er kendte systemer, men har aldrig fundet anvendelse i gartnerierne. Anblæste varme-flader er ligeledes kendt teknologi, men de typer, som findes, er ikke egnede til brug i væksthuse.

2) Energiekstraktion fra væksthuse om sommeren muliggør, under forudsætning af høj virkningsgrad, energiforsyning til fjernvarmenettet. Det kræver, at den ekstraherede energi via en varmepumpe kan bringe vandtemperaturen op på 80 °C, før det kan pumpes ud i fjernvarmenettet. Her kan det erstatte varmt vand fra varmecentraler/kraftværksblokke, som om sommeren mest bruges til opvarmning af brugsvand.

En standard varmepumpe har typisk en udgangstemperatur på 60 °C. I varmepumper, hvor køle-midlet er baseret på CO<sub>2</sub>, kan udgangstemperaturen bringes på 80 °C.

#### **Varmeekstraktion til luft**

Lufts varmekapacitet er ca. 1 kJ kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, og vands 4 kJ kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. Rumfangsmæssigt forholder det sig anderledes, idet 1 m<sup>3</sup> luft vejer ca. 1,2 kg, og energimængden, ved samme temperatur, giver volumenmæssigt mellem vand og luft et forhold på ca. 1:4000. Der skal en meget stor luftmængde igennem en luft-til-vand-varmeveksler for at kunne ekstrahere energien i den varme luft fra væksthuset. Dimensioneringsgrundlaget for det mekaniske ventilationsanlæg i det hollandske lukkede væksthuse er 10.000 m<sup>3</sup>/time pr. 1000 m<sup>2</sup>. Det svarer til et tvunget luftskifte på 2,5 gange i timen. Til sammenligning ligger det på samme niveau, som Arbejdstilsynets anbefalinger for et undervisningslokale, men et væksthuse på 2000-3000 m<sup>2</sup> er meget forskelligt fra et undervisningslokale på 60 m<sup>2</sup>.

Luftfugtigheden i et væksthuse er bestemt af transpirationshastigheden fra planterne, kondenseringen på kolde glasflader og størrelsen af naturlig ventilation. Vands fordampningsvarme er 2500 kJ/kg. En del af den energi, som luften indeholder i form af vanddamp, udtrækkes, når luften passerer igennem varmeveksleren. Vanddampsmængden, som kondenseres, vil afhænge af temperaturændringen over varmeveksleren, da der kun vil ske kondensering, så længe vekslerstemperaturen er lig med eller lavere end dugpunktstemperaturen. Mængden af vanddamp får derfor meget stor betydning for den såkaldte COP (virkningsgrad) på systemet.

### **Optimal klimastyring (klimacomputer, sensorer, måleudstyr)**

Dynamisk klimastyring baserer sig på en sænkning af varmesætpunktet og en hævnning af ventilations-sætpunktet, kombineret med lysafhængigt ventilationstillæg og evt. en lysafhængig CO<sub>2</sub> koncentration. Optimal klimastyring betegnes almindeligvis ved optimering af produktionen i væksthuset med hensyn til udbytte, kvalitet og økonomi.

Alle klimacomputersystemer har faciliteter i softwaren til dynamisk klimastyring og de nødvendige sensorer. I et par af klimacomputersystemerne er det muligt yderligere at lægge modeller ”på toppen” af softwaren, men dette er ikke en garanti for yderligere energibesparelse. Der udbydes ikke kommercielle softwarepakker til energibesparende klimaregulering, men klimacomputerfirmaerne tilbyder at tilrette programmer til at opfylde specielle krav.

Alt andet lige, vil en sænkning af varmesætpunktet give en energibesparelse, fordi den temperaturforskel, som skal opretholdes mellem inde og ude, bliver mindre. Teoretisk set kan en energibesparelse på 25-30 % på årsbasis opnås, hvis varmesætpunktet sænkes fra 20 til 16 °C, men konsekvensen af en temperatursænkning på plantevæksten kan have store indflydelse på produktionstiden.

Et forhold, som har afgørende betydning for klimastyringen, er sensorernes kvalitet og kalibrering. Manglende kalibrering af for eksempel luftfugtighedssensorer kan medføre en fejlagtig fugtstyring, eller CO<sub>2</sub> fejl kan betyde et betydeligt merforbrug på CO<sub>2</sub>.

### **Ny energiteknologi med potentiale**

De nedenstående teknologier er teknologier, som ikke bruges i gartnerierne i dag, men som har et stort potentiale. Kendetegnet ved nedenstående teknologier er, at de er kendte, men ikke anvendt i væksthuse pga. manglende viden og resultater omkring deres anvendelse. Derfor er det ikke muligt at fastsætte et potentiale for deres reduktion af væksthushusproduktionens miljøbelastning.

#### ***LED belysning***

Inden for belysning bruges i større og større omfang lysdioder (LED). Det skyldes, at udviklingen inden for lysdioder har bevirket, at de er blevet mere og mere energieffektive, og de ligger i energieffektivitet tæt på højtryksnatriumlamper, hvor mere end 30 % af den tilførte energi bliver omsat til synligt lys.

En enkelt dansk virksomhed har udviklet et LED belysningssystem, som kan erstatte højtryksnatriumlamper. Systemet er under fortsat udvikling, og der findes en version, der er installeret i gartnerier. Denne version er valideret ved forsøg på Aarhus Universitet (Ottosen in prep), hvor energibesparelsen er omkring 40 % samlet efter korrektion for merforbrug af varme. Der findes en række finske og hollandske lamper, og i løbet af 2013-14 forventer DTU at kunne vurdere for energieffektivitet i forbindelse med et dynamisk kunstlysstyringsprojekt.

Der findes desuden en prototype til mere dynamisk kunstlysstyring, der i forsøg kan give mellem 15 og 30 % energibesparelse, og som ved test i kommercielt gartneri kan give op til 20 %. Næste generation af software til styring er mere dynamisk og med en kobling til elnettet (smartgrid), så gartnerierne kan fungere som fleksibel energibuffer på nettet.

Forsøg med LED og dynamisk kunstlys vil bane vejen for kommercielle produkter i 2013/2014.

### **Varmepumpe til opvarmning**

Der kan ligge en god mulighed for gartnerierne i at gå fra fossilt brændsel til opvarmning vha. varmepumpe. Det skyldes to årsager. For det første stiger den vindbaserede el-produktion, hvilket gør det relevant at se på el til opvarmning. For det andet er der udviklet varmepumper med højere afgangstemperatur på op til 80 °C mod hidtil ca. 60 °C, hvilket gør dem anvendelige til opvarmning af væksthuse. Varmepumpen vil kunne tilsluttes direkte til det eksisterende varmesystem.

Investering i et varmepumpeanlæg til opvarmning af væksthuse vil ligge i størrelsesordenen 800-1200 kr. pr. kvadratmeter væksthuse. Det er næppe realistisk at basere hele gartneriets opvarmning på varmepumper, men der er altid et minimumsforbrug af energi til opvarmning af væksthusearealet, som kan dækkes vha. en varmepumpe. Det vil nedbringe investeringsbehovet, samtidig med at det vil kunne reducere energiforbruget til ca. en tredjedel (dog afhængig af virkningsgraden på varmepumpen) af den del af varmebehovet, som varmepumpen dækker.

Anvendelse af varmepumper i gartnerierne kan have energimæssige sidegevinster. En varmepumpe har en "kold side", som kan bruges til køling. Varmepumpen kan helt eller delvist erstatte kølekompressorer til kølerum eller til røggaskøling fra kedler eller gasmotorer, hvor sidstnævnte vil være medvirkende til en forøgelse af varmepumpens effektfaktor og forøgelse af varmeanlæggets virkningsgrad.

### ***Mekanisk ventilation til luftfugtighedsstyring***

Luftfugtighedsstyring i væksthuse sker i dag uden varmegenindvinding, fordi luftfugtighedsstyring sker ved at åbne ventilationsvinduer og samtidig tilføre varme til væksthuset. Det skønnes at mellem 15 og 20 % af det samlede energiforbrug i et gartneri anvendes til luftfugtighedsstyring.

Ved at gå væk fra brug af naturlig ventilation til affugtning og erstatte det med mekanisk ventilation er det muligt at foretage varmegenindvinding. Ved at bruge en krydsvarmeveksler, vil luften, som blæses ind ude fra, blive opvarmet af luften, som blæses ud fra væksthuset.

Investering i et mekanisk ventilationssystem til affugtning vil ligge i størrelsesordenen 300-500 kr. pr. kvadratmeter væksthuse.

Der findes andre typer af affugtere, der fjerner vandet fra luften, og hvor den latente fordampningsvarme kan genvindes. De har yderligere den fordel, at de filtrerer luften, og dermed kan nedbringe svampeproblemer mv.

Det må forventes, at forskellige kombinationer af metoder til reduktion af energiforbrug til affugning vil kunne bidrage til en væsentlig energibesparelse. Der mangler dog et overblik over de forskellige produkter og styringsstrategiers effektivitet.

## **Vandreduktion i gartnerisektoren**

### **Vandingsindikator**

Vanding på friland finder ofte sted på baggrund af en visuel vurdering af jorden samt en vis skelen til vejrudsigten. Dette er imidlertid ofte ikke tilstrækkeligt for at opnå størst mulig udnyttelse af indsatsfaktorer (jordareal, gødning, arbejde, osv.). En øget styring af vandtilførslen kan opnås ved at beregne vandingsunderskud på baggrund af klimadata (nedbør og fordampning), jordens vandholdende evne og afgrødens forbrug af vand, der bl.a. afhænger af udviklingsstadiet.

Alternativt kan vandtilførslen styres på baggrund af målinger af jordens vandindhold. Hertil kræves sensorer (tensiometre, TDR, watermarks og lignende), som, ud over at registrere jordens indhold af plantetilgængeligt vand i hele afgrødens roddybde, skal transmittere disse målinger til en beslutningsstøtteenhed, så der opnås viden om vandingsbehov.

### **Vandbassin**

Ved vanding af afgrøder skal der anvendes vand af drikkevandskvalitet. Vandindvinding til vanding af afgrøder foregår derfor i konkurrence med behovet for vand til husholdninger og til sikring af en rimelig vandføring i vore vandløb. I visse områder er der således begrænsninger for hvor meget vand, der må indvindes til vanding, og her er det relevant at opsamle regnvand eller overskudsvand i bassiner.

Etablering af et vandbassin vil især være relevant i væksthushusproduktion, hvor bassinet skal dimensioneres til mindst 25 % af bedriftens årlige vandforbrug, men kan også anvendes i produktion af frilandsafgrøder. Investeringen omhandler ud over selve bassinet også pumper og ledningsføring.

### **Drypvanding og vandingsbom**

Vanding på friland finder ofte sted med anvendelse af vandingskanon. Her finder der imidlertid et stor tab sted, idet en stor del af vandet fordamper, inden det når planterne eller jorden. Drypvanding giver potentielt en bedre udnyttelse af vand og også næringsstoffer. Der kan opnås vandbespa-

relser på 50-70 % i forhold til udbringning med vandingskanon (Reuter, 1998). Ved anvendelse af vandingsbom opnås en vandbesparelse på 20-30 % i forhold til vandingskanon.

Samtidige investeringer i sensorer og beslutningsstøtte for vanding, der kan indikere, om der rent faktisk er et behov for at vande, kan dels medføre endnu større vandingsbesparelser og dels øge udbyttet per forbrugt ressourceenhed og give mulighed for en mere præcis vækststyring. Danske forsøg i kartofler har vist et potentielt merudbytte ved gødevanding, men også at teknologien til udlægning og indsamling af slanger ikke er helt udviklet endnu (Bødker & Heiselberg, 2011).

En forudsætning for at en større del af produktionen af grønsager, bær og buskfrugt kan dyrkes i tunneller og på friland er, at det er muligt at håndtere dryp- og gødevandingsudstyr i praksis uden ekstra tidsforbrug. Det forventes, at dyrkningen af en række grønsager og træfrugt i den nærmeste fremtid også vil foregå under en eller anden form for klimaskærm. Dyrkning med gødevanding har en række fordele uanset afgrøde- og dyrkningssystem.

Nye teknologier til gødevanding i tunnel og på friland kan sikre, at der ikke sker tilstopning af dryp og slanger samtidig med, at der opnås den ønskede sammensætning på drypstedet. På friland er der et behov for udvikling af teknik til såvel udlægning som opsamling af drypslanger, der forhindrer beskadigelse ved jordbehandling.

## **Næringsstoffreduktion i gartnerisektoren**

### **Styring af gødning**

Ved dyrkning af grønsager og andre højværdi-afgrøder er det altid nødvendigt at sørge for, at planterne er optimalt forsynet med næringsstoffer på ethvert tidspunkt. Er planter underforsynede opnås et reduceret udbytte. Er der et overskud af kvælstof, opnås en forringet kvalitet samtidig med, at der er risiko for tab af gødning ved udvaskning. I beslutningsprocessen om det er nødvendigt at eftergødske, og i bekræftende fald hvor meget, er der derfor behov for et mål for hvor meget plante-tilgængeligt kvælstof (N-min), der er i jorden i afgrødens roddybde.

Jordprøver kan udtages og sendes til et laboratorium for at blive analyseret, hvorefter man får svaret i løbet af en uges tid. Ofte er det dog ønskeligt at kende svaret væsentligt hurtigere, og gerne lige efter at jordprøverne er udtaget. Her er det muligt at anvende hurtigmetoder til at vurdere jordens indhold af kvælstof.

På markedet findes der en del forskellige hurtigmetoder, som principielt kan inddeles i to hovedgrupper: Farvereaktion og ion-selektive elektroder. Ved tilsætning af et reagens udvikles en farve,

hvis intensitet afspejler koncentrationen af nitrat. Eksempler herpå er nitrat-strips og kolorimetre. Ved hjælp af en farvelæser kan koncentrationen af nitrat aflæses på et display. Ved ion-selektive elektroder måles ledningsevnen, og resultatet aflæses ligeledes på et display.

## **Pesticidreduktion i gartnerisektoren**

### **Rækkedyrkningsystemer**

Systemer til ukrudtsbekæmpelse i rækkedyrkede afgrøder kan bestå af en radrenser eventuelt i kombination med en båndsprøjte. Systemet kan primært anvendes i afgrøder, der dyrkes på stor rækkeafstand som roer, majs samt en række specialafgrøder. Systemet er også relevant i afgrøder, der normalt etableres bredsæet, men som kan dyrkes på større rækkeafstand uden, at det påvirker udbyttet. Det vigtigste eksempel er vinterraps, hvor det i en periode, hvor udvalget af herbicider var meget begrænset, var ret udbredt at dyrke på 50 cm rækkeafstand og foretage radrensning evt. i kombination med båndsprøjtning. Der er ikke specielle krav til såudstyret. Ved at kombinere med styresystemer i form af GPS styring af såning, radrensning og båndsprøjtning, eller ved at anvende optiske styresystemer, kan båndbredden reduceres og anvendelsen af herbicider minimeres i systemet. Båndsprøjtning kan foretages med uafskærmede sprøjter eller med sprøjter, hvor dyserne er afskærmet. Afskærmning af dysen ved båndsprøjtning sikrer en mere korrekt sprøjtning og reducerer afdriftsrisikoen væsentligt.

I kartofler kan mekaniske løsninger udgøre en del eller hele ukrudtsbekæmpelsen i form af gentagen hypning, nedtagning af kammene og genopbygning af kammene.

Radrensning, herunder i kombination med båndsprøjtning, har tidligere været udbredt i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i roer. Primært, af kapacitetsmæssige årsager, blev teknikken afløst af bredsprøjtning. Inden for de senere år har systemet også kortvarigt været anvendt i vinterraps som ovenfor beskrevet. Teknologien med GPS styring af alle arbejdsprocesser er til rådighed, ligesom optiske styresystemer er til rådighed, men de udbydes ikke i Europa.

Det skønnes, at ovenstående systemer kan reducere herbicidanvendelsen med over 60 % i de pågældende afgrøder.

### **Båndsprøjtning**

Båndsprøjtning kan anvendes ved plantebeskyttelse med fungicider og insekticider i rækkedyrkede afgrøder som jordbær. Ved at anvende båndsprøjtning, hvor der anvendes en båndbredde, der svarer til kulturens båndbredde, reduceres pesticidanvendelsen i forhold til bredsprøjtning af kulturen. Reduktionen vil afhænge af hvilket dyrkningssystem, der anvendes. Der anvendes båndsprøj-

ter med typisk flere dyser pr. række. Dyserne kan være monteret indvendigt i en skærm, så sprøjtningen foretages afskærmet med en reduceret afdriftsrisiko.

Båndsprøjtningssystemer til jordbær, herunder afskærmede udgaver, har en vis udbredelse i jordbær. Det skyldes, at der en kortvarig periode var et hyppigt anvendt fungicid på markedet, som kun måtte anvendes, hvis udbringningen blev foretaget med afskærmet udstyr, der kunne sikre en minimal afdriftsrisiko.

Det vurderes, at båndsprøjtningsteknologien kan reducere fungicidforbruget med 20-40 %.

### **Sprøjteteknologi i frugt og bær**

Ved sprøjtning med fungicider og insekticider i frugt- og bærkulturer anvendes tågesprøjter. Sprøjttevæsken udsprøjtes horisontalt fra sprøjten samt opad for at kunne dække hele kulturhøjden. Sprøjteteknologien forudsætter således, at der sprøjtes mod en "kulturvæg" med konstant højde. I unge kulturer vil der være huller i denne væg, og specielt i unge kirsebærplantager vil kun en mindre del af sprøjttevæsken blive opfanget af kulturen. Ved tidlige sprøjtninger før udspring vil en stor del af sprøjttevæsken ligeledes gå tabt. I etablerede plantager vil der være huller i plantebestanden, og kulturhøjden vil variere. Når det tilstræbes at dække i maksimal kulturhøjde, vil dette også medføre et tab. Selv i veletablerede kulturer vil der generelt være en vis hulprocent igennem hele sæsonen. Der er udviklet to teknologier med henblik på at reducere disse tab, samt reducere afdriften ved tågesprøjtning:

#### **1. Tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjttevæske**

Som navnet antyder, er disse sprøjter udformet som en tunnel, hvori dyserne er monteret. Sprøjterne kan anvendes i de nye dyrkningssystemer af frugt, hvor kulturhøjden er begrænset til nogle få meter. Under kørsel passerer kulturen igennem tunnelen, og sprøjttevæske, der ikke rammer kulturen, opfanges af den modstående tunnelside. Sprøjttevæsken filtreres og genanvendes, og både pesticidforbruget og afdriften reduceres.

#### **2. Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter**

Sensorafblænding er en teknologi, der anvendes på almindelige tågesprøjter. En række sensorer, svarende til antallet af dyser, er monteret på sprøjten foran dyserne og registrerer huller i plantebestanden. Hvor der er registreret et hul i plantebestanden, der svarer til den bredde dysen dækker, lukkes for den tilsvarende dyse i det tidsinterval, der svarer til længden af hullet i plantebestanden.

Teknologierne, med tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjttevæske og sensorafblænding af dyser på tågesprøjter, er kommercialiseret og har en begrænset anvendelse i Europa. I Danmark menes der pt. at være to tunnelsprøjter og én tågesprøjte med sensorafblænding.



Det skønnes, at tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske og sensorafblending af dyser på tagesprøjter kan reducere fungicid og insekticidanvendelsen i frugt- og bærkulturer med ca. 20 %.

### **Sensorbaseret ukrudtssprøjte**

Ved total bekæmpelse af ukrudt kan der anvendes en relativt simpel sensorteknologi, der registrerer grøn biomasse. Teknologien er specielt anvendelig ved total ukrudtsbekæmpelse, hvor al plantevækst er uønsket. Teknologien kan være relevant ved total ukrudtsbekæmpelse af ukrudt før afgrødens fremspiring. Under afgrøderækken i kulturer af frugt og bær foretages ligeledes total ukrudtsbekæmpelse og typisk flere gange i sæsonen. Her er teknologien ligeledes relevant og vil kunne spare en væsentlig del af herbicidanvendelsen. Disse sprøjtninger foretages med smalt specialudstyr, der kræver få sensorer pr. sprøjteenhed. Teknologien er kommercielt til rådighed og markedsføres i Danmark.

Det skønnes, at teknologien vil kunne reducere herbicidanvendelsen med op til 80 %.

For en beskrivelse af de enkelte sensorsystemer, se under indsatsområde 2.

### **Lugerobot til udplantede grøntsager**

Der er udviklet lugerobotter til ukrudtsbekæmpelse både mellem og i rækkerne i udplantede grøntsager som kål, salat, selleri, løg, porre m.m. Redskaberne er udstyret med kameraer, der kan genkende afgrødeplanter, og derved få de mekaniske lugeaggregater til at undvige afgrødeplanterne. Med lugeroboterne vil der være potentiale for en fuldstændig ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i udplantede grøntsager med et kun begrænset behov for opfølgende håndlugning - sandsynligvis intet behov i mange tilfælde. Der mangler dog dokumentation for dette. Vores vurdering er, at lugeroboterne i deres nuværende udformning og funktion vil kunne fjerne mellem 60-80 % af ukrudtet i rækken, alt afhængig af afstanden mellem planterne i rækken og størrelsen på zonen omkring planten, hvor der ikke luges for at undgå afgrødeskader. Anvendelse af lugerobotter er mest oplagt i den økologiske produktion, men i flere konventionelt dyrkede havebrugsafgrøder er mulighederne for kemisk ukrudtsbekæmpelse så begrænsede, at teknologien også er interessant.

Det findes pt. to kommercielt tilgængelige systemer i Danmark, og det menes, at der er solgt en, måske nogle få, lugerobotter på det danske marked.

Teknologien fjerner behovet for herbicider, dvs. 100 % reduktion, men der må forventes en vis supplerende manuel indsats.

### **Rækkedampning i kombination med radrensning**

Rækkedampningsudstyr bruges til bekæmpelse af ukrudt i rækken forud for udsæede grøntsagskulturer og andre højtstående afgrøder, sået på rækker. Ved rækkedampning steriliseres jorden i det

bånd, hvor kulturen efterfølgende udsås. En vel gennemført rækkedampning kan reducere behovet for efterfølgende bekæmpelse af ukrudt til nærmest nul. I praksis kan man påregne en bekæmpelseseffekt på 80-90 %. Ukrudtseffekten holder det meste af sæsonen, og dampningen bekæmper også andre skadevoldere såsom jordpatogener. Såfremt rækkedampning og såning foretages i to arbejds gange, kan autostyring anvendes for at begrænse båndbredden. Rækkedampning kombineres med radrensning. Anvendelse af rækkedampningssystemet er mest oplagt i økologisk produktion, men i flere konventionelt dyrkede afgrøder er mulighederne for kemisk ukrudtsbekæmpelse nu så begrænsede, at teknologien også er interessant.

Et eksempel på pris og kapacitet er en 9 rækkers maskine fra Yding Smedie. Maskinen behandler 3 bede med hver 3 rækker og er udstyret med en 900 liters kedel: 650.000 DKK, kapacitet 0,05 -0,1 ha pr. time, hertil skal lægges tid til optankning, vendinger og stop. Vandforbrug 9000 liter/ha og olieforbrug på 600 – 1000 liter/ha. Der er en (få) enhed(er) i drift i Danmark.

Teknologien erstatter indsatsen med herbicider, dvs. 100 % reduktion af herbicidanvendelsen i kombination med en supplerende manuel indsats.

#### **Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige ved-agtige rækkeafgrøder**

Der findes flere modeller af sideforskudte traktordrevne fræsere til mekanisk renhold i træerækker. Metoden bliver brugt af økologiske avlere, men har en nyhedsværdi for konventionelle avlere.

Disse behandlinger kan totalt afløse brug af herbicider i konventionelle flerårige ved-agtige rækkeafgrøder. Normalt behandles der 2-3 gange med herbicider om året.

#### **Klimastation og software til varsling af æbleskurv og æblevikler**

Ved brug af klimastationer til registrering af lokale klimaforhold: lufttemperatur, blad- og luftfugtighed i plantemassen, samt nedbør kan der via kombination med udviklet software foretages en optimal timing af fungicidbehandlinger mod æbleskurv og insekticidbehandlinger mod æblevikler. Dette beslutningsstøttesystem vil kræve et kursus med opfølgninger for, at brugerne kan udnytte systemet optimalt.

Afhængig af de aktuelle årlige klimaforhold forventes det at kunne nedbringe de aktuelle behandlinger mod æbleskurv med op til 50 % (fra 20 til 10) og behandlinger mod æblevikler ligeledes med 50 % (fra 2 til 1).

#### **Varmtvandsbehandling til forebyggelse af lagerråd af æbler**

Dypning af æbler i varmt vand ved 50-52°C i 3 min. efter høst kan reducere udvikling af frugtråd på frugtlageret med 80-90 %, når det gælder svampesygdommene: *Gloeosporium*, *Monilia* og frugttræskræft. Der forefindes udstyr til dypning til ca. 500.000 kr.

Der forventes, at 2-4 forebyggende fungicidsprøjtninger udført i marken kan undlades, hvis metoden med dypning af frugt i varmt vand bruges.



## **Indsatsområde 5: Etablering af miljøvenlige produktionsanlæg til dyrehold med henblik på reduceret lugt, emission, vandforbrug eller næringsstoffer**

Efter aftale med NaturErhvervstyrelsen henvises for dette indsatsområde til gennemgangen af teknologier under Indsatsområderne 1 og 3.



## Referencer

Aaes, O., J.M. Andersen, N. Gyldenkerne, A.G. Hansen, B.H. Jacobsen, H. Kjær, P. Pedersen & H.D. Poulsen. 2008. Evaluering af det generelle ammoniakkrav. Miljøstyrelsen.

AgroTech. 2012. Testrapport, Harsø tankforsuring. Intern rapport, AgroTech, Agro Food Park 15, 8200 Århus N.

Andersen, J. 2004. Statistisk analyse af GfK-data. Notat fra Dansk Landbrug.

Budgetkalkulerne 2010/2011:  
[https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Filer/Budgetkalkuler\\_2010-2011\\_okt\\_2010.pdf](https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Filer/Budgetkalkuler_2010-2011_okt_2010.pdf)

Bødker, L. & C.D. Heiselberg. 2011. Demonstration af drypvanding i kartofler. Rapport. Videncentret for Landbrug – Planteproduktion. 4 pp.

Chadwick, D. 1997. Nitrous oxide and ammonia emissions from grassland following application of slurry: Potential abatement practices. In: Gaseous nitrogen emissions from grasslands. Eds. Jarvis S.C. Pain B.F. 257-264.

Christensen, S., H.T. Søgaard, P. Kudsk, M. Nørremark, I. Lund, E.S. Nadimi & R. Jørgensen. 2009. Site-specific weed control technologies. Weed Research 49, 233-241.

Energistyrelsen. 2013. Tabeller med beregningsforudsætningerne.

Farmtal online: <https://farmtalonline.dlbr.dk/Grid/uiGrid.aspx?Farmtal=17144&ViewType=View> (01.07.2013)

Gerhards, R. & S. Christensen. 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Research 43, 385-392.

Green, O., R.N. Jørgensen & K.M. Kristensen. 2010. Udbyttepåvirkning af kørsel på kløvergræs i foråret, Grøn Viden, Markbrug nr. 336, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, AU, Blichers Allé 20, 8830 Tjele.

Hanna, H.M., D.S. Bundy, J.C. Lorimor, S.K. Mickelson, S.W. Melvin & D.C. Erbach. 2000. Manure incorporation equipment effects on odor, residue cover, and crop yield. Applied Engineering in Agriculture, 16(6): 621-627.

Hansen, M.N. 2008. Nedfældning af gylle i vintersæd – en evalueringsrapport. Rapport udarbejdet af Agro-Tech for Miljøstyrelsen.

Hansen M.N., S.G. Sommer & N.P. Madsen. 2003. Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: Injection efficiency and additional energy demand. Journal of Environmental Quality 32: 1099-1104.

Hansen, M.N., S. G. Sommer, N. J. Hutchings & P. Sørensen. 2008. Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, DJF rapport Husdyrbrug Nr. 84, 43 pp.

- Hansen, M.J., T. Nyord, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund & L. Andersen. 2012. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA Rapport Nr. 12, Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.
- Hilhorst, M.A., R.W. Mele, H.C. Willers, C.M Groenestein & G.J. Monteny. 2001. Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. ASAE, Paper no 01-4070, pp 1-8.
- Høy, J. 2009. Afprøvning af ny nedfælder til vintersæd. Landbrugsinfo, artikel nr. 49.
- Jensen, T.L. & M.J. Hansen. 2006. Slagtesvinestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S. Meddelelse nr. 737. Landsudvalget for svin, Den rullende Afprøvning.
- Jensen, T.L., B.L. Riis & A. Feilberg. 2005. Reduktion af lugt og ammoniak med Oldenburg Biofilter, Agrofilter GmbH. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.
- Juhler, S., N.P. Revsbech, A. Schramm, M. Herrmann, L.D.M. Ottosen & L.P. Nielsen. 2009. Distribution and rate of microbial processes in an ammonia-loaded air filter biofilm. Applied and Environmental Microbiology, 75, 3705-3713.
- Jørgensen, R.N., Green, O., Kristensen, K.M., Gislum, R. & Sørensen, C.G. 2009. Estimating impact on clover-grass yield caused by traffic intensities. Precision Livestock Farming '09 pp. 143-147.
- Kai, P., J.S. Strøm & B.-E. Jensen. 2007. Delrensning af ammoniak i staldluft. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 47.
- Kai, P., P. Pedersen, J.E. Jensen, M.N. Hansen & S.G. Sommer. 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. European Journal of Agronomy, 28, 148–154.
- Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen, P. Lund, F.P. Vinther & C. Kjærgaard. 2010. Oversigt over og vurdering af miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, H.L. Pedersen, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen & P. Lund. 2011. Oversigt over miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- Landbrugsinfo. 2011. Økonomi ved slangeudlægning af forsuret gylle. Meddelelse nr. 408 om Produktionsøkonomi.
- Lyngbye, M. & M.J. Hansen. 2008. Slagtesvinestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S - filter-arealets betydning ved maksimumventilation. Meddelelse nr. 827. Dansk Svineproduktion, Den rullende Afprøvning.
- Lyngvig, H.S. 2012. Nye perspektiver for injektionsprøjter. Sammendrag af indlæg, Plantekongres 2012, 52-53 samt powerpoint præsentation på [www.plantekongres.dk](http://www.plantekongres.dk).
- Mikkelsen, S.A., S. Christensen, P.H. Schaarup, L. Vejrbæk, I. Ravn, N.H. Lundgaard, O. Aaes, M. Lyngbye, R. Damkjer, B. Jacobsen, M. Qwist, E. Sommer & F. Larsen. 2006. Udredningsrapport for teknologier – med særligt henblik på miljøeffektive teknologier til husdyrproduktionen. Miljøministeriet. <http://www.ft.dk/samling/20051/almdel/MPU/Bilag/427/286553.PDF>



- Miljøstyrelsen. 2009a. Luftvasker med syre. Miljøstyrelsens BAT-blade. 2. udgave 19.05.2009.
- Miljøstyrelsen. 2009b. Svovlsyrebehandling af gyllen i slagtesvinestalde. Miljøstyrelsens BAT-blade. 1. udgave, 19.05.2009.
- Miljøstyrelsen. 2009c. Svovlsyre behandling af kvæggylle. 2. Udgave. Miljøstyrelsens BAT-blade. 2. udgave, 19.05.2009.
- Miljøstyrelsen. 2009d. Køling af gyllen i svinestalde. Miljøstyrelsens BAT-blade. 1. udgave, 19.05.2009.
- Miljøstyrelsen. 2010a. Skrabere i gangarealer i stalde med malkekvæg. Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 30.06.2010.
- Miljøstyrelsen 2010b. Fast overdækning af gyllebeholdere. Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 11.11.2010.
- Miljøstyrelsen. 2011a. Biologisk luftrensning (slagtesvin). Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 23.05.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011b. Biologisk luftrensning (søer). Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011c. Biologisk luftrensning (smågrise). Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011d. Etagesystem ved ægproduktion. Teknologiblad. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 17.05.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011e. Notat vedr. tilpassede dokumentationskrav for optagelse af forureningsteknologier på Miljøstyrelsens Teknologiliste med henblik på at opnå sidestilling med nedfældning af husdyrgødning.
- Miljøstyrelsen (2011f): Generelle forudsætninger for de økonomiske beregninger i teknologiblade. Maj 2011.
- Miljøstyrelsen. 2013. Teknologilisten – Miljøeffektive og driftsikre landbrugsteknologier. Opdateret juni 2013.
- Moseley P.J., T.H. Misselbrook, B.F. Pain, R. Earl, and R.J. Godwin. 1998. The effect of injector tine design on odour and ammonia emissions following injection of bio-solids into arable cropping. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 385-394.
- NIRAS. 2009. Forudsætninger for de økonomiske beregninger af BAT teknologier. Revidering af økonomiske oplysninger i BAT blade. Miljøstyrelsen, maj 2009.
- Nyord, T., Dezhao, L., Eriksen, J., Adamsen, APS. 2013. Effect of acidification and soil injection of animal slurry on ammonia and odour emission. Proceeding of the 14<sup>th</sup> RAMIRAN International Conference in Versailles, France. [http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding\\_2013/homepage.html](http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding_2013/homepage.html)

- Nyord T. & M.N. Hansen. 2008. Soil injection of animal slurry to growing cereals – effects on odour emission, draught requirement and yield. *Bulgaria*, 147-152.
- Nyord, T., E.F. Kristensen, L.J. Munkholm & M.H. Jørgensen. 2010. Design of a slurry injector for use in a growing cereal crop. *Soil & Tillage Research*, 107, 26-35.
- Olesen, J.E., S. Gyldenkerne, S.O. Petersen, M.H. Mikkelsen, B.H. Jacobsen, L. Vesterdal, A.M.K. Jørgensen, B.T. Christensen, J. Abiltrup, T. Heidman & G. Rubæk. 2004. Jordbrug og klimaændringer – Samspil til Vandmiljøplaner. Danmarks JordbrugsForskning. Markbrug nr. 109.
- Pedersen, P. 1997. Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Meddelelse nr. 357. Landsudvalget for svin, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2004. Svovlsyrebehandling af gylle i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 683. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2005. Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2007. Tilsætning af brintoverilte til forsuret gylle i slagtesvinestalde med drænet gulv. Meddelelse nr. 792. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. [http://www.danishpigproduction.net/Publikationer/Kilder/lu\\_medd/2007/792.aspx?full=1](http://www.danishpigproduction.net/Publikationer/Kilder/lu_medd/2007/792.aspx?full=1)
- Pedersen, P., K. Albrechtsen. 2012. JH Forsuringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 932. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. [http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu\\_medd/2012/932.aspx](http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2012/932.aspx)
- Pedersen, P., T.L. Jensen & M. Jørgensen. 2010. Forskellige gulvtyper med og uden gulvudsugning til slagtesvin i en vinterperiode, Meddelelse nr. 878. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. [http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu\\_medd/2010/878.aspx](http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2010/878.aspx)
- Pedersen, P. & T.L. Jensen. 2010. Forskellige gulvtyper med og uden gulvudsugning til slagtesvin i en sommerperiode, Meddelelse nr. 883. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning. [http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu\\_medd/2010/883.aspx](http://vsp.lf.dk/Publikationer/Kilder/lu_medd/2010/883.aspx)
- Pedersen, H. H. & C. H. Laursen, 2001. Marksprøjter med injektionssystem og GPS. Farmtest Plan-teavl nr. 2, 2001. Landbrugets Rådgivningscenter.
- Pedersen, S. & P. Sandbøl. 2002. Ammonia Emission and Nitrogen Balances in Mink Houses. *Bio-systems Engineering*, 82, 469-477.
- Petersen, S.O., A.J. Andersen & J. Eriksen. (2012). Effects of slurry acidification on ammonia and methane emission during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41, 88-94.
- Petersen, S.O. & J.E. Olesen. 2011. Miljømål for landbruget kan realiseres. *Ingeniøren*, kronik. 12. august.
- Poulsen, H.D., C.F. Børsting, H.B. Rom & S.G. Sommer. 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. Danmarks JordbrugsForskning, DJF rapport Husdyrbrug Nr. 36.

Poulsen, H.D. 2012. Normtal for husdyrgødning – 2012. Aarhus Universitet. [http://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/Normtal\\_2012\\_august\\_ny\\_2012.pdf](http://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/Normtal_2012_august_ny_2012.pdf)

Reuter, C. 1998. Water saving irrigation systems. *Gemüse* 34, 21-24.

Riis, A.L. 2008. Ammoniakreduktion og driftsomkostninger ved Bovema S-air ét-trins luftrensere i en smågrisestald. Meddelelse nr. 820, Danske Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L., M. Lyngbye & A. Feilberg 2008. Afprøvning af vertikalt biofilter efter amerikansk princip. Meddelelse nr. 819, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2009. Central luftrensere fra ScanAirClean A/S afprøvet i en kombineret smågrise- og poltestald. Meddelelse nr. 842, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2010a. Biofilter kombineret med Farm AirClean BIO modul fra SKOV a/s. Erfaring nr. 1001, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2010b. Biologisk luftrensere fra Veng-system. Erfaring nr. 1008, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

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.

Riis, A.L. & T.L. Jensen. 2007. BIO-REX Hartmann Bio-Filter afprøvet ved en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Rodhe L., M. Peel & S. Yamulki. 2006. Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. *Soil Use and Management*, 22, 229-237.

Seidel, A.P., Pacholski, A., Nyord, T. & Kage, H. 2013. Reduction of ammonia emissions by acidification of cattle slurry applied to grassland. Proceeding of the 14<sup>th</sup> RAMIRAN International Conference in Versailles, France. [http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding\\_2013/homepage.html](http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding_2013/homepage.html)

Skov- & Naturstyrelsen. 2004. Vejledning om pelsdyrfarme. Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen, 25. marts 2004.

Skov- & Naturstyrelsen. 2006. Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug. Miljøministeriet, Skov- & Naturstyrelsen, 66 pp.

Sommer S.G., S.O. Petersen & H.B. Møller. 2003. Algorithms for calculating greenhouse gas emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, 143-154.

Sørensen, K. & A.L. Riis. 2008. Ammoniak- og lugtreduktion i en biologisk luftrensere fra Skiold A/S. Erfaring nr. 0807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Sørensen, K. 2011. Afprøvning af biologisk luftrensere fra Dorset Milieutechniek B.V. Meddelelse nr. 925, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Thomsen I.K., A.R. Pedersen, T. Nyord & S.O. Petersen. 2010. Effects of slurry pre-treatment and application technique on short-term N<sub>2</sub>O emissions as determined by a new non-linear approach. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 136, 227-236.

VERA. 2013. Reduction of ammonia emissions in mink houses by removal of slurry every day. VERA Verification Statement no 002. The International VERA Secretariat, Charlottenlund, Denmark.

Wulf, S., M. Maeting & J. Clemens. 2002. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: I Ammonia volatilization. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1789-1794.

## Bilag 1. Skematisk oversigt

Reduktion af lugt og ammoniak	Kategori	Stald, lager, udbringning	Tilsigtet effekt	Teknologi	Effekt, relativ størrelse (pct.)	Effekt, absolutte størrelser pr. enhed (kg N pr. DE fra stald, lager & udbringning) eller kg N pr. ha.	Ca. indkøbspris kr.	Nyhedsværdi, udbredelse i DK	Status på teknologi	Etableringsomkostning pr. DE	Omkostning pr. kg sparet N	Andet, herunder problemer ved teknologien
	Svin	Stald	Ammoniak	Luftrensning, syrevasker, decentral	Ammoniakreduktion typisk mere end 90 % ved rensning af al ventilationsluft.	Slagtesvin (drænet gulv): 11,4 kg N/DE v/100% luftrens; 10,2 kg N/DE v/60% luftrens; 7,0 kg N/DE v/20% luftrens.	Slagtesvin: 312 kkr. ved 75 DE til 3,8 mio. kr. ved 950 DE v/100% luftrensning	ca. 35 anlæg	Optaget på MST teknologiliste. MST Teknologiblad foreligger.	ca. 4331-4501 kr./DE v/100% luftrens; ca. 2654-4155 kr./DE v/60% luftrens; ca. 853-2887 kr./DE v/20% luftrens	61-78 kr. v/100% luftrens; 49-85 kr. v/60% luftrens; 24-94 kr. v/20% luftrens.	Kræver løbende tilsyn og vedligeholdelse. Ikke størrelsesøkonomi ved 100% luftrens, men betydelig størrelsesøkonomi ved deluftrens. Problemer med tilstopning i fjerkræstalde pga. støv og kun få anlæg er opsat.
	Svin	Stald	Ammoniak, lugt	Biologisk luftrensning, decentral	NH3-reduktion >70% Lugteffekt fra 40 - 70%.	Slagtesvin (drænet gulv): 10,0 kg N/DE v.100% luftrens; 9,6 kg N/DE v.60% luftrens; 7,7 kg N/DE v.20% luftrens.	Slagtesvin (drænet gulv): 268 kkr. ved 75 DE til 1,6 mio. kr. ved 950 DE v/100% luftrensning	ca. 50 anlæg	Biologiske rensere fra hhv. SKOV A/S og Dorset Milieutechnik B.V. optaget på MST teknologiliste. MST Teknologiblad foreligger.	ca. 1710-3576 kr./DE v/100% luftrens; ca. 1430-3173 kr./DE v/60% luftrens; 922-2475 kr./DE v/20% luftrens.	53-87 kr. v/100% luftrens; 40-72 kr. v/60% luftrens; 27-78 kr. v/20% luftrens.	Kræver løbende tilsyn og vedligeholdelse.
	Svin	Stald	Ammoniak	Gylleforsuringsanlæg	Ammoniakreduktion op til 70% i stalde med drænet gulv. Også virkning på lager og mark	Slagtesvin (drænet gulv): 13,8 kg N/DE; smågrise (toklima): 10,5 kg N/DE; Drægtighedsstald (delv. fast gulv): 12,6 kg N/DE.	Slagtesvin: 800 kkr. v/75 DE til 1,3 mio. kr. v/950 DE.	Ca. 55 anlæg	Teknologiblad foreligger. Infarm og JH forsuring på MST teknologiliste.	ca. 14 kkr./DE v/75 DE og ned til ca. 1700 kr./DE v/950 DE.	Slagtesvin (drænet gulv): 109 kr. v.75 DE og ned til 18 kr. v.950 DE. Smågrise: 155 kr. v/75DE ned til 36 kr. v/950 DE; Drægtige søer: 126 kr. v/75 DE ned til 26 kr. v/950 DE.	Betydelig størrelsesøkonomi. Kan ikke bruges ved meget halm i stald. Overskud af svovl i marken ved normale gyllemængder pr. ha. Ikke tilladt i økostalde.
	Svin	Stald	Ammoniak	Gyllekøling	Ammoniakreduktion i stald: op til 30 %	Afhænger af køleeffekt. 1,8-4,7 kg N/DE i drægtighedsstalde; 0,5-1,4 kg N/DE i smågrisestalde (toklima); 1,0-2,7 kg N/DE i slagtesvinest. m/25-49% fast gulv; og 0,7-2,0 kg N/DE slagtesvinestalde med 50-75% fast gulv.	Afhænger af stalddtype og køleeffekt. 125 kkr v/75 DE til 600 kkr. v/950 DE ved slagtesvin 25-49% og 50-75% fast gulv	ca. 550 anlæg	MST Teknologiblad foreligger. Registreret i MST teknologiliste.	Søer: 500-2000 kr./DE; smågrise (toklima): ca. 400 - 1900 kr./DE; slagtesvin: ca. 500-2000 kr./DE	Slagtesvin (25-49% fast gulv): gns. 146-183 kr. v/0% varmeudnyttelse til gns. -334 til -258 kr. ved 100% varmeudnytt.; Smågrise (toklima): gns. 71-84 kr. v/0% varmeudnytt. til gns. -166 til -126 kr. v/100% varmeudnytt.; drægtighedsstalde: gns. 182-186 kr. v/0% varmeudnytt. til gns. -525 til -446 kr. ved 100% varmeudnyttelse.	Omkostningseffektivitet stærkt afhængig af nyttevirkning af varme. Primært aktuelt i sobesætninger, hvor varmen kan genanvendes. Forventet levetid ca. 20 år, dog har cirkulationspumper og kompressor formodentlig kortere levetid grundet mekanisk slid.
	Svin/kvæg	Mark	Ammoniak, lugt	Gyllenedfældning i græsmarker	Ammoniakemission reduktion på ca. 40 %	Med gns. 30 ton gylle udbragt/ha og et TAN indhold på 2,0 kg/ton gylle, reduceres tabet af NH3 med 8 kg N/ha	600.000 kr	Meget udbredt. Der kører 20-30 stk 12 m græsnedfældere i DK	Standard teknologi	4 kr pr ton gylle	ca. 36 kr. pr. kg sparet N	Drivhusgas emissionen øges i form af lattergasproduktion i jorden. Dokumentationen for dette er dog meget svag og det vurderes ikke at være af afgørende betydning under danske forhold. Lugt reduceres markant.

Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak	Markforsuring	Ammoniakemission reduktion på ca. 40 %	Samme forudsætninger som ved græsnefældning. Tabet reduceres derved med 8 kg N/ha	ca. 520.000 kr.	85-90 eksemplarer kører i dag i DK. Meget udbredt teknologi	Standard teknologi		ca. 10 kr. pr. kg sparet N	Der er en risiko forbundet ved at håndtere konc. svovlsyre ude på en landbrugsbedrift. Lugt reduceres ikke som følge af forsuring alene og evt. tilsætning af jernsulfat har kun betydning de første minutter efter udbringning af gylle.
Svin/ kvæg	Mark	Ammoniak	Tankforsuring	Ammoniakemission reduktion på ca. 50 %	Samme forudsætninger som ved græsnefældning. Tabet reduceres derved med 10 kg N/ha	510.000 for hele gylleomrøren inklisiv udstyr til forsuring.	30-40 eksemplarer i DK	Standard teknologi		ca. 26 kr. pr. kg sparet N	Der er en risiko forbundet ved at håndtere konc. svovlsyre ude på en landbrugsbedrift.
Svin/ kvæg	Stald	Lugt	Skorsten for øget afkasthøjde af ventilationsluft	Lugtreduktion beregnes vha. OML- Multi	ikke relevant		Kun få eksempler	Ikke standard på markedet.			
Svin/ kvæg	Lager	Ammoniak	Teltoverdækning	Ammoniakreduktion ca. 50 %		200-300.000 kr.		MST teknologiuudredning gennemført og er på Miljøstyrelsen teknologiliste			Øger opbevaringskapaciteten
Kvæg	Stald	Ammoniak	Gylleforsuringsanlæg	50% reduktion fra stald. Effekt i lager og mark.	7,8 kg N/DE (stor race); 7,7 kg N/DE (jersey)	650 - 700 kkr.	Ca. 65 anlæg	MST teknologiblad foreligger. Infarm og JH forsuring på Miljøstyrelsen teknologiliste	8667 kr./DE v/75 DE ned til 748 kr./DE v/950 DE	25 kr. ved 950 DE til 137 kr. ved 75 DE	Betydelig størrelsesøkonomi. Ikke tilladt i økostalde.
Kvæg	Stald	Ammoniak	Spaltegulvskraber	Ammoniakreduktion 25 % fra stalden (Ringkanalstald)	1,9 kg N/DE (stor race)	83 - 360 kkr.	Ca. 1500 stalde	MST Teknologiblad foreligger. Registreret i MST teknologiliste.	Wiretrukne skraber: 447-1295 kr/DE. Robotskraber: 274- 1723 kr/DE	Stationær skraber: 49- 149 kr. Robotskraber: 30- 136 kr.	Kan anvendes i de fleste typer af stalde med spaltegulv. Kan eftermonteres i eksisterende stalde, dog forbundet med
Fjerkræ	Stald	Ammoniak	Etagesystem med gødningsbånd, hyppig udmugning	75% fra stalden. Netto 50% reduktion (stald, lager, udbringning)	31,0 kg N/DE	1177000 kr.	få stalde	MST Teknologiblad foreligger. Registreret i MST teknologiliste.	ca. 11.770 kr./DE v/100 DE	33 kr. v/100 DE	Nye stalde samt eksisterende stalde med tilstrækkelig højde. Beregningseksempel baseret på eftermontering i eksisterende stald. Kan også benyttes i økologiske besætninger, hvor krav til lavere belægningsgrad medfører større omkostninger pr. kg sparet N.
Mink	Stald	Ammoniak	Automatisk tømning af gødningsrender	26% lavere ammoniakemission ved daglig tømning sammenlignet med ugentlig tømning.	13.7 kg N/DE	Fuldautomatisk skraber: 500 kkr. v/75DE til 1,6 mio.kr. v/250DE; Skraber med wire: 800 kkr. v/75 DE til 2,6 mio.kr. v/250 DE.	Ca. 120 stalde	VERA verifikation foreligger. Registreret i MST teknologiliste.	Fuldautomatisk skraber: ca. 6200 kr./DE; Skraber med wire: ca. 10400 kr./DE.	71-77 kr./kg sparet N.	
<b>Reduktion af pesticid- anvendelsen</b>	<b>Kategori</b>	<b>Afgrøde</b>	<b>Teknologi</b>	<b>Effekt relativ størrelse (pct)</b>	<b>Effekt (pct.)</b>	<b>Ca. indkøbspris kr.</b>	<b>Udbredelse i DK dvs. nyheds- værdi</b>	<b>Status på teknologi</b>	<b>Øget løbende driftsomkostning</b>		<b>Problemer</b>

Landbrug og gartneri			Rækkedyrkningsystem . Kan bestå af radrenser og evt båndsprøjte. Evt med styresystemer til begge.	Over 60 pct på herbicidforbrug		Radrenser 100.000 - 200.000 Båndsprøjter 15.000 - 30.000 Afskærmning til båndsprøjter 3.000 - 5.000 pr skærm/række Styresystem 35-000 - 45.000	Radrensning og båndsprøjtning var tidligere udbredt. Styresystemer har begrænset udbredelse	Teknikken med styresystemer er til rådighed			
Landbrug	landbrugs afgrøder		Autostyring og sektionsafblænding af sprøjte (hindrer overlap ved sprøjtning)	5-10 pct		Autostyring ca 100.000 - 200.000 afh. af præcision Sektionsafblænding 15.000 - 30.000	Autostyring har begrænset udbredelse men stor andel af nysalg	Til rådighed			
Landbrug	landbrugs afgrøder		Sensorbaseret ukrudtssprøjte (sikrer at der kun sprøjtes når der registreres ukrudt)	Meget varierende 20-80 pct afhængig af ukrudtstryk		70.000 for enhed på 1,2 m bredde	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Jordbær		Bånd/rækkesprøjtning	ca. 20-40 pct på fungicidforbrug		Båndsprøjter 15.000 - 30.000 Afskærmning til båndsprøjter 3.000 - 5.000 pr skærm/række	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske (sprøjtevæske der ikke rammer kultur opsamles og genbruges. Stærkt afdriftreducerende)	ca 20 pct		Fra 275.000	2 sprøjter i DK pt	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter. (Sensorer registrerer "huller" i plantebestand og lukker for dyse) Størst potentiale i unge kulturer og i tidlige vækststadier. Stærkt afdriftsreducerende.	ca 20-25 pct		fra 75.000	1 sprøjte i DK pt	Til rådighed			
Gartneri og evt. landbrug	Frugt og bær og evt landbrug		Sensorbaseret ukrudtssprøjte (sikrer at der kun sprøjtes når der registreres ukrudt)	Meget varierende 20-80 pct afhængig af ukrudtstryk		70.000 for enhed på 1,2 m bredde	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frilandsgrønsager		Lugerobot til udplantede grønsager Kål, salat, selleri m fl. Primært til økologisk produktion men relevant til konventionel produktion hvor der savnes effektive herbicider	Effekt er ikke dokumenteret men det skønnes at der kræves en vis supplerende manuel indsats. Ellers 100 pct på herbicidforbrug		Fra 360.000 for 3 rækket. Skal kombineres med radrensning	Begrænset	Til rådighed			

Gartneri	Frilandsgrønsager		Rækkedampning i kombination med radrensning. Båndbredde og dermed energiforbrug reduceres ved at kombinere med GPS teknologi	Rækkedampning før afgrødeetablering bekæmper ukrudt i rækken og sikrer meget minimal manuel indsats. 100 pct på herbicidforbrug		650.000 for 3 rækkers model	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Klimastation med tilknyttet software	50 % reduction på fungicid forbrug æble skurv og 50 % reduction på insekticider mod æblevikler		30.000 for klimastation og ca 1000 kr årligt til opdatering af software	Begrænset	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Beholder med varmt vand og termostater, samt udstyr til nedsænkning og optagning	50-90 % reduction på infektioner af alvorlige lagersygdomme på æbler		500.000	Findes ikke i Danmark	Til rådighed			
Gartneri	Frugtavl		Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	100 % reduction på herbicid forbrug, konventionelle avlerer		30-110.000 kr	Begrænset	Til rådighed			
<b>Reduktion af emission af klimagasser</b>	<b>Kategori</b>		<b>Teknologi</b>	<b>Effekt absolutte størrelser pr. enhed</b>	<b>Effekt (pct.)</b>	<b>Ca. indkøbspris kr.</b>	<b>Udbredelse i DK dvs. nyhedsværdi</b>	<b>Status på teknologi</b>	<b>Øget løbende driftsomkostning</b>		<b>Problemer</b>
Gartneri			Varmelagring i jord	ukendt - afhænger den substituerede energimængde og brædselskilde		Udgiften er til aquiferen er ca. 5.000 kr. pr kW. Hertil kommer andre investeringer i form af varmevekslere etc.	Et anlæg er under etablering	Grundvandskøling har været brugt i industrien siden midten af 1990'erne. Desuden anvendes teknologien i nogle få hollandske væksthusegartnerier.			
Gartneri			Bedre isolering gennem udskiftning af væksthuse dækkemateriale	Mellem 5 og 150 kg CO2 pr. m2 pr. år afhængigt af energikilde og isoleringsgrad med 2-lag dækkemateriale.	Mellem 5 og 49%	400-600 kr. pr. kvadratmeter overflade (inkl. montering)		Har været kendt siden slutning af 1970'erne			
Gartneri			Nye gardinanlæg	Mellem 3 og 71 kg CO2 pr. m2 pr. år afhængigt af energikilde og ændring i varmemeforbrugstal.	Mellem 4 og 27 % afhængigt af muligheden for at ændre varmemeforbrugstallet.	100-200 kr. pr. kvadratmeter.	Hovedparten af potteplanteartnerierne har installeret gardinanlæg og gardiner anvendes i mindre grad i agerbrugsgartnerier, men ikke i tomatgartnerier.	Har været kendt siden slutning af 1970'erne			
Gartneri			LED belysning	Ukendt - afhænger virkningsgraden på belysningssystemet		Udgiften er ligger mellem 600 og 1100 kr. pr. armatur, men en egentligt investeringsomkostning kan ikke beregnes.	Der findes kun prototyper i nogle få gartnerier. LED arrays til grorom og flerlagsdyrkning er på markedet.	Teknologien er under udvikling			
Gartneri			Varmepumpe til opvarmning	Afhænger af virkningsgraden, men varmepumper har høj virkningsgrad og energiforbruget kan forventeligt reduceres med mere en 30%.	Mellem 25 og 40% på det opvarmningsbehov som dækkes af varmepumpen.	800-1200 kr. pr. kvadratmeter	Der er et gartneri som har en varmepumpe.	Teknologien er kendt.			



	Gartneri			Mekanisk ventilation	Vil afhænge af virkningsgraden.		300-500 kr. pr. kvadratmeter.	Bruges ikke i dag i gartnerierne.	Teknologien er kendt.			
<b>Reduktion af vand og næringsstoffer</b>	<b>Kategori</b>			<b>Teknologi</b>	<b>Effekt relative størrelser (pct.)</b>		<b>Ca. indkøbspris kr.</b>	<b>Udbredelse i DK dvs. nyhedsværdi</b>	<b>Status på teknologi</b>	<b>Øget løbende driftsomkostning</b>		<b>Problemer</b>
	Gartneri	Frilandsgrønsager og frugtavl		Vandingsindikator incl. transmission og beslutningsstøtte	30% mindre forbrug		30.000	Lille udbredelse	Teknologien er kendt.			
	Gartneri	Frilandsgrønsager og frugtavl		Vandbassin til regnvand eller dræn- og overskudsvand	25% mindre forbrug		50-100.000	Anvendes i nogen udstrækning i væksthushavener, men lille udbredelse i frilandsgartnerier	Teknologien er kendt.			
	Gartneri	Frilandsgrønsager og frugtavl		Drypvanding og vandingsbom	Drypvanding: 50-70% ift. vandingskanon. Vandingsbom: 20-30% ift. vandingskanon		Drypslange m. trykreguleret dryp 3 kr/lb m + 15% heraf til rørtilførsel + 10.000 kr til pumpe	Nogen udbredelse i frugt og bær, men ingen eller lille udbredelse i frilandsgrønsager	Teknologien er kendt.			
	Gartneri	Frilandsgrønsager og frugtavl		Styring af gødning	10-50% mindre forbrug		10-20.000	Lille udbredelse	Teknologien er kendt.			

## Bilag 2. Økonomiske forudsætninger for miljøøkonomiske beregninger under Indsatsområde 1.

Parameter	Enhed	År	Værdi	Reference	Kommentar
<b>Arbejde, maskinstation</b>	Kr./time	2013	400		
<b>Arbejde</b>	kr./time	2013	125.19	Jordbrugsoverenskomsten, lønniveauet er for løngruppe A plus generelt funktionstillæg og for arbejdere uden bolig, <a href="http://forsiden.3f.dk/assets/pdf/SD384983611.PDF">http://forsiden.3f.dk/assets/pdf/SD384983611.PDF</a>	
<b>Elektricitet</b>	Kr./kWh	2013	0.552	Energistyrelsen (2013): Tabeller med beregningsforudsætningerne, <a href="http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analysemodeller/samfundsokonomiske-beregningsforudsætninger">http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analysemodeller/samfundsokonomiske-beregningsforudsætninger</a> .	Fra 2009 til 2012 er der sket ændringer i bl.a. NO <sub>x</sub> afgiften og CO <sub>2</sub> kvoteprisen, hvilket måske kan forklare hvorfor der er så stort et fald mellem prisen fra 2009 (anvendt i Hansen <i>et al.</i> (2012)) og prisen fra Energistyrelsen (2013).
<b>Vand</b>	Kr./m <sup>3</sup>	2012	10	DANVA 2012: Vand i tal. DANVA benchmarking 2012 - procesbenchmarking og statistik.	Vand kostede i 2012 53,07 kr/m <sup>3</sup> for en gennemsnitsfamilie med 3 børn i husstanden. Heraf er kun 18,8 procent den reelle vandpris. Da landbruget fritages for vandafgifter og kan føre spildevandet tilbage i produktionen regnes kun med den rene pris. Prisen er ikke fremskrevet til 2013, da 2012 prisen er den nyeste oplyste pris fra DANVA.
<b>Svovlsyre</b>	kr./kg	2013	1.57	Jørgen Hyldgaard Stald service, <a href="http://www.jhstaldservice.dk/articles/113/1/Svovlsyre/Page1.html">http://www.jhstaldservice.dk/articles/113/1/Svovlsyre/Page1.html</a> og NIRAS (2009), og Miljøstyrelsen (2011f).	Prisen er beregnet ved levering af 18 tons syre.
<b>Værdi af N</b>	Kr./kg	2013	8.45	Farmtal online, <a href="https://farmtalonline.dlbr.dk/Kalkuler/VisKalkule.aspx?Prodgren=K_1010">https://farmtalonline.dlbr.dk/Kalkuler/VisKalkule.aspx?Prodgren=K_1010</a>	
<b>Værdi af S for svinebrug</b>	Kr./ha	2009	45		Behovet for svovl i vintersæd er sat til 15 kg/ha, prisen er på 3 kr./kg svovl. Prisen er uændret til 2013.

<b>Værdi af S for kvægbrug</b>	Kr./ha	2009	90		Behovet for svovl i slætgræs er sat til 30 kg/ha, prisen er på 3 kr./kg svovl. Prisen er uændret til 2013.
<b>Olie</b>	Kr./L	2012	6.648	Statistikbanken, LPRIS35, <a href="http://statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1280">http://statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1280</a>	Prisen på fyringsolie er i Statistikbanken (LPRIS35) på 7016 kr./1000 L korrigeret for afgifter. Der ikke bliver godtgjort, hvilket for olie er CO <sub>2</sub> afgiften (455 kr./L) på 6561 kr./100 L. Prisen er indeksreguleres til 2013 niveau.
<b>Kalk</b>	Kr./ha	2010	60	Budgetkalkulerne 2010/2011, <a href="https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Filer/Budgetkalkuler_2010-2011_okt_2010.pdf">https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Filer/Budgetkalkuler_2010-2011_okt_2010.pdf</a>	Prisen på kalk fremskrives er ikke, da den vurderes ikke at ændres. Dette er sket i henhold til Niras (2009) og prisen anvendes ligeledes i budgetkalkulerne 2010/2011.
<b>Dieselolie</b>	Kr./L	2013	6.526	Farmtal online, dieselolie pris.	
<b>Syre til markforsuring</b>	Kr./L	2013	2.826	Jørgen Hyldgaard Stald service, <a href="http://www.jhstaldservice.dk/articles/113/1/Svovlsyre/Page1.html">http://www.jhstaldservice.dk/articles/113/1/Svovlsyre/Page1.html</a>	Prisen er beregnet ved levering af 18 tons syre. Til beregningen mellem kg og L er anvendt at Svovl vejer 1,8 kg/L.
<b>Kornpris</b>	Kr./hkg	2013	164.25	Farmtal online	Gennemsnit af kornpriser for hvede, byg, havre og rug
<b>Pris per foderenhed, græs</b>	Kr./FE	2013	1.2	Farmtal online, <a href="https://farmtalonline.dlbr.dk/Kalkuler/VisKalkule.aspx?Prodgren=K_4132&amp;Forudsætninger=31-12-2013;K_4132;1;3;2;1;2;1;1;1;3;1;n;n;0;n">https://farmtalonline.dlbr.dk/Kalkuler/VisKalkule.aspx?Prodgren=K_4132&amp;Forudsætninger=31-12-2013;K_4132;1;3;2;1;2;1;1;1;3;1;n;n;0;n</a>	

**Prisindeks for jordbrugets salg og køb (2010=100) efter enhed, produkt og tid - statistikbanken.dk, LPRIS20, <http://statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1280>**

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Elektricitet</b>	91	100	115.5	125	125
<b>Fyringsolie</b>	115.25	99.75	103.75	112.5	114
<b>Kvælstofgødninger</b>	95	100.25	128.75	131.75	140
<b>Kalk og mergel</b>	97.5	100	101.5	107	111
<b>Inventarvedligeholdelse</b>	96	100	101.5	103.75	104
<b>Bygningsvedligeholdelse</b>	97.5	100	102.5	105.75	109
<b>Markmaskiner og andet udstyr</b>	97	99.75	101	105	104
<b>Bygningsinvesteringer</b>	99	100	103.75	106	107

---

**Rente og levetider for teknologier**

		Reference
<b>Rente, 4%</b>	0,04	Energistyrelsen 2013. Opdateret tillægsblad om kalkulationsrente, levetid og reference. Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. Energistyrelsen, april 2005 (Beregningseksempler revideret juli 2007). J.nr. 1801/1144-0008
<b>Investeringens levetid</b>	år	
<b>Nedfælder</b>	12	Levetiderne for gylleudstyr i marken er sat til 12 år ved høj anvendelse. Farmtal online: <a href="https://farmtalonline.dlbr.dk/Grid/uiGrid.aspx?Farmtal=17144&amp;ViewType=View">https://farmtalonline.dlbr.dk/Grid/uiGrid.aspx?Farmtal=17144&amp;ViewType=View</a>
<b>Forsuringsanlæg, mark</b>	12	
<b>Tankforsuringsanlæg</b>	12	
<b>Slangeudlægning</b>	12	
<b>Kemisk luftreenser</b>	10	
<b>Biologisk luftreenser</b>	10	
<b>Forsuring</b>	15	
<b>Gyllekøling</b>	20	
<b>Etagesystem</b>	15	
<b>Mink, fuldautomatisk skraber</b>	10	
<b>Mink, skraber med wiretræk</b>	10	

---

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er videnudveksling, rådgivning og interaktion med myndigheder, organisationer og erhvervsvirksomheder.

Centret koordinerer videnudveksling og rådgivning ved de institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab  
Institut for Fødevarer  
Institut for Agroøkologi  
Institut for Ingeniørvidenskab  
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.

## RESUME

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet på foranledning af NaturErhvervstyrelsen. Rapporten giver en samlet oversigt over miljøteknologier der benyttes inden for det primære jordbrugserhverv, herunder deres miljøeffekt, omkostninger samt omkostningseffektivitet. Rapporten anvendes af NaturErhvervstyrelsen til prioritering af ansøgninger i anledning af Fødevareministeriets miljøteknologiordning omfattende tilskud til projekter vedrørende investeringer i grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion.