

Vådområder og drænvirkemidler: Næringsstofeffekter

Danmark er et af de førende lande i verden med test og implementering af virkemidler, som skal reducere transporten af kvælstof (N) og fosfor (P) til vores søer og kystvande. I denne artikel præsenterer vi en opsamling af vores viden om N og P effekter fra de sidste 20 års gennemførte restaureringer af vådområder og retableringer af søer, samt de seneste års omfattende studier af seks nye drænvirkemidler.

CARL CHRISTIAN HOFFMANN, DOMINIK ZAK, BRIAN KRONVANG, CHARLOTTE KJÆRGAARD, METTE VODDER CARSTENSEN & JOACHIM AUDET

Behovet for virkemidler

I forbindelse med Landbrugspakken blev der aftalt to indsats rettet mod N tab til overfladevand – den kollektive og den målrettede indsats. Begge indsats rettede sig mod at reducere N tilførslen til fjorde og kystvande. De kollektive indsats, som omfatter restaurering af vådområder (1250 t N), mini-vådområder (900 t N), privat skovrejsning (150 t N) og udtag af kulstofholdig lavbundsjord (150 t N), skal samlet medvirke til at reducere belastningen med 2450 tons N i perioden 2016-2021 /1/. Den målrettede indsats skal medvirke til at bibringe en reduktion på 3500 tons N i perioden 2019-2021. I forbindelse med vedtagelsen af Landbrugspakken blev en indsats på 6200 ton N udskudt til forventet opfyldelse i 3. vandplanperiode.

Virkemidlerne

De enkelte virkemidler målrettet næringsstoftransport og deres placering i landskabet er vist i figur 1. Virkemidlerne har været igennem en række kontrollerede tests og fuldskalaforsøg for at optimere deres udformning og måle

deres reduktionseffekter på N og P før de endeligt godkendes som et virkemiddel. Ofte test foretages effektmålinger over en årrække hvor N og P reduktionseffektens variation i tid (månedligt, år) og rum (jordtyper, terræn) kvantificeres. Desuden måles også de eventuelle negative sideeffekter i forsøgene f.eks. drivhusgasemission, P frigivelse, iltindhold, mv.

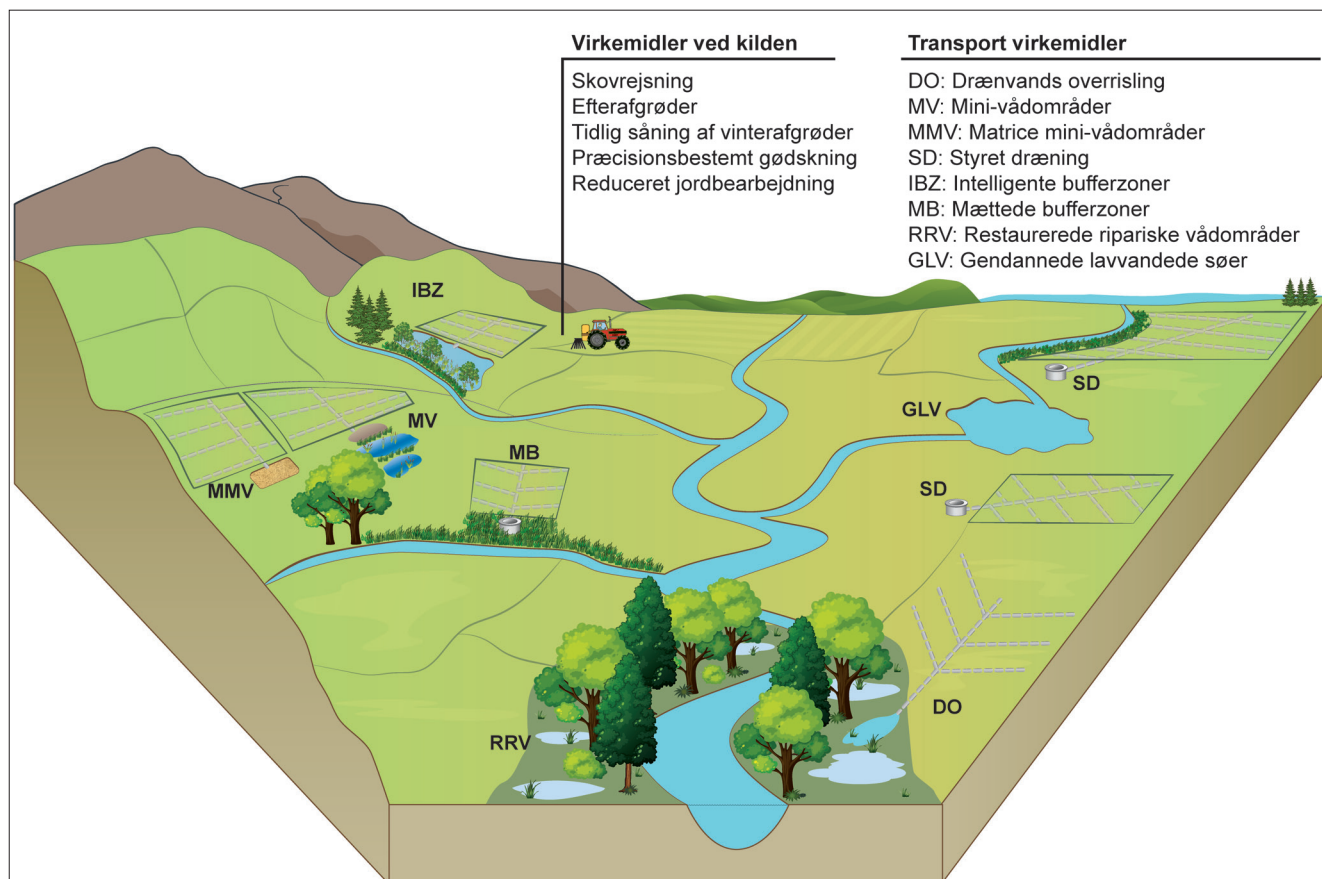
Placering af de enkelte virkemidler sker ofte efter en forudgående udpegning af de potentielle områder i form af et kortgrundlag /2/. Desuden er der for hvert virkemiddel udfærdiget et grundlag for etablering og dimensionering af virkemidlet i form af en teknisk manual.

Restaurerede vådområder

For kun 150 år siden var der ca. 7.500 km² vådområder og 1.400 km² søer i Danmark, mens disse i dag kun omfatter arealer på hhv. 569 km² og 586 km² /3/. Der er således et stort potentiale for gendannelse og restaurering af vådområder og søer, hvilket også er et af de mest omkostningseffektive virkemidler, når det kommer til at reducere næringsstoftilførslen til kystvande. Restaurering af ripariske vådområder og moser, samt gendannelse af lavvandede søer blev godkendt som et virkemiddel til reduktion af næringsstoffab i Vandmiljøplan II fra 1998. Virkemidlet er frivilligt og indebærer jordfordeling ved hjælp af opkøb af erstatningsjord i kombination med økonomisk kompensation til lodsejerne.

Tabel 1. Oversigt over målte fjernelsesrater og -effektivitet for total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) (gennemsnit ± standardafvigelse) fra de gennemførte danske forsøg med restaurering af vådområder og genetablering af lavvandede søer /6/.

	Antal vådområder (n)	Antal måleår	Fjernelsesrate		Effektivitet	
			(kg ha ⁻¹ år ⁻¹)		(%)	
			TN	TP	TN	TP
Restaurerede ripariske vådområder	9	9	144±73	3±5	37±31	12±15
Genetablerede lavvandede søer	11	12	159±53	4±6	45±21	-2±83
Genetablerede moser og våde enge	5	5	209±77	2±3	44±12	11±26



Figur 1. Oversigt over forskellige næringsstof transport virkemidlers placering i et opland.

De fleste restaureringsprojekter sker i ripariske områder langs vandløb hvor den 'naturlige' hydrologi i ådalen gendannes ved afskæring af drænen og grøfter og gensnoning af vandløbets forløb. I dag er der gendannet omkring 2.600 ha søer og 20.700 ha vådområder i forbindelse med gennemførelse af Vandmiljøplanerne og Vandplanerne.

Vådområder og søer er effektive virkemidler til at reducere N med en effektivitet på 37-45% for de forskellige typer af vådområder (Tabel 1). På grund af et ofte højt indhold af P i de tidligere landbrugsjorde udgør lavbunds-jorde en risiko for frigivelse af P ved vandmætning /4/. Selv efter flere år kan der ske en P frigivelse fra jorden i et restaureret eller gendannet vådområde /5/. Derfor screenes alle projektområder for risiko for P frigivelse før et vådområdeprojekt godkendes /4/. I disse år undersøges nye metoder til at modvirke tab af P ved reetablering af vådområder herunder udpining af P ved høst af biomasse, afgravning af den P-berigede overjord, dybdepløjning eller egentligt efterrensning af udløbsvandet fra vådområdet.

En vigtig proces for P tilbageholdelse i vådområder er deponeringen af P-holdigt sediment på de overrislede enge og ved egentlige oversvømmelser af ådalen /4/. Vådområders effekt for tilbageholdelse af P varierer lokalt,

men har i de fleste områder en positiv effekt (Tabel 1).

Drænvirkemidler

I de sidste 10 år har vi været i gang med at udvikle og teste seks forskellige drænvirkemidler (Figur 2). De har alle det formål, at omsætte og/eller tilbageholde tabet af næringsstoffer via drænen til vandløb. Det sker enten ved at bremse drænastrømningen i selve marken (styret dræning), ved at lede drænvandet via forskellige landskabsfiltre med enten vegetation (mini-vådområder, Intelligente bufferzoner) eller med kulstofholdigt materiale (eks. pileflis) til at øge denitrifikationen (matrice mini-vådområder) (Figur 2). Mere simple løsninger omfatter afskæring af drænen i ådals skrænten, så drænvandet overrisler en engparcel (små vådområder), eller aktiv infiltrering af drænvand i randzonen (mættet bufferzone, intelligent bufferzone) (Figur 2).

Overrisling med drænvand (Figur 2A) er det ældste drænvirkemiddel, som første gang blev testet i starten af 1980'erne /7/. Senere er flere test blevet gennemført /8/. Drænet afskæres ved ådals skrænten og drænvandet fordeles via en rende så drænvandet infiltrerer i engarealet ned mod grøften eller vandløbet. Størrelsen af engarealet som infiltreres skal dimensioneres i forhold til hydraulisk belastning

fra drænoilandet, jordens infiltrationskapacitet og terrænets hældning. Gennemsnitligt viser resultaterne en N-reduktionseffektivitet på 45% af N-tilførslen fra drænvandet (Tabel 2). Det er dog konstateret, at der kan være en risiko for frigivelse af P fra engjorden, der vandmættes med drænvand (Tabel 2). I dag anvendes drænoverrisling i forbindelse med restaurering af vådområder.

Mini-vådområder anvendes i den kollektive indsats, og der er efterhånden etableret og søgt om anlæggelse af mere end 300 anlæg (Figur 2B). Mini-vådområder anlægges ved at opsamle drænvandet, der først ledes gennem et sedimentationsbassin og derefter gennem henholdsvis dybe (1 m) og lavvandede vegetationszoner (0,3 m) før drænvandet ledes mod vandløbet gennem et bassinudløb. Mini-vådområders areal skal udgøre 1-1,5% af drænoilandets areal. Kvælstoffjernelsen i mini-vådområder er styret af opholdstiden i anlægget samt temperaturen, hvorfor der er meget store sæsonvariationer i effektiviteten /9/. Fosfor tilbageholdes primært som følge af sedimentation af partikelbundet P /10/. Den gennemsnitlige effektivitet af 13 undersøgte mini-vådområder er på 23% for total N og 45% for total P /9/ (Tabel 2).

Matrice mini-vådområder er blevet undersøgt siden 2012 (Figur 2C) /11/. De blev god-

kendt som virkemiddel i 2018, men løbende test for langtidseffekter udføres stadig, herunder behov for opfyldning med træflis, sideeffekter, mv. Matrice mini-vådområders areal skal udgøre 0,2-0,25% af det dræned areal. Gennemsnitlig effektivitet af de 13 undersøgte matrice mini-vådområder er på 50% for total N og 12% for total P (Tabel 2). Der kan i det første år forventes en frigivelse af opløst fosfat fra et nyetableret matrice-vådområde pga. frigivelse fra træflisen som nedbrydes. Desuden er det nødvendigt med en kraftig geniltning af afløbsvandet og styring om sommeren for at undgå lugtgener fra stærkt reducerede forhold i anlægget.

Intelligente bufferzoner blev introduceret i 2011 og det første eksperimentelle anlæg blev anlagt i 2014 (Figur 2D) /12/. En intelligent bufferzone består af et åbent vådområde og en infiltrationszone, som er et lavvandet plateau beplantet med elletræer, hvorfra vandet fra anlægget kan sive igennem den bagvedliggende randzone til vandløbet. Selvom en intelligent bufferzone kun optager et forholdsvis lille areal kan den bidrage med en gennemsnitlig effektivitet for N fjernelse på 45%, og for total P på 29% (Tabel 2). Der foreligger endnu dog forholdsvis få målinger af effekten af de intelligente randzoner, hvorfor effektiviteten er meget afhængig af drænastrømningen i de målte år. De intelligente bufferzoner tilbyder dog også andre gode effekter såsom habitater for padder og mulighed for produktion af biomasse /13/.

Vandmættede bufferzoner er et nyt drænvirkemiddel hvor de indledende undersøgelser først er igangsat i efteråret 2018 med to anlæg nær Odder i Jylland. Princippet er at drænvand omdirigeres til en ny dræneling, der er nedgravet langs med vandløbet i kanten af marken (Figur 2E). Fra det nye drænsiver vandet gennem jorden i randzonen til vandløbet hvorved nitrat kan blive omsat ved denitrifikation og især partikelbundet P blive tilbageholdt. De kommende år vil vise resultaterne af dette virkemiddel under danske forhold.

Styret dræning har været kendt og anvendt i USA de sidste ca. 50 år, mest som en metode til at sikre vand til afgrøderne. I 2012-2015 blev metoden med styret dræning testet i et GUDP projekt på markplots to steder i Danmark /14/. I modsætning til de andre drænvirkemidler, virker styret dræning ved at øge grundvandstanden i marken ved at drænets afløb hæves i en eller flere kontrollbrønde koblet til hoveddrænet (Figur 2F). I perioder hvor der skal laves markarbejde kan drænafløbet sænkes. I de danske forsøg blev effekten af styret dræning kun testet i vinterperioden,

Tabel 2. Oversigt over målte fjernelsesrater og -effektivitet for total kvælstof (TN) og fosfor (TP) (gennemsnit ± standardafvigelse) fra de gennemførte danske forsøg med drænvirkemidler /6/.

Drænvirkemidler	Antal forsøg (n)	Antal måle år	Fjernelses rate		Effektivitet	
			(kg ha ⁻¹ år ⁻¹)		(%)	
			TN	TP	TN	TP
Overrisling med drænvand	10	10	139±91	-0.3±0.3	45±22	-51±49
Mini-vådområder	13	44	472±372	31±26	23±10	45±20
Matrice-vådområder	3	15	7771±241	34±6	50±13	12±4
Styret dræning	4	8	8.8±6.5	2.2±2.4	33±13	5±29
Intelligente bufferzoner	3	6	1661±605	17±15	45±12	29±60

hvor der var vinterhvede på markerne. Effektiviteten af styret dræning var på 33% for total N tilførsel og 5% for total P tilførsel (Tabel 2). Effekten fremkom dog udelukkende fordi drænastrømningen blev reduceret, hvorfor der er behov for mere viden om N omsætningen i den diffuse afstrømning for at få en endelig effekttopgørelse.

Perspektivering

Virkemidler målrettet transport af næringsstoffer er effektive til at tilbageholde kvælstof og fosfor, hvis de dimensioneres og placeres efter de retningslinjer, som er udarbejdet efter flere års afprøvninger af eksperimentelle og fuldskaalanlæg.

Der arbejdes fortsat på at teste nye virkemidler og sikre den endelige dokumentation af f.eks. mættede bufferzoner og styret dræning. Der mangler desuden grundlæggende undersøgelser omkring andre effekter af virkemidlerne, som f.eks. deres evne til at ophobe kulstof, deres naturkvalitet og emission af drivhusgasser samt effekter for pesticider i drænvand og overfladisk afstrømning.

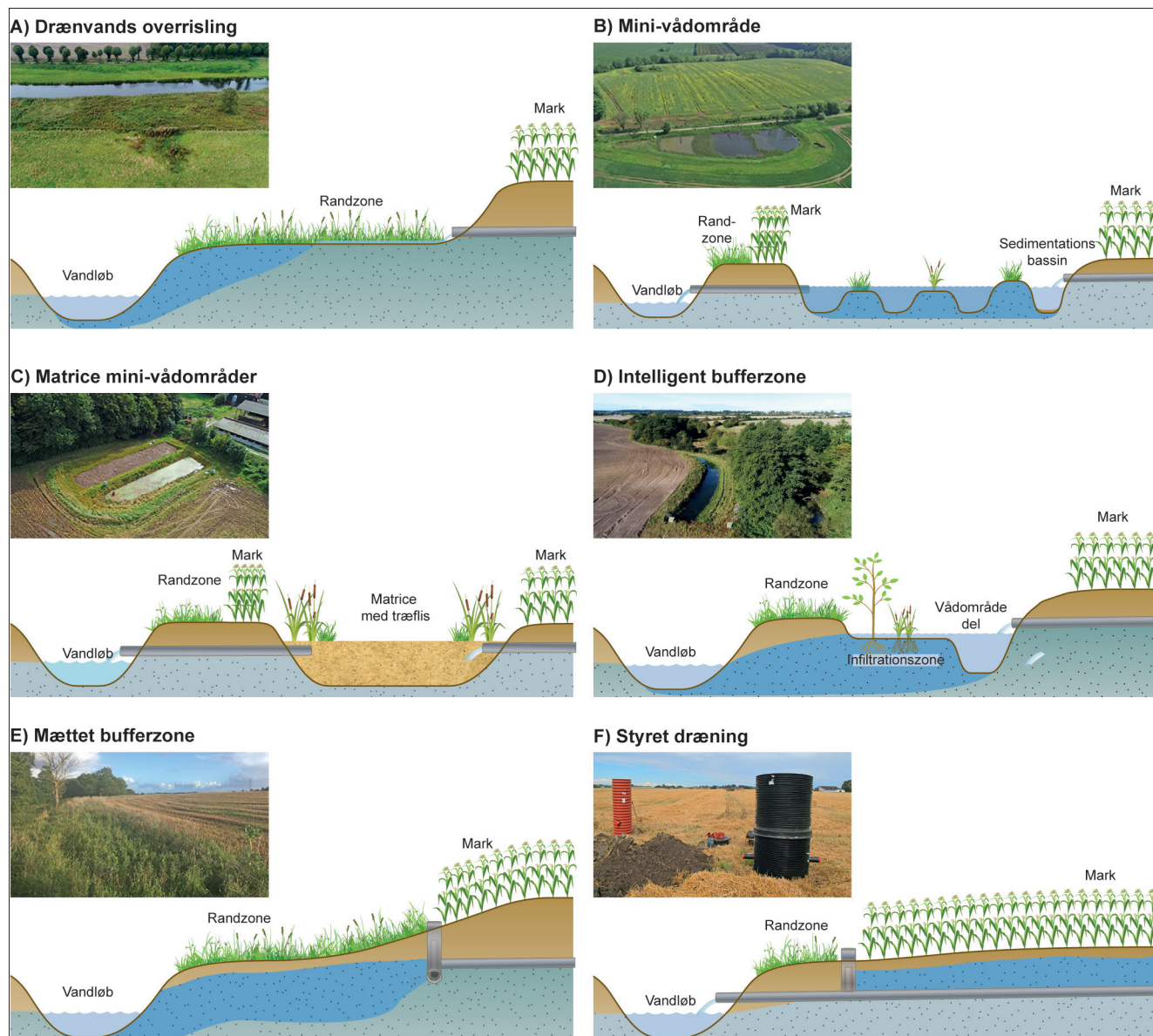
Der vil være store perspektiver i at oprette et eller to observatorier for virkemidler, hvor hele paletten af virkemidler kan afprøves i forhold til såvel direkte næringsstoffeffekter på Vandplanernes målsætninger for vandløb, søer og kystvande samt øvrige afledte effekter. Sådanne observatorier kan ligeledes anvendes som ambassadører for virkemidler i planlægningen over for både landmænd, rådgivere i landbruget, kommuner og som et fremstød for omverdenen.

Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen, 2020. Status for de kollektive virkemidler. <https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/tilskud-til-vand-og-klimaprojekter/kollektive-virkemidler/>
- /2/ Kjærgaard, C.; Bach, E.; Greve, M.H.; Iversen, B.V.; Børgesen, C.D., 2017. Kortlægning af potentielle om-

råder til etablering af konstruerede minivådområder. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, J. nr. 2017-760-000122:14-28

- /3/ Hoffmann, C.C.; Baattrup-Pedersen, A., 2007. Re-establishing freshwater wetlands in Denmark. *Ecol Eng.* 30, 157-166.
- /4/ Hoffmann, C.C.; Kronvang, B.; Andersen, H.E.; Kjeldgaard, A. og Kjærgaard, C. 2018. Kvantificering af fosfortab fra N og P vådområder. Notat fra DCE, Aarhus Universitet, 48 s.
- /5/ Audet, J.; Zak, D.; Bidstrup, J.; Hoffmann, C.C., 2020. Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio*. 49, 324-336.
- /6/ Hoffmann, C.C.; Zak, D.; Kronvang, B.; Kjærgaard, C.; Carstensen, M.V.; Audet, J., 2020. An overview of nutrient transport mitigation measures for improvement of water quality in Denmark. *Ecol Eng.* 105863.
- /7/ Hoffmann, C., 1991. Water and nutrient balances for a flooded riparian wetland. Ministry of the Environment, National Agency of Environmental Protection, Denmark Nitrogen and Phosphorus in Fresh and Marine Water Project Abstracts of the Danish NPo Research Programme, C-Abstracts, C13-b, 203-220.
- /8/ Hoffmann, C.C.; Heiberg, L.; Audet, J.; Schönfeldt, B.; Fuglsang, A.; Kronvang, B.; Ovesen, N.B.; Kjærgaard, C.; Hansen, H.C.B.; Jensen, H.S., 2012. Low phosphorus release but high nitrogen removal in two restored riparian wetlands inundated with agricultural drainage water. *Ecol Eng.* 46, 75-87.
- /9/ Kjærgaard, C., Hoffmann, C.C., Gertz, F., Iversen, B.V. 2017. Minivådområder – et nyt kollektivt virkemiddel. *Filtre i Landskabet. Vand & Jord*, nr. 3:84-88.
- /10/ Mendes, L.R.D.; Tonderski, K.; Kjærgaard, C., 2018b. Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands. *Geoderma*. 331, 109-120.
- /11/ Hoffmann, C.C.; Larsen, S.E.; Kjærgaard, C., 2019. Nitrogen removal in woodchip-based biofilters of variable designs treating agricultural drainage discharges. *J Environ Qual.* 48, 1881-1889.
- /12/ Zak, D.; Kronvang, B.; Carstensen, M.V.; Hoffmann, C.C.; Kjeldgaard, A.; Larsen, S.E.; Audet, J.; Egemose, S.; Jørgensen, C.A.; Feuerbach, P.; Gertz, F.; Jensen,



Figur 2. Skematisk oversigt over opbygning og funktion af drænvirkemidlerne.

H.S., 2018. Nitrogen and phosphorus removal from agricultural runoff in integrated buffer zones. *Environ Sci Technol.* 52, 6508-6517.

/13/ Zak, D.; Stutter, M.; Jensen, H.S.; Egemose, S.; Carstensen, M.V.; Audet, J.; Strand, J.A.; Feuerbach, P.; Hoffmann, C.C.; Christen, B.; Hille, S.; Knudsen, M.; Stockan, J.; Watson, H.; Heckrath, G.; Kronvang, B., 2019. An assessment of the multifunctionality of

integrated buffer zones in Northwestern Europe. *J Environ Qual.* 48, 362-375.

/14/ Carstensen, M.V.; Børgesen, C.D.; Ovesen, N.B.; Poulsen, J.R.; Hvid, S.K.; Kronvang, B., 2019a. Controlled drainage as a targeted mitigation measure for nitrogen and phosphorus. *J Environ Qual.* 48, 677-685.

CARL CHRISTIAN HOFFMANN (cch@bios.au.dk) er seniorforsker, BRIAN KRONVANG (bkr@bios.au.dk) er professor, DOMINIK ZAK (doz@bios.au.dk) er seniorforsker, METTE VODDER CARSTENSEN (mvc@bios.au.dk) er PhD studerende og JOACHIM AUDET (joau@bios.au.dk) er forsker. Alle ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. CHARLOTTE KLJÆGAARD (chkj@seges.dk) er chefforsker ved SEGES Miljø & Planteinnovation.