



# MILJØ- OG KLIMATEKNOLOGI 2023

MICHAEL NØRREMARK (RED.)

DCA RAPPORT NR. 221 • OKTOBER 2023 • RÅDGIVNING



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG





# Miljø- og Klimateknologi 2023

---

Rådgivningsrapport fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

## FORFATTERE:

For indsatsområderne 1-2:

*Michael Jørgen Hansen<sup>1</sup>*

For indsatsområde 3:

*Christian Friis Børsting<sup>2</sup>, Michael Jørgen Hansen<sup>1</sup>*

For indsatsområde 4:

*Michael Jørgen Hansen<sup>1</sup>*

For indsatsområde 5:

*Peter Kai<sup>1</sup>*

For indsatsområderne 6 – 7:

*Michael Nørremark<sup>3</sup>*

For indsatsområde 8:

*Dennis Konnerup<sup>4</sup>, Bo Melander<sup>5</sup> & Peter Kryger Jensen<sup>5</sup>*

For indsatsområderne 9 – 10:

*Carl-Otto Ottosen<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>Institut for Bio- og Kemiteknologi (BCE), <sup>2</sup>Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab (ANIVET) <sup>3</sup>Institut for Elektro- og Computerteknologi (ECE), <sup>4</sup>Institut for Fødevarer (FOOD) og <sup>5</sup>Institut for Agroøkologi (AGRO)*



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



# Datablad

---

Titel:	Miljø- og Klimateknologi 2023
Serietitel og nummer:	DCA rapport nr. 221
Rapporttype:	Rådgivningsrapport
Udgivelsesår:	August 2023. 1. udgave. 1. oplag
Forfatter(e):	Seniorrådgiver Michael Nørremark, Institut for Elektro- og Computerteknologi (ECE), Seniorforsker Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi (BCE), Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi (BCE), Seniorrådgiver Christian Friis Børsting, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab (ANIVET), Professor Carl-Otto Ottosen, Institut for Fødevarer (FOOD), Tenure Track Dennis Konnerup, Institut for Fødevarer (FOOD), Seniorrådgiver Peter Kryger Jensen, Institut for Agroøkologi (AGRO) og Lektor Bo Melander, Institut for Agroøkologi (AGRO)
Fagfællebedømmelse:	<p><i>For indsatsområde 1:</i> Seniorforsker, Anders Peter Adamsen, BCE, AU</p> <p><i>For indsatsområderne 2-4:</i> Seniorrådgiver, Peter Kai, BCE, Professor, Peter Lund, ANIVET, AU</p> <p><i>For indsatsområde 5:</i> Seniorforsker, Michael Jørgen Hansen, BCE, AU</p> <p><i>For indsatsområde 6-7:</i> Akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen, ECE, AU</p> <p><i>For indsatsområde 8:</i> Seniorforsker, Martin Jensen, FOOD, AU</p> <p><i>For indsatsområderne 9-10:</i> Tenure Track, Dennis Konnerup, FOOD, AU</p>
Kvalitetssikring:	Specialkonsulent Stine Cecilie Mungaard Sarraf, DCA Centerenheden
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)
Dato for bestilling/levering:	22.05.2023 / 27.06.2023.
Journalnummer:	2023-0505191
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 22-P4-10 Ydelsesaftale Planteproduktion samt ID nr. 22-H4-07 Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2023-2026.
Ekstern kommentering:	<p>Ja. Landbrugsstyrelsen (LBST) har kommenteret på udkast til rapport. Kommentarerne er opdelt efter indsatsområde (1-10). LBST har ikke haft kommentarer til indsatsområde 1 og 10. Se samlet kommenteringsark her: <a href="https://bitly.ws/WVLU">https://bitly.ws/WVLU</a></p> <p>LBST har produceret en Miljø- og klimateknologiliste på baggrund af rapporten. Denne liste har været i offentlig høring. Alle indkomne høringssvar er samlet i notatet: "Landbrugsteknisk hjælp til besvarelse af høringssvar til Miljø- og klimateknologi 2023", leveret 19.09.2023.</p>
Eksterne bidrag:	Nej.

Kommentarer til besvarelse:	<p>Dette er en revideret rapport, som erstatter den første udgave af rapporten, leveret 22.06.2023. Revideringen består i tilføjelse af en opdateret oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter (bilag 1).</p> <p>Rapporten er revideret igen, og erstatter således ovennævnte tidligere leverede rapport. Revideringen er foretaget på baggrund af høringsvar indkommet i den offentlige høringsperiode. Alle indkomne høringsvar er fordelt på indsatsområder, og samlet i ovennævnte notat.</p> <p>Der er således foretaget enkelte formuleringsmæssige rettelser, samt to tilføjelser i nærværende rapport. Det drejer sig om teknologi 6.10 og 8.3 hvor der i begge tilfælde er tilføjet flere afgrøder.</p> <p>Denne bestilling består af tre delleverancer, hvoraf dette er delleverance 2. Bestillingen er en årligt tilbagevendende opdatering af Miljø- og klimateknologilisten. Rapporten præsenterer resultater, som ved rapportens udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.</p>
Citeres som:	Nørremark, M., Hansen, M.J., Kai, P., Børsting, C.F., Ottosen, C.-O., Konnerup, D., Jensen, P.K, Melander, B. Miljø- og Klimateknologi 2023. 140 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 27.09.2023.
Ophavsret:	Rapporten er omfattet af gældende regler om ophavsret
Layout:	Rapportkoordinator Jette Illkjær, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, AU
Fotos:	Forside øverst: Carl-Otto Ottosen, nederst: MSR Technology. Bagside øverst: Michael Nørremark, AU, nederst: DCA fotoarkiv
Sideantal:	139
ISBN:	Trykt version: 978-87-94420-25-9. Elektronisk version: 978-87-94420-26-6
ISSN:	2248-1684
Tryk:	DigiSource.dk
Internetversion:	<a href="https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport221.pdf">https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport221.pdf</a>
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>



# Indhold

<b>Baggrund</b> .....	<b>12</b>
<b>Indsatsområde 1: Reduktion af ammoniakemission fra gyllebeholdere</b> .....	<b>13</b>
Teltoverdækning af gyllebeholder.....	13
1.1.....	13
Teltoverdækning af gyllebeholder.....	13
Referencer .....	13
<b>Indsatsområde 2: Svin, reduktion af ammoniakemission</b> .....	<b>14</b>
Grundlag for beregning af miljøeffekt svinestalde .....	14
Gyllekøling.....	15
2.1a.....	17
Gyllekøling m. linespil: 6.5 - 16 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin.....	17
2.1b.....	17
Gyllekøling m. linespil: 17 - 26 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin.....	17
2.1c.....	17
Gyllekøling m. linespil: 27 - 36.5 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin.....	17
2.2a.....	17
Gyllekøling m. linespil: 6.5 - 16 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise.....	17
2.2b.....	17
Gyllekøling m. linespil: 17 - 26 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise.....	17
2.2c.....	17
Gyllekøling m. linespil: 27 - 36.5 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise.....	17
2.3a.....	18
Gyllekøling m. rørudslusning: 12.5 - 22 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin .....	18
2.3b.....	18
Gyllekøling m. rørudslusning: 23 - 33 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin .....	18
2.3c.....	18
Gyllekøling m. rørudslusning: 34 - 44.7 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin .....	18
2.4a.....	18
Gyllekøling m. rørudslusning: 12.5 - 22 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise .....	18
2.4b.....	18
Gyllekøling m. rørudslusning: 23 - 33 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise .....	18
2.4c.....	18
Gyllekøling m. rørudslusning: 34 - 44.7 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise .....	18
Luftrensning.....	18
Delluftrensning (luftrensningsanlæg i form af en kemisk luftrenser, biologisk luftrenser eller kombi-luftrenser .....	19
2.5a, 2.6a, 2.7a .....	21
10-29 % delluftrensning, slagtesvin.....	21
2.5b, 2.6b, 2.7b .....	21

30-49 % delluftrensning, slagtesvin.....	21
2.5c, 2.6c, 2.7c.....	21
50-70 % delluftrensning, slagtesvin.....	21
2.8a, 2.9a, 2.10a.....	21
10-29 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer.....	21
2.8b, 2.9b, 2.10b.....	21
30-49 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer.....	21
2.8c, 2.9c, 2.10c.....	21
50-69 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer.....	21
2.11a, 2.12a, 2.13a.....	21
10-29 % delluftrensning, drægtige søer.....	21
2.11b, 2.12b, 2.13b.....	21
30-49 % delluftrensning, drægtige søer.....	21
2.11c, 2.12c, 2.13c.....	21
50-69 % delluftrensning, drægtige søer.....	21
Punktudsugning med luftrensning.....	22
2.14.....	23
Punktudsugningsanlæg med luftrensning: 10 % punktudsugning, slagtesvin.....	23
2.15.....	23
Punktudsugningsanlæg med luftrensning: 18 % punktudsugning <sup>1</sup> , slagtesvin.....	23
Gylleforsuring.....	23
2.16a.....	24
Gylleforsuring, slagtesvin.....	24
2.16b.....	24
Gylleforsuring, søer og smågrise.....	24
2.16c.....	24
Gylleforsuring med separation, slagtesvin.....	24
2.16d.....	24
Gylleforsuring med separation, søer og smågrise.....	24
Referencer.....	25

### **Indsatsområde 3: Kvæg, reduktion af ammoniakemission..... 27**

Grundlag for beregning af miljøeffekt kvægstalde.....	27
Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde.....	28
3.1.....	29
Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde.....	29
Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkenes sammensætning.....	29
3.2.....	30
Fasefodring med fuldfoder baseret på mælkenes sammensætning.....	30
Fasefodring med kraftfoder.....	30
3.3.....	31
Fasefodring med kraftfoder.....	31
Overvågning af brunst og sygdom.....	31



3.4a.....	33
Drøvtygger- og aktivitets-måler.....	33
3.4b.....	33
Vombolus til måling af aktivitet, temperatur og pH.....	33
Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder til forskellige fodringshold .....	33
3.5abc.....	35
Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder.....	35
Gylleforsuring.....	35
3.6a.....	36
Gylleforsuring, malkekøer, kvier .....	36
3.6b.....	36
Gylleforsuring, slagtekalve .....	36
Udskiftning af gulve til miljøgulve .....	37
3.7.....	38
Udskiftning af gulve til miljøgulve.....	38
Kemisk luftrensning i kombination med montering af separationsstrimler i gulvspalter og gødningsrobot.....	38
3.8.....	40
Kemisk delluftrensning i kombination med separationstrimler monteret i gulvspalter og gødningsrobot.....	40
Referencer .....	40
<b>Indsatsområde 4: Æg/fjerkræ, reduktion af ammoniakemission .....</b>	<b>41</b>
Grundlag for beregning af miljøeffekt æglæggende høner og hønniker .....	41
Gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem .....	42
4.1.....	43
Gødningsbånd i hønsestalde med etagesystem, æglæggende høner .....	43
4.2.....	43
Gødningsbånd i opdrætsstalde med etagesystem, hønniker.....	43
Gyllebeholder til lagring af gødning fra hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd.....	43
4.3.....	44
Gyllebeholder til lagring af gødning fra konsumægshøner opstaldet i stalde med etagesystem og gødningsbånd, æglæggende høner .....	44
4.4.....	44
Gyllebeholder til lagring af gødning fra opdræt opstaldet i stalde med etagesystem og gødningsbånd, hønniker .....	44
Referencer .....	44
<b>Indsatsområde 5: Æg/Fjerkræ, reduktion af energiforbrug .....</b>	<b>45</b>
Definitioner.....	45
Lavenergi-ventilation .....	45
5.1.....	48
Lavenergi-ventilatorer, slagtekyllinger og hønniker .....	48
5.2.....	48
Lavenergi-ventilatorer, økologiske slagtekyllinger og æglæggende høner.....	48
LED-belysning .....	48

5.3.....	50
LED-belysning, slagtekyllinger, hønniker og æglæggende høner .....	50
5.4.....	50
LED-belysning, økologiske slagtekyllinger .....	50
Opvarmning af slagtekyllingestalde og stalde til hønnikeproduktion med varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe.....	50
5.5.....	51
Varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe, slagtekyllinger og hønniker.....	51
Luft-til-luft varmevekslere i stalde til produktion af slagtekyllinger og hønniker .....	51
5.6.....	53
Varmeveksler, slagtekyllinger og hønniker.....	53
Gastæt silo til opbevaring af foderkorn og kernemajs til foder.....	53
5.7.....	55
Gastæt opbevaring af foderkorn .....	55
Referencer .....	55

## **Indsatsområde 6: Planteavl, reduktion af pesticidforbrug..... 58**

Oversigt over kombinationer af afgrøde- og plantebeskyttelsesmiddelkategorier.....	58
Sprøjteteknik: Styring af sektions- eller dyse afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) tildeling ud fra kortlægningsservice.....	59
6.1.....	61
Styring af sektions- eller dyse afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) tildeling ud fra kortlægningsservice .....	61
Styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) og gradueret (variabel) tildeling ud fra kortlægningsservice .....	61
6.2a, 6.2b.....	63
Styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) gradueret (variabel) tildeling ud fra kortlægningsservice .....	63
Kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau.....	64
6.3a, 6.3b.....	65
Kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau .....	65
Båndsprøjtning i rækkeafgrøder .....	65
6.4a, 6.4b.....	67
Båndsprøjtning i rækkeafgrøder.....	67
Rækkesprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning .....	67
6.5.....	68
Båndsprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning.....	68
Sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på grøn vegetation .....	68
6.6.....	70
Sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på grøn vegetation.....	70
Sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på artsgenkendelse.....	70
6.7.....	72
Sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på artsgenkendelse.....	72



Såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter.....	72
6.8.....	73
Såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter .....	73
Traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker .....	73
6.9.....	74
Traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker.....	74
Mikro-pletsprøjtning.....	74
6.10.....	75
Mikro-pletsprøjte.....	75
Kornradensere med rækkestyringssystem.....	76
6.11.....	77
Kornradensere med rækkestyringssystem.....	77
Radensere med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder.....	77
6.12.....	79
Radensere med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder .....	79
Optrækning og blotlægning af udløbere fra rodukrudt .....	79
6.13.....	80
Optrækning og blotlægning af udløbere fra rodukrudt.....	80
Luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter.....	81
6.14.....	82
Luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter .....	82
Høst eller destruktion af ukrudtsfrø .....	82
6.15.....	84
Høst eller destruktion af ukrudtsfrø.....	84
Referencer .....	84

## **Indsatsområde 7: Kartofler, vækststandsning og reduktion af pesticidforbrug ..... 90**

Mekanisk vækststandsning af kartofler.....	90
7.1a.....	91
Topknuser/aftopper og toptrækker kombineret med rodunderskæring.....	91
7.1b.....	91
Stængelknusning kombineret med tildækning.....	91
Vækststandsning af kartofler med aftopning/topknusning og brænding.....	91
7.2.....	92
Topknusning/aftopning og fladebrænder .....	92
Kartoffelradensere.....	92
7.3a.....	94
Let kartoffelradensere.....	94
7.3b.....	94
Svær kartoffelradensere.....	94
Mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning i kartofler.....	94
7.4.....	95
Mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning .....	95

Referencer .....	96
------------------	----

**Indsatsområde 8: Gartneri, reduktion af pesticidforbrug ..... 97**

Markise over frugt og bær til forebyggelse af svampesygdomme (regntag) .....	97
8.1 .....	98
Markise (regntag) .....	98
Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær, grønsager og planteskole- og pryddplanter .....	98
8.2 .....	99
Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær .....	99
Tunneler eller plasthus til dyrkning af grønsager eller planteskole- og pryddplanter .....	100
8.3a .....	100
Tunneler eller plasthus til dyrkning af grønsager .....	100
8.3b .....	100
Tunneler eller plasthus til dyrkning af planteskole- og pryddplanter .....	100
Robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse af grøntsager .....	100
8.4 .....	101
Robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse .....	101
Sensorbaseret ukrudtssprøjte .....	102
8.5 .....	102
Sensorbaseret ukrudtssprøjte .....	102
Sprøjteteknologi: Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter .....	102
8.6 .....	103
Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter .....	103
Sprøjteteknologi: Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske .....	103
8.7 .....	104
Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske .....	104
Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder (frugt, bær og planteskoleplanter) .....	104
8.8 .....	105
Mekanisk ukrudtsbekæmpelse .....	105
8.9 .....	105
Mekanisk ukrudtsbekæmpelse .....	105
Vandrensning af recirkuleret vandingsvand .....	105
8.10 .....	108
Vandrensning af recirkuleret vand .....	108
Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr i frugt, bær, grønsager og planteskoleplanter .....	108
8.11 .....	109
Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr .....	109
8.12 .....	109
Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr .....	109
8.13 .....	109
Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr .....	109
Kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO) til lagring af frugt, bær og grønsager .....	109
8.14 .....	110



kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO).....	110
8.15.....	110
kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO).....	110
CA-lagringskasser til grønsager, frugt og bær.....	110
8.16.....	111
CA-lagringskasser til grønsager.....	111
8.17.....	111
CA-lagringskasser til frugt og bær.....	111
Referencer.....	111
<b>Indsatsområde 9: Gartneri, reduktion af energiforbrug.....</b>	<b>112</b>
Gartneri: Reduktion af energiforbrug.....	112
Gardinanlæg til isolering af væksthuse.....	112
9.1.....	116
Gardinanlæg til isolering af væksthuse - tolags.....	116
Højisolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af væksthuses nordvendte vægge.....	116
9.2.....	118
Højisolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af væksthuse.....	118
Højisolerende transparente dækkematerialer til isolering af ældre væksthuse.....	118
9.3.....	121
Højisolerende transparente dækkematerialer til isolering af ældre væksthuse.....	121
Klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse.....	121
9.4.....	122
Klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse.....	122
LED-belysning til væksthuse.....	122
9.5.....	123
LED-belysning til væksthuse.....	123
Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse.....	123
9.6.....	124
Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse.....	124
Energi-effektiv varmepumpe til opvarmning i væksthuse.....	124
9.7.....	125
Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse.....	125
Referencer.....	125
<b>Indsatsområde 10: Gartneri, reduktion af næringsstofforbrug.....</b>	<b>126</b>
Reduktion af næringsstofforbrug i gartneri.....	126
Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel).....	126
10.1.....	127
Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel).....	127

Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthus (glashus, plasthus eller tunnel).....	127
10.2.....	128
Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthus (glashus, plasthus eller tunnel).....	128
Placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantning.....	128
10.3.....	129
Placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantning.....	129
Referencer .....	129

<b>Bilag 1: Oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter .....</b>	<b>133</b>
--	------------



## Baggrund

Nærværende rapport er revideret på baggrund af høringssvar indkommet i den offentlige høringsperiode. Alle indkomne høringssvar er fordelt på indsatsområder, og er samlet i notatet: "Landbrugsteknisk hjælp til besvarelse af høringssvar til Miljø- og klimateknologi 2023", leveret 19.09.2023 (Nørremark, M., m.fl.). Der er desuden lavet to tilføjelser efter ønske fra Landbrugsstyrelsen (LBST). Det drejer sig om to høringssvar som LBST ikke havde fået med i første omgang vedr. teknologi 6.10 og 8.3, hvor der i begge tilfælde er tilføjet flere afgrøder, som kan ses under henholdsvis teknologi 6 og 8 i nærværende rapport. Rapporten er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på bestilling LBST. 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, 2023-2026".

Rapporten giver en teknologibeskrivelse af forskellige miljø- og klimateknologier, som LBST har ønsket at AU udregner standardmiljøeffekt (SME) for samt oplyser specifikationer, obligatoriske og valgfrie elementer for de enkelte teknologier. Desuden består rapporten af en opdateret oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter (bilag 1), så de overordnede klimaeffekter fremgår for alle teknologier, der kan beregnes SME for. Rapporten anvendes af LBST til udvælgelse af teknologier i anledning af Miljø- og klimateknologi 2023 som omfatter tilskud til investeringer i miljø- og klimateknologier i den primære jordbrugs- og gartneriproduktion. Standardmiljøeffekterne bruges i forbindelse med prioritering af ansøgninger.

Levetider for de enkelte teknologier er skønnede på baggrund af vurderinger af typiske udskiftningsfrekvenser, slitage, og holdbarhed fra tests m.m. Konkret viden om målte levetider eksisterer ikke.

Miljø- og klimateknologi 2023 er målrettet tilskud til investeringer i teknologi inden for følgende ti indsatsområder: 1) Reduktion af ammoniakemission fra gyllebeholdere, 2) Svin, reduktion af ammoniakemission 3) Kvæg, reduktion af ammoniakemission, 4) Æg & Fjerkræ, reduktion af ammoniakemission, 5) Æg, fjerkræ, reduktion af energiforbrug, 6) Planteavl, reduktion af pesticidforbrug, 7) Kartofler, vækststandsning og reduktion af pesticidforbrug 8) Gartneri, reduktion af pesticidforbrug, 9) Gartneri, reduktion af energiforbrug og 10) Gartneri, reduktion af næringsstofforbrug.

# Indsatsområde 1: Reduktion af ammoniakemission fra gyllebeholdere

Forfatter: Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU

## Teltoverdækning af gyllebeholder

Fast overdækning (telt, betonlåg eller flydedug) er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 50 % i forhold til naturligt flydelag.

*Specifikationer.* Teltoverdækning. Gylletanken, som overdækkes med telt, kan anvendes til flydende husdyrgødning fra kvæg, svin og fjerkræ samt afgasset flydende biomasse, som kommer retur fra biogasanlæg. Arealet som kan indgå i beregning af standardmiljøeffekten, er det indvendige mål af gylletankens fladeareal.

*Obligatoriske elementer.* Teltoverdækning. Teltoverdækning med centermast, inklusive mindst en åbning for adgang og mindst en åbning for udluftning af gyllebeholder.

### Standardmiljøeffekt: Teltoverdækning af gyllebeholder

Standard miljøeffekt for teltoverdækning af gyllebeholdere i forhold til en reference gyllebeholder med naturligt flydelag er angivet i Tabel 1.1. Ifølge bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 443, 2023) er ammoniakemissionsfaktoren for flydende husdyrgødning  $0,40 \text{ kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$  gylleoverflade i gyllebeholder og ammoniakreduktionen ved teltoverdækning er 50%. Levetiden for teltoverdækning af gyllebeholder er sat til 20 år (Adamsen et al., 2022).

**Tabel 1.1:** Standardmiljøeffekt for teltoverdækning af gyllebeholder.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> gylleoverflade i gyllebeholder
1.1	Teltoverdækning af gyllebeholder	20	Alle	0.20

## Referencer

Adamsen A.P.S., P. Kai, G.M. Callesen & B.H. Jacobsen (2022) Fast overdækning af gyllebeholdere - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 22 s. Rådgivningsnotat fra DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet

BEK nr. 443 (2023) Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug. 26. april 2023. Miljøministeriet.

## Indsatsområde 2: Svin, reduktion af ammoniakemission

Forfatter: Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU

### Grundlag for beregning af miljøeffekt svinestalde

Beregningerne af standardmiljøeffekt for ammoniak er foretaget på grundlag af ammoniaktab for stald og lager (Børsting et al., 2021) samt teknologiernes ammoniakreducerende effekt. For staldteknologierne er beregningerne lavet som en kædebetragtning, hvor ammoniakreduktion er beregnet samlet for både stald og lager i forhold til produktionsareal i stalden. Beregninger er foretaget med udgangspunkt i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021). Standardmiljøeffekten er angivet som teknologiens årlige miljøeffekt per m<sup>2</sup> produktionsareal (kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal).

### Referencestald

Standardmiljøeffekten for miljøteknologier i svinestalde er beregnet i forhold til de referencestalde som er angivet i Tabel 2.1, medmindre andet står nævnt under den enkelte teknologi. For drægtighedsstalde er der anvendt løsdriftstier med delvist spaltegulv som referencestald, mens der for slagtesvin, smågrise og diegivende søer er valgt stalde med gyllekumme under hele stiarealet. For slagtesvin er det antaget, at der produceres 3,76 grise per stiplads per år og smågrise 6,0 grise per stiplads per år (Kai & Adamsen, 2017).

**Tabel 2.1:** Referencestalde anvendt i beregning af standardmiljøeffekt for svinestalde.

Dyregruppe	Staldtype	Areal per gris/årsso m <sup>2</sup>	Emission kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal		
			Stald	Lager	Stald + lager
Slagtesvin	Drænet gulv + spaltegulv (33/67)	0,65	2,33	0,22	2,55
Smågrise	Drænet gulv + spaltegulv (50/50)	0,30	1,18	0,11	1,29
Diegivende søer	Kassesti med fuldspaltegulv	1,09 <sup>1</sup>	1,27	0,09	1,36
Drægtige søer	Løsdrift med delvist spaltegulv	1,75 <sup>1</sup>	1,14	0,15	1,29

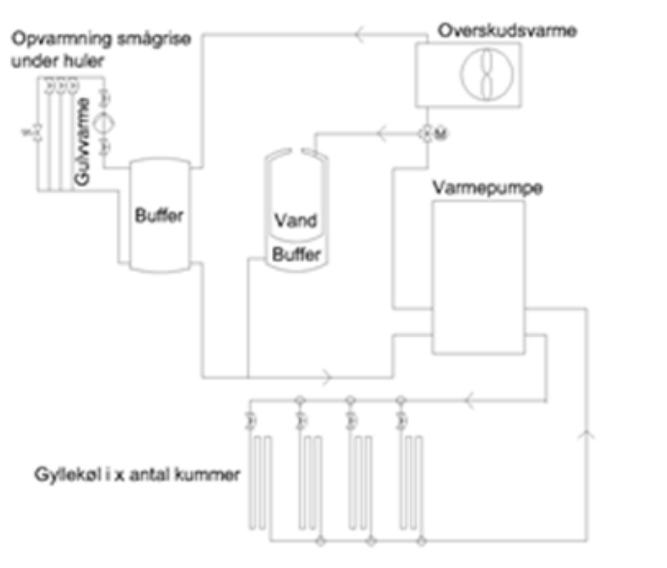
<sup>1</sup> Kai & Adamsen, 2017.

### Kriterier for udvælgelse af teknologier

Det afgørende kriterie for udvælgelse af miljøteknologier til stald og lager har været, at der er dokumentation for teknologiernes ammoniakreducerende effekt, og at der som minimum kan opnås en ammoniakreducerende effekt på 10 %.

## Gyllekøling

Gyllekøling kan anvendes i stalde med gyllekanal og rørudslusning og i stalde med mekanisk udmugning (linespil, skraber). Gyllekølingssystemet etableres ved nedstøbning af køleslanger i bunden af gyllekanalerne i stalden. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 35-40 cm. Køleslangerne er koblet til en varmepumpe, som er forbundet til en bufferbeholder til akkumulering af varmen og eventuelt en kalorifer til afsætning af overskudsvarmen (Miljøstyrelsen, 2011), (figur 2.1). Vandet i bufferbeholderen cirkuleres i de staldafsnit, der skal opvarmes, eksempelvis gulvvarmen i smågrise-huler i farestalden (figur 2.1).



**Figur 2.1:** Skitse af gyllekølingsanlæg med køleslanger, varmepumpe, bufferbeholder, kalorifer til afsætning af eventuel overskudsvarme og varmedafsætning i smågrisehuler i farestalden (Miljøstyrelsen, 2011).

Ved gyllekøling er økonomien stærkt afhængig af afsætningsmulighederne af varmen. I sobesætninger kan en del af varmen fra køling af gyllen f.eks. afsættes til opvarmning af farestalde og smågrisestalde. I slagtesvine-stalde kan der derimod kun i sjældne tilfælde regnes med at være afsætningsmulighed for overskudsvarmen, og da kun om vinteren.

Hvordan gyllekøling påvirker emissionen af ammoniak, afhænger af køleeffekten ( $\text{W m}^{-2}$  gylleoverflade) og driftstiden (timer  $\text{år}^{-1}$ ). Danske undersøgelser har vist, at gyllekøling i stalde med rørudslusning både har effekt på ammoniak og lugt (Holm et al., 2017), mens gyllekøling i stalde med linespil kun er undersøgt i forhold til effekten på ammoniak (Pedersen, 2005; Holm et al., 2016). Gyllekøling i stalde med rørudslusning er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt op til 30 %. Gyllekøling i stalde med linespil er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt op til 34 %. Effekten af gyllekøling i stalde med linespil og rørudslusning beregnes efter formlerne (1) og (2) angivet nedenfor.

$$\text{Gyllekøling i svinestalde med linespil: Ammoniakreduktion, \%} = 1,66x - 0,02x^2 \quad (x = \text{W/m}^2) \quad (1)$$

$$\text{Gyllekøling i svinestalde med rørudslusning: Ammoniakreduktion, \%} = 0,85x - 0,004x^2 \quad (x = \text{W/m}^2) \quad (2)$$

Effekten på ammoniak, der kan beregnes af formlerne (1) og (2), er ved en driftstid på 8760 timer svarende til ét år, og ved lavere driftstid reduceres effekten på ammoniak forholdsmæssigt. Driftstiden vil typisk være mellem 40-80 % af året.

*Specifikationer.* Gyllekøling med linespil (2.1a-c og 2.2a-c). Køleeffekten skal i gennemsnit være minimum 6,5 W/m<sup>2</sup> over et år for at opnå en 10 % reduktion af ammoniakemissionen. Der skal anvendes datalogger/energimåler til at dokumentere køleeffekten på årsniveau. Denne teknologi kan ikke kombineres med punktudsugning eller gylleforsuring i samme staldafsnit. Et staldafsnit er her defineret ved en enhed i et fast placeret husdyranlæg, der er adskilt fra andre dele af anlægget, således at emissioner, herunder ammoniak- og lugtemission, ikke umiddelbart kan spredes til andre dele af anlægget.

*Obligatoriske elementer.* Gyllekøling med linespil (2.1a-c og 2.2a-c). Gyllekøleslanger, der nedstøbes i kanalbunden i gyllekummerne. Varmepumpe, der tilsluttes gyllekøleslangerne (fyldes med vand tilsat frostvæske). Buffertank/akkumuleringstank, hvortil varmepumpen overfører varmen fra køleslangerne. Energimåler/datalogger, der kan logge køleydelsen i kWh per år eller en timetæller, der kan registrere driftstiden i timer for varmepumpen per år (kun for on/off varmepumper).

*Specifikationer.* Gyllekøling med rørudslusning (2.3a-c, 2.4a-c). Køleeffekten skal i gennemsnit være minimum 12,5 W/m<sup>2</sup> over et år for at opnå en 10 % reduktion af ammoniakemissionen. Der skal anvendes datalogger/energimåler til at dokumentere køleeffekten på årsniveau. Denne teknologi kan ikke kombineres med punktudsugning eller gylleforsuring i samme staldafsnit. Et staldafsnit er her defineret ved en enhed i et fast placeret husdyranlæg, der er adskilt fra andre dele af anlægget, således at emissioner, herunder ammoniak- og lugtemission, ikke umiddelbart kan spredes til andre dele af anlægget.

*Obligatoriske elementer.* Gyllekøling med rørudslusning. Gyllekøleslanger, der nedstøbes i kanalbunden i gyllekummerne. Varmepumpe, der tilsluttes gyllekøleslangerne (fyldes med vand tilsat frostvæske). Buffertank/akkumuleringstank, hvortil varmepumpen overfører varmen fra køleslangerne. Energimåler/datalogger, der kan logge køleydelsen i kWh per år eller en timetæller, der kan registrere driftstiden i timer for varmepumpen per år (kun for on/off varmepumper).

### **Standardmiljøeffekt: Gyllekøling med linespil**

Standardmiljøeffekten for gyllekøling med linespil er angivet i Tabel 2.2. For at opnå en minimumseffekt på 10% for gyllekøling med linespil skal køleeffekten minimum være 6,5 W/m<sup>2</sup>, og den maksimale effekt, der kan opnås, er ved en køleeffekt på 36,5 W/m<sup>2</sup>. Indenfor intervallet mellem 6,5 – 36,5 W/m<sup>2</sup> er der defineret tre intervaller, a, b og c, for køleeffekt og for hver af disse intervaller er standardmiljøeffekten beregnet for den gennemsnitlige køleeffekt, 11, 22 og 32 W/m<sup>2</sup>. Standardmiljøeffekten for smågrise, diegivende søer og drægtige søer er indenfor ±0,02 kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal, og disse dyregrupper er derfor slået sammen til en kategori. For slagtesvin er standardmiljøeffekt beregnet som en særskilt kategori. Levetiden for gyllekøling med linespil er sat til 20 år (Callesen & Jacobsen, 2023a).



**Tabel 2.2:** Standardmiljøeffekt for gyllekøling med linespil

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
2.1a	Gyllekøling m. linespil: 6.5 - 16 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin (anvendt køleeffekt: 11 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Slagtesvin	0.37
2.1b	Gyllekøling m. linespil: 17 - 26 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin (anvendt køleeffekt: 22 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Slagtesvin	0.60
2.1c	Gyllekøling m. linespil: 27 - 36.5 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin (anvendt køleeffekt: 32 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Slagtesvin	0.74
2.2a	Gyllekøling m. linespil: 6.5 - 16 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise (anvendt køleeffekt: 11 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Søer og smågrise	0.19
2.2b	Gyllekøling m. linespil: 17 - 26 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise (anvendt køleeffekt: 22 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Søer og smågrise	0.31
2.2c	Gyllekøling m. linespil: 27 - 36.5 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise (anvendt køleeffekt: 32 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Søer og smågrise	0.38

### Standardmiljøeffekt: Gyllekøling med rørudslusning

Standardmiljøeffekten for gyllekøling med rørudslusning er angivet i Tabel 2.3. For at opnå en minimumseffekt på 10 % for gyllekøling med rørudslusning skal køleeffekten minimum være 12,5 W/m<sup>2</sup> og den maksimale effekt, der kan opnås, er ved en køleeffekt på 44,7 W/m<sup>2</sup>. Indenfor intervallet mellem 12,5 - 44,7 W/m<sup>2</sup> er der defineret tre intervaller for køleeffekt, og for hver af disse intervaller er standardmiljøeffekten beregnet for den gennemsnitlige køleeffekt, 17, 28 og 39 W/m<sup>2</sup>. Standardmiljøeffekten for smågrise, diegivende søer og drægtige søer er indenfor ±0,02 kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal og disse dyregrupper er derfor slået sammen til en kategori. For slagtesvin er standardmiljøeffekt beregnet som en særskilt kategori. Levetiden for gyllekøling med rørudslusning er sat til 20 år (Callesen & Jacobsen, 2023a).

**Tabel 2.3:** Standardmiljøeffekt for gyllekøling med rørudslusning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
2.3a	Gyllekøling m. rørudslusning: 12.5 - 22 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin (anvendt køleeffekt: 17 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Slagtesvin	0.31
2.3b	Gyllekøling m. rørudslusning: 23 - 33 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin (anvendt køleeffekt: 28 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Slagtesvin	0.47
2.3c	Gyllekøling m. rørudslusning: 34 - 44.7 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin (anvendt køleeffekt: 39 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Slagtesvin	0.62
2.4a	Gyllekøling m. rørudslusning: 12.5 - 22 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise (anvendt køleeffekt: 17 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Søer og smågrise	0.16
2.4b	Gyllekøling m. rørudslusning: 23 - 33 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise (anvendt køleeffekt: 28 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Søer og smågrise	0.24
2.4c	Gyllekøling m. rørudslusning: 34 - 44.7 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise (anvendt køleeffekt: 39 W/m <sup>2</sup> ; 100 % driftstid)	20	Søer og smågrise	0.32

## Luftrensning

Der er overordnet set to typer af luftrensningsteknologier til svinestalde, kemisk luftrensning og biologisk luftrensning. Der er desuden luftrensere, hvor disse to typer er kombineret og disse benævnes i nærværende rapport som kombirensere.

### Kemisk luftrensning

Kemisk luftrensning med syre er baseret på en renseproces, hvor ventilationsluften ledes igennem et tågekammer med væskedyser eller en filtermatrice, der konstant overrisles med en sur vandig opløsning (Adamsen et al., 2022). Derved opsamles en stor del af luftens indhold af ammoniak og støv. Luftens passage gennem rensere kan finde sted enten efter tværstrøms- eller modstrøms-princippet. Filtermatricen eller kammeret med mættet syreopløsning skaber en 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 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), der ikke fordamper. Kemisk luftrensning med syre fra Munters A/S er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 89 %. En kemisk luftrenser kan endvidere være udformet med et syre- og et basetrin, hvor syretrinet fjerner ammoniak og basetrinet fjerner lugtstoffer. En to-trins luftrenser fra AgriFarm A/S

med et syre- og et basetrin er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 91 %.

### **Biologisk luftrensning**

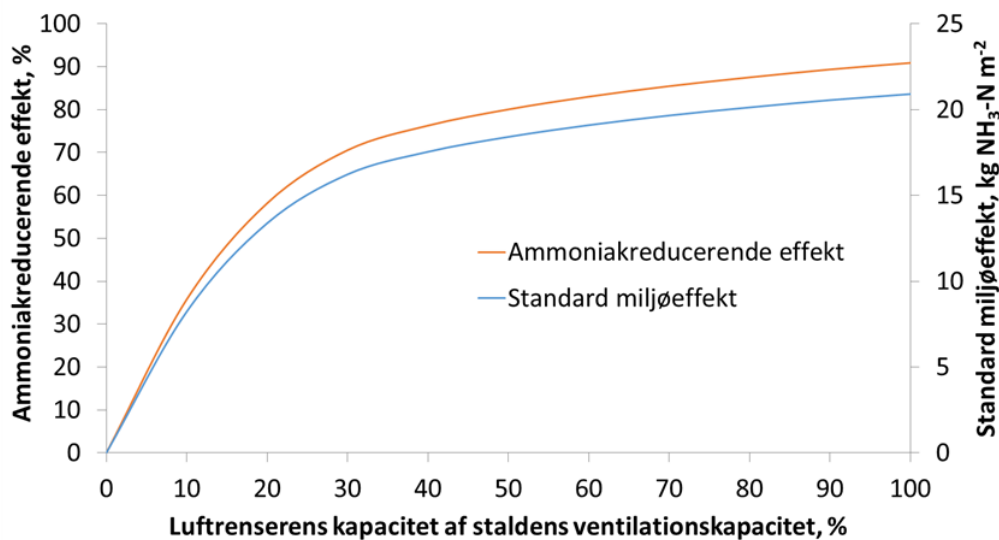
Ved biologisk luftrensning ledes ventilationsluften gennem et filtermateriale med en overflade, hvorpå en biofilm bestående af mikroorganismer omsætter ammoniak og lugtstoffer i staldluften (Kai et al., 2022a). Der findes forskellige typer af biologiske luftrensere, men den mest udbredte er den biologiske luftvasker, hvor filtermaterialet overrisles med recirkuleret vand. Af hensyn til at opretholde den mikrobielle aktivitet i luftrenseren, læses der med jævne mellemrum overrislingsvand og der efterfyldes med frisk vand. En to-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 88 %. Der findes endvidere en tre-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S med en ammoniakreducerende effekt på 87 %. En biologisk luftrenser fra RIMU GmbH, som forhandles af KJ Klimateknik er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 89%.

### **Kombiluftrensere**

Ved en kombiluftrenser vil der være to eller flere filtertrin, som enten er kemiske eller biologiske. Det første filtertrin vil oftest være et syretrin, der anvendes til at fjerne ammoniak mens det efterfølgende er et biologisk trin, der fjerner lugtstoffer. En to-trins luftrenser fra INNO+/SKOV A/S med et syretrin og biologisk trin er testet og optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 96%.

## **Delluftrensning (luftrensningsanlæg i form af en kemisk luftrenser, biologisk luftrenser eller kombi-luftrenser)**

Om sommeren opererer ventilationsanlægget i husdyrstalde med høj ydelse for at fjerne overskudsvarmen, mens der om vinteren, når udetemperaturen er lav, skal der anvendes en betydeligt mindre luftmængde til at opretholde en tilfredsstillende luftkvalitet. Typisk opererer ventilationsanlægget i en slagtesvinestald med en ydelse på under 25% af staldens ventilationskapacitet i cirka 50 % af året. Dimensioneres ventilationsanlægget, så 25% af luften behandles i en luftrenser, så vil al udsugningsluft blive rensat omkring halvdelen af året (Kai et al., 2007). Afhængig af kravet til ammoniakreduktion, kan der derfor med fordel anvendes en luftrenser med en lavere kapacitet end staldens samlede ventilationsbehov, og dette princip kaldes delluftrensning. For at opnå den største effekt af delluftrensning, ledes staldluften igennem luftrenseren i det omfang, denne har kapacitet. Først når staldens ventilationsbehov overstiger luftrenserens kapacitet, ledes ubehandlet luft ud af stalden. I figur 2.2 er vist den ammoniakreducerende effekt og standard miljøeffekt for en kemisk luftrenser i en slagtesvinestald med 1/3 drænet og 2/3 spaltegulv og ved varierende kapacitet af luftrenseren. Figur 2.2 bygger på idealiserede forhold, og i praksis kan der forekomme afvigelser som følge af brug af anden luftrenser, 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 enkelte tilfælde.



**Figur 2.2:** Ammoniakreducerende effekt og standard miljøeffekt (i teknologiens levetid) for en kemisk luftrenser i en slagtesvinestald med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv som funktion af luftrensersens kapacitet i % af staldens ventilationskapacitet (baseret på Staldvent-beregning). Luftrenseren har en effektivitet på 91% for så vidt angår den del af luften der renses.

*Specifikationer.* Delluftrensning. Teknologien kan anvendes i staldafsnit med slagtesvin, smågrise, diegivende søer og drægtige søer. Denne teknologi kan ikke kombineres med punktudsugning eller andre typer af luftrensere i samme staldafsnit. Et staldafsnit er her defineret ved en enhed i et fast placeret husdyranlæg, der er adskilt fra andre dele af anlægget, således at emissioner, herunder ammoniak- og lugtemission, ikke umiddelbart kan spredes til andre dele af anlægget.

*Obligatoriske elementer.* Delluftrensning. Luftrensningsanlæg i form af en kemisk luftrenser (2.5, 2.8, 2.11), biologisk luftrenser (2.6, 2.9, 2.12) eller kombi-luftrensere (2.7, 2.10, 2.13). Luftkanal til sammenkobling af luftrenseren med staldsystemets ventilationsanlæg. Betonplatform til placering af luftrensningsanlæg uden for staldsystemet eller selvstændigt rum i eller uden for staldbygningen til indbygning af luftrensningsanlægget. Tilslutning til vand og/eller beholdere med syre og base. Rørsystem til afledning af spildevand/lænsesvæske fra et flere filtertrin i luftrenseren.

### Standardmiljøeffekt: Delluftrensning

Standardmiljøeffekten for delluftrensning er angivet i Tabel 2.4. Standardmiljøeffekten for delluftrensning er beregnet for en luftrenser med en ammoniakreducerende effekt på 91%. Der er en begrænset forskel i den ammoniakreducerende effekt for de luftrensere, som er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste (87 – 96 %) og den beregnede standardmiljøeffekt er derfor gældende for kemisk luftrensning med syre, kemisk luftrensning med syre/base, biologisk luftrensning og en kombiluftrenser med et kemisk og et biologisk filtertrin. Inden for intervallet mellem 10–70 % delluftrensning er der defineret tre intervaller, og for hver af disse intervaller er standardmiljøeffekten beregnet for den gennemsnitlige delluftrensning, 20 %, 40 % og 60 %. Standardmiljøeffekten for smågrise og diegivende søer er indenfor  $\pm 0,04$  kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal og disse dyregrupper er derfor slået sammen til en kategori. For slagtesvin og drægtige søer er standardmiljøeffekten beregnet som en særskilt kategori. Levetiden for luftrensning er sat til 10 år (Callesen & Jakobsen, 2023b; Callesen & Jakobsen, 2023c).

**Tabel 2.4:** Standardmiljøeffekt for delluftrensning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
2.5a, 2.6a, 2.7a	10-29 % delluftrensning, slagtesvin  (delluftrensning beregnet for: 20 %)	10	Slagtesvin	1.36
2.5b, 2.6b, 2.7b	30-49 % delluftrensning, slagtesvin  (delluftrensning beregnet for: 40 %)	10	Slagtesvin	1.78
2.5c, 2.6c, 2.7c	50-70 % delluftrensning, slagtesvin  (delluftrensning beregnet for: 60 %)	10	Slagtesvin	1.94
2.8a, 2.9a, 2.10a	10-29 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer  (delluftrensning beregnet for: 20 %)	10	Smågrise og diegivende søer	0.95
2.8b, 2.9b, 2.10b	30-49 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer  (delluftrensning beregnet for: 40 %)	10	Smågrise og diegivende søer	1.06
2.8c, 2.9c, 2.10c	50-69 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer  (anvendt delluftrensning: 60%)	10	Smågrise og diegivende søer	1.09
2.11a, 2.12a, 2.13a	10-29 % delluftrensning, drægtige søer  (delluftrensning beregnet for: 20 %)	10	Drægtige søer	0.54
2.11b, 2.12b, 2.13b	30-49 % delluftrensning, drægtige søer  (delluftrensning beregnet for: 40 %)	10	Drægtige søer	0.79
2.11c, 2.12c, 2.13c	50-69 % delluftrensning, drægtige søer  (delluftrensning beregnet for: 60 %)	10	Drægtige søer	0.90

## Punktudsugning med luftrensning

Delluftrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrenseren tilsluttes et punktudsugningsanlæg. Princippet ved denne fremgangsmåde er at koncentrere en stor andel af ammoniak- og lugtemissionen i så lille en luftmængde som muligt, og efterfølgende behandle luften med en luftrenser. Der er gennemført en række undersøgelser (Riis et al., 2014, Jørgensen & Riis, 2014, Zong et al., 2014, Zong et al., 2015, Van Huffel et al., 2016, Van Huffel et al., 2019), som viser, at punktudsugning, hvor ca. 10 % af staldens ventilationskapacitet suges ud af stalden i gyllekanalen under eller tæt ved grisenes lejeareal bevirker, at en stor andel af den fordampede ammoniak og lugt kan opfanges i en lille luftmængde, mens koncentrationen af ammoniak og lugt er relativ lav i den resterende staldluft, som ledes ubehandlet ud af stalden. Punktudsugning på 10 % af staldens ventilationskapacitet kombineret med luftrensning er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste for slagtesvinestalde med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv og delvist fast gulv (25 -49 % fast gulv). Den samlede ammoniakreducerende effekt ved brug af en luftrenser med en given renseseffekt (E, %) kan beregnes efter følgende formel:

$$\text{Samlet ammoniakreducerende effekt (\%)} = 0,7 \times E - 12.$$

Staldkonceptet Intellifarm med kombination af 18 % punktudsugning og hyppig gylleudslusning i en stald med delvist fast gulv (25 -49 % fast gulv) er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste. Den samlede ammoniakreducerende effekt ved staldkonceptet Intellifarm ved brug af en luftrenser med en given renseseffekt (E, %) kan beregnes efter følgende formel:

$$\text{Samlet ammoniakreducerende effekt (\%)} = 0,86 \times E - 11.$$

Det er kun luftrensere som er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste i forhold til punktudsugning, som kan anvendes til dette formål.

*Specifikationer.* Punktudsugning med luftrensning. Teknologien kan anvendes i staldafsnit med slagtesvin udformet med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv eller delvist fast gulv (25 -49 % fast gulv). Denne teknologi kan ikke kombineres med gyllekøling, forsuring og andre typer af luftrensere i samme staldafsnit. Et staldafsnit er her defineret ved en enhed i et fast placeret husdyranlæg, der er adskilt fra andre dele af anlægget, således at emissioner, herunder ammoniak- og lugtemission, ikke umiddelbart kan spredes til andre dele af anlægget.

*Obligatoriske elementer.* Punktudsugning med luftrensning. Luftrensningsanlæg i form af en kemisk luftrenser, biologisk luftrenser eller kombiluftrenser. Ventilationskanaler (hoved- og sidekanal) til punktudsugning og sammenkobling med luftrenseren. Betonplatform til placering af luftrensningsanlæg uden for staldsystemet eller selvstændigt rum i eller uden for staldbygningen til indbygning af luftrensningsanlægget. Tilslutning til vand og/eller beholdere med syre og base. Rørsystem til afledning af spildevand/læsevæske fra et flere filtertrin i luftrenseren.

### Standardmiljøeffekt: Punktudsugning med luftrensning

Standardmiljøeffekten for punktudsugning med luftrensning er angivet i Tabel 2.5. Standardmiljøeffekten for punktudsugning med luftrensning er beregnet for en luftrenser med en ammoniakreducerende effekt på 91%. Der er en begrænset forskel i den ammoniakreducerende effekt for de luftrensere, som er optaget på Miljøstyrel-



sens teknologiliste til brug ved punktudsugning (89 – 96%) og den beregnede standardmiljøeffekt er derfor gældende for alle luftrensere optaget til brug ved punktudsugning. Punktudsugning med luftrensning er kun godkendt til brug ved slagtesvin. Levetiden for luftrensning er sat til 10 år (Callesen & Jakobsen, 2023b; Callesen & Jakobsen, 2023c).

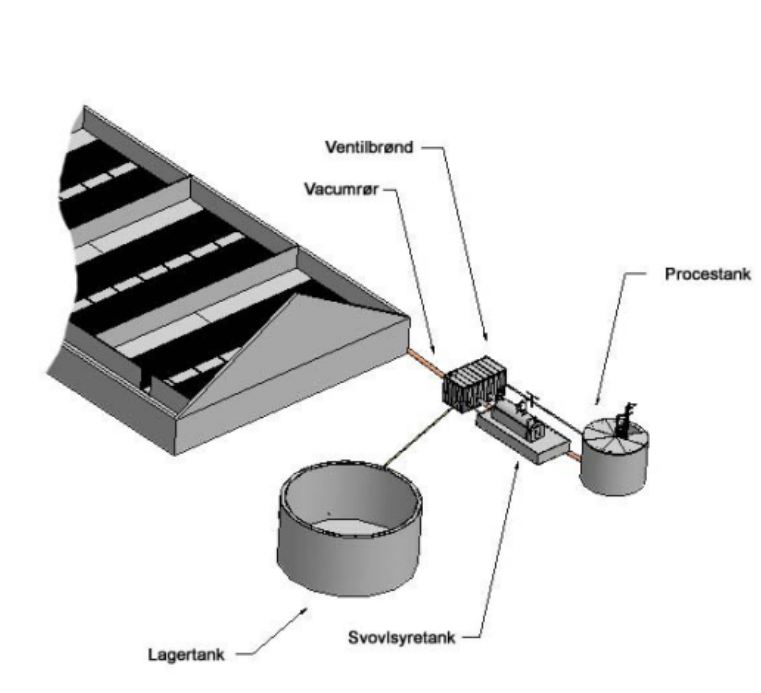
**Tabel 2.5:** Standardmiljøeffekt for punktudsugning med luftrensning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
2.14	Punktudsugningsanlæg med luftrensning: 10 % punktudsugning, slagtesvin	10	Slagtesvin	1.21
2.15	Punktudsugningsanlæg med luftrensning: 18 % punktudsugning <sup>1</sup> , slagtesvin	10	Slagtesvin	1.27

<sup>1</sup> Skal anvendes i kombination med konceptstalden Intellifarm med delvist fast gulv (25-49 % fast gulv) og hyppig gylleudslusning og standardmiljøeffekten er beregnet i forhold til en stald med delvist fast gulv.

## Gylleforsuring

Ved staldforsuring af gylle pumpes gyllen dagligt fra gyllekanaler i stalden til en udendørs procestank, hvor koncentreret svovlsyre (96 %) tilsættes under konstant omrøring indtil der nås en pH-værdi på 5,5 og efterfølgende pumpes en mindre del af gyllen tilbage til gyllekanalerne i stalden og resten til en lagertank (Kai et al., 2022b), se figur 2.3. Forsøg i slagtesvinestalde har vist en klar effekt af staldforsuring på ammoniakemissionen fra både stald, lager og udbringning (Kai et al., 2008; Petersensen et al., 2014; Petersen et al., 2016). Staldforsuringsanlæg fra JH Agro er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt i svinestalde på 64 %, men der er ikke effekt på lugt. Gylleforsuring kan endvidere kombineres med mekanisk separation af gyllen, og her er et anlæg fra JH Agro, som ligeledes er optaget med en ammoniakreducerende effekt på 64 %.



**Figur 2.3:** Skitse af anlæg til staldforsuring af gylle i svinestalde (Kai et al., 2022b).

*Specifikationer.* Gylleforsuring. Teknologien kan anvendes i staldafsnit med slagtesvin, smågrise og søer. Der må kun anvendes svovlsyre og styringen af anlægget skal indstilles til at behandle gyllen til pH-værdi 5,5. Gyllens pH-værdi skal registreres elektronisk før og efter hver svovlsyrebehandling. Der skal endvidere føres en elektronisk statistik, der som minimum indeholder oplysninger om de gennemsnitlige pH-værdier i gyllen på månedsbasis før svovlsyrebehandling. Anlægget skal have niveau-overvågning af gyllestand i lagertank og en alarm installeret sammen med forsøringsanlægget. Denne teknologi kan ikke kombineres med gyllekøling eller punktudsugning i samme staldafsnit. Et staldafsnit er her defineret ved en enhed i et fast placeret husdyranlæg, der er adskilt fra andre dele af anlægget, således at emissioner, herunder ammoniak- og lugtemission, ikke umiddelbart kan spredes til andre dele af anlægget.

*Obligatoriske elementer.* Gylleforsuring. Syretank til opbevaring koncentreret svovlsyre. Pullerter til beskyttelse af syretank mod påkørsel. Nødbruser som sikkerhedsanordning ved syretank. Procestank til behandling af gylle med svovlsyre. Pumpe og omrører for procestanken. Målestation til måling af pH i procestank i forbindelse med forsuring. Teknikbrønd med ventiler til tømning og fyldning af gyllekummer og procestank. PLC styring, inklusive Software til teknikbrønd med ventiler. Følere til niveauovervågning i lagertank, inklusive alarm.

*Valgfrie elementer.* Gylleforsuring. Separationsanlæg til mekanisk separation af gylle.

### Standardmiljøeffekt: Gylleforsuring svin

Standardmiljøeffekten for gylleforsuring er angivet i Tabel 2.6. Standardmiljøeffekten for forsuring er beregnet uden at medtage en ammoniakreduktion i lageret, da teknologien kun er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreduktion i stalden. Standardmiljøeffekten for smågrise, diegivende søer og drægtige søer er indenfor  $\pm 0,04 \text{ kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$  produktionsareal og disse dyregrupper er derfor slået sammen til en kategori. For slagtesvin er standardmiljøeffekt beregnet som en særskilt kategori. Levetiden for gylleforsuring er sat til 15 år (Kai et al., 2022b).

**Tabel 2.6:** Standardmiljøeffekt for gylleforsuring svin.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
2.16a	Gylleforsuring, slagtesvin	15	Slagtesvin	1,46
2.16b	Gylleforsuring, søer og smågrise	15	Søer og smågrise	0,75
2.16c	Gylleforsuring med separation, slagtesvin	15	Slagtesvin	1,46
2.16d	Gylleforsuring med separation, søer og smågrise	15	Søer og smågrise	0,75

## Referencer

- Adamsen, A.P.S., P. Kai, M.J. Hansen, G.M. Callesen, & B.H. Jacobsen. 2022. Kemisk luftrensning i grisestalde. Kemisk luftrensning i grisestalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 41 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Børsting, C.F., A.L.F. Hellwing, M.T. Sørensen, P. Lund, M.V.D. Heide, S.H. Møller, P. Kai, T. Nyord, O. Aaes, E. Clausen, P. Tybirk, M. Holm, M.N. Hansen, H.B. Jensen & H. Bækgaard. 2021. Normtal for husdyrgødning. DCA-Rapport nr. 191.
- Callesen, G.M. & B.H. Jacobsen. 2023a. Omkostninger ved gyllekøling på svinebedrifter. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Dokumentation Nr. 2022/1.
- Callesen, G.M. & B.H. Jacobsen. 2023b. Analyse af omkostninger ved biologisk luftrensning i svinestalde. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Dokumentation Nr. 2022/9.
- Callesen, G.M. & B.H. Jacobsen. 2023c. Omkostninger ved kemisk luftrensning i svinestalde. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Dokumentation Nr. 2022/10.
- Holm, M, K.B. Sørensen & M.B.F. Nielsen. 2016. Ammoniakreduktion ved gyllekling i løbe-/drægtighedsstald med linespilsanlæg. Meddelelse nr. 1089. SEGES Svineproduktion.
- Holm, M, K.B. Sørensen & M.B.F. Nielsen. 2017. Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde. Meddelelse nr. 1105. SEGES Svineproduktion.
- Jørgensen, M. & A.L. Riis. 2014. 10% punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med fast gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 1000. SEGES Svineproduktion.
- Kai, P. & A.P.S. Adamsen. 2017. Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning. Del 2: Emissionsfaktorer. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet. Danmark. 89 sider. Technical report BCE –TR-12.
- 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, pp. 148–154.
- Kai, P., M.J. Hansen, G.M. Callesen, & B.H. Jacobsen. 2022a. Biologisk luftrensning i grisestalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 38 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Kai, P, A.P.S. Adamsen, G.M. Callesen & B.H. Jacobsen. 2022b. Svovlsyreforsuring af gylle i grisestalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 20 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Miljøstyrelsen. 2011. Køling af gylle i slagtesvinestalde. Miljøstyrelsens Teknologiblad. 2. udgave, 26.01.2011.

- Pedersen, P. 2005. Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694. SEGES Svineproduktion.
- Petersen, S.O., O. Højbjerg, M. Poulsen, C. Schwab & J. Eriksen. 2014. Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. *Journal of Applied Microbiology*, 117, pp. 160-172.
- Petersen, S.O., N.J. Hutchings, S.D. Hafner, S.G. Sommer, M. Hjorth & K.E.N. Jonassen. 2016. Ammonia abatement by slurry acidification: A pilot-scale study of three finishing pig production periods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, pp. 258-268.
- Riis, A.L., M. Jørgensen & P. Hansen. 2014a. 10 % punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 998. SEGES Svineproduktion.
- Van Huffel, K, M.J. Hansen, A. Feilberg, D. Liu & H. Van Langenhove. 2016. Level and distribution of odorous compounds in pig exhaust air from combined room and pit ventilation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 218, pp. 209-219.
- Van Huffel, K., M.J. Hansen, J. Bruneel, H. Van Langenhove & A. Feilberg. 2019. Extraction efficiency of odorous compounds during a winter and summer period for partial pit ventilation in pig houses with diffuse ceiling inlet and wall inlets. *Biosystems Engineering*, 179, pp. 71-79.
- Zong, C., Y. Feng, G. Zhang & M.J. Hansen. 2014. Effects of different air inlets on indoor air quality and ammonia emission from two experimental fattening pig rooms with partial pit ventilation system – summer conditions. *Biosystems Engineering*, 122, pp. 163-173.
- Zong, C., H. Li & G. Zhang. 2015. Ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pig house with two types of partial pit ventilation systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 208, pp. 94-105.

## Indsatsområde 3: Kvæg, reduktion af ammoniakemission

*Forfattere: Christian Friis Børsting, Institut for Husdyrvidenskab & Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU*

### Grundlag for beregning af miljøeffekt kvægstalde

Beregningerne af standardmiljøeffekt for ammoniak er foretaget på grundlag af emissionsfaktorer for stald og lager (Børsting et al., 2021) samt teknologiernes ammoniakreducerende effekt. For staldteknologierne er beregningerne lavet som en kædebetragtning, hvor ammoniakreduktionen er beregnet samlet for både stald og lager i forhold til produktionsarealet i stalden. Beregninger er foretaget med udgangspunkt i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021). Standardmiljøeffekten er angivet som teknologiens årlig miljøeffekt per m<sup>2</sup> produktionsareal (kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal). Christian Friis Børsting, Institut for Husdyrvidenskab har været faglig ansvarlig for fodrings- og overvågningsteknologier, mens Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio-Kemiteknologi har været faglig ansvarlig for stald- og lagerteknologier.

### Referencestald

Standardmiljøeffekten for miljøteknologier i kvægstalde er beregnet i forhold til de referencestalde, som er angivet i Tabel 3.1. For både malkekøer og slagtekalve er der anvendt stor race og sengebåsestalde med spalter (kanal, bagskyl el. ringkanal). For slagtekalve antages det, at der produceres 2,0 slagtekalve per stiplads per år (Kai & Adamsen, 2017).

**Tabel 3.1:** Referencestalde anvendt i beregning af standardmiljøeffekt for kvægstalde.

Dyregruppe	Staldtype	Areal per årsko/slagtekalv m <sup>2</sup>	Emission kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal		
			Stald	Lager	Stald + lager
Malkekøer	Sengebåsestalde med spalter (kanal, bagskyl el. ringkanal)	8,0	1,23	0,27	1,50
Slagtekalve	Sengebåsestalde med spalter (kanal, bagskyl el. ringkanal)	4,1	1,03	0,22	1,25

### Kriterier for udvælgelse af teknologier

Det afgørende kriterie for udvælgelse af miljøteknologier til stald og lager har været, at der er dokumentation for teknologiernes ammoniakreducerende effekt, og at der som minimum kan opnås en ammoniakreducerende effekt på 10 %. For fodrings- og overvågningsteknologier har kriteriet for udvælgelse været, at teknologierne er vurderet effektive til at øge foderudnyttelsen eller reducere foderets procentvise indhold af råprotein med deraf følgende effekt på udskillelsen af urin-N og dermed ammoniakemissionen.

## Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde

Den første forudsætning for fasefodring er, at der skal købes udstyr til måling af mælkeydelsen på den enkelte ko for at følge ydelsen dagligt. Der skal installeres én mælkemåler pr. malkeplads. Disse målinger skal anvendes til at finde det tidspunkt i laktationen, hvor den enkelte ko kan nøjes med et foder med et mindre energi- og protein-(N-) indhold. Ved at tilpasse foderets energiindhold til koens behov i forskellige dele af laktationen forventes det, at der på laktationsbasis kan spares ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Når foderets N-indhold reduceres i den sidste del af laktationen, forventes det, at der set over hele laktationen desuden kan spares ca. 3 % på foderets gennemsnitlige indhold af N. Disse effekter er dog ikke dokumenteret i forsøg, men skønnede, blandt andet ud fra test i praksis (Bligaard og Strudsholm, 2010). De fandt dels, at fodring i forhold til ydelse kan reducere proteinforbruget, dels at de besætninger, der laver tæt opfølgning på fodringen gennem Kvægnøglen, brugte 164 g råprotein/kg tørstof, hvilket netop er 3 % lavere end de 169 g råprotein/kg tørstof, der lå til grund for husdyrgødningsnormerne fra 2020/2021 (Børsting et al., 2021). Den årlige standardmiljøeffekt pr. areal ( $\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$  produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8  $\text{m}^2$  per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al 2019.

Baseret på de individuelle mælkemålinger kan køerne inddeles i to eller flere fodringshold, der skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Hvis ikke stalden allerede er indrettet, så køerne uden ekstra udstyr kan komme tilbage til deres eget fodringshold, skal der investeres i selektionsudstyr, der sikrer, at dette er tilfældet. Alternativet til fodring med forskellige slags fuldfoder er individuel tildeling af kraftfoder, som beskrevet for teknologien: Fasefodring med kraftfoder.

*Specifikationer.* Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Der skal søges om mælkemålere til alle eksisterende malkepladser, for at teknologien er tilskudsberettiget. Mælkemåleren skal måle ydelsen (mængde af mælk). Der kan ikke søges om tilskud til mælkemåler, når der malkes ved robotter. Bemærk at der skal anvendes selektionsudstyr for at sikre, at køerne inddeles i to eller flere fodringshold. Der kan anvendes eksisterende udstyr, eller der kan investeres i nyt udstyr som er tilskudsberettiget. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Denne teknologi kan ikke kombineres med teknologi 3.2, 3.3, 3.4 eller 3.5 til de samme køer. i *Obligatoriske elementer.* Mælkemålere til malkestalde og -karusseller.

*Valgfrie elementer.* Selektionsudstyr, herunder separationslåger med ID-identifikation og software, selektions- eller separationsboks, 2-vejs, selektions- eller separationsboks, 3-vejs.

### **Standardmiljøeffekt: Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde**

Standardmiljøeffekten for fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde hos malkekøer er angivet i Tabel 3.2. Levetiden er sat til 15 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

**Tabel 3.2:** Standardmiljøeffekt for fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.1	Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkemængde	15	Malkekøer	0.20

## Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkenes sammensætning

Den første forudsætning er, at der købes udstyr til måling af mælkenes sammensætning for den enkelte ko. Der skal kunne måles på mælkenes sammensætning fra alle malkepladser eller hver malkeobot, enten med en central prøvetagnings- og måleenhed, som kobles til alle malkepladser, eller ved prøvetagnings- og måleudstyr ved hver malkeplads. Disse målinger skal anvendes til at finde det tidspunkt i laktationen, hvor den enkelte ko kan nøjes med et foder med et mindre energi- og protein- (N-) indhold. Ved at tilpasse foderets energiindhold til koens behov i forskellige dele af laktationen forventes det, at der på laktationsbasis kan spares ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Når foderets N-indhold reduceres i den sidste del af laktationen, forventes det, at der set over hele laktationen desuden kan spares ca. 3 % på foderets gennemsnitlige indhold af N. Disse effekter er dog ikke dokumenteret i forsøg, men skønnede blandt andet ud fra test i praksis af Bligaard og Strudsholm (2010). Den årlige standardmiljøeffekt (kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m<sup>2</sup> per stalplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al (2019).

Baseret på de individuelle målinger skal køerne inddeles i to eller flere fodringshold, der skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Hvis ikke stalden allerede er indrettet, så køerne uden ekstra udstyr kan komme tilbage til deres eget fodringshold, skal der investeres i selektionsudstyr, der sikrer at dette er tilfældet. Alternativet til fodring med forskellige slags fuldfoder er individuel tildeling af kraftfoder, som beskrevet for teknologien: Fasefodring med kraftfoder.

*Specifikationer.* Teknologien skal anvendes til malkekøer. Der skal kunne måles på mælkenes sammensætning fra alle malkepladser, enten med en central prøvetagning- og måleenhed, som kobles til alle malkepladser, eller ved prøvetagnings- og måleudstyr pr. malkeplads. Teknologien kan bruges ved alle typer malkeanlæg. Bemærk at der skal anvendes selektionsudstyr for at sikre, at køerne inddeles i to eller flere fodringshold efter malkning. Der kan anvendes eksisterende udstyr, eller der kan investeres i nyt udstyr som er tilskudsberettiget. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Denne teknologi kan ikke kombineres med teknologi 3.1, 3.3, 3.4 eller 3.5 til de samme køer. *Obligatoriske elementer.* Udstyr til måling af mælkenes indhold af fedt, protein eller urea.

*Valgfrie elementer.* Selektionsudstyr, herunder separationslåger med ID-identifikation og software, selektions- eller separationsboks, 2-vejs, selektions- eller separationsboks, 3-vejs.



## Standardmiljøeffekt: Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkens sammensætning

Standardmiljøeffekten for fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælkens sammensætning hos malkekøer er angivet i Tabel 3.3. Levetiden er sat til 15 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

Tabel 3.3: Standardmiljøeffekt for Fasefodring baseret på mælkens sammensætning

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.2	Fasefodring med fuldfoder baseret på mælkens sammensætning	15	Malkekøer	0,20

## Fasefodring med kraftfoder

Kraftfoderautomater til malkekøer muliggør tildeling af den kraftfodermængde og sammensætning, der passer til den enkelte kos behov baseret på mælkeydelse målt ved almindelig ydelseskontrol, samt koens stadiet i laktationen. Behovet kan i stedet baseres på daglige mælkemålinger eller mælkens sammensætning.

Ligesom ved brug af flere slags fuldfoder med varierende energi- og N-indhold kan individuel tildeling af kraftfoder bruges til at tilpasse foderet til koens behov igennem laktationen, så der på laktationsbasis anses en besparelse på ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Når foderets N indhold reduceres i den sidste del af laktationen forventes der - set over hele laktationen - desuden en besparelse på ca. 3 % af foderets gennemsnitlige indhold af N. Disse effekter er dog ikke dokumenteret i forsøg, men skønnede blandt andet ud fra test i praksis af Bligaard og Strudsholm (2010). Den årlige standardmiljøeffekt (kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m<sup>2</sup> per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al 2019.

Der skal anvendes én kraftfoderautomat pr. 25 køer til opstilling ude i køernes opholdsområde eller én foderkrybbe per malkeplads. Der er behov for 2 siloer til opbevaring af 2 slags kraftfoder. Desuden skal der til hver kraftfodertype anvendes en fodersnegl, blæser, kæde eller lignende, der kan transportere kraftfoderet til de opsatte kraftfoderautomater.

*Specifikationer.* Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Der skal være mindst 2 siloer og transportredskaber i form af enten blæsere, kæder, fodersnegle eller lignende til hver silo. Mindst én af dem skal være anskaffet med tilskud i denne tilskudsordning. Der skal fodres med mindst 2 typer kraftfoder. Denne teknologi kan ikke kombineres med teknologi 3.1, 3.2, 3.4 eller 3.5 til de samme køer.

Løsning A til brug ved udfodring af kraftfoder i krybber i malkestald: Der skal være én foderkrybbe pr. malkeplads. Der skal være ét transportredskab pr. kraftfodertype. Transportredskabet skal have en motor til flytning af kraftfoder fra silo til alle krybber.

Løsning B til brug ved udfodring af kraftfoder i eksisterende malkerobot: Der skal være ét transportredskab pr. kraftfodertype. Transportredskabet skal have en motor til flytning af kraftfoder fra silo til alle malkeroboter i stalden.

Løsning C til brug ved kraftfoderautomater opsat i løsdriftsstalde: Der skal være ét transportredskab pr. kraftfoder-type. Kraftfoder-automaterne skal være koblet på siloer med et transportredskab så kraftfoderet kan leveres i alle de opsatte automater.

#### *Obligatoriske elementer.*

Løsning A: Til krybbe i malkestald: Der skal være ét transportredskab pr. kraftfodertype. Transportredskabet skal have enten blæsere, kæder, fodersnegle eller lignende til flytning af kraftfoder fra silo til alle krybber. Siloer til mindst 2 kraftfodertyper

Løsning B: Til foderudportionering i malkerobot: Der skal være ét transportredskab pr. kraftfodertype. Transportredskabet skal have enten blæsere, kæder, fodersnegle eller lignende til flytning af kraftfoder fra silo til alle krybber. Siloer til mindst 2 kraftfodertyper

Løsning C: Til foderautomater i løsdriftstald: Der skal være ét transportredskab pr. kraftfodertype. Transportredskabet skal have enten blæsere, kæder, fodersnegle eller lignende til flytning af kraftfoder fra silo til alle krybber. Siloer til mindst 2 kraftfodertyper

*Valgfrie elementer.* Foderkrybbe (kun løsning A). Kraftfoderautomat (kun løsning C)

### **Standardmiljøeffekt: Fasefodring med kraftfoder**

Standardmiljøeffekten for fasefodring med kraftfoder hos malkekøer er angivet i Tabel 3.4. Levetiden er sat til 12 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

**Tabel 3.4:** Standardmiljøeffekt for fasefodring med kraftfoder.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.3	Fasefodring med kraftfoder	12	Malkekøer	0,20

## Overvågning af brunst og sygdom

Der kan vælges mellem nedenstående 2 teknologier:

A: Kombination af drøvtygger- og aktivitetsmålere.

B: Vombolus til måling af aktivitet, brunst og sygdom

Løsning A, drøvtygger- og aktivitetsmåler:

Drøvtyggermålerne består af en mikrofon i en lille boks (transponder), der monteres i en rem om koens hals. Mikrofonen registrerer de lyde, der opstår, når koen tygger drøv. Transponderen med indbygget mikrofon og aktivitetsmåler registrerer og lagrer oplysninger om drøvtygningstid og aktivitet for det enkelte dyr.

Data sendes til en antenne i stalden og derfra til en PC. På PC'en findes software, der kan beregne, hvor lang tid dyrene tygger drøv. Drøvtygningstiden er en god indikator for dyrenes sundhed, idet foderoptagelsen og drøvtygningstiden hurtigt vil blive reduceret ved begyndende sygdom. Værdien af drøvtygningsmålingerne, er derfor, at dyrene kan tilses og evt. behandles, før de bliver alvorligt syge og får nedsat produktion. Dette betyder, at der er færre syge dyr i stalden, som ikke giver en produktion svarende til den mængde foder de æder.

Drøvtyggermåleren skal være kombineret med en aktivitetsmåler. Denne måler registrerer, hvor meget dyret bevæger sig. Ved væsentlig reduktion i mængden af aktivitet kan der ligesom ved reduceret drøvtygning gives en alarm om, at dyrets sundhed måske er påvirket, hvorved også denne funktion giver mulighed for tidlig indgriben ved sygdom.

Aktivitetsmåleren finder desuden de fleste køer, som er i brunst, fordi køernes aktivitetsniveau stiger væsentligt ved brunst. Sikker observation af køer i brunst giver færre køer, der får for lange kælvningsintervaller. Derved bliver der færre køer med en lav ydelse sidst i laktationen, og derved vil en større andel af foderet gå til mælkeproduktion og en lavere andel til at dække køernes eget vedligeholdelsesbehov.

Løsning B, vombolus til måling af aktivitet, brunst og sygdom:

Denne teknologi består af en bolus, der lægges i koens vom. I denne bolus er der sensorer, der måler koens aktivitet, temperatur samt pH i vommen. Som beskrevet ovenfor kan måling af aktivitet bruges til finde køer i brunst. Målinger af vommens pH er en vigtig indikator på, om koens vomfunktion er normal. Unormal vomfunktion vil (ligesom drøvtyggermålere i løsning A) kunne afsløre subkliniske stofskiftesygdomme, dvs. før disse sygdomme bliver alvorlige. Værdien af pH-målingerne er derfor, at dyrene kan tilses og evt. behandles, før de bliver alvorligt syge og får nedsat produktion. Standardmiljøeffekten er vurderet ud fra, at pH-måling er en vigtig parameter til at vurdere koens vomfunktion. Da denne har stor betydning for koens generelle sundhed, er pH-målinger afgørende for at opnå de forventede effekter

For begge teknologier til overvågning gælder, at når færre dyr i stalden præsterer dårligt pga. subklinisk sygdom, og når færre køer har lav ydelse pga. lange kælvningsintervaller, så kan en given mælkeproduktion nås med mindre foder. Der er ikke foretaget litteraturgennemgang af effekten på ammoniakemissionen af de 2 teknologier. Det vurderes, at der kan forventes en besparelse i foderforbruget på i størrelsesorden ca. 5 % af tørstof. Da køernes sundhed bliver overvåget, er det relevant at reducere foderets proteinindhold, da den indlagte sikkerhedsmargin mht. til foderets proteinindhold kan reduceres, fordi eventuelle problemer vil blive afsløret. Det vurderes, at der kan regnes med ca. 2 % mindre protein i foderet af denne årsag, det vil sige 2 % mindre N i foderet. Disse effekter på foderforbrug og behov for protein er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt ( $\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$  produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på  $8 \text{ m}^2$  per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al 2019.

Ved brug af eventuelle andre teknologiske løsninger, som måler de beskrevne parametre, kan der forventes en tilsvarende effekt på ammoniakudledningen, forudsat at teknologierne både kan give tidlig varsel ved begyndende sygdom, og finde køer i brunst.

*Specifikationer.* Løsning A: Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udstyret skal give kvægbrugeren overblik over køer i brunst og syge køer. Udstyret skal bestå af drøvtygnings- og aktivitetsmåler samt en tablet, PC, mobiltelefon eller staldterminal, der kan generere lister over køer, der skal observeres. Løsning B: Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udstyret skal give kvægbrugeren overblik over køer i brunst og syge køer baseret på målinger af koens aktivitet, temperatur samt pH i vommen. Udstyret skal bestå af vombolus samt en tablet, PC, mobiltelefon eller staldterminal, der kan generere lister over køer, der skal observeres. Da vomboli har begrænset levetid, skal der suppleres med en ny, når en vombolus ikke længere kan måle både aktivitet, temperatur og pH. Hverken løsning A eller B kan kombineres med teknologi 3.1, 3.2, 3.3 eller 3.5 til de samme køer.

*Obligatoriske elementer.* Løsning A: Drøvtygnings- og aktivitetsmåler med hals- eller øretranspondere til opsamling og afsendelse af data. Skal indkøbes og bruges til alle køerne for at opnå beregnet effekt. Antenne til opfangning af data fra transpondere. Software til udpegning af køer til observation. Løsning B: vombolus til måling af aktivitet, temperatur og pH samt afsendelse af data. Der skal indkøbes en vombolus pr. ko inkl. goldkøer for at opnå beregnet effekt. Antenne til opfangning af data fra vomboli. Software til udpegning af køer til observation.

### **Standardmiljøeffekt: Overvågning af drøvtygning, brunst og sygdom ved hjælp af drøvtygger- og aktivitetsmålere**

Standardmiljøeffekten for overvågning af drøvtygning, brunst og sygdom ved hjælp af drøvtygger- og aktivitetsmålere eller vombolus til måling af aktivitet, temperatur og pH til malkekøer er angivet i Tabel 3.5. Levetiden for løsning A er anslået til 10 år. For løsning B er levetiden af leverandøren oplyst at være 4 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

**Tabel 3.5:** Standardmiljøeffekt for Overvågning af drøvtygning, brunst og sygdom

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.4a	Drøvtygger- og aktivitetsmåler	10	Malkekøer	0,16
3.4b	Vombolus til måling af aktivitet, temperatur og pH	4	Malkekøer	0,16

### **Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder til forskellige fodringshold**

Automatisk fodring med fuldfoder kan dels give en forbedret næringsstofudnyttelse ved, at der laves hyppig udfodring, dels er der mulighed for, at der ligesom ved fasefodring kan fodres med en ration, der er tilpasset til køernes behov i forhold til ydelse og laktationsstadium. I besætninger med automatisk udfodring vil der være positiv effekt af hyppige udfodringer. Det gælder dels på fodertørstofforbruget, dels på protein-(N-) indholdet i foderet, da risikoen for varmt foder, hvor energien og proteinet nedbrydes minimeres. Stalden skal være indrettet, så der samtidigt kan hentes en effekt ved at fodre med rationer med forskelligt indhold af energi og protein til hold af køer, der er inddelt efter deres ydelse og laktationsstadium. Som gennemsnit for stalde med forskellig indretning anslås der en besparelse på ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Det antages, at der desuden kan spares ca. 2 % på foderets gennemsnitlige indhold af N. Effekterne er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige

standardmiljøeffekt per areal ( $\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$  produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på  $8 \text{ m}^2$  per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al 2019.

Køerne skal kunne inddeles i to eller flere fodringshold. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Hvis ikke stalden allerede er indrettet, så køerne uden ekstra udstyr kan komme tilbage til deres eget fodringshold, skal der investeres i selektionsudstyr, der sikrer, at dette er tilfældet.

Der skelnes typisk mellem nedenstående 2 kombinationer af teknologier:

- 1) Der anvendes enten en robot eller en hængebanevogn, der i begge tilfælde skal kunne blande foderet, efter det automatisk er påfyldt fra påslagene. Der skal være påslag til mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal anvendes i relevante kombinationer, så de 2 eller flere foderblandinger, der skal anvendes, har forskelligt indhold af råprotein. Robot/hængebanevogn drives og styres automatisk til de enkelte dyregrupper.
- 2) Foder blandes i en stationær fuldfoderblander enten automatisk eller manuelt. Der kan anvendes en robot, hængebanevogn eller et foderbånd til automatisk udfodring. Fodret skal kunne aflæsses automatisk fra den stationære blander.

Der opnås samme effekt uanset hvilken af de to typer udstyr, der anvendes. Både ved alternativ A og B skal der anvendes selektionsudstyr for at sikre, at køerne inddeles i to eller flere fodringshold. Der kan anvendes eksisterende udstyr, eller der kan investeres i nyt udstyr, som er tilskudsberettiget. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov.

*Specifikationer.* Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udfodring skal ske med fuldfoder. Fuldfoder skal være baseret på mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal udgøre variationer ift. foderblandingsindhold af råprotein. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Ved alle løsninger skal der gøres brug af enten påslag eller foderkøkken med felter til de forskellige variationer af ensilage og tørre foderråvarer. Denne teknologi kan ikke kombineres med teknologi 3.1, 3.2, 3.3 eller 3.4 til de samme køer

Løsning A: Hængebanevognen drives og styres automatisk til de enkelte dyregrupper. Blanderen fyldes automatisk fra påslagene. Løsning B: Foder blandes i en stationær fuldfoderblander. Hængebanevognen eller foderbåndet skal kunne fyldes automatisk fra blanderen. Den stationære foderblander fyldes automatisk fra påslagene. Antallet af hængebanevogne skal følges med antallet af foderblendere. Løsning C: Fuldfoderrobotten skal blande og automatisk udfodre fuldfoder til de enkelte dyregrupper.

*Obligatoriske elementer.* Løsning A: Hængebanevogn med indbygget blander. Løsning B: Robot, hængebanevogn eller et foderbånd til automatisk udfodring uden egen blander, men med stationær foderblander. Løsning C: Anlæg med fuldfoderrobot og indbygget blander.

*Valgfrie elementer.* Påslag til mindst 2 slags ensilage og til mindst 3 slags tørre foderråvarer (kun løsning A og C).

## Vedrørende kombination af fodringsteknologier og/eller overvågningsteknologier

Ingen af teknologierne vedrørende fodring og overvågning kan kombineres, da der savnes faglig viden om kombinationseffekter. Det forventes som udgangspunkt, at der ikke er væsentlig ekstra effekt ved at anvende mere end én af disse teknologier.

### Standardmiljøeffekt: Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder til forskellige fodringshold

Standardmiljøeffekten for Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder til forskellige fodringshold til malkekøer er angivet i Tabel 3.6. Levetiden er sat til 10 år. Forudsætninger for effekten er fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021) ved én gang daglig udfodring typisk af samme foderblanding til alle malkende køer.

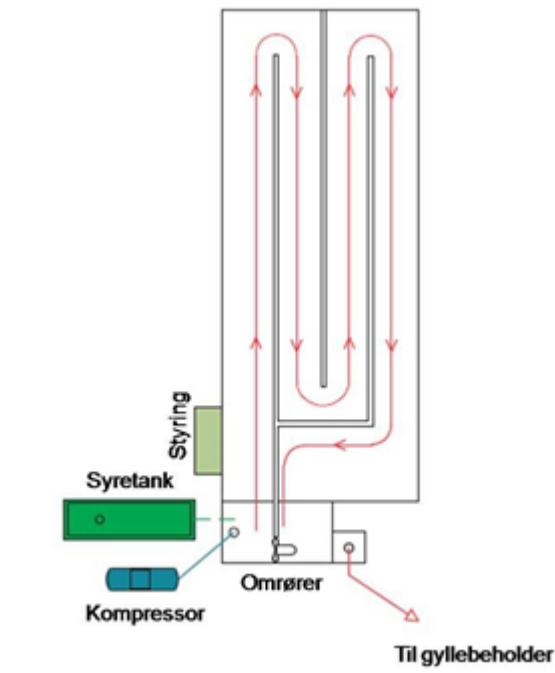
**Tabel 3.6:** Standardmiljøeffekt for udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N/m <sup>2</sup> produktionsareal
3.5abc	Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder	10	Malkekøer	0,16

## Gylleforsuring

Kvæggylle har en typisk pH-værdi på ca. 7,0. Ved denne pH-værdi findes en væsentlig andel af gyllens ammoniakalske kvælstof, dvs. summen af ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) og ammoniak (NH<sub>3</sub>), som ammoniak, som er flygtig, og det bevirker, at der konstant fordampes ammoniak fra overfladen af gylle i stalden og i gylletanken. Tilsætning af syre til gyllen bevirker, at gyllens pH-værdi falder, hvorved gyllens indhold af ammoniakalsk kvælstof i stigende omfang omdannes til ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), der ikke er flygtig.

Anlæg til gylleforsuring i kvægstalde er integreret med staldens ringkanalsystem (Kai & Jacobsen 2022), se figur 3.1. Ved behandlingen pumpes gylle på sædvanlig vis rundt i ringkanalen i stalden ved hjælp af en røreværkspumpe placeret i en skillevæg i staldens omrøringsbrønd. Omrørebrøndens trykside fungerer samtidig som mixerbrønd, hvor svovlsyre tilsættes under omrøring, hvorved gyllens pH-værdi sænkes til en ønsket værdi på 5,5. Behandlingshyppigheden afhænger af gyllens pH-værdi målt før hver behandling, så hyppigheden stiger med stigende pH-værdi ved opstart. Ved normaldrift bliver al gylle i en ringkanal behandlet mindst én gang dagligt. Alle processer styres og overvåges automatisk. Gylleforsuring i kvægstalde er opført på dispensation på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 33 % i kvægstalde med ringkanal eller bagskyl.



**Figur 3.1:** Skitse af anlæg til staldforsuring af gylle i kvægstalde (Efter: Kai & Jacobsen 2022).

*Specifikationer.* Gylleforsuring. Teknologien kan anvendes i staldafsnit med malkekøer/kvier og slagtekalve. Der må kun anvendes svovlsyre og styringen af anlægget skal indstilles til at behandle gyllen til pH-værdi 5,5. Gyllens pH-værdi skal registreres elektronisk før og efter hver svovlsyrebehandling. Der skal endvidere føres en elektronisk statistik, der som minimum indeholder oplysninger om de gennemsnitlige pH-værdier i gyllen på månedsbasis før svovlsyrebehandling. Anlægget skal have niveau-overvågning af gyllestand i lagertank og en alarm installeret sammen med forsuringsanlægget.

*Obligatoriske elementer.* Gylleforsuring. Syretank til opbevaring koncentreret svovlsyre. Pumpe til dosering af syre til staldens omrørerbrønd. Pullerter til beskyttelse af syretank mod påkørsel. Nødbruser som sikkerhedsanordning ved syretank. Mixerbrønd integreret i omrørerbrønden. Målestation for måling af pH i forbindelse med forsuring i omrørerbrønden. Styringsenhed til forsuringsanlæg. Følere til niveauovervågning i lagertank, inklusive alarm.

### Standardmiljøeffekt: Gylleforsuring kvæg

Standardmiljøeffekten for gylleforsuring er angivet i Tabel 3.8. Standardmiljøeffekten for forsuring er beregnet uden at medtage en ammoniakreduktion i lageret, da teknologien kun er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreduktion i stalden. Levetiden for gylleforsuring er sat til 15 år (Kai & Jacobsen 2022).

**Tabel 3.8:** Standardmiljøeffekt for gylleforsuring kvæg

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.6a	Gylleforsuring, malkekøer, kvier	15	Malkekøer/kvier	0,39
3.6b	Gylleforsuring, slagtekalve	15	Slagtekalve	0,33



## Udskiftning af gulve til miljøgulve

Sengestalde med drænet fast gulv med ajlefløb og gødningsskraber er i udgangspunktet karakteriseret ved, at gulvet i gangarealerne er udført med drænet fast gulv med 1-3 % fald mod ajledræn i gangens længdeakse (Guldberg et al., 2022). Alternativt er gulvet udført med spalteåbninger på tværs af gulvets længderetning. Denne løsning kan være spaltegulvselementer oven på en gyllekanal. Lysningsarealet til eventuelt underliggende gyllekanal må maksimalt være 5 % af gangarealet. Afløbsprincippet bygger på, at der er mulighed for at lave en løsning, der samtidig kan fjerne den faste gødning enten løbende med skrabning af gulvet, i langsgående afleveringsåbninger eller ved hyppige afleveringer på tværs af gulvet. En mekanisk gødningsskraber skraber overfladen af gulvet 12 gange i døgnet. Gødningen skrabes hen til en tværkanal, som typisk ligger i enden af stalden, hvorfra gyllen pumpes til gyllebeholder. Hvis gangene er meget lange, kan der etableres flere tværkanaler for at undgå, at skraberens skal medbringe for meget gødning, hvilket øger risikoen for tilsvining af dyrenes ben.

Drænet fast gulv vil ofte kunne etableres i eksisterende sengestalde med spaltegulv med ringkanal, spaltegulv og kanal med linespilsanlæg. I Figur 3.2 er vist et eksempel, hvor et præfabrikeret fast drænet gulv ligger på en ringkanal eller en kanal med linespil. Der findes andre gulvtyper i form af gummigulve, overstøbning af spaltegulv el. lign, som på tilsvarende vis kan implementeres i eksisterende stalde. Det afgørende i forhold til at opnå miljøeffekten er, at gulvet lever op til de specifikationer, som er beskrevet i driftssystembeskrivelsen for "Sengebåsestalde med drænet fast gulv med ajlefløb og gødningsskraber" (Guldberg et al., 2022).



**Figur 3.2:** Præfabrikeret drænet fast gulv med tværgående spaltes til løbende aflevering af gødning under skrabning samt kontinuerlig dræning af ajle mellem skrabninger. Gulvet ligger på en ringkanal eller kanal med linespil.

*Specifikationer.* Udskiftning af gulve til miljøgulve. Teknologien kan anvendes i staldafsnit med malkekvæg. Gulvet skal være i overensstemmelse med driftssystembeskrivelsen for "Sengebåsestalde med drænet fast gulv med ajlefløb og gødningsskraber" (Guldberg et al., 2022). Gulvet skal placeres i koens gangarealer og kan placeres i drivgange og skal have 1-3 % fald mod ajledræn i gangens længdeakse. Lysningsarealet til eventuelt underliggende gyllekanal må maksimalt være 5% af gangarealet. Gødningsskraberens skal være automatisk, forsynet med timer og tilpasset gulvets udformning og hældning. Gødningsskraberens kan være stationær skraber eller i form af en robotskraber. Det drænedede faste gulv skal skrabes 12 gange i døgnet.

*Obligatoriske elementer.* Udskiftning af gulve til miljøgulve. Miljøgulv i form af drænet fast gulv med ajlefløb og gødningsskraber, der kan etableres i eksisterende sengebåsestalde (bl.a. præfabrikeret betongulve, gummigulve og overstøbning af spaltegulv). Stationær automatisk skraber eller robotskraber. Timer eller anden form for styring, der er sikrer at gulvet bliver skrabet 12 gange i døgnet.

### Standardmiljøeffekt: udskiftning af gulve til miljøgulve

Standardmiljøeffekten for udskiftning af gulve til miljøgulve er angivet i tabel 3.8. Levetiden for drænet fast gulv med ajlefløb og gødningsskraber er sat til 25 år (Guldberg et al., 2022).

**Tabel 3.8:** Standardmiljøeffekt for udskiftning af gulve til miljøgulve.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.7	Udskiftning af gulve til miljøgulve	25	Malkekøer	0,27

### Kemisk luftrensning i kombination med montering af separationsstrimler i gulvspalter og gødningsrobot

Lely Sphere er en nyudviklet Hollandsk miljøteknologi rettet mod kvægstalde med spaltegulv (figur 3.3). Systemet består af kemiske luftrensere, som monteres med indstik til gyllekanalerne i stalden. For at sikre at alle gyllegasser i gyllekanalerne ledes gennem luftrenseren, monteres der metal-spaltestrimler med huller i alle gulvspalter. Strimlerne bevirker samtidig, at ajlen drænes til gyllekanalen under spaltegulvet, mens den faste gødning efterlades på gulvet. En gødningsrobot fjerner den faste gødning fra gulvet og befugter samtidig gulvet med vand.

Målinger i fire nederlandske kvægstalde med spaltegulv og gyllekanal med systemet i drift resulterede i en gennemsnitlig ammoniakemission på 3,0 kg NH<sub>3</sub>/koplads per år svarende til 2,5 kg NH<sub>3</sub>-N/koplads per år.

Der foreligger endnu ingen endelig afklaring af miljøeffekten ved anvendelse systemet i danske kvægstalde. Miljøeffekten i nærværende rapport er derfor skønnet ved sammenligning med ammoniakmålinger foretaget i fire danske sengebåsestalde med spaltegulv og ringkanalsystem, og hvor ammoniakemissionen blev fastlagt til til 7,4 kg NH<sub>3</sub>-N/årsko i gennemsnit (Kai et al., 2017). Direkte sammenlignet med de danske målinger svarer de fundne nederlandske måleværdier til en reduktion på 66%, hvilket benyttes som grundlag for beregning af standardmiljøeffektiviteten i nærværende rapport.



**Figur 3.3:** Øverst tv: Spaltestrimler med huller for dræning af ajele til gyllekanal. Øverst th: Gødningsrobot fjerner gødning afsat på gulvet. Nederst tv: Kemisk luftrensener monteret med indstik til gyllekanal. Nederst th: Silo for opbevaring af gødningskoncentrat fra luftrensener.

*Specifikationer.* Systemet kan benyttes i sengebåsestalde med spaltegulv og ringkanalsystem eller gyllekanaler med bagskyl. I spaltegulvets spalter monteres separationsstrimler med indlagte huller ((30-40 stk. Ø8 mm per m<sup>2</sup> gulv) for kontinuerlig dræning af ajele til underliggende gyllekanal. Gødning afsat på gulvet fjernes ved hjælp af en gødningsrobot. Gulvet skal rengøres 12 gange per dag. Gødningsrobotten afleverer gødningen i et eller flere dumpingsteder i gulvet. Gødningsrobotten sprayer vand foran og bagved robotten med en gennemsnitlig ydelse på 3 liter/minut. Der monteres et passende antal kemiske luftrensener med indstik under gulvniveau til gyllekanalerne. Luftrensningssystemets filtermatrice er konstrueret af et plastfibermateriale med en specifik kontaktoverflade på 125 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> filtermateriale. Filtret har en maksimal højde på 2,7 meter og en tykkelse på 0,90 meter. Den rensede luft passerer igennem en dråbefanger (tykkelse: 0,125 m), der er placeret bag filtervæggen. Hver luftrensener har en kapacitet på 12.000 m<sup>3</sup> luft per time. Ventilationsydelsen af gulvudsugningen skal være mindst 29 m<sup>3</sup> luft per time per m<sup>2</sup> gangareal svarende til minimum én luftrensener á 12.000 m<sup>3</sup>/time per ca. 414 m<sup>2</sup> gangareal i stalden.

*Obligatoriske elementer.* Separationsstrimler med huller til montering i staldens gulvspalter, gødningsrobot (Lely Discovery Collector), kemisk luftrensener (Lely Sphere N-Capture) inkl. syretank, silotank til opbevaring af gødningsvand fra luftrensener.

## Standardmiljøeffekt: Udskiftning af gulve til miljøgulve

Standardmiljøeffekten ovennævnte system er angivet i tabel 3.9. Levetiden er vanskelig at fastsætte, da teknologien består af flere komponenter, som kan have forskellige levetider. I nærværende rapport er levetiden skønnet til 10 år.

**Tabel 3.9:** Standardmiljøeffekt for udskiftning af gulve til miljøgulve.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
3.8	Kemisk delluftrensning i kombination med separationstrimler monteret i gulvspalter og gødningsrobot	10	Malkekøer	0,81

## Referencer

Bligaard, H. B. og F. Strudsholm. 2010. Højere N-udnyttelse hos malkekøer gennem fasefodring og ændret fodringsmanagement. Rapport fra Agrotech, 21 sider.

Børsting, C.F., A.L.F. Hellwing, M.T. Sørensen, P. Lund, M.V.D. Heide, S.H. Møller, P. Kai, T. Nyord, O. Aaes, E. Clausen, P. Tybirk, M. Holm, M.N. Hansen, H.B. Jensen & H. Bækgaard. 2021. Normtal for husdyrgødning. DCA-Rapport nr. 191.

Guldberg, L.B., P. Kai & B.H. Jacobsen. 2022. Malkekøer, kvier og stude: Sengebåsestalde med drænet fast gulv med ajleafløb og gødningskraber - Driftssystembeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 27 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

Kai, P., A.P.S. Adamsen, M.L. Jensen, P. Kasper og A. Feilberg. 2017. Ammonia from Danish cubicle barns for dairy cows – Effect of floor type and manure scraping. DCA report No. 110. Aarhus Universitet, 59 pp.

Kai, P., Sørensen, J.N., Melander, B., Ottosen, C.-O., Børsting, C.F., Bertelsen, M.G., Petersen, K.K., Jensen, P.K. 2019. Faglig redegørelse vedrørende teknologiliste 2019 til brug i forbindelse med ordningen om tilskud til investeringer i nye miljøteknologier. Rapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 55 pp.

Kai, P. & B.H. Jacobsen. 2022. Svovlsyreforsuring af gylle i kvægstalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag af revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 15 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

## Indsatsområde 4: Æg/fjerkræ, reduktion af ammoniakemission

Forfatter: Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU

### Grundlag for beregning af miljøeffekt æglæggende høner og hønniker

Beregningerne af standardmiljøeffekt for ammoniak er foretaget på grundlag af ammoniaktab for stald og lager (Børsting et al., 2021) samt teknologiernes ammoniakreducerende effekt. For staldteknologierne er beregningerne lavet som en kædebetragtning, hvor ammoniakreduktion er beregnet samlet for både stald og lager i forhold til produktionsareal i stalden. Beregningerne er foretaget med udgangspunkt i normal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021). Standardmiljøeffekten er angivet som teknologiens årlige miljøeffekt per m<sup>2</sup> produktionsareal (kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal).

#### Referencestald

Standardmiljøeffekten for miljøteknologier i hønse- og opdrætsstalde er beregnet i forhold til de referencestalde som er angivet i Tabel 4.1. For skrabe høner, frilandshøner og økologiske høns er der regnet med 0,92 årshøner per hønseplads og for hønniker 2,45 hønniker per år per hønneplads (Kai & Adamsen, 2017).

**Tabel 4.1:** Referencestalde anvendt i beregning af standardmiljøeffekt for stalde til æglæggende høner og hønniker.

Dyregruppe	Staldtype	Areal per 100 årshøner/hønniker m <sup>2</sup>	Emission		
			kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal		
			Stald	Lager	Stald + lager
Skrabe høner	Gulvdrift og gødningskumme	12,1	2,25	0,21	2,46
Frilandshøner	Gulvdrift og gødningskumme	12,1	2,09	0,19	2,28
Økologiske høner	Gulvdrift og gødningskumme	18,1	1,57	0,14	1,71
Hønniker	Gulvdrift	5,0	0,54	0,08	0,62

#### Kriterier for udvælgelse af teknologier

Det afgørende kriterie for udvælgelse af miljøteknologierne har været, at der er dokumentation for teknologiernes ammoniakreducerende effekt, og at der som minimum kan opnås en ammoniakreducerende effekt på 10 %. Der er udvalgt hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd og gylletanke til lagring af gødning fra hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd. Varmeveksler til slagtekyllingstalde, som også har en ammoniakreducerende effekt er inkluderet i indsatsområde 5 og er derfor ikke inkluderet under det nærværende indsatsområde.



## Gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem

Etagestalde er stalde til skrabehøner, frilandshøner, økologiske høner, hønniker, hvor der i tillæg til gulvarealet etableres op til to plateauer over gulvet, som hønerne/hønnikerne frit kan bevæge sig mellem og opholde sig på. Foder- og vandforsyning samt evt. redekasser forefindes på plateauerne. Etagesystem anvendt til opstaldning af æglæggende høner skal have gødningsbånd under hvert af plateauerne jævnfør bekendtgørelse om beskyttelse af æglæggende høner (BEK nr. 881 af 28 juni 2016) som sikring for, at gødningen ikke falder ned på det underliggende plateau. Gødningen på gødningsbåndene afleveres for enden af etagerækkerne i en tværkanal/transportbånd, som transporterer gødningen ud af stalden (Kai, 2022).

Det antages, at 75 % af gødningen i skrabeægsstalde falder på gødningsbåndene, men den resterende del afsættes i dybstrøelse. I stalde til frilandshøner og økologiske høner antages det at 70 % af gødningen falder på gødningsbåndene, mens 20 % afsættes i dybstrøelse og 10 % i udearealet. Af dybstrøelsen lagres 95 %, mens den resterende del bringes direkte ud på marken. Ved hyppig drift (2-3 gange ugentligt) fjernes hovedparten af gødningen således fra stalden til ekstern lagring eller udbringning, inden der sker væsentlig nedbrydning af gødningens indhold af urinsyre til ammonium og ammoniak. Dette bevirker, at ammoniakemissionen fra stalden er lavere sammenlignet med det traditionelle gulvsystem med gødningskumme. Gulvarealet tilføres strøelse og fungerer som hønernes skrabeområde.

*Specifikationer.* Gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem. Teknologien kan anvendes i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem. Gødningsbåndene skal tømmes 2-3 gange om ugen. Dette skal dokumenteres via timer, logbog eller logning af motoraktivitet. Der skal installeres gødningsbånd i alle etager i etagesystemet (gulvniveau dog undtaget). Systemet skal automatisk fjerne gødning fra etagesystemet. Produktionsarealet er det gulvareal (m<sup>2</sup>), som dyrene har permanent adgang til inklusiv eventuelt verandaareal. Udearealer uden befæstning og overdækning er ikke omfattet. Redearealet er ligeledes undtaget fra Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens definition af produktionsareal. Det ansøgte produktionsareal skal stemme overens med det faktiske produktionsareal dér, hvor teknologien etableres.

*Obligatoriske elementer.* Gødningsbånd med tilhørende drivsystem i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem. Tværgødningsbånd-, snegl eller gyllekanal til transport af gødning ud af stalden til et eksisterende ekstern lager.

*Valgfrie elementer.* Gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem. Gødningskraber på gulvet under reolerne.

### Standardmiljøeffekt: Gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem

Standardmiljøeffekten for gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem er angivet i tabel 4.2. Standardmiljøeffekten for skrabe-, frilands- og økologiske høns er indenfor  $\pm 0,2$  kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal og disse dyregrupper er derfor slået sammen til en kategori. For hønniker er standardmiljøeffekt beregnet som en særskilt kategori. Levetiden for gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem er sat til 10 år.

**Tabel 4.2:** Standardmiljøeffekt for gødningsbånd i hønse- og opdrætsstalde med etagesystem.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
4.1	Gødningsbånd i hønsestalde med etagesystem, æglæg-gende høner	10	Æglæggende høner (skrabe, friland og øko)	1,15
4.2	Gødningsbånd i opdrætsstalde med etagesystem, hønniker	10	Hønniker	0,50

## Gyllebeholder til lagring af gødning fra hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd

Fast fjerkrægødning fra stalde med etagesystem og gødningsbånd opslæmmes med vand til ca. 12 % tørstof i en gyllebeholder. I forhold til opbevaring i gødningshus eller møddingplads, hvor ammoniaktabet under lagring ifølge normtal for husdyrgødning er 10 % af tilført total-N for fast staldgødning og dybstrøelse, hvortil der kommer yderligere et tab på 10 % ved denitrifikation (frit kvælstof og lattergas). Med en overdækning af stakken anses tabet for at være det halve. Opbevaring som en opslæmning i gyllebeholder med flydelag eller lignende er forbundet med ammoniaktab på 2 % af tilført total-N, og denitrifikationen anses for at være ubetydelig.

Opblanding af fast hønsegødning med vand for lagring som flydende gødning er primært interessant i forbindelse med hønsestalde med etagesystem med gødningsbånd, hvor gødningen fjernes hyppigt fra stalden (1-3 gange ugentligt). Systemet kan indrettes således, at gødningsbåndet, der transporterer gødningen ud af stalden, afleverer gødningen i en fortank, hvor gødningen tilsættes vand, fx opsamlet tag-vand, opblandes og derefter pumpes til en gyllebeholder for videre lagring. Såfremt der allerede forefindes en højtipvogn eller lignende, kan for-tanken spares, og højtipvognen benyttes til at overføre gødningen fra stalden til gyllebeholderen under omrøring og tilsætning af vand.

*Specifikationer.* Gyllebeholder til hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd. Teknologien kan anvendes i tilknytning til hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd. Gylletanken skal indeholde opslæmmet fjerkrægødning. Arealet, som kan indgå i beregningen af standardmiljøeffekten, er det indvendige mål af gyllebeholderens fladeareal.

*Obligatoriske elementer.* Gyllebeholder til hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd. Gylle-tank (uden overdækning).

### Standardmiljøeffekt: Gyllebeholder til hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd

Standardmiljøeffekten for gyllebeholder til opslæmning (med vand til 12 % tørstof) af gødning fra hønse- og opdrætsstalde med etagesystem er angivet i Tabel 4.3. Standardmiljøeffekten er beregnet i forhold lageremissionen



for hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd. Gyllearealet per 100 høner/hønniker er beregnet ud fra en lagringstid på ni måneder og en fire meter dyb gyllebeholder. Standardmiljøeffekten for skrabe-, frilands- og økologiske høner er indenfor  $\pm 0,09$  kg  $\text{NH}_3\text{-N}$   $\text{år}^{-1}$   $\text{m}^{-2}$  gylleoverflade i gyllebeholder og disse dyregrupper er derfor slået sammen til en kategori. For hønniker er standardmiljøeffekten beregnet som en særskilt kategori. Levetiden for gyllebeholdere er sat til 25 år (Adamsen et al., 2022).

**Tabel 4.3:** Standardmiljøeffekt for gyllebeholder til opslæmning (med vand til 12 % tørstof) af gødning fra hønse- og opdrætsstalde med etagesystem og gødningsbånd.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{år}^{-1}$ $\text{m}^{-2}$ gylleoverflade i gyllebeholder
4.3	Gyllebeholder til lagring af gødning fra konsumægshøner opstaldet i stalde med etagesystem og gødningsbånd, æglæggende høner	25	Æglæggende høner (skrabe, friland og øko)	1,09
4.4	Gyllebeholder til lagring af gødning fra opdræt opstaldet i stalde med etagesystem og gødningsbånd, hønniker	25	Hønniker	1,26

## Referencer

Adamsen A.P.S., P. Kai, G.M. Callesen & B.H. Jacobsen. 2022. Fast overdækning af gyllebeholdere - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 22 s. Rådgivningsnotat fra DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet

BEK nr. 881. Bekendtgørelse om beskyttelse af æglæggende høner. 28. juni 2016. Miljø- og fødevarerministeriet.

Børsting, C.F., A.L.F. Hellwing, M.T. Sørensen, P. Lund, M.V.D. Heide, S.H. Møller, P. Kai, T. Nyord, O. Aaes, E. Clausen, P. Tybirk, M. Holm, M.N. Hansen, H.B. Jensen & H. Bækgaard. 2021. Normtal for husdyrgødning. DCA-Rapport nr. 191.

Kai, P. 2022. Konsumægshøner (skrabe- og frilandshøner): Etagesystem med gødningsbånd - Driftssystembeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 18 sider. Rådgivningsnotat fra DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

# Indsatsområde 5: Æg/Fjerkræ, reduktion af energiforbrug

*Forfatter: Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU*

## Definitioner

Produktionsarealet er defineret i henhold til Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen (BEK nr. 443 af 26/04/2023).

Nytteareal er defineret i bekendtgørelse om beskyttelse af æglæggende høner (BEK nr. 881 af 28/06/2016).

## Lavenergi-ventilation

Ventilation af stalde er meget vigtigt for at opretholde et ønsket indeklima i stalden. Ventilationen sikrer, at forurenede luft fjernes fra stalden og erstattes af ren udeluft, hvorved lufttemperatur, luftfugtighed samt koncentrationen af kuldioxid, ammoniak o.a. gasser reguleres til et ønsket niveau. Traditionelt ventileres kyllingestalde med mekaniske ventilationsanlæg, som enten opererer ved ligetryk eller ved undertryk. Ligetryksanlæg består af indblæsningsenheder, som blæser luften ind i stalden og udsugningsenheder, som suger luften ud af stalden. Undertryksanlæg fungerer ved, at udsugningsenheder suger luft ud af stalden, hvorved der dannes et undertryk, som bevirker, at der suges luft ind i stalden via regulerbare indsugningsventiler, der typisk er placeret i staldens langsider. Undertryksanlæg er forbundet med lavere energiforbrug end ligetryksanlæg, og er ligeledes det mest almindelige i slagtekyllingestalde.

Overordnet set er der tre typer af ventilationsmotorer, der anvendes: triac-, frekvens- og jævnstrømsmotorer. Ved triac-motorer reguleres ydelsen på ventilatoren ved at regulere spændingen, hvorved motorens og ventilatorvindernes omdrejningshastighed aftager. Triac-motors moment påvirkes af nedregulering, hvorfor spændingsregulerede ventilatorer ikke er trykstabile i den nedre del af reguleringsområdet. Omdrejningstallet reguleres derfor typisk kun ned til 50 % ydelse, hvorefter yderligere nedregulering af ventilationsydelsen ved anvendelse af et regulerbart spjæld placeret i ventilationsafkastet. Spændingsregulering er desuden forbundet med et væsentligt energitab i form af varmetab, hvilket sammen med spjældreguleringen i det nedre driftsområde bevirker, at energiforbruget for denne type anlæg er relativt højt, især i kyllingestalde, som er forbundet med mange driftstimer ved lav ydelse.

Ved frekvensregulerede motorer reguleres motorens omdrejningstal ved at regulere strømforsyningens frekvens (måles i Hz). Frekvensmotorer bevarer sit drejningsmoment, selv om motorhastigheden reguleres langt ned i ydelse. Ventilatoren kan således køre meget stabilt selv ved lave hastigheder og samtidig modstå relativt store vindpåvirkninger. Det er dog stadig nødvendigt at regulere med anvendelse af spjæld i det nedre driftsområde. Sammenlignet med triac-motorer er frekvensregulerede motorer derfor mere energieffektive.

Ved jævnstrømsmotorer er forsyningsspændingen, som navnet angiver, jævnstrøm, og denne motor kan ligesom frekvensmotoren køre stabilt ved selv lav ydelse, men der vil ligeledes være behov for at anvende spjæld i det nedre driftsområde for at sikre stabil ventilationsydelse. Sammenlignet med andre motorer er det særligt ved ventilationsydelser under 50 %, at jævnstrømsmotorer har et lavere energiforbrug. Dette har stor betydning i slagtekyllingestalde, hvor ventilationsydelsen typisk er mindre end 50 % i mere end 90 % af tiden.

Energiforbruget til ventilation af slagtekyllingestalde afhænger ud over motortype af kyllingernes varmeproduktion og udetemperatur, anvendelse af ventilatorspjæld, vingeformning (dvs. antal vinger, vingernes udformning og vinkel), under hvilke trykforhold ventilationsanlægget opererer og hvor vindudsat stalden er. Som følge af de mange muligheder for anlægsopbygning kan der ikke gives entydige tal for energiforbrug og omkostningseffektivitet, da det kræver beregninger eller målinger for den konkrete anlægsopbygning. For ældre ventilationsanlæg (typisk før år 2000) med triac-motorer vil det dog ofte være muligt at reducere elforbruget med op til 70 % ved investering i nye ventilationskomponenter eller i et helt nyt ventilationsanlæg med en bedre energisignatur (energiforbrug som funktion af ventilationsprocent).

Beregning af et nyt ventilationsanlæg kan med fordel foretages i programmet StaldVent eller lignende, som beregner energiforbruget under hensyn til energisignaturen for det samlede ventilationsanlæg samt driftsforhold i stalden (temperaturstrategi, CO<sub>2</sub>-styring, fugtstyring, m.m.) og udeklima-forhold over minimum et år. I nærværende er StaldVent anvendt til at estimere energiforbruget for en 2.000 m<sup>2</sup> slagtekyllingestald med 37.500 slagtekyllinger med en produktionstid på 35 dage fra 50 g til 2,13 kg levende vægt og en årlig produktion på 330.000 slagtekyllinger, hvor der henholdsvis anvendes undertryksventilation med triac-, frekvens- og jævnstrømsmotorer. Energisignaturen for hver af de tre anlæg er estimeret på baggrund af erfaringer fra svinestalde (Riis et al., 2017; Hansen & Damsted, 2016; Riis et al., 2012; Morsing et al., 2003).

Referencestalden defineres som en slagtekyllingestald med triac-motorer i parallel-drift, som under angivne forudsætninger er forbundet med et energiforbrug på 78 kWh per 1.000 producerede slagtekyllinger. For en slagtekyllingestald med frekvensregulerede motorer beregnes elforbruget til ventilation til 35 kWh per 1.000 producerede slagtekyllinger, svarende til en reduktion på 55 % i forhold til en stald med triac-motorer. Ved brug af lavenergiventilation i form af jævnstrømsmotorer beregnes elforbruget til ventilation til 25 kWh per 1.000 producerede kyllinger, svarende til en reduktion på 68 % i forhold til en stald med triac-motorer. Det skal understreges, at der vil kunne opnås et andet resultat ved en anden anlægsopbygning og under andre driftsforhold. Der er gennemført tilsvarende beregninger for både økologiske slagtekyllingestalde og stalde til æglæggende høner, som viser, at der kan forventes tilsvarende procentvise reduktioner i elforbruget som for stalde til konventionelle slagtekyllinger (tabel 5.1).

*Miljøeffekter.* Energibesparende ventilation påvirker udledningen af klimagas i kraft af et lavere forbrug af fossilt brændstof til produktion af el. Reduktionen i udledningen af klimagasser er proportional med den beregnede/observerede reduktion i elforbruget.

**Tabel 5.1.** Estimeret energiforbrug forbundet med anvendelse af forskellige ventilationskomponenter i fjerkræstalde. Referencen er et ældre spændingsreguleret ventilationsanlæg. Elforbruget er i kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal.

	Spændingsregulerede motorer (Triac) (reference)	Lavenergi-ventilation	
		Frekvens-regulerede motorer	Jævnstrøms-motorer
Produktion	Standard-elforbrug	Sparet elforbrug	Sparet elforbrug
Konv. slagtekyllinger	12,6	7,0	8,6
Hønniker (levekyllinger)	11,0	6,3	7,6
<i>Gennemsnit</i>			7,4
Økologiske slagtekyllinger	7,5	4,2	5,0
Æglæggende høner (skrabehøner)	9,6	4,5	6,0
Æglæggende høner (frielands- og økologiske høner)	6,4	3,0	4,0
<i>Gennemsnit</i>			4,4

Da der er et vist overlap i de beregnede energiforbrug mellem de forskellige driftsgrene, er der af hensyn til forenkling af støtteordningen foretaget en gruppering i henholdsvis konventionelle slagtekyllinge- og hønnikeproduktion samt stalde til økologiske slagtekyllinge- og æglæggende høner (tabel 5.2).

*Specifikationer.* Teknologien anvendes i mekanisk ventilerede stalde til produktion af hønniker, konventionelle slagtekyllinger, æglæggende høner/høns og økologiske slagtekyllinger. Lavenergi-motorer som erstatning for eksisterende spændingsregulerede (triac) ventilatormotorer eller andre traditionelle ventilatormotorer i et eksisterende ventilationsanlæg.

*Obligatoriske elementer.* Lavenergi-motorer inkl. ventilatorvinger.

*Valgfrie elementer.* Elektronisk styringsenhed.

### **Standardmiljøeffekt: Lavenergi-ventilatorer**

Standardmiljøeffekt for lavenergi-ventilatorer er vist i Tabel 5.2.

**Tabel 5.2:** Standardmiljøeffekt for lavenergi-ventilatorer

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kWh år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
5.1	Lavenergiventilatorer, slagtekyllinger og hønniker	15	Konventionelle slagtekyllinger og hønniker (konv. og øko.)	7,4
5.2	Lavenergiventilatorer, økologiske slagtekyllinger og æglæggende høner	15	Økologiske slagtekyllinger og æglæggende høner (skrabe-, friland og øko.)	4,4

## LED-belysning

Udskiftning af pulverrørs-armaturer til LED-baseret armaturer i fjerkræstalde. I slagtekyllingestalde kræves ensartet og stabil staldbelysning. Der tilstræbes en lysstyrke i gulvniveau på ca. 25 lumen. Afhængig af de konkrete forhold og ved hensigtsmæssig placering af armaturer kræver det et 50 watt LED-armatur per 80 - 100 m<sup>2</sup> gulvareal.

Dimensioneringen af belysning i stalde til opdrætsstalde med hønnikeproduktion skønnes ikke at adskille sig væsentligt fra konventionelle slagtekyllingestalde.

Belysningen i stalde til æglæggende høner (konsumægshøner og rugeægshøns; konventionelle og økologiske) skønnes dimensioneret som konventionelle slagtekyllingestalde. Hvis det antages, at der er kunstig belysning i staldene i 5840 timer per år svarende til mindstekravet i Bekendtgørelse om beskyttelse af æglæggende høner (BEK nr. 881 af 28/06/2016), beregnes energiforbruget til 1,5 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal.

Da energibesparelsen er stort set den samme for stalde til produktion af konventionelle slagtekyllingestalde, hønniker og stalde til æglæggende høner, samles disse i én kategori med en standard-miljøeffekt på 1,4 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal.

*Energibesparelse.* Følgende beregningseksempler er benyttet som grundlag for beregning af energibesparelsen ved LED-belysning i kyllingestalde (tabel 5.3). Eksemplet baserer sig på en test i to konventionelle slagtekyllingestalde (Rasmussen, 2013) og er opstillet efter kommunikation med energi- og teknikrådgiver Gunnar Schmidt, Byggeri og Teknik, Herning.

**Tabel 5.3.** Beregning af besparelse i elforbrug ved udskiftning af traditionelle lysstofrør med LED-belysning i fjerkræstalde.

	Lysstofrør (Reference)	LED-belysning	Besparelse
<i>Konventionelle kyllingestalde</i>			
Installeret effekt ( $W m^{-2}$ produktionsareal)	0,76	0,50	0,26
Driftstid (timer dag <sup>-1</sup> )	16	16	
Dage per hold inkl. tømning, vask og klargøring	38	38	
Dage per hold til tørring og opvarmning af stald uden lys	4	4	
Hold per år	8,7	8,7	
Driftstid (timer år <sup>-1</sup> )	5289	5289	
Forbrug ( $kWh år^{-1} m^{-2}$ produktionsareal)	4,0	2,6	1,4
<i>Stalde til æglæggende høner</i>			
Installeret effekt ( $W m^{-2}$ produktionsareal)	0,76	0,50	0,26
Driftstid (timer år <sup>-1</sup> )	5840	5840	
Forbrug ( $kWh år^{-1} m^{-2}$ produktionsareal)	4,4	2,9	1,5
<i>Stalde til økologiske slagtekyllinger</i>			
Installeret effekt ( $W m^{-2}$ produktionsareal)	0,76	0,50	0,26
Driftstid (timer dag <sup>-1</sup> )	12	12	
Dage per hold inkl. tømning, vask og klargøring	62	62	
Dage per hold til tørring og opvarmning af stald uden lys	5	5	
Hold per år	5,4	5,4	
Driftstid (timer år <sup>-1</sup> )	4017	4017	
Forbrug ( $kWh år^{-1} m^{-2}$ produktionsareal)	3,0	2,0	1,0

Produktionsarealet for konventionelle slagtekyllinger er identisk med friarealet defineret i Bekendtgørelse om dyrevelfærdsmæssige mindstekrav til hold af slagtekyllinger og rugeægproduktion til produktion af slagtekyllinger samt om uddannelse ved hold af slagtekyllinger (BEK nr 1747 af 30/11/2020). Produktionsarealet for konventionelle æglæggende høner svarer til nyttearealet defineret i henhold til §2 stk. 4 i Bekendtgørelse om beskyttelse af æglæggende høner (BEK nr 881 af 28/06/2016). Produktionsarealet for økologiske kyllinger og æglæggende høner svarer til arealkravene defineret i Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion (2022).

*Specifikationer:* LED-armaturer eller lamper indeholdende LED-lysdioder til erstatning af traditionelle pulverrørsarmaturer eller lignende. Teknologien anvendes i fjerkræstalde til slagtekyllinger, hønniker og æglæggende høner/høns

*Obligatoriske elementer:* LED-armaturer med LED-rør eller LED-lamper eller LED-rør udviklet til eftermontering i eksisterende armaturer med pulverrør (kondensator og glimttænder fjernes).

#### **Standardmiljøeffekt: LED-belysning i fjerkræstalde**

Standardmiljøeffekt for LED-belysning er vist i Tabel 5.4.

**Tabel 5.4:** Standardmiljøeffekt for LED-belysning

Nr.	Teknologi	Levetid, år *	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kWh år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
5.3	LED-belysning, slagtekyllinger, hønniker og æglæg-gende høner	10	Konventionelle slagtekyllinger, hønniker og æglæg-gende høner	1,4
5.4	LED-belysning, økologiske slagtekyllinger	10	Økologiske slagtekyllinger	1,0

\* Levetiden af LED-armaturer skønnes at være 20 år. LED-lys-enhederne skønnes at have en levetid på 10 år.

## Opvarmning af slagtekyllingestalde og stalde til hønnikeproduktion med varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe

Anvendelse af ældre varmesystemer bestående af varmtvandskaloriferer og en ældre ureguleret cirkulationspumpe som opvarmingskilde i slagtekyllingestalde er forbundet med et elforbrug til drift af kaloriferernes ventilatorer samt cirkulationspumpen. Dette elforbrug og deraf følgende forbrug af fossilt brændstof kan nedsættes ved at installere varmerør med automatisk trinløs reguleret cirkulationspumpe. Opvarmning med varmerør giver i sig selv ikke et lavere energiforbrug til opvarmning, men elforbruget til drift af kaloriferernes ventilatorer fjernes, ligesom en automatisk trinløs regulerbar cirkulationspumpe reducerer elforbruget til pumpning af varmt vand.

*Energibesparelse.* Ændring af varmeanlæg fra anvendelse af varmtvandskaloriferer med ældre ureguleret cirkulationspumpe til varmerør og automatisk trinløst reguleret cirkulationspumpe påvirker udledningen af klimagas i kraft af et lavere forbrug af fossilt brændstof til produktion af el til drift af hhv. ventilator i kaloriferer samt cirkulationspumpe. Reduktionen i udledningen af klimagasser er proportional med den beregnede/observerede reduktion i elforbruget. En undersøgelse udført af SKOV A/S (Fisker, 2013) viste, at elforbruget til drift af 4 stk. varmtvandskaloriferer i en kyllingestald på ca. 2000 m<sup>2</sup> udgjorde ca. 3.800 kWh per år svarende til ca. 6 % af staldens årlige samlede elforbrug, mens cirkulationspumpen forbrugte ca. 8.200 kWh. Dette svarer i alt til ca. 6,0 kWh per m<sup>2</sup> produktionsareal per år. Udskiftning af det ældre varmtvandskalorifereanlæg med ripperørsopvarmning med moderne regulerbare cirkulationspumper reducerede elforbruget med ca. 80 % til 1 kWh per m<sup>2</sup> gulv per år, svarende til en besparelse på ca. 5,0 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal (Mortensen, 2013). Det antages, at en tilsvarende besparelse i elforbruget vil være opnåelig i økologiske slagtekyllingestalde og opdrætsstalder til hønnikeproduktion.

*Specifikationer.* Beregningerne forudsætter, at teknologien anvendes i eksisterende stalde til slagtekyllinger og/eller hønniker og erstatter eksisterende vandbåret varmesystem med on-off regulering af varmtvandsforsyningen til varmtvandskaloriferer. Cirkulationspumpen skal kunne reguleres trinløst og automatisk.

*Obligatoriske elementer.* Trinløs automatisk regulerbar cirkulationspumpe. Varmerør i form af ribberør, deltarør eller sorte rør.

## Standardmiljøeffekt: Opvarmning af stalde til slagtekyllinger og hønniker med varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe

Standardmiljøeffekt for opvarmning af stalde til slagtekyllinger og hønniker med varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe er vist i Tabel 5.6.

**Tabel 5.6:** Standardmiljøeffekt for varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe

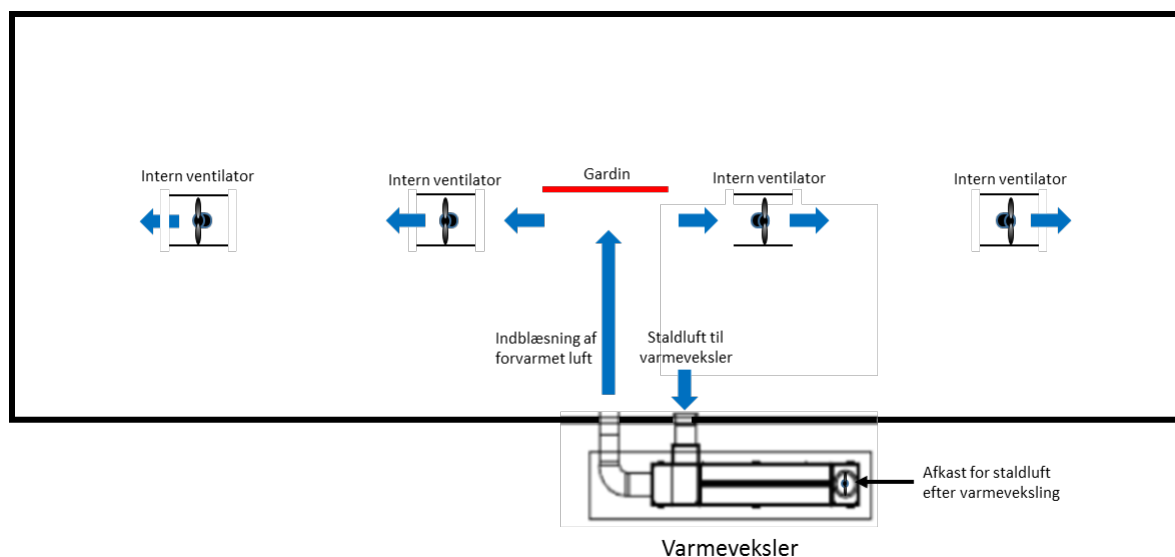
Nr.	Teknologi	Levetid, år *	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kWh år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
5.5	Varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe, slagtekyllinger og hønniker	20	Slagtekyllinger, hønniker (konv. og øko.)	5,0

\* Levetiden af varmerørene skønnes til 25 år, mens en vandpumpe skønnes at have en levetid på 10 år.

## Luft-til-luft varmevekslere i stalde til produktion af slagtekyllinger og hønniker

Princippet med varmevekslere tilkoblet kyllinge- og hønnikeopdrætsstalde er, at varm afgangsluft fra stalden passerer gennem en vekslerflade, før den føres ud af stalden, hvorved afgangsluften forvarmer den køligere luft udefra, før den blæses ind i stalden. Dermed reduceres energiforbruget til opvarmning af slagtekyllingestaldene.

Anlægget består af et kabinet indeholdende varmeveksler-unit(s) og ventilator(er), som monteres uden for stalden. Varmeveksleren forbindes til stalden via ventilationsrør for hhv. luftudsugning og luftindblæsning. Luftindblæsningen blæser luften fra varmeveksleren op under kippen i stalden i en opadrettet vinkel svarende til taghældningen. Under tagkappen monteres et gardin, som bremser luften, mens ophængte, interne luftfordelingsventilatorer leder luften i staldens længderetning (figur 5.1).



**Figur 5.1.** Planskitse af kyllingestald med eksempel på varmeveksler-løsning, hvor den forvarmede luft fra varmeveksler blæses i en opadrettet bevægelse mod tagkipp. Her vist med et gardin ophængt under kippen, der bremser luften og leder den i staldens længderetning mod gavlenderne for øget fordeling af luftindtaget.



Ved afkøling af den varme luft vil der ofte ske en fortætning af vand, så varmeveksleranlæg producerer kondensvand indeholdende ammoniak og støv, som bør behandles som flydende gødning. Dertil kommer vaskevand fra rengøring af anlæggene. Installering af interne cirkulationsventilatorer i kyllingestalden sikrer endvidere en bedre fordeling af den tilførte varme i staldrummet og har som sidegevinst, at ammoniakemissionen kan reduceres. Dette kræver dog produktspecifik optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste for, at varmevekslere kan betragtes som ammoniakreducerende.

### *Energireduktion*

Der er gennemført praktiske undersøgelser af henholdsvis en varmeveksler af typen Clima+ 200 fra Agro Supply, som i Danmark forhandles af Rokkedahl Energi A/S (Energi Nord, 2012) og "EARNY" fra firmaet Big Dutchman A/S (Kruse, 2012 cf. Clausen et al., 2013), og som i begge tilfælde har resulteret i en varmebesparelse på ca. 80 %. En nederlandsk undersøgelse på 13 kyllingefarme indikerer dog en væsentlig lavere effekt på kun 38 % reduktion i varmekonsumet (Bokkers et al., 2010). Kapaciteten af de nederlandske varmevekslere var dog noget lavere end dem, der er afprøvet i Danmark. Tilsvarende er årsmiddeltemperaturen i Nederlandene ca. 2°C højere end i Danmark, hvilket påvirker behovet for varmetilsætning og dermed varmegenindvinding. Omvendt inkluderer de danske undersøgelser tilsyneladende ikke varmekonsum til udtørring og opvarmning af staldene ved opstart af et nyt hold kyllinger, hvorfor der skønnes en effekt på 60 % ved anvendelse af luft-til-luft varmevekslere under danske forhold (Adamsen og Jacobsen, 2022).

### Konventionelle slagtekyllingestalde

Energikonsumet til opvarmning af slagtekyllingestalde uden varmeveksler varierer efter blandt andet årstid, produktionsform og varmeanlæggets dimensionering. Ved anvendelse af simuleringssystemet StaldVent er varmebehovet i konventionelle slagtekyllingestalde beregnet til 2,2 kWh per produceret kylling svarende til 355 kWh kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal ved anvendelse af et ældre oliefyldt kedel med en kedelnyttsevirkning på 80 %. Dette bekræftes af staldmålinger (Jakobsen, 2012) samt EnergiNord (2012).

### Stalde til økologiske slagtekyllinger

Stalde til økologiske slagtekyllinger adskiller sig fra de konventionelle på flere områder, bl.a. i forhold til belægningsgrad og flokstørrelse. Der er ikke fundet dokumentation for energikonsumet i økologiske slagtekyllingestalde, herunder dokumentation for effekten af anvendelse af varmevekslere i økologiske slagtekyllingestalde. Varmekonsumet uden varmeveksler er beregnet ved anvendelse af StaldVent til 5,3 kWh per produceret kylling svarende til 293 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal. Det årlige energikonsum til opvarmning af øko-slagtekyllingestalde forventes at være lidt lavere end for stalde til konventionelle slagtekyllinger på grund af færre hold per år og dermed færre timer om året med stort varmebehov.

### Opdrætsstalde med hønnikeproduktion

Der er ikke fundet dokumentation for energikonsumet i opdrætsstalde med hønnikeproduktion, herunder ingen dokumentation for effekten af anvendelse af varmevekslere. Varmebehovet uden varmeveksler er beregnet ved anvendelse af StaldVent til 5,9 kWh per produceret hønnike svarende til 313 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal. Energikonsumet til opvarmning af opdrætsstalde forventes at være lidt lavere end for slagtekyllingestalde på grund af færre hold per år og dermed færre timer om året med stort varmebehov.

Energiforbruget varierer fra 293 til 355 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal afhængig af produktion. Energiforbruget varierer sandsynligvis mindst lige så meget inden for som mellem produktioner, og det kan derfor forsvares, at gruppere produktionerne under ét, idet der som grundlag for beregning af miljøeffekten anvendes et reference-energiforbrug på 320 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> svarende til gennemsnittet af de tre produktioner.

Ved en besparelse på 60 % af varmevekslere kan standard-miljøeffekten beregnes til 192 kWh år<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> produktionsareal i stalden. Elforbrug til drift af varmeveksler og evt. intern luftfordeling i stalden vurderes kun at have marginal effekt på det samlede energiforbrug og er derfor udeladt af nærværende beregning.

*Specifikationer.* Luft-til-luft varmeveksler til anvendelse i stalde til produktion af slagtekyllinger og hønniker. Varmeveksleren skal have en kapacitet på min. 12 m<sup>3</sup>/time per m<sup>2</sup> produktionsareal.

*Obligatoriske elementer.* Et kabinet indeholdende luft-til-luft varmeveksler-unit(s) og ventilator(er). Ventilationsrør for tilkobling af varmeveksleren til stalden for hhv. luftudsugning og luftindblæsning.

*Valgfrie elementer.* Interne luftfordelingsventilatorer til ophæng under taget, under eller forskudt fra kippen. Luftfordelingsventilatorer er valgfri i forhold reduktion af energiforbruget. Hvis der ønskes ammoniakreducerende effekt, er de dog obligatoriske. Indbygget varmeblæse for tilførsel af vandbåren varme (kalorifer). Automatisk vaskesystem.

### Standardmiljøeffekt: Varmeveksler i stalde til slagtekyllinger og hønniker

Standardmiljøeffekt for varmeveksler til slagtekyllinger og hønniker er vist i Tabel 5.5.

**Tabel 5.5:** Standardmiljøeffekt for varmeveksler til slagtekyllinger og hønniker.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kWh år <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> produktionsareal
5.6	Varmeveksler, slagtekyllinger og hønniker	15	Slagtekyllinger og hønniker (konv. og øko.)	192

### Gastæt silo til opbevaring af foderkorn og kernemajs til foder

Ved gastæt lagring opbevares kornet i et iltfrit miljø for at forhindre kornet i at ånde, hvorved der tabes kulstof i form af CO<sub>2</sub> og dermed energi. Ved lagring af fugtigt korn (fx indeholdende 18 % vand) vil ilten hurtigt forbruges via kornets åndingsproces. Ved mere tørt korn vil der kun være en meget svag åndingsproces, og der kan være risiko for, at ilten ikke forbruges hurtigt nok. For at sikre iltfrie forhold kan der tilsættes CO<sub>2</sub>. For at fortrænge ilten skal der tilsættes ca. 0,5 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> silo rumindhold. I beregningerne er det forudsat, at der hvert andet år er behov for tilsætning af 0,5 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> silo svarende til i gennemsnit 0,33 kg CO<sub>2</sub> per ton korn per år (rumvægt: 0,75 ton/m<sup>3</sup>).

Fordele ved gastæt lagring:

- Ikke behov for tørring
- Større høstvindue / flere driftstimer for mejetærsker

- Forøget fordøjelighed af fosfor, ca. 10 % (Poulsen, 2010).
- Tendens til øget fordøjelighed af protein (Poulsen, 2010).

Ulemper gastæt lagring:

- Kornet er ikke en standard handelsvare
- Udgifter til CO<sub>2</sub>
- Siloen ikke anvendes til maltbyg, fremavlskorn mm. (reduceret fleksibilitet)

*Energibesparelse.* Følgende beregninger er baseret på håndtering og lagring af foderkorn. Referencesituationen er traditionel tørring og opbevaring i lagersilo. Basisvandindhold for foderkorn er 15 %, hvor det er lagerfast. Ved høst er der en vis årsvariation i kornets vandindhold, så der nogle år slet ikke er behov for tørring, mens kornet andre år høstes med 18 % vandindhold. I beregningerne er forudsat, at det i et gennemsnitsår vil være nødvendigt at nedtørre kornet 1,5 procentenhed (nedtørring fra 16,5 % til 15,0 %) svarende til 15 kg vand per ton korn. Tørring og lagring sker i rund stålsilo med tørrebund, tørreluftblæser af centrifugaltypen, olieovn med indirekte luftopvarmning (nyttevirkningsgrad 80 %), snegle til omrøring og opblanding af korn.

Energiforbruget for lagersilo med tørring er baseret på resultater publiceret i Grøn Viden, Markbrug nr. 282 (Kristensen & Gundtoft, 2003). Der er regnet med konstant drift af blæser og olieovn, indtil kornet er nedtørret til 15 % vandindhold. Energiforbruget til drift af tørreblæser og oliebrænder er anslået til henholdsvis 0,7 og 2,7 MJ = 3,4 MJ pr. kg fordampet vand svarende til 0,944 kWh pr. kg fordampet vand. Herudover er der et energiforbrug svarende til 1,0 kWh pr. ton korn til drift af omrører-snegle under tørring og ventilering.

Der regnes med en massefylde på 750 kg korn per m<sup>3</sup> (tabel 5.7).

**Tabel 5.7:** Beregning af energiforbrug ved nedtørring af korn.

	Per hkg korn	Per m <sup>3</sup> silo
Nedtørring (16,5-15 %), kg vand	<b>1,76</b>	<b>13,2</b>
Tørreblæser, 0,194 kWh/kg vand	<b>0,34</b>	<b>2,57</b>
Tørring, 0,75 kWh/kg vand	<b>1,32</b>	<b>35,7</b>
Omrøring, 1 kWh/ton	<b>0,1</b>	<b>0,75</b>
I alt, kWh	<b>1,8</b>	<b>13</b>

På baggrund af ovenstående beregning er standardmiljøeffekten fastsat til 13 kWh/år per m<sup>3</sup> silokapacitet.

*Specifikationer.* Gastæt silo til lagring af foderkorn eller kernemajs til foder til fjerkræ.

*Obligatoriske elementer.* Gastæt kornsilo inkl. fundament. CO<sub>2</sub>-udstyr for påfyldning af CO<sub>2</sub>. Transportsnegle. Stylingstavle.

*Valgfrie elementer.* Fyldeudstyr (rør, snegl, blæser, kopelevator). Udstyr til måling af ilt-indhold. Lungesystem.

## Standardmiljøeffekt: Gastæt opbevaring af foderkorn og kernemajs

Standardmiljøeffekt for gastæt opbevaring af foderkorn er vist i Tabel 5.8.

**Tabel 5.8:** Standardmiljøeffekt for gastæt opbevaring af foderkorn

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kWh år <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> silo
5.7	Gastæt opbevaring af foderkorn	20	fjerkræ	13

## Referencer

Adamsen, A.P.S. og Jacobsen, B.H. 2022. Luft-til-luft varmeveksler og interne luftcirkulationsventilatorer til slagtekyllingestalde - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelses-bekendtgørelsens BAT-krav. 16 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

AGRILIGHT B.V., Vlotlaan 412,2681 TV Monster, Nederland. Brochure.

Bokkers, E. A. M., van Zanten, H. H. E., & van den Brand, H. (2010). Field study on effects of a heat exchanger on broiler performance, energy use, and calculated carbon dioxide emission at commercial broiler farms, and the experiences of farmers using a heat exchanger. *Poultry Science*, 89(12), 2743-2750. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00902>

Clausen, T., P. Vinstrup, N. Provstgaard & J. S. Petersen. 2013. Klimavenlige tiltag i slagtekyllingeproduktionen og den økologiske konsumægproduktion. Rapport. Videncentret for Landbrug Fjerkræ.

Energistyrelsen. 2014. Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger <http://www.ens.dk/info/tal-kort/frem-skrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-beregnings-forudsætninger>

Fisker, C. 2013. Fordeling af strømforbrug i en slagtekyllingestald. Newsletter from Business Development. SKOV A/S. 2 pp.

Hansen, M.N. 2016. Odour and ammonia emission from broiler houses with and without a heat exchanger system. VERA test report. AgroTech, Skejby, 95 pp.

Hansen, M.N., S. G. Sommer, N. J. Hutchings & P. Sørensen. 2008. Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning., 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.

- Hansen, M.J., T. Nyord, L.B. Hansen, L. Martinsen, B. Hasler, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund, J.N. Sørensen, C. Ottosen, L. Andersen. 2013. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA Rapport Nr. 29, Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug
- Hansen, M.J., Nyord, T., Hasler, B., Poulsen, H.D. og Lund, P. 2014. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. 43 pp.
- Jakobsen, S.V. 2012. Energirådgiver hos SEAS-NVE. Måling af energibesparelse ved brug af EARNY varmeveksler fra Big Dutchman. 2 pp.
- Johansen, K.H. 2012. Energirådgiver Energinord. Effektmålinger ved brug af varmeveksler i slagtekyllingerproduktion. Notat. 2 pp.
- Johansen, K.H. 2013. Energirådgiver Energinord. Kalkulationspriser og forudsætninger. Notat.5 pp.
- Kai, P., J. S. Strøm & B-E. Jensen (2007): Delrensning af ammoniak i staldluft. Grøn Viden, DJF Marbrug. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- 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.
- Kai, P., J. Elvstrøm & H. Bækgaard. 2015. Normtal for husdyrgødning 2014/15 - Baggrund for justering af tabsfaktorer for stalde til slagtekyllinger, rugeægshøns (HPR-høner) og mink. Aarhus Universitet. 10 pp.
- Miljøstyrelsen, udateret. Forudsætninger for de økonomiske beregninger ved overdækning. <http://www2.mst.dk/wiki/GetFile.aspx?File=/BAT/Teknologiblade/Oekonomiskeforudsætningeroverdaekning.pdf> (hentet 10-08-2017)
- Miljøstyrelsen, 2011. Hyppig fjernelse af gødning fra æglæggende høns som ikke holdes i bur (alternativ hønsehold). Teknologiblad. 1. udgave. 10 pp.
- Mortensen, K. 2013. Ribberørsopvarmning contra calorifere opvarmning i kyllingehus. EnergiMidt.
- Petersen, J.S. & J. Elvstrøm. 2013. Notat vedrørende hønedyllingers proteinbehov. Videncentret for Landbrug, Fjerkræ. 2 sider.
- Petersen, S.O., N. Dorno, S. Lindhorst, A. Feilberg, J. Eriksen. 2013. Emissions of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> and odorants from pig slurry during winter and summer storage. Nutrient Cycling in Agroecosystems (2013) 95:103–113
- Poulsen, H.D. 2016. Normtal for husdyrgødning – 2016. Aarhus Universitet.

Rasmussen, S. G. 2013. Måling af energibesparelser. Måling af energibesparelser ved anvendelse af LED-belysning i kyllingestalde. Rapport. AgroTech

## Indsatsområde 6: Planteavl, reduktion af pesticidforbrug

*Forfatter: Michael Nørremark, Institut for Elektro- og Computerteknologi, Operations Management, AU*

### Oversigt over kombinationer af afgrøde- og plantebeskyttelsesmiddelkategorier.

Miljøeffekten for en given teknologi er angivet i enheden  $B \text{ ha}^{-1}$ , hvor B er et udtryk for fladebelastningen. Fladebelastningen er beregnet på grundlag af viden om de enkelte aktivstoffers miljøegenskaber. Arealet vedrører det areal teknologien anvendes på og har effekt på, det vil sige dyrkningsareal for de enkelte afgrøder/afgrødetyper som angivet i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik for årene 2014 til og med 2018. Miljøeffekten for de enkelte teknologier er beregnet på baggrund af mængden af solgte plantebeskyttelsesmidler (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) hvor fladebelastningen for ukrudtsmidler, svampemidler, vækstbehandlingsmidler og insektmidler er angivet for forskellige afgrødetyper. Fladebelastning for glyphosat er angivet som anvendelse mellem to afgrøder på arealer i omdrift. Der er udregnet fladebelastning for kombinationer af ovennævnte plantebeskyttelsesmiddelkategorier og afgrøder i forbindelse med udregning af standard miljøeffekt for de enkelte pesticidreducerende teknologier. I beregningerne indgår det samlede areal for afgrødekategorier, som oplyst i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik for årene 2014 til og med 2018. En analyse for de forskellige afgrødekategorier i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik for årene 2019 og 2020 viser at opgørelserne ligger inden for minimum og maksimum for årene 2014-2018. Det er derfor umiddelbart vurderet at de beregnede fladebelastninger per ha per år for kombinationerne af afgrøde- og plantebeskyttelsesmidler i tabel 6.1 er retvisende.

Tabel 6.1 herunder viser de gennemsnitlige fladebelastninger for relevante kombinationer af afgrøder og plantebeskyttelsesmiddelkategorier, som er anvendt i beregningerne af de enkelte teknologiers standard miljøeffekt under afsnit 5. Fladebelastninger i tabel 6.1 er vægtet i forhold til arealanvendelse for de kombinationer hvori der indgår flere afgrødekategorier, da teknologier i et vist omfang kan anvendes i flere afgrøder. **Denne fremgangsmåde er forskellig fra afsnit 8** hvor fladebelastning er opgjort for hver afgrødekategori da de enkelte teknologier er afgrøde- eller kulturspecifik.

**Tabel 6.1:** Oversigt over kombinationer af afgrøde- og plantebeskyttelsesmiddelkategorier for årene 2014 til og med 2018. Opgørelserne er udledt på baggrund af salgstal, fladebelastninger og arealanvendelse for afgrødekategorier oplyst i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistikker.

	År					Gns.
	2014	2015	2016	2017	2018	
	Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>					
Glyphosat	0,05	0,07	0,07	0,10	0,08	0,074
Alle afgrøder (alle plantebeskyttelsesmidler excl, glyphosat)	1,56	2,06	1,45	1,78	1,84	1,739
Korn (ukrudtsmidler excl, glyphosat)	0,43	0,67	0,48	0,46	0,63	0,533
Majs, roer, bælgæd, raps og frø (ukrudtsmidler excl, glyphosat)	0,84	0,91	0,95	0,97	1,08	0,949
Alle afgrøder (ukrudtsmidler excl, glyphosat)	0,48	0,72	0,58	0,60	0,76	0,631
Korn (ukrudts-, svampe- og vækstreguleringsmidler excl,	1,49	1,92	1,14	1,41	1,29	1,450
Alle afgrøder (alle plantebeskyttelsesmidler incl, glyphosat)	0,53	0,79	0,65	0,70	0,84	0,704
Korn, raps, frø og bælgplanter (ukrudtsmidler)	0,53	0,74	0,60	0,58	0,73	0,634
Kartofler (ukrudtsmidler)	1,05	3,76	2,70	3,66	4,70	3,174
Kartofler (svampemidler) og korn (svampe- og insektmidler)	1,11	1,34	0,74	1,09	0,97	1,049
Majs og roer (ukrudtsmidler)	0,55	0,68	0,57	0,67	0,87	0,668
Roer (ukrudtsmidler)	1,72	2,51	1,70	1,79	2,37	2,018
Roer og raps (ukrudtsmidler)	1,40	1,29	1,41	1,44	1,27	1,387
Majs (ukrudtsmidler)	0,31	0,38	0,33	0,42	0,55	0,398
Majs, roer, kartofler, frø, raps (alle plantebeskyttelsesmidler)	1,48	2,11	2,02	2,32	2,49	2,082
Majs, roer, raps(ukrudtsmidler)	0,87	0,88	0,91	1,00,	0,98,	0,913
Skovbrug + juletræer mv., ukrudtsmidler uden glyphosat	0,27	0,35	0,33	0,39	N.a.	0,334

## Sprøjteteknik: Styling af sektions- eller dyse afblænding i kombination med pløtsprøjtning (on/off) tildeling ud fra kortlægningsservice

Dobbelt dosering, dvs. overlap, på marker ved forland og i kiler minimeres med automatisk lukning af et antal sektioner eller dyser på en sprøjtebom. Med GNSS baseret sektionslukning af mindre sektioner af dyser på sprøjtebommen reduceres overlap i marker væsentligt, mens enkelt dyselukning næsten eliminerer overlap. Der må forventes store forskelle i besparelspotentialer, idet markpolygoner strækker sig fra regulære firkantede marker uden remiser til irregulære marker med remiser, elmaster etc. (Larson et al., 2016). De fleste danske landbrug vil have mange marker og marker, som typisk vil variere imellem de to nævnte ekstremer. Det skønnes derfor, at en gennemsnitlig pesticidreduktion på 7 % vil være repræsentativ under danske forhold, og ud fra markedsførte teknologier, samt på baggrund af udenlandske forsøgsresultater af registrering af overlap ved henholdsvis manuel og automatisk lukning af 5 ens sektioner på en 24,8 m bred sprøjtebom (Luck et al., 2009, Kaivosoja og Linkolehto, 2016).

Ovennævnte sprøjteteknik på sprøjtebomme kan opgraderes til at foretage automatisk tænd og sluk for sprøjtevæske i sektioner på basis af forudgående kortlægning. Teknologien vil sandsynligvis være mest udbredt for bekæmpelse af flerårigt ukrudt i korn før høst eller i stub, men metoden kan også anvendes for stedspecifik bekæmpelse af andre skadegørere. Med udgangspunkt i automatisk tænd/sluk på marksprøjter for stedspecifik bekæmpelse af flerårigt ukrudt i korn før høst og i stub, er der vurderinger foretaget under danske forhold der viser at typisk ukrudtsdækning for flerårigt ukrudt på behandlingskrævende marker udgør op til 20 % af arealet



(Rasmussen et al., 2016; Fabricius et al., 2021; Petersen et al., 2021). Flerårigt ukrudt forekommer i stedspecifikke klynger (Donald 1994; Hansen, 2001), og bør bekæmpes, inden ukrudtsarterne for alvor breder sig i marken. De potentielle glyphosat-besparelser er vurderet til at udgøre ca. 80 % ved bekæmpelse af flerårigt ukrudt før høst i korn og i stub. Såfremt markerne behandles med en sprøjte, hvor hver dyse tændes og slukkes uafhængigt af de øvrige, vil der kunne opnås den højeste besparelse. Ved kortlægningservice forstås enten ekstern producent eller egen udarbejdelse af digitale tildelingskort som kan anvendes i sprøjteterminaler.

Med indtegnning af områder med ukrudt på et kort som kan læses af en sprøjteterminale, vil sprøjtning udføres automatisk i disse områder, samtidig med at overlap i forland og i kiler minimeres ved, at udstyret automatisk henholdsvis tænder og slukker enten et antal sektioner på sprøjtebommen eller hver enkelt dyse. Marksprøjter til disse formål er udstyret med en sprøjtebom med enkeltdyseaflukning eller sektionsaflukning (<5 m sektioner i gns. af alle bomsektioner).

*Specifikationer.* Udstyret kan monteres som ekstraudstyr på ny eller eksisterende sprøjte. Sprøjten skal være udstyret med en sprøjtebom med enkeltdyseaflukning eller sektionsaflukning (<5 m i gennemsnit af alle bomsektioner, minimum 5 bomsektion) for overlapreduktion og som minimum aflukning på bomniveau for pletsprøjtning. Sprøjten skal være udstyret med automatisk sektions-, forstøver- eller dyseluk ved overlap, og være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 6 meter. Der skal være en enten selvstændig, traktorintegreret, eller multifunktionel terminal til styring af sprøjten. Denne teknologi kan ikke kombineres med teknologi 6.2.

*Obligatoriske elementer.* Elektronisk styring af on/off flow på sektions-, forstøver- eller dyseniveau for overlapreduktion. Software på terminal for bom-, sektions-, forstøver- eller dyseafblænding og indlæsning af tildelingskort for pletsprøjtning.

*Valgfrie elementer.* GNSS modtager og antenne, som kan være af RTK-GNSS-typen for høj nøjagtighed. Terminal/skærm med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere pletsprøjtning. Ventiler, slanger og rør. Injektionsprøjtesystemer til pletsprøjtning, herunder software og elektronisk dosering af injektionsmængde, hvor et væskeflowsystem med returløb til hovedtank accepteres. Injektionsprøjtesystemer til pletsprøjtning, hvor væskeflowsystemer som fører rent vand retur til hovedtank, er obligatorisk, og hvor pletsprøjtning (on/off) dosering af plantebeskyttelsesmidler styres af injektionspumpe(r) med elektronisk dosering af injektionsmængde. Doseringen skal kunne varieres elektronisk ved injektion til væskestrømmen.

### **Standardmiljøeffekt: Styring af sektions- eller dyse afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) tildeling ud fra kortlægningservice**

Standardmiljøeffekt af autostyring og sektionsafblænding af sprøjter i kombination med on/off tildeling ud fra kortlægningservice er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på  $1,739 B \text{ ha}^{-1}$  for alle landbrugsafgrøder og sprøjtemidler anvendt i afgrøde-grupperne; korn (vintersæd og vårsæd), raps, frø, kartofler, roer, bælgplanter og majs. For glyphosat er gns. fladebelastning på  $0,074 B \text{ ha}^{-1}$  anvendt i beregningerne. Ovennævnte vurderinger af reduceret overlap og reduktion af glyphosat i procent udgør således samlet set reduktion i fladebelastning på  $0,18 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 6.2).

**Tabel 6.2:** Standardmiljøeffekt for styring af sektions- eller dyse afblænding i kombination med on/off tildeling ud fra kortlægningservice.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.1	Styring af sektions- eller dyse afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) tildeling ud fra kortlægningservice	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,18 ved 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og 80 % glyphosat reduktion

## Styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) og gradueret (variabel) tildeling ud fra kortlægningservice

Autostyring og sektionsafblænding af sprøjter i kombination med on/off tildeling (pletsprøjtning) ud fra kortlægningservice er forklaret under sektion 6.1. Gradueret (variabel) tildeling af plantebeskyttelsesmidler ud fra kortlægningservice er en metode til at foretage en sprøjtning med et givet effektniveau, hvor doseringen af en række plantebeskyttelsesmidler tilpasses afgrødens udvikling, ukrudtsarter og ukrudtstæthed. Variabel tildeling er afprøvet bekæmpelse af akksygdomme i vinterhvede ved skridning som viste signifikant vekselvirkning mellem dosis/respons og afgrødeudvikling (Jensen & Jørgensen, 2016). Ved den lave afgrødetæthed blev der opnået maksimal effekt ved en lav indsats af svampemiddel, mens der ved den høje afgrødetæthed blev opnået stigende svampbekæmpelse med stigende dosering. I forsøg af Whetton et al. (2018) var det muligt at reducere anvendt svampemiddel med 22-26 % i vinterhvede.

Graduering af vækstregulering (+/- 25 % af normal praksis dosering) i korn har vist enten let øget eller uændret udbytte (Griffin og Hollis, 2017; Thorsted, 2021). Thorsted (2019) har i et enkelt stribeforsøg vist at henholdsvis reduktion og forøgelse af vækstreguleringsmiddel med 25 % i vinterhvede er muligt uden udbyttetab, mens der på samme mark blev udført graduering på baggrund af satellitdata hvor der udover uændret udbytte ift. ensartet dosering, også blevet fundet signifikant mindre omfang af lejesæd i sammenligningen (Thorsted, 2021). Griffin og Hollis (2017) har på nogle vinterhvede marker og i stribeforsøg fundet en mindre udbyttetigning som følge af +/-20 % graduering af vækstreguleringsmidler ud fra satellitdata, men desværre ingen oplysninger om samlet reduktion i vækstreguleringsmidler.

For at minimere antallet af overkørsler, kombineres sprøjtning mod svampesygdomme og vækstregulering i korn, hvor enten injektionssprøjter eller flertankssystemer er nødvendige for at udføre disse kombinerede sprøjtninger som behovsbestemt og/eller som pletsprøjtning (~on/off). Det gælder også for behovsbestemt ukrudtssprøjtning på artsniveau. Der kan være behov for et forskelligt mix af midler afhængigt af ukrudtsarternes spredning og tæthed på marker.

Ukrudtskortlægning og stedspecifik herbicidsprøjtning har resulteret i 23 %-89 % herbicid besparelser i en række af i alt 65 markforsøg med korn, majs, sukkerroer og ærter uden at forårsage tab af afgrødeudbytte og merudgifter til ukrudtsbekæmpelse i de efterfølgende år (Berge et al., 2012; Christensen et al., 2009; Gerhards & Oebel, 2006; Petersen et al., 2021). I forsøgene blev besparelser i ukrudtsmidler beregnet og i nogle forsøg også realiseret ved dels at slukke for bomsektioner ud fra udbyttedmæssige tærskelværdier for ukrudt og dels ved at graduere

doseringen af ukrudtsmidler i forhold til sammensætningen af ukrudtsarter på markniveau og stedspecifik ukrudtstæthed. Behovet for ukrudtsmidler kan reduceres yderligere, hvis det udover at være stedspecifik, suppleres med opgørelse af de enkelte ukrudtsarter (Wiles, 2009). Graduering og pletsprøjtning med en tankblanding af ukrudtsmidler har i et forsøg resulteret i at 37 % af arealet i gennemsnit af 11 marker forblev ubehandlet (varierede mellem 2 %-89 %). Til sammenligning, så var resultatet af graduering og pletsprøjtning med tre forskellige tankblandinger af artsspecifikke ukrudtsmidler at 59 %-80 % af arealet forblev ubehandlet, afhængig af ukrudtsart (Gutjahr et al., 2012). Wiles (2009) konkluderede at størstedelen af besparelser for ukrudtsmidler opnås ved graduering og eller pletsprøjtning med to separate tankblandinger af ukrudtsmidler, men dette afhænger naturligvis af lokale forhold.

Et dansk stribeforsøg har påvist reduktion i ukrudtsmidler i roer med injektionssystem, hvor behovet for gradueret doseringer af hvert enkelt ukrudtsmiddel blev fastlagt enten efter registreringer i marken eller via en billedbehandlingsmetode. Der blev opnået reduktion i ukrudtsmidler på 10 %, men hvor doseringer for to ud af fire ukrudtsmidler var holdt høje og med lille interval for variabel dosering for at sikre effekt (Pedersen et al., 2004). Et andet eksempel på optælling af ukrudt forud for ukrudtssprøjtning er punkter i et grid. Kortlægning af ukrudtstæthed og arter var udgangspunkt for opnåelse af 29 % reduktion i forbruget af ukrudtsmidler som følge af graduering, og hvor udbytteforskel fra året før som følge af on/off sprøjtning var elimineret i en det andet dyrkningsår med hvede (Carrara et al., 2004).

Med indtegnning af områder med gradueret doseringer af tankblandinger og ubehandlet (pletsprøjtning) på et kort som kan læses af en sprøjteterminal (i nogle tilfælde nødvendigt med to terminaler), vil sprøjtning og dosering udføres automatisk i disse områder, samtidig med at overlap i forland og i kiler minimeres ved, at udstyret automatisk henholdsvis tænder og slukker enten et antal sektioner på sprøjtebommen eller hver enkelt dyse, samt kan variere dosering på enten bom-, sektions- eller dyseniveau.

*Specifikationer.* Marksprøjter til disse formål er udstyret med en sprøjtebom med automatisk sektions-, forstøver- eller dyseluk ved overlap for overlapreduktion (<5 m sektioner i gns. af alle bomsektioner, minimum 5 bomsektioner) og som minimum aflukning (on/off flow) og variabel dosering på bomniveau for henholdsvis pletsprøjtning og gradueret tildeling. Sprøjten skal desuden være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 6 meter. Elementerne kan eftermonteres på eksisterende sprøjteudstyr. På nye sprøjter er det ekstraudstyr. Der skal være en enten selvstændig, traktorintegreret, eller multifunktionel terminal til styring af sprøjten.

*Obligatoriske elementer for løsning 6.2a.* Injektionssystemet skal elektronisk kunne variere doseringen af flere plantebeskyttelsesmidler samtidigt over i væskestrømmen under udførsel af sprøjtning. Plantebeskyttelsesmidler som tilføres med injektionssystemet må ikke føres tilbage til hovedtanken. Pletsprøjtning (on/off) og gradueret (variabel) dosering af plantebeskyttelsesmidler styres af injektionspumpe(r) med elektronisk dosering af injektionsmængde.. Software for indlæsning af tildelingskort. Automatisk sektions-, forstøver- eller dyseluk for overlapreduktion på sektions- eller dyse- eller forstøverniveau. Elektronisk styring af pletsprøjtning (on/off) og gradueret (variabel) dosering på bom, sektions- eller dyse- eller forstøverniveau.

*Valgfrie elementer for løsning 6.2a.* GNSS modtager og antenne, som kan være af RTK-GNSS-typen for høj nøjagtighed. Terminal/skærm til styring af sprøjten med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne

håndtere pletsprøjtning og gradueret dosering samtidigt. Dyseholdere, ventiler, slanger og rør. Licens/åbning/opdatering af software på terminal/skærm for styring af sprøjten, herunder software for indlæsning af tildelingskort og elektronisk dosering af injektionsmængde.

*Obligatoriske elementer for løsning 6.2b.* Front- eller flertanks system, dobbelt dyselinje, indlæsning af tildelingskort, automatisk sektions- eller dyseluk ved overlap. Overlapreduktion skal fungere for samtlige dyselinjer. Elektronisk styring af pletsprøjtning (on/off) dosering på bom-, sektions-, dyse- eller forstøverniveau og variabel (gradueret) dosering på bom-, sektions-, dyse- eller forstøverniveau. Pletsprøjtning og gradueret tildeling skal fungere samtidig. Doseringen skal kunne varieres (gradueres) som enten flow-/trykregulering, dyseskift, PWM dyser eller forstøver dyser.

*Valgfrie elementer for løsning 6.2b.* GNSS modtager og antenne. Terminal/skærm til styring af sprøjten med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere pletsprøjtning og gradueret dosering samtidigt. Licens/åbning/opdatering af software på terminal/skærm for styring af sprøjten. Dyse- eller forstøver anordninger, ventiler, slanger og rør.

### **Standardmiljøeffekt: Styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) og gradueret (variabel) tildeling ud fra kortlægningservice**

Standardmiljøeffekt af autostyring og sektionsafblænding af sprøjter i kombination med on/off og variable tildeling ud fra kortlægningservice er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014-2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på  $1,739 B \text{ ha}^{-1}$  for alle landbrugsafgrøder og plantebeskyttelsesmidler anvendt i afgrøde-grupperne; korn (vintersæd og vårsæd), raps, frø, kartofler, roer, bælglplanter og majs ved beregninger for sektions- eller dyseafblænding. For pletsprøjtning med glyphosat er gns. fladebelastning på  $0,074 B \text{ ha}^{-1}$  anvendt i beregningerne. For beregninger af effekt for variabel tildeling er der taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på  $1,450 B \text{ ha}^{-1}$  for ukrudts-, vækstregulerings-, og svampe midler i korn (vintersæd og vårsæd). På baggrund af de ovennævnte forsøgsresultater vurderes pesticidreduktionen som minimum at antage 20 % for behovsbestemt og variabel tildeling, når de store variationer er taget i betragtning. Vurdering af reduktion i plantebeskyttelsesmidler udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på  $0,46 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 6.3).

**Tabel 6.3:** Standardmiljøeffekt for styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) og gradueret (variabel) tildeling ud fra kortlægningservice.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
6.2a, 6.2b	Styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) gradueret (variabel) tildeling ud fra kortlægnings-service	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælglplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,46 ved 20 % reduktion i ukrudts-, vækstregulerings-, og svampe midler i korn, 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og 80 % glyphosat reduktion

## Kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau

Dette afsnits standard miljøeffekt er afledt af baggrund og beregninger som er oplyst for teknologi 6.2 for plet-sprøjtning med glyphosat før høst i korn og i stub, samt variabel tildeling af ukrudtsmidler i korn. Der er markedsført nogle kortlægningsservices hvor det ene system anvender kameraer og software til at kortlægge ukrudt mht. tæthed, tokimbladet og enkimbladet, samt skelne afgrøde fra ukrudt, samlet set med et niveau for korrekt klassificering af arter mellem 80-92 % i kornafgrøder (Dyrman, 2017; Kaspersen et al, 2010). Det andet system anvender også kamera og software og kan kortlægge områder med tidsler og kvik i kornafgrøder før høst med en sikkerhed for korrekt klassificering mellem 92 og 97 % (Rasmussen et al, 2019).

*Specifikationer.* Teknologi for kortlægningen af ukrudt på artsniveau (som minimum differentiering mellem tokim- og enkimbladet og afgrøde, eller bestemmelse af områder med flerårig ukrudtsarter) som kan anvendes til on/off og/eller variabel dosering af en til flere ukrudtsmidler ved samme sprøjtning og efter tildelingskort. Der skal optages billeder mindst én gang pr. vækstsæson i hele opretholdelsesperioden.

Der kan anvendes eksisterende sprøjteudstyr eller der kan investeres i nyt udstyr som er tilskudsberettiget under teknologi 6.1 eller 6.2.

*Obligatoriske elementer for løsning 6.3a.* Kameraer som kan artsgenkende, monitere og kortlægge områder af ukrudtsarter før sprøjtning.

*Valgfrie elementer for løsning 6.3a.* Rammer og beslag for montering på køretøj, terminal, GNSS modtager og antenne og software. Licens/kontrakt hos relevant udbyder for behandling af data fra kameraer.

*Obligatoriske elementer for løsning 6.3b.* Består af licens/kontrakt hos relevant ekstern udbyder af kortlægningsservice som forestår droneoverflyvning, overkørsel, satellitdata samt databehandling frem til ukrudtskortlægning som kan læses af diverse sprøjte-/traktor-/autostyringsterminaler. Kortlægningsservice/licens skal være tilgængeligt i hele opretholdelsesperioden.

### Standardmiljøeffekt: Kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau

Standardmiljøeffekt for kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). For kortlægning forud for pletsprøjtning med glyphosat er gns. fladebelastning på  $0,074 B \text{ ha}^{-1}$  anvendt i beregningerne. For beregninger af effekt for kortlægning af ukrudt forud for variabel tildeling og/eller pletsprøjtning er der taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på  $0,533 B \text{ ha}^{-1}$  for ukrudtsmidler i korn (vintersæd og vårsæd). På baggrund af de nævnte besparelser i 6.1 og 6.2 samt ovennævnte forsøgsresultater med kortlægning vurderes pesticidreduktionen som minimum at antage 20 % for behovsbestemt og variabel tildeling, når de store variationer er taget i betragtning. Vurdering af reduktion i ukrudtsmidler udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på  $0,18 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 6.4).

**Tabel 6.4:** Standardmiljøeffekt for kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.3a, 6.3b	Kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau	5	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgeplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,18 ved 20 % reduktion i ukrudtsmidler til korn og 80 % glyphosat reduktion

## Båndsprøjtning i rækkeafgrøder

Båndsprøjtning kan anvendes ved plantebeskyttelse med ukrudts-, svampe- og insektmidler i rækkeafgrøder (f.eks. Bartholomaeus et al., 2016; Clayton, 2014). Ved at anvende båndsprøjtning, hvor der anvendes en båndbredde, der svarer til afgrødens båndbredde, reduceres forbruget af plantebeskyttelsesmidler i forhold til bredsprøjtning af hele arealet. Reduktionen vil afhænge af, hvilket dyrkningssystem og rækkeafstand, der anvendes. Der anvendes båndsprøjter med typisk en dyse pr. afgrøderække, men systemer med flere dyser vinklet i forhold til afgrøden er også markedsført. Dyserne kan endvidere være monteret indvendigt i en skærm, så sprøjtningen foretages afskærmet med en reduceret afdriftsrisiko og anvendes ikke selektive midler er det afgrøden der beskyttes via skærm. Det vurderes, at båndsprøjtningsteknologien kan reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler med op til 40 % i rækkeafgrøder forudsat at der anvendes normal dosering eller samme dosering som ved bredsprøjtning (Jensen & Lund, 2006). I GUDP-projektet IPM i Roer blev det konkluderet, at såfremt den sidste ukrudtssprøjtning i roer erstattes af 1-2 radrensninger vil forbruget af ukrudtsmidler kunne reduceres med ca. 30 %. Hvis bredsprøjtning af ukrudtsmidler erstattes af båndsprøjtning og der udføres radrensning vil den samlede besparelse i herbicidforbrug være op til 50 % (Thomsen og Nielsen, 2018). Båndsprøjter kan som nævnt ovenfor også anvendes ved bekæmpelse af andre skadegørere end ukrudt i afgrøderækker, men der foreligger ikke umiddelbart forsøg under dansk forhold som viser potentiel reduktion i svampe-, insekt- og vækstreguleringsmidler.

GNSS teknologi, autostyring og højdestyring vil potentielt give nye muligheder for at forbedre kapaciteten, hvis det bliver muligt også at anvende den almindelige marksprøjte til båndsprøjtning, hvilket har været forsøgt i projektet IPM i Roer. Ved at anvende 80 grader spredevinkel, 30-40 cm bomhøjde og skråstilling af dyser ifht. kørselsretning, er det muligt at sprøjte i smalle bånd (Secher, 2017). De foreløbige tests har vist lovende resultater, og det kunne potentielt blive et stort gennembrud for båndsprøjtning (Secher, 2017). Systemer for båndsprøjtning med alm. marksprøjter er begyndt at blive markedsført, men teknologien er meget ny og må betragtes som prototyper indtil videre.

*Specifikationer.* Der er to mulige teknologier. Løsning 6.4a er aktiv sideværtsstyring af de enkelte sektioner eller hjulstyring på trailersprøjte/selvkørende marksprøjte, hvor sidstnævnte er på prototypetastadie. Marksprøjten skal være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 15 meter. Sprøjten udstyret monteres på skal være ældre end årgang 2022. Løsning 6.4b er en komplet båndsprøjte med én eller flere dyser monteret lodret over rækken eller med mindst en dyse som er vinklet i forhold til hver enkelt afgrøderække eller mellem afgrøderækker. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologi 6.4b skal betjene. Båndsprøjten under

6.4b må maksimalt have en bombredde på 15 meter i udklappet tilstand. Fælles for løsning a og b er at dyser på sprøjtebommen skal centreres og føres i præcis højde over hver enkelt afgrøderække. Herved efterlades et bånd af sprøjtemiddel som breddemæssigt er tilpasset afgrøderække og dosering. Typisk er det nødvendigt med RTK-GNSS antenne på både traktor og redskab. Der er typisk kun én RTK GNSS modtager (receiver) for begge antenner. Modtager er som oftest monteret på traktor. På redskab er der monteret styreboks(e), ledninger til stik på traktor, og aktuatorer/hydraulik for sideværtforskydningen af redskabet. Der benyttes typisk kun én terminal, som sørger for autostyring af både traktor og redskab. Antenne på redskab kan om nødvendigt flyttes fra redskab til redskab, for eksempel fra såmaskine til radrenser til marksprøjte osv.

*Obligatoriske elementer for løsning 6.4a.* De obligatoriske elementer for løsning A (PROTOTYPENIVEAU) er hardware for aktiv sideværtsstyring af bom, bomsektioner eller hjulstyring af marksprøjte (dvs. sideværtsstyring af hele sprøjtebommen), mekanisk ombygning af eksisterende marksprøjte, RTK GNSS modtager og antenne for komplet sideværtsstyring af såmaskine og bom eller bomsektioner på marksprøjte. Alternativt til RTK GNSS kan der anvendes kameraudstyr for sideværtsstyring af bom eller bomsektioner på marksprøjte. Der er for begge muligheder for sideværtsstyring af de enkelte sektioner eller hjulstyring på trailersprøjte/selvkørende sprøjte tale om ekstraudstyr til montering på eksisterende trailersprøjte eller selvkørende sprøjte. RTK GNSS modtager og antenne eller kameraudstyr for sideværtsstyring. Mekaniske og hydrauliske tilpasninger og sideforskydningsanordninger,

*Obligatoriske elementer for løsning 6.4b.* Komplet båndsprøjte med en eller flere dyser monteret lodret/vinklet over hver afgrøderække eller mellem afgrøderækker. Rækkeelementer i forbindelse med sprøjteramme til 3-punktsophæng. Rækkeelementer kan være meget forskellige alt efter behov.

*Valgfrie elementer for løsning 6.4a.* Terminal til styring af sprøjte og sideværtsstyring. Licens/opdatering/tilpasning af terminal-/skærm-software. Dyseholdere, ventiler, slanger og rør. For visse konstruktioner er der tale om prototyper, hvorfor et valgfrit element er. Sekundær tank for båndsprøjtning med andet middel mellem rækker.

*Valgfrie elementer for løsning 6.4b.* RTK GNSS modtager og antenne for komplet sideværtsstyring af såmaskine og båndsprøjte. Alternativt til RTK GNSS kan kamerasystem vælges for sideværtsstyring. Terminal/skærm til rækkestyring. Licens/opdatering/tilpasning af terminal-/skærm-software. Rækkeafskærmning på båndsprøjte. Mekaniske og hydrauliske tilpasninger og sideforskydningsanordninger, herunder sideværtsstyring af båndsprøjte.

### **Standardmiljøeffekt: Båndsprøjtning i rækkeafgrøder**

Med afsæt i en gennemsnitlig fladebelastning på 2,082 B ha<sup>-1</sup> for alle plantebeskyttelsesmidler i perioden 2014 til og med 2018 for majs, roer, kartofler, frø og raps (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) og et reduceret forbrug af ukrudtsmidler som anført ovenfor samt en vurdering af potentiel reduktion af andre plantebeskyttelsesmidler ved båndsprøjtning opnås således en årlig miljøeffekt på 0,62 B ha<sup>-1</sup> om året (tabel 6.5).

**Tabel 6.5:** Standardmiljøeffekt for båndsprøjtning i rækkeafgrøder.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.4a, 6.4b	Båndsprøjtning i rækkeafgrøder	8	Majs, roer, kartofler, frø (herunder spinat) og raps	0,62 ved 30 % reduktion af plantebeskyttelsesmidler

## Rækkesprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning

I ældre danske forsøg blev der ved båndsprøjtning opnået en stor besparelse i mængden af herbicider i forhold til den traditionelle bredsprøjtning (Keller et al., 2000). I Foulum-forsøget blev mængden af jordmidler for ukrudtsbekæmpelse reduceret med 43%, mens mængden af bladmidler blev reduceret med 64%. I 3. vækstsæson opstod der tiltagende problemer med græsser, især kvik, hvorfor samtlige parceller blev bredsprøjtet med Roundup Bio (Glyphosat). I Flakkebjerg forsøget reduceredes jordmidler med 46 % ved båndsprøjtning. Båndsprøjtning er en mere praksisnær form for herbicidbesparende, integreret produktion. Båndsprøjtning er desuden forsøgsmæssigt afprøvet i et projekt under "Renere Teknologi" i årene 1991-93 i kulturer af nordmannsgran, nobilis og bøg (Rubow, 1997). Forsøgene viste ingen signifikante forskelle mellem bredsprøjtede og båndsprøjtede nordmannsgran. Forsøgene viste, at der ikke var nogen større fordel ved at øge det sprøjtede areal fra de smalle bånd til totalbehandling. Rubow (1997) konkluderede at det er muligt at spare op til 2/3 af det årlige herbicidforbrug gennem kulturens 2-3 første vækstår uden negative, produktionsmæssige konsekvenser ved båndsprøjtning. Forsøgene viste dog også at rod ukrudtet kan give problemer i 3. vækstår. Båndsprøjtning må derfor suppleres med lejlighedsvis behovsprøjtninger med Roundup eller med løbende foranstaltninger i rækkel mellemrummene. Sidstnævnte kan være af mekanisk art, for eksempel harvning og klipning. Renholdelse i hele juletræets levetid helt frem til stammen er vigtig for højt udbytte og regulære træer med høj salgsværdi (Have et al., 2002; Hartvig, 2016; Carthy & Carthy, 2005).

Udgangspunktet for beregning af standardmiljøeffekt for båndsprøjtning og mekanisk/fysisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer er den mest almindelige indbyrdes planteafstand på 110 cm. Ved kombination af båndsprøjtning af rækkerne og mekanisk/fysisk ukrudtsbekæmpelse mellem rækker, er det på baggrund af ældre forsøgsresultater og markedsførte teknologier og muligheder vurderet, at der vil kunne opnås minimum 50 % besparelse i ukrudtsmidler per ha.

*Specifikationer.* Der er tale om teknologier som skal erstatte bredsprøjtning hen over toppen i yngre og ældre kulturer af juletræer og anden skov. I ældre kulturer skal der udføres afskærmet rækkesprøjtning eller mekanisk ukrudtsbekæmpelse/græsslåning mellem træer i rækken foretaget med svingbare aggregater. Dertil mekanisk ukrudtsbekæmpelse eller græsslåning på det resterende areal mellem rækker i hele perioden fra plantning til skovning af juletræer og anden skovrejsning. I yngre kulturer skal der udføres båndsprøjtning, evt. som dyseafblænding, eller med mere specialiserede båndsprøjter til juletræer og anden skovdyrkning.

*Obligatoriske elementer.* Båndsprøjte for ukrudtsbekæmpelse ved sprøjtning hen over toppen, tilpasset til nyetableret (yngre) kulturer af juletræer og anden skov. Rækkesprøjte med svingbar sprøjteskærm, og mekanisk ukrudtsbekæmpelse mellem rækker i form af harve, fræser, slåmaskine, slagleklipper, eller strigle i ældre kulturer.



*Valgfrie elementer.* Svingbar klippeaggregat eller svingbar mekanisk ukrudtsrenser for ukrudtsbekæmpelse mellem træer i rækken. Nødvendige tilpasninger for portaltraktorer eller smalsporede traktorer.

### Standardmiljøeffekt: Båndsprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning

Med afsæt i en gennemsnitlig fladebelastning på 0,336 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> for alle ukrudtsmidler anvendt i perioden 2014 til og med 2018 for juletræer, pyntegrønt og anden skovdyrkning (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) og et reduceret forbrug af ukrudtsmidler som anført ovenfor, samt en vurdering af potentiel 50 % reduktion af estimeret 2 gange glyphosat behandlinger per år i de første 4 vækstår ved båndsprøjtning opnås således en årlig miljøeffekt på 0,48 B ha<sup>-1</sup> om året (tabel 6.6).

**Tabel 6.6:** Standardmiljøeffekt for båndsprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.5	Båndsprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning	8	Juletræer og pyntegrønt, skovrejsning	0,24  ved 50 % reduktion af ukrudtsmidler og glyphosat

### Sensorbaseret ukrudtsprøjtning baseret på grøn vegetation

Sensorbaseret teknologi er en kombineret sensor og sprøjteteknologi over hele sprøjtebommens bredde som på samme tid dels registrerer ukrudt og dels sprøjter områder med ukrudt. Det sikrer at der kun sprøjtes i områder (sektions- eller enkelt dysniveau) hvor der er ukrudt. Der er markedsført systemer hvor sensorer adskiller grøn vegetation fra baggrund, som f.eks. jord, snittet halm, stub eller næsten høstmoden afgrøde m.m., hvorved kameraet kan beregne dækningsgraden af grøn vegetation og hvor den tilkoblede sprøjteteknik udfører pletsprøjtning samtidigt ud fra en tærskelværdi. Tærskelværdien baseres på den grønne vegetations tæthed, som er et udtryk for sandsynligheden for tilstedeværelse af flerårige ukrudtsarter og græsukrudt.

Der er flere undersøgelser der viser at pletsprøjtning før høst og i stub ved bekæmpelse af flerårigt ukrudt og græsukrudt har virkning på niveau med ensartet dosering over hele marker, samtidig med at der opnås realistiske besparelser i forbruget af glyphosat på omkring 70 % vurderet ud flere undersøgelser af stedspecifik behandling af flerårigt ukrudt og græsukrudt før høst, i stub og på bar jord (Rasmussen et al., 2016; Mikkelsen et al., 2018; Young et al., 2008; Genna et al., 2021; Kömives, 2016). Sprøjtetidspunktet i stub, for at opnå den fulde miljøeffekt af sensorbaseret pletsprøjtning, er dog kritisk mht. at andet ukrudt og spildkorn/frø også spirer, hvilket skal planlægges ifht. optimale vækststadier for bekæmpelse af flerårigt ukrudt og græsukrudt, som erfaret i Mikkelsen et al. (2018). Et endnu ikke publiceret forsøg udført af Aarhus Universitet viser op til 40 % reduktion i glyphosatsprøjtning i korn før høst (Michael Nørremark, AU, pers. meddelelse). Det er vigtigt at bemærke at forsøgsparcerne var udlagt i et område, hvor man visuelt ville have bedømt, at hele området bør sprøjtes med glyphosat før høst. I forsøget blev et kommercielt 3D RGB kamera anvendt til estimering af rodukrudt i korn før høst. Der blev behandlet med glyphosat i delområder inden for de 3m x 20m parceller, hvor den grønne vegetation havde en bestemt højde ifht. afmodnet korn. Sensorbaseret ukrudtsprøjtning kan sekundært anvendes til behovsbestemt sprøjtning af ukrudt i afgrøder i vækst (variabel tildeling jf. sektion 5.2) (Nielsen, 2010; Andujar et al., 2011). Den

sekundære effekt er ikke vurderet mht. potentiale for pesticidreduktion da forsøgsresultater og specifikationer for de markedsførte sensorer og sprøjteteknik ikke umiddelbart er forenelig med denne sekundære anvendelse. Pesticidreduktionen vil naturligt øges såfremt udstyret også anvendes til bekæmpelse af klynger af ukrudt i afgrøder i vækst eller ud fra afgrødens tæthed alene ud fra den grønne vegetations dækningsgrad og behovsbestemt tærskelværdi (f.eks. ud fra afgrødens forventede konkurrenceevne over for ukrudt).

*Specifikationer.* Udstyret skal monteres på ny eller eftermonteres på eksisterende sprøjte. Sprøjten skal være udstyret med en sprøjtebom med enkeltdyse-/forstøverafslukning eller sektionsafslukning (<5 m sektioner i gns. af alle bomsektioner) for overlappedreduktion og sensorbaseret pletsprøjtning. Systemet skal kunne registrere grøn vegetation og sprøjte den registrerede grønne vegetation samtidigt. Sensorernes måleområde skal dække hele arbejdsbredden. Der skal være software og hardware til styring af sprøjten via sensorer.

*Obligatoriske elementer.* Et antal sensorer som registrerer grøn vegetation. Automatisk sektions- eller enkeltdyse-/forstøverluk for overlappedreduktion. Elektronisk styring af sensorbaseret pletsprøjtning (on/off flow) på sektions-, forstøver- eller dyseniveau (<5 m sektioner i gns. af alle bomsektioner). Software på terminal/skærm for sektions- eller enkeltdyse-/forstøverafblænding og til styring/indstilling af sprøjtning med sensorer. Elektronik for integration af sensorer på sprøjte.

*Valgfrie elementer.* Terminal/skærm. Dyseholdere, ventiler, slanger og rør. Injektionssprøjtesystemer til pletsprøjtning, herunder software og elektronisk dosering af injektionsmængde, hvor et væskeflowsystem med returløb til hovedtank accepteres. Injektionssprøjtesystemer til pletsprøjtning, hvor væskeflowsystemer som fører rent vand retur til hovedtank, er obligatorisk, og hvor pletsprøjtning (on/off) dosering af plantebeskyttelsesmidler styres af injektionspumpe(r) med elektronisk dosering af injektionsmængde. Doseringen skal kunne varieres elektronisk ved injektion til væskestrømmen.

### **Standardmiljøeffekt: Sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på grøn vegetation**

Der antages et minimums pesticidreduktionspotentiale for de forskellige systemer for sensorbaseret ukrudtssprøjtninger for glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet og før fremspiring på i alt 70 % af det samlede forbrug af glyphosat opgjort for årene 2014 til og med 2018. Det angivne besparelsepotentiale forudsætter, at sprøjteboms sektioner eller dyser styres separat for on/off pletsprøjtning.

I forbindelse med angivelse af minimumsreduktionspotentiale for teknologien er der foretaget en konservativ vurdering af den variation i ukrudtsdækning der må forekomme under danske markforhold. Standard miljøeffekt for sensorbaseret ukrudtssprøjte er beregnet som pesticidreduktion i forhold til gns. fladebelastning opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene 2014 til og med 2018 på  $0,074 B \text{ ha}^{-1}$  for glyphosat. Ovennævnte potentiale for reduceret herbicidforbrug i procent udgør således samlet set en reduktion på  $0,06 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 6.7).

**Tabel 6.7:** Standardmiljøeffekt for sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på grøn vegetation.

Nr.	Teknologi	Levetid, År	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.6	Sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på grøn vegetation	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,06 ved 70 % glyphosat reduktion, og ved 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder

## Sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på artsgenkendelse

I ældre litteratur finder man forskningsresultater på undersøgelser af den første sensorbaserede ukrudtssprøjte baseret på artsgenkendelse. En sensorbaseret sprøjte som principielt har stor lighed med de allerførste markedsførte sensorbaseret ukrudtssprøjter som kan artsgenkende og i real tid sprøjte i mindre felter á 50 cm bredde og længde afhængig af aktivering af dyse. Sensorerne kunne differentiere mellem et vist antal afgrøder, et-kim bladet og to-kimbladet ukrudt. Selve sprøjten bestod af et tre-tanks system og 21 m bred sprøjtebom. Hver af de tre tanke blev styret separat baseret på sensorbaseret sprøjtekort. På det tidspunkt var computere ikke stærke nok til at bearbejde data inden for mikrosekunder. Sprøjtekort blev derfor dengang genereret baseret på georefererede billeder, der blev taget af bi-spektrale kameraer, og den efterfølgende automatiske ukrudtsklassificering var baseret på formgenkendelse. Den første tank blev brugt til bekæmpelse af etårigt bredbladet ukrudt, den anden tank indeholdt midler mod græsukrudt og den tredje tank indeholdt midler til bekæmpelse af flerårige ukrudtsarter. Systemet blev undersøgt under realistiske forhold i Tyskland på både roe- og majs marker. For roer var reduktionspotentialt på 57 % og 46 % af ukrudtsmidler for henholdsvis to-kim bladet og et-kim bladet ukrudt. For majs var reduktionspotentialt på 6 % og 46 % af ukrudtsmidler for henholdsvis to-kim bladet og et-kim bladet ukrudt (Gerhards & Oebel, 2006). Under danske forhold er der ved manuelle ukrudtsoptællinger estimeret at gennemsnitlige besparelser for græsukrudtsmidler kan være 78 % i majs og 36 % i sukkerroer. For ukrudtsmidler mod to-kim bladet ukrudt blev det estimeret at reduktionspotentialt kan være 11 % i majs og 41 % i sukkerroer (Gerhards & Christensen, 2003). Forekomst af ukrudt og artssammensætning per m<sup>2</sup> har naturligvis en stor betydning for reduktionspotentialt. I roer og majs er tærskelværdier for ukrudtssprøjtninger lavere end i f.eks. kornafgrøder og det er derfor også medvirkende til at reduktionspotentialt er lavest for rækkeafgrøderne majs og roer.

På markedsførte systemer kan kameraer kombineret med kunstig intelligens skelne mellem roer og majs, samt mellem to-kim bladet og et-kim bladet ukrudt og identificere ukrudtsarter i realtid (Fernandez-Quintanilla et al., 2018). Klassiske algoritmer til machine vision anvendes til at genkende de forskellige planter og skelne mellem ukrudt og afgrøder. Software i systemet kan automatisk vælge den type tankblanding, der skal sprøjtes på hver af de to dyselinjer, og signalere til styreenhederne for de enkelte dyser at der skal sprøjtes med den pågældende dyse i vist tidsrum. Markedsførte systemer har også mulighed for at fungere som teknologi 6.6, sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på grøn vegetation. Software på terminaler/skærme eller via trådløs datatransmission til/fra server, har en funktion der gør at det udførte sensorbaserede sprøjtekort kan downloades og anvendes f.eks. til opfølgning på de valgte tankblandinger og tærskelværdier.

*Specifikationer.* Udstyret skal monteres på ny eller eftermonteres på eksisterende sprøjte. Sprøjten skal være udstyret med en sprøjtebom med enkelt-dyse-/forstøverafslukning eller sektionsafslukning (<5 m sektioner i gns. af alle bomsektioner) for overlapreduktion og sensorbaseret pletsprøjtning. Systemet skal kunne skelne mellem afgrøde og ukrudt, og samtidigt pletsprøjtning områder med det registrerede ukrudt. Systemet skal derudover også kunne registrere grøn vegetation og sprøjte den registrerede grønne vegetation samtidigt på som beskrevet for teknologi 6.6. Sensorernes måleområde skal dække hele arbejdsbredden. Der skal være software og hardware til styring af sprøjten via sensorer. Udtræk af ukrudtskort fra software på terminal/skærm eller via trådløs datatransmission til/fra server.

*Obligatoriske elementer.* Kameraer, lyskilder og hoved-, sektions- og dysestyringsenheder. Dobbelt dyselinje. Totankssystem, herunder enten fronttank eller dobbeltkammer sprøjtevæsketank eller lignende. Dyseholdere, slanger og fittings for dobbelt dyselinje.

*Valgfrie elementer.* Terminal/skærm. Injektionsprøjtesystemer til pletsprøjtning, herunder software og elektronisk dosering af injektionsmængde, hvor et væskeflowsystem med returløb til hovedtank accepteres. Injektionsprøjtesystemer til pletsprøjtning, hvor væskeflowsystemer som fører rent vand retur til hovedtank, er obligatorisk, og hvor pletsprøjtning (on/off) dosering af plantebeskyttelsesmidler styres af injektionspumpe(r) med elektronisk dosering af injektionsmængde. Doseringen skal kunne varieres elektronisk ved injektion til væskestrømmen.

#### **Standardmiljøeffekt: Sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på artsgenkendelse**

Der antages et minimums reduktionspotentiale for systemer til sensorbaseret ukrudtssprøjtning i afgrøderne roer og majs på gns. 50 % af det samlede forbrug af ukrudtsmidler opgjort for årene 2014 til og med 2018 for de to afgrøder. Det angivne besparelspotentiale forudsætter, at sprøjtebommens individuelle dyser styres separat for on/off pletsprøjtning og med to forskellige tankblandinger hvor sprøjtning af disse aktiveres af sensor.

I forbindelse med angivelse af minimumsreduktionspotentiale for teknologien er der foretaget en konservativ vurdering af den variation i ukrudtsdækning der må forekomme under danske markforhold jf. ældre og nyere litteratur som nævnt ovenfor. Standard miljøeffekt for sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på artsgenkendelse er beregnet som pesticidreduktion i forhold til gns. fladebelastning opgivet med enheden  $B\ ha^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene 2014 til og med 2018 på  $0,668\ B\ ha^{-1}$  for ukrudtsmidler i roer og majs. Teknologien kombinerer overlapreduktion i alle afgrøder og sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på grøn vegetation som reducerer forbruget af glyphosat. Ovennævnte potentialer for reduceret herbicidforbrug i procent udgør således samlet set en reduktion på  $0,51\ B\ ha^{-1}$  om året (tabel 6.8).

**Tabel 6.8:** Standardmiljøeffekt for sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på artsgenkendelse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.7	Sensorbaseret ukrudtssprøjte baseret på artsgenkendelse	6	Roer, majs	0.51  ved 50 % reduktion af ukrudtsmidler i roer og majs, og ved 7 % reduktion i plan- tebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og ved 70 % glyphosat reduktion

## Såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter

Førerløse redskabsbærere og specialmaskiner er blevet tilgængelige på det danske marked, der tilbyder et alternativ til traktormonterede systemer til mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem og i rækker af afgrøder. Sammenlignet med traktorbaserede systemer reducerer de førerløse køretøjer det monotone arbejde at radrense typisk med mindre arbejdsbredde end marksprøjter og der er mulighed for 24 timers arbejdsdage når vejret og føret er ideelt til mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Der kan være sæsoner hvor der er større udfordringer med at nå rettidighedseffekten for mekanisk ukrudtsbekæmpelse ifht. sprøjtning med ukrudtsmidler. I de tilfælde kan de førerløse køretøjer være løsningen. De fleste førerløse køretøjer anvender RTK GNSS for navigation, som giver en præcis sideværtsstyring af renseelementer, når afgrøderækkernes eller planternes position er kendt og kortlagt forud for ukrudtsbekæmpelsen. Derfor giver det mening at de førerløse køretøjer også selv sår afgrøderne som de i løbet af vækstsæsonen skal holde rent for ukrudt.

Automatisk fjernelse af ukrudt kan også foregå vha. af RTK GNSS navigation, hvor redskabet placerer udsæd (enkeltkorn eller frø) for derefter at udnytte informationen om udsædens placering til at udføre en lugning af ukrudt rundt om afgrødeplantens forventede position (Melander & McCollough, 2021). Teknologien markedsføres for anvendelse i både udsåede roer og grønsager, men der mangler dokumentation af lugeeffekterne.

Det forudsættes at robotbaseret teknologi skal have mulighed for at montere redskaber for såning og for fjernelse af ukrudt mellem og meget tæt på afgrøderækker. Robotteknologien skal kunne betjene et redskab til mindst 3 afgrøderækker. Afgrødespecifik udstyr til mekanisk ukrudtsbekæmpelse kan være fingerhjul, skrabebinde, strigletænder, eller aktive og selektive værktøjer for lugning i rækken eller lignende.

*Specifikationer.* Det førerløse køretøj skal kunne påmonteres redskaber for fjernelse af ukrudt mellem rækkerne, samt redskaber for såning. Skal være udstyret med elementer/aggregater for mekanisk/fysisk ukrudtsbekæmpelse mellem rækker og inkl. afgrødespecifik radrenser ekstraudstyr. Dette kan være påmonterede værktøjer til mekanisk ikke-aktiv og ikke-selektiv ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækken, herunder fingerhjul, skrabebinde, strigletænder, eller lignende. Eventuel aktiv og selektiv lugning i rækken uden om afgrødeplanter hvis det er standard og derved del af en komplet løsning for robotbaseret såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Robotten skal være udstyret med RTK GNSS, elektronik og software der registrerer digitalt positioner for afgrøderækker og planter.

*Obligatoriske elementer.* Førerløst køretøj/redskabsbærer med påmonteret RTK GNSS og/eller kamera for navigation, såmaskine, redskabsramme og elementer/aggregater for mekanisk/fysisk ukrudtsbekæmpelse mellem rækker, inkl. afgrødespecifik radrenser ekstraudstyr jf. specifikationer. Digital ruteplanlægningsværktøj, eller anden software til at tilrettelægge kørselsmønster for det førerløse køretøj.

*Valgfrie elementer.* Båndsprøjtningssystem til sprøjtning af afgrøderækker og som er tilpasset det førerløse køretøj (i visse tilfælde er standard båndsprøjte ikke anvendelig).

### Standardmiljøeffekt: Såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter

Standard miljøeffekt for robotbaseret såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker er sammenlignelig med effekt af radrensere til afgrøderækker med mindre end 30 cm rækkeafstand, som er vurderet til 0,38 B ha<sup>-1</sup> om året jf. sektion 6.11. Der er i vurderingen af pesticidreduktionspotentialet korrigeret for at radrensning i ca. hvert 3. år (anslået) pga. vejrlig og jordfugtighed ikke vil være muligt at udføre, hvor en herbicid-sprøjtning derfor vil være nødvendig. Desuden tillader teknologierne i denne kategori båndsprøjtning med plantebeskyttelsesmidler som reducerer pesticidreduktionspotentialet for den robotbaserede teknologi (tabel 6.9).

**Tabel 6.9:** Standardmiljøeffekt for såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.8	Såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter	8	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgplanter, korn, frø)	0,38 ved 60 % reduktion af ukrudtsmidler

### Traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker

Traktormonterede lugerobotter har i flere år været anvendt til ukrudtsbekæmpelse mellem og i rækkerne af udplantede grønsager som kål, salat, selleri, løg og porre. Nogle af lugerobotterne giver mulighed for en indstilling der gør det muligt at luge rundt om roeplanter (Midtby et al., 2012; Alföldi & Stöecklin, 2020). Melander & McCollough (2021) oplyser at der som minimum kan fjernes 60-70 % af ukrudtet i rækken, og det har været muligt at fjerne 50-60 % af ukrudtet i en radius på kun 5 cm rundt om roeplanterne uden at skade roerne (Melander, 2021). Robotterne er udstyret med kameraer, der kan genkende afgrødeplanter, og derved få mekaniske lugeaggregater til at undvige afgrødeplanterne. Ukrudt og udsået afgrøde 'flyder' nemt sammen, hvilket gør det svært for kamerateknologien at foretage en klar adskillelse af afgrøde og ukrudt. Vurderingen er derfor mht. lugerobotter og roer at der vil være behov for mindst 2 ukrudtssprøjtninger forud for at lugerobotterne kan fungere optimalt og i resten af sæsonen give mulighed for en nærmest fuldstændig ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i roer med begrænset behov for opfølgende ukrudtssprøjtning eller håndlugning.

Lugerobotter er undersøgt i forsøg i Schweiz (Alföldi og Stöecklin, 2020) hvor dokumentationen består af en video (<https://www.youtube.com/watch?v=zHHU8tGmyMc>). Resultater af ukrudtsbekæmpelse i roer er mangefold, men samme teknologi for robotlugning er undersøgt i udplantet kål i England, hvor 62-87 % af ukrudtet i rækken blev bekæmpet inden for en radius af 24 cm fra kålplanterne (Tillett et al., 2008). I udplantet hvidkål i Danmark blev 76 % af ukrudtet i rækken bekæmpet, hvilket var ca. 14 % bedre end metoder som ukrudtsharvning

og fingerhjul på radrensere (Melander et al., 2015). I hverken den engelske eller danske undersøgelse opstod der nævneværdige afgrødeskader som følge af robotlugning. I en nyere undersøgelse i udplantet salat udført ved forskningscenter Flakkebjerg i 2021 blev det forsøgt at gå meget tæt på salatplanterne mhp. på at efterlade så lidt ukrudt tæt på salatplanterne som muligt. I en radius på 10 cm rundt om salatplanterne var det muligt at robotluge 57 % af ukrudtet uden at skade salatplanterne (Melander, 2021).

*Specifikationer.* Trepunktsophængte lugerobotter skal være med påmonterede redskaber for fjernelse af ukrudt i og mellem rækkerne. Lugerobotten skal være udstyret med kamera(er), der kan genkende afgrødeplanter. Kamera/kameraerne skal kunne dække samtlige rækker inden for lugemaskinens arbejdsbredde. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Lugerobotten skal kunne betjene mindst 3 afgrøderækker. Udstyr til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker skal være aktivt styret, dvs. styret elektrohydraulisk, elektropneumatisk eller elektrisk.

*Obligatoriske elementer.* En lugerobot til trepunktsophæng med påmonteret kamera(er) for aktive styring af luggeværktøj omkring enkeltplanter og i rækken.

*Valgfrie elementer.* Terminal/skærm.

### Standardmiljøeffekt: Traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker

Standardmiljøeffekt for lugerobotter til ukrudtsbekæmpelse imellem og i afgrøderækker er beregnet som plantebeskyttelsesmiddelreduktion i forhold til fladebelastningen angivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på  $2,018 B \text{ ha}^{-1}$  for ukrudtsmidler anvendt i roer. Ovennævnte vurderinger af reduceret forbrug af ukrudtsmidler i roer udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på  $1,01 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 6.10).

**Tabel 6.10:** Standardmiljøeffekt for traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
6.9	Traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker	8	Roer	1,01 ved 50 % reduktion af ukrudtsmidler

### Mikro-pletsprøjtning

I sidste halvår af 2022 blev der i Danmark markedsført en mikro-pletsprøjte som i udformning og princip har mange lighedspunkter med den sprøjte der blev udviklet og afprøvet i et dansk forskningsprojekt. I projektet blev en algoritme (MoDiCoVi) anvendt til at estimere ukrudtsdækning (dog kun to-kim bladete ukrudt) i real tid i majs og samtidig udføre mikro-pletsprøjtning i felter á 187,5 mm bredde og længde afhængig af tiden for dyseåbning og fremkørselshastighed. Et markforsøg bestående af 299 majsparceller blev anlagt for at undersøge det reducerede behov for ukrudtsmidler og biologisk effekt. Halvdelen af parcellerne blev tilsået med ekstra mængde ukrudtsfrø og den anden halvdel havde kun naturligt forekommende ukrudt. Evalueringen af det et årige forsøg

viste, at sammenlignet med konventionel bredsprøjtning kunne mikro-pletsprøjten reducere forbruget af ukrudtsmidler med 65 % uden målbart tab i biologisk effekt og majsudbytte (Laursen et al., 2016). Et lignende mikro-pletsprøjtesystem er udviklet i et Hollandsk forskningsprojekt, hvor afstanden mellem dyser var 100 mm, og hvor kamerasystemet kunne genkende og sprøjte spildkartofler med glyphosat i roer (Ruigrok et al., 2020). Genkendelsesprocent for roer var kun 84%, men det samlede resultat var at 98 % af spildkartoflerne blev bekæmpet og kun 3 % af roerne visnede som følge af utilsigtet glyphosat sprøjtning (Ruigrok et al., 2020). Effektiviteten af afgrødegenkendelse vha. kamerateknologi og machine learning vil aldrig være 100 % under alm. markforhold. Såfremt mikro-pletsprøjter anvendes til at sprøjte selektive ukrudtsmidler har en afgrødegenkendelses-% på 80-90 ikke nogen betydning. Den markedsførte mikro-pletsprøjte fungerer i roer, raps og majs. Ældre undersøgelser har vist at reduktionspotentialet for ukrudtsmidler er korreleret med det areal som kan pletsprøjtes (Barosso et al., 2004; Paice et al., 1998; Wallinga, 1995; Søgaard & Lund, 2007). Der er således størst reduktion opnås, når ukrudtsplanter sprøjtes individuelt (Søgaard & Lund, 2007). Den markedsførte mikro-pletsprøjte kan pletsprøjte arealer ned til 60 x 60 mm. Såfremt man som i Søgaard & Lund (2007) regner med 100 ukrudtsplanter per m<sup>2</sup> og mikro-sprøjtefelter på 60x60 mm for hver ukrudtsplante vil reduktionen i forbruget af selektivt ukrudtsmiddel være 64 % set i forhold til alm bredsprøjtning i roer og raps. De nævnte praktiske forsøg udført i majs med et resultat på 65 % reduktion i forbruget af selektivt ukrudtsmiddel tages i betragtning, så vurderingen er 65 % reduktion for ukrudtsmidler i roer og raps.

*Specifikationer.* Kamerabaseret mikro-pletsprøjtesystem som i real tid skelner mellem afgrøde og ukrudt og ved hjælp af dyser placeret med under 100 mm indbyrdes afstand sprøjter individuelle ukrudtsplanter. Sprøjtning af afgrøde og jord undgås. Der skal vælges et antal sprøjtemoduler.

*Obligatoriske elementer.* Komplet mikro-sprøjte-system bestående af sprøjtebom, kameraer, lyskilder, dyser, dyselinje, og ventiler for dyser til mikro-sprøjtning samt afskærmning for lys. Terminal/skærm. Trepunktsophængt redskabsramme til sprøjtemoduler.

*Valgfrie elementer.* Tank/fronttank. Pumpe. Slangeføringer fra tank/pumpe til mikro-sprøjtemoduler.

### Standardmiljøeffekt: Mikro-pletsprøjtning

Standardmiljøeffekt for mikro-pletsprøjte for ukrudtsbekæmpelse imellem og i afgrøderækker er beregnet som plantebeskyttelsesmiddelreduktion i forhold til fladebelastningen angivet med enheden B ha<sup>-1</sup> i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på 0,913 B ha<sup>-1</sup> for ukrudtsmidler anvendt i roer, raps og majs. Ovennævnte vurderinger af reduceret forbrug af ukrudtsmidler i roer og raps udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på 0,6 B ha<sup>-1</sup> om året (tabel 6.11).

Tabel 6.11: Standardmiljøeffekt for mikro-pletsprøjtning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.10	Mikro-pletsprøjte	8	Roer, raps, majs	0,60 ved 65 % reduktion af ukrudtsmidler



## Kornradensere med rækkestyringssystem

Kornradensere adskiller sig alene fra radensere som nævnt for teknologi 6.12 ved at være konstrueret til at radrense i afgrøderækker med <30 cm rækkeafstand. Betegnelsen kornradensere er derfor ikke ensbetydende med at disse typer af radensere alene kan anvendes i korn. Afgrøder som raps, ærter, spinat, og andre frøafgrøder er også typiske afgrøder hvor radensere konstrueret til <30 cm rækkeafstand kan anvendes. Rækkestyringssystemer og sektionsstyring er de samme som beskrevet for teknologi 6.12.

I normale år kan der nøjes med 2 radrensninger i korn, raps og ærter, hvilket reducerer overkørsler med 1-2 gange i forhold til ukrudtsharvninger (Tersbøl et al., 2000). Der kan behandles over en længere periode uden risiko for afgrødeskader i forhold til ukrudtsharvning, og større ukrudt mellem rækkerne kan bekæmpes tilfredsstillende. Ved at anvende stor arbejdsbredde for radrensning undgås nedkørsel af afgrøde. Dog er radrenserne for afgrøderækkeafstand < 30 cm ikke præcise nok til at kunne udføre mekanisk ukrudtsbekæmpelse ved normal rækkeafstand på 12,5 cm. I danske og svenske undersøgelser har rækkeafstandsforøgelse fra 12,5 cm til 25 cm medført udbyttenedgange på 0-8 % afhængigt af sammenligneligt plantetal (Rasmussen & Pedersen, 1990; Johansson, 1998; Tersbøl et al., 2001).

Der antages et minimums pesticidreduktionspotentiale for anvendelse af radensere i rækkeafgrøder med < 30 cm rækkeafstand på konventionelle bedrifter på minimum 60 % af det samlede forbrug af ukrudtsmidler for afgrøderne korn, raps og ærter. Reduktionspotentialet for ukrudtsmidler er baseret på resultater opnået med radrenser alene eller i kombination med blind harvning med ukrudtsharve. Der findes ikke forsøgsresultater for kombinationen af bredsprøjtning og radrensning i korn, raps og ærter. Det angivne besparelspotentiale forudsætter minimum en radrensning i både korn, raps og ærter. Flere nationale og internationale forsøg viser at der kan opnås bekæmpelseeffekter af radrensning plus evt. båndsprøjtning under de rette forhold som er tilsvarende effekterne af en strategi bestående af bredsprøjtninger alene (Pedersen, 2000; Melander et al., 2003; Nilsson et al., 2014; Lötjönen og Mikkola, 2000). I en henholdsvis dansk (vårbyg og vinterhvede) og en svensk (vårbyg) undersøgelse med radrensning i konventionelt dyrket korn har der været opnået ganske gode bekæmpelseeffekter og i flere tilfælde på niveau med herbicidbehandling ved 1 til 2 radrensninger og hvor radrensningen blev gennemført uden nævneværdige skader på afgrøden (Rasmussen & Pedersen, 1990; Johansson, 1998). Der er i vurderingen af pesticidreduktionspotentialet korrigeret for at radrensning i ca. hvert 3. år (anslået) pga. vejrlig og jordfugtighed ikke vil være muligt at udføre, og hvor en herbicidsprøjtning vil være nødvendig

*Specifikationer.* Radrenser med elementer/aggregater til ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker og evt. monteret med udstyr som bekæmper ukrudt i afgrøderækker. Kornradensere adskiller sig alene fra radensere som nævnt for teknologi 6.12 ved at være konstrueret til at radrense i afgrøderækker med <30 cm rækkeafstand. Betegnelsen kornradensere er derfor ikke ensbetydende med at disse typer af radensere alene kan anvendes i korn. Afgrøder som raps, ærter, spinat, og andre frøafgrøder er også typiske afgrøder hvor radensere konstrueret til <30 cm rækkeafstand kan anvendes. Rækkestyringssystemer og sektionsstyring for at styre radrenseelementer/aggregater præcist mellem rækker. Typisk er det nødvendigt med RTK-GNSS antenne på både traktor og redskab. Der er typisk kun én RTK GNSS modtager (receiver) for begge antenner. Modtager er som oftest monteret på traktor. På redskab er der monteret styreboks(e), ledninger til stik på traktor, og aktuatorer/hydraulik for sideværtsforskydningen af redskabet. Der benyttes typisk kun én terminal, som sørger for autostyring af både traktor

og redskab. Antenne på redskab kan om nødvendigt flyttes fra redskab til redskab, for eksempel fra såmaskine til radrenser. Radrenseren skal have en arbejdsbredde på minimum 6 meter.

*Obligatoriske elementer.* Trepunktsophængt eller halvbugseret radrenser til afgrøderækker <30 cm rækkeafstand med hydraulisk sideforskydning, inkl. afgrødespecifikke rensedelementer og værktøjer (fingerhjul, skrabe-pinde, strigler, afgrødebeskyttelse, etc.), RTK GNSS modtagere og antenner for komplet sideværtsstyring af såmaskine og radrenser. Alternativt til RTK GNSS, kan der anvendes kameraudstyr for sideværtsstyring, herunder hardware for sideværtsstyring af redskaber.

*Valgfrie elementer.* Terminal/skærm og software/softwarelicens for sideværtsstyring. Sektionsløft og styring af rensedelementer, inkl. terminal, software og hardware. Båndsprøjtningssystemer som monteres på radrenser. Ekstra-udstyr i form af tank, slangeføringer til sædekorn/frø og/eller gødning samt evt. skær for såning/gødsning.

### Standardmiljøeffekt: Kornradensere med rækkestyringssystem

Standard miljøeffekt for radrensning i rækkeafgrøder med < 30 cm rækkeafstand er beregnet som potentiel reduktion i forhold til den gns. fladebelastning for ukrudtsmidler anvendt til korn, raps, bælgsgødning og frø, opgivet med enheden B ha<sup>-1</sup> i bekæmpelsesmiddelstatistik over årene 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gennemsnitlige fladebelastning over årene 2014 til og med 2018 på 0,634 B ha<sup>-1</sup> for ukrudtsmidler i kornafgrøder, raps, bælgsgødning og frø. Ovennævnte potentiale for reduceret forbrug af ukrudtsmidler i procent udgør således samlet set en reduktion på 0,38 B ha<sup>-1</sup> om året (tabel 6.12).

**Tabel 6.12:** Standardmiljøeffekt for kornradensere med rækkestyringssystem.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.11	Kornradensere med rækkestyringssystem	8	Korn, raps, majs, bælgsgødning, frø	0,38 ved 60 % reduktion af ukrudtsmidler

### Radensere med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder

Nøjagtigheden stiger med kamera eller GPS baseret autostyring af radrenser og ligger inden for +/- 20 mm (95 % konfidensinterval) ved fremkørselshastigheder op til 10 km t<sup>-1</sup> (hvor afgrøderækker er synlige) (Tillett & Haque, 2006, Nørremark et al., 2008). Unøjagtigheden aftager med aftagende fremkørselshastighed. En radrenser med autostyring er derfor under de fleste forhold præcis nok til at føre en harvetand eller mindre gåsefod 3-4 cm fra afgrøderækker for at opnå radrensning/harvning af det størst mulige areal mellem rækker. Fuld gennemskæring af så stor en del af arealet mellem afgrøderækker er vigtigst for effekt (Melander et al., 2001; Pedersen & Petersen, 2010). Sektionerne skal have samme bredde som såmaskinen, såfremt der ikke anvendes præcis sporfølgning ved såning. Valg af skær, fingerhjul, hyppeeffekt, ukrudtskarve og andet udstyr for den mekaniske bekæmpelse af ukrudt, bør foretages ud fra dokumenterede egne erfaringer, rådgivning eller forsøg (Pedersen & Petersen, 2010; van der Schans et al., 2006). Sammenbygningen af flere principper, herunder båndsprøjtning kombineret med radrenser vil dog samtidigt rationalisere bekæmpelsen, men gennemførelsen kan være afhængig af lokale

forhold (Melander et al., 2001; Pedersen, 2002). Ukrudtsharvning udført lige efter radrensning (evt. monteret på radrenser), og ved samme hastighed som denne, forbedrer bekæmpelseseffekterne (Tersbøl et al., 2000; Melander et al., 2001).

Flere opgørelser viser, at fremkørselshastigheden kan være op til  $10 \text{ km t}^{-1}$  med +/- 20 mm variation i styringen, men at der i praksis kun opnås fremkørselshastigheder mellem 7-9  $\text{km t}^{-1}$ , af hensyn til traktor og redskab samt af hensyn til reduktion af skader fra oprevne sten og jordknoIde, som rammer afgrøden (Tillett & Hague, 2006, Pedersen & Petersen, 2010). Kamerabaseret eller RTK GNSS baseret autostyring og præcis indstilling af skær betyder at der kan opnås en god ukrudtsbekæmpelse på hele arealet mellem afgrøderækker med radrensning med høje fremkørselshastigheder (Pedersen & Petersen, 2010). Med den nyeste teknologi kan der opnås langt større kapacitet, end hvad der praktiseres i dag, som er en enkelt bevægelig bom med kamerastyring (Tillett & Hague, 2006).

Radrenserne med sektionstyring fås i forskellige størrelser for anvendelse i rækkeafgrøder med > 30 cm rækkeafstand. Markedsførte systemer består af basis radrenser, hydraulisk sideforskydning af en til flere individuelle radrenser-elementer (ael. aggregater), kameraer og/eller RTK GNSS baseret styringer for radrenser for et antal rækker, samt tilpasning af radrenser i forhold til dyrkningssystem og afgrøde i form af efterharver, skær, båndsprøjte, beskyttelsesplader, rulleskær, fingerhjul, skrabeinde eller strigletænder til bekæmpelse af ukrudt i selve afgrøderækken (Cloutier et al., 2007). Nogle systemer giver mulighed for kombination (= sammenbygning) med så- eller gødningsudstyr.

For radrenserne med større arbejdsbredde end 6 m kan det være nødvendigt at udstyre radrenseren med RTK GNSS baseret navigation af individuelle radrenser-elementer. Radrenserne med GPS baseret autostyring kan monteres med automatisk løft af hvert enkelt lugeaggregat, således at der kan renses helt ud til rækkerne i foragere og i marker med kiler. For radrenserne med stor arbejdsbredde er automatisk løft af lugeaggregater nødvendige for at undgå omfattende bortlugning af afgrøderækker i forlandet i marker med kiler. Omfanget af uhensigtsmæssig bortlugning af afgrøder stiger med stigende arbejdsbredde, markernes form (stigende antal kiler) og mindre rækkeafstand.

*Specifikationer.* Radrenser med renselementer/aggregater til ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker og evt. monteret med udstyr som bekæmper ukrudt i afgrøderækker. Rækkestyringssystemer og sektionstyring for at styre radrenselementer/aggregater præcist mellem rækker. Typisk er det nødvendigt med RTK-GNSS antenne på både traktor og redskab. Der er typisk kun én RTK GNSS modtager (receiver) for begge antenner. Modtager er som oftest monteret på traktor. På redskab er der monteret styreboks(e), ledninger til stik på traktor, og aktuatorer/hydraulik for sidevætsforskydningen af redskabet. Der benyttes typisk kun én terminal, som sørger for autostyring af både traktor og redskab. Antenne på redskab kan om nødvendigt flyttes fra redskab til redskab, for eksempel fra såmaskine til radrenser. Radrenseren skal have en arbejdsbredde på minimum 6 meter.

*Obligatoriske elementer.* Trepunktsophængt eller halvbugseret radrenser til afgrøderækker >30 cm rækkeafstand med hydraulisk sideforskydning, inkl. afgrødespecifikke renselementer og værktøjer (fingerhjul, skrabe-

pinde, strigler, afgrødebeskyttelse, etc.), RTK GNSS modtager(e) og antenner for komplet sideværtsstyring af såmaskine og radrenser. Alternativt til RTK GNSS, kan der anvendes kameraudstyr for sideværtsstyring, herunder hardware for sideværtsstyring af redskaber.

*Valgfrie elementer:* Terminal/skærm og software/softwarelicens for sideværtsstyring. Sektionsløft og styring af renseelementer, inkl. terminal, software og hardware, såmaskine med RTK GNSS til placering og positionering af enkeltfrø for diagonal radrensning. Båndsprøjtningssystem monteret på radrenser. Ekstraudstyr i form af tank og slangeføringer til sædekorn/frø og/eller gødning samt skær for såning/gødskning.

### Standardmiljøeffekt: Radrenserne med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder

Der antages et minimums pesticidreduktionspotentiale for anvendelse af radrenserne i rækkeafgrøder med > 30 cm rækkeafstand i kombination med bredsprøjtning på konventionelle bedrifter på minimum 65 % af det samlede herbicidforbrug opgjort for 2015 for afgrøderne majs og roer. Det angivne besparelspotentiale forudsætter 2 gange (alm.) bredsprøjtning og 2 gange radrensning i både roer og majs (Pedersen, 2000; Pedersen, 2002; Pedersen, 2011). Forsøgene viser, at ved erstatning af 1-2 bredsprøjtninger med radrensning under de rette forhold opnås der tilsvarende bekæmpelses effekter sammenlignet med en strategi bestående af bredsprøjtninger alene (Pedersen, 2000; Pedersen, 2002; Pedersen, 2011). Der er i vurderingen af pesticidreduktionspotentialet korrigeret for at radrensning i ca. hvert 3. år (anslået) pga. vejrlig og jordfugtighed ikke vil være muligt at udføre eller at der bredsprøjtes ved første 1-2 sprøjtninger efterfulgt af radrensninger.

Standard miljøeffekt for radrensning i rækkeafgrøder med >30 cm rækkeafstand er beregnet som pesticidreduktion i forhold til den gns. fladebelastning opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for årene 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning på  $0,949 B \text{ ha}^{-1}$  for ukrudtsmidler i de mest udbredte rækkeafgrøder med >30 cm rækkeafstand; majs og roer, og for de lidt mindre udbredte afgrøder med rækkeafstand >30 cm; raps, bælgplanter og frø. Ovennævnte potentiale for reduceret forbrug af ukrudtsmidler i procent udgør således samlet set en reduktion på  $0,63 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 6.13).

**Tabel 6.13:** Standardmiljøeffekt for radrenserne med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
6.12	Radrenserne med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder	8	Majs, roer, raps, bælgplante og frø	0,63 ved 65 % reduktion af ukrudtsmidler

### Optrækning og blotlægning af udløbere fra rodukruddt

Optrækning og blotlægning af udløbere fra rodukruddt er en jordbehandling, hvor rødder og udløbere af rodukruddt fritlægges, for derefter at blive sammenrevet, opsamlet og destrueret/komposteret/ensileret. Udløbere og jordstængler kan trækkes ud af jorden og blotlægges vha. hurtigt roterende (evt. PTO drevne) jordbearbej-

dende redskaber med faste eller fjedrende tænder, som bringer jord og organisk materiale op i luften bag redskaber, hvorved organisk materiale blotlægges på jordoverfladen. Jordbearbejdning skal foregå i ned til 15 cm's dybde. Kraftig jordpakning efter behandlingerne er nødvendig på sandjord.

Primær effekt og øvrige effekter. Traditionel kvikbekæmpelse med mange stubharvninger om efteråret kan være effektivt. Længere perioder af året med sort jord betyder tab af næringsstoffer fra rodzonen. Jorden skal være plantedækket det meste af året for at undgå disse tab. Mekanisk bekæmpelse af rodukrudsproblemer kan derfor løses ved en kort intensiv behandling i perioden efter høst, hvor udløberne bringes ud af jorden og destrueres ved udtørring eller opsamles og transporteres væk. Underjordiske udløbere af alm. kvik og jordstængler af kruset skræppe kan blotlægges pga. deres øverlige placering i jorden. På sandjord er der opnået op til 80 %'s reduktion af den unormalt store kvikudløbermasse året efter at udløberne, i løbet af tre omgange, blev oprykket, blotlagt og fjernet. Oprykning og sammenrivning fandt sted lige efter høst, og der blev etableret en efterafgrøde efter oprykningen (Melander et al., 2013). Resultater fra Melander et al. (2013) viser at teknologien medfører udbyttestigninger på 10 kg ha<sup>-1</sup> i vårbyg ved svær rodukrudsdekning før behandling.

*Specifikationer.* Teknologien består af dels af underskæring, oprivning og frilægning af rodukrudt på jordoverflade ved jordbearbejdning i min. 15 cm dybde og separation af rodukrudt stængler og udløbere fra jordlaget. De roterende elementer skal have faste eller fjedrende tænder. Teknologien består også af en proces for sammenrivning, opsamling og fjernelse/destruktion af frilagte udløbere af rodukrudt.

*Obligatoriske elementer.* Traktormonteret redskab med underskæring og hurtigt roterende PTO-drevne elementer til at trække og frilægge udløbere af rodukrudt fra jorden. Traktormonterede redskaber til sammenrivning og opsamling, evt. destruktion, af frilagte udløbere af rodukrudt.

#### **Standardmiljøeffekt: Optrækning, blotlægning og fjernelse af udløbere af rodukrudt**

Standard miljøeffekt for optrækning, blotlægning og evt. fjernelse af udløbere af rodukrudt er beregnet som pesticidreduktion i forhold til gns. fladebelastning opgivet med enheden B ha<sup>-1</sup> i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene 2014 til og med 2018 på 0,074 B ha<sup>-1</sup> for glyphosat.

Ovennævnte potentiale for reduceret herbicidforbrug i procent udgør således samlet set en reduktion på 0,06 B ha<sup>-1</sup> om året (tabel 6.14).

**Tabel 6.14:** Standardmiljøeffekt for optrækning, blotlægning og fjernelse af udløbere af rodukrudt.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.13	Optrækning og blotlægning af udløbere fra rodukrudt	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgeplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,06 ved 80 % reduktion i glyphosat

## Luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter

Sprøjteteknisk har der i flere år været fokus på dråbestørrelser, vandmængde, forstøvning og endelig fordeling af sprøjtevæske på planter. Luft- og luftassisterede sprøjter kan forøge afsætningen af sprøjtevæske på lodrette flader og bladundersider (Jensen et al., 2003; Jensen, 2004).

Luftassisterede sprøjter består af udstyr som er i stand til at tilføre bevægelsesenergi til dråberne i sprøjtevæsken efter dråberne har forladt dyser. Afhængig af omfanget kan luftassistance ændre fordelingen af sprøjtevæske i afgrøden således, at der afsættes relativt mindre i toppen af afgrøden og en større andel i centrum og ved basis af afgrøden (Larsolle et al., 2002; Klausen, 2007). Luftassistance på sprøjter betyder at dråber i sprøjtevæsken tilføres en afpasset mængde bevægelsesenergi således at dråberne styres mod planterne, og samtidig reducerer afdrift. Der er mulighed for at sprøjte med finere dråbestørrelse, som potentielt medvirker til at reducere både vandmængde og dosering af plantebeskyttelsesmidler.

Luftsprøjter består af et andet princip som er uden traditionelle dyser, men hvor dråber dannes ved at en luftstrøm presser væske væk fra en lille vinge som udgør 'dysen' som benævnes forstøver for denne teknologi. Dråbestørrelser reguleres ved ændringer i lufttryk. Også her kan fordelingen af sprøjtevæske ændres i afgrøden således, at der afsættes relativt mindre i toppen af afgrøden og en større andel i centrum og ved basis af afgrøden (Larsolle et al., 2002; Klausen, 2007).

Der er eksempler på biologisk effekt vurderinger som forklarer reduktionspotentialer for begge sprøjteteknologier (Jensen et al., 2004; Anon, 2000; Rabølle, 2021; Leonard et al., 2000; Larsolle et al., 2002), men samtidig ses også inden for enkelte af de samme vurderinger og undersøgelser, at der ikke altid er effektforskelle mellem alm. hydrauliske sprøjter/dyser og luftsprøjter/forstøvere eller luftassisterede sprøjter/dyser. Ved svampebekæmpelse i kartofler er der påvist afsætning af større totalmængde fungicid efter udførelse af sprøjtning med begge teknologier ifht. hydrauliske sprøjter/dyser (Klausen, 2007; Larsolle et al., 2002).

Jensen (2004) udarbejdede et sammendrag af forsøgsresultater hvor effekter af luftsprøjter (Eurofoil) og sprøjter med luftledsagelse efter Hardi Twin princippet ved forskellige planteværnsopgaver blev vurderet. Reduktionspotentialet blev vurderet positivt og ens ved svampesprøjtninger i korn for begge sprøjteteknologier, mens der for svampebekæmpelse i kartofler var reduktionspotentialer for den luftassisterede sprøjteteknologi, men uændret effekt af luftsprøjter, set i forhold til konventionel hydraulisk sprøjteteknik.

En generel vurdering på baggrund af ovennævnte undersøgelser og sammendrag er at dosering af svampe- og insektmidler kan reduceres med minimum 15 % i korn og kartofler ved korrekt brug af luft- og luftassisterede sprøjter. Vurderingen forudsætter at luft- og luftassisterede sprøjteteknologier fremgår af bilag 1 til Miljøstyrelsens vejledning no. 46 (Miljøstyrelsen, 2020), hvilket betyder at teknologierne er afprøvet og i stand til at styre afsætningen af sprøjtevæske på planter. Det drejer sig konkret om Hardi Twin, Dammann DAS og Eurofoil systemerne.

*Specifikationer.* Formålet med teknologien er brug af luft til at afsætte sprøjtevæske på planter. Der kan anvendes eksisterende sprøjteudstyr eller der kan investeres i nyt udstyr, som er tilskudsberettiget under teknologi 6.1 eller

6.2. De resterende elementer på en marksprøjte er således ikke tilskudsberettiget, dvs. der er krav om delfakturering. Udstyret skal være i stand til at tilføre bevægelsesenergi til dråberne i sprøjtevæsken, efter dråberne har forladt dyser eller forstøver. Sprøjtebommen skal have en arbejdsbredde på minimum 6 meter.

*Obligatoriske elementer.* Lavtryks blæser enhed. Hydraulisk enhed til at drive blæser. Spalte/rør/pose der fører luften ud på bommen. Elektronisk styring og sensorer for automatisk regulering af lufttryk og/eller luftmængde.

*Valgfrie elementer.* Terminal/skærm og software/softwarelicens til regulering af lufttryk og/eller luftmængde eller forstøvning. Bom og bomophæng.

### Standardmiljøeffekt: Luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter

Standard miljøeffekt for brug af lavtryks luft med et højt flow til at afsætte sprøjtevæske på planter er beregnet som pesticidreduktion i forhold til gns. fladebelastning opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene 2014 til og med 2018 på  $1,049 B \text{ ha}^{-1}$  for svampemidler i kartofler og svampe- og insektmidler i korn. Ovennævnte potentiale for reduceret herbicidforbrug i procent udgør således samlet set en reduktion på  $0,16 B \text{ ha}^{-1}$  om året. Mangler tabelhenvisning i teksten (tabel 6.15)

**Tabel 6.15:** Standardmiljøeffekt for luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
6.14	Luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter	10	Korn, kartofler	0,16 ved 15 % reduktion af svampe- og insektmidler

### Høst eller destruktion af ukrudtsfrø

Der er markedsført maskiner til høst af aks af ager-røvehale og andet græsukrudt (f.eks. italiensk rajgræs) som klipper aksene som står højere end afgrøden og transporterer dem til en tank så de fjernes fra marken. Der er også markedsført ekstraudstyr til mejetærskere hvor avner, ukrudtsfrø m.m. fra soldene opsamles og destrueres (dvs. frøspiring hæmmes) inden det spredes bag mejetærskeren. Begge teknologier kan kategoriseres under den engelske betegnelse for metoder til reduktion af markjordens pulje af ukrudtsfrø; Harvest Weed Seed Control (HWSC). Formålet med teknologierne er at have endnu et IPM-værktøj som forebygger opformering af ukrudt og forebygger resistens. I en publikation fra 2023, i øvrigt med danske medforfattere, er opfattelsen at HWSC ikke svarer til bekæmpelse af ukrudt med plantebeskyttelsesmidler. Det vil sige at HWSC ikke umiddelbart kan erstatte ukrudtsmidler. Af artiklen fremgår det dog at HWSC måske kan være medvirkende til at reducere ukrudtsmidler, og sandsynligvis kun på langt sigt, og når HWSC-teknologier anvendes i kombination med andre tiltag, såsom bestemte sædskifte og jordbehandlinger, m.v. (Akhter et al., 2023). Et amerikansk studie har vist at rutinemæssige brug af HWSC (her afbrænding af skår af avner og frø fra soldene efter mejetærskning) i en periode på 4 vækstsæsoner i kombination med effektive strategier for ukrudtsbekæmpelse (kemisk såvel som jordbehandling) kan

i høj grad reducere ukrudtstrykket fra italiensk rajgræs i vinterhvede (Maity et al., 2022). Maity et al. (2022) fandt at antal italiensk rajgræs planter blev reduceret med op til 89 % i HWSC-systemet sammenlignet med ingen HWSC. Der er flere udenlandske studier som viser at HWSC-teknologier signifikant reducerer ukrudtstrykket af forskellige ukrudtsarter (Walsh et al., 2017). Der er også gjort nogle engelske og danske erfaringer med teknologien som afklipper og fjerner frøstande af ager-rævehale og italiensk rajgræs i korn. Der er opnået op til 86 % opsamling af samtlige aks, men resultatet er meget afhængigt af vejrforhold og om ukrudtet er opretstående eller ligger ned i afgrøden (Poul Henning Pedersen, pers. kom.). Dårligste resultat har været fjernelse af 47 % af antal ukrudtsaks. Justering af højde har også stor betydning for ukrudtshøstuddyttet, hvor 91 cm klip højde høstede 84 % af aksene, mens med samme maskine og lokalitet at 95 cm kliphøjde reducerede udbyttet til 44 % af aksene (Ulber, 2023).

*Specifikationer.* Der er som nævnt ovenfor tale om to typer af teknologier. Den ene skal kunne afklippe aks af ukrudt lige over afgrøden og opsamle aksene i en beholder hvorved ukrudtsfrø kan bortskaffes og fjernes fra marken. Den anden teknologi skal kunne destruere ukrudtsfrø som sorteres fra på soldene på mejetærskere.

*Obligatoriske elementer.* En type maskine som her benævnes bugseret ukrudtshøster, der klipper aksene af ukrudt som står højere end afgrøden og derefter transporterer dem til en beholder så de afklippede ukrudtsfrø kan fjernes fra marken. Maskinen består af en knivbjælke og vinde for at opsamle ukrudts frø og aks. Knivbjælken skal kunne justeres i højde over toppen af afgrøde under kørsel. En anden type maskine, en ukrudtsknuser, som monteres på mejetærsker og som opsamler rest fra soldene i 2 ukrudtsknusere i side-by-side anordning og knuser eller på anden måde destruerer ukrudtsfrø.

*Valgfrie elementer:* Terminal for overvågning og indstilling af ukrudtsknuser på mejetærsker, samt magnetbakke til opsamling af metalgenstande.

### **Standardmiljøeffekt: Høst eller destruktion af ukrudtsfrø**

Der er taget udgangspunkt i et sædskifte bestående af Vinterhvede – Vårbyg – Hestebønner – Vinterhvede – Havre – Vinterhvede, som forløber over 12 vækstsæsoner. Der er taget udgangspunkt i marker hvor ukrudtstrykket af ager-rævehale og rajgræsser er blevet et så stort et problem at strategier for anvendelse af ukrudtsmidler og normaldoseringer ikke opnår tilstrækkelig bekæmpelse. For strategien hvor der anvendes HWSC teknologi er det simuleret, at der efter 4 år vil være begyndende effekt af det reducerede frøkast i form af lavere antal ukrudtsplanter per m<sup>2</sup>. Der er således simuleret reduceret dosis af ukrudtsmidler i korn efter 4. vækstsæson med HWSC set i forhold til en fortsat strategi med normaldoseringer af ukrudtsmidler hvor der ikke er anvendt HWSC. I simuleringen er der primært reduceret dosis af bekæmpelsesmidler indeholdende aclonifen+diflufenican (Meteno Duo), prosulfocarb (Boxer), prosulfocarb+clodinafop (Adimax) og mefenpyr+iodosulfuron+mesosulfuron (Cos-sack OD) i vinterhvede. Den langsigtede og vedvarende standardmiljøeffekt for sprøjtestrategi i kombination med HWSC er estimeret til 0,58 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> i gns. af alle 12 vækstsæsoner for det ovennævnte sædskifte, set i forhold til vejledende sprøjtestrategi for normaldosering af bekæmpelsesmidler uden HWSC. Der er i simuleringen valgt sprøjtestrategi med årlig høst/destruktion af ukrudtsfrø ud fra en forventning om teknologiens effekt på reduktion af fremspiret ager-rævehale og rajgræsser, hvis omfang dog for nuværende er ukendt under danske forhold. Mangler tabelhenvisning i teksten (tabel 6.16)



**Tabel 6.16:** Høst eller destruktion af ukrudtsfrø.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
6.15	Høst eller destruktion af ukrudtsfrø	10	Korn	0,58

## Referencer

- Alföldi, T. and Stöcklin, M. (2020) Plantation de la betterave sucrière bio pour mieux maîtriser les adventices. Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, CH-Frick. <https://orgprints.org/id/eprint/39037/>
- Andujar D., Angela Ribeiro, Fernandez-Quintanilla C and Dorado J., Accuracy and feasibility of optoelectronic sensors for weed mapping in wide row crops. *Sensors* 11:2304–2318 (2011).
- Anon. (2000) Sprøjteteknik. Køge-Ringsted Landboforenings Planteavlberetning 1999, 141-144.
- Bartholomaeus, A., Mittler, S., & Varrelmann, M. (2016). Chemical control of Rhizoctonia root and crown rot in sugar beet. *SUGAR INDUSTRY-ZUCKERINDUSTRIE*, 141(4), 228-238.
- Berge, T.W., Goldberg, S., Kaspersen, K., Netland, J. (2012) Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 81, 79–86.
- Carrara, M., Comparetti, A. Febo, P., Orlando S. (2004) Spatially variable herbicide application on durum wheat in Sicily. *Biosystems Engineering* 87 (4), 387-392
- McCarthy, N. and McCarthy, C. (2005) Herbicides and forest vegetation management: A review of possible alternatives. *Irish Forestry Journal*. Available at: <https://journal.societyofirishforesters.ie/index.php/forestry/article/view/9968> (Accessed: 23April2023).
- Christensen, S., Søgaard, H. T., Kudsk, P., Nørremark, M., Lund, I., Nadimi, E. S., & Jørgensen, R. (2009). Site-specific weed control technologies. *Weed Research*, 49, 233-241.
- Clayton, J.S. (2014). The Varidome precision band sprayer for row crops. *Aspects of applied biology*, 55-62.
- Cloutier D.C., Van der Weide R.Y., Peruzzi A. & Leblanc M.L. (2007) Mechanical Weed Management. *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, (Editors: M.K. Upadhyaya & R. E. Blackshaw). CAB International ([www.cabi.org](http://www.cabi.org)), Wallingford (UK), 111-134.
- Donald, W. W. 1994. Geostatistics for mapping weeds with a Canada thistle (*Cirsium arvense*) patch as a case study. *Weed Science* 42, 648-657
- Dyrmann M (2017) Automatic detection and classification of weed seedlings under natural light conditions. Thesis PhD, University of Southern Denmark

- Fabricius, C., Petersen, P.H., Jensen, J.E. (2021) Glyphosathandlingsplan: Lad os sammen sænke glyphosatforbruget. Landbrugsinfo. [https://www.landbrugsinfo.dk/public/3/4/8/afgroder\\_glyphosathandlingsplan\\_sanke\\_glyphosatforbrug](https://www.landbrugsinfo.dk/public/3/4/8/afgroder_glyphosathandlingsplan_sanke_glyphosatforbrug) (websiden besøgt 28-03-2022)
- Genna, N.G.; Gourlie, J.A.; Barroso, J. Herbicide Efficacy of Spot Spraying Systems in Fallow and Postharvest in the Pacific Northwest Dryland Wheat Production Region. *Plants* 2021, 10, 2725. <https://doi.org/10.3390/plants10122725>
- Gerhards, R., Oebel, H. (2006) Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Research*, 46, 185–193.
- Griffin, S., Hollis, J. (2017) Plant growth regulators on winter wheat – yield benefits of variable rate application. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017*, 233–237
- Gutjahr, C., Sökefeld, M., Gerhards, R. (2012) Evaluation of two patch spraying systems in winter wheat and maize. *Weed Research*, 52, 510–519
- Hansen, O.M. (2001) Positionsbestemt plantebeskyttelse. Oversigt of Landsforsøgene. Landbrugets Rådgivningsscenter. 90-92
- Have, H.S., Blackmore, S., Keller, B., Fountas, S. (2002) Autonomous Weeders for Christmas Tree Plantations—A Feasibility Study. *Pesticide Research* 56. 88 sider.
- Jensen, P. K. & Lund, I. (2006) Static and dynamic distribution of spray from single nozzles and the influence on biological efficacy of band applications of herbicides. *Crop Protection* 25, 1201-1209.
- Jensen, P.K., Jørgensen, L.N. (2016) Interactions between crop biomass and development of foliar diseases in winter wheat and the potential to graduate the fungicide dose according to crop biomass. *Crop Protection* 81, 92-98.
- Jensen, P.K. (2004) Vidensyntese om sprøjteteknik med hovedvægt på afdriftsreducerende dyser samt sprøjter med luftledsagelse og luftsprøjter. Rapport over Erhvervsfinansieret Planteavlsvforskning
- Jensen, P.K., Nielsen, B. J., Hansen, H. H. (2003) Sprøjteteknik i kartofler. Hvilke ønsker har vi til ny teknik? 20. Danske Planteværnskonference 2003
- Johansson, D (1998) Radhacking med och utan efterredskap i stråsäd. Slutrapport för fältförsök 1995-1997. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen. Nr 94, 1998 ISSN 0348-0976 ISRN SLU-JB-R--94—SE
- Kaivosoja, J. , Linkolehto, R. (2016) Spatial overlapping in crop farming works. *Agronomy Research* 14(1), 41-53
- Kaspersen, K., Berge, T.W., Goldberg, S., Netland, J., Overskeid, Ø., Stølan, T., 2010. Estimation of weed pressure in cereals using digital image analysis. In: Program and Abstracts, 3rd Precision Crop Protection Conference, 19–21 September 2010, Bonn, Germany, p. 1

- Keller, B., Rubow, T., Friis, E. (2000) Båndsprøjtning i nordmannsgranjuletræer- Herbicidforbrug, vegetationsforhold og klimaskader. Integreret og miljøvenlig produktion af juletræer (nordmannsgran) på agerjord. Slutrapport for projekt PEF-95-120, 1995-1999 under Den Tværministerielle Pesticidforskningsindsats.
- Klausen, N.E. (2007) FarmTest - Sprøjteteknik I kartofler. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteproduktion. Maskiner og planteavl nr. 84. 17 sider.
- Kömives, T. (2016) Report on the feasibility and benefits of spot spraying. HALT Ambrosia - final project report and general publication of project findings. Julius-Kühn-Archiv 455. Plant Protection Institut, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences. DOI 10.5073/jka.2016.455.35. 10 sider
- Larsolle, A., Wretblad, P., Westberg, C. (2002) A comparison of biological effect and spray liquid distribution and deposition for different spray application techniques in different crops. Report 250. SLU Uppsala 2002. Department of Agricultural Engineering. ISSN 00283-0086. 32 sider.
- Larson, J.A., Velandia, M.M., Buschermohle, M.J., Shaun, M. W. (2016) Effect of field geometry on profitability of automatic section control for chemical application equipment. Precision Agriculture 17(1),18-35
- Leonard, R.; Rice, B.; Dowley, L.J.; Ward, S. (2000) The effect of air assistance on spray deposition and biological effect in the control *Phytophthora infestans* in potatoes. Aspects of Applied Biology 57, 243-249
- Lötjönen, T. & Mikkola, H. (2000) Three mechanical weed control techniques in spring cereals Agricultural and Food Science in Finland 9, 269-278
- Luck, J.D., Pitl, S.K., Shearer, S.A., Mueller, T.G., Dillon, C.R., Fulton, J.P. & Higgins, S.F. (2009) Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles. Computers and Electronics in Agriculture.
- Maity, A., Young, B., Schwartz-Lazaro, L.M., Korres, N.E., Walsh, M.J., Norsworthy, J.K., Bagavathiannan, M. (2022) Seedbank management through an integration of harvest-time and postharvest tactics for Italian ryegrass (*Lolium perenne ssp. multiflorum*) in wheat. Weed Technology 36, 187-196. doi: 10.1017/wet.2022.16
- Melander B. & McCollough M.R. 2021. CH-11 Advances in mechanical weed control technologies. In: Advances in integrated weed management (edited by Per Kudsk). Burleigh Dodds Science Publishing (<https://bdspublishing.com/open-access/>), pp. 27; <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2021.0098.11>
- Melander B. 2021. Notat ang. automatisk ukrudtslugning tæt på kulturplanterne i sukkerroer og udplantede salat – resultater fra vækstsæsonen 2021. Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi.
- Melander B., Lattanzi B. & Pannacci E. (2015). Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. Crop Protection 72, 1-8.
- Melander, B., Rasmussen, K., Rasmussen, I. A., & Jørgensen, M. H. (2001). Radrensning med og uden ukrudtsharvning i vintersæd om foråret i samspil med forskellige dyrkningsfaktorer. In 18. Danske Planteværnskonference (Vol. I, pp. 211-226). Danmarks JordbrugsForskning. DJF Rapport Markbrug No. 40

Melander, B., Cirujeda, A., & Jørgensen, M. H. (2003). Effects of inter-row hoeing and fertiliser placement on weed growth and yield of winter wheat. *Weed Research*, 43(6), 428-438.

Melander, B., Nørremark, M., & Kristensen, E. F. (2013). Combining mechanical rhizome removal and cover crops for *Elytrigia repens* control in organic barley systems. *Weed Research*, 53(6), 461-469. <https://doi.org/10.1111/wre.12042>

Midtiby, H., Mosgaard Giselsson, T., & Jørgensen, R. N. (2012). Estimating plant stem emerging points (PSEPs) of sugar of beets in early growth stages. *Biosystems Engineering*, 111(1), 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.biosysteng.2011.10.011>

Mikkelsen, B.F., Nørremark, T., Jensen, J.E. (2018) Sensorer til nedvisning i stub. Et projekt udarbejdet for Miljøstyrelsens Partnerskab i Præcisionssprøjtning. Teknologisk Institut. December 2018. 20 sider

Miljøstyrelsen (2014) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2014: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 13, 92 sider

Miljøstyrelsen (2015) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2015: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 17, 86 sider

Miljøstyrelsen (2016) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2016: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 22, 87 sider

Miljøstyrelsen (2017) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2017: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Revideret udgave. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32, 98 sider

Miljøstyrelsen (2018) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2018: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 45, 102 sider

Miljøstyrelsen (2020) Brug af afdriftsreducerende udstyr ved sprøjtning med plantebeskyttelsesmidler. Vejledning nr. 46 inkl. bilag, ver. 2.4.

Nielsen, G.C., Petersen, P.H., Poulsen, R.T. (2010) Sensorbaseret ukrudtsbekæmpelse. Oversigt of Landsforsøgene. Videncentret for Landbrug. 80-81

Nilsson, A.T.S, Lundkvist, A., Verwijst, T., Gilbertsson, M., Algerbo, P.-A, Hansson, D., Andersson, A., Ståhl, P. & Stenberg, M. (2014) Integrated control of annual weeds by inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment in spring oilseed rape. 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig. Julius-Kühn-Archiv 443, 746-750

Nørremark, M., Griepentrog, H. W., Nielsen, J. & Søgaard, H. T (2008) The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. *Biosystems Engineering* 101(4), 396-410.

Pedersen, C.Å. (2000) Oversigt over Landsforsøgene 2000. Landbrugets Rådgivningscenter. 336 p.

Pedersen, C.Å. (2002) Oversigt over Landsforsøgene 2002. Landbrugets Rådgivningscenter. 353 p.

- Pedersen, J.B. (2011) Oversigt over Landsforsøgene 2011. Videncentret for Landbrug. 443 p.
- Pedersen, J. & Petersen, P.H. (2010) Radrensning af majs og raps. FarmTest. Videncentret for Landbrug. Maskiner og Planteavl 118, 32 sider
- Pedersen, H.H., Hansen, O.M., Jensen, J.E., Søgaard, H.T., Graglia, E. (2004) Strategier for positionsbestemt ukrudtsbekæmpelse i roer. FarmTest Maskiner/Planteavl nr. 35. 32 sider
- Petersen, K. L., Jensen, K.L., Nielsen, M.B., Paz, L.-C., Jensen, N.-P., Rydahl, P., Bøjer, O.M., Scovill, A., Jørgensen, R.N., Laursen, M.S., Teimouri, N., Hartmann, B. (2021) Analysis of potential herbicide savings using experience and data from the RoboWeedMaPS project. Report prepared as a result of participation in project 2020-68795, under the Danish Environmental Protection Agency. "Precision Spraying Partnership", April 20, 2021. 255 sider
- Rabølle, C. (2021) Sprøjteteknik til nedvisning af frøgræs. VKST Planteavlsnyt, 14. januar 2021 (www.planteavlsnyt.dk). 3 sider
- Rasmussen, J., Nielsen, J., Streibig, J. C., Olsen, S. I., Pedersen, K. S., & Jensen, J. E. (2016). Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn. Miljøstyrelsen. Bekæmpelsesmiddelforskning No. 165 <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2017/jan/droner-tidsler-pletsproejtning/>
- Rasmussen, J., Nielsen, J., Streibig, J. C., Olsen, S. I., Pedersen, K. S., & Jensen, J. E. (2016). Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn. Miljøstyrelsen. Bekæmpelsesmiddelforskning No. 165 <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2017/jan/droner-tidsler-pletsproejtning/>
- Rasmussen, J. & Pedersen, T.B. (1990) Forsøg med radrensning i korn - rækkeafstand og udsæds-mængde. 7. Danske Planteværnskonference/Ukrudt: 187-199.
- Rasmussen, J., Nielsen, J., Streibig, J. C., Jensen, J. E., Pedersen, K. S., & Olsen, S. I. (2019). Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. Precision Agriculture, 20(5), 983-999.
- Rubow, T. (1997) Om Ukrudtsbekæmpelse - før, nu og i fremtiden. Skovforening, København, Red. Søren Fodgaard Dansk Skovbrugs Tidsskrift 82. årgang, 477-488.
- Schans, D.A. van der; Bleeker, P.O.; Molendijk, L.P.G.; Plentinger, M.C.; Weide, R.Y. van der; Lotz, L.A.P.; Bauermeister, R.; Total, R.; Baumann, D.T. (2006) Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. Wageningen UR, Applied Plant Research (PPO publication no. 352) - ISBN 9789077861042
- Secher, B.J.M. (2017) IPMIROER - Kan vi båndsprøjte med en alm. sprøjte? Præsentation ved roemøde. Februar 2017. Dansk Landbrug Sydhavsørerne.
- Tersbøl, M., Bertelsen, I., Pedersen, J.B., Haldrup, C., Birkmose, T.S., Knudsen, L. & Jørgensen, T.V. (2000) Økologisk dyrkning. Rækkedyrkning. I: Oversigt over landsforsøg 2000, ved Landsudvalget for Planteavl, Carl Åge Pedersen, 238-239 5.8 og 5.9

- Tersbøl, M. (2001) Økologisk dyrkning. I: Oversigt over landsforsøg 2001, ved Landsudvalget for Planteavl, Carl Åge Pedersen, 230-231
- Thomsen, J.N., Nielsen, O. (2018) Faglig beretning 2017. NBR Nordic Beet Research Foundation. Annual report 2017, 50-59
- Thorsted, M.D. (2019). Vækstregulering. Oversigt over landsforsøgene 2019. Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning, Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. 95-96.
- Thorsted, M.D. (2021). Vækstregulering. Landsforsøgene 2021. Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning, Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. 100-101.
- Tillett, N.D., Hague, T., Grundy, A.C. & Dedousis, A.P. (2008) Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99, 171-178.
- Tillett, N.D. & Hague, T. (2006) Increasing Work Rate in Vision Guided Precision Banded Operations. *Biosystems Engineering* 94(4), 487-494
- Wiles, L.J. (2009) Beyond patch spraying: site-specific weed management with several herbicides. *Precision Agriculture* 10, 277-290.
- Whetton, R. L., Waine, T. W., & Mouazen, A. M. (2018). Evaluating management zone maps for variable rate fungicide application and selective harvest. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 202-212
- Young FL, Yenish JP, Launchbaugh GK, McGrew LL and Richard Alldredge J, Postharvest control of Russian thistle (*Salsola tragus*) with a reduced herbicide applicator in the Pacific Northwest. *Weed Technology* 22:156-159 (2008).

# Indsatsområde 7: Kartoffler, vækststandsning og reduktion af pesticidforbrug

*Forfatter: Michael Nørremark, Institut for Elektro- og Computerteknologi, AU*

Det er afgørende for kvaliteten af kartofler der skal lagres, at knoldene vækststandsnes og modnes ensartet, er skindfaste ved optagning og at der forebygges sygdomme og virus. Det forudsætter, at væksten af kartoffeltoppen kan standses effektivt forud for optagning uden efterfølgende genvækst. Det er vigtigt, at både blade, stængler og udløbere er nedvisnet ved optagning. Miljøeffekten for de enkelte teknologier for mekanisk/fysisk vækststandsning af kartofler er beregnet på baggrund af erstatning for aktivstoffet diquat (f.eks. Reglone) ved normal dosering for nedvisning af kartofler.

For beregninger af standard miljøeffekt er følgende oplysninger anvendt: Miljøstyrelsens seneste godkendte dosering for nedvisning af kartofler var  $1,6 \text{ l ha}^{-1}$  (2 sprøjtninger á  $0,8 \text{ l ha}^{-1}$ ) (diquat  $\sim 200 \text{ g a.i. l}^{-1}$ ) jf. Middeldatabasen. Miljøeffekten for en given teknologi er angivet i enheden  $\text{B ha}^{-1}$ , hvor B er et udtryk for fladebelastningen. Fladebelastningen er beregnet på grundlag af viden om de enkelte aktivstoffers miljøegenskaber. På baggrund af oplysninger fra Middeldatabasen svarer  $1,6 \text{ l ha}^{-1}$  diquat til en fladebelastning på  $2,97 \text{ B ha}^{-1}$ . Pyraflufen-ethyl er et stængelmiddel og bør derfor kombineres enten med aftopning/topknusning eller et nedvisningsmiddel, som er specifikt over for nedvisning af blade. Pyraflufen-ethyl midler som Gozai og Mizuki er ikke godkendt/dispenseret pr. maj 2023 og teknologier til vækststandsning af kartofler som inkluderer disse midler er derfor udeladt af miljø- og klimateknologilisten. Produktet TopGun Finalsan Konc. Indeholdende pelargonsyre er for nuværende eneste godkendte middel til vækststandsning af kartofler. Fladebelastningen for den anbefalede dosering på  $150 \text{ l ha}^{-1}$  er  $13,6 \text{ B ha}^{-1}$ . TopGun Finalsan Konc. Er for nuværende ikke et reelt alternativ til kemisk nedvisning af kartofler, og indgår derfor ikke i miljøeffektberegningerne for relevante teknologier i dette afsnit.

## Mekanisk vækststandsning af kartofler

På grund af at nedvisningsmidlet diquat (f.eks. Reglone) ikke længere er godkendt i EU har der været fokus på at undersøge effekten af alternative mekaniske/fysiske nedvisningsmetoder i forskellige relevante kombinationer til vækststandsning af kartofler i stadie BBCH 48-89. I nyere danske, engelske og amerikanske studier har behandling med toptrækker, stængelknuser eller topknuser og rodunderskæring vist resultater for nedvisning på niveau med kemisk nedvisning med Diquat (Kudsk, 2021; Stalham, 2020; Krupek et al., 2021; Boydston et. Al, 2018; KMC Agro, 2021). Erfaringer fra de seneste par års forsøg er at spredning af sygdomme, forekomst af grønne knolde og mekaniske skader på knolde er væsentlige forhold at tage hensyn til ved mekanisk nedvisning af kartofler og som der skal være fokus på at minimere (KMC Agro, 2021).

*Specifikationer.* Der er to forskellige løsninger. Den ene (løsning a) består af en topknuser/aftopper i kombination med en toptrækker maskine, hvor toppen først fjernes i en passende højde med topknuser/aftopper, og derefter toptrækning med specialmaskine som river resterende top og stængel op af kammen samtidig med at stængler klemmes og der udføres rodunderskæring. Maskinen trækker i princippet toppen op og frigør denne fra knoldene, klemmer stænglen og overskærer rødderne under kartoflerne. Den anden løsning (løsning b) er en stængelknuser

som kombinerer stængelknusning og tildækning. Denne maskiner skærer/klemmer kartoffeltoppen over lige under jordoverfladen og hypper efterfølgende jord op for at dække resterende stængelstykker. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologierne skal betjene.

*Obligatoriske elementer.* Løsning a: Topknuser eller aftopper kombineret med toptrækkermaskine som også rodunderskærer. Løsning b: Stængelknuser med udstyr for tildækning af kartoffeltop.

*Valgfrie elementer.* Redskabsramme uden opklap. Redskabsramme med opklap og som opfylder EU transportregler.

### Standardmiljøeffekt: Mekanisk vækststandsning af kartofler

Standardmiljøeffekt for mekaniske metoder til vækststandsning af kartofler er beregnet ud fra 100 % reduktion af Diquat som kemisk nedvisningsmiddel i kartofler. Ifølge Middeldatabasen er fladebelastning for diquat 1,86 B l<sup>-1</sup> og ved en seneste godkendte total dosering på 1,6 l ha<sup>-1</sup> bliver standardmiljøeffekten for mekaniske metoder der erstatter kemisk nedvisning 2,97 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> på arealer med kartofler som skal lagres (tabel 7.1).

**Tabel 7.1:** Standardmiljøeffekt for toptrækker kombineret med rodunderskæring, stængelknusning kombineret med tildækning og knusning/aftopning og brænding.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
7.1a	Topknuser/aftopper og toptrækker kombineret med rodunderskæring	8	Kartofler	2,97
7.1b	Stængelknusning kombineret med tildækning			ved 100 % reduktion af nedvisningsmidlet diquat

### Vækststandsning af kartofler med aftopning/topknusning og brænding

På grund af at nedvisningsmidlet diquat (f.eks. Reglone) ikke længere er godkendt i EU har der været fokus på at undersøge effekten af alternative mekaniske/fysiske nedvisningsmetoder i forskellige relevante kombinationer til vækststandsning af kartofler i stadie BBCH 48-89. I nyere danske Nye landsforsøg fra 2022 med aftopning/topknusning efterfulgt af 3 gange brænding har vist både utilfredsstillende og tilfredsstillende genvækstprocenter, alt afhængig af sort og lokalitet (Bødker et al., 2022). Erfaringer fra de seneste par års forsøg er at spredning af sygdomme, forekomst af grønne knolde og mekaniske skader på knolde er væsentlige forhold at tage hensyn til ved mekanisk nedvisning af kartofler og som der skal være fokus på at minimere (KMC Agro, 2021). Nedvisning af kartoffelstængler/stubbe og genvækst med fladebrænder er undersøgt af Møller og Bastholm (2002) og senest af Bødker et al (2022) hvor der er opnået meget lave genvækstprocenter, der i 2022 forsøgene blev betragtet som sammenlignelige med effekter af sprøjtning. Der er dog forskel i effekter for forskellige sorter og lokaliteter men i de bedste tilfælde er effekten på højde med Reglone (Bødker et al., 2022; Sønderkov, 2021).

*Specifikationer.* Topknuser eller aftopper som foretager knusning/aftopning/fjernelse af top så kun stængler står tilbage. Den efterfølgende behandling foretages med brænder, enten på hele overfladen, eller på kamme, og



skal kunne afbrænde de resterende stængler. Der findes brændere som kun brænder på kammen, som her benævnes i-rækken brændere. Tank til gas skal monteres på enten flade-/i-række brænder eller traktor, hvor der findes gastanke/-flaskeholdere til traktors frontlift eller trepunktsophæng. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene.

*Obligatoriske elementer.* Topknuser/aftopper kombineret med enten fladebrænder eller i-rækken gasbrænder

*Valgfrie elementer.* Gasbeholder, gasflasker, holder til gasflasker. Alle kan være monteret i traktorens frontlift, traktorens trepunktsophæng (hvis brænder er frontmonteret), eller påmonteret selve brænderen.

### Standardmiljøeffekt: Vækststandsning af kartofler med aftopning og brænding

Standardmiljøeffekt for vækststandsning af kartofler med aftopning og fladebrænder er beregnet ud fra 100 % reduktion af Diquat som kemisk nedvisningsmiddel i kartofler. Ifølge Middeldatabasen er fladebelastning for diquat  $1,86 \text{ B l}^{-1}$  og ved en seneste godkendte total dosering på  $1,6 \text{ l ha}^{-1}$  bliver standardmiljøeffekten for princippet med aftopning/knusning i kombination med fladebrænding der erstatter kemisk nedvisning  $2,97 \text{ B ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$  på arealer med kartofler som skal lagres (tabel 7.2).

**Tabel 7.2:** Standardmiljøeffekt for knusning/aftopning og brænding.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $\text{B ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
7.2	Topknusning/aftopning og fladebrænder	8	Kartofler	2,97 ved 100 % reduktion af nedvisningsmidlet diquat

## Kartoffelradreenser

Det er muligt at kombinere mekanisk og kemisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler under de fleste danske forhold, hvorved herbicidforbruget i kartofler kan reduceres betragteligt. Dog har flerårige danske forsøg vist en mindre udbyttenedgang (2-5 %) ved anvendelse af kombinationen kemisk/mekanisk ukrudtsbekæmpelse ifht. Kemiske bekæmpelse alene (Bødker, 2013; Ivany, 2002). Nyere forsøg har vist at ukrudtsharvning og især specialredskaber til radrensning af kamsider og toppen af kamme, som på flere lokaliteter har opnået samme effekt som to gange sprøjtning med ukrudtsmiddel ved et lavt til moderat ukrudtstryk på sandede jorde, i forsøg der varede i et år (Melander et al, 2021; Melander og McCollough, 2021; Kristian Elkjær, KMC, pers. Komm.).

Der antages et minimums pesticidreduktionspotentiale for anvendelse af radrensning i kartofler, hvor radrensning/hypning/kamformning kombineres med en strategi for kemisk bekæmpelse med bredsprøjtning på konventionelle bedrifter på minimum 65 % af det typiske forbrug af ukrudtsmidler i kartofler. Det angivne besparelsespotentiale forudsætter en bredsprøjtning før eller efter kartoflernes fremspiring og minimum to gange radrensning i kartofler (Møller, 2000; Bødker, 2013; Loft og Østergaard, 2011; Bødker et al., 2022). Alle danske forsøg viser, at ved reduceret kemisk bekæmpelse i kombination med en strategi for radrensning under de rette forhold opnås

der tilsvarende bekæmpelseeffekter sammenlignet med en strategi bestående af anbefalet dosis ved bredsprøjtninger før og efter fremspiring (Møller, 2000; Bødker, 2013; Loft og Østergaard, 2011).

Udstyret består af flere forskellige typer af specialkonstruerede radrensere som anvendes ifbm. Hypning af kamme i kartofler eller kartoffelhypper/plove som er udstyret med knive eller stjernerullere eller harvetænder eller anden anordning som mekanisk bekæmper ukrudt på og mellem kammene. Radrensere kan være monteret med kamformere som sørger for genetablering af kammene eller monteret med andre anordninger for mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Det er også muligt at kombinere med båndsprøjtning, men forsøgsresultater for denne kombination foreligger ikke umiddelbart for kartofler under danske forhold. Der er fundet et enkelt studie fra Canada med bekæmpelse af kvik og tokimbladet ukrudt som viser at båndsprøjtning (30 cm, før og efter fremspiring) + mekanisk ukrudtsbekæmpelse (stjernerullere, 3 behandlinger) var lidt mindre effektiv end bredsprøjtning (samme sprøjtetidspunkter), men dog en bekæmpelse af alle ukrudtsarter med over 91 % ved en besparelse på 2/3 af bredsprøjtning per behandling.

Der er markedsført elementopbyggede redskabskombinationer til mekanisk ukrudtsbekæmpelse hvor aggregater er svingbare for at minimere risikoen for at skubbe eller udjævne siderne på de enkelte kamme, og hvor opbygning og styring er anderledes end de lettere radrensere, type 3a, til kartofler som typisk består af en fast ramme med ikke svingbare elementer/aggregater. For type 3b er elementerne monteres på en ramme som i et antal individuelle sektioner kan styres af kammene via et styringssystem. Alternativt kan styringssystemet tilkobles rækkestyring med kamera eller RTK GNSS. Teknologien har været under udvikling og afprøvet i forsøg i 2020, 2021 og 2022. Der er opnået ukrudtsbekæmpelse på niveau med ukrudtsprøjtninger og med over 90 % bekæmpelse af enkim- og tokimbladet ukrudt (Melander og Stolberg-Rohr, 2020; LandboNord, 2018, Bødker et al., 2022). Præcision og optimering af tidspunkt for anvendelsen, udformningen af kamstørrelsen for de forskellige rensertyper og antallet af nødvendige rensninger før mekanisk rensning skal udføres uden risiko for udbyttetab (Landsforsøg 2022). Ved mere præcis lægning og styring af renserne ved hjælp af for eksempel både svingbare aggregater og kamera, vil der være et stort potentiale i en skånsom mekanisk rensning som alternativ til kemisk bekæmpelse.

*Specifikationer.* Udstyr skal kunne udføre mekanisk bekæmpelse af ukrudt på og mellem kammene. Dette kan være knive, harvetænder, stjernerullere, strigle, harve eller lignende. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Renseelementer eller aggregater skal være monteret på en ramme således at den komplette kartoffelradrenser bestående af ramme og renserelementer/aggregater kan monteres i trepunktsophæng. For løsning a er renserelementer ikke svingbare og følger således redskabsrammens sideværts bevægelser. Løsning b er monteret med svingbare renserelementer/aggregater som følger kammens form og kompenserer for redskabsrammens sideværtsbevægelser, hvorved knive som følger kammens sider altid føres overfladisk for ukrudtsbekæmpelse. Kartoffelradrenseren skal kunne betjene mindst 2 rækker.

*Obligatoriske elementer.* Løsning a. Lette kartoffel-radrensererlementer eller aggregater med monteret udstyr for mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Renseelementer med værktøjer såsom, harvetænder, strigletænder, stjernerullere, eller gummi fingerhjul eller lignende til mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem, på kamside og på top af kammene som kan på- og afmonteres afhængig af kartoflers fremspiring og vækststadiet.

*Obligatoriske elementer.* Løsning b. Svære kartoffel-radrensererlementer eller aggregater med monteret udstyr for mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Renseelementer skal være enkeltvis svingbare således at de følger de enkelte kammes placering i forhold til redskabsrammen. Renseelementer med værktøjer såsom kamside- og topk nive, gummi fingerhjul, metal fingerhjul, strigletænder eller lignende til mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem, på kamside og på top af kammene som kan på- og afmonteres afhængig af kartoflers fremspiring og vækststadie.

*Valgfrie elementer.* Redskabsramme uden opklap. Redskabsramme med opklap og som opfylder EU transportregler. Det kan være trepunktsophængte eller halvbugserede redskabsrammer for montering af renseelementer/aggregater. Ekstraudstyr til samtidig hypning af kamme, kamformning eller afskrælning af kamme, RTK GNSS komplet redskabsstyring for kartoffellægger og radrenser, kameraudstyr for rækkestyring, terminal og software for rækkestyring, mekanisk række/kamstyring, hardware for sideværtsstyring, sektionsløft og sideværtsstyring af delsektioner af renseelementer. Båndsprøjte eller båndsprøjtningssystem til montering på kartoffelradrenser.

### Standardmiljøeffekt: Kartoffelradrenser

Standard miljøeffekt for kartoffelradrenser er beregnet som pesticidreduktion i forhold til den gns. Fladebelastning opgivet med enheden  $B \text{ ha}^{-1}$  i bekæmpelsesmiddelstatistikken for årene 2014 til og med 2018. Der er således taget udgangspunkt fladebelastning på  $3,17 B \text{ ha}^{-1}$  for ukrudtsmidler i kartofler. Ovennævnte potentiale for reduceret forbrug af ukrudtsmidler i procent udgør således samlet set en reduktion på  $2,06 B \text{ ha}^{-1}$  om året (tabel 7.3).

Teknologi: Radrenseren og renseelementer skal kunne udføre mekanisk bekæmpelse af ukrudt på og mellem kammene. Renseelementer og værktøjer kan udskiftes efter behov.

**Tabel 7.3:** Standardmiljøeffekt for Kartoffelradrenser

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
7.3a	Let kartoffelradrenser	8	Kartofler	2.06 ved 65 % reduktion af ukrudtsmidler i kartofler
7.3b	Svær kartoffelradrenser	8	Kartofler	2.85 ved 90 % reduktion af ukrudtsmidler i kartofler

### Mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning i kartofler

Der er markedsført elementopbyggede redskabskombinationer til mekanisk ukrudtsbekæmpelse og vækststandsning i kartofler. Elementerne monteres på en ramme som i et antal individuelle sektioner i standardudgave styres af kammene via et styringssystem. Alternativt kan styringssystemet tilkobles rækkestyring med kamera eller RTK GNSS. Teknologien har været under udvikling og afprøvet i forsøg i 2020 og 2021. Der er opnået ukrudtsbekæmpelse på niveau med ukrudtsprøjtninger og med over 90 % bekæmpelse af enkim- og tokimbladet ukrudt

(Melander og Stolberg-Rohr, 2020; LandboNord, 2018). Ved udskiftning af lugeelementer med vækststandsningselementer på samme ramme, er der i forsøg opnået nedvisning og genvækst på niveau med kemisk nedvisning målt efter 3-4 uger efter behandling (Kudsk, 2021; KMC Agro, 2021).

*Specifikationer.* Et redskabsrammeophæng med mulighed for rækkevis montering af både ukrudtsrenseelementer/aggregater og stængelknusningselementer/aggregater. Udskiftelige stængelknusningselementer/aggregater skal kunne overskære kartoffeltoppen lige under jordoverfladen og efterfølgende hyppe jord op for at dække kartoffeltop. Ukrudtsrenseelementer/aggregater skal kunne udføre mekanisk bekæmpelse af ukrudt på kamside og -top ved hjælp af knive, harvetænder, stjernerullerenser, fingerhjul, strigle/harve eller lignende. Udstyret skal kunne udføre hypning af kammen i samme arbejdsgang som ukrudtsbekæmpelsen ved hjælp af hyppeknive, skær eller lignende. Skal være monteret med svingbare rense-/stængelknusningselementer/aggregater som følger kammens form og kompenserer for redskabsrammens sidevæertsbevægelser, hvorved knive som følger kammens sider altid føres overfladisk for ukrudtsbekæmpelse, samt at stængelknusningsvalserne altid føres på toppen af kammen. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Der skal vælges om redskabsrammen skal sektionsopeles og derved mulighed for sideværtstyring af sektioner eller af hele redskabsrammen. Udstyret skal kunne betjene mindst 2 rækker.

*Obligatoriske elementer.* Ukrudtsrenseelementer/aggregater til mindst 2 rækker. Stængelknusningselementer/aggregater til mindst to rækker. Svingbart styresystem til ukrudts-/stængelknusningselementer/aggregater, udskiftelige ukrudtsrense- og stængelknusningselementer/aggregater til montering på samme redskabsramme.

*Valgfrie elementer.* Redskabsramme uden oplap. Redskabsramme med oplap og som opfylder EU transportregler. Det kan være trepunktsophængte eller halvbugserede redskabsrammer for montering af henholdsvis ukrudtsrenseelementer/aggregater og stængelknusningselementer/aggregater. Ekstraudstyr er værktøjer til montering på renseelementer/aggregater, RTK GNSS komplet redskabsstyring for kartoffellægger og redskabsrammeophænget, kameraudstyr for rækkestyring, terminal og software for rækkestyring, hardware for sideværtstyring af redskabsrammen, hardware for sektionsoptelt sideværtstyring, sektionssløft og styring af ukrudtsrense-/stængelknusningselementer/aggregater, båndsprøjtningssystem monteret på renseelementer/aggregater eller på redskabsrammeophænget.

#### **Standardmiljøeffekt: Mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning**

Standardmiljøeffekt er beregnet som summen af standardeffekterne for mekanisk vækststandsning og ukrudtsbekæmpelse i kartofler jf. sektion 7.1 og 7.3 (løsning 7.3b), i alt 5,82 B ha<sup>-1</sup> om året (tabel 7.4).

**Tabel 7.4:** Standardmiljøeffekt for mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
7.4	Mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning	8	Kartofler	5,82  ved 90 % reduktion af ukrudtsmidler og 100 % reduktion af nedvisningsmidler i kartofler

## Referencer

- Boydston, R., Navarre, R., Collins, H., Chaves Cordoba, B. (2017). The Effect of Vine Kill Method on Vine Kill, Tuber Skinning Injury, Tuber Yield and Size Distribution, and Tuber Nutrients and Phytonutrients in Two Potato Cultivars Grown for Early Potato Production. *American Journal of Potato Research* 95. 54-70. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9614-0>.
- Bødker, L. (2013) Kartoffler – Ukrudt. Oversigt over Landsforsøgene 2013. Videncenteret for Landbrug. 319-325.
- Bødker, L., Elkjær, K., Nilesen, C. (2022) Kartoffler – Vækststandsning. Landsforsøgene 2022. SEGES Innovation P/S, Planter & Miljø. 318-322
- KMC Agro (2021) Muligheder med mekanisk vækststandsning af kartofler 2021. Rapport fra KMC Agro, Brande, 5. november 2021. 17 sider.
- Kudsk, P. (2021). Vækststandsning af kartofler. Rapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug 15.02.2021. 16 sider. Journal nr. 2020-0154681
- Krupek, F.S., Dittmar, P.J., Sargent, S.A., Zotarelli, L., Rowland, D. (2021) Impact of Early Potato Desiccation Method on Crop Growth, Skinning Injury, and Storage Quality Maintenance. *American Journal of Potato Research* 98, 218-231 <https://doi.org/10.1007/s12230-021-09836-1>
- LandboNord (2018) Onfarm forsøg og landmandsdemo 2018 – Afprøvning og test af mekanisk ukrudtsrensere i kartofler. Demonstration gennemført af LandboNord. Afrapportering foretaget af SEGES Økologi Innovation i samarbejde med Communexion. EU Interreg projekt for: Samarbejdsplatform om præcisionsjordbrug. 20 sider
- Loft, M. & Østergaard, P. (2011) Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i praksis. Ukrudtsbekæmpelse i kartofler. Plante-kongres 2011, 11-13 januar 2011, Herning, Danmark, 241 – 243
- Melander, B., Mc Collough, M. R. (2021). Advances in mechanical weed control technologies. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2021.0098.11>
- Melander, B., Stolberg-Rohr, M. (2021) Nye løsninger til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. Kartoffelafgiftsfonden. 8 sider.
- Møller, L. (2000) Ukrudtsbekæmpelse i kartofler – Mekanisk-kemisk ukrudtsbekæmpelse Oversigt over Landsforsøgene 2000. Landbrugets Rådgivningscenter. 260-261.
- Møller, L., Bastholm, K. (2002) Nedvisning af kartoffeltop. Oversigt over landsforsøgene 2002, 267-269.
- Stalham, M. (2020) Final Report – Potato desiccation. Ref: P1901285. Agriculture and Horticulture Development Board, Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, UK. 19<sup>th</sup> May 2020. 62 pages.
- Sønderskov, Mette (2021) Genvurdering af godkendte alternativer til Reglone (reg. nr. 1-277) til nedvisning af kartofler. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

## Indsatsområde 8: Gartneri, reduktion af pesticidforbrug

*Forfattere: Dennis Konnerup, Institut for Fødevarer – Planter, Fødevarer & Bæredygtighed*

*Bo Melander & Peter Kryger Jensen, Institut for Agroøkologi, AU*

Ved beregning af årlig standardmiljøeffekt for teknologier til pesticidreduktion inden for gartneri er der anvendt et gennemsnitstal for fladebelastning (B) af pesticider baseret på de seneste 5 år pesticidstatistik (Miljøstyrelsen, 2019b; Miljøstyrelsen, 2020; Miljøstyrelsen, 2021; Miljøstyrelsen, 2022; Miljøstyrelsen, 2023). Det betyder, at beregningerne af mulig pesticidreduktion er baseret på gennemsnittet af salgstal i årene 2017-2021 for grøntsager. Miljøstyrelsen har ikke opgjort pesticidesalg separat for kategorierne 'frugt og bær' og 'planteskoler og prydplanter' i årene 2018-2021 og derfor anvendes data fra 2017 i forbindelse med beregning af standard miljøeffekt.

### Markise over frugt og bær til forebyggelse af svampesygdomme (regntag)

Opsætning af markiser eller smalle regntag i æbler og pærer har i forsøg vist, at angreb af svampesygdomme reduceres væsentligt. Markiser består af vævet plastik, som er spændt ud over en topwire i ca. 3-4 m's højde, og fastgjort til to lavere siddende wirer. Det derved opståede mini-telt beskytter smalle træerækker imod regn og vedvarende fugt. Netop overfladefugtighed er en forudsætning for de fleste svampesygdommes mulighed for at inficere blade og frugter. Forsøgsmæssigt har det kunnet påvises, at angreb af æbleskurv og diverse lagerrådssygdomme reduceres til et niveau som konventionelt sprøjtede frugter. Samtidig reduceres solskold, haglskader og klimabetinget skrub på æblerne (Bertelsen og Pedersen, 2014).

Dette formodes også at gælde i andre frugt- og bærafgrøder som f.eks. blommer, kirsebær, hindbær, blåbær.

Regntag forventes at kunne reducere pesticidbehandlingerne med 80-100 % (Bertelsen, 2017). Bekæmpelse mod svampesygdomme foretages fra 12 til 25 gange om året, afhængigt af de aktuelle klimaforhold. Nyhedsværdien er meget høj, men metoden er stadig under udvikling og pt. er holdbarheden af systemerne ikke afklaret.

*Specifikationer.* Markiserne (regntag) skal forhindre regn direkte på afgrøderne og dermed bekæmpe svampesygdomme. Markiserne (regntag) kan etableres ved indkøb af materialer til selvbyg, hvor plast/presenning evt. kan fjernes om vinteren. Arealet, som kan medregnes, omfatter alt, som ligger inden for den yderste række, som overdækkes. Når afstanden mellem to overdækninger overstiger 5,0 m, skal der opmåles to separate arealer.

*Obligatoriske elementer.* Løsning A: Enkelt-rækkesystem: Pæle og wirer til at holde markisen (regntaget). Markiser (regntag) bestående af gennemsigtigt hvidt plast eller presenning. Løsning B: Flere-rækkesystem: Pæle og wirer til at holde markisen (regntaget). Markiser (regntag) bestående af gennemsigtigt hvidt plast eller presenning.

### Standardmiljøeffekt: Markise (regntag)

Med afsæt i en årlig fladebelastning på  $3,73 \text{ B ha}^{-1}$  for fungicider i frugt og bær i 2017 og et reduceret forbrug på i gennemsnit 90 % opnås således en årlig miljøeffekt på  $3,36 \text{ B ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$  (tabel 8.1).

**Tabel 8.1:** Standardmiljøeffekt for brug af markise (regntag)

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.1	Markise (regntag)	10	Frugt og bær på friland	3,36

## Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær, grønsager og planteskole- og prydplanter

I det tidlige forår er klimaet normalt den begrænsende faktor for tidlig plantning af havebrugsafgrøder. Løsningen kan være simple, flytbare dyrkningstunneler dækket med et enkelt lag af klar polyethylen plast, som kan øge dagtemperaturen og øger temperatursummen i vækstsæsonen, hvilket fremskynder og forbedrer produktionen. Drivtunnelerne er imidlertid vindfølsomme, så et mere holdbart og fremtidsorienteret system vil være brug af plasthuse, der placeres permanent på området, har en stærkere konstruktion, og kan isoleres og om nødvendigt opvarmes – ofte kaldet høje tunneler eller plastvæksthuse. Man kan i princippet skelne mellem 3 typer af plastvæksthuse: høje helårstunneler (passive solvarme væksthuse) (Løsning 1), 3-sæsons høje tunneler som er almindelige i dag (Løsning 2), men ikke anvendes i vintersæsonen, hvor man typisk fjerner plastdækket, og plastvæksthuse (Løsning 3), der er en kraftigere konstruktion (Blomgren og Frisch, 2009; Rasmussen og Orzolek, 2009; Reid, 2008; Wien et al., 2008).

Dyrkning af bær og grønsager i tunneler eller plastvæksthuse giver avlerne mulighed for at udvide deres sæson både tidligt og sent, og dermed øge deres konkurrenceevne i forhold til produkter, der importeres (Pedersen et al., 2011). Temperatur og ventilationskontrol er afgørende for produktion af sunde afgrøder med høj kvalitet, så derfor er den langsigtede løsning at investere i mere avancerede væksthuse med ventilationssystemer, så den relative fugtighed og temperatur kan styres.

Helårstunneler med mulighed for en vis grad af klimastyring er også velegnede til økologisk produktion af grønsager, frugt og jordbær, som i dag dyrkes på friland. De kan fungere som regn- og haglbeskyttelse, forlænge sæsonen eller der kan introduceres nye plantearter, som normalt ikke vil kunne klare sig i Danmark. Tunneler alene vil kunne reducere visse sygdoms- og skadedyrsproblemer, og tunneler med mulighed for klimastyring vil kunne reducere forekomsten af andre sygdomme, og for de resterende vil der være bedre mulighed for kontrol med biologisk bekæmpelse. Helårstunneler eller væksthuse vil desuden betyde, at man bedre kan styre gødning og vanding og dermed gøre produktionen mere kontrolleret og mere bæredygtig, samtidig med at kvaliteten forbedres og spildet reduceres for nogle produkter.

I USA og Canada har de høje tunneler vist sig at være velegnede til produktion af højeværdiafgrøder, herunder salatmix, babyspinat, tomater, agurker, rød peber, basilikum, afskårne blomster, hindbær, jordbær og meget mere. Også dværgtræ-afgrøder som søde kirsebær kan produceres i større multispan tunneler (Cheng og Uva, 2008).

Svampesygdomme ændrer karakter i et plasthus og tunnel, og kan være et problem, hvis den relative fugtighed ikke kan reguleres. Faren for et angreb er størst, når luftstrømmen inde i tunnelen er lav og den relative luftfugtighed er høj. I jordbær er set større angreb af meldug og et mindre angreb af gråskimmel i tunnel (Xiao et al., 2001).

Valg af resistente sorter, aktiv ventilation (ved at tilføje gavl- eller tagventilation) og fremmelsen af bedre luftcirkulation inde i tunnelen (fx tilføjelse af aktive ventilatorer) er mulige løsninger på problemet, men der er begrænsede erfaringer fra Danmark på dette område.

Skadedyr forårsager normalt mindre skade i høje tunneler, bl.a. fordi afgrøderne en del af tiden vokser, hvor skadedyr er mindre aktive. Ikke desto mindre kan insekter (bladlus, mider, trips, bladhvepse) være generende i høje tunneler. Registreringer af klimaparametre viser at temperaturen er lidt højere i tunnelen end udenfor (Daugaard, 2008). Drypvanding reducerer vandforbruget og de danske undersøgelser har også vist, at ukrudtstrykket er lavt mellem rækkerne, fordi jorden forbliver tør.

Ved dyrkning i høje tunneler og plastvæksthuse vil der for højeværdiafgrøder som f.eks. jordbær, hindbær og visse frilandsafgrøder, i forhold til frilandsdyrkning, kunne reduceres i pesticidforbruget fordi biologisk bekæmpelse vil være mulig. Herudover vil det ved drypvanding være muligt at reducere vand- og gødningsforbruget. Samtidig opnås tidligere udbytter, og nogle år også reduceret spild på grund af klimabeskyttelse mod regn og hagl.

Ved dyrkning af bær og grønsager i tunneller i stedet for på friland kan fungicid- og insekticid-forbruget reduceres med ca. 50 % per produceret enhed, fordi udbytterne stiger, spildet reduceres og det i højere grad er muligt at bruge biologisk bekæmpelse og reducere antallet af pesticid-sprøjtninger, især hvor klimakontrol er muligt (Martínez-Blanco et al., 2011; Garcia et al., 2016; Demchak, 2009). Investering i tunnel til produktion af bær eller grønsager kan være inklusiv temperatur- og ventilationskontrol.

*Specifikationer.* En enkeltstående helårs- eller sæson-tunnel skal være mindst 1,75 m højt, målt fra markhøjde til buens højeste punkt. Konstruktionen i plastvæksthuset skal være lavet af metal og være udformet på sådan måde, at der er almindelig ståhøjde i væksthuset. Tunnellens overdækning skal bestå af et lysgennemtrængeligt materiale.

*Obligatoriske elementer.* Helårs-tunnel, sæsontunnel eller plastvæksthus

### **Standardmiljøeffekt: Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær**

Med afsæt i en årlig fladebelastning på 5,46,3,28 og 0,65 B ha<sup>-1</sup> for fungicider og insekticider i henholdsvis frugt/bær, grønsager og planteskole- og prydplanter i perioden 2017-2021, og et reduceret pesticidforbrug på omkring 50 % opnås således en årlig miljøeffekt på 2,73 B ha<sup>-1</sup> i bærdyrkning, 1,64 B ha<sup>-1</sup> i grønsagsproduktion, samt planteskole-/prydplanteproduktion i tunneller, hvor areal refererer til dyrkningsareal, hvor der dyrkes henholdsvis bær og grønsager til frisk konsum, samt planteskole- og prydplanter (tabel 8.2 og 8.3).

**Tabel 8.2:** Standardmiljøeffekten for brug af tunneler eller plasthus til dyrkning af bær

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.2	Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær	15	Bær på friland	2,73



## Tunneler eller plasthus til dyrkning af grønsager eller planteskole- og prydblplanter

Baggrund for beregning af standardmiljøeffekt i tabel 8.3 fremgår af afsnit 8.2 Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær.

*Specifikationer.* En enkeltstående helårs- eller sæson-tunnel skal være mindst 1,75 m højt, målt fra markhøjde til buens højeste punkt. Konstruktionen i plastvæksthuset skal være lavet af metal og være udformet på sådan måde, at der er almindelig ståhøjde i væksthuset. Tunnellens overdækning skal bestå af et lysgennemtrængeligt materiale.

*Obligatoriske elementer.* Helårs-tunnel, sæsontunnel eller plastvæksthus

**Tabel 8.3:** Standardmiljøeffekten for brug af tunneler eller plasthus til dyrkning af grøntsager eller planteskole- og prydblplanter

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.3a	Tunneler eller plasthus til dyrkning af grønsager	15	Grøntsager på friland	1,64
8.3b	Tunneler eller plasthus til dyrkning af planteskole- og prydblplanter	15	Planteskoleplanter og prydblplanter	0,33

## Robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse af grøntsager

For udplantede grønsager. Lugerobotter kan anvendes til ukrudtsbekæmpelse mellem og i rækkerne i udplantede grøntsager som kål, salat, selleri, løg og porre. Robotterne er udstyret med kameraer, der kan genkende afgrødeplanter, og derved få mekaniske lugeaggregater til at undvige afgrødeplanterne. Med lugerobotter vil der være mulighed for en nærmest fuldstændig ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i udplantede grøntsager med begrænset behov for opfølgende håndlugning. På det europæiske marked forhandles i øjeblikket flere forskellige kamerabaserede lugerobotter, men på det danske marked er det især to lugerobotprincipper, der gør sig gældende. Det ene benytter sig af højtsiddende kameraer, der detekterer flere rækker samtidigt, og dermed foretager en mønstergenkendelse af rækkestrukturen. Selve lugningen foretages med ét roterende skær pr. række.

Det andet lugeprincip har ét linjekamera pr. afgrøderække, der detekterer hver eneste afgrødeplante. Lugningen foretages med to flade skær – ét fra hver side af rækken – som føres ud og ind imellem afgrødeplanterne. Robotlugning er testet i udplantet kål i England, hvor 62-87 % af ukrudtet i rækken blev bekæmpet inden for en radius af 24 cm fra kålplanterne (Tillett et al., 2008). I udplantet hvidkål i Danmark blev 76 % af ukrudtet i rækken bekæmpet, hvilket var ca. 14 % bedre end ikke-intelligente metoder som ukrudtsharvning og fingerhjul (Melander et al., 2015). I samme undersøgelse blev robotlugning også testet i udplantede løgklynger med 7 løgplanter pr. klynge. Her bekæmpede teknologien ca. 54 % af ukrudtet i rækken under mindre gunstige forhold til ca. 86 % af ukrudtet i rækken under mere gunstige forhold. I hverken den engelske eller danske undersøgelse opstod der nævneværdige afgrødeskader som følge af robotlugning. I udplantede løg efterlades en restukrudtsmængde, som kan fjernes manuelt eller ved pletsprøjtning, hvis herbicidforbruget skal holdes maksimalt nede. Tidsforbruget

til håndlugning vil helt afhænge af ukrudtstrykket, men kan typisk ligge på 30-90 timer ha<sup>-1</sup> (ikke publicerede data fra Melander et al., 2015).

I en nyere undersøgelse i udplantet salat udført ved forskningscenter Flakkebjerg i 2021 blev det forsøgt at gå meget tæt på salatplanterne mhp. på at efterlade så lidt ukrudt tæt på salatplanterne som muligt. I en radius på 10 cm rundt om salatplanterne var det muligt at robotluge 57 % af ukrudtet uden at skade salatplanterne (Melander, 2021).

For udsåede grønsager. Der er gjort store fremskridt med kamerabaserede lugerobotter til automatisk fjernelse af ukrudt i udsåede roer (Melander & McCollough, 2021). Der kan fjernes 60-70 % af ukrudtet i rækken, og det har været muligt at fjerne 50-60 % af ukrudtet i en radius på kun 5 cm rundt om roeplanterne (Melander, 2021) uden at skade roerne. Dyrkningen af roer har mange ligheder med dyrkningen af grønsager, og derfor forventes udviklingen af den automatiske lugeteknologi til roer også at få stor betydning for en række grønsagsarter.

Automatisk fjernelse af ukrudt kan også foregå vha. af GNSS-teknologi (Global Navigation Satellite Systems), hvor redskabet udsår grønsagskulturen for derefter at udnytte informationen om kulturfrøenes placering til at udføre en lugning af ukrudt rundt om afgrødeplantens forventede position (Melander & McCollough, 2021). Teknologien sælges allerede til anvendelse i både udsåede roer og grønsager, men der mangler dokumentation af lugeeffekterne.

*Specifikationer.* Lugerobotten skal være med påmonterede redskaber for fjernelse af ukrudt i og mellem rækkerne. Lugerobotten skal være udstyret med kamera(er), der kan genkende afgrødeplanter eller GPS, der ved, hvor afgrødeplanterne er sået. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Lugerobotten skal kunne betjene mindst 3 afgrøderækker samtidig. Udstyr til mekanisk ukrudtsbekæmpelse kan være fingerhjul, skræbepinde, strigletænder eller lignende.

*Obligatoriske elementer.* Selvkørende eller traktormonteret lugerobot med påmonterede kamera(er) eller GNSS. Ukrudts-bekæmpende elementer. Software til behandling af den visionsbaserede eller GNSS-baserede information.

#### **Standardmiljøeffekt: Robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse**

Reduktionen i herbicidforbruget er markant ved anvendelse af robotlugning svarende til 100 % i nogle afgrøder (eks. kål). Anvendelse af lugerobotter er oplagt i både den økologiske og konventionelle produktion. De væsentligste argumenter for at investere i lugerobotteknologien frem for redskaber uden intelligens er flere driftstimer og større sikkerhed for ikke at skade kulturplanterne. Med en fladebelastning på 1,98 B ha<sup>-1</sup> for herbicider i grønsager i 2017-2021 og et forventet reduceret herbicidforbrug på 75 % som gennemsnit af udplantede og udsåede kulturer opnås således en miljøeffekt på 1,49 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> (tabel 8.4).

**Tabel 8.4:** Standardmiljøeffekten for brug af robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.4	Robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse	10	Grøntsager på friland	1,49

## Sensorbaseret ukrudtsprøjte

Ved bekæmpelse af ukrudt kan der anvendes en relativt simpel sensorteknologi, der sikrer at der kun sprøjtes i områder, hvor der er ukrudt. Teknologien er specielt anvendelig ved total ukrudtsbekæmpelse, hvor al plantevækst er uønsket. Teknologien består af en sensor, der registrerer ukrudt og aktiverer den tilsvarende dyse/sprøjteenhed, der passerer det område, hvor der registreres ukrudt. Under afgrøderækken i kulturer af træ- og buskfrugt foretages total ukrudtsbekæmpelse og typisk flere gange i sæsonen. Her er teknologien relevant, og vil kunne spare en væsentlig del af herbicidanvendelsen. Det er en forudsætning for at kunne opnå den angivne besparelse at hver enkelt dyse/sprøjteenhed aktiveres individuelt af en sensor, så den maksimale opløsning i bredden er 50 cm.

En afprøvning af systemet (BCG; 2011) viste meget store forskelle i herbicid besparelspotentiale afhængig af ukrudtsart og plantetæthed. På baggrund af denne skønnes, at teknologien vil kunne reducere herbicidanvendelsen med 30 % ved total ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækken i kulturer af frugt og bær.

*Specifikationer.* Der skal være én sensor pr. dyse/bomsektion. Sensorerne skal kunne registrere grøn vegetation. Sensorerne kan monteres på ny eller eksisterende sprøjte.

*Obligatoriske elementer.* Sensorer. Styringsenhed til sensorer.

### Standardmiljøeffekt: Sensorbaseret ukrudtsprøjte

Med afsæt i en samlet fladebelastning på 0,79 B ha<sup>-1</sup> for herbicider i frugt og bær i 2017-2021 og et reduceret forbrug på 30 % i frugt og bær opnås således en miljøeffekt på 0,24 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> (tabel 8.5).

**Tabel 8.5:** Standardmiljøeffekten for brug af sensorbaseret ukrudtsprøjte

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.5	Sensorbaseret ukrudtsprøjte	10	Træ- og buskfrugt på friland	0,24

## Sprøjteteknologi: Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter

Den anden teknologi, der er udviklet til at hindre tab af sprøjtevæske ved sprøjtning med fungicider og insekticider i træ- og buskfrugt, er sensorafblænding af dyser på tågesprøjter.

Formålet med sensorafblænding er ligeledes at hindre de tab af sprøjtevæske, der sker ved tågesprøjtning af frugt- og bærekulturer som følge af heterogenitet i plantebestanden.

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. Teknologien sikrer en besparelse i forbruget af fungicider og insekticider samt en reduktion i afdrift under sprøjtningen.

Det skønnes, at tågesprøjter, der er monteret med sensorafblænding af dyser, kan reducere fungicid- og insekticidanvendelsen i frugt- og bærkulturer med ca. 20 % (Pergher et al., 2013; Nogle af disse systemer er testet hos Julius Kühn-Institut i Tyskland (JKI, 2018).

*Specifikationer.* Der skal være én sensor pr. dyse/bomsektion. Sensorerne skal kunne registrere huller i plantebestanden. Sensorerne kan monteres på ny eller eksisterende tågesprøjte.

*Obligatoriske elementer.* Sensorer. Styringsenhed til sensorer.

### Standardmiljøeffekt: Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter

Med afsæt i en samlet fladebelastning på 5,47 B ha<sup>-1</sup> for fungicider, insekticider og vækstreguleringsmidler i frugt og bær i 2017-2021 og et reduceret pesticidforbrug på 20 % i frugt og bær opnås således en årlig miljøeffekt på 1,09 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> (tabel 8.6).

**Tabel 8.6:** Standardmiljøeffekten for brug af sensorafblænding af dyser på tågesprøjter

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.6	Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter	10	Træ- og buskfrugt på friland	1,09

### Sprøjteteknologi: Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske

Ved sprøjtning med fungicider og insekticider i træ- og buskfrugt anvendes tågesprøjter. Sprøjtevæsken 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 sprøjtevæsken blive opfanget af kulturen. Ved tidlige sprøjtninger før udspring vil en stor del af sprøjtevæsken 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 de tab, der er forårsaget af heterogenitet i plantebestanden. Begge teknologier reducerer samtidig afdriften ved sprøjtning i frugt og bær med tågesprøjter.

Den ene teknologi benævnes tunnelsprøjter. 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 sprøjtevæske, der ikke rammer kulturen, opfanges af den modstående tunnelside. Sprøjtevæsken filtreres og genanvendes, og både pesticidforbruget og afdriften reduceres.

Det skønnes, at tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske kan reducere fungicid- og insekticidanvendelsen i frugt- og bærkulturer med ca. 20 % (Pergher et al., 2013; Nogle af disse systemer er testet hos Julius Kühn-Institut i Tyskland (JKI, 2018).

*Specifikationer.* Sprøjte udformet som en tunnel, hvori dyserne er monteret. Under kørsel skal kulturen kunne passere igennem tunnelen, og sprøjtevæske, der ikke rammer kulturen, skal kunne opfanges af den modstående tunnelse.

*Obligatoriske elementer.* Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske.

#### **Standardmiljøeffekt: Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske**

Med afsæt i en samlet fladebelastning på 5,47 B ha<sup>-1</sup> for fungicider, insekticider og vækstreguleringsmidler i frugt og bær i 2017-2021 og et reduceret pesticidforbrug på 20 % i frugt og bær opnås således en årlig miljøeffekt på 1,09 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup> (tabel 8.7).

**Tabel 8.7:** Standardmiljøeffekten for brug af tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.7	Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske	10	Træfrugt på friland	1,09

## Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder (frugt, bær og planteskoleplanter)

Der findes flere modeller af sideforskudte traktordrevne fræsere, skuffejern eller roterende snoretrimmere til mekanisk renhold i træerækker (Pedersen og Christensen, 1992; Pedersen og Pedersen, 2004; Pedersen 2012; Wooten 2015). Metoden bliver brugt af økologiske avlere, men har en nyhedsværdi for konventionelle avlere.

Mangeårige erfaringer fra økologien har vist, at disse behandlinger fuldstændig kan erstatte brug af herbicider i konventionelle flerårige vedagtige rækkeafgrøder, dog må der påregnes en øget behandlingshyppighed og for buskfrugt med øverligt liggende rodsystem også let reduceret udbytte. Normalt behandles der 2-4 gange med herbicider om året.

*Specifikationer.* Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder. Udstyr til jordbearbejdning eller mekanisk ukrudtsbekæmpelse skal være fræser, skuffejern, tallerkenharve, roterende nylon snore eller lignende. Der kan investeres i én eller flere af de nævnte typer udstyr til jordbearbejdning eller mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Udstyret skal kunne bekæmpe ukrudt i en afstand på 0,5-1 m på hver side af træ/busk-rækken.

*Obligatoriske elementer.* Løsning A: 1-sidet maskine, med én type udstyr. Traktordrevent sideforskudt udstyr til jordbearbejdning eller mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Løsning B: 2-sidet maskine, med én type udstyr. Traktordrevent sideforskudt udstyr til jordbearbejdning eller mekanisk ukrudtsbekæmpelse.

#### **Standardmiljøeffekt: Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder**

Med afsæt i en årlig fladebelastning på 0,79 og 1,34 B ha<sup>-1</sup> for herbicider i henholdsvis frugt/bær og planteskole- og pryddplanter i perioden 2017-2021 og et reduceret forbrug på 95 % opnås således en årlig miljøeffekt på 0,70 B ha<sup>-1</sup> i frugt/bærdyrkning (tabel 8.8) og 1,34 B ha<sup>-1</sup> i planteskoleplanter (tabel 8.9), hvor areal refererer til dyrkningsareal, hvor der dyrkes henholdsvis frugt/bær og planteskoleplanter.

**Tabel 8.8:** Standardmiljøeffekten for brug af mekanisk ukrudtsbekæmpelse (frugt og bær)

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.8	Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	10	Frugt og bær	0,79

**Tabel 8.9:** Standardmiljøeffekten for brug af mekanisk ukrudtsbekæmpelse (planteskoleplanter)

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.9	Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	10	Planteskole- og prydeplanter	1,34

## Vandrensning af recirkuleret vandingsvand

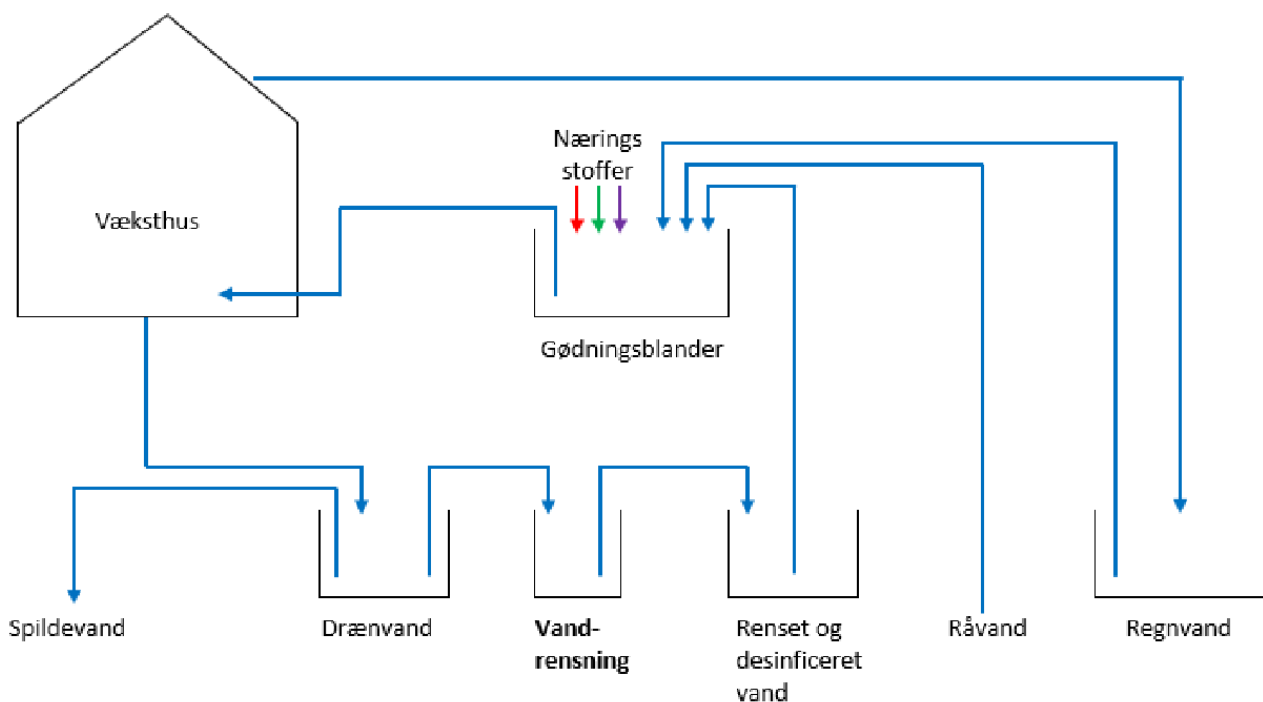
I væksthushaverier, som recirkulerer gødningsvandet, er det muligt at behandle vandet inden det blandes med nyt gødningsvand og ledes ud til planterne igen. Ved ozon eller hydrogen-peroxid (brintoverilte) kombineret med UV-lys og aktivt kul kan man uskadeliggøre eventuelle svampesygdomme, således at planterne ikke smittes fra gødningsvandet. Herved kan behovet for sprøjtning med fungicider reduceres.

Selv om gødningsvandet recirkuleres, er der med jævne mellemrum behov for udskiftning af det recirkulerede gødningsvand, fordi der akkumuleres for store mængder af salte eller pesticidrester. Dette "end-of-pipe"-vand bortskaffes ofte ved udledning som spildevand til natur og kloak. I de senere år er man imidlertid blevet opmærksom på denne praksis, som ikke anses for miljømæssigt acceptabelt (jf. rapport fra Odense Kommune 2017). Heraf fremgår, at der i vandløb er fundet pesticidrester af såvel godkendte som ikke-godkendte pesticider (hovedsageligt insekticider og fungicider) og, at koncentrationen i mange tilfælde er over gældende grænseværdier.

Mængden af spildevand, der skal håndteres, afhænger af væksthushushets størrelse, og hvor hyppigt recirkuleringsstanken tømmes. Rambøll A/S har på baggrund af oplysninger fra HortiAdvice A/S og Odense Kommune estimeret mængden af spildevand i danske væksthushaverier til 80-220 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> væksthushush pr. år (Ottosen & Furgal, 2017). Tømningsfrekvensen er 2-4 gange årligt.

Pesticidrester i gødningsvand eller i spildevand kan reduceres ved kemisk oxidering. Ved tilsætning af ozon eller hydrogen-peroxid til vandet skabes frie radikaler, som nedbryder pesticiderne. Rensningseffekten er afhængig af mængden af tilført ozon eller hydrogen-peroxid og af vandingsvandets indhold af organisk stof. En filtrering for organisk stof før oxidering vil markant reducere behovet for frie radikaler.

I væksthushaverier, som recirkulerer gødningsvandet, kan vandet således renses for pesticider enten inden det blandes med nyt gødningsvand, som ledes ud til planterne, eller inden det ledes til kloak. Ved rensning inden det genanvendes vil oxidering endvidere reducere smittetrykket, hvorved behovet for sprøjtning med pesticider reduceres.



**Figur 8.1:** Skitse af vandstrømme i et væksthuse med recirkulering og vandrensning

I Holland har myndighederne godkendt flere teknologier, der opfylder det stillede krav til rensning, og som derfor kan anvendes til at rense spildevandet fra væksthusegartnerier, inden det ledes til vandløb eller kloak (figur 8.1). Teknologierne bygger hovedsageligt på rensning med ozon eller hydrogen-peroxid i kombination med UV-stråler og eventuelt nanofiltrering eller aktivt kul. Teknologien monteres i forbindelse med recirkuleringstanken, inden vandet løber videre rundt i systemet eller tømmeres ud i vandmiljø eller kloak (van Ruijven et al. 2014). Det skal nævnes at det aktive kul i teknologien akkumulerer kemiske forbindelser over tid og derfor skal skiftes, når bindingsevnen er mættet. Det mættede aktive kul bortskaffes til destruktion.

Anlæggene har forskellige kapaciteter: nogle kan rense store mængder vand hurtigt, mens andre kan rense små mængder langsomt. Hvilken type, der vil være relevant for danske væksthusegartnerier, vil være afhængig af gartnerierens størrelse og nuværende indretning. Ved fjernelse af pesticidrester alene er kapaciteten omkring 1-10 m<sup>3</sup> ad gangen i en lukket beholder. Ved rensning af recirkulerende vandingsvand i et flow er kapaciteten på 2-70 m<sup>3</sup> pr. time. Teknologierne har været testet ved universitetet i Wageningen, hvor hydrogen-peroxid og ozon i kombination med UV-stråler kunne fjerne omkring 80 % pesticider (van Ruijven et al. 2014). Filtrering i aktivt kul efter ozon-behandling fjernede næsten 100 % pesticider (Tabel 8.10). Af tabellen fremgår det, at ozon skal kombineres med aktivt kul for at opnå en effekt større end 95 %. Kemisk oxidering med hydrogen-peroxid med UV-lys skal ligeledes kombineres med aktivt kul for at få en effekt større end 95 %.

**Tabel 8.10.** *Forskellige metoders effektivitet til at fjerne pesticider i vand angivet i %. Gennemsnit af 11 pesticider hvor effektiviteten varierede fra 55 % til 99 % for individuelle pesticider (van Ruijven et al. 2014).*

Elektrokemisk flokkulation	Hydrogen-peroxid med lavtryks UV-lys	Hydrogen-peroxid med midtryks UV-lys	Ozon	Ozon + aktivt kul
30	85	78	84	99

Udgifterne til vandrensning afhænger af den anvendte teknologi, gartneriernes størrelse og mængden af spildevand. I ovennævnte hollandske test fra 2014 vil udgifterne til investering og drift beløbe sig til omkring 10.000 kr. pr. år for et gartneri på 5 ha med en spildevandsmængde på 500 m<sup>3</sup> pr. ha pr. år (van Ruijven et al. 2014). Hvis spildevandsmængden er 1250 m<sup>3</sup> pr. ha pr. år, øges udgifterne til ca. 13.000 kr. I fællesanlæg eller i meget store gartnerier øges arealgrundlaget, hvilket resulterer i reducerede udgifter pr. arealenhed. Rensning med hydrogenperoxid er lidt billigere end rensning med ozon. Supplerende rensning med aktivt kul øger udgifterne med 20-30 %.

Som et alternativ til kemisk oxidering (med ozon eller hydrogenperoxid) kan pesticider nedbrydes effektivt ved superkritisk vandoxidation; en forholdsvis ny teknologi hvor spildevandet først skal opkoncentreres ved membranfiltrering (Ottosen & Furgal, 2017). Teknologien er relativ dyr og endnu ikke testet med pesticidholdigt spildevand. Et andet alternativ er biologisk nedbrydning af pesticider. Denne metode er imidlertid ikke realistisk på grund af den store volumen af spildevand (van Ruijven et al. 2014).

Nanofiltrering har været nævnt som et andet alternativ til kemisk oxidering eller i kombination med kemisk oxidering i stedet for aktivt kul. Da størrelsen af forskellige pesticid-molekyler er meget varierende, vil nanofiltrering ikke holde alle pesticider tilbage. En effektiv filtrering vil formodentlig kræve flere forbundne nanofiltre. I en undersøgelse af forskellige nanofiltres evne til at tilbageholde atrazin, isoproturon og prometryn kunne 73-99 % tilbageholdes (Karabelas & Plakas, 2011). Effektiviteten afhang dog af opløsningens indhold af organisk stof og calcium. Tilbageholdelsen var endvidere afhængig af om opløsningen indeholdt en, to eller tre pesticider; jo flere pesticider des dårligere tilbageholdelse. Det konkluderes, at nanofiltrering af vandingsvand indeholdende mange forskellige pesticider, organisk stof og næringsstoffer ikke kan rense til 95 %. Fra danske forhold er systemerne beskrevet nærmere i udgivelser fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen 2018, Miljøstyrelsen 2019b).

*Specifikationer.* Rensning vha. oxidering af pesticider i vand fra væksthuse ved brug af ozon eller hydrogenperoxid kombineret med aktivt kul eller UV-lys.

Anvendelse: Potteplanter og grøntsager i væksthuse med recirkulering af gødningsvand eller plante-skoleplanter på containerplads hvor vandingsvandet recirkuleres

*Obligatoriske elementer.* Filtre med hydrogenperoxid eller ozon behandling kombineret med aktivt kul eller UV lys til behandling af spildevand eller gødningsvand fra væksthuse. Der kan ikke søges om støtte til recirkuleringstank.



### Standardmiljøeffekt: Vandrensning af recirkuleret vand

I perioden 2007-2015 er forbruget af pesticider i dansk produktion af potteplanter og grøntsager i væksthuse reduceret betydeligt (Ørum et al. 2016), bl.a. fordi der er færre midler til rådighed, og fordi biologisk bekæmpelse af skadedyr har vundet indpas også i potteplantegartnerier. Medens anvendelsen af herbicider er beskedent, anvendes der fortsat fungicider og insekticider i væksthuseproduktionen. I årene 2017-2021 var den årlige fladebelastning for fungicider og insekticider henholdsvis 0,54 og 0,11 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup>. Værdierne er imidlertid behæftet med stor usikkerhed, jf. Ørum et al. (2016).

Såfremt pesticid-indholdet reduceres med 95 %, vil effektive vandrensningsteknologier have en standard-miljøeffekt på omkring 0,65 B ha<sup>-1</sup> år<sup>-2</sup>, hvor areal refererer til det dyrkningsareal, hvor recirkulering finder sted, og som recirkuleringstanken anvendes til (tabel 8.11).

Afslutningsvis skal nævnes, at ved oxidering nedbrydes pesticider. Det er imidlertid uvist om disse nedbrydningsprodukter kan have miljøeffekter.

**Tabel 8.11:** Standardmiljøeffekten for vandrensning af recirkuleret vand

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.10	Vandrensning af recirkuleret vand	10	m <sup>2</sup> med recirkulering af vandingsvand til dyrkning af potteplanter, grøntsager og planteskoleplanter. Arealet vedrører kun det areal teknologien har effekt på	0,65

### Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr i frugt, bær, grøntsager og planteskoleplanter

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 f.eks. æbleskurv (Pedersen et al., 2005) og kirsebærbladplet (Pedersen et al., 2012). Endvidere vil der kunne foretages en optimal insekticidbehandling mod f.eks. æblevikler. Flere af disse beslutningsstøttesystemer 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 sygdomme og skadedyr med 50-100 % (Pedersen et al., 2005; Pedersen et al., 2012). Dette afhænger dog af afgrøden, skadevolderen og de aktuelle klimaforhold.

*Specifikationer.* Sensorerne skal automatisk registrere lufttemperatur, blad- og luftfugtighed i plantemassen samt nedbør. Der skal i hele opretholdelsesperioden være adgang til software, der kan behandle registreringerne. Dette for at tilsagnshaver kan udføre optimal timing af fungicidbehandlinger og/eller insekticidbehandlinger. Klimastationen med tilhørende sensorer skal være placeret i marken/plantagen.

*Obligatoriske elementer.* Klimastation med sensorer, inkl. softwareadgang.

### Standardmiljøeffekt: Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr

Med afsæt i en årlig fladebelastning på 3,28 B ha<sup>-1</sup> for fungicider og insekticider i grønsager, 5,46 B ha<sup>-1</sup> for fungicider og insekticider i frugt og bær, og 0,65 B ha<sup>-1</sup> for fungicider og insekticider i planteskoler i perioden 2017-2021 og et reduceret forbrug på i gennemsnit 75 % opnås således en årlig miljøeffekt på 2,46, 4,10 og 0,49 B ha<sup>-1</sup> i henholdsvis grønsager, frugt/bær og planteskoler (tabel 8.12 til 8.14).

**Tabel 8.12:** Standardmiljøeffekten for brug af klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr (grønsager)

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.11	Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr	5	Grøntsager	2,46

**Tabel 8.13:** Standardmiljøeffekten for brug af klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr (frugt og bær)

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.12	Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr	5	Frugt og bær	4,10

**Tabel 8.14:** Standardmiljøeffekten for brug af klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr (planteskoleplanter)

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.13	Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr	5	Planteskoleplanter	0,49

### Kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO) til lagring af frugt, bær og grønsager

Nedkøling og lagring af æbler og pærer ved CA-lagring reducerer forekomsten af lagerråd med op til 50 % (Tahir et al., 2009). CA-lagring kan etableres enten i specielle CA- eller ULO- (Ultra low oxygen) lager faciliteter. I ULO-lagre reduceres iltindholdet yderligere i forhold til CA-lagring, og kuldioxidindholdet øges. Her forventes yderligere reduktion af lagerråd i forhold til CA-lagring. Lagring af frugt og grønt i CA- eller ULO-lager reducerer mængden af frasorteret frugt.

Kølerum til planteskoleplanter til brug for lagring af f.eks. hækplanter er udbredt i produktionsplanteskoler. Det kan dog også bruges bredt til lagring af andre plantearter (som barrodsplanter) pga. bedre udnyttelse af arbejdskraft til sortering, pakning mv og en længere salgsperiode. Metoderne er veldokumenterede i mange forskellige arter og plantetyper (Maqbool & Cameron 1994; HDC 2006; Sheridan & Nackley 2022). Prydplanteproducenter anvender kølerum som buffer for salget, så det er en velkendt teknik, men oftest opbevares planterne kort tid og ved højere temperaturer end set i ældre dansk litteratur, der viser at opbevaring ved 2-5 °C giver det mindste tab i kvalitet.

De fleste større produktionsplanteskoler vil som nævnt allerede have kølerum, så en vurdering af SME kræver mere informationer om energiforbruget i de eksisterende anlæg inkl. krav til temperatur og fugtstyring for fremtidige systemer. Det afhænger i høj grad af, hvordan man lagrer barrødsplanterne (hylder, netbure) og mængden af plantemateriale mht. design af kølekapacitet og fugtstyring. En energibesparelse kan både ske ved retrofitting af kølemaskiner eller nok mere realistisk ved nybygning af højisolerede kølerum og nye varmevekslere.

Med udgangspunkt i den nuværende viden kan man ikke med sikkerhed sige, at der kan opnås tilstrækkelig besparelse til at nå den nødvendige SME.

*Specifikationer.* I kølerummene skal atmosfæren kontrolleres med CA eller ULO-teknologi. Kølerummet skal kunne indstilles til at holde en temperatur på 1,5-2°C, CO<sub>2</sub> på max 2 pct. og O<sub>2</sub> koncentration på 0,9-1 pct. og CO<sub>2</sub>-niveau på max 2 pct.

*Obligatoriske elementer.* Kølerum med kølelagring med kontrolleret atmosfære.

### Standardmiljøeffekt: Kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO)

Med afsæt i en årlig fladebelastning på 1,65 og 3,73 B ha<sup>-1</sup> for fungicider i henholdsvis grønsager og frugt/bær i perioden 2017-2021 og et skønnet reduceret forbrug på 50 % opnås således en årlig miljøeffekt på 0,83 B ha<sup>-1</sup> i grønsagsproduktion (tabel 8.15) og 1,87 B ha<sup>-1</sup> i frugt/bærdyrkning (tabel 8.16), hvor areal refererer til dyrkningsareal, hvor der dyrkes henholdsvis grønsager og frugt/bær.

**Tabel 8.15:** Standardmiljøeffekten for kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO) til lagring af grønsager.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.14	kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO)	12	Grøntsager	0,83

**Tabel 8.16:** Standardmiljøeffekten for kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO) til lagring af frugt og bær.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.15	kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO)	12	Frugt og bær	1,87

## CA-lagringskasser til grønsager, frugt og bær

CA-lagring kan også etableres i specielle lagringskasser, som placeres i eksisterende kølerum. Brug af lagringskasser vil forbedre udnyttelsen af kølerummet ved at forbedre og forlænge holdbarheden af frugt og grøntsager. Lagring i kasser med semipermeable membraner, som etablerer CA-lagring via produktets egen ånding og respiration, vil forlænge og forbedre holdbarheden af produktet. Dette danner forhold i kassen, som ligner forhold i deciderede CA-lagerrum.

Metoden er kendt i udlandet og bruges af enkelte træfrugtavlere, men er ny for grønsagsavlere. Metoden egner sig især til bedrifter med mindre salg af mange forskellige produkter. Derved kan bedriftens kølerumskapacitet

udnyttes til mange produkter samtidig. Metoden reducerer mængden af frasorteret frugt og grønt i forhold til alm. kølelagring.

*Specifikationer.* Lagringskasserne skal have semipermeable membraner, som etablerer CA-lagring og forlænger produkternes holdbarhed.

*Obligatoriske elementer.* Lagringskasse med låg til CA-lagring.

*Valgfrie elementer.* O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> analysator til lagerovervågning.

### **Standardmiljøeffekt: CA-lagringskasser til grønsager, frugt og bær**

Med afsæt i en årlig fladebelastning på 1,65 og 3,73 B ha<sup>-1</sup> for fungicider i henholdsvis grønsager og frugt/bær i perioden 2017-2021 og et skønnet reduceret forbrug på 30 % opnås således en årlig miljøeffekt på 0,50 B ha<sup>-1</sup> i grønsagsproduktion (tabel 8.17) og 1,12 B ha<sup>-1</sup> i frugt/bær dyrkning (tabel 8.18), hvor areal refererer til dyrkningsareal, hvor der dyrkes henholdsvis grønsager og frugt/bær.

**Tabel 8.17:** Standardmiljøeffekten for CA-lagringskasser til grønsager

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.16	CA-lagringskasser til grønsager	5	Grøntsager	0,50

**Tabel 8.18:** Standardmiljøeffekten for CA-lagringskasser til frugt og bær

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha <sup>-1</sup> år <sup>-2</sup>
8.17	CA-lagringskasser til frugt og bær	5	Frugt og bær	1,12

## Referencer

Se referenceliste side 129: [Indsatsområde 10: Gartneri - næringsstoffer](#)

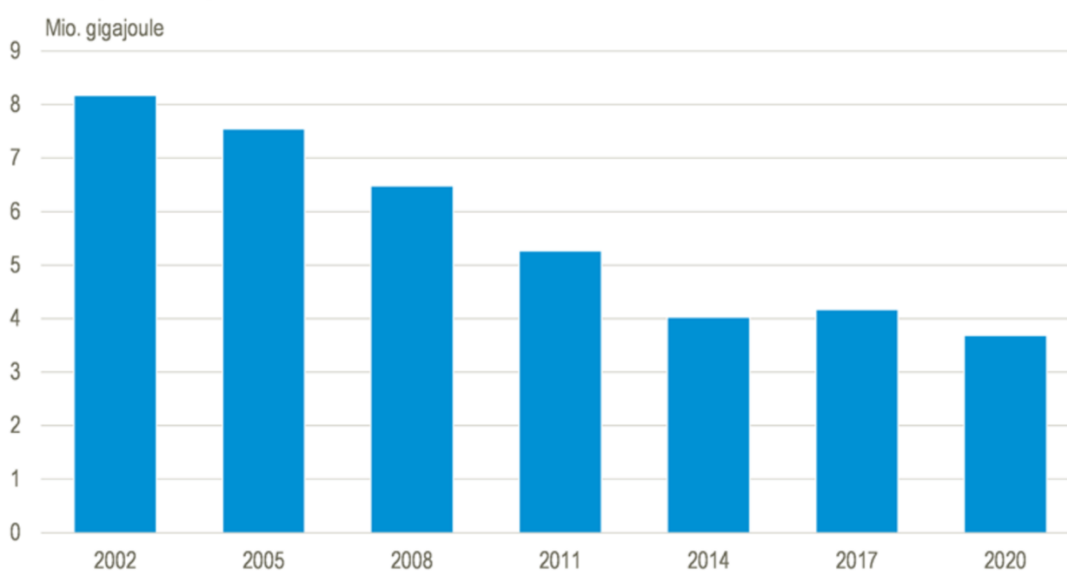
## Indsatsområde 9: Gartneri, reduktion af energiforbrug

Forfatter: Carl-Otto Ottosen, Institut for Fødevarevidenskab, AU

### Gartneri: Reduktion af energiforbrug

Generelt er miljøeffekten for en given teknologi angivet i enheden kWh pr m<sup>2</sup>. Arealet vedrører det areal, som teknologien har effekt på, det vil sige væksthuseareal, dyrkningsareal på friland eller lagerareal. I et væksthuse har teknologien kun effekt på det areal, som reelt anvendes til planteproduktion, dvs. eksklusiv eventuelt teknikrum eller lager. Energiforbruget har været faldende i kraft af bedre klimastyring og teknologi i væksthuseproduktionen, så yderligere reduktion vil kræve investeringer og ændringer i rutiner for at opnå ønskede effekter (figur 9.1). Enhver reduktion i energiforbruget vil bidrage til en reduktion af CO<sub>2</sub> aftrykket.

#### Forbrug af energi i væksthuse



Kilde: [www.statistikbanken.dk/vhus2](http://www.statistikbanken.dk/vhus2)

**Figur 9.1:** energiforbrugsudviklingen i danske væksthuseproduktion <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=31403>

### Gardinanlæg til isolering af væksthuse

Gardiner i væksthuse har flere funktioner. Det gælder bl.a. afskærmning mod sol (høj lysintensitet), energibesparelse om natten og daglængderegulering for arter med kort eller langdagsbehov. Gardiner anvendes i alle potteplante-gartnerier og i stigende omfang i grønsagsgartnerier, da gardiner nu kan foldes effektivt, så der ikke skygges for planterne.

Energibesparelse ved brug af gardiner i væksthuse har været kendt længe, og virkningen af at bruge gardiner er velkendt. Energibesparelsen afhænger af det materiale, som gardinerne er fremstillet af og den måde gardinerne er installeret. Energibesparelsen opstår gennem påvirkning af flere faktorer:

- Et glasvæksthuse har et energitab gennem konvektion, hvor luften i væksthuset afkøles af det kolde glas.

- Et glasvæksthus har et naturligt luftskifte, hvor varm luft siver ud og erstattes med kold luft (marginalt i moderne væksthuse).
- 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, og at gardinmaterialet ofte er testet i en laboratorieopsætning og gardinmaterialerne udvikles løbende.

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. Strålingstabet kan reduceres, hvis der bruges et gardin, som indeholder forskellige fraktioner af aluminium. Aluminium bruges, fordi det er billigt, kan reflektere, og kan fremstilles som en tynd folie, der limes på en plastfilm. Energibesparelsen er derfor afhængig af gardinmaterialet - både basen, aluminium og aldringen af gardinet. Yderligere er energibesparelsen afhængig af, hvilken styringsstrategi der anvendes, og om der anvendes mere end ét lag gardiner og graden af gardinets inddækning i kanten dvs. hvor tæt samlinger i kanten af gardinet mod væg eller andre gardiner er lavet.

I litteraturen angives værdier fra 20 til over 40 % i energibesparelse ved anvendelse af gardiner (Dieleman et al. 2006; Bartok 2016). 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. Der udvikles til stadighed nye typer med forskellige fordele - brandhæmmende eller lysdiffuserende typer. Det kan give en højere produktivitet men ikke nogen direkte reduktion i energiforbruget.

En realistisk værdi for ét-lagsgardiner er en energibesparelse på 20-30 %, lavest for transparente materialer og højest for gardiner af aluminium. Der er dog ikke proportionalitet mellem energibesparelse og procentvis indhold af aluminium. Effekten afhænger også af tæthed og montage. Et to-lagsgardin består af et normalt isoleringsgardin (eller mørklægningsgardin) kombineret med et skyggegardin. Energibesparelsen bliver større, men igen afhænger besparelsen af gardinmaterialernes egenskaber. Bruges tætte gardiner og vandret montering af flere gardiner, fås en højere energibesparelse, fordi den stillestående luft mellem de to gardinlag øger isoleringen, men flere gardiner vil alt andet lige medføre en vist skygning om dagen (når gardiner er trukket til siden). Energibesparelsen stiger med 10 til 15 %, når der installeres et ekstra lag gardiner (Zhao et al., 2011).

En forudsætning 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 overlappning og en såkaldt fodpose ved soklen.

Gardinmaterialerne slides ved foldning og ved træksnore og nedbrydes af UV-lys, 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 til et andet og mere isolerende materiale

vil betyde en lille reduktion i energiforbruget på det pågældende tidspunkt, da gardinteknologien udvikles hurtigt.

NIR-gardiner er karakteriseret ved at kunne reflektere en del af solens nærinfrarøde (NIR) stråling. Refleksionen opnås ved brug af nanoteknologi, og idéen er at reducere varmebelastning af væksthuse 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, KU, pers. med.).

Diffuse gardiner kan i sommerperioden øge produktiviteten. De har som sådan ingen energibesparende effekt, men sikrer en bedre fordeling af lyset, og man kan opnå en bedre vækst i skyggekrævende planter, fordi man kan øge den daglige lyssum (Hohenstein, 2014), mens effekten har mindre betydning for lyskrævende planter, der dyrkes i Danmark.

Der er en række gardintyper på markedet, der tillader fugtgennemslip, men det betyder også at deres isoleringsevne er reduceret. Jo tættere membranen er, desto mere isolering. På samme måde som NIR-gardiner er det kun teoretiske data målt på gardinmaterialet, der ligger til grund.

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 mørklægningsgardinerne 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, tabel 9.1). Markedsførte skyggegardiner med diffusion har som funktion dels at holde bladtemperaturen nede og dels at kunne anvendes som klimaregulering og reducere transpirationen i perioder af året og dels at fungere som let isoleringsgardin efterår og forår samt i kombination med isoleringsgardin for forbedret isoleringseffekt. Stillestående luft mellem 2 skyggegardiner giver den isolerende effekt. De fleste planter kan ikke udnytte fuld sol, og i en sådan situation giver skyggegardiner en bedre lysfordeling i specielt høje afgrøder. Miljøeffekten er alene beregnet på baggrund af effekter af skyggegardiner, og indgår derfor under obligatoriske elementer.

Væksthuse kan klassificeres efter deres varmekonsum (W m<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 9.2 ses den procentvise energibesparelse ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum, afhængig af hvor stor en ændring der efterfølgende sker i varmekonsumet. En realistisk forbedring af varmekonsumet ved installation af gardiner ligger mellem 2-2,5 og afhænger blandt andet af gardinmaterialet og monteringsmetoden.

**Tabel 9.1:** Procentvis energibesparelse i perioderne januar – april og september – december ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmeforbrugstal over perioderne og ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

	Varmeforbrugstal med gardiner lukket mellem solnedgang og solopgang (W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )			
	4,5	5	5,5	6
Niveauer for var- meforbrugstal uden gardiner (W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	% -vis besparelse			
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

*Specifikationer.* Et isoleringsgardin er et gardin bestående af aluminium og polyester. Alle typer med forskellige kombinationer af aluminium og polyester kan anvendes. Diffuserende gardiner, NIR-gardiner og mørklægningsgardiner anses ligeledes som isoleringsgardin, uanset om der er anvendt aluminium og/eller polyester i gardinet. Isoleringsgardin og skyggegardin skal have individuel gardinstyring. Gardinerne skal være brandhæmmende. Der skal søges om tilskud til det grundareal af væksthuset, hvor gardinerne installeres.

*Obligatoriske elementer.* Et isoleringsgardin. Et skyggegardin. Gardinstyring (snoretræk og trækmotorer).

#### **Standardmiljøeffekt: Gardinanlæg til isolering af væksthuse - tolags**

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

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 (Hemming et al. 2017, Rasheed et al 2019.).

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

Brug af flerlagsgardiner (kombinationer af højisolerede gardiner og skyggegardiner) er en bedre løsning end et helt tæt gardin (blank/blank). Det betyder en bedre udnyttelse af naturligt lys, og en bedre mulighed for at vælge en skyggestrategi, der optimeres året rundt. Det betyder også mindre nedslag af fugt, fordi sprækker i de tætte gardiner betyder en betydeligt lavere temperatur på planter under åbninger i gardinerne, så risikoen for fugtnedslag er større. Disse er nødvendige, fordi varmen fra kunstlys-installationen skal kunne ledes bort.



**Table 9.2:** Standardmiljøeffekten for gardinanlæg til isolering af væksthuse – tolags.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Energibesparelse, kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.1	Gardinanlæg til isolering af væksthuse - tolags	8	Væksthusplanter	75 ved energireduktion på 15 %

Generelt er forudsætningen for energibesparelse ved investering i gardininstallationer, at de anvendes så meget som muligt, men at man faktisk justerer klimastyringen i forhold til de nye gardintyper, der installeres. Derfor kan kombinationen af effektive gardiner og varmepumper mv. til fugtstyring være en god kombination, da gardinerne kan anvendes betydeligt længere tid af året.

Det er vanskeligt at sætte en konkret økonomisk effekt på brugen af gardiner. Det skyldes, at gartneriernes varmemeforbrugstal (pris og energikilde) ikke er ens, og inden for et gartneri kan der være forskellige varmemeforbrugstal for hver væksthusehed i et gartneri, pga. alder, placering osv. Da varmemeforbrugstallet afhænger af væksthuses alder, vedligeholdelsesstand og væksthustype, er det nødvendigt at inddrage denne viden for at kunne skønne den økonomiske effekt, så data er skønnede.

Et andet forhold som spiller ind, både på den økonomiske og miljømæssige effekt, er, hvilken energikilde der anvendes. Bruges naturgas, er opvarmningsprisen højere, mens miljøpåvirkningen er mindre pga. mindre CO<sub>2</sub>-emission.

Ved installation af et enkeltlagsgardin vil energiforbruget kunne reduceres med 15-25 % i forhold til et væksthuse uden gardiner, men der er næppe nogen fungerende væksthuse i Danmark uden gardiner, og da kan energibesparelsen øges med 10-15 %, hvis der installeres et ekstra lag gardiner. Udskiftning af et-lags gardin til ny gardintype vil ikke give en markant besparelse. Den årlige miljøeffekt vil således ligge på omkring 50 kWh pr m<sup>2</sup>. Energibesparelsen er afhængig af den styringsstrategi der anvendes, og maksimal miljøeffekt kræver en omlægning af klimastyringen på eksisterende klimacomputer.

## Højsolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af væksthuses nordvendte vægge

Trempler er de lodrette sider i et væksthuse. Her kan glas eller kanalplader erstattes af højsolerende bygningselementer. Anvendes normalt kun på væksthuses nordside (og eventuelt også tagflader mod nord). Energibesparelsen afhænger af det areal, som erstattes med et højtisolierende materiale. Materialet findes på markedet, ligesom materialet har været anvendt ved nybyggeri i de senere år.

**Tabel 9.3.** Reduktionen i CO<sub>2</sub>-emissionen i kg. pr. kvadratmeter i alt over perioderne januar – april og september – december ved ændring i varmekonsumet for et fritliggende væksthuse, ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Ændring i varmekonsumet over perioderne (W m <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

I stedet for kanalplader kan glasset i nordremsen erstattes med permanent isolering (typisk kølelementer). Det vil reducere P-værdien i et glashus fra 8,5 til 8,1 W m<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. I et fritliggende væksthuse, bygget i kanalplader, vil isolering af nordremsen med permanent isolering sænke P-værdien fra 4,5 til 4,3 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. I dag er det gennemsnitlige energiforbrug faldet (tabel 9.3) blandt andet på grund af en bedre klimastyring og bedre isolering. Den procentvise reduktion er dog i store træk uændret.

Hvis væksthuset er bygget som en blok (Venloblok), er mulighederne for at bruge isolerende dækkematerialer mindre på grund af tagkonstruktionens udformning og mindre areal af ydervægge. 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.

*Specifikationer.* Dækkematerialet skal være ikke-transparent. Højtisolerende dækkematerialer kan være kølerums/sandwich plader. Væksthuset skal være bygget i 1995 eller tidligere. Fritstående væksthuse er væksthuse med én enkelt tagryg. Det er hele den nordvendte væg, som skal isoleres. Væksthuset skal være på mindst 800 m<sup>2</sup>.

*Obligatoriske elementer.* Højtisolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af fritliggende væksthuses nordvendte vægge.

#### **Standardmiljøeffekt: Højtisolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af væksthuse**

Ved udskiftning af enkeltlagsglas med flerlags polykarbonat-kanalplader eller kølerumsplader reduceres energiforbruget. Energibesparelsen afhænger af areal af dækkemateriale og orientering af det, samt type af væksthuse og væksthuses størrelse (længde). Jo større væksthuse, jo mindre nordvæg (relativt), jo mindre besparelse. I et ældre 20 m bredt væksthuse kan arealet af nordvæggen udgøre 10 %. En energibesparelse på ca. 10 % svarer til en miljøeffekt på 27 kWh per m<sup>2</sup> væksthuseareal (tabel 9.4). Undersøgelser i forbindelse med nybygning vs renovering af væksthuse hos DJF i Årsløv viste, at lystabet ved renovering var mindst 30 % i forhold til en nybygning, så der var ingen produktionsmæssig gevinst ved punktvis renoveringer (N.E. Andersson, interne rapporter).

**Tabel 9.4:** Standardmiljøeffekten for højisolerende dækkemateriale til isolering af væksthuses nordvendte vægge.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Energibesparelse, kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.2	Højisolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af væksthuse	15	Væksthusplanter	27 ved energireduktion på 10 %

## Højisolerende transparente dækkematerialer til isolering af ældre væksthuse

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 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup> for en 6-lagsplade. Til sammenligning har glas en varmetransmissionskoefficient på 6,5 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Anvendes permanent isolering, dvs. materialer uden lysgennemgang, kan varmetransmissionskoefficienten reduceres til mindre end 0,4 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>.

Der er i det følgende givet nogle eksempler på den forventede energibesparelse ved at udskifte enkeltlagsglas med 2-lags kanalplader (tabel 9.5).

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 varmekonsum (P-værdi) på 8,5 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Det er ikke ualmindeligt, at gavlene i eksisterende fritliggende væksthuse består af kanalplader, hvilket giver en P-værdi på 8,1 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Når der meget ofte bruges kanalplader i gavlene, er det også fordi, det er vanskeligt at montere et velfungerende træksystem til et isoleringsgardin. Ved isolering af gavlene udelades monteringen af et skygge- eller isoleringsgardin. Udskiftes yderligere, for eksempel den nordvendte trempel med kanalplader, reduceres P-værdien til 7,7 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>, og med begge trempel isoleret til 7,5 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Hvis f.eks. den nordvendte tagflade også udskiftes, reduceres P-værdien til 6,0 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>, og med begge tagflader udskiftet med dobbelte kanalplader bliver P-værdien 4,5 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>.

**Tabel 9.5:** Ændring i det årlige energiforbrug for et fritliggende væksthuse ved isolering med 2 lags-kanalplader ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Årligt energiforbrug [kWh pr m <sup>2</sup> ]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,5	887	-
Permanent isolering af nordtrepel	8,1	846	5
Gavle	7,9	825	7
Gavle og nordtrepel	7,7	804	9
Gavle og trepler	7,5	783	12
Gavle, trepler og en tagflade	6,0	626	29
Gavle, en trepel 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 nordtrepel, øvrige flader i kanalplader	4,3	449	49

En Venloblok af glas har en P-værdi på 8,1 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Ved isolering af gavlene bringes P-værdien ned på 7,7 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Isoleres nordtrempelen med kanalplader, fås en P-værdi på 7,5 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Bruges der i stedet permanent isolering i nordtrempelen, reduceres P-værdien til 7,2 W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>. Bruges der desuden kanalplader i sydtrempelen, bliver P-værdien 7,0. Den vanskeligste del at isolere på et blokvæksthuse er som nævnt taget, men de teoretiske beregninger ved udskiftning med kanalplader er medtaget (tabel 9.6).

**Tabel 9.6:** Ændring i energiforbrug for et blokvæksthuse (Venloblok) ved isolering med 2-lags kanalplader ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Årligt energiforbrug [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 nordtrepel	7,5	783	7
Gavle og permanent isolering af nordtrepel	7,2	752	11
Gavle, kanalplader i sydtrepel og permanent isolering af nordtrepel	7,0	731	14
Gavle, trepler og en tagflade	5,8	605	28
Alle flader isoleret med akrylplader	4,3	449	47
Nordtrepel 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. Der kan ske en reduktion af energiforbruget ved hjælp af en mere dynamisk klimastyring og mere fokus på at acceptere højere fugtighed i perioder.

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

Udskiftning af traditionelt (float) glas med andet glas med *mindre* refleksion betyder i princippet, at der kan komme mere lys til planterne både direkte og ved diffust glas også nede i afgrøden specielt i høje afgrøder. Dette vil ikke have en energibesparende effekt, men kan øge produktionen i sommerperioden med 10 % (Dueck et al., 2012), men merprisen for glas gør det ikke rentabelt. I vinterperioden er det tvivlsomt om der ses en stor effekt, da det naturlige lys udgør max 25 % af det tilførte lys, og vinterlys har oftest en højere grad af diffus karakter.

Kvartsglastyper, der tillader UV gennemslip kan have betydning for kvaliteten af planterne, men ikke for energibesparelse, og medfører en hurtigere nedbrydning af gardiner og plastmaterialer. For alle alternative glastyper gælder det, at priserne er så høje, at man næppe kan beregne en tilbagebetalingstid, da efterspørgsel til solfangere og i bygninger presser prisen op.

Ud fra reduktionen i energiforbruget kan miljøpåvirkingen 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. Anvendelse af 2- eller flerlagsdækkematerialer påvirker ikke elektricitetsforbruget, idet hovedparten anvendes til kunstlys (tabel 9.7).

**Tabel 9.7:** Reduktionen i CO<sub>2</sub>-emissionen i kg pr. kvadratmeter pr. år for et fritliggende væksthuse ved en sæt-punktstemperatur på 20 °C ved forskellige grader af isolering med 2-lags kanalplader.

Isolering	Fjern-varme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie
Permanent isolering af nord-trempel	5	9	12	12
Gavle	8	13	17	17
Gavle og nordtrempel	10	16	21	22
Gavle og trempel	13	22	28	30
Gavle, trempel og en tagflade	31	53	69	72
Gavle, en trempel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	35	58	76	80
Alle udvendige flader i kanalplade	51	86	111	117
Permanent isolering af nordtrempel, øvrige flader i kanalplader	53	90	116	122

*Specifikationer.* Dækkematerialet skal være transparent. Højtisolerende dækkematerialer kan være to- eller flerlags polykarbonat kanalplader. Væksthuse skal være bygget i 1995 eller tidligere. Fritstående væksthuse er væksthuse med én enkelt tagryg. Det er hele den nordvendte væg og tagflade og evt. endevægge (gavle), som skal isoleres. Det er valgfrit om én eller begge gavle isoleres. Væksthuse skal være på mindst 800 m<sup>2</sup>.

*Obligatoriske elementer.* Højtisolerende transparent dækkemateriale til isolering af fritliggende væksthuses nordvæg, tag i nord og én eller begge gavle.

#### **Standardmiljøeffekt: Højtisolerende transparente dækkematerialer til isolering af ældre væksthuse**

Det gennemsnitlige årlige energiforbrug i et væksthuse er 265 kWh per m<sup>2</sup>, jf. Danmarks Statistik (2017) over opgørelser af energiforbrug og væksthuseareal, hvilket reflekterer stigende energiforbrug til kunstlys. Ved udskiftning af enkeltlagsglas med højtisolerende to- eller flerlags dækkemateriale kan energiforbruget i et væksthuse reduceres med 10-30 %, hvilket giver en gennemsnitlig årlig miljøeffekt på 53 kWh per m<sup>2</sup>. Der opnås størst effekt i enkeltstående væksthuse og effekten aftager med væksthuseets størrelse. F.eks. vil der kunne opnås en effekt på mere end 20 % i enkeltstående huse mindre end 20 m bredde, bygget med sprosser af aluminium (tabel 9.8). Den ønskede miljøeffekt opnås kun såfremt klimastyringen justeres på den eksisterende klimacomputer.

**Tabel 9.8:** standardmiljøeffekten for højisolerede dækkematerialer til isolering af ældrevæksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt, Energibesparelse kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.3	Højisolerede transparente dækkematerialer til isolering af ældre væksthuse	10	Væksthusplanter	115 ved energireduktion på 20 %

## Klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse

Dynamisk klimastyring baserer sig på en sænkning af varmesætpunktet og en hævnning af ventilationssætpunktet, kombineret med lysafhængigt ventilationstillæg og normalt lysafhængig CO<sub>2</sub>-koncentration, så man reducerer energiforbruget ved lavt lys og øger produktiviteten ved højere lys, hvor lukkede vinduer øger temperaturen og tillader øget udnyttelse af CO<sub>2</sub>. Øget tilførsel af CO<sub>2</sub>, f.eks. ved røggasrensning, er kun relevant i kulturer med høj fotosyntese og ved større indstråling, og giver ingen energibesparelse. 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 yderligere muligt at lægge modeller "på toppen" af softwaren, eller der er indlagt styringsstrategier, 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 alene på plantevæksten kan have store indflydelse på produktionstiden, så typisk opereres med en middeltemperatur over et eller flere døgn.

Et forhold med afgørende betydning for klimastyringen, er sensorernes kvalitet og kalibrering. Manglende kalibrering af f.eks. luftfugtighedssensorer kan medføre en fejlagtig fugtstyring, eller CO<sub>2</sub>-fejl kan betyde et betydeligt merforbrug på CO<sub>2</sub>. Check af sensorer udføres normalt med kalibreret udstyr, ofte i samarbejde med rådgivningstjenesten.

*Specifikationer.* Formålet med klimacomputeren er at opnå optimal klimastyring. Der skal investeres i sensorer for temperatur, CO<sub>2</sub> og fugtighed i hver væksthuseenhed. En væksthuseenhed er et sammenhængende område i væksthuset, hvor der er samme behov for temperatur mv. og som styres separat fra andre væksthuseenheder.

*Obligatoriske elementer.* Klimacomputer. Software for dataopsamling og analyse af klimadata. Sensorer. Centralt installeret hovedstation med software, der kan styre flere klimacomputere.

### Standardmiljøeffekt: Klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse

Energiforbruget vil kunne reduceres med op til 30 %, hvis varmesætpunktet sænkes fra 20 til 16 grader. Det kræver aktiv indsats med klimastyring. Den gennemsnitlige årlige miljøeffekt vil ligge på omkring 80 kWh per m<sup>2</sup> (tabel 9.9). Udstyret kan med fordel kombineres med andre teknologier, f.eks. varmepumper.

**Tabel 9.9:** standardmiljøeffekten for klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt, Energibesparelse kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.4	Klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse	10	Væksthusplanter	80 ved energireduktion på 30 %

### LED-belysning til væksthuse

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

Et LED belysningssystem kan erstatte højtryksnatriumlamper og andre typer vækst-lamper. Systemet er under fortsat udvikling, og der findes en tidligere version, der er installeret i danske gartnerier, og som er valideret ved forsøg på Aarhus Universitet (Ouzounis et al. 2018.) og i Wageningen, hvor energibesparelsen er omkring 40 % samlet efter korrektion for merforbrug af varme (Katzin et al. 2021). DTU/Fotonik har analyseret energiforbruget, eller rettere energieffektiviteten, hvor de traditionelle SONT-lamper ligger på 1,6-1,8 µmol per J, mens de elektroniske ballastlamper med 600 eller 1000 watt er mellem 2,0 og 2,4 µmol per J. LED-lamper ligger mellem 2,2 og 3,0 µmol per J. Dette afhænger dog af lyssammensætning og udviklingstrin af lamperne. De ledende firmaer såsom Philips har lamper på markedet med 3,0 µmol per J. Man kan dog ikke udelukkende bedømme lamperne på basis af lyseffektivitet, idet lysfordeling og -intensitet har en stor rolle. Reelt er den mest effektive bedømmelse en vurdering af pris per micromol på planterne.

På nuværende tidspunkt skønnes det, at udskiftning af traditionelle SONT-lamper (400 W) til LED giver en besparelse på ca. 50 % på el, men der skal afhængigt af planteart justeres med øget varmetilførsel.

*Specifikationer.* Det er kun belysning i området med afgrøder/kulturer, som er tilskudsberettiget. Belysning i andre dele af væksthuset som fx lager, teknikrum eller andre dele af gartneriet som fx pakkerum, er ikke tilskudsberettiget. Den nye LED-belysning skal erstatte ikke-LED belysning. For at kunne dokumentere dette skal dele fra gammel belysning gemmes, eller der skal tages før/efter billeder. Andelen af LED-lamper skal udgøre mindst 30 pct.

*Obligatoriske elementer.* LED armaturer, inklusiv LED rør.

### Standardmiljøeffekt: LED-belysning til væksthuse

Et gennemsnitligt el-forbrug på ca. 60 kWh per m<sup>2</sup> vil kunne reduceres med mindst 40 % i forhold til elforbrug til gamle SONT-lamper (Särkkä et al. 2017; Ouzounis et al. 2018, Katzin et al. 2021). Da LED ikke afgiver så meget

varme, vil der være behov for en øget varmetilførsel, og energireduktionen vil derfor kun være omkring 10-25 % svarende til en årlig miljøeffekt på omkring 6-20 kWh per m<sup>2</sup>. Dette afhænger dog af kulturens temperaturkrav, så i arter af pryddplanter eller salat, der kræver lav temperatur, og i de fleste krydderurter vil man kunne opnå den fulde effekt af LEDs potentielle energibesparelse, mens man i tomater/agurker og varmekrævende pryddplanter vil have en mindre energibesparelse. Mangler tabelhenvisning i teksten (tabel 9.10)

**Tabel 9.10:** Standardmiljøeffekten for LED-belysning i væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Energibesparelse, kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.5	LED-belysning til væksthuse	10	Væksthusplanter	10 ved samlet energireduktion på 15 %

## Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse

Nye højtryksnatriumlamper er mere energieffektive sammenlignet med gamle lamper, men afgiver fortsat varme. En ren omstilling af gamle til nye højtryksnatriumlamper vil imidlertid ikke reducere energiforbruget. I LED sker der derimod ikke noget energitab, men den fulde effekt kan kun opnås i planter med temperaturtolerance. For de fleste pryddplanter, tomat og agurk kan hybridinstallationer (med både højtryksnatriumlamper og LED) derfor være en løsning til at bevare en topvarmekilde og få mere energi-effektivt lys.

Ved uændret lysintensitet vil elforbruget ved en hybridinstallation (med >30 % lys udtrykt i micromol fra LED sammen med nye højtryksnatriumlamper med elektronisk styring) kunne halveres i forhold til elforbrug til gamle højtryksnatriumlamper. Andelen af fotosynteseaktivt lys fra LED beregnes på baggrund af de enkelte lampetyperes specifikationer for mikromol. Da LED ikke afgiver så meget varme vil der være behov for en øget varmetilførsel. Energireduktionen vil derfor kun være omkring 10 %.

Et gennemsnitligt elforbrug på ca. 60 kWh per m<sup>2</sup> vil kunne reduceres med ca. 10 % svarende til en årlig miljøeffekt på omkring 6 kWh pr. m<sup>2</sup> (tabel 9.11). Der sker en løbende udvikling, så pris per mikromol er aftagende. Ved hybridinstallation med højtryksnatriumlamper kan der opnås bedre effekt.

LED lys skal udgøre mindst 30 % af afgrødens samlede lysbehov udtrykt i micromol. Det er ikke muligt at udtrykke denne andel som et antal LED-lamper, men andelen af fotosynteseaktivt lys fra LED kan beregnes på baggrund af de enkelte lampetyperes specifikationer for mikromol.

*Specifikationer.* Højtryksnatriumlamper skal være af typen SON, SON-T, HPS, SHP. Der kan kun søges om tilskud til belysning i området med afgrøder/kulturer. Belysning i andre dele af væksthuset som fx lager, teknikrum eller andre dele af gartneriet som fx pakkerum er ikke tilskudsberettiget.

*Obligatoriske elementer.* Gamle højtryksnatrium-lamper udskiftes til nye højtryksnatrium-typer med elektronisk styring, inkl. armaturer.



### Standardmiljøeffekt: Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse

Ved udskiftning må lys-mængden udtrykt i micromol pr. m<sup>2</sup> ikke øges i forhold til de eksisterende gamle lamper og ansøger skal kunne dokumentere at elforbruget reduceres med ca. 50 %.

**Tabel 9.11:** Standardmiljøeffekten for hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Energibesparelse, kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.6	Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse	10	Væksthusplanter	10 ved samlet energireduktion på 10 %

### Energj-effektiv varmepumpe til opvarmning i væksthuse

Det kan være attraktivt for gartnerier at udskifte en eksisterende varmekilde baseret på fossilt brændsel til en luft-til-luft eller luft-til-vand varmepumpe. For det første produceres der mere og mere vindbaseret el, som af såvel økonomiske som miljømæssige grunde gør det relevant at se på el til opvarmning. For det andet er der udviklet luft-til-vand 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. I en luft-til-luft varmepumpe optages energien i en fordamper med kølemiddel, som koger ved lav temperatur hvorved damp presses gennem en kompressor, der hæver dampens temperatur og tryk. Dampen fortsætter over i en kondensator, som afgiver varme til væksthuset.

Investering i varmepumper til opvarmning af væksthuse vil ligge i størrelsesordenen 1000 – 1500 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. En energieffektiv varmepumpe har en effektivitet større end 4,0 SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance). En SCOP-værdi på 4 betyder f.eks., at varmepumpen i gennemsnit over hele fyringssæsonen producerer 4 kWh varme, for hver gang den bruger 1 kWh el.

Anvendelse af varmepumper i gartnerierne kan have energimæssige sidegevinster. En varmepumpe har en "kold side" som kan bruges til køling eller affugtning, men også til varmekstraktion fra væksthuset (forudsætter at den står i væksthuset). 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 effektivitet og forøgelse af varmeanlæggets virkningsgrad.

*Specifikationer.* Der kan anvendes luft til vand-varmepumper. SCOP skal være på mindst 4,0 ved vandtemperatur på 60 grader. Der kan kun søges om tilskud til opvarmning i området med afgrøder/kulturer. Opvarmning i andre dele af væksthuset som fx lager, teknikrum eller andre dele af gartneriet som fx pakkerum, er ikke tilskudsberettiget.

*Obligatoriske elementer.* Varmepumpe med en effektivitet større end 4,0 SCOP.

### Standardmiljøeffekt: Energi-effektiv varmepumpe til opvarmning i væksthuse

Det gennemsnitlige årlige energiforbrug til opvarmning af et væksthuse er ca. 200 kWh/m<sup>2</sup>. Ved installation af en varmepumpe vil energiforbruget kunne reduceres med ca. 35 % hvilket giver en gennemsnitlig årlig miljøeffekt på 70 kWh/m<sup>2</sup> (tabel 9.12).

**Tabel 9.12:** Standardmiljøeffekten af energieffektiv varmepumpe til opvarmning i væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Energibesparelse, kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
9.7	Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse	10	Væksthusplanter	70 ved samlet energireduktion på 35 %

## Referencer

Se referenceliste side 129: [Indsatsområde 10: Gartneri - næringsstoffer](#)

## Indsatsområde 10: Gartneri, reduktion af næringsstofforbrug

*Forfatter: Carl-Otto Ottosen, Institut for Fødevarevidenskab, AU*

### Reduktion af næringsstofforbrug i gartneri

Miljøeffekten for en given teknologi er angivet i enheden g N per m<sup>2</sup>. Arealet vedrører det areal teknologien anvendes på og har effekt på, det vil sige dyrkningsareal i væksthuse eller på friland. I et væksthuse eller i en tunnel har teknologien kun effekt på det areal, som reelt anvendes til produktion, dvs. eksklusiv eventuelt teknikrum eller lager. En optimeret gødningstilførsel vil forbedre produktiviteten og dermed reducere CO<sub>2</sub> aftryk per produceret enhed.

### Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashuse, plasthuse eller tunnel)

I væksthuseproduktionen er det almindeligt at bruge avancerede vand- og gødningsblandere koblet til gødningscomputere og bagvedliggende beslutningsstøtteværktøjer til at sikre, at gødningstilførslen er så præcis som mulig i forhold til at opnå den ønskede vækst og kvalitet. Det er dog meget vigtigt at disse recirkuleringsteknologier kobles til teknologier til rensning af gødevandet for sygdomsfremkaldende organismer. Hvor der ikke allerede er installeret avancerede gødningsblandere og gødningscomputere i forbindelse med recirkulering forventes en sådan investering at kunne reducere forbruget af næringsstoffer med 10-30 % (Evans and Sadler 2008). Med en avanceret gødningsblander er det muligt at styre ledningsevne og pH samt koncentrationen af de forskellige næringsstoffer og forholdet mellem disse på forskellige dyrkningsområder, så planterne tildeles efter behov og dermed mindskes forbruget yderligere. Tabel 10.1 gælder for de primære langvarige væksthusegrønsager, men andre nye arter kan også omfattes.

*Specifikationer.* Formålet med teknologien er styring af gødning og opsamling af vand/gødning i produktionen. Kontrolenheden består af gødnings-/vandingcomputer. Softwaren udgør regulering og styring. Gødningsblander skal kunne blande returvand og råvand og have integreret udstyr til måling af ledningsevne og pH. Gødningsblander skal kunne håndtere mindst fire forskellige recepter. Der skal være mindst tre gødningskar (til forskellige stamopløsninger og syre). Der skal søges om tilskud til én opsamlingstank per gødningsblander – hverken mere eller mindre. Væksthuset skal være forsynet med tæt underlag: Dyrkningsborde, render, støbt underlag eller vandtæt membran, som sikrer opsamling af returvand til opsamlingstanken.

*Obligatoriske elementer.* Avanceret gødningsblander med integreret kontrolenhed og software. Opsamlings-tank.

*Valgfrie elementer.* Gødningskar.

### Standardmiljøeffekt: Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)

**Table 10.1:** Standardmiljøeffekten for gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel).

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Reduktion, g N m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
10.1	Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)	10	Tomat, peber, agurk	45 ved et reduceret N-forbrug på 15 %

### Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)

Frugt-, bær- og visse grønsagskulturer dyrkes også i stigende grad i tunnel, plasthus og væksthuse. Her gælder de samme forhold som anført for planteskolekulturer, som rykker ind i væksthuse, og at der vil kunne spares op til 15 % vand og næringsstoffer, ved at indføre teknologi til recirkulering og gødningsstyring. Det er dog meget vigtigt at disse recirkuleringsteknologier kobles til teknologier til rensning af gødevandet for sygdomsfremkaldende organismer og teknologi til styring af gødning (måling af de vigtigste næringsstoffers niveau og gødningscomputere til at dosere supplerende mængder af næringsstoffer). Her vil ligeledes kunne spares op mod 15 % vand og næringsstoffer ved recirkulering (Giuffrida and Leonardi, 2012; Sanchez-Del Castillo et al., 2014).

*Specifikationer.* Formålet med teknologien er styring af gødning og opsamling af vand/gødning i produktionen. Kontrolenheden består af gødnings-/vandingscomputer. Softwaren udgør regulering og styring. Gødningsblanderen skal kunne blande returvand og råvand og have integreret udstyr til måling af ledningsværdi og pH. Gødningsblanderen skal kunne håndtere mindst fire forskellige recepter. Der skal være mindst tre gødningskar (til forskellige stamopløsninger og syre). Der skal søges om tilskud til én opsamlingstank per gødningsblander – hverken mere eller mindre. Væksthuset skal være forsynet med tæt underlag: Dyrkningsborde, render, støbt underlag eller vandtæt membran, som sikrer opsamling af returvand til opsamlingstanken.

*Obligatoriske elementer.* Avanceret gødningsblander med integreret kontrolenhed og software. Opsamlings-tank.

*Valgfrie elementer.* Gødningskar.

### Standardmiljøeffekt: Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)

I produktionen af andre grønsager, bær og potteplanter i væksthuse, og udplantningsplanter og planteskolekulturer anvendes typisk henholdsvis 1000 og 300 kg. N pr. ha. Sammenlignet med traditionel gødevanding uden recirkulering vil forbruget af kvælstof og andre gødninger kunne reduceres og den opnåede årlige miljøeffekt vil

ligge på henholdsvis omkring 15 og 4,5 g N pr. m<sup>2</sup> dog med en stor usikkerhed, fordi plantearter vil have store variationer i næringsbehov.

De angivne miljøeffekter kan måske opnås ved alene at installere recirkulering, men effekten øges ved at kombinere med en gødningscomputer (tabel 10.2) som også vil kunne anvendes til at dokumentere forbruget

**Tabel 10.2:** Standardmiljøeffekten for ødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel).

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Reduktion, g N m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
10.2	Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)	10	Grøntsager, krydderurter, bær, potteplanter	15 ved et reduceret N-forbrug på 15 %

## Placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantning

Ved bredstrøning af gødning vil der være næringsstoffer, som ikke optages af planterne fordi afstanden mellem gødningen og planterødderne er for stor. Dette er især tilfældet i det tidlige forår, hvor jorden fortsat er kold. Tilført gødning vil derfor ikke kunne udnyttes, og næringsstofferne vil gå tabt. En dårlig gødningsudnyttelse finder især sted i afgrøder dyrket på stor planteafstand. En bedre gødningsudnyttelse vil kunne opnås ved i stedet for almindelig bredstrøning at placere gødningen tæt ved planterne.

Ved placering af gødning tæt ved frøene sikres tilgængeligheden af næringsstoffer. Herved opnås en hurtig tilvækst og dermed et større udbytte ved høst. Udstyr til placering af gødning monteres på såmaskinen og gødningen placeres i en konstant afstand fra frøene samtidig med såning. Ofte placeres gødningen i en gødningsstreng 5 cm under og 5 cm til siden for frøene.

Effekten af gødningsplacering afhænger af plantearten, gødningstype og af jordens gødningstilstand (Burns et al., 2010; Nkebiwe et al., 2016). Placering af N-gødning har ringe effekt i bl.a. gulerod og kål, men positiv effekt i plantearter med ringe rodvækst bl.a. spiseløg og salat, hvor N-tilførslen kan reduceres med 10-30 % for at opnå samme udbytte som ved bredstrøet N-gødning (Sørensen, 1996; Burns et al., 2010).

I Danmark er det normal praksis at placere en NP-gødning i direkte såede spiseløg og suktermajs, hvor sidstnævnte er en varmekrævende afgrøde. Ved placering af en NP-gødning til spiseløg opnås en stor tilvækst i det tidlige forår hvilket resulterer i et øget udbytte ved høst (Burns et al., 2010, Sørensen, 2013). Ved sammenligneligt udbytte kan N-tilførslen reduceres med omkring 25 % til spiseløg (ved gødskning på 160 kg N pr. ha) såfremt der ved såning er placeret en NP-gødning i en afstand på 5x5 cm i forhold til frøene.

*Specifikationer.* Gødningsudlægger skal monteres på såmaskinen. Udstyret skal kunne placere gødning i en konstant afstand fra frøene samtidig med såning. Konstant afstand er mellem hver anden sårække eller i samme række som frø, men et par cm under dette.

*Obligatoriske elementer.* Gødningsudlægger til separat nedfældning af gødningen med skiveskær eller tænder. Såmaskine/udstyr til såning.

### **Standardmiljøeffekt: Placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantning**

Med afsæt i en årlig gødskning på 160 kg N pr. ha for grøntsager og et reduceret forbrug på 25 % opnås således en årlig miljøeffekt på 40 kg N pr. ha i grøntsagsproduktion svarende til 4 g N pr. m<sup>2</sup> årligt. Mangler tabelhenvi-  
sing i tekst (tabel 10.3)

**Tabel 10.3:** Standardmiljøeffekten for placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Reduktion, g N m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
10.3	Placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantning	10	Grøntsager	4 ved et reduceret N-forbrug på 25 %

## Referencer

BCG, 2011. WeedSeeker technology. BCG report. <https://www.bcg.org.au/weedseeker-technology/>

Bertelsen M 2017. Højværdiafgrøder rykker under tag. moMentum nr. 2, juni 2017.

Bertelsen M, Pedersen HL 2014. Preliminary results show rain roofs to have remarkable effect on diseases of apples. Ecofruit Proceeding 2014. p. 242-243.

Blomgren T, Frisch T 2009. High Tunnels Using Low-Cost Technology to Increase Yields, Improve Quality and Extend the Season. Report Produced by Regional Farm and Food Project and Cornell University.

Burns IG, Hammond JP, White PJ 2010. Precision Placement of Fertiliser for Optimising the Early Nutrition of Vegetable Crops - a Review of the Implications for the Yield and Quality of Crops, and their Nutrient Use Efficiency. Acta Horticulturae 852, 177-187.

Cheng ML, Uva WF 2008. Removing Barriers to Increase High Tunnel Production of Horticultural Commodities in New York. Economic and Marketing Study Final Report.

Danmarks Statistik 2017. Statistikbanken.

Daugaard H 2008. Table-top production of strawberries: performance of six strawberry cultivars. Acta Agricultura Scandinavica 58(3), 261-266.

Demchak K 2009. Small fruit production in high tunnels. HortTechnology 19(1), 44-49.

Dieleman JA, Marcelis LFM, Elings A, Dueck TA, Meinen E 2006. Energy Saving in Greenhouses: Optimal Use of Climate Conditions and Crop Management. Acta Hort 718, 203-209.

- Evans RG, Sadler EJ 2008. Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research* 44, 1-15.
- Dueck T, Janse J, Li T, Kempkes F, Eveleens B 2012. Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. *Acta Hort. (ISHS)* 956, 75-82.
- Garcia ME, Dickey DA, Frey SD, Johnson DT 2016. Increasing economic and environmental sustainability of table grapes using high tunnel advanced production. *Acta Hort.* 1115, 29-31.
- Giuffrida F, Leonardi C 2012. Nutrient solution concentration on pepper grown in a soilless closed system: yield, fruit quality, water and nutrient efficiency. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science.* 62, 1-6.
- HDC (2006). *HNS Cold Storage - A Grower Guide.*
- Hemming S, Baeza E, Mohammadkhani V, van Breugel B 2017. Energy saving screen materials - Measurement method of radiation exchange, air permeability and humidity transport and a calculation method for energy saving. Wageningen Report GTB-1431, 92 pp. <http://edepot.wur.nl/409298>
- Hohenstein JA 2014. Diffuse light for better plants. *Grower Talks* 78(8).
- JKI, 2018. <https://www.julius-kuehn.de/at/ab/abdrift-und-risikominderung/pflanzenschutzmitteleinsparung/>
- Karabelas A, Plakas K 2011. Membrane treatment of potable water for pesticides removal. <https://www.slideshare.net/kplakas/membrane-treatment-of-potable-water-for-pesticides-removal>
- Katzin, D, Marcelis, Leo, van Mourik, S. 2021 Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting, *Applied Energy*, 281, 116019
- Maqbool, M. & Cameron, A. C. (1994). Regrowth Performance of Field-grown Herbaceous Perennials following Bareroot Storage between -10 and +5C. *HortScience* 29, 1039-1041.
- Martínez-Blanco J, Muñoz P, Antón A, Rieradevall J 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production* 19, 985-997.
- Melander B., Lattanzi B. & Pannacci E. 2015. Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. *Crop Protection* 72, 1-8.
- Melander B. & McCollough M.R. 2021. CH-11 Advances in mechanical weed control technologies. In: *Advances in integrated weed management* (edited by Per Kudsk). Burleigh Dodds Science Publishing (<https://bdspublishing.com/open-access/>), pp. 27; <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2021.0098.11>
- Melander B. 2021. Notat ang. automatisk ukrudtslugning tæt på kulturplanterne i sukkerroer og udplantet salat – resultater fra vækstsæsonen 2021. Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi.

Nørremark, M., Hansen, M.J., Kai, P., Børsting, C.F., Ottosen, C.-O., Konnerup, D., Jensen, P.K., Melander, B. Landbrugsteknisk hjælp til besvarelse af høringssvar til Miljø- og klimateknologi 2023. 41 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

Miljøstyrelsen 2018: Håndtering af pesticidholdigt spildevand fra væksthushortnerier. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 48.

Miljøstyrelsen 2019a: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2017 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Revideret udgave. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32.

Miljøstyrelsen 2019b: Vejledning om pesticidholdigt spildevand og pesticidholdigt affald fra væksthushortnerier. Vejledning nr. 38.

Miljøstyrelsen 2020: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2018 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 45.

Miljøstyrelsen 2021: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2019 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 48.

Miljøstyrelsen 2022: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2020 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 54.

Miljøstyrelsen 2023: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2021 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 63.

Nkebiwe PM, Weinmann M, Bar-Tal A 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research* 196, 389-401.

Odense Kommune 2017. Afrapportering af projekt om væksthushortneriers miljøforhold. August 2017, 41 sider, Odense Kommune.

Ottosen AR, Furgal KM 2017. Pesticiders skæbne i biologiske rensningsanlæg. Litteraturundersøgelse. Miljøstyrelsen, 40 sider.

Ouzounis T, Giday H, Kjaer KH, Ottosen CO 2018. LED or HPS in ornamentals? A case study in roses and campanulas. *J. European Hort. Sci.* 83(3), 166-172.

Pedersen, H.L., Christensen, J.V. (1992) Ukrudtsbekæmpelse i æble uden brug af herbicider. *Tidsskrift for planteavl* 96, 473-477.

Pedersen, H.L., Pedersen, B. (2004) Soil treatments and rootstocks for organic apple production. ECO-FRU-VIT. 11th International Conference on Cultivation technique and Phytopathological problems in Organic Fruit-Growing. 137-143.

Pedersen, H.L., Linddal Pedersen, K., Paaske, K. (2005) Evaluating the use of RIMpro and Metos weather stations for control of apple scab (*Venturia inaequalis*) in Denmark 2002-2005. Poster til 7th International IOBC/WPRS Workshop on Orchard Diseases. Italy Aug-sep. 2005.



- Pedersen HL, Andersen L, Jørgensen PE, Sørensen L 2011. Luksusbær til frisk konsum. *Frugt & Grønt* 2, 60-61.
- Pedersen HL 2012. Mekanik mod ukrudt. *Frugt & Grønt*, 232-233.
- Pedersen HL, Jensen B, Munk L, Bengtsson M and Trapman M 2012. Reduction in the use of fungicides in apples and sour cherry production by preventive methods and warning systems. *Pesticides research* no. 139. 2012. Danish Ministry of the Environment. Environmental protection Agency. ISBN no. 978-87-92779-70-0. pp 113.
- Pergher, G. Gubiani, R., Cividino, R. S., Dell'Antonia, D., Lagazio, C. 2013. Assessment of spray deposition and recycling rate in the vineyard from a new type of air-assisted tunnel sprayer. *Crop Protection* 45, 6-14.
- Rasheed, Na, Lee, Kim, Lee, 2019. Optimization of Greenhouse Thermal Screens for Maximized Energy Conservation. *Energies* 12, 3592.. doi:10.3390/en12193592
- Rasmussen CM, Orzolek MD 2009. Penn State High Tunnel Plastic Study 2007-08. Report from PennState University.
- Reid J 2008. Comparisons of Temperatures under Clear Polyethylene and Infrared Blocking Coverings for High Tunnels. Report Cornell University.
- Sanchez-Del Castillo F, Moreno-Perez ED, Pineda-Pineda J, Osuna JM, Rodriguez-Perez JE, Osuna-Encino T 2014. Hydroponic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production with and without recirculation of nutrient solution. *Agrociencia* 48(2), 185-197.
- Sheridan, R. A. & Nackley, L. L. (2022). Applying Plant Hydraulic Physiology Methods to Investigate Desiccation During Prolonged Cold Storage of Horticultural Trees. *Front Plant Sci* 13, 818769.
- Särkkä LE, Jokinen K, Ottosen CO, Kaukoranta T 2017. Effects of HPS and LED lighting on cucumber leaf photosynthesis, light quality penetration and temperature in the canopy, plant morphology and yield. *Agricultural and Food Science* 26, 102-110
- Sørensen JN 1996. Improved N efficiency in vegetable production by fertilizer placement and irrigation. *Acta Hort* 428, 131-140.
- Sørensen JN 2013. Startgødskning af såløg. *Dansk Løgavl* 59(1), 4-7.
- Tahir II, Johansson E and Olsson ME 2009. Improvement of apple quality and storability by a combination of heat treatment and controlled atmosphere storage. *HortScience* 44 (6), 1648-1654.
- Tillett ND, Hague T, Grundy AC, Dedousis AP 2008. Mechanical within-row weed control for trans-planted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99, 171-178.
- van Ruijven JPM, van Os EA, van der Staij M, Beerling EAM 2014. Evaluation of Technologies for Purification of Greenhouse Horticultural Discharge Water. *Acta hort.* 1034, 133-140.
- Wien HC, Reid JC, Rasmussen C, Orzolek MD 2008. Use of Low Tunnels to Improve Plant Growth in High Tunnels. Report from PennState University.

Wooten M 2015. Blueberry research focuses on gentler methods of harvesting tiny fruit. UGA Today. <http://news.uga.edu/releases/article/blueberry-research-gentler-methods-of-harvesting-tiny-fruit-0415/>; [http://www.scharfenberger.de/files/scharfenberger\\_01/pdf/BRAUD\\_9000L\\_engl.pdf](http://www.scharfenberger.de/files/scharfenberger_01/pdf/BRAUD_9000L_engl.pdf)

Xiao CL, Chandler CK, Price JF, Duval JR, Mertely JC, Legard DE 2001. Comparison of epidemics of Botrytis fruit rot and powdery mildew of strawberry in large plastic tunnel and field production systems. Plant Disease 85(8), 901-909.

Zhao S, Ma C, Liu C, Sun G 2011. Computing method for thermal transmittance and saving ratio of heat loss in multi-layer covering of greenhouse. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 27(7), 264-269.

Ørum JE, Kudsk P, Jørgensen LN, Paaske K. 2016. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning for solgte pesticider 2007-2015. Miljøstyrelsen.

## Bilag 1: Oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter

Nedenstående tabel angiver alle teknologier i indsatsområde 1-10, og hvilken afledt klimaeffekt hver enkelt teknologi har.

<b>Indsatsområde 1</b>		
<b>Reduktion af ammoniakemission</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
1.1	Teltoverdækning af gyllebeholder	Neutral

<b>Indsatsområde 2</b>		
<b>Svin, reduktion af ammoniakemission</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
2.1a	Gyllekøling m. linespil: 6.5 - 16 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin	Positiv
2.1b	Gyllekøling m. linespil: 17 - 26 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin	Positiv
2.1c	Gyllekøling m. linespil: 27 - 36.5 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin	Positiv

<b>Indsatsområde 2</b>		
<b>Svin, reduktion af ammoniakemission</b>		
2.2a	Gyllekøling m. linespil: 6.5 - 16 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise	Positiv
2.2b	Gyllekøling m. linespil: 17 - 26 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise	Positiv
2.2c	Gyllekøling m. linespil: 27 - 36.5 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise	Positiv
2.3a	Gyllekøling m. rørudslusning: 12.5 - 22 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin	Positiv
2.3b	Gyllekøling m. rørudslusning: 23 - 33 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin	Positiv
2.3c	Gyllekøling m. rørudslusning: 34 - 44.7 W/m <sup>2</sup> , slagtesvin	Positiv
2.4a	Gyllekøling m. rørudslusning: 12.5 - 22 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise	Positiv
2.4b	Gyllekøling m. rørudslusning: 23 - 33 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise	Positiv
2.4c	Gyllekøling m. rørudslusning: 34 - 44.7 W/m <sup>2</sup> , søer og smågrise	Positiv
2.5a, 2.6a, 2.7a	10-29 % delluftrensning, slagtesvin	Neutral/negativ
2.5b, 2.6b, 2.7b	30-49 % delluftrensning, slagtesvin	Neutral/negativ
2.5c, 2.6c, 2.7c	50-70 % delluftrensning, slagtesvin	Neutral/negativ
2.8a, 2.9a, 2.10a	10-29 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer	Neutral/negativ
2.8b, 2.9b, 2.10b	30-49 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer	Neutral/negativ
2.8c, 2.9c, 2.10c	50-69 % delluftrensning, smågrise og diegivende søer	Neutral/negativ
2.11a, 2.12a, 2.13a	10-29 % delluftrensning, drægtige søer	Neutral/negativ
2.11b, 2.12b, 2.13b	30-49 % delluftrensning, drægtige søer	Neutral/negativ
2c, 2.13c	50-69 % delluftrensning, drægtige søer	Neutral/negativ
2.14	Punktudsugningsanlæg med luftrensning: 10 % punktudsugning, slagtesvin	Neutral
2.15	Punktudsugningsanlæg med luftrensning: 18 % punktudsugning, slagtesvin	Neutral
2.16a	Gylleforsuring, slagtesvin	Positiv
2.16b	Gylleforsuring, søer og smågrise	Positiv
2.16c	Gylleforsuring med separation, slagtesvin	Positiv
2.16d	Gylleforsuring med separation, søer og smågrise	Positiv

<b>Indsatsområde 3</b> <b>Kvæg, reduktion af ammoniakemission</b>		
Nr.	Teknologi	Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)
3.1	Fasefodring med fuldfoder baseret på måling af mælke-mængde	Positiv
3.2	Fasefodring baseret på mælkens sammensætning	Positiv
3.3	Fasefodring med kraftfoder	Positiv
3.4a	Drøvtygger- og aktivitets-måler	Positiv
3.4b	Vombolus til måling af aktivitet, temperatur og pH	Positiv
3.5abc	Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder	Positiv
3.6a	Gylleforsuring, malkekøer, kvier	Positiv
3.6b	Gylleforsuring, slagtekalve	Positiv
3.7	Udskiftning af gulve til miljøgulve	Positiv
3.8	Kemisk delluftrensning i kombination med separationstrimler monteret i gulvspalter og gødningsrobot	Positiv

<b>Indsatsområde 4</b> <b>Æg/fjerkræ, reduktion af ammoniakemission</b>		
	Teknologi	Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)
4.1	Gødningsbånd i hønsestalde med etagesystem, æglæg-gende høner	Neutral/positiv
4.2	Gødningsbånd i opdrætsstalde med etagesystem, hønniker	Neutral/positiv
4.3	Gyllebeholder til lagring af gødning fra konsumægshøner opstaldet i stalde med etagesystem og gødningsbånd, æg-læggende høner	Neutral
4.4	Gyllebeholder til lagring af gødning fra opdræt opstaldet i stalde med etagesystem og gødningsbånd, hønniker	Neutral

<b>Indsatsområde 5</b> <b>Æg/Fjerkræ, reduktion af energiforbrug</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
5.1	Lavenergiventilatorer, slagtekyllinger og hønniker	Positiv
5.2	Lavenergiventilatorer, økologiske slagtekyllinger og æglæggende høner	Positiv
5.3	LED-belysning, slagtekyllinger, hønniker og æglæggende høner	Positiv
5.4	LED-belysning, økologiske slagtekyllinger	Positiv
5.5	Varmerør og automatisk regulerbar cirkulationspumpe, slagtekyllinger og hønniker	Positiv
5.6	Varmeveksler, slagtekyllinger og hønniker	Positiv
5.7	Gastæt opbevaring af foderkorn	Positiv

<b>Indsatsområde 6</b> <b>Planteavl, reduktion af pesticidforbrug</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
6.1	Styring af sektions- eller dyse afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) tildeling ud fra kortlægningsservice	Neutral
6.2a, 6.2b	Styring af sektions- eller dyse-afblænding i kombination med pletsprøjtning (on/off) graderet (variabel) tildeling ud fra kortlægningsservice	Neutral
6.3a, 6.3b	Kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på arts-niveau	Neutral
6.4a, 6.4b	Båndsprøjtning i rækkeafgrøder	Neutral
6.5	Båndsprøjtning og mekanisk ukrudtsbekæmpelse i juletræer og anden skovdyrkning	Negativ
6.6	Sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på grøn vegetation	Neutral
6.7	Sensorbaseret ukrudtssprøjtning baseret på artsgenkendelse	Neutral
6.8	Såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker med robotter	Neutral/Negativ
6.9	Traktormonterede lugerobotter for ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker	Negativ

<b>Indsatsområde 6</b>		
<b>Planteavl, reduktion af pesticidforbrug</b>		
6.10	Mikro-pletsprøjte	Neutral
6.11	Kornradensere med rækkestyringssystem	Neutral
6.12	Radensere med rækkestyringssystem i rækkeafgrøder	Neutral
6.13	Optrækning og blotlægning af udløbere fra rodukrudd	Negativ
6.14	Luft- og luftassisterede sprøjter: luft på sprøjter for øget afsætning af sprøjtevæske på planter	Neutral
6.15	Høst eller destruktion af ukrudtsfrø	Neutral

<b>Indsatsområde 7</b>		
<b>Kartofler, vækststandsning og reduktion af pesticidforbrug</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
7.1a	Topknuser/aftopper og toptrækker kombineret med rodunderskæring	Negativ
7.1b	Stængelknusning kombineret med tildækning	Negativ
7.2	Topknusning/aftopning og fladebrænder	Negativ
7.3a	Let kartoffelradensere	Negativ
7.3b	Svær kartoffelradensere	Negativ
7.4	Mekanisk ukrudtsrensning kombineret med vækststandsning	Negativ

<b>Indsatsområde 8</b>		
<b>Gartneri, reduktion af pesticidforbrug</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
8.1	Markise (regntag)	Neutral
8.2	Tunneler eller plasthus til dyrkning af bær	Neutral
8.3a, 8.3b	Tunneler eller plasthus til dyrkning af grønsager	Neutral

<b>Indsatsområde 8</b> <b>Gartneri, reduktion af pesticidforbrug</b>		
8.4	Robotbaseret mekanisk ukrudtsbekæmpelse	Neutral
8.5	Sensorbaseret ukrudtsprøjte	Neutral
8.6	Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter	Neutral
8.7	Tunnelsprøjte med recirkulering af sprøjtevæske	Neutral
8.8	Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	Neutral
8.9	Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	Neutral
8.10	Vandrensning af recirkuleret vand	Neutral
8.11	Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr	Neutral
8.12	Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr	Neutral
8.13	Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr	Neutral
8.14	Kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO)	Neutral
8.15	Kølerum med kontrolleret atmosfære (CA og ULO)	Neutral
8.16	CA-lagringskasser til grønsager	Neutral
8.17	CA-lagringskasser til frugt og bær	Neutral

<b>Indsatsområde 9</b> <b>Gartneri, reduktion af energiforbrug</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>

<b>Indsatsområde 9</b>		
<b>Gartneri, reduktion af energiforbrug</b>		
9.1	Gardinanlæg til isolering af væksthuse - tolags	Positiv
9.2	Højisolerende ikke-transparent dækkemateriale til isolering af væksthuse	Positiv
9.3	Højisolerende transparente dækkematerialer til isolering af ældre væksthuse	Positiv
9.4	Klimacomputer med relevant software og sensorer til dynamisk klimastyring i væksthuse	Positiv
9.5	LED-belysning til væksthuse	Positiv
9.6	Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse	Positiv
9.7	Hybridinstallation med højtryksnatriumlamper og LED-lamper til væksthuse	Positiv

<b>Indsatsområde 10</b>		
<b>Gartneri, reduktion af næringsstofforbrug</b>		
	<b>Teknologi</b>	<b>Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)</b>
10.1	Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af tomat, peber og agurk i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)	Positiv
10.2	Gødningsblander og gødningscomputer til styring af gødning i produktion af grønsager, krydderurter, bær og potteplanter i væksthuse (glashus, plasthus eller tunnel)	Positiv
10.3	Placering af gødning med gødningsudlægger samtidig med såning/plantering	Positiv



## **Om DCA**

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevarerforskningen ved Aarhus Universitet.

Centret omfatter institutter og forskningsmiljøer, der har aktiviteter på jordbrugs- og fødevarerområdet. Det er primært Institut for Agroøkologi, Institut for Husdyrvidenskab, Institut for Fødevarer, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning samt dele af Institut for Ingeniørvidenskab.

Aktiviteterne i DCA understøttes af en centerenhed, der varetager og koordinerer opgaver omkring myndighedsbetjening, erhvervs- og sektorsamarbejde, internationalt samarbejde og kommunikation.

## **Forskningsresultater fra DCA**

Resultater fra forskningen publiceres i internationale, videnskabelige tidsskrifter. Publikationerne kan findes via universitets publikationsdatabase ([pure.au.dk](http://pure.au.dk)).

## **DCA rapporter**

DCA's rapportserie formidler hovedsageligt myndighedsrådgivning fra DCA til Miljø- og Fødevareministeriet. Der kan også udgives rapporter, som formidler viden fra forskningssaktiviteter. Rapporterne kan frit hentes på centrets hjemmeside: [dca.au.dk](http://dca.au.dk).

## **Nyhedsbreve**

DCA udsender et nyhedsbrev, der løbende orienterer om jordbrugs- og fødevarerforskningen og herunder om nye forskningsresultater, rådgivning, uddannelse, arrangementer og andre aktiviteter. Det er gratis at tilmelde sig nyhedsbrevet, og det kan ske på [dca.au.dk](http://dca.au.dk).





## RESUME

På bestilling af Landbrugsstyrelsen (LBST) har AU udarbejdet denne rapport med teknologibeskrivelse af miljø- og klimateknologier indenfor svin, kvæg, æg/fjerkræ, planteavl og gartnerier. Det har resulteret i en liste med 120 miljø- og klimateknologier, hvor der for hver enkelt teknologi er udregnet standardmiljøeffekt (SME), samt beskrevet specifikationer, obligatoriske og valgfrie elementer. Af rapportens bilag fremgår en oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter.

Rapporten med bilag anvendes af LBST til udvælgelse af teknologier i anledning af Miljø- og klimateknologi 2023 ordningen, som omfatter tilskud til investeringer i miljø- og klimateknologier i den primære jordbrugs- og gartneriproduktion. Standardmiljøeffekterne anvendes i forbindelse med LBST's prioritering af ansøgninger.

Miljø- og klimateknologi 2023 ordningen er målrettet tilskud til investeringer i teknologi for reduktion af ammoniakemissioner fra husdyrsektoren, af pesticidforbruget i planteavls- og gartnerisektorerne, samt af energiforbruget og næringsstofforbruget i gartnerisektoren. Klimaindsatsen fremgår indirekte gennem indsatser som f.eks. reduktion af ammoniakemission og energiforbrug.

