

DECEMBER 2017
MILØSTYRELSEN

HÅNDBTERING AF PESTICID- HOLDIGT SPILDEVAND FRA VÆKSTHUSGARTNERIER

EN TEKNISK, MILJØMÆSSIG OG ØKONOMISK VURDERING AF FORSKELLIGE
RENSNINGSMETODER



COWI

DECEMBER 2017
MILØSTYRELSEN

HÅNDBTERING AF PESTICIDHOLDIGT SPILDEVAND FRA VÆKSTHUSGARTNERIER

EN TEKNISK, MILJØMÆSSIG OG ØKONOMISK VURDERING AF FORSKELLIGE
RENSNINGSMETODER

PROJEKTNR.

A102670

DOKUMENTNR.

A102670-01

VERSION

2.2

UDGIVELSESDATO

18. december
2017

BESKRIVELSE

Rapport

UDARBEJDET

FLDX/JEK/CWN/
MMER

KONTROLLERET

LNPG

GODKENDT

MMER

INDHOLD

1	Forord	7
2	Sammenfatning	8
3	Indledning	10
4	Baggrundsviden	13
4.1	Fakta om gartneribranchen i Danmark	13
4.1.1	Arealer, anvendelse og geografisk placering	13
4.1.2	Antal og størrelse	14
4.2	Tidligere danske undersøgelser	15
4.2.1	Håndtering af spildevand	15
4.2.2	Kemiske sammensætning af pesticidholdigt spildevand	18
4.2.3	Pesticiders skæbne i biologiske renseanlæg	20
4.2.4	Planteaffald med pesticider	21
4.2.5	Miljømæssige løsninger på udledninger fra væksthushusholdninger	22
4.3	Væksthushusholdningens drift af returkar	22
4.3.1	Drift af returkar	22
4.3.2	Mængder pesticidholdigt spildevand fra returkar	23
4.3.3	Delkonklusion på praktiserede drift af returkarrene	24
4.4	Erfaringer fra Holland	24
4.4.1	Hollandsk godkendelsesordning	24
4.4.2	Delkonklusion på de hollandske erfaringer	26
4.5	Erfaringer fra Sverige	27
5	Beskrivelse af tekniske løsninger	28
5.1	Muligheden for anvendelse af spildevand på landbrugsjord	28

5.2	Overblik over relevante renseteknologier	29
5.3	Mulige rensemetoder til pesticidholdigt spildevand	31
5.3.1	Avanceret oxidation	32
5.3.2	Filtrering med aktivt kul	34
5.3.3	Membranfiltrering	36
5.3.4	Biologisk rensning – lavteknologiske løsninger	38
5.3.5	Biologisk rensning – traditionelle løsninger	39
5.3.6	Super Critical Water Oxidation (SCWO)	41
5.3.7	Behandlingsløsninger i eksisterende stor-skala anlæg	43
6	Samlet vurdering af egnethed af de tekniske løsninger	45
6.1	Overordnet evaluering	45
6.2	Præsentation af de enkelte vurderingsparametre	48
6.2.1	Miljø	48
6.2.2	Teknik	50
6.2.3	Økonomi	50
6.2.4	Samlet score	52
7	Bilag 1– Beskrivelse af renseteknologier	54
7.1	Brintperoxid (H ₂ O ₂) + UV-lys	54
7.2	Brintperoxid og katalysator	57
7.3	Rensning med ozon	60
7.4	Filtrering med aktiv kul	64
7.5	Nanofiltrering kombineret med aktiv kul	68
8	Bilag 2- Vurdering af mulighed for udbringning af rensset og urensset spildevand fra returkar på landbrugsjord	73
9	Referencer	75

1 Forord

Denne rapport beskriver og sammenligner forskellige renseteknologier for spildevandet fra væksthushusgartnerier baseret på viden om eksisterende anlæg i Danmark, Holland og Sverige.

Indsamlingen af erfaringer med diverse renseteknologier og evaluering af disse er foretaget af COWI i perioden september til november 2017 af en projektgruppe bestående af Marcus Müller (projektleder), Flemming Dahl, Claus Werner Nielsen og Jesper Kjølholt.

Hele projektforløbet er blevet tæt koordineret mellem COWI og Miljøstyrelsen.

Projektets følgegruppe har bestået af følgende personer:

Lene Westergaard (projektleder)	Miljøstyrelsen
Rikke Reumert Scholtz	Miljøstyrelsen
Rikke Joo Vienberg	Miljøstyrelsen
Hans Martin Kühl	Miljøstyrelsen
Steen Marcher	Miljøstyrelsen
Pernille Folker-Hansen	Odense Kommune
Helle Thorsager Kelly	Odense Kommune
Anne Fabricius	Dansk Gartneri
Inge Ulsted Sørensen	GartneriRådgivningen
Gitte Normand Andersen	Aarhus Kommune

2 Sammenfatning

COWI har i efteråret 2017 indsamlet data og erfaringer fra rensning af pesticidholdigt spildevand i renseanlæg baseret på forskellige renseteknologier målrettet industrispildevand. Den indsamlede viden er sammenlignet og evalueret for et udpege de bedste løsninger, der er tilgængelige i dag for rensning af pesticidholdigt spildevand fra danske væksthushusgartnerier.

Erfaringer fra væksthushusbranchen i Danmark og Holland identificerer 5 rensningsteknologier som egner sig til rensning af pesticidholdigt spildevand fra væksthushusgartnerier:

- 1 Avanceret oxidation med brintperoxid og UV-lys
- 2 Avanceret oxidation med brintperoxid og katalysator
- 3 Avanceret oxidation med ozon
- 4 Filtrering med aktivt kul
- 5 Nanofiltrering efterfulgt af filtrering med aktivt kul

Ovenstående renseteknologier vil ikke fjerne næringssalte fra spildevandet, hvilket betyder, at de udlederkrav, der normalt stilles til direkte udledning til recipient, formentlig ikke kunne overholdes. Det rensede spildevand vil derfor skulle afledes til offentlig kloak med henblik på slutbehandling på et almindeligt renseanlæg, medmindre der kan opnås tilladelse fra kommunen til at udbringe det rensede spildevand på landbrugsjord. I enkelte tilfælde vil udbringning af urensset spildevand på landbrugsjord være en mulighed. Dette afhænger dog bl.a. af:

- > Hvilke pesticider, der er indeholdt i spildevandet og evt. samvirkende effekter af flere pesticider i spildevandet
- > Koncentration af pesticidernes og næringssalte i spildevandet
- > Lokale forhold, såsom jordbundsforholdene, drikkevandsinteresser, etc.

> Typer af afgrøder

Biologisk rensning af pesticidholdigt spildevand er vurderet som mindre egnet, da der er større risiko for ingen eller kun delvis nedbrydning af pesticider med risiko for dannelse af toksiske nedbrydningsprodukter.

COWI har vurderet to tekniske løsninger til at være uegnede:

- > Supercritical Water Oxidation (SCWO) er teknologisk meget avanceret, og har høje anlægsomkostninger, og
- > Avanceret oxidation med Fenton-metoden producerer et affaldsprodukt i form af kemisk slam.

Den bedst egnede løsning vil skulle identificeres for hvert væksthushusgartneri baseret på de individuelle rammebetingelser som for eksempel beliggenhed, spildevandsmængder, antal returkar, recirkulationsgrad af spildevandet i produktionen, indhold af organisk stof i spildevandet, osv., som kan være forskellige fra væksthushusgartneri til væksthushusgartneri.

En økonomisk vurdering af de fem bedst egnede renseteknologier tyder dog på, at filtrering med aktivt kul er den økonomisk mest fordelagtige løsning for årlige spildevandsmængder under 3.000 m³, idet anlægsomkostningerne til et aktivt kulfilter er forholdsvis lille.

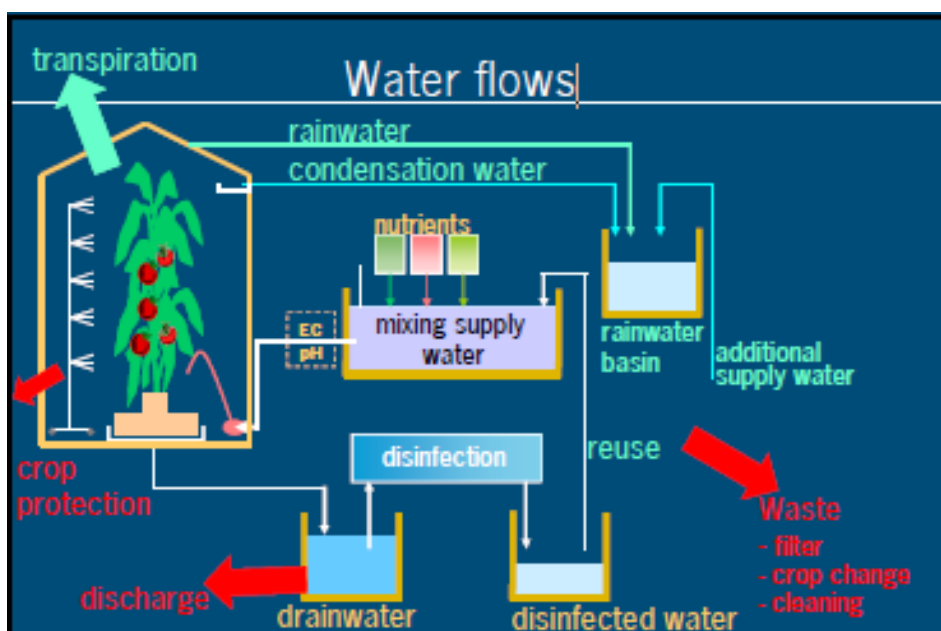
I enkelte tilfælde, hvor spildevandsmængden når over 3.000 m³/år, vil ozonbehandling være den mest økonomiske løsning pga. de lave driftsudgifter pr. m³ behandlet spildevand, selvom anlægsinvesteringen vil være højere end ved et aktivt kul anlæg.

Som alternativ til rensning på selve væksthushusgartnerierne har COWI identificeret en central løsning, hvor det pesticidholdige spildevand bortskaffes og renses på et renseanlæg specialiseret til at rense industrispildevand. For eksempel findes der på Stigsnæs et biologisk-fysisk-kemisk renseanlæg, der sandsynligvis vil kunne rense pesticidholdigt spildevand på økonomiske vilkår, der gør denne form for behandlingsløsning relevant, især for væksthushusgartnerier med små årlige spildevandsmængder og/eller med en beliggenhed udenfor kloakområdet.

3 Indledning

Undersøgelser indenfor de sidste år i både Danmark, Norge og Sverige har vist, at der kan forekomme rester af pesticider i forskellige fraktioner af spildevand fra planteproduktion i væksthushusgartnerier såvel som i planteaffald, der skal bortskaffes, og at disse rester kan genfindes i miljøet, særligt vandmiljøet. Dette tyder på, at væksthushusgartnerier ikke er helt så lukkede systemer som antaget.

Miljøstyrelsen ønsker med denne rapport at kvalificere grundlaget for at vurdere, hvordan pesticidholdigt spildevand fra væksthushusgartnerier kan håndteres miljømæssigt forsvarligt og omkostningseffektivt. Projektet ligger i forlængelse af en litteraturundersøgelse om pesticiders skæbne i biologiske renseanlæg, hvilket har indikeret generelt en dårlig fjernelse af pesticider i kommunale renseanlæg, hvorfor der skal findes andre løsninger end blot at bortlede urensset spildevand fra væksthushusgartnerier til offentlig kloak.



Figur 1: Princip for vandingssystem i et idealiseret væksthushus. Returvand opsamles i returkar (drainwater). Returvandet filtreres/desinficeres og opsamles i en ny tank, hvorfra det genbruges. Der tilsættes regnvand /råvand samt næringssalte (nutrients) efter behov.

Rensning af det pesticidholdige spildevand fra returkarret (discharge) undersøges i dette rapport.

Myndighedernes øgede fokus på pesticider har også medført, at gartneribranchen i de sidste år har arbejdet målrettet med at reducere emissionerne fra væksthushavenerier. COWI har således fået oplyst af flere gartnerier, at der har været øget fokus på at:

- > Sikre af gødningsblandere, gulvafløb, rørsystemer, m.m., således at overløb til omgivelserne forhindres.
- > Øge recirkulering af spildevandet, hvilket reducerer mængden af spildevand betydeligt og samtidig nedbringe gartneriernes omkostninger til gødning og pesticider.
- > Optimere vandingssproceduren, så man bedre kan kontrollere returvandsmængden og derigennem undgår overløb fra returkarrene.

Det skal påpeges, at denne rapport kun beskæftiger sig med rensning af vand fra returkarrene, dvs. vand, der har været brugt til vanding af afgrøderne og derfor indeholder pesticider og næringsstoffer. Evt. bortledt rengøringsvand, kondensvand, bordvaskevand eller spild fra opberedning af gødningsopløsning er således ikke vurderet som en del af redegørelsen. Spildevand indeholdende skyggemidler fra væksthuse er ligeledes ikke omfattet af rapporten.

Denne redegørelse er udarbejdet på baggrund af eksisterende undersøgelser og litteratur på området. Dette har medført, at vurderingen af den tekniske formåen af forskellige rensemetoder til tider har været udfordret af manglende viden om væksthusspildevandets sammensætning, herunder f.eks. indholdet af organisk stof, som er afgørende for vurdering af div. filtreringsløsninger eller biologiske løsninger. For at få en indikation af spildevandets organiske indhold er der i forbindelse med denne redegørelse derfor blevet udført enkelte analyser på tre spildevandsprøver. Derudover er der inddraget en del viden om hollandske gartneriers spildevand og erfaringer med enkelte teknologier, vel vidende, at spildevandssammensætningen har indflydelse på løsningernes egnethed og at spildevandet fra hollandske gartnerier ikke nødvendigvis kan sammenlignes med spildevandet fra danske væksthushgartnerier.

De kemiske og miljøkemiske egenskaber af de fleste pesticider af relevans for denne redegørelse er velkendte og dokumenterede. Ved behandling af spildevandet med kemiske oxidationsprocesser vil disse pesticider blive nedbrudt, men da ikke alle pesticider vil blive nedbrudt fuldstændigt, vil der kunne fremkomme nedbrydningsprodukter i varierende omfang. Det kan ikke helt afvises, at disse nedbrydningsprodukter kan have miljøeffekter, men det har ikke været muligt at finde litteratur, hvor nedbrydningsprodukter dannet ved kemisk oxidation er blevet identificeret. I litteraturen er der i sådanne tilfælde typisk kun konstateret, at en eller anden procentdel ikke er blevet nedbrudt fuldstændigt. Det har heller ikke været muligt at få oplysninger herom fra det hollandske institut, som udfører godkendelsestest for renseudstyr.

Idet vandmængderne fra de enkelte væksthushusgartnerier har vist sig at være begrænsede, og branchen arbejder hen imod recirkuleringssystemer, der vil reducere de udledte vandmængder yderligere, har denne redegørelse derfor sat hovedfokus på lokale løsninger i tilknytning til de enkelte gartnerier. Centrale løsninger forefindes i form af allerede eksisterende anlæg i privat regi, der er specialiserede i behandling af farligt affald eller industrispildevand fra kemiske industrier.

4 Baggrundsviden

Med udgangspunkt i danske publikationer er der blevet foretaget en gennemgang af eksisterende viden på området. Relevant baggrundsviden er blevet fundet i bl.a. følgende publikationer:

- > "Afrapportering af projekt om væksthushusholders miljøforhold", Odense kommune, august 2017
- > "Miljømæssige løsninger på udledning af pesticider og næringsstoffer fra væksthushusholdere", Odense kommune, juli 2017
- > "Pesticiders skæbne i biologiske rensningsanlæg – Litteraturundersøgelse", Miljøprojekt nr. 1929, april 2017 (udført af Rambøll AS)
- > "Planteaffald med pesticider", Miljøprojekt nr. 1925, marts 2017
- > "Tal om gartneriet 2016", Dansk Gartneri, juni 2016

Derudover er der sammenfattet relevant viden på området fra Sverige og Holland.

4.1 Fakta om gartneribranchen i Danmark

Vigtige fakta om branchen, der har betydning for valg af egnede renseanlægsteknologier, er størrelsen af de enkelte væksthushusholdere og deres placeringer i landet. Større renseanlæg vil sandsynligvis kun være oplagte muligheder ved større væksthushusholdere eller i geografiske områder med et højt antal af væksthushusholdere, hvor fælles udnyttelse af anlæggets kapacitet kan finde sted.

4.1.1 Arealer, anvendelse og geografisk placering

Generelt har branchen været udsat for en tilbagegang i væksthushusholdets størrelse over de sidste år. Således er det samlede glasdækkede areal faldet med over 10 % siden 2002.

Tabel 1: Væksthusareal i 1.000 m² opdelt efter produktion i 2014 (ekskl. gartnerier med arealer mindre end 1.000 m²) og deres geografiske placering.

Areal i 1.000 m ²	Østlige øer	Fyn	Jylland	Hele landet
Væksthusareal (total)	914	2.635	835	4.385
Grøntsager	470	552	70	1.092
Snitblomster	9	41	8	58
Potteplanter	151	1.724	400	2.275
Udplantningsplanter	109	213	154	476
Andet	174	139	170	484

En ikke ubetydende del af væksthushusholderierne i Danmark ligger i ukloakerede områder, hvilket nødvendiggør løsninger, der ikke omfatter bortledning til offentlige spildevandsanlæg.

4.1.2 Antal og størrelse

Over de sidste mange år har antallet af væksthushusholderier med et overdækket areal på over 20.000 m² været stigende, mens antal af mindre væksthushusholderier har været faldende.

Tabel 2: Fordeling af væksthushusholderier efter antal og størrelse, "Tal fra gartneriet 2016"

Størrelse	Antal ejendomme
1.000 – 1.999 m ²	66
2.000 – 4.999 m ²	126
5.000 – 9.999 m ²	68
10.000 – 14.999 m ²	32
15.000 – 19.999 m ²	17
20.000 m ² og større	58
Total	367

Det skal bemærkes, at den gennemsnitlige størrelse af de 58 største væksthushusholderier ligger i størrelsesordenen 47.000 m².

Knap 40 % af alle danske væksthushusholderier ligger i Odense kommune.

4.2 Tidligere danske undersøgelser

Der findes et begrænset antal danske undersøgelser med fokus på væksthushusgartnerier og deres pesticidanvendelse i relation til spildevand og affald. Da disse undersøgelser også bidrager til en rammesætning for nærværende projekt resumeres de kort i det følgende.

4.2.1 Håndtering af spildevand

GartneriRådgivningen har i 2015 på opdrag af Dansk Gartneri udført et projekt om håndtering af spildevand i dansk væksthushusgartneri /1/). Projektets hovedkomponent var en undersøgelse af pesticidindholdet i forskellige vandfraktioner. Undersøgelsen omfattede i alt ca. 60 gartnerier, hvoraf der på omkring halvdelen blev udtaget en eller flere prøver til kemisk analyse for indhold af pesticidrester.

I alt blev der foretaget pesticidanalyser på 58 forskellige prøver, hvoraf de 26 prøver var vand fra returkar, mens 15 repræsenterede dræn/afløb. Derudover blev der analyseret 12 prøver fra vandløb og søer samt 5 af "andet". Der blev påvist i alt 39 forskellige pesticidaktivstoffer i de 26 undersøgte returkar, hvoraf flonicamid var det hyppigst forekommende (21/26) efterfulgt af boscalid (20/26) og dimethomorph (17/26). Yderligere seks stoffer blev påvist i over halvdelen af prøverne (imidacloprid, azoxystrobin, paclobutrazol, thiacloprid, propamocarb og carbendazim/benomyl /2/), mens 24 ud af de 39 påviste stoffer kun forekom i 1-3 prøver.

Rapporten angiver gennemsnitskoncentrationer af de påviste stoffer for de prøver, hvor stofferne forekom over detektionsgrænsen. 7 af de 39 stoffer havde gennemsnitskoncentrationer $>10 \mu\text{g/l}$ (fra $17,7 \mu\text{g/l}$ op til $74,5 \mu\text{g/l}^1$), mens 8 havde gennemsnitskoncentrationer i intervallet $1-10 \mu\text{g/l}$ og de resterende 24 kun blev påvist i koncentrationer $< 1 \mu\text{g/l}$ ($0,01 \mu\text{g/l}$ til $0,88 \mu\text{g/l}$).

11 af de 18 pesticidaktivstoffer, som Miljøstyrelsen i 2016 vurderede som de vigtigste i væksthushusgartneri i Danmark (se Tabel 3; taget fra Kjølholt og Warming, 2017 /3/), blev påvist i prøverne, og langt størstedelen var blandt de hyppigst påviste. Blandt de resterende syv stoffer var der tre, der ikke blev påvist over detektionsgrænsen, mens de fire sidste slet ikke indgik i analyseprogrammet.

Tabel 3: Oversigt over de i 2016 godkendte pesticider til væksthushusgartneri i DK. De skønnede vigtigste stoffer er markeret med **fed** (Kilde: Miljøstyrelsen /4/).

Kategori	Aktivstof	Kun væksthushus	Væksthushus og friland
----------	-----------	-----------------	------------------------

¹ Det drejede sig om stofferne thiophanat ($74,5 \mu\text{g/l}$), imidacloprid ($60,2 \mu\text{g/l}$), flonicamid ($47,9 \mu\text{g/l}$), acetamiprid ($32,6 \mu\text{g/l}$), fenhexamid ($27,7 \mu\text{g/l}$), boscalid ($18,9 \mu\text{g/l}$) og azoxystrobin ($17,7 \mu\text{g/l}$).

Kategori	Aktivstof	Kun væksthus	Væksthushus og friland
Insekticider	Abamectin	X	
	Acetamiprid		X
	Alpha-cypermethrin		X
	Azadirachtin		X
	Bifenazate		X
	Cypermethrin		X
	Fenpyroximat		X
	Flonicamid		X
	Hexythiazox		X
	Imidacloprid		X
	Indoxacarb		X
	Kaliumoleat		X
	Lambda-cyhalothrin		X
	Milbemectin		X
	Pirimicarb		X
	Pymetrozin		X
	Pyrethrin I + II		X
	Pyriproxyfen	X	
	Spinosad	X	
	Spirotetramat		X
	Thiacloprid		X
Fungicider	Azoxystrobin		X
	Boscalid		X
	Cyprodinil		X
	Difenoconazol		X
	Dimetomorph		X

Kategori	Aktivstof	Kun væksthus	Væksthus og friland
	Fenhexamid		X
	Fenpyrazamin	X	
	Fludioxonil		X
	Fosetyl-AI		X
	Imazalil		X
	Kresoxim-methyl		X
	Laminarin		X
	Mancozeb		X
	Mandipropamid		X
	Metrafenon		X
	Propamocarb		X
	Prothioconazol		X
	Pyraclostrobin		X
	Pyrimethanil		X
	Svovl		X
	Tolclofos-methyl		X
Vækstregulatorer	1-naphtyleddikesyre	X	
	6-benzyladenin	X	
	Chlormequat-chlorid		X
	Daminozid	X	
	Ethephon		X
	Mepiquat-chlorid		X
	Metconazol		X
	Natriumsølvthiosulfat	X	
	Paclobutrazol	X	
	Prohexadion-calcium		X

Kategori	Aktivstof	Kun væksthuss	Væksthuss og friland
Mos-/algemidler	Quinoclamín		X
Sneglemidler	Ferrifosfat		X

Rapporten omhandler ikke andre stoffer end pesticider, dvs. den omtaler heller ikke den generelle kemiske sammensætning af spildevandet fra returkarrene (inkl. NPK) eller angiver mængder. Det er dog ved forespørgsler til en række gartnerier søgt at belyse, hvor returkarrene tømtes og om vandet recirkuleres. Af 48 besvarelser angav de 16, at vandet blev tømt ud på mark, 8 tømte næsten aldrig, mens 7 sendte spildevandet enten til deponi eller til renseanlæg, 3 gjorde noget andet, og 14 angav ikke noget. 82 % havde recirkulation på deres anlæg. Det skal bemærkes, at grøntsagsgartnerier ikke recirkulerer i samme omfang som blomstergartnerier, men typisk bruger restriktiv vanding i stedet.

4.2.2 Kemiske sammensætning af pesticidholdigt spildevand

Der har på det seneste været meget fokus på pesticidindholdet i spildevandet, som udledes fra gartnerierne enten ved overløb fra returkarrene eller ved tømning af returkarrene. Det pesticidholdige spildevand indeholder imidlertid også en række andre stoffer, der kan give problemer ved udledning til recipient eller ved nedsivning. Det er først og fremmest næringssalte (nitrat, kalium og phosphor), men også mikronæringsstoffer (jern, mangan, zink, kobber, molybdæn og bor) findes i koncentrationer, der kan være miljømæssigt problematiske.

I Tabel 4 er der samlet nogle data for den kemiske sammensætning af det pesticidholdige spildevand, og et niveau for det pesticidholdige spildevand på danske væksthussgartnerier er anført. Sammensætningen kan selvfølgelig variere en del afhængig af hvilke kulturer, der dyrkes og hvordan væksthussgartneriet drives i øvrigt. Niveauet er estimeret ud fra oplysninger fra Gartnerirådgivningen samt enkelte analyser fra udvalgte gartnerier udført af COWI.

De danske tal stemmer nogenlunde med et hollandske testvand, som de hollandske myndigheder har defineret som værende det spildevand, der anvendes til at vurdere renseeffektiviteten af forskellige renseteknologier i en godkendelsesprocedure. Det kan forudsættes, at dette testvand indeholder de mest relevante pesticider og at indholdet af de øvrige næringssalte, metaller og organisk stof er repræsentativt for det spildevand, der opstår i hollandske væksthussgartnerier.

Tabel 4: Estimeret kemisk sammensætning af pesticidholdigt spildevand fra danske gartnerier samt udledningskrav til recipient og kloaknet.

Parameter	Hollandsk testvand	Estimeret	Standard udledningskrav til		Fersk recipient Kvalitetskrav
		Dansk niveau	Recipient	Offentligt renseanlæg	
Ledningsevne,	3,0	1,5 - 5,5			
pH	5,5	3,0 - 7,0	6,5 - 8,0	6,5 - 9,0	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ammonium, NH ₄ -N	7	0 - 10	1,0		
Kalium, K	273	100 - 300			
Natrium, Na	138	30 - 150			
Calcium, Ca	320	50 - 400			
Magnesium, Mg	85	50 - 150			
Nitrat, NO ₃	1054	400 -	35 *		
Total-N			8		
Chlorid, Cl	213	50 - 250		1000	
Sulfat, SO ₄	576	200 - 700		500	
Phosphor, P	22	15 - 30	1,5		
Bicarbonat, HCO ₃		0 - 200			
TOC, max.	15				
COD		15 - 100	75		
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Jern, Fe	2120	2000 -			
Mangan, Mn	1098	300 - 600			150
Zink, Zn	327	200 -		3000	7,8
Bor, B	540	350 - 800			94
Kobber, Cu	127	100 - 200		100	1,0
Molybdæn, Mo	96	50 - 100		30	67

* Beregnet ud fra total-N

Natrium, chlorid og bicarbonat bliver tilført med det råvand, som returvandet spædes op med. En lille del af natrium stammer fra natriumsalte, der tilsættes på gartneriet. Organisk stof (TOC, COD) tilføres fra dyrkningsmediet eller jorden.

Det bemærkes, at der kun er udført få COD-analyser på spildevandet fra et par udvalgte danske væksthushusholdninger, men at disse analyser stemmer fint overens med TOC-koncentrationen i det hollandske testvand.

De øvrige stoffer i returvandet tilsættes på kontrolleret vis af væksthushusholdningen, hvor der styres dosering af næringssalte efter ledningsevnen og regulerer pH med salpetersyre. Art og koncentration af pesticider i returvandet og i det pesticidholdige spildevand vil variere fra væksthushusholdning til væksthushusholdning.

Det er som nævnt ikke nok at rense spildevandet for pesticider, men at det rensede pesticidholdige spildevand skal også bortledes. Det fremgår af udledningskravene til recipient, at vandet ikke kan udledes direkte, da det vil overskride grænseværdierne for kvælstof og phosphor samt formentlig også kobber og zink.

I tabel 4 er der opstillet recipientkvalitetskrav for metaller og bor, men disse kvalitetskrav svarer ikke altid til udledningskravene, fordi udledningskravene nogle gange skærpes, idet der tages hensyn til den fortynding, der kan opnås i recipienten. Det må afgøres af de kommunale myndigheder i hvert enkelt konkrete tilfælde.

Umiddelbart vurderes den mest realistiske mulighed at være afledning af det rensede vand til offentlig kloak med efterfølgende slutbehandling på et almindeligt renseanlæg. Her vil vandet kunne overholde næste alle vejledende kravværdier, men der kan måske være tale om mindre overskridelser for kobber og molybdæn. Det kan måske accepteres af myndighederne, fordi den udledte totale mængde af disse metaller er små, når der kun udledes ganske lidt pesticidholdigt spildevand. Muligvis vil der i enkelte tilfælde kunne opnås tilladelse fra kommunen om udbringning af det rensede pesticidholdige spildevand på landbrugsjord.

4.2.3 Pesticiders skæbne i biologiske renseanlæg

Miljøstyrelsen fik i 2016-17 udført en litteraturbaseret undersøgelse af den eksisterende viden om pesticiders skæbne i konventionelle biologiske rensningsanlæg med tertiær rensning (MBND(K)/MBND(K)F), (Ottosen og Furgal, 2017 /5/). Formålet med undersøgelsen har udelukkende været at belyse, hvilken grad af fjernelse og hvilke restkoncentrationer af pesticider der kan forventes ved rensning i biologiske rensningsanlæg, ikke hvorvidt disse koncentrationer er miljømæssigt acceptable eller ej.

Undersøgelsen har taget udgangspunkt i de 54 pesticidaktivstoffer, der i 2016 var godkendt til anvendelse i væksthushushold i Danmark (jf. ovenstående Tabel 3). Det konstateres dog for det første i rapporten, at der generelt kun foreligger begrænset, specifik viden om pesticiders skæbne i biologiske rensningsanlæg og for det andet, og at tilsvarende viden om de konkrete, godkendte aktivstoffer endnu er ret begrænset. Langt de fleste identificerede undersøgelser var i øvrigt foretaget i laboratoriet, mens kun ganske få var fuldskalaforsøg.

Fælles for undersøgelsesernes resultater var, at fjernelseseffektiviteten gennem rensningsanlæggene var meget varieret, men at der ved rensningen gennemsnitligt blev fjernet mindre end 50 % af pesticidindholdet fra vandfasen. Ofte blev det konstateret, at indløbs- og udløbskoncentrationerne stort set var de samme og dermed, at mange pesticider passerer gennem sådanne anlæg uden nævneværdig nedbrydning eller anden tilbageholdelse.

Rapporten opsummerer i en tabel, der gengives herunder som Tabel 5, konklusionerne for de få af de i Danmark godkendte eller i returkar påviste aktivstoffer, som der er fundet brugbare data på (kun 9 ud af 54). Det ses, at der kun kan forventes begrænset fjernelse eller anden tilbageholdelse af de 9 stoffer gennem traditionelle biologiske rensningsanlæg.

Tabel 5:

Type	Pesticid	Praktisk skæbne
Insekticider	Acetamiprid	Stoffet og dets nedbrydningsprodukt, acetamiprid-N-desmethyl, er svært nedbrydelige og fjernes kun begrænset igennem rensningsanlæg (ca. 18 % til sammen). Ikke nedbrudt stof og nedbrydningsproduktet ender i udløbet.
	Imidacloprid	Stoffet er svært nedbrydeligt og nedbrydes kun begrænset igennem rensningsanlægget. Ikke nedbrudt stof ender i udløbet.
	Pyriproxyfen	<25 % fjernes. Ikke fjernet stof ender i udløbet.
	Fipronil	Fipronil fjernes med <25 %, hvoraf 1 % ender i spildevandsslammet, nedbrydningen sker primært til andre nedbrydningsprodukter (primært fipronilsulfon). Ikke nedbrudt fipronil og dets nedbrydningsprodukter ender i udløbet.
Fungicider	Imazalil	Der ses op til 60 % fjernelse af imazalil, det vides ikke om det nedbrydes eller bindes til spildevandsslammet.
	Pyrimethanil	Der er målt en fjernelsesgrad for pyrimethanil igennem biologiske rensningsanlæg på 31 %. Fjernelsen skyldes primært adsorption til slammet.
	Propiconazol	Propiconazol fjernes ikke i biologiske rensningsanlæg, og udledes med udløbsspildevandet.
	Carbendazim	Der er målt 37 % fjernelsesgrad af carbendazim igennem et biologisk rensningsanlæg. Fjernelsen er primært sket ved sorption til slammet.
Vækstregulatorer	Daminozid	Der er målt fjernelsesgrad på omkring 17 %.

4.2.4 Planteaffald med pesticider

En tilgrænsende problemstilling om håndtering af pesticidholdigt planteaffald fra væksthushagter er for nylig belyst i en litteraturbaseret undersøgelse foretaget af COWI A/S for Miljøstyrelsen (Kjølholt og Warming, 2017) /3/. Selv om rapportens fokus er på pesticider i fast planteaffald og ikke på indholdet i spildevand og afløbsvand fra væksthushagter, giver resultaterne dog også en indikation af, hvad der kan forventes at forekomme i spildevandet fra returkar mv. Desuden omfatter rapporten en gennemgang af den eksisterende viden om omsætning af pesticider ved biologisk behandling i komposterings- og biogasanlæg.

Det er primært i Norge, at der er lavet undersøgelser af indholdet af pesticidres-ter i planteprodukter, planteaffald, udtjent dyrkningsjord (pottemuld) og lignen-de fra væksthushavterier (kun dyrkning af blomster og potteplanter, ikke grøntsager). I de foretagne undersøgelser er identificeret i alt 59 forskellige ak-tivstoffer i de 23 plante/blomsterprøver og 4 planteaffaldsprøver, som er analy-seret. De hyppigst forekommende stoffer var insekticiderne imidacloprid, thiac-loprid og spinosad samt fungiciderne azoxystrobin, boscalid og propiconazol. Disse stoffer benyttes også i dansk væksthushavteri.

Generelt var niveauerne af de enkelte stoffer i planteprodukterne lavere end 1 mg/kg vådvægt, men med et maksimalt påvist indhold af et enkelt stof på 5,1 mg/kg. I affalds-/kompostprøverne var niveauerne i alle tilfælde lavere end 1 mg/kg vådvægt.

Med hensyn til pesticiders omsætning i komposterings- og bioforgasningsanlæg viser litteraturen, at der er stor variation i omsætningsgrad og -rate, men at der generelt forekommer indledende omsætning (forsvinding af moderstoffet) i betydeligt omfang i løbet af opholdstiden i reaktoren eller kompostmilen. Fuld nedbrydning forventes især at kunne ske under aerobe forhold, dvs. ved kompostering, hvor forholdsvis høje temperaturer og opholdstider på flere måneder favoriserer biologiske processerne. Det skal også understreges, at de fleste af de undersøgte stoffer er ikke de samme, som benyttes i væksthushushold i Danmark.

4.2.5 Miljømæssige løsninger på udledninger fra væksthushushold

Odense Kommune har (2017) /6/ udarbejdet en rapport, der gennemgår de forskellige problematikker, der er knyttet til udledning af pesticider fra væksthushushold og til bortskaffelse af pesticidholdigt planteaffald o.lign. fra samme. Der er tale om en kvalitativ rapport, der gennemgår de forskellige udlednings- og affaldstyper og anviser mulige løsninger for hver enkelt af dem. Rapporten går nærmere ind i en dokumentation eller vurdering af mængder, volumener eller koncentrationer af pesticider og næringsstoffer mv.

Rapporten giver først en overordnet gennemgang af de enkelte spildstrømme med tilhørende anbefalinger til regulering, teknisk håndtering eller andre forureningsbegrænsende tiltag. Derefter følger fire tekniske hovedafsnit om hhv. (1) Gartneriets indretning og produktionsformer, (2) Spildevand/processpildevand, (3) Tagvand og (4) Planteaffald, der giver baggrunden for de opstillede forslag og anbefalinger.

Rapporten omfatter derudover et bilag med resultater af en række pesticidmålinger, som Odense Kommune har fået foretaget i vandløb nedstrøms områder med væksthushushold.

4.3 Væksthushusholders drift af returkar

Både i Gartnerirådgivningens kortlægningsrapport fra 2016 (Larsen og Sørensen, 2016) /7/ og i Rambølls rapport fra 2017 har der været fokus på udtømning af returvand fra returkarrene.

4.3.1 Drift af returkar

Returvandet er overskudsvand af det vand, som anvendes til vanding af blomster og grøntsager i væksthushuse. En del vand optages af planterne og resten løber retur til en returkar, hvorfra det kan genbruges, idet genbrugsvandet skal desinficeres, og der skal tilsættes mere råvand. Der tilsættes endvidere næringssalte og mikronæringsstoffer. Vandets sammensætning overvåges og styres ved måling af pH og ledningsevnen. Ved for høj pH doseres salpetersyre til den ønskede pH-værdi, og ved for lav ledningsevne doseres flere næringssalte, idet koncentrationen og sammensætningen af næringssalte tilpasses afgrøderne.

Vanding af grøntsager foregår normalt ved drypvanding. Størstedelen af vandet optages af planterne, mens overskydende vand (15-50 %) løber retur til returkarret, hvorfra det genbruges.

Vanding af blomster foregår oftest på vandingsborde, hvorfra vandet aftappes og løber til returkarret efter endt vanding. En mindre del af vandet optages af planterne, mens 75-95 % af vandet løber til returkarret, hvorfra det desinficeres og genbruges.

Hvis returkarrene er for små, eller hvis der vandes for meget på én gang, kan det risikeres, at der ikke er plads til returvand i returkarret, og den løber over og i afløb/kloak. Overløb kan forhindres eller minimeres ved at have store returkar samt ved at styre og fordele mere jævnt. Mange danske væksthusegartnerier er siden kortlægningsrapporten blevet bedre til at styre vandingen og minimere overløbet fra returkarret. Det giver også en økonomisk gevinst, idet spild af næringssalte minimeres.

Bevidst tømning af returkarret kan forekomme af forskellige grunde, som:

- > Ubalance i sammensætning af næringssalte
- > Uønsket høj koncentration af natrium i returvand (dette problem er særlig udtalt, når råvandet indeholder meget natriumchlorid)
- > Rengøring af returkar
- > Uønsket højt indhold af væksthæmmere og pesticider
- > Indhold af uønskede mikroorganismer, svampe, etc.

Før tømningen sørges for, at mængden af returvand i returkarret er mindst mulig, så der kun skal tømmes en meget begrænset vandmængde af systemet.

4.3.2 Mængder pesticidholdigt spildevand fra returkar

I Rambølls rapport har man estimeret den udtømte vandmængde fra returkarrene til 8-22 m³ pr. 1000 m² væksthuse, hvilket på landsplan vil give en årlig spildevandsmængde fra samtlige gartnerier på mellem 35.000 m³ og 96.000 m³ (baseret på en væksthuseareal på 4.385.000 m² jf. Tabel 1).

COWI har i forbindelse med opstart af projektet talt med ca. 10 større gartnerier, og det tyder på, at de udtømte returvandsmængder er meget mindre. Det skyldes blandt andet, at gartnerierne på det seneste har meget mere fokus på denne problematik og er blevet meget dygtigere til at styre vandingen, så overløb undgås. Desuden minimeres den kontrollerede tømning af returkarret. Flere gartnerier tømmer højst returvandtanken 1 gang årligt eller mindre og har slet ikke noget overløb. Det betyder, at flere gartnerier udleder mindre end 1 m³ pesticidholdigt spildevand pr. år pr. 1000 m² vækstareal, hvilket kunne antyde, at den totale årlige spildevandsmængde på landsplan måske ligger så lavt som 4.500 m³ eller mindre.

Det skal dog understreges, at der er usikkerhed omkring den samlede spildevandsproduktion i væksthushgartnerier, og at det udfordrende at opstille en egentlig massebalance for vandet pga. manglende data for delstrømmene.

4.3.3 Delkonklusion på praktiserede drift af returkarrene

Da mængderne af pesticidholdigt spildevand i dag kan være markant mindre end i kortlægningsundersøgelsen i 2015, vurderer COWI umiddelbart, at der ikke er grundlag for at etablere et fælles centralt renseanlæg for gartneriernes pesticidholdige spildevand. Gartnerierne er blevet meget bedre til at reducere mængden af kasseret returvand. Der er samtidig store fordele ved, at gartnerierne selv behandler returvandet, så det kan genbruges i længere tid, uden at det går ud over kvaliteten af det vand, som bruges til vanding. Herved kan et stort tab af næringssalte undgås, som i givet fald ikke ville kunne udnyttes uden videre på et centralt renseanlæg.

4.4 Erfaringer fra Holland

Den 1. januar 2018 træder nye regler i kraft i Holland vedrørende udledning af pesticidholdige spildevand med næringsstoffer og pesticider fra væksthushgartnerier. I den anledning har de hollandske myndigheder udarbejdet en godkendelsesordning for renseteknologier, der kan fjerne pesticider fra vandet, før det udledes.

4.4.1 Hollandsk godkendelsesordning

For at opnå en godkendelse skal det dokumenteres ved en veldefineret afprøvning, at renseudstyret effektivt kan fjerne/reducere 10 udvalgte pesticider (abamectin, boscalid, esfenvalerat, iprodion, kresoxim-methyl, methoxyfenozid, pirimicarb, pymetrozin, spinosad, tolclofos-methyl) med mindst 95 %. Endvidere skal det for at opnå godkendelse til imidacloprid kunne fjerne dette stof med mindst 99,5 %.

Pesticiderne er udvalgt, fordi de dækker et bredt spektrum af de pesticider, der anvendes i hollandske gartnerier, og fordi de dækker stort set alle relevante kemiske typer af pesticider. Testen given således en sikkerhed for, at det pågældende renseanlæg kan fjerne alle sædvanligt forekommende pesticider i pesticidholdige spildevand fra gartnerierne.

Ud over de 11 pesticider indeholder testvandet også en række gødningssalte og mikronæringsstoffer samt lidt organisk materiale, så det minder mest muligt om pesticidholdige spildevand fra et gartneri. Også pH og ledningsevnen justeres til en bestemt værdi (interval). Sammensætningen af testvandet fremgår af Tabel 6 og Tabel 7.

Tabel 6: Basissammensætning af det hollandske testvand

Parameter	Tilstræbt værdi	
Ledningsevne, mS/cm	3,0	3,0
pH	5,5	5,5
	mmol/l	mg/l
NH ₄	0,5	9
K	7	273
Na	6	138
Ca	8	320
Mg	3,5	85
NO ₃	17	1054
Cl	6	213
SO ₄	6	576
P (H ₂ PO ₄)	0,7	22
TOC, max.		15
Mikronæringsstoffer:	μmol/l	μg/l
Fe (DTPA)	38	2120
Mn	20	1098
Zn	5	327
B	50	540
Cu	2	127
Mo	1	96

Tabel 7: Pesticider i det hollandske testvand

Pesticider	μg/l
Abamectin	50
Boscalid	10
Esfenvalerat	10
Imidacloprid	4,0
Iprodion	50
Kresoxim-methyl	5,0
Methoxyfenozid	10
Pirimicarb	2,0
Pymetrozin	50
Spinosad	10
Tolclofos-methyl	3,0

Testvandet indeholder traditionelle næringssalte som kaliumnitrat, calciumnitrat kaliumdihydrogenphosphat samt en række vigtige mikronæringsstoffer, som gartnerierne sætter til vandet. Her ud over findes der også natriumchlorid, som stammer fra råvandet og eventuelt andre kilder. Pesticidholdige spildevand indeholder også organiske stoffer, som stammer fra den jord eller det organiske vækstmedie, der benyttes til produktionen. I testvandet tilsættes det organiske stof som humussyre og fulvussyre, hvilket giver vandet en svag brunlig farve. Der kan groft gås ud fra, at en TOC-koncentration på 15 mg/l svarer til en koncentration af organisk stof på ca. 30 mg/l. Omregning fra TOC til organisk stof afhænger dog af den kemiske sammensætning af det organiske stof. Alle de nævnte 11 pesticider, som findes i testvandet, kendes og anvendes i Danmark i varierende mængde.

Der findes i øjeblikket 8 godkendte anlæg i Holland, som kan ses på følgende link til godkendelseslisten:

https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/37188/bzg-lijst_20170728.pdf

De 8 anlæg anvender følgende rensemetoder:

- > Brintperoxid + UV-lys: Anvendes i 4 anlæg
- > Brintperoxid + faststof katalysator: Anvendes i 2 anlæg, hvoraf det ene er et mobilt anlæg
- > Ozon: Anvendes i 1 anlæg
- > Nanofiltrering og aktiv kul: Anvendes i 1 anlæg (i øjeblikket endnu ikke godkendt til imidacloprid)

Når gartnerierne i Holland skal etablere et renseanlæg, skal de vælge et af de af myndighederne godkendte renseanlæg. Der bliver ikke stillet yderligere krav, og der skal ikke senere udtages spildevandsprøver af det udledte spildevand til analyse. Myndighederne accepterer med andre ord godkendelsesordningen, selv om nogle væksthushgartnerier bruger andre pesticider end de 11, der er med i godkendelsestesten.

Den hollandske testprocedure samt en beskrivelse af baggrunden for metoden findes her:

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/glastuinbouw/rendement/>

4.4.2 Delkonklusion på de hollandske erfaringer

De hollandske myndigheder har godkendt 8 forskellige typer af renseanlæg, der opfylder kravene, der stilles i Holland til rensning af pesticidholdigt spildevand fra væksthushgartnerier.

Hvis et dansk gartneri køber et godkendt hollandsk anlæg, vil man have sikkerhed for, at anlægget kan fjerne pesticider i vandet. Det er dog ikke ensbetydende med, at et dansk væksthushgartneri kan overholde de udledningsvilkår, som bliver stillet af danske miljømyndigheder. Ved udledning af rensset pesticidholdigt spildevand til recipient vil man ikke uden yderligere rensning kunne overholde danske kravværdier for næringssalte (kvælstof og fosfor). Der er endvidere stor risiko for, at man heller ikke kan overholde kravværdier for alle mikronæringsstoffer med mindre, der er en stor fortyndingsfaktor i den aktuelle recipient.

Ved udledning til offentligt renseanlæg i Danmark vil det pesticidholdige spildevand formentlig i de fleste tilfælde kunne overholde de sædvanlige udledningskrav.

Generelt vil alle renseanlæg, der anvender brintperoxid og ozon, samtidig kunne lave en desinfektion af det pesticidholdige spildevand på dette anlæg. Derfor vil

et kombi-anlæg, som både kan rense og desinficere, ofte være en billigste total-løsning, da gartnerierne under alle omstændigheder har behov for at desinficere returvand, hvis det skal genbruges.

4.5 Erfaringer fra Sverige

JTI – "Institutet för jordbruks- och miljöteknik" i Sverige har arbejdet en del med at begrænse udledning af pesticider fra væksthushusholdninger, og problematikken er beskrevet i en rapport fra 2015 /8/. Her refereres en del til hollandske erfaringer på området, men endvidere beskriver man flere lavteknologiske løsninger med biologisk rensning, som især kan bruges på små gartnerier, der har behov for udledning af små mængder pesticidholdigt spildevand.

I rapporten diskuteres natriumproblematikken, hvor det konstateres, at natrium tilsyneladende ikke er et problem i Sverige, hvorimod det er et stort problem i Holland, fordi grundvandet dér indeholder meget natrium, som er skadelig for planterne. Man nævner, at det måske kan være et problem i Sverige, hvis man til vanding bruger meget drikkevand, der er blødgjort. Denne type drikkevand vil normalt indeholde en del natrium i stedet for calcium. Denne problematik kan også blive aktuel i Danmark, hvor man flere steder i landet er i gang med at lave en delvis blødgøring af drikkevandet. Hvad enten der bruges ionbytnings eller kemisk udfældning af calciumcarbonat, så bliver en del calcium og måske også magnesium erstattet med natrium. Hvis væksthushusholdningerne udelukkende bruger regnvand til vanding, så er denne problemstilling dog ikke aktuel.

Rapporten nævner kort rensning med ozon, brintperoxid + UV-lys samt rensning med aktivt kul. Det er undersøgt, at en særlig type aktivt kul kaldet "biokul" (fremstillet ud fra birketræ og grantræ) kan fjerne en del pesticider. En særlig variant af biokullet er præpareret med et jernsalt, hvilket medfører, at kullene også kan fjerne nogle pesticider (f.eks. glyfosat), som ikke kan fjernes med almindelig biokul.

Alt i alt kan der konstateres, at der ikke er så mange konkrete oplysninger om rensningsmetoder i den svenske rapport. Nærværende undersøgelsen har derfor været fokuseret på at indhente oplysninger om rensningsteknologier fra Holland, som tilsyneladende er længst fremme i Europa på dette område.

5 Beskrivelse af tekniske løsninger

I dette kapitel omtales kort muligheden for at udbringe pesticidholdigt spildevand på landbrugsarealer. Derefter beskrives de mulige rensemetoder for spildevandet på renseanlæg, der i dag er kommercielt tilgængeligt.

De relevante tekniske rensemetoder vises indledningsvis i et oversigtsskema med en kort beskrivelse af teknologien og dens formåen i et miljø- og ressourcemæssigt perspektiv samt økonomiske overslag over de tilhørende anlægs- og driftsomkostninger. Efterfølgende beskrives flere potentielt egnede renseteknologier til fjernelse af pesticider fra spildevandet og deres egnethed til danske væksthushusholdninger vurderes.

5.1 Muligheden for anvendelse af spildevand på landbrugsjord

COWI har vurderet, at spildevand fra returkar med et gennemsnitligt indhold af pesticider fra danske væksthushusholdninger under visse forudsætninger godt kan udsprøjtes på landbrugsjord både i rensat og urensat tilstand, uden at de gældende maksimaldoseringerne for de relevante aktivstoffer på landbrugsjord overskrides. Der er dog i beregningen ikke taget hensyn til, om udbringningen sker i vækstsæsonen, og om der kan ske udbringning på samme areal flere gange per år. Derudover er der i beregningen antaget, at indholdet af pesticider og øvrige miljøtoksiske stoffer ligger inden for de intervaller, som der typisk findes i et gennemsnitligt spildevand fra danske væksthushusholdninger (for beregningen, se bilag 2).

Det skal understreges, at udsprøjtning på landbrugsjord kun kan ske efter tilladelse fra kommunen.

Før kommunen eventuelt giver tilladelse til udbringning på landbrugsjord, skal der overvejes følgende forhold:

- > Spildevandet, der indeholder aktivstoffer, der ikke er tilladte at bruge på friland, eller som helt er forbudte at bruge i Danmark, kan ikke udbringes på landbrugsjord inden for den gældende lovgivning.
- > Det ekstra bidrag af næringssalte (N og P) fra spildevandet til landbrugsjorden skal kunne indeholdes i de gældende gødningsplaner, etc.

- > Udbringning af spildevandet bør ske i vækstsæsonen, hvor der ikke er nedadgående vandbevægelse i jorden, og der må ikke være fare for direkte udledning til overfladevand (vandløb og søer mv.).
- > Det bør vurderes, hvor tit spildevandet kan udbringes på de samme arealer hvert år og på hvilke afgrøder.

Udbringning af spildevandet vil altid afhænge af en konkret, lokal vurdering af spildevandets mængde og sammensætning samt jordbundsforhold og drikkevandsinteresser mv. omkring den landbrugsjord, spildevandet påtænkes udbragt på.

5.2 Overblik over relevante renseteknologier

Baseret på den viden, der kunne findes på renseteknologier for pesticidholdigt spildevand og som er præsenteret under de kommende afsnit, er følgende renseteknologier vurderet at være egnede:

- > Avanceret oxidation med brintperoxid og UV-lys
- > Avanceret oxidation med brintperoxid og katalysator
- > Avanceret oxidation med Ozon
- > Filtrering med aktivt kul
- > Nanofiltrering efterfulgt af filtrering med aktivt kul
- > Centrale løsninger, der allerede er etableret

Teknologierne er beskrevet overordnet i de følgende afsnit, en mere detaljeret gennemgang af hver teknologi findes i bilag 1.

Et hurtigt overblik over teknologierne, deres renseeffekt og anlægs- og driftsomkostninger, findes i følgende tabel:

Tabel 8: Relevante renseteknologier - overblik

Navn	Teknologi	Renseeffekt	Økonomi 1) 2)
Brintperoxid og UV	Forfiltrering ³⁾ – kemikaliedosering- UV lys	Min. 95 % for udvalgte pesticider i en hollandsk prøveblanding, 99,5 % fjernelse af imidachlopid. Usikkerhed omkring nedbrydningsprodukternes økotoksicitet.	Anlægsomkostninger: For et anlæg med 0,4 m ³ /h: 200.000 kr. For et anlæg med 4,5 m ³ /h: 400.000 kr. Driftsomkostninger (el, H ₂ O ₂ , UV-lamper): 4,94 kr/m ³
Brintperoxid og katalysator	Forfiltrering – kemikaliedosering – keramisk filter med faststof katalysator	Min. 95 % for udvalgte pesticider i en hollandsk prøveblanding, 99,5 %	Anlægsomkostninger: For et anlæg med 0,48 m ³ /h (kun rensning): 245.000 kr.

Navn	Teknologi	Renseeffekt	Økonomi 1) 2)
	lysator	fjernelse af imidachlopid. Usikkerhed omkring nedbrydningsprodukternes økotoksicitet.	For et anlæg med 0,96 m ³ /h (rensning og desinfektion): 350.000 kr. Driftsomkostninger (el, brintperoxid, katalysator): 4,45 kr./m ³
Ozon	Forfiltrering – ozonbehandling	Min. 95 % for udvalgte pesticider i en hollandsk prøveblanding, 99,5 % fjernelse af imidachlopid. Usikkerhed omkring nedbrydningsprodukternes økotoksicitet.	Anlægsomkostninger: For et anlæg til 0,7 m ³ /h: 320.000 kr. Driftsudgifter (el): 0,70 kr./m ³
Aktivt kul	Forfiltrering – aktivt kulfilter	Forventes højt for de fleste pesticider. Effektiviteten vil være afhængig af spildevandets sammensætning og kan fastlægges mere nøjagtigt gennem laboratorieforsøg.	Anlægsomkostninger: For et anlæg til ca. 1 m ³ /h: 42.000 kr. Driftsudgifter (aktivt kul, el): Meget afhængig af vandets indhold af organisk stof; baseret på ca. 1.500 m ³ spildevand med ca. 10 mg/l org. stof (forventet indhold på danske gartnerier): 6,33 kr./m ³
Nanofiltrering og aktivt kul	UF-forfilter – nanofilter – aktivt kul – evt. RO	Min. 95 % for udvalgte pesticider i en hollandsk prøveblanding, 99,5 % fjernelse af imidachlopid.	Anlægsomkostninger: For et anlæg med ultrafiltrering, nanofiltrering, og aktivt kul og en kapacitet på 1,25 m ³ /h: 335.000 kr. Tilsvarende anlæg til 2,5 m ³ /h: 420.000 kr. Driftsomkostninger (el, mem-

Navn	Teknologi	Renseeffekt	Økonomi 1) 2)
			bran, kul): 4,10 kr./m ³
Eksisterende løsninger: Stignæs Industrispildevand	Biologisk rensning, efterfulgt af filtrering med aktivt kul	Renseeffekten vil være på højde med den, der ellers kan opnås med aktivt kul filtrering	Anlægsomkostninger: 0 kr. Driftsomkostninger (transport og behandling): Transport i tankbil med 10 m ³ , fra Fyn til Stignæs: Ca. 6.000,- kr. Behandlingsomkostninger hos RGS Nordic vurderes af COWI til at ligge omkring 300 kr/m ³ . Spildevandet skal dog testes af virksomheden inden bindende aftale om modtagelse og pris kan indgås.

1) Anlægsomkostninger tager ikke højde for kapitalomkostninger. Driftsomkostninger tager ikke hensyn til tidsforbrug til vedligeholdelse og daglig drift. Driftsomkostninger er estimeret som kr./m³ behandlet spildevand og angivet for det anlæg med den laveste hydrauliske ydelse. Driftsomkostninger i kr./m³ til et tilsvarende anlæg med større hydraulisk kapacitet antages kun være lidt lavere.

2) Anlægsomkostninger er estimeret ud fra leverandørplysninger og vil kunne variere fra leverandør til leverandør afhængig af kvaliteten af det leverede udstyr. Anlægsomkostninger indeholder udgifter til tilslutning af anlæggene til gartneriets returkar.

3) Grovfilter i form af et posefilter el.lign, der fjerner større partikler fra spildevandet inden det egentlige renseanlæg.

5.3 Mulige rensemetoder til pesticidholdigt spildevand

Der findes mange forskellige rensemetoder til fjernelse af pesticider i vand, men ikke alle metoder er velegnede til rensning af væksthushusholdets pesticidholdige spildevand med næringssalte.

Nogle metoder vil kun være praktisk anvendelige og økonomiske i meget stor skala, og det vil derfor være nødvendigt med en sammenslutning af mange gartnerier i et formaliseret samarbejde. Det vil kræve en grundig analyse af de

økonomiske, juridiske og tekniske forhold i et sådan samarbejde, før en endelig beslutning kan træffes.

Andre metoder vil være anvendelige i lille skala ude på det enkelte væksthushusgartneri. Disse anlæg kan implementeres stort set med det samme, da teknologien er velafprøvet og kommerciel tilgængelig.

Endelig er der nogle metoder, der kan anvendes i lille skala, men anvendelsen er kompliceret og ikke så velegnet til et væksthushusgartneri.

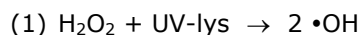
I det følgende gennemgås de potentielt egnede rensemetoder og deres egenskaber.

5.3.1 Avanceret oxidation

Metoden betegnes undertiden for AOP (Advanced Oxidation Process) /9/, /10/. Begrebet dækker over en række metoder, hvor der kan opnås større oxidationspotentiale, end hvis der anvendes en simpel kemisk oxidation. Ved AOP dannes der hydroxylradikaler ($\bullet\text{OH}$), der har et standard oxidationspotential på 2,8 V. Til sammenligning kan nævnes, at ozon har et standard oxidationspotential på 2,1 V, brintperoxid har et på 1,8 V og chlor har et på 1,4 V. Jo større standard oxidationspotentiale, jo flere stoffer kan oxideres.

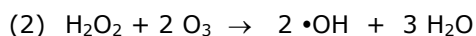
Stoffet brintperoxid, H_2O_2 , er et effektivt oxidationsmiddel, som kan oxidere en del stoffer, men der er også flere stoffer, som er svært oxiderbare og ikke kan oxideres af brintperoxid eller andre kemiske oxidationsmidler (f.eks. chlor og permanganat). Hvis brintperoxid bliver aktiveret, kan det omdannes til de såkaldte hydroxylradikaler, som er langt mere reaktive end brintperoxid, og derfor kan oxidere mange af de stoffer (f.eks. pesticider og medicinrester), som ikke kan oxideres af traditionelle kemiske oxidationsmidler. Hvis brintperoxid aktiveres med UV-lys, ozon, jernioner (Fe^{+2}) eller visse faste stoffer (såkaldte katalysatorer), kan det fraspalte hydroxylradikaler og derved oxidere pesticider og andre svært nedbrydelige organiske stoffer.

AOP-processer med UV-lys kaldes ofte for fotokemisk oxidation. Den mest almindelige fotokemiske oxidationsproces er en proces med H_2O_2 og UV-lys. Her dannes hydroxylradikaler (1). Til denne proces skal der ud over brintperoxid også bruges elektricitet. UV-lamperne har begrænset holdbarhed (typisk 10.000 – 15.000 timer) og skal udskiftes, hvilket også er en væsentlig driftsudgift. Endelig må man være forberedt på, at lampeglasset får belægninger, som nedsætter UV-intensiteten. Derfor skal lampeglassene jævnligt renses, hvilket normalt foregår automatisk enten med et mekanisk børstesystem eller kemisk med syre.



Den fotokemiske fremstilling af hydroxylradikaler kan også foretages med ozon + UV-lys. I praksis anvendes denne metode dog stort set ikke, da den ikke kan konkurrere økonomisk med (1). UV-lyset leveres oftest af en lavtrykslampe med fast bølgelængde på 254 nm.

Hydroxylradikaler kan også fremstilles ud fra ozon og brintperoxid (2) uden brug af UV-lys. Ved denne proces går en stor del ozon tabt som ilt, mens det er brintperoxid, der fraspalter hydroxylradikaler.



Under særlige forhold kan ozon også alene generere hydroxylradikaler, og derfor vil det virke som et ganske kraftigt oxidationsmiddel, der kan nedbryde mange svært nedbrydelige organiske stoffer – herunder mange pesticider. Ozon kan også bruges til delvis nedbrydning af naturligt organisk materiale, så nedbrydningsprodukterne efterfølgende kan omsættes biologisk. Ozon i vand er ikke stabilt, og det vil normalt spaltes og frigive ilt. Stabiliteten afhænger af vandets pH og øvrige sammensætning. Halveringstiden i normalt postevand er på ca. 15 minutter. Det pesticidholdige spildevand kan også desinficeres med ozon, og desinfektion er en vigtig proces i gartnerierne, hvis man vil genanvende det pesticidholdige spildevand. Ozon giver samtidig mere ilt i det pesticidholdige spildevand, hvilket øger optagelsen af vand og næringssalte gennem rødderne.

En ofte anvendt metode til generering af hydroxylradikaler er aktivering af brintperoxid med Fe^{+2} . Processen kaldes Fenton oxidation, og den foregår i princippet som vist i (3). Det fremgår, at kun det ene iltatom i brintperoxid omdannes til et hydroxylradikal, som er aktivt i oxidationsprocessen. Processen forløber normalt bedst ved $\text{pH} = 3-5$. Ved oxidationen dannes Fe^{+3} , der udfældes som $\text{Fe}(\text{OH})_3$ slam, som må bortskaffes. Det er en ulempe, hvilket gør, at andre AOP-processer oftest foretrækkes frem for Fenton-processen, da disse ikke producerer affaldsprodukter.



Det er også muligt at generere hydroxylradikaler ud fra H_2O_2 ved en katalytisk proces med et fast stof. Det har den fordel, at der ikke skal anvendes elektricitet som ved de fotokemiske processer, men til gengæld skal katalysatoren fornyes engang imellem, da den slides/forbruges. Fordelen ved katalyse med fast stof er, at den ikke bruger meget elektricitet, den virker også med uklart vand, der dannes ingen affaldsprodukter, og eneste væsentlige udgift er til brintperoxid.

Konklusion for avanceret kemisk oxidation

Umiddelbart ser det ud til, at brintperoxid med UV eller med fast stof katalyse er de mest oplagte AOP-rensemetoder for væksthushusholdighederne. Der dannes ingen affaldsprodukter (med undtagelsen af Fenton-processen), og anlæggene er simple i opbygning og enkle at anvende. Samtidig kan de kombineres med desinfektion af det pesticidholdige spildevand, der skal genbruges. Ozon alene ser dog også ud til at være en god mulighed, da man i Holland allerede har godkendt et ozonanlæg. Arbejde med ozon kræver dog visse sikkerhedsforanstaltninger. Risikoen ved AOP-metoderne er, at der måske kan dannes giftige nedbrydningsprodukter, som ikke når at nedbrydes helt før udledning til kloak. Fordelen ved AOP-metoderne er, at de på én gang kan anvendes til desinfektion af det pesticidholdige spildevand, der skal genbruges, og til rensning af det pesticidholdige spildevand, der skal udledes til kloak.

5.3.2 Filtrering med aktivt kul

Aktivt kul har en meget stor overflade og er derfor i stand til at adsorbere mange organiske stoffer. Det afgørende for om et stof kan adsorberes er stoffets kemiske sammensætning. Nogle stoffer har en meget stor affinitet til aktivt kul, mens andre stoffer har dårligere affinitet eller meget lille affinitet. Generelt kan det siges, at upolære stoffer adsorberes godt, mens polære stoffer adsorberes dårligt. Erfaringsmæssigt vides, at de fleste pesticider adsorberes godt. Eksempelvis kan alle pesticider og nedbrydningsprodukter fra Cheminovas depot adsorberes til aktivt kul – ganske vist med lidt forskellig affinitet.

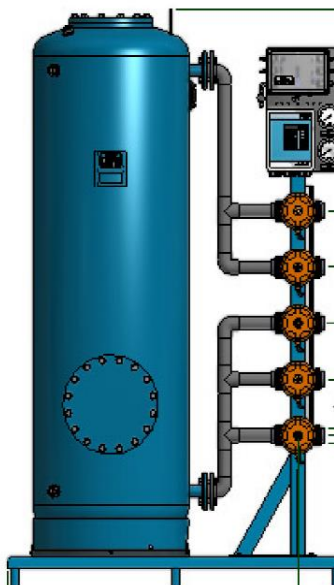
I et kulfilter anvendes normalt kulgranulat med en kornstørrelse på 0,5-1,0 mm og en rumvægt på ca. 0,5 kg/liter. Kullene kan typisk optage en organisk stofmængde på 20-30 % af egen vægt. Jo mere kulkolonnen mættes med organisk stof, desto dårligere bliver renseeffektiviteten. Hvis et kulfilter overbelastes, kan man risikere at nogle stoffer med dårligere affinitet til kullene afgives igen fra kulfilteret, fordi de bliver udstødt af stoffer med stor affinitet til kullene. Afhængig af, hvilke stoffer der skal fjernes, vil man typisk skulle have en opholdstid i kulfilteret på 10-15 minutter for at opnå en god rensning. Det svarer til, at et kulfilter med 1 m³ kul kan behandle 4-6 m³ vand pr. time.

Når kullene er mættet med organisk stof, skal de udskiftes med nye kul. De brugte kul kan enten sendes til forbrænding, eller de kan afleveres til regenerering hos et specialfirma. I Danmark er det således muligt at få leveret nye eller regenererede kul, mens de brugte kul tages retur. Det kan f.eks. foregå ved, at man får leveret en hel beholder fyldt med kul, og den udskiftes med den gamle beholder. Hvis man har et fast monteret kulfilter kan man også få leveret nyt kul, som fyldes på kulkolonnen, når det brugte kul er tømt af.

Ved mindre kulanlæg kan man få leveret kullene i en plasttromle, hvortil der er studse for tilløb og afløb. Denne tromle kan anvendes direkte som et kulfilter. Når kullenes kapacitet er brugt op, afleveres plasttromlen til forbrænding, og man indsætter en ny tromle med friske kul.

En variant er biokul, som fremstilles ud fra biologisk materiale ved opvarmning til 300-1000 °C. Biokul har stort set samme egenskaber som almindeligt aktivt kul. I Sverige har et firma imidlertid fremstillet en særlig type biokul ud fra birketræ og grantræ. Kullene er præpareret med en jernforbindelse, der giver særligt gode egenskaber, så det kan tilbageholde et bredere spektrum af pesticider end almindeligt aktivt kul.

Undertiden anvendes fint pulveriseret kul, som tilsættes spildevandet. På den måde slipper man for at investere i et kulfilter, men til gengæld skal man opsamle de brugte kulpartikler og bortskaffe dem. Det kan f.eks. foregå, hvis man alligevel har en bundfældningsproces til sidst i renseanlægget. Når kullene anvendes på denne måde, kan de ikke optage så meget organisk stof, som hvis de anvendes i et kulfilter.

		
<i>Eksempel på fastmonteret kulfilter beregnet til tømning og påfyldning af aktivt kul</i>	<i>Eksempel på kulfilter beregnet til udskifting af hele kolonnen, idet kullene genbruges.</i>	<i>450 kg 1-gangs kulfilter. Kul og plasttromle forbrændes, når kullene er brugt. Findes også som 75 kg.</i>

Konklusion for aktiv kul filtrering

Der er ingen tvivl om, at aktivt kul kan anvendes til fjernelse af pesticider i pesticidholdige spildevand, men der findes ingen undersøgelser, der viser, hvilke pesticider der kan fjernes godt, og hvilke der ikke fjernes godt nok. Erfaringer fra bl.a. de hollandske test af renseanlæg og Cheminova-projektet tyder dog på, at langt de fleste pesticider kan fjernes effektivt i et aktivt kulfilter. At filtrering med aktivt kul ikke bruges som selvstændig renseløsning hos hollandske gartnerier, men kun i kombination med nanofiltrering, skyldes det høje indhold af natrium i det lokale grundvand. Nanofiltrering fjerner natrium fra returvandet og muliggør derfor recirkulation af vandet.

Aktivt kul kan anvendes som en selvstændig rensemetode, men kullenes kapacitet vil reduceres, hvis der er stort indhold af andet organisk stof i det pesticidholdige spildevand. Stikprøver taget af COWI af pesticidholdigt spildevand fra danske gartnerier tyder på et meget lille indhold af organisk stof målt som COD. Det betyder, at en løsning med kulfilter vil kunne være forholdsvis billig både i investering og drift. Kulfiltrering vil være en meget billig løsning til efterrensning af pesticidholdigt spildevand, hvor det organiske stof er fjernet først (f.eks. efter AOP, nanofiltrering eller biologisk rensning).

Hvis kulforbruget er stort, vil det sandsynligvis bedst kunne betale sig at installere et fast anlæg, hvor kullene skiftes, når de er mættede. Det er dog simplere at udskifte hele kolonnen, men det koster ekstra, fordi der skal betales en lejeafgift for at have kolonnen til rådighed. Ved små vandmængder og lav belast-

ning af kullene kan det måske bedst betale sig at købe et engangsfilter, f.eks. et lille kulfilter med 75 kg kul, der kan behandle 2 m³/h.

Hvis man ønsker sikkerhed for, at et kulfilter kan fjerne de aktuelle pesticider i det pesticidholdige spildevand, kan man køre et kolonneforsøg i laboratoriet, før man etablerer en løsning med kulfilter. Ønsker man også at bestemme kullenes kapacitet, kan det også foretages i laboratoriet ved et såkaldt isotherm-forsøg.

5.3.3 Membranfiltrering

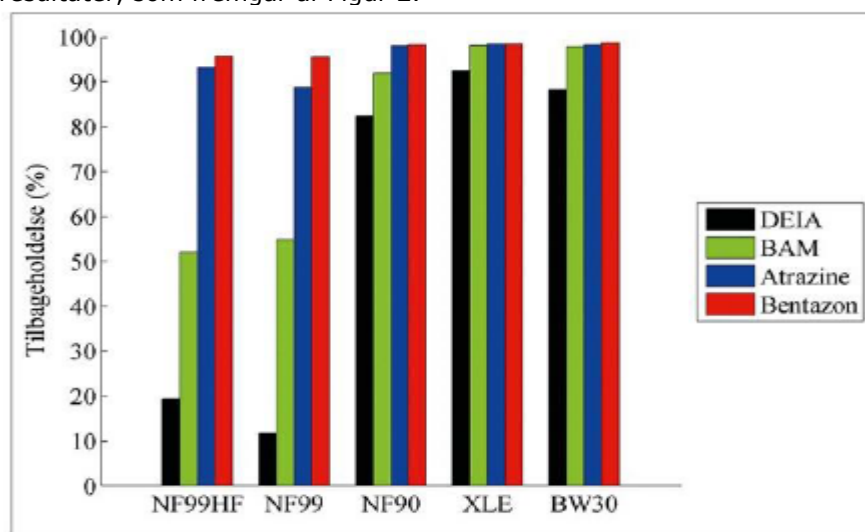
Membranprocesserne omvendt osmose (RO) og nanofiltrering (NF) kan anvendes til rensning af pesticidholdigt spildevand og næringssalte /12/, /13/, når det kombineres med et egnet teknologi til fjernelse af pesticiderne fra de koncentratet.

Ved NF og RO filtreres vandet gennem en meget fin membran. Det rensede vand kaldes permeatet, og det tilbageholdte vand kaldes koncentratet eller retentatet. En RO-membran tilbageholder næsten alle ioner og molekyler. En NF-membran tillader passage af små molekyler og monovalente ioner, mens store molekyler og divalente ioner tilbageholdes. Selv om monovalente ioner i princippet kan gå igennem membranen, vil nogle monovalente ioner alligevel tilbageholdes. Resultatet kan ikke altid forudses. Der findes membraner med forskellige egenskaber, og der findes bl.a. en NF-membran, som tillader passage af Ca²⁺, hvilket kan være en stor fordel, så man undgår udfældning af calciumsalte i koncentratet.

Aquarden Technology har i samarbejde med Odense Renovation og COWI gennemført et stort projekt med rensning af perkolat fra lossepladser. Resultaterne fra dette projekt viser, at de organiske stoffer i perkolat tilbageholdes ganske effektivt i et NF. Det gælder også en del af de miljøfremmede organiske stoffer, der findes i små koncentrationer. Det er sandsynligt, at mange pesticider vil tilbageholdes i stor udstrækning i et NF. Tilbageholdelsen afhænger af opkoncentreringsgraden.

På AUC har man undersøgt membranfiltrering på pesticidholdigt vand med forskellige membran typer /14/. Vandet indeholdt pesticiderne atrazin og bentazon og nedbrydningsprodukterne DEIA og BAM. Disse fire stoffer er nogle af de mest almindelige forureninger i dansk grundvand. Her fandt man nogle interessante

resultater, som fremgår af Figur 2.



Figur 2: Tilbageholdelse af pesticider og nedbrydningsprodukter ved membranfiltrering.

NF99HF og NF99 er NF-membraner, mens NF90 og XLE er lavtryks RO-membraner og BW30 er en normal RO-membran. Som det fremgår af figuren, kan alle membraner tilbageholde de forholdsvis store pesticidmolekyler, mens NF-membraner ikke kan tilbageholde de mindre nedbrydningsprodukter (DEIA og BAM) særlig godt. Også selve membranmaterialet og vandets indhold af salte kan påvirke tilbageholdelsen af pesticiderne. Det kan således konstateres, at der findes NF-membraner, som kan tilbageholde pesticider med en vis molekylstørrelse, hvorimod de lavmolekylære nedbrydningsprodukter af pesticiderne ikke tilbageholdes så godt i et nanofilter.

Ud fra disse erfaringer synes en mulig løsning være at rense det pesticidholdige spildevand i et nanofilter. Herved tilbageholdes formentlig > 90 % af de organiske stoffer samt sandsynligvis størstedelen af pesticiderne. Det rensede vand fra nanofilteret kan herefter efterrenses i et kulfilter for at fjerne de sidste pesticidrester og organisk stof. Kullene vil have stor kapacitet i en sådan løsning, da det meste organiske stof er fjernet før kulfilteret. Det rensede vand vil dog også indeholde en del monovalente ioner (K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^-), men ca. halvdelen af næringssaltene vil forblive i koncentratet.

Dette princip anvendes for eksempel i et af de godkendte hollandske anlæg, "Poseidon". Her føres koncentratet med de mange gødningssalte retur til vandingens anlægget og genanvendes. I Holland er der meget fokus på det pesticidholdige spildevand indhold af natrium, som vil akkumuleres i spildevandet, når man øger genanvendelsen.

Natrium optages ikke af planterne, og da det tilføres med råvandet og fra andre kilder, vil koncentrationen med sikkerhed øges, når man genbruger mere og mere returvand til vanding. Et højt indhold af natriumsalte kan være med til at reducere planternes optagelse af vand og næringsstoffer, så derfor er det vigtigt at holde natriumkoncentrationen lav, og det kræver aftapning af brugt returvand.

Med en nanofilterløsning kan man fjerne natrium og holde halvdelen af næringsstofferne tilbage, og det er der god økonomi i. Man kan yderligere forfine metoden ved at rense det rene vand fra kulfilteret i et RO-anlæg og genanvende det rene RO-vand til vanding. På den måde kan man reducere den udledte vandmængde fra gartnerier med ca. 80 %



Hollandsk anlæg "Poseidon" med forfilter, nanofilter og efterrensning i kulfilter



Dansk nanofilter med forfilter fra BWT til rensning af perkolat fra lossepladser, ca. 500 l/h.

Konklusion for membranfiltrering kombineret med aktiv kul filtrering

Nanofiltrering og omvendt osmose kan anvendes til rensning af væksthushusholdernes pesticidholdige spildevand, men det er ikke sikkert, at metoden kan stå alene. Permeatet fra nanofiltrering kan efter yderligere rensning i aktivt kul udledes til kloak, mens det opkoncentrerede vand kan føres retur og blandes med returvandet og således genbruges til vanding. Ved anvendelse af NF + aktivt kul dannes ingen giftige nedbrydningsprodukter af pesticiderne. Behandles vandet fra kulfilteret i et RO-anlæg, kan der udvindes op til 80 % helt rent saltfrit vand, som kan genbruges til vanding i gartneriet. Herved reduceres den udledte vandmængde til kloak med 80 %.

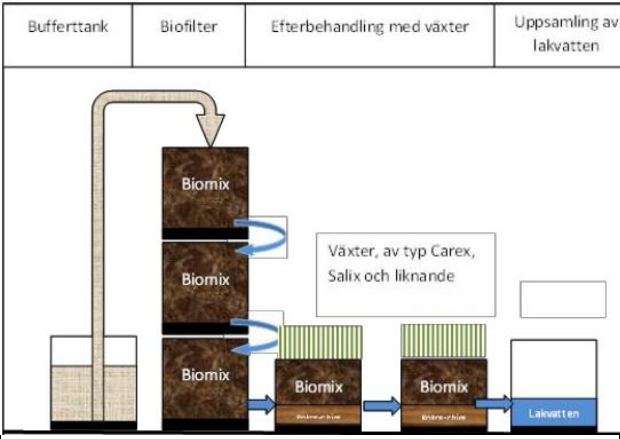
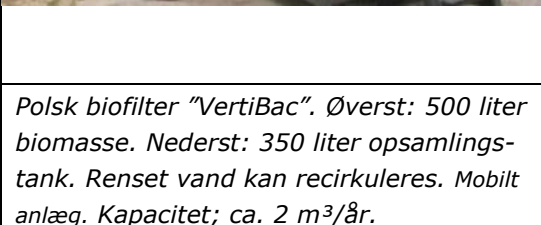
5.3.4 Biologisk rensning – lavteknologiske løsninger

Der findes flere lavteknologiske biologiske metoder på markedet til nedbrydning af pesticider i vand. Flere af dem er især rettet mod behandling af spild af sprøjtemidler, og de har meget begrænset kapacitet. Metoderne anvendes også til rensning af små mængder pesticidholdigt spildevand.

I en svensk rapport /8/ er flere metoder omtalt. Den simpleste metode er et **biobed**, der består af et lag biologisk materiale (halm, tørv, muldjord) anbragt på et lerlag. Oven på det biologiske materiale er anlagt græs. Det biologiske ma-

teriale skal jævnligt udskiftes, og det er vigtigt, at græsset vokser. Vandet tilføres med pumpe ud over biobeddet. En anden variant er opbygget på et støbt underlag med afløb. Metoden er pladskrævende og arbejdskrævende at vedligeholde.

Andre steder i Europa er der udviklet små bioreaktorer og biofiltre, der er påtænkt rensning af pesticidholdigt spildevand. De fleste metoder er beregnet til rensning af små mængder vand. En bioreaktor kaldet "PhytoBac" på 21 m² og en højde på 0,8 m kan rense 15 m³/år. Små biofiltre med filtermateriale fra 1 til 5 m³ kan typiske rense 2-5 m³/år.

Buffertank	Biofilter	Efterbehandling med växter	Uppsamlings- lakvatten
			
			
Belgisk/hollandsk metode med 5 serieforbundne biofiltre á 1 m³. De to sidste tanke giver stor fordampning.		Polsk biofilter "VertiBac". Øverst: 500 liter biomasse. Nederst: 350 liter opsamlings-tank. Renset vand kan recirkuleres. Mobilt anlæg. Kapacitet; ca. 2 m³/år.	

Konklusion for lavteknologisk biologiske renseanlæg

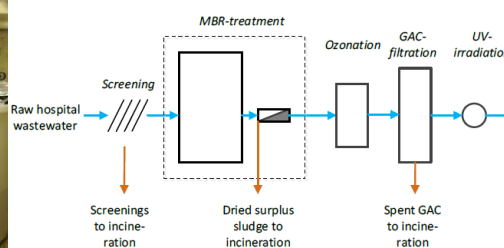
Landbruget og til dels gartnerier i udlandet har udviklet og anvendt nogle simple biologiske rensesystemer, der delvis kan nedbryde pesticider i små biobeds eller små biofiltre. Anlæggene har lille kapacitet, men kan eventuelt anvendes på mindre gartnerier. Der vil med stor sandsynlighed dog kun ske en delvis nedbrydning af pesticiderne, f.eks. nævnes der i Miljøprojekt nr. 1929, på s. 28, en undersøgelse fra Aarhus Universitet, hvor et biologisk filter af typen Pytobac er blevet testet. Filteret nedbryder mellem 50 % til over 90 % af pesticiderne (hvilket er betydeligt lavere end ved f.eks. de tidligere omtalte AOP-processer). Der nævnes derudover heller ikke, om der ved de biologiske processer opnås en fuldstændig nedbrydning af de enkelte pesticider.

5.3.5 Biologisk rensning – traditionelle løsninger

Som vist i /5/, vil biologisk rensning af det pesticidholdige spildevand i renseanlæg baseret på aktiv slam ikke kunne nedbryde alle pesticider i vandet. Derfor

vil der typisk skulle anvendes anlæg baseret på en biofilm på et bæremedie, hvor bakterierne har lang levetid, så de efterhånden bliver bedre i stand til at nedbryde de svært nedbrydelige organiske forureninger som f.eks. pesticider. Der vil i princippet kunne anvendes samme metode, som anbefales til hospitals-spildevand, hvor det gælder om at nedbryde medicinrester. Nogle medecintyper nedbrydes forholdsvis effektivt biologisk, mens andre stort set ikke kan nedbrydes. Det samme vil formentlig gælde pesticiderne, men der er ikke så god dokumentation for pesticider.

Derfor er det nødvendigt at efterrense spildevandet efter det biologiske rensetrin ved at f.eks. behandle vandet med ozon og derefter filtrere det i et aktivt kulfilter. Denne metode anvendes bl.a. i et såkaldt biobooster anlæg på Herlev Hospital med stor succes. Der findes dog også anlæg på markedet baseret på metode, hvor den biologiske rensning foregår i 3 serieforbundne tanke i en såkaldt "Moving Bed Bio Reaktor" (MBBR). Der afsluttes også her med efterrensning med ozon og aktivt kul.

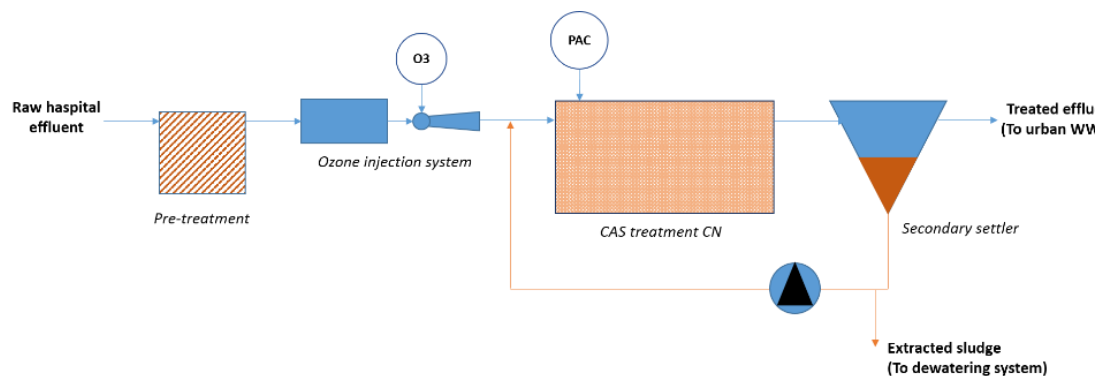


Forsøgsanlæg med 3 bio-tanke i serie

Biobooster anlæg på Herlev hospital bestående af: Rist → MBR → Mikrofilter → Ozon → Aktiv kul → UV-desinfektion

Der findes andre yderligere rensningsprincipper for spildevand med medicinrester og pesticider. Der kan enten tilføjes et såkaldt tertiært rensetrin, hvor spildevandet fra den normale biologiske rensning efterrenses med ozon efterfulgt af aktivt kul.

Der findes også en løsning, som er lettere at implementere på et eksisterende biologisk rensningsanlæg. Her tilsættes ozon ved indløbet på rensningsanlægget, mens pulveriseret kul tilsættes ved indløb til beluftningstanken. Denne løsningsmodel giver ifølge leverandøren en effektiv fjernelse af mikroforureninger – også de svært nedbrydelige. Dog vurderes pesticidholdigt spildevand med lavt indhold af organisk stof ikke videre egnet til biologisk rensning. Her anbefaler en leverandør af biologiske rensningsløsninger, at hele rensningen foregår med ozon, eventuelt suppleret med efterrensning med aktivt kul, hvis det skulle vise sig nødvendigt.



Figur 3: Biologisk renseløsning med ozon injektion i tilløbet og dosering af pulveriserer kul ved indløb til den biologiske beluftningstank (CAS). Kul og slam udskilles til sidst i den sekundære bundfældningstank.

Konklusion for biologisk rensning i større, traditionelle anlæg

Traditionel biologisk rensning af pesticidholdigt spildevand kan anvendes til rensning af større mængder pesticidholdigt spildevand, når den biologiske behandling suppleres med egnede kemiske processer. Ozon og aktivt kul kan anvendes til efterrensning, men et enkelt firma anvender det med succes til dosering inde på renseanlægget.

Da et biologisk anlæg er stort og kompliceret og skal have kontinuert vandtilførsel, vil det kun være aktuelt, hvis der skal etableres et større centralt anlæg, som skal behandle pesticidholdigt spildevand fra adskillige gartnerier. På grund af den lave koncentration af organisk stof og de forholdsvis små vandmængder i det pesticidholdige spildevand vurderes det, at filtrerings- og AOP processer vil være bedre egnede alternativer.

Der forskes dog for tiden intensivt i Danmark i at udvikle biologiske spildevandsprocesser, hvor specialiserede bakteriestammer udnyttes til at rense spildevand for medicin- og kemikalierester, herunder pesticider. På lidt længere sigt kan biologiske anlæg derfor være en egnet teknologi for pesticidholdigt spildevand.

5.3.6 Super Critical Water Oxidation (SCWO)

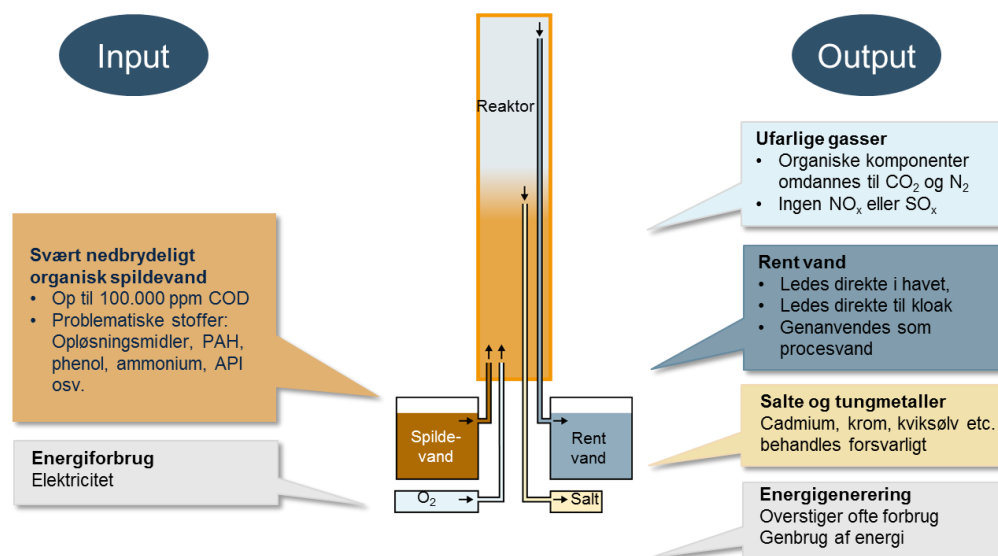
En forholdsvis nytænkende metode til fjernelse af miljøfremmede stoffer fra spildevandet er baseret på at udnytte vandets unikke egenskaber, når det er i superkritisk tilstand.

Når vand bringes i superkritisk tilstand (temperatur > 374 °C og tryk > 221 bar), kan organiske stoffer i vandet hurtigt oxideres med ilt til vand og kuldioxid samt nitrogen. Processen minder lidt om, hvad der sker ved AOP, men i modsætning til AOP, så kan man med SCWO nedbryde alle organiske stoffer på få sekunder under optimale procesbetingelser.

Aquarden Technologies ApS er den eneste leverandør i Danmark, der producerer og sælger SCWO-anlæg. Anlægget kaldes "Waterox". Man har erfaring med nedbrydning af mange organiske stoffer. Metoden er afprøvet med hospitalsspildevand med mere end 60 forskellige medicinrester, og alle medicinrester – selv de mest stabile – kan nedbrydes fuldstændigt. Det kan man ikke altid med AOP og andre metoder. Det er derfor meget sandsynligt, at alle pesticider vil kunne

nedbrydes i et SCWO-anlæg. Uorganiske stoffer i vandet skal udskilles fra vandfasen, før man når den superkritiske fase. Det bliver til en saltopløsning med et højt saltindhold, der skal bortskaffes – afhængig af sammensætningen af salte.

Principperne bag Waterox



Figur 4: Princip for Aquardens SCWO-løsning til nedbrydning af organisk stof i spildevand.

Hvad angår mulighederne for at behandle væksthushusholdernes pesticidholdige spildevand med SCWO, kan man forestille sig en opkoncentrering på 5-10 gange først, opnået ved nanofiltrering. En del af gødningssaltene samt små koncentrationer af pesticider og organisk stof vil findes i det rensede vand (permeatet) fra nanofilteret. Det bør derfor renses med aktivt kul før udledning til kloak. Koncentratet ledes ind i SCWO-anlægget, hvor næringssalte udskilles i en saltopløsning. Det rene vand (destillatet) fra SCWO-anlægget kan enten udledes til kloak eller bruges til andre godkendte formål (f.eks. til vanding).

Konklusion for super critical water oxidation (SCWO)

SCWO er en ny teknologi, der kan destruere alt organisk stof til vand og kuldioxid samt kvælstof gas samt evt. sulfat og fosfat. Uorganiske salte i vandet udskilles som en saltopløsning, der skal bortskaffes. Et SCWO-anlæg er forholdsvis dyrt i investering, og derfor vil det ofte være fordelagtigt økonomisk at opkoncentrere spildevandet først. Der er i øjeblikket ingen praktiske erfaringer med destruktion af pesticider ved SCWO, men der har til dato imidlertid ikke været organiske stoffer, som ikke kunne destrueres med SCWO.

Det vurderes, at et SCWO anlæg ud fra en økonomisk vurdering kun vil være aktuelt til rensning af større mængder spildevand med højt indhold af pesticider på et centralt behandlingsanlæg (en del højere end der findes typisk i spildevand

fra væksthushgartnerier). Når de aktuelle spildevandsmængder og – sammen-
sætning tages i betragtning, må det konkluderes, at der i dag ikke vil være basis
for at etablere et sådant centralt renseanlæg i Danmark.

5.3.7 Behandlingsløsninger i eksisterende stor-skala anlæg

Som alternativ til at opbygge kapacitet til rensning af spildevand i eget regi, vil gartnerierne have mulighed for at få behandlet spildevandet hos private selskaber, der er specialiseret i at modtage industrispildevand og farligt affald. Når spildevandsmængderne ikke er særlig store, vil transport af spildevandet i tankbiler eller slamsugere til de respektive behandlingsanlæg være mulig.

I det følgende er der kort beskrevet de behandlingsløsninger, der findes i Danmark hhv. hos Fortum Waste Solutions (det tidligere Kommunekemi) og hos RGS Nordics anlæg i Stigsnæs til behandling af industrispildevand.

Fortum Waste Solutions

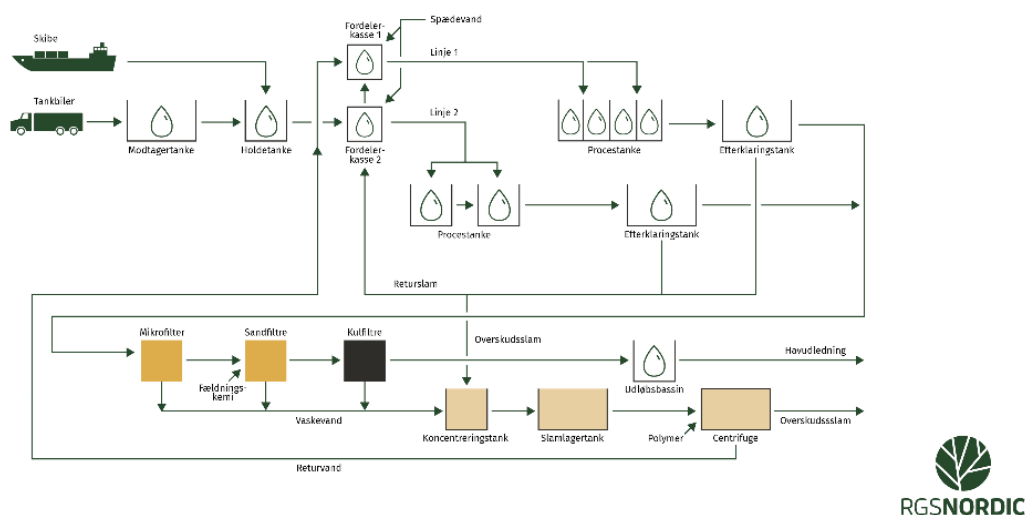
Fortum Waste Solutions vil kunne tilbyde at behandle pesticidholdigt spildevand termisk. Spildevandet vil blive tilført forbrændingsanlægget, der er beregnet til behandling af farligt affald. Her vil pesticiderne blive afbrændt ved 1.200 gr. C. Denne behandling angives at ville koste 1.280 kr. pr. m³ spildevand leveret på Fortum Waste Solutions adresse i Nyborg.

RGS Nordic – Stigsnæs renseanlæg til industrispildevand

Hos RGS Nordic behandles forskellige typer industrispildevand fra f.eks. offshore-industrien og andre brancher.

Renseanlægget består af en biologisk rensning i et aktiv slam procestank, efterfulgt af en efterklaringstank og filtrering med mikrofilter, sandfilter og aktiv kul filter. Det må antages ud fra de tidligere betragtninger om den manglende effektivitet af traditionelle biologiske renselanlæg til at fjerne pesticider fra spildevand, at fjernelse vil ske vha. aktiv kul filtreringen.

Det rensede spildevand bliver gennem en havledning udledt til Agersø Sund. Kubikmeterprisen for denne løsning vurderes at være betydeligt lavere end hos Fortum og er vurderet til at ligge omkring 300 kr./m³. RGS Nordic vil dog teste en prøve at det relevante spildevand før der kan aftales modtagelse og de endelige økonomiske vilkår.



Figur 2: Principskitse over de behandlingstrin, RGS Nordics anlæg på Stignæs består af.

Konklusion for eksisterende centrale løsninger

Umiddelbart er de tekniske løsninger, der tilbydes af hhv. RGS Nordic og Fortum Waste Solution, velegnet til pesticidholdigt spildevand. Behandlingsprisen for en termisk behandling, som tilbydes af Fortum Waste Solutions, vurderes dog ikke at være økonomisk attraktiv, og denne løsning undersøges derfor ikke i dybden. Behandlingsprisen hos RGS Nordic vurderes umiddelbart til at være attraktiv, og løsningen belyses derfor nærmere i de følgende afsnit.

6 Samlet vurdering af egnethed af de tekniske løsninger

I det følgende gives en miljømæssig, teknisk og økonomisk vurdering af de beskrevne renseteknologier inklusiv en vurdering af, om løsningerne står i rimelige proportioner til væksthushusholdernes økonomi. Det er således tilstræbt at vurdere den miljømæssige effekt i forhold til de samlede omkostninger. Det er herunder forsøgt også at tage hensyn til, at den bedste løsning på et stort gartneri ikke nødvendigvis er en lige så god løsning på et lille gartneri, hvis omkostningerne er urimeligt høje i forhold til den miljømæssige gevinst.

6.1 Overordnet evaluering

Vurderingen af de enkelte tekniske løsninger er opdelt på tre hovedkategorier:

- > De miljømæssige konsekvenser, hvor recipientpåvirkning, emissioner til atmosfæren, evt. lugt og støj under driften af anlægget vurderes, men der tages også højde for energi- og kemikalieforbrug. Derudover vurderes det, om løsningen muliggør recirkulering af vandet fra returkarrene i selve væksthushusholdet, idet dette vil åbne op for en betydelig besparelse ikke blot i vandmængder, men også i forbrug af pesticider og næringssalte. Arbejds miljø indgår også som vurderingsparameter.
- > Den tekniske formåen, hvor løsningens egnethed vurderes i forhold til at rense spildevandet inden for de rammer, der typisk foreligger på et væksthushushold. Løsninger, der kræver en del tilsyn eller overvågning af trænet personale, er potentielt mindre egnede til at løse opgaven på et gartneri end robuste anlæg med minimalt behov for tilsyn og vedligeholdelse. Derudover vurderes teknologiens kommercielle tilgængelighed.
- > De økonomiske omkostninger er baseret på et estimat af anlægsomkostninger samt driftsomkostninger. Driftsomkostningerne opgøres som DKK/m³ behandlet spildevand, mens anlægsomkostninger vises som totalpris for installation af et turn-key anlæg (inkl. udgifter til tilslutning af anlæggene til gartneriets returkar).

En oversigt over vurderingen af de enkelte tekniske løsninger opdelt på de tre ovennævnte hovedkategorier præsenteres i form af et skema (Tabel 9), hvor der for hver enkelt vurderingsparameter er tildelt en score fra 1-5, hvor 5 er bedst og 1 er dårligst. De tildelte scorer er således relative derved, at den bedste løsning (der kan evt. være flere, der er lige gode) altid tildeles scoren 5 mens de øvrige vurderede teknologier tildeles forholdsmæssigt lavere scorer.

Det er fundet mest hensigtsmæssigt at gøre det på denne måde, da der for de fleste af parametrene ikke kan opstilles absolutte kriterier for, hvornår en løsning er fuldt tilfredsstillende eller god nok. For at få det "absolutte" aspekt med i den samlede vurdering er der derfor i teksten suppleret med kvalitative bedømmelser af, om teknologiernes "performance" ift. en given parameter under alle omstændigheder er tilfredsstillende eller ej. Det gælder, selv om der måtte være forskelle imellem dem, eller selv om nogle af dem må bedømmes som utilfredsstillende.

Tabel 9 Oversigt over den samlede vurdering af renseteknologiernes egnethed. En mere detaljeret gennemgang af de enkelte parameter findes i afsnittet efter tabellen.

Overord- net vægtning:	Overord- net emne:	Underemner til vægtning:	Vurdering af renseteknologiens egnethed					
			AOP: Brint- peroxid og UV-lys	AOP: Brint- peroxid og katalysator	AOP: Ozon	Aktiv kul	Nanofil- ter med aktiv kul	Transport og cen- tral rens- ning på Stignæs
40%	Miljø	Recipientpåvirkning (direkte udledning)	1	1	1	1	1	1
		Påvirkning af renseanlæg/kloaksystem	5	5	5	5	5	5
		Håndtering af andre affaldsprodukter	5	5	5	4	4	4
		Mulighed for desinfektion og dermed også recirkulation	5	5	5	3	3	1
		Luftemissioner (ozon mv.)	5	5	4	5	5	5
		Lugt	ingen info	ingen info	ingen info	ingen info	ingen info	ingen info
		Støj (anlæg, transport mv.)	ingen info	ingen info	ingen info	ingen info	ingen info	Ingen info
		Energi (drift anlæg, transport, CO ₂ mv.) (kWh/m ³)	2	2	4	5	1	1
		Risiko for utilsigtet udledning (til recipient)	5	5	5	5	5	5
		Overholdelse af udlederkrav til kloak	4	4	4	4	5	5
		Arbejdsmiljø	4	4	3	5	5	5
	Sum af vægtning for "Miljø"		1,6	1,6	1,6	1,64	1,51	1,42
20%	Teknik	Kommercielt tilgængelig	5	4	4	5	4	5
		Velegnet til spildevand fra væksthushavterier	5	5	5	5	5	5
		Effektivitet af fjernelse af pesticider	5	5	5	5	5	5
		Risiko for potentielt toksiske nedbrydningsprodukter	3	3	3	5	5	5
	Sum af vægtning for "Teknik"		0,9	0,85	0,85	1,0	0,95	1
40%	Økonomi	Årlige omkostninger (anlæg og drift)	3	3	2	5	2	1
	Sum af vægtning for "Økonomi"		1,20	1,20	0,80	2,00	0,80	0,40
Sum af vægtning total			3,7	3,7	3,3	4,6	3,3	2,8

6.2 Præsentation af de enkelte vurderingsparametre

6.2.1 Miljø

De sammenfattende bemærkninger til de enkelte scorede miljøparametre gives herunder i samme rækkefølge som de er nævnt i Tabel 9.

Recipientpåvirkning (direkte udledning)

Der er ikke nogen af de vurderede teknologier, der kan rense for spildevandets indhold af næringsstoffer som kvælstof og fosfor eller andre uorganiske stoffer (primært salte). Da spildevandets indhold af næringsstoffer er for højt til direkte udledning til recipient vil det under alle omstændigheder være nødvendigt at lede det rensede vand til det offentlige spildevandsystem, enten via en direkte tilslutning til kloak eller ved at transportere det i tankbiler til renseanlægget.

Direkte udledning vil således give en høj recipientbelastning af næringsstoffer og andre uorganiske stoffer, og der er derfor givet en score på 1 for recipientpåvirkning for alle løsningerne.

Påvirkning af kloak og renseanlæg

De avancerede oxidationsprocesser (AOP) med brintperoxid hhv. ozon vil i mindre, men ikke helt kendt omfang, medføre dannelse af nedbrydningsprodukter af de pesticider, der ønskes fjernet, og andre organiske stoffer i spildevandet. Nogle af disse kan potentielt have indvirkning på renseanlægsprocesser. Det vurderes dog, at mængderne af mulige nedbrydningsprodukter fra AOP vil være så små, at de reelt ikke vil have nogen betydning for funktionen af et kommunalt renseanlæg. Der er dog ikke fundet nogen konkret dokumentation for, at der skulle dannes giftige omdannelsesprodukter ved AOP-rensning af pesticider fra gartnerier, og alle teknologier er derfor tildelt den højeste score (5) på denne parameter.

Håndtering af affaldsprodukter

Der vil ikke være slamproduktion forbundet med nogen af de gennemgåede teknologier. Der vil være en mindre mængde affald i form af brugt aktivt kul fra de to teknologier, der er baseret på dette materiale, i det tilfælde, at det (ikke læn- gere) kan regenereres. Derfor scorer disse to teknologier lidt lavere på denne parameter, uden at affaldet anses for at udgøre noget væsentligt problem. Tilsvarende gælder for slamproduktion ved en central rensningsløsning.

Mulighed for recirkulering af desinficeret spildevand

Alle tre AOP-teknologier vurderes at give en tilfredsstillende desinfektion og derfor fuld mulighed for recirkulering af desinficeret spildevand og er derfor alle tildelt scoren 5 på begge disse parametre. Det skal dog nævnes, at man ikke kan bruge det samme anlæg til at rense blandet pesticidholdigt spildevand og samtidig desinficere returvand, der skal recirkuleres. Det skyldes, at returvandet i forskellige returkar normalt har forskellig sammensætning af næringssalte og

mikronæringsstoffer. Man kan dog forestille sig, at et AOP-anlæg flyttes rundt og bruges skiftevis til desinfektion i forskellige returkar samt til rensning af pesticidholdigt spildevand på samme gartneri.

Returvand fra rensning i kul eller NF+kul kan også recirkuleres, men da der ikke foregår nogen desinfektion ved disse to renseprocesser, vil der blive behov for desinfektion, hvis returvandet skal recirkuleres i længere tid. Hertil kan f.eks. anvendes opvarmning, chlortilsætning eller UV-belysning.

Central rensning giver ikke mulighed for recirkulering af spildevand i modsætning til, hvis et renseanlæg ved selve væksthushusgartneri desinficerer vandet og dermed giver muligheden for dette. Denne løsning scorer derfor kun 1 på denne parameter.

Emissioner til luft

Det eneste kendte problem med luftemissioner er emission af overskud af ozon i den proces, der anvender ozon. Doseringen vil normalt foregå i et lukket system, og der vil først være mulighed for emission af ozon til luften, når det behandlede vand kommer ud i et åbent system. Hvis der er luftadgang fra doseringssystemet, vil der måske være behov for et kulfilter på luftafkastet for at fjerne ozon, og denne teknologi scorer derfor lidt lavere end de andre. Der bør normalt være anbragt en ozonmåler i det lokale, hvor ozonanlægget er placeret. Ved overskridelse af den grænseværdi, som måleren er indstillet på, skal hele anlægget automatisk stoppe.

Lugt

Der er ingen viden om lugtproblemer ved de undersøgte teknologier, men de formodes at være meget begrænsede.

Støj

Der er heller ingen viden om støj fra renseprocesserne, men også dette er formentlig meget begrænset.

Energi

Energiforbruget er scoret ud fra oplysninger om energiforbruget i kWh/m³ oplyst af leverandørerne. Aktiv kul-løsningen og ozon-løsningen har de laveste energiforbrug og scorer derfor højest.

Central rensning vil være forbundet med energiforbrug både til renseprocessen og til transport af spildevandet og den scorer derfor lavt på energi.

Risiko for utilsigtet udledning

Risikoen for utilsigtet udledning til recipient vurderes at være 0, da alle anlæg forudsættes at lede det rensede spildevand til kommunalt renseanlæg eller udbringer det på landbrugsjord, hvis kommunen kan godkende dette. Alle teknologier scorer derfor 5 på denne parameter.

Overholdelse af udlederkrav

Nanofilter og aktiv kul vurderes at give den største sikkerhed for at overholde udlederkravene (score = 5). For de øvrige teknologier vurderes det, at man kan komme meget tæt på de vejledende krav, og da mængderne der tilledes renseanlægget er meget små, scores også disse teknologier relativt højt på denne parameter (score = 4). Ved central rensning forudsættes det at de gældende udlederkrav fortsat overholdes.

Arbejdsmiljø

Den største arbejdsmiljørisko vil være udslip af ozon. Denne teknologi scorer derfor lavt på denne parameter. Øvrige teknologier vurderes at være mindre problematiske med hensyn til arbejdsmiljøet. Aktiv kul-løsningerne giver de mindste arbejdsmiljøbelastninger.

6.2.2 Teknik

Alle de undersøgte teknologier er kommercielt tilgængelige og scorer derfor højt på denne parameter. Der er lidt forskel på kompleksiteten af anlæggene, hvilket giver en mindre forskel i scoringen med hensyn til, hvor hurtigt de kan etableres. Der findes anlæg, hvor central rensning kan iværksættes umiddelbart.

6.2.3 Økonomi

Anlægs- og driftsomkostninger samt nutidsværdi

Anlægs-, driftsomkostninger og nutidsværdien (30 år, 4 % diskontering) er beregnet til følgende ud fra leverandørplysninger:

Renseløsning	Leverandør	Kapacitet, m ³ /h	Investering, kr.	Driftsudgifter, kr./m ³	Nutidsværdi, kr. (30 år, 4 %) ved 100 m ³ spildevand/år
H2O2 + UV	Holland	0,4	200.000	4,94	208.542
H2O2 + katalysator	Holland	0,48	245.000	4,45	252.695
Ozon	Holland	0,7	320.000	0,70	321.210
Aktivt kul	Danmark	0,1 - 1,5	42.000	6,33	52.946
NF + kul	Holland	1,25	335.000	4,10	342.090
Central rensning på Stignæs	Danmark	—	0	90	1.556.283

Årlige omkostninger ved rensning af gartnerispildevand

Med henblik på lettere at kunne sammenligne økonomien ved decentral og central rensning af spildevand fra væksthushusgartnerier, er der lavet en beregning af de årlige omkostninger ved 6 forskellige metoder, hvoraf den ene metode er transport med slamsuger og efterfølgende central rensning på Stignæs, og de 5

andre er decentrale løsninger hvor der etableres et mindre, lokalt renseanlæg på det enkelte gartneri.

Anlægs-, driftsomkostninger og nutidsværdi tager udgangspunkt i de beregninger, der er lavet i rapporten. Ud fra disse tal er der beregnet en årlig omkostning, der tager hensyn både til anlægsinvestering og driftsomkostninger. Hvis man løbende betaler den beregnede årlige omkostning, er der taget hensyn både til afskrivning af investeringen og driftsomkostningerne.

Der er en simpel sammenhæng mellem størrelsen af en annuitets faste betalinger og [nutidsværdien](#) heraf. Med konventionen, at betalinger sker ved udgangen af en termin, findes nutidsværdien PV ved:

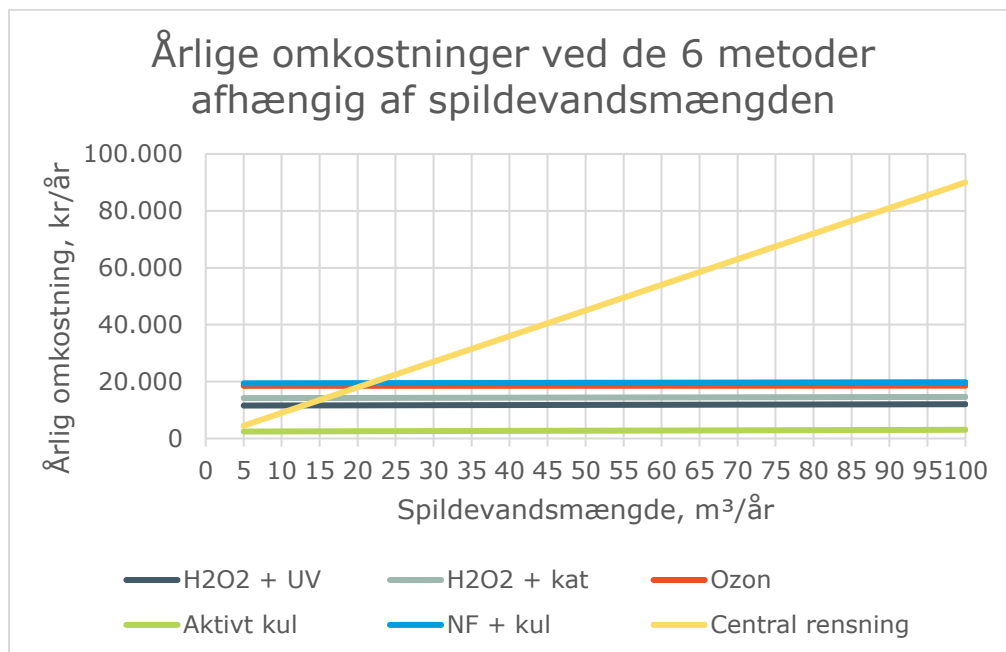
$$PV = y \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

hvor y er annuitetens faste betaling, r er den faste terminsrente [diskonteringsrente](#) og n antallet af terminer.

Det er således y der udregnes som den årlige omkostning.

De årlige omkostninger er desuden beregnet for forskellige spildevandsmængder fra 5 m³/år til 100 m³/år. (Se Figur 5). Der skal lægges mærke til, at vandmængderne er små, og de undersøgte anlæg har tilstrækkelig reservekapacitet til at kunne rense spildevandsmængder dækkende fra 5 m³/år til 100 m³/år (og for de fleste anlæg også betydeligt højere end 100 m³/år). Dette betyder, at for de undersøgte lokale løsninger er anlægsinvesteringen den største udgift, mens de årlige driftsomkostninger er forsvindende små (hvilket kan ses i figuren, hvor større spildevandsmængder kun medfører en ubetydelig stigning de årlige omkostninger).

Det fremgår af figuren, at decentral rensning med aktivt kul giver de laveste årlige omkostninger for alle spildevandsmængder. Næst billigste løsning er central rensning op til en spildevandsmængde på ca. 12 m³/år. Over denne spildevandsmængde bliver decentral rensning H₂O₂ + UV billigst (men aktivt kul er stadig billigere).



Figur 5 Sammenligning af årlige omkostninger ved forskellige rensemetoder afhængigt af gartneriets spildevandsmængde.

Proportionalitetsvurdering af rensning

Ifølge "Tal om gartneriet", 2016 varierede gartneriernes gennemsnitlige driftsomkostninger i 2015 fra 1.911.000 kr. til 14.221.000 kr. pr. gartneri, afhængigt af type og størrelse.

De årlige omkostninger (drift og afskrivning) for rensning af op til 100 m³ spildevand/år udgør mellem 3.062 kr. for aktiv kul-rensning og 90.000 kr. for central rensning. Det svarer til mellem 0,2 % og 4,7 % af de gennemsnitlige driftsomkostninger for de mindste gartnerier. Denne omkostning vurderes ikke at være ude af proportioner for gartneriernes drift, og aktiv kul-rensning er langt den billigste løsning.

6.2.4 Samlet score

Den samlede score viser, at aktiv kul-løsningen har den højeste score på 4,6 (ud af 5). Det, der har størst betydning for dette resultat, er de årlige omkostninger, idet der ikke er særlig stor forskel på de forskellige metoders evne til at rense spildevandet og på deres miljømæssige præstationer. På grund af de relativt beskedne driftsudgifter til kul er denne løsning ret ufølsom over for vandmængderne, og vil også være den billigste løsning ved lidt større vandmængder end 100 m³/år, men ved meget store vandmængder (over 3.000 m³/år) vil ozonbehandling blive den mest økonomiske løsning, fordi den har de laveste udgifter pr. m³ behandlet vand.

Aktiv kul-løsningen er dog ikke nødvendigvis den bedste løsning, hvis returvandet skal recirkuleres. Her vil ozonbehandling give bedre muligheder, men kræver også en ca. 5 gange større investering. De to billigste AOP-løsninger scorer begge 3,7.

Central rensning vurderes at være den dårligste løsning (med score 2,8), undtagen for gartnerier med meget små vandmængder (under 12 m³/år) og prisen stiger voldsomt med mængden af spildevand. Denne løsning giver endvidere ikke mulighed for recirkulering af spildevandet, og medfører også ekstra energiforbrug til transport og produktion af slam.

7 Bilag 1– Beskrivelse af renseteknologier

7.1 Brintperoxid (H₂O₂) + UV-lys

Metode	Brintperoxid + UV-lys
Kort metodebeskrivelse	Returvand med gødningssalte tilsættes en passende mængde brintperoxid (35 %) og belyses derefter med UV-lys. Herved katalyseres dannelsen af hydroxylradikaler, som oxiderer pesticider og andre organiske stoffer i returvandet. Metoden kan anvendes til rensning af returvand før udledning til kloak, men det rensede returvand, som er blevet desinficeret, kan også genbruges helt eller delvis. Det er ret almindeligt i Holland at etablere et anlæg, som både kan anvendes til rensning og desinfektion, da alle gartnerier har brug for at desinficere returvand, der genbruges. Ved investering i et anlæg med lille kapacitet kan det være nødvendigt at have en større buffertank til opbevaring af kasseret returvand. Så er der god tid til at behandle vandet, så man undgår at skulle kassere urensat returvand. Typisk procesforløb: Filtrering – kemikaliedosering – UV-belysning
Skitse/billede	 Billede af det hollandske Apollo Plus anlæg.

Metode	Brintperoxid + UV-lys												
Udviklingsstadium	Metoden, der også kaldes fotokemisk oxidation, har været anvendt i mange år til rensning af grundvand med miljøfremmede organiske stoffer. Det første anlæg i Danmark blev etableret i 1989 til rensning af grundvand forurenet med trichlorethylen (TRI). I Holland har man godkendt 4 forskellige anlæg af denne type til rensning af gartneri returvand for pesticider.												
Kommercielt tilgængelig	Kan leveres som færdig pakkeløsning til gartnerier fra fire forskellige hollandske firmaer. Kan leveres fra danske firmaer, der sælger kommercielle UV-anlæg og tilpasser dem til opgaven med et forfilter og brintperoxid dosering.												
Renseeffekt	De hollandske anlæg er godkendt, fordi de kan fjerne mindst 95 % af 11 udvalgte pesticider, der findes i en testblanding sammen med gødningssalte, mikronæringsstoffer og organisk stof. Imidachloprid skal i den hollandske test dog kunne fjernes > 99,5 %. Ifølge de hollandske leverandører vil man typisk kunne fjerne ca. 99,9 % af pesticiderne ved korrekt drift af anlægget. Renseeffekten afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har med UV-belysning, jo mere pesticid vil der blive nedbrudt. Også organiske stoffer nedbrydes i processen, men gødningssalte og andre uorganiske stoffer fjernes ikke.												
Kapacitet (m ³ /h)	De hollandske anlæg kan leveres i mange forskellige størrelser – typisk fra 0,4 m³/h til 4,8 m³/h. Specialbyggede danske anlæg kan formentlig også leveres med mindre kapacitet, hvis det ønskes. Et lille anlæg optager kun en gulvplads på 2-3 m² til selve udstyret, men hertil kommer eventuelle tanke og rørforbindelser.												
Investering	Priseksempel på investering i et hollandsk anlæg til 0,4 m³/h: <table> <tr> <td>Komplet UV-anlæg med filter og dosering:</td> <td>130.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Anslået tilbehør, installation og montage:</td> <td><u>70.000 kr.</u></td> </tr> <tr> <td>Total:</td> <td><u>200.000 kr.</u></td> </tr> </table> Priseksempel på investering i et hollandsk anlæg til 4,5 m³/h: <table> <tr> <td>Komplet UV-anlæg med filter og dosering:</td> <td>300.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Anslået tilbehør, installation og montage:</td> <td>100.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Total:</td> <td>400.000 kr.</td> </tr> </table> Det skal understreges, at udstyrspriserne kan variere en del afhængig af kvalitet og udformning af udstyret. Den anslåede pris til installation og montage kan også svinge meget, afhængigt af rørforbindelser og eksisterende el-installationer samt eventuelt behov for nye tanke.	Komplet UV-anlæg med filter og dosering:	130.000 kr.	Anslået tilbehør, installation og montage:	<u>70.000 kr.</u>	Total:	<u>200.000 kr.</u>	Komplet UV-anlæg med filter og dosering:	300.000 kr.	Anslået tilbehør, installation og montage:	100.000 kr.	Total:	400.000 kr.
Komplet UV-anlæg med filter og dosering:	130.000 kr.												
Anslået tilbehør, installation og montage:	<u>70.000 kr.</u>												
Total:	<u>200.000 kr.</u>												
Komplet UV-anlæg med filter og dosering:	300.000 kr.												
Anslået tilbehør, installation og montage:	100.000 kr.												
Total:	400.000 kr.												

Metode	Brintperoxid + UV-lys								
	Anlæg, som kan både køre desinfektion og rensning er lidt dyrere for samme renskapacitet, men til gengæld får man så samtidigt et komplet desinfektionssystem. Det vil normalt være billigere at købe et sådant kombi-anlæg end at købe rensanlæg og desinfektionsanlæg (vilkårlig type) hver for sig.								
Driftsudgifter	Driftsudgifterne kan estimeres således ved konstant drift, ca. 8000 h/år med 0,4 m³/h: <table> <tr> <td>35 % brintperoxid: 1200 kg á 3,50 kr.:</td><td>4.200 kr./år</td></tr> <tr> <td>El-forbrug: 8000 kWh á 0,70 kr.:</td><td>5.600 kr./år</td></tr> <tr> <td>Udskiftning af lamper: (12000 h levetid):</td><td><u>6.000 kr./år</u></td></tr> <tr> <td>Total:</td><td><u>15.800 kr./år</u></td></tr> </table> Det svarer til en driftsudgift på 4,94 kr./m³ rensset vand Her er ikke medregnet kapitalomkostninger, og der er ikke taget hensyn til tidsforbrug til vedligeholdelse og daglig drift. Driftsudgifterne pr. m³ rensset vand vil kun være en anelse lavere for et større anlæg.	35 % brintperoxid: 1200 kg á 3,50 kr.:	4.200 kr./år	El-forbrug: 8000 kWh á 0,70 kr.:	5.600 kr./år	Udskiftning af lamper: (12000 h levetid):	<u>6.000 kr./år</u>	Total:	<u>15.800 kr./år</u>
35 % brintperoxid: 1200 kg á 3,50 kr.:	4.200 kr./år								
El-forbrug: 8000 kWh á 0,70 kr.:	5.600 kr./år								
Udskiftning af lamper: (12000 h levetid):	<u>6.000 kr./år</u>								
Total:	<u>15.800 kr./år</u>								
Energiforbrug	Varierer fra 1,4 til 1,7 kWh/m ³ ifølge oplysninger fra hollandske leverandører								
Ressourceforbrug	Forbrug af brintperoxid afhænger blandt andet af, hvor meget organisk stof, der bliver oxideret ved rensningen. Der skal formentlig doseres 25-100 ppm brintperoxid svarende til 75-300 g 35 % brintperoxid pr. m ³ vand.								
Fordele	> Anlægget fylder ikke ret meget, og det er simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er minimal. > Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon. > Da urenheder nedbrydes til vand og kuldioxid dannes der ingen faste affaldsprodukter. > Det behandlede vand er samtidig blevet desinficeret, hvilket kan være en stor fordel, hvis det rensede returvand skal genbruges.								
Ulemper	> Der er en risiko for, at der ved nedbrydning af pesticider kan dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved rensprocessen. Denne problemstilling undersøges tilsyneladende ikke i den hollandske afprøvningsmetode. > Vandet skal være transparent, så UV-lyset ikke svækkes for meget ved gennemlysning. > Der kan dannes belægninger på lampeglasset, som svækker lysgennemgangen. Derfor bør anlægget være forsynet med et automatisk afrensningssystem for lampeglassene. Afrensningen kan foretages med mekaniske skrabere eller med syre. > Lampernes lysstyrke reduceres med alderen. Derfor bør anlægget være forsynet med en UV-lysstyrkemåler, så der automatisk kan								

Metode	Brintperoxid + UV-lys
	komponeres for faldende intensitet ved at øge tilsvarende for lamperne lysstyrke, så lysintensiteten holdes konstant. > Ved denne rensning metode fjernes ikke næringssalte, og derfor kan vandet ikke udledes til recipient, men det skal udledes til offentligt rensningsanlæg.
Referencer	4 hollandske leverandører af godkendt hollandsk udstyr: Enthoven Techniek BV, http://www.enthoventechniek.nl/ e-mail: info@patronagrisystems.nl HortiMax BV, www.hortimax.com, e-mail: sales@hortimax.com WaterQ BV, www.waterq.com, e-mail: info@waterq.com Priva BV, www.priva.com e-mail: contact.priva@priva.nl

7.2 Brintperoxid og katalysator

Metode	Brintperoxid + faststof katalysator
Kort metodebeskrivelse	Returvand med gødningssalte tilsættes en passende mængde brintperoxid (35 %) og pumpes derefter igennem et keramisk filter, der er coated med et lag katalysator. Når brintperoxid kommer i berøring med den faste katalysator dannes der hydroxylradikaler, som oxiderer pesticider og andre organiske stoffer i returvandet. Metoden kan anvendes til rensning af returvand før udledning til kloak, men det rensede returvand, som er blevet desinficeret, kan også genbruges helt eller delvis. Det er ret almindeligt i Holland at etablere et anlæg, som både kan anvendes til rensning og desinfektion, da alle gartnerier har brug for at kunne desinficere returvand, der skal genbruges. Ved investering af et anlæg med lille kapacitet kan det være nødvendigt at have en større buffertank til opbevaring af kasseret returvand. Så er der god tid til at behandle vandet, så man undgår at skulle kassere urensset returvand. Typisk procesforløb: Forfiltrering – kemikaliedosering – keramisk filter med faststof katalysator

Metode	Brintperoxid + faststof katalysator
Skitse/billede	 Billede af det hollandske anlæg "Opticlear Diamond" E4-8 med en kapacitet på 0,48 m³/h.
Udviklingsstadium	Metoden er forholdsvis ny, og der er ingen anlæg af denne type i drift i Danmark så vidt vides. Metoden minder om processen med H ₂ O ₂ + UV-lys, da begge danner hydroxylradikaler ud fra brintperoxid. I Holland findes der et enkelt anlæg af denne type godkendt til fjernelse af pesticider i gartneri returvand.
Kommercielt tilgængelig	Kan leveres som færdig pakkeløsning til gartnerier fra et enkelt hollandsk firma. Det hollandske firma tilbyder også, at anlægget kan udvides med et nanofilter og et RO-anlæg, for at genvinde gødningssalte og rent vand. Så vidt vides findes ingen danske leverandører af denne type renseudstyr.
Renseeffekt	De hollandske anlæg er godkendt, fordi de kan fjerne mindst 95 % af 11 udvalgte pesticider, der findes i en testblanding sammen med gødningssalte, mikronæringsstoffer og organisk stof. Imidacloprid skal i den hollandske test dog kunne fjernes > 99,5 %. Ifølge de hollandske leverandører vil man typisk kunne fjerne 95-99 % af pesticiderne ved korrekt drift af anlægget. Renseeffekten afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har i kontakt med katalysatoren, jo mere pesticid vil der blive nedbrudt. Også andre organiske stoffer nedbrydes i processen, men gødningssalte og andre uorganiske stoffer fjernes ikke.
Kapacitet (m ³ /h)	De hollandske anlæg kan leveres i mange forskellige størrelser – typisk fra 0,48 m³/h til 60 m³/h. Et lille anlæg optager kun en gulvplads på ca. 2 m² til selve udstyret, som har en højde på 2,5 m. Hertil kommer eventuelle tanke og rørforbindelser.
Investering	Priseksempel på investering i et hollandsk renseanlæg til 0,48 m ³ /h:

Metode	Brintperoxid + faststof katalysator
	Komplet katalytisk filter og dosering: 175.000 kr. Anslået tilbehør, installation og montage: <u>70.000 kr.</u> Total: <u>245.000 kr.</u> Priseksempel på investering i et hollandsk anlæg med både rensning og desinfektion til 0,96 m³/h: Komplet katalytisk filter og dosering: 275.000 kr. Anslået tilbehør, installation og montage: <u>75.000 kr.</u> Total: <u>350.000 kr.</u> Det skal understreges, at udstyrspriserne kan variere en del afhængig af kvalitet og udformning af udstyret. Man kan også forvente, at prisen på hollandsk udstyr vil være højere i Danmark end i Holland. Den anslåede pris til installation og montage kan også svinge meget afhængig af rørforbindelser og eksisterende el-installationer samt eventuelt behov for nye tanke. Anlæg, som kan både køre desinfektion og rensning er lidt dyrere for samme renskapacitet, men til gengæld får man så samtidigt et komplet desinfektionssystem. Det vil normalt være billigere at købe et sådant kombi-anlæg end at købe rensanlæg og desinfektionsanlæg (vilkårlig type) hver for sig.
Driftsudgifter	Driftsudgifterne kan estimeres således ved konstant drift, ca. 8000 h/år med 0,48 m³/h: 35 % brintperoxid: 1200 kg á 3,50 kr.: 4.200 kr./år El-forbrug: 7000 kWh á 0,70 kr.: 4.900 kr./år Reaktivering af katalysator: <u>8.000 kr./år</u> Total: <u>17.100 kr./år</u> Det svarer til en driftsudgift på 4,45 kr./m³ rensset vand Her er ikke medregnet kapitalomkostninger, og der er ikke taget hensyn til tidsforbrug til vedligeholdelse og daglig drift. Driftsudgifterne pr. m³ rensset vand vil være lavere for et større anlæg.
Energiforbrug	Varierer fra 1,0 til 1,8 kWh/m ³ ifølge oplysninger fra hollandske leverandører
Ressourceforbrug	Forbrug af brintperoxid afhænger blandt andet af, hvor meget organiske stof, der bliver oxideret ved rensningen. Der skal formentlig doseres 25-100 ppm brintperoxid svarende til 75-300 g 35 % brintperoxid pr. m ³ vand.
Fordele	> Anlægget fylder ikke ret meget, og det er simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er minimal.

Metode	Brintperoxid + faststof katalysator
	> Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon. > Da urenheder nedbrydes til vand og kuldioxid dannes der ingen rest affaldsprodukter. > Det behandlede vand er samtidig blevet desinficeret med en faktor 1000, hvilket kan være en stor fordel, hvis det rensede returvand skal genbruges. > Metoden virker uanset om vandet er transparent eller ej.
Ulemper	> Der er risiko for, at der ved nedbrydning af pesticider dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved renseprocessen. Denne problemstilling undersøges tilsyneladende ikke i den hollandske afprøvningsmetode. > Katalysatoren forbruges og skal fornyes ca. én gang årligt. > Ved denne rensemetode fjernes ikke næringssalte, og derfor kan vandet ikke udledes til recipient, men skal udledes til offentlig spildevandskloak.
Referencer	2 hollandske leverandører af godkendt hollandsk udstyr. Fast installation: Water IQ International BV, https://www.wateriq.nl/ E-mail: mail@wateriq.nl Mobilt anlæg: Waterson B.V., www.waterson.nl E-mail: info@waterson.nl

7.3 Rensning med ozon

Metode	Ozon
Kort metodebeskrivelse	Returvand med gødningssalte tilsættes en passende mængde ozon, der kan fremstilles i en ozongenerator med ilt, som dannes i en ilt-generator ud fra luft. Processen finder sted i en reaktor, hvor ozon udnyttes optimalt. Ozon er et meget kraftigt iltningsmiddel, der også kan danne hydroxylradikaler. Ozon kan ilte de fleste pesticider og organiske stoffer, hvis ozonkoncentrationen er passende høj og reaktionstiden er lang nok. I det godkendte hollandske anlæg kører processen batchvis, idet der tilsættes maximal ozonmængde hele tiden. Ved måling af redoxpotential i vandet kan man måle, når der er tilsat nok ozon. Man kunne ikke oplyse, hvor meget ozon anlægget kunne generere. Det samme anlæg kan både bruges til rensning af returvand, før udledning til kloak, og til desinfektion. Der tilsættes 3-4 gange så meget ozon til rensning som til desinfektion. Anlægget kan køre fuldautomatisk styret af en PLC. Det kan også betjenes med en App fra en mobiltelefon. Reaktoren er helt lukket, så der ikke kan slippe ozon ud, før vandet kommer ud af reaktoren. Der leveres en ozon-rumdetektor, der placeres i det rum, hvor ozonanlægget er placeret. Overskrides den gældende ozonkoncentration i luften, slukker ozongeneratoren au-

Metode	Ozon
	tomatisk. Det danske firma O3 Nordic har foreslået en løsning til et anlæg, der behandler 1,5 m³/h. Her kan doseres 20 g ozon pr. time. Hvor vidt doseringen er tilstrækkelig vil bl.a. afhænge af vandets indhold af organiske stoffer. Derfor er doseringsmængden kun et estimat, og det kan vise sig, at behovet er større, hvilket giver lavere kapacitet (m³/h). Anlægget er et lavprisanlæg uden styring af ozonkoncentrationen i vandet. Der doseres den ozonmængde, som generatoren kan give ud fra den tilsatte luftmængde, der kan justeres manuelt efter behov. Ozon vil efterhånden nedbrydes, og nedbrydningshastigheden afhænger af vandets pH og sammensætning. I almindeligt postevand vil ozonkoncentrationen normalt halveres på 15 minutter. Ved nedbrydningen dannes ilt. Ozonbehandlet returvand er glimrende at genbruge til vanding af blomster, fordi det er blevet desinficeret af ozon og indeholder en del ilt. Typisk procesforløb: Filtrering – ozonbehandling
Skitse/billede	 HortiZone anlæg fra Holland med en kapacitet på 0,7 eller 1,2 m³/h. PLC-Styreskab i forgrunden og reaktionstank i baggrunden.  Ozonanlæg fra O3 Nordic med 3 stålreaktorer samt ozon- og iltgenerator. Anlæg, der generere 20 g ozon pr. time kan behandle op til 1,5 m³/h.
Udviklingsstadium	Ozonbehandling af spildevand har været anvendt i Danmark og mange andre lande i mange år. Det er noget nyt inden for gartnerisektoren, hvor det netop er slået igennem i Holland. Ozonbehandling anvendes også som supplerende metode ved biologisk behandling af spildevand med svært nedbrydelige stoffer. I Danmark anvendes det således som supplement i forbindelse med rensning af hospitalsspildevand med svært nedbrydelige medicinrester.
Kommercielt tilgængelig	Kan leveres som færdig pakked løsning til gartnerier fra et hollandsk firma. Flere danske firmaer kan også levere ozonanlæg til spildevandsrensning, og de kan formentlig let tilpasse anlæggene, så de kan anvendes til rensning og desinfektion af returvand på gartnerier.
Renseeffekt	Det hollandske anlæg er godkendt, fordi de kan fjerne mindst 95 % af 11 udvalgte pesticider, der findes i en testblanding sammen med

Metode	Ozon
	gødningssalte, mikronæringsstoffer og organisk stof. Imidachloprid skal i den hollandske test dog kunne fjernes > 99,5 %. Derfor ved man, at ozon kan anvendes til rensning af pesticidholdigt returvand. Renseeffekten afhænger af reaktionstiden og ozondoseringen. Jo længere reaktionstid og jo højere ozonkoncentration, jo mere pesticid vil der blive nedbrudt. Returvand med meget organisk stof forbruger mere ozon, men ikke alle organiske stoffer nedbrydes lige let. Næringssalte og andre uorganiske stoffer fjernes ikke med ozon.
Kapacitet (m ³ /h)	De hollandske anlæg kan leveres i mange forskellige størrelser – typisk fra 0,7 m³/h til 10 m³/h, når anlæggene anvendes til rensning af returvandet. Det samme anlæg kan anvendes til desinfektion. Ved desinfektion er kapaciteten 3-4 gange større end ved rensning, fordi der tilsættes mindre ozon. Specialbyggede danske anlæg kan formentlig også leveres med mindre kapacitet, hvis det ønskes. Et lille anlæg optager kun en gulvplads på 1-2 m² til selve udstyret, men hertil kommer eventuelle tanke og rørforbindelser.
Investering	Priseksempel på investering i et hollandsk batch-anlæg til 0,7 m³/h: Ilt- og ozongenerator, reaktionstank, styreskab: 250.000 kr. Anslået tilbehør, installation og montage: <u>70.000 kr.</u> Total: <u>320.000 kr.</u> Priseksempel på investering i et dansk kontinuert anlæg til 1,5 m³/h og 20 g ozon pr. time: Komplet med 2 reaktorer +ilt- og ozongenerator: 175.000 kr. Anslået tilbehør, installation og montage: <u>50.000 kr.</u> Total: <u>225.000 kr.</u> Det skal understreges, at udstyrspriserne kan variere en del afhængig af kvalitet og udformning af udstyret. Den anslåede pris til installation og montage kan også svinge meget afhængig af rørforbindelser og eksisterende el-installationer samt eventuelt behov for nye tanke. Det hollandske anlæg har styring af doseringen, så der kun doseres den nødvendige mængde ozon. Kan også styres via app på mobiltelefon. Det danske anlæg har slet ikke noget styreskab, og det skal blot tilsluttes almindelig 220 V stikkontakt. Det hollandske anlæg kan på både anvendes til rensning og til desinfektion. Styreprogrammerne er forskellige, da ozondoseringen er forskellig.
Driftsudgifter	For det hollandske anlæg kan driftsudgifterne estimeres således med 2000 driftstimer pr. år til rensning 1400 m³ returvand:

Metode	Ozon
	El-forbrug: 1400 kWh á 0,70 kr.: <u>980 kr./år</u> Det svarer til en driftsudgift på 0,70 kr./m³ rensat vand. Ved anvendelse til desinfektion vil driftsudgifterne være ca. 0,20 kr./m³. Det danske firma O3 Nordic har givet disse oplysninger om driftsudgifter for et anlæg der kan rense 1,5 m³/h i 2000 h/år: El: 2000 h/år x 0,8 kWh = 1600 kWh á 0,70 kr.: <u>1120 kr./år</u> Det svarer til en driftsudgift på 0,37 kr./m³ rensat vand. O3 Nordic kan tilbyde en serviceaftale, der koster 1950 kr./måned, og den dækker 1-3 besøg pr. måned. O3 Nordic kan også tilbyde at levere anlægget baseret på en leasingaftale. Anlægget kan f.eks. leveres fastmonteret i en container. Leasingprisen er 6.500 kr./måned svarende til 78.000 kr./år. Serviceaftale er inkluderet. Minimum leasingperiode er 5 år. Her er ikke medregnet kapitalomkostninger, og der er ikke taget hensyn til tidsforbrug til vedligeholdelse og daglig drift. Driftsudgifterne pr. m³ rensat vand vil kun være en anelse lavere for et større anlæg.
Energiforbrug	0,6- 1,0 kWh/m ³
Ressourceforbrug	Ingen
Fordele	> Da organiske urenheder nedbrydes til vand og kuldioxid dannes der ingen affaldsprodukter. > Anlægget fylder ikke ret meget, og det er simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er minimalt. > Ved denne metode anvendes ingen kemikalier – kun elektricitet. > Det behandlede vand er samtidig blevet desinficeret, hvilket kan være en stor fordel, hvis det rensede returvand genbruges.
Ulemper	> Der er risiko for, at der ved nedbrydning af pesticider kan dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved renseprocessen. Denne problemstilling undersøges tilsyneladende ikke i den hollandske afprøvningsmetode. > Der skal tages forholdsregler, så der ikke afgives for store mængder ozon til luften i det lokale, hvor anlægget er placeret. Derfor skal der være en ozonmåler i rummet, så anlægget automatisk stopper i tilfælde af for høj ozonkoncentration. > Ved denne rensemetode fjernes ikke næringssalte, og derfor kan vandet ikke udledes til recipient, men det skal udledes til offentligt rensesanlæg.
Referencer	Der er én hollandsk leverandør af godkendt udstyr, som er leveret til flere hollandske gartnerier:

Metode	Ozon
	AgroZone IE BV, http://www.agrozone.nl/ E-mail: info@agrozone.nl Udvalgte danske leverandører af ozonanlæg: O3 Nordic, Telefon: 31458118, E-mail: na@O3nordic.com O3 Nordic har leveret flere ozonanlæg i Danmark til rensning af forurenede grundvand, men man har endnu ingen erfaringer med rensning af returvand fra gartnerier.

7.4 Filtrering med aktiv kul

Metode	Aktivt kul
Kort metodebeskrivelse	Returvand med gødningssalte kan delvis renses i et aktivt kul-filter, der består af en beholder fyldt med granuleret kul. I kullene bindes en del af det organiske stof i returvandet samt en stor del af pesticiderne. Man kan dog ikke forvente, at alle pesticider kan fjernes i et kulfilter, og det må komme an på en prøve, om et kulfilter er en tilstrækkelig løsning til rensning af noget specifikt returvand. Undertiden kan det svare sig at have to kulfiltre i serie. På den måde kan man få optaget maksimal mængde organisk stof, uden at det går ud over rensnings-effektiviteten, fordi vandet til sidst løber igennem en næsten rent kulfilter. Når det første filter er helt mættet, skal det udskiftes, hvorefter man bytter om på rækkefølgen, så det helt nye filter bliver placeret til sidst. Aktivt kul vil også kunne anvendes i forbindelse med andre rensemetoder. Det vides, at aktivt kul kan anvendes ved biologisk rensning af spildevand med pesticider eller andre miljøfremmede stoffer. En af de godkendte hollandske rensemetoder anvender aktivt kul til efterrensning af pesticidholdigt returvand, som først er filtreret i et nanofilter. Da aktivt kul også binder andet organisk materiale, vil returvand med høj koncentration af organisk stof forbruge meget mere kul end returvand med lav koncentration af organisk stof. Derfor vil en løsning med aktivt kul især være økonomisk, hvis det organiske stof først er blevet fjernet – f.eks. ved kemisk oxidation eller nanofiltrering. Når kullene er mættet med pesticider og organisk stof, skal de udskiftes med nye kul, og de brugte kul sendes til destruktion eller regenerering. Et kulfilter kan laves som en fast installation, hvor beholderen tømmes og fyldes med kul på stedet. Det kan også være en fleksibel installation, hvor hele beholderen udskiftes og erstattes med en ny. Typisk procesforløb: Forfiltrering – aktivt kul-filter

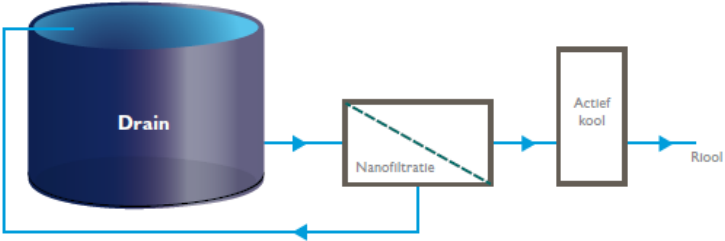
Metode	Aktivt kul																																				
	kulfilter. Vi kender ikke rensegraden i de to filtre hver især, men den samlede løsning kan fjerne 10 udvalgte pesticider med mindst 95 % og imidacloprid med mindst 99,5 %. Renseeffekten afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har i kontakt med aktivt kul, jo bedre vil renseeffekten blive. Vandets indhold af andre organiske stoffer, der kan tilbageholdes i aktivt kul kan påvirke renseeffektiviteten for pesticider. Næringssalt og andre uorganiske stoffer fjernes ikke i et kulfilter.																																				
Kapacitet (m³/h)	Filtre med aktivt kul kan leveres i næsten alle størrelse. Kontakttiden skal typisk være 10-15 minutter for at opnå optimal tilbageholdelse af pesticider. Små kulfiltre med 75 kg kul (ca. 200 liter beholder) kan derfor sagtens rense op til 1 m³/h og eventuelt mere. Et lille kulfilter med et posefilter som forfilter optager kun meget lidt gulvplads (ca. 1 m²). Hertil kommer eventuelle tanke og rørforbindelser.																																				
Investering	<u>Priseksempel A</u>: Et fast installeret kulfilter med 100 kg kul, med styring, monteret på ramme med posefilter som forfilter samt pumpe. Kapacitet: max. 2 m³/h. Rammemonteret kulfilter + pumpe + forfilter: 50.000 kr. Anslået tilbehør, installation og montage: <u>25.000 kr.</u> Total: <u>75.000 kr.</u> <u>Priseksempel B</u>: Investering i en løsning med et 1-gangs kulfilter med 75 kg kul samt forfilter og pumpe. Kapacitet: max. 1,5 m³/h: 1-gangs kulfilter med 75 kg kul: 7.000 kr. Forfilter, pumpe, installation og montage: <u>35.000 kr.</u> Total: <u>42.000 kr.</u> Den anslåede pris til installation og montage kan svinge meget afhængig af rørforbindelser og eksisterende el-installationer samt eventuelt behov for nye tanke.																																				
Driftsudgifter	Kulforbruget til to forskellige typer vand fremgår af skemaet: <table><tr><td></td><td>Eks. 1</td><td>Eks. 2</td><td>Eks. 3</td></tr><tr><td></td><td colspan="2">Pesticid + org. stof</td><td>Kun pesticid</td></tr><tr><td>Pesticid i vand, µg/l</td><td>204</td><td>204</td><td>204</td></tr><tr><td>Organisk stof i vand, mg/l</td><td>30</td><td>10</td><td>0</td></tr><tr><td>Optagelse i kul</td><td>20,00 %</td><td>20,00 %</td><td>20,00 %</td></tr><tr><td>Kulforbrug: g/m³</td><td>151</td><td>51</td><td>1,02</td></tr><tr><td>Rensekapacitet: m³/kg kul</td><td>6,62</td><td>19,60</td><td>980</td></tr><tr><td>Kul + bortskaffelse, kr./kg</td><td>35,00</td><td>35,00</td><td>35,00</td></tr><tr><td>Pris på kulrensning, kr./m³</td><td>5,29</td><td>1,79</td><td>0,0357</td></tr></table>		Eks. 1	Eks. 2	Eks. 3		Pesticid + org. stof		Kun pesticid	Pesticid i vand, µg/l	204	204	204	Organisk stof i vand, mg/l	30	10	0	Optagelse i kul	20,00 %	20,00 %	20,00 %	Kulforbrug: g/m³	151	51	1,02	Rensekapacitet: m³/kg kul	6,62	19,60	980	Kul + bortskaffelse, kr./kg	35,00	35,00	35,00	Pris på kulrensning, kr./m³	5,29	1,79	0,0357
	Eks. 1	Eks. 2	Eks. 3																																		
	Pesticid + org. stof		Kun pesticid																																		
Pesticid i vand, µg/l	204	204	204																																		
Organisk stof i vand, mg/l	30	10	0																																		
Optagelse i kul	20,00 %	20,00 %	20,00 %																																		
Kulforbrug: g/m³	151	51	1,02																																		
Rensekapacitet: m³/kg kul	6,62	19,60	980																																		
Kul + bortskaffelse, kr./kg	35,00	35,00	35,00																																		
Pris på kulrensning, kr./m³	5,29	1,79	0,0357																																		

Metode	Aktivt kul																				
	I eksempel 1 renses hollandsk testvand med 11 pesticider og andet organiske stof. Det svarer formentlig til returvand fra danske gartnerier, der dyrker grøntsager. Eksempel 2 svarer til eksempel 1, blot er indholdet af organiske stof tre gange lavere. Det svarer formentlig til returvand fra danske blomstergartnerier. I eksempel 3 er der ligeledes de 11 pesticider, men her er det organiske stof væk. Der forudsættes, at kullene optager 20 % stof i forhold til egen vægt, samt at alt organisk stof optages. Hvis både pesticid og organisk stof optages kan man i Eks. 1 med 1 kg kul rense 6,62 m³ returvand, hvilket koster 5,29 kr./m³ til indkøb og bortskaffelse af kul. I Eks. 2 kan man med 1 kg kul rense 19,6 m³ returvand, hvilket koster 1,79 kr./m³. Hvis alt andet organisk stof end pesticid er fjernet fra vandet først (Eks. 3), kan man med 1 kg kul rense 980 m³ returvand, hvilket koster 0,0357 kr./m³ til kul. Som det fremgår af eksemplet, har returvandets indhold af andre organiske stoffer meget stor betydning for driftsøkonomien for et kulfilter. Driftsudgifterne er beregnet på ovenstående Eksempel A og B ved behandling af 500 m³ returvand pr. år med samme sammensætning som det hollandske testvand (Eks. 1). Hvis man derimod anvender sammensætningen fra Eks. 2, vil udgifter til kul og bortskaffelse kun blive 1/3, hvilket har meget stor indflydelse på prisen pr. m³ rensed returvand. Sammenligning af driftsudgifter ved rensning af vand svarende til eks. 2 i ovenstående skema. Kulforbrug = 51 g/m³. Vandmængde 1480 m³ svarende til et kulforbrug på 75,5 kg. Løsning A er et stationært kulfilter. Løsning B er et 1-gangs kulfilter. Eksempel A: <table> <tr> <td>75,5 kg aktivt kul á 30 kr./kg:</td><td>2.265 kr./år</td></tr> <tr> <td>El-forbrug: 250 kWh á 0,70 kr.:</td><td>175 kr./år</td></tr> <tr> <td>5 poser til posefilter:</td><td>650 kr./år</td></tr> <tr> <td>Bortskaffelse af kul: 7,05 kr./kg:</td><td><u>532 kr./år</u></td></tr> <tr> <td>Total:</td><td><u>3.622 kr./år</u></td></tr> </table> Det svarer til en driftsudgift på 2,45 kr./m³ rensed returvand. Eksempel B: <table> <tr> <td>75,5 kg aktivt kul (engangs filter)</td><td>7.050 kr./år</td></tr> <tr> <td>El-forbrug: 250 kWh á 0,70 kr.:</td><td>175 kr./år</td></tr> <tr> <td>5 poser til posefilter:</td><td>650 kr./år</td></tr> <tr> <td>Bortskaffelse af kul:</td><td><u>1.500 kr./år</u></td></tr> <tr> <td>Total:</td><td><u>9.375 kr./år</u></td></tr> </table> Det svarer til en driftsudgift på 6,33 kr./m³ rensed returvand. Denne pris er baseret på et kulforbrug på 51 g/m³, hvilket er et realistisk tal for blomstergartnerier, hvorimod prisen kan blive lidt højere for grøntsagsgartnerier (typisk det dobbelte), hvor der kan være lidt mere organisk stof i vandet. Her er ikke medregnet kapitalomkostninger, og der er ikke taget hensyn til tidsforbrug til vedligeholdelse og daglig drift. Driftsudgifterne pr. m³ rensed vand vil være lavere for et større anlæg.	75,5 kg aktivt kul á 30 kr./kg:	2.265 kr./år	El-forbrug: 250 kWh á 0,70 kr.:	175 kr./år	5 poser til posefilter:	650 kr./år	Bortskaffelse af kul: 7,05 kr./kg:	<u>532 kr./år</u>	Total:	<u>3.622 kr./år</u>	75,5 kg aktivt kul (engangs filter)	7.050 kr./år	El-forbrug: 250 kWh á 0,70 kr.:	175 kr./år	5 poser til posefilter:	650 kr./år	Bortskaffelse af kul:	<u>1.500 kr./år</u>	Total:	<u>9.375 kr./år</u>
75,5 kg aktivt kul á 30 kr./kg:	2.265 kr./år																				
El-forbrug: 250 kWh á 0,70 kr.:	175 kr./år																				
5 poser til posefilter:	650 kr./år																				
Bortskaffelse af kul: 7,05 kr./kg:	<u>532 kr./år</u>																				
Total:	<u>3.622 kr./år</u>																				
75,5 kg aktivt kul (engangs filter)	7.050 kr./år																				
El-forbrug: 250 kWh á 0,70 kr.:	175 kr./år																				
5 poser til posefilter:	650 kr./år																				
Bortskaffelse af kul:	<u>1.500 kr./år</u>																				
Total:	<u>9.375 kr./år</u>																				

Metode	Aktivt kul
Energiforbrug	Anslået til 0,5 kWh/m ³
Ressourceforbrug	Forbrug af aktivt kul beregnet til 0,051 kg pr. m ³ rensat returvand. Dette tal forudsætter lav koncentration af organisk stof, hvilket er målt på danske blomstergartnerier. Grøntsagsgartnerier kan have lidt højere koncentration af organisk stof, så kulforbruget kan komme op på 0,10 kg/m ³ eller måske endda lidt højere.
Fordele	> Der dannes ingen toksiske nedbrydningprodukter af pesticider. > Anlægget fylder ikke ret meget, og det er simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er minimal. > Der anvendes ingen kemikalier. > Metoden virker uanset om vandet er transparent eller ej.
Ulemper	> Aktivt kul kan ikke fjerne alle pesticider. Derfor kan det være nødvendigt at kombinere metoden med andre rensemetoder. > Når kullene er mættede skal de udskiftes og sendes til regenerering eller destruktion. > Et kulfilter kan stoppe til, hvis ikke der er en god forfiltrering > Ved denne rensemetode fjernes ikke næringssalte, og derfor kan vandet ikke udledes til recipient, men det skal udledes til offentligt renseanlæg.
Referencer	Udvalgte danske leverandører af kulfiltre: Chemviron Carbon: http://www.chemviron.eu/ e-mail: sgroenbjerg@calgoncarbon.com Aage Christensen A/S, https://www.aagechristensen.dk/aktivt-kulfilter.aspx , e-mail: info@aagechristensen.dk Kemic Vandrens A/S, http://www.kemic.dk/ E-mail: kemic@kemic.dk Silhorko A/S, https://www.silhorko.dk/ E-mail: info.dk@silhorko.dk BWT Water, http://www.bwt.dk/da/Sider/default.aspx Email: bwt@bwt.dk

7.5 Nanofiltrering kombineret med aktiv kul

Metode	Nanofiltrering og aktivt kul
Kort metodebeskrivelse	Ved genbrug af returvand i gartnerierne er der risiko for akkumulering af en række uønskede stoffer som pesticider, natrium, væksthæmmere samt organisk stof og uorganiske salte. Derfor kan der være behov for delvis udskiftning af returvandet. Også ubalance i næringssaltene kan gøre det nødvendigt at udskifte noget returvand. I Holland har man meget fokus på akkumulering af natrium. Det skyldes

Metode	Nanofiltrering og aktivt kul at der tilføres natrium fra råvand og mange andre steder, og da natrium ikke optages af planterne, vil det akkumuleres i returvandet, hvilket efterhånden kan reducere planterers vandoptagelse, når saltkoncentrationen i vandet bliver stor. De danske gartnerier er blevet dygtige til at forhindre overløb fra returkarret og genbruge det meste returvand. På blomstergartnerierne vil 70-95 % af det vand, som bruges til vanding af blomsterne være genbrugt returvand. Det kræver blandt andet, at returvandet desinficeres, og at man kan styre sammensætningen af gødningsalte i vandet. Det er straks vanskeligere at genbruge så meget vand på grøntsagsgartnerierne, fordi der overvandes mindre. Her er typisk kun have 15-25 % genbrugsvand, når man vander grøntsager. I Holland har man udviklet en metode, som kan rense det overskuds returvand, som udledes til kloak, samt genanvende knap halvdelen af næringssaltene. Metoden består af forfiltrering i et ultrafilter efterfulgt af nanofiltrering og et aktivt kulfilter før udledning til kloak. I nanofilteret tilbageholdes en del organisk stof og pesticider samt en del næringssalte. Denne væske genbruges til vanding. Det rensede vand fra nanofilteret indeholder rester af pesticider samt nogle monovalente ioner – først og fremmest natrium. Dette vand efterrenses i et aktivt kul-filter, som fjerner de sidste pesticidrester, så vandet kan ledes i kloak. Der er også mulighed for at behandle det rensede vand i et RO-anlæg. På den måde kan man udvinde 80 % helt rent vand, som kan bruges til vanding, mens kun 20 % går i kloakken. Procesforløb: UF-forfilter – nanofilter – aktivt kul – evt. RO
Skitse/billede	  Billede af det hollandske anlæg "Poseidon" med UF + NF + aktivt kul

Metode	Nanofiltrering og aktivt kul												
	Returkar – nanofilter – aktivt kulfilter												
Udviklingsstadium	Et nanofilter med aktivt kul er godkendt i Holland, og det anvendes af flere hollandske gartnerier. Leverandøren slår på, at det er den bedste måde at få natrium ud af returvandets uden samtidig at miste alle næringssaltene.												
Kommercielt tilgængelig	Kan leveres som færdig pakkeløsning til gartnerier fra et enkelt hollandsk firma. Det hollandske firma tilbyder også, at anlægget kan udvides med et RO-anlæg, hvorved man kan udvinde 80 % af det vand, som ellers går i kloakken. Det udvundne vand betegnes ofte RO-vand. Det har meget lavt saltindhold (typisk en ledningsevne på 10-20 $\mu\text{S}/\text{cm}$) og er fri for pesticider, mikroorganismer og organiske stoffer Det vurderes, at lignende anlæg også vil kunne leveres fra danske vandbehandlingsfirmaer, der generelt har stor erfaring i at anvende og sælge udstyr med membraner. Der ligger formentligt noget know-how i at anvende den bedste egnede NF-membran, da det har stor betydning for den adskillelse, der opnås i nanofilteret.												
Renseeffekt	Det hollandske anlæg er godkendt i Holland, fordi de kan fjerne mindst 95 % af 11 udvalgte pesticider, der findes i en testblanding sammen med gødningssalte, mikronæringsstoffer og organisk stof. Imidacloprid skal i den hollandske test dog kunne fjernes > 99,5 %, og her er anlægget endnu ikke godkendt. Renseeffekten i kulfilteret afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har i kulfilteret, jo mere pesticid vil der blive adsorberet. Der kan forventes særlig god renseseffekt i kulfilteret, fordi de fleste pesticider og organiske stoffer er tilbageholdt i nanofilteret.												
Kapacitet (m^3/h)	De hollandske anlæg kan leveres i mange forskellige størrelser – fra 0,5 m^3/h til 5,0 m^3/h. Et anlæg til 1,25 m^3/h optager en gulvplads på ca. 5 m^2 til selve udstyret, som har en højde på 2,3 m. Suppleres der med et RO-anlæg kræves ca. 6 m^2 gulvplads.												
Investering	Priseksempel på investering i et hollandsk med UF + NF + kul til 1,25 m^3/h: <table> <tr> <td>UF + NF + kulfilter monteret på ramme:</td> <td>275.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Anslået tilbehør, installation og montage:</td> <td><u>60.000 kr.</u></td> </tr> <tr> <td>Total:</td> <td><u>335.000 kr.</u></td> </tr> </table> Et tilsvarende anlæg med en kapacitet på 2,5 m^3/h koster: <table> <tr> <td>UF + NF + kulfilter monteret på ramme:</td> <td>360.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Anslået tilbehør, installation og montage:</td> <td><u>60.000 kr.</u></td> </tr> <tr> <td>Total:</td> <td><u>420.000 kr.</u></td> </tr> </table> Det er forudsat, at anlægget installeres af den hollandske leverandør, og	UF + NF + kulfilter monteret på ramme:	275.000 kr.	Anslået tilbehør, installation og montage:	<u>60.000 kr.</u>	Total:	<u>335.000 kr.</u>	UF + NF + kulfilter monteret på ramme:	360.000 kr.	Anslået tilbehør, installation og montage:	<u>60.000 kr.</u>	Total:	<u>420.000 kr.</u>
UF + NF + kulfilter monteret på ramme:	275.000 kr.												
Anslået tilbehør, installation og montage:	<u>60.000 kr.</u>												
Total:	<u>335.000 kr.</u>												
UF + NF + kulfilter monteret på ramme:	360.000 kr.												
Anslået tilbehør, installation og montage:	<u>60.000 kr.</u>												
Total:	<u>420.000 kr.</u>												

Metode	Nanofiltrering og aktivt kul								
	montageprisen er estimeret. Leverandøren oplyser, at anlægget leveres som et "plug and play" anlæg, hvilket viser, at man hovedsagelig blot skal sørge for alle de eksterne tilslutninger. Leverandøren har ikke oplyst noget om merprisen for et RO-anlæg til vandgenvinding. Det vurderes, at danske vandbehandlingsleverandører kan levere anlæg til ca. samme pris, men danske leverandører har ikke i øjeblikket praktiske erfaringer med NF-anlæg til returvand på gartnerierne.								
Driftsudgifter	Den hollandske leverandør har oplyst følgende driftsudgifter for et anlæg til 1,25 m³/h uden RO og en driftstid på 2000 timer pr. år: <table> <tr> <td>El: 2500 m³ x 3 kWh/m³ x 0,70 kr./kWh:</td><td>5.250 kr./år</td></tr> <tr> <td>Membranforbrug: 20.000 kr. hvert 5. år:</td><td>4.000 kr./år</td></tr> <tr> <td>Kul: 2500 m³ vand x 0,40 kr./m³:</td><td><u>1.000 kr./år</u></td></tr> <tr> <td>Total:</td><td><u>10.250 kr./år</u></td></tr> </table> Det svarer til 4,10 kr./m³ for behandling af 2500 m³/år Det vurderes, at behandlingsprisen pr. m³ er den samme for et større anlæg.	El: 2500 m ³ x 3 kWh/m ³ x 0,70 kr./kWh:	5.250 kr./år	Membranforbrug: 20.000 kr. hvert 5. år:	4.000 kr./år	Kul: 2500 m ³ vand x 0,40 kr./m ³ :	<u>1.000 kr./år</u>	Total:	<u>10.250 kr./år</u>
El: 2500 m ³ x 3 kWh/m ³ x 0,70 kr./kWh:	5.250 kr./år								
Membranforbrug: 20.000 kr. hvert 5. år:	4.000 kr./år								
Kul: 2500 m ³ vand x 0,40 kr./m ³ :	<u>1.000 kr./år</u>								
Total:	<u>10.250 kr./år</u>								
Energiforbrug	Energiforbruget er ca. 3 kWh/m ³								
Ressourceforbrug	Anslået kulforbrug: 0,01 kg pr. m³ vand Membranerne i NF-anlægget forventes at kunne holde i mindst 5 år.								
Fordele	> Der dannes ingen toksiske nedbrydningsprodukter af pesticider > Ved metoden genvindes ca. halvdelen af de næringssalte, som findes i returvandet > Kompakt anlæg, der giver mulighed for længere tids recirkulering af returvand uden akkumulering af uønskede salte > Mulighed for yderligere udnyttelse af ca. 80 % af det vand, som ellers skal ledes i kloakken, hvis der tilføjes et RO-anlæg > Da pesticider fjernes såvel i nanofilteret som i kulfilteret, må man forvente ekstra god rensning for mange pesticider. > En effektiv måde at fjerne akkumuleret natrium i returvand, idet man samtidig genvinder en stor del af næringssaltene. > Da det meste vand og de fleste pesticider er blevet tilbageholdt i nanofilteret, vil kulfilteret have meget lang levetid og derfor være billig i drift. > Metoden virker uanset om vandet er transparent eller ej.								
Ulemper	> Nanofilteret vil efterhånden tilstoppes (fouling), hvilket kræver CIP-rensning for at genvinde fuld kapacitet. I Holland har man dog kørt i 8 måneder uden behov for CIP-rensning. > Membranerne har ikke ubegrænset levetid og skal udskiftes efter nogle år. Levetiden afhænger af det vand, som behandles og hvor mange								

Metode	Nanofiltrering og aktivt kul
	driftstimer anlægget kører pr. år. > Det genvundne returvand er ikke blevet desinficeret. Dertil skal bruges et særligt desinfektionsanlæg. Visse andre anlæg kan både rense og desinficere.
Referencer	Der findes én hollandsk leverandør af udstyr, der er godkendt i Holland. Moor Filtertechnik, http://www.moor.nl/nl E-mail: info@moor.nl Udvalgte potentielle danske leverandører af NF-anlæg, der kan udvides til en pakkeløsning til rensning af returvand fra gartnerier: Silhorko A/S, https://www.silhorko.dk/ E-mail: info.dk@silhorko.dk BWT Water, http://www.bwt.dk/da/Sider/default.aspx Email: bwt@bwt.dk

8 Bilag 2- Vurdering af mulighed for udbringning af rensat og urensat spildevand fra returkar på landbrugsjord

Der tages udgangspunkt i analyser foretaget på det urensede returvand fra GartneriRådgivningens slutrapport for projektet "*Indsamling af ny viden og rådgivning til gartnere omkring håndtering af spildevand til gavn for miljøet*" (Dansk Gartnerirådgivning AS, jan. 2016). I rapporten præsenteres analyseresultaterne for vand fra returkar, der viser, at der ikke er nogen enkeltstoffer, der forekommer i koncentrationer over 100 µg/l (0,1 mg/l). Et worst case vil således kunne bestå af en returtank med 20 m³ returvand, der udbringes på 1 hektar jord (10.000 m²), hvilket vil svare til en mængde af et givet aktivstof på maksimalt 2 g/ha.

Denne belastning af en hektar landbrugsjord kan sammenlignes med den maksimale tilladte dosering af de relevante pesticider på landbrugsjord. Dog kan der være forskel på metoden og tidspunktet for udbringning, hvilket fremgår af de enkelte midlers etiketter, og som kan have betydelig effekt på eksponeringen af landbrugsjorden og dermed påvirkningsgraden. Det bør derfor vurderes nærmere, hvornår, hvordan og hvor tit spildevandet kan udbringes på det samme areal.

I nedenstående tabel er 16 af de pesticider oplyst, som er blevet målt i de højeste koncentrationer i returkarrene på 26 danske væksthushusholdninger. For hvert pesticid er den maksimalt tilladte dosering udtrykt som gram aktivstof per hektar landbrugsjord anført.

Tabel: Pesticider fundet i spildevand fra returkar i danske væksthushusgartnerier og den maksimalt tilladte dosering på landbrugsjord

Aktiv stof	Handelsnavn	Godkendt til friland	Maks. dosering g aktiv stof/ha
Thiophanat (-methyl)	Topsin	x	350
Imidacloprid	Confidor WG 70, Warrant	x	150
Flonicamid	Teppeki	x	70-80
Acetamiprid	Mospilan SG	x	30-50
Fenhexamid	Teldor WG	x	750
Boscalid	Signum WG	x	250-350
Azoxystrobin	Amistar	x	250
Paclobutrazol	Bonzi/ Pirouette	nej	ikke godkendt
Propiconazol	Tilt 250 EC	x	125
Thiacloprid	Biscaya	x	72
Fipronil	Regent WG	forbudt i Dk	ikke tilladt
Cyromazin	Trigard 100	forbudt i Dk	ikke tilladt
Fludioxonil	Switch	x	500
Dimethomorph	Acrobat/new	x	500
Pirimicarb (Sum)	Pirimor G	x	125-250
Pyraclostrobin	Signum WG	x	250

Langt de fleste af stofferne er tilladt til anvendelse på frilandsafgrøder i doseringer på mellem 125 og 500 gram aktivstof/hektar, mens den laveste dosering er gældende for acetamiprid, som må udbringes med 30 g aktivstof/ha. Dette er stadig en betydeligt højere mængde per hektar end den estimerede mængde på 2 g/ha, der i givet fald vil blive bragt ud med urensset returvand fra væksthuse.

Antages, at spildevandet fra et returkar renses i et renseanlæg, som opfylder renskravene i Holland (95 % eller højere), vil det betyde, at maksimalt 5 % af startkoncentrationer på maksimalt 100 ug/l, altså maksimalt 5 ug/l vil kunne genfindes i det rensede spildevand. Antages igen, at et returkar indeholder 20 m³ og at hele karrets indhold udbringes på 1 ha, vil dette svare til 100 mg aktivstof/hektar, altså 300 gange under den laveste af de tilladte udbringningsdoseringer på 30 g aktivstof/hektar.

Sikkerhedsmarginen afhænger af koncentration, af mængden af returvand og størrelsen af arealet og tidspunktet, det udbringes på. Større mængder pesticider vil kræve større arealer, hvis den samme sikkerhedsmargin skal opretholdes.

Det bemærkes, at mulige samvirkende effekter af flere pesticider ikke er taget med i vurderingen, hvilket heller ikke er tilfældet for godkendelsesordningen, hvor produkter normalt vurderes enkeltvis.

9 Referencer

- 1 Larsen AK, Sørensen IU (2016). Indsamling af ny viden og rådgivning til gartnere omkring håndtering af spildevand til gavn for miljøet. Rapport fra GartneriRådgivningen A/S til Dansk Gartneri, januar 2016.
- 2 Muligvis som nedbrydningsprodukter af stoffet thiophanat (fungicid) da hverken carbendazim eller benomyl har været tilladt i Danmark i en årrække.
- 3 Kjølholt J, Warming M (2017). Planteaffald med pesticider. Udført af COWI A/S for Miljøstyrelsen. Udgivet som Miljøprojekt nr. 1925 fra Miljøstyrelsen, marts 2017.
- 4 Miljøstyrelsen
- 5 Ottosen AR, Furgal KM (2017). Pesticiders skæbne i biologiske rensningsanlæg. Miljøprojekt nr. 1929 fra Miljøstyrelsen, april 2017.
- 6 Odense Kommune (3. juli 2017). Miljømæssige løsninger på udledning af pesticider og næringsstoffer fra væksthushusholdninger. Rapport, 40 pp.
- 7 Larsen AK, Sørensen IU (2016). Indsamling af ny viden og rådgivning til gartnere omkring håndtering af spildevand til gavn for miljøet. Rapport fra GartneriRådgivningen A/S til Dansk Gartneri, januar 2016.
- 8 Kemiska växtskyddsläkage från växthus- och plantskoleproduktion – och hur dessa kan förebyggas. JTI-rapport 2015, Lantbruk & Industri nr. 439.
- 9 Bolton, R. J. & Collins, Advanced Oxidation Handbook, AWWA, 2016
- 10 Stasinakis, A.S., Global NEST Journal, Vol 10, No 3, pp 376-385, 2008
- 11 Kemisk oxidation af sediment- og grundvandsforureningen på depotet ved Høfde 42 - fase 1: Projektbeskrivelse og forundersøgelser- Miljøprojekt nr. 1194, 2007

- 12 <https://www.slideshare.net/kplakas/membrane-treatment-of-potable-water-for-pesticides-removal>
- 13 Removal of Pesticides From Water by Nanofiltration, Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences, Vol.1, No.1, October 2012, p 50-60.
- 14 Madsen, H.T. og Søgaard, E.G.: Løsning på pesticidproblemet?, Dansk Kemi, p 14-16, nr. 4, 2014.