



## NOTAT

### Effekt på fosforudledning af 10 m brede randzoner

#### Baggrund

Miljøstyrelsen har d. 11. november 2010 anmodet Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Aarhus Universitet om en revurdering af notatet "Effekt på fosforudledningen af 10 m brede randzoner (Kronvang & Andersen 2008)". Anmodningen kommer på baggrund af et notat udarbejdet af Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF), Aarhus Universitet for Fødevareministeriet (DJF, 2010).

25. januar 2011

Side 1/12

DMU har udarbejdet denne revurdering i samarbejde med DJF. Forfattere på notatet er Brian Kronvang, Hans E. Andersen og Poul Nordemann Jensen, DMU og Goswin Heckrath, Gitte Rubæk og Charlotte Kjærgaard, DJF.

Der er i nærværende notat anvendt de samme grundlæggende præmisser vedr. vandløbslængder, antal søer, arealanvendelse i bræmmerne m.m. som i Kronvang & Andersen, 2008.

#### Resumé

I notatet er der givet en række nye estimater over effekten af randzoner på fosfortab ved udvaskning og brinkerosion. De nye estimater af randzone effekterne på fosfortab kommer fra ny viden indsamlet i forbindelse med VMP III forskningsprojekter, bl.a. BUFFALO-P, AMORPH, Udpegning af Risikoområder for Fosfortab til Overfladevand, mv., som er gennemført i årene frem til 2010.

Forskningsprojekterne har givet en bedre forståelse af fosfordynamikken og et forbedret datagrundlag for vurderingen af såvel udvaskning af fosfor som effekten af randzoner på brinkerosionen. En igangværende kortlægning af jordtyper i randzoner tyder også på, at udbredelsen af organogene lavbundsjord er væsentligt reduceret i forhold til beregninger baseret på det nuværende datagrundlag.

Det samlede areal for udlægning af randzoner er uændret i forhold til DMU (2008). Ministeriet for Fødevarer og Landbrug har oplyst, at der er igangsat en ny opgørelse af randzonearealet. Det endelige resultat heraf forventes i 2012 og, afhængig af resultatet, kan det få indflydelse på den samlede forventede P-effekt af randzonerne.

Effekten af udlæg af 10 m randzone langs alle vandløb og søer estimeres i dette notat til en reduktion på 6-38 ton P/år forudsat årlig høst og fjernelse af plantemateriale fra randzonen. Den samlede effekt af randzoner kan øges til 17-120 tons P/år under forudsætning af, der plantes træer i 10 % af randzonerne på begge sider af vandløbene (10 % anvendt som et eksempel). Hvis der ikke gennemføres høst og fjernelse af plantematerialet i randzonerne, estimeres den samlede årlige effekt af 10 m randzoner langs målsatte og ikke-målsatte vandløb samt søer at blive reduceret med 12-18 t P fra tab ved udfrysning fra plantematerialet i randzonen og fra den manglende udvaskningsreduktion fra udpiningen af jordens fosforpulje, som opnås ved høst.

Til sammenligning var estimatet for den samlede effekt i 2008 notatet på 70-250 ton P/år.

De nye opgørelser baserer sig på de nyeste forskningsdata indhentet fra (1) store feltundersøgelser vedr. betydningen af udvidelse af randzonen fra 2 m til 10 m for brinkerrosion og fosfortab, (2) studier af fosforudvaskning fra minerogene og organogene lavbundslande og (3) simuleringer af betydning af afhøstning i randzonen på lang sigt med en nyudviklet hollandsk model (PLEASE), som i dette notat er anvendt i en foreløbig opsætning på 5 danske jorder.

Selvom det nuværende faglige grundlag forhindrer en mere omfattende indregning af udvaskningseffekter på kort sigt, understreges det, at etableringen af 10 m randzoner kan medføre en udvaskningsreduktion i forbindelse med reduceret P mineralisering, stop for fosforophobning og udpining af jordens fosforpulje på lang sigt.

Hvad angår betydningen af randzoner for tilbageholdelse af fosfor, der tilføres fra tilstødende marker med overfladisk afstrømning, findes der ingen ny viden vedrørende tabstørrelser, og specielt mangler der viden om fladeerosionens betydning og betydningen af det skift, der er sket i afgrøderne igennem de sidste 10 år (især udbredelsen af majs). Idet overfladeafstrømning er et lokalt fænomen, stærkt påvirket af terrænforhold, vil kun en begrænset del af randzonerne være udsat for tilstrømning og bære reduktionseffekten. Derfor forventes det, at en rumligt differentieret tilpasning af randzonebredden, som lokalt betydeligt kan overstige 10 m, ville være et mere omkostningseffektivt virkemiddel i forbindelse med overfladeafstrømning end standardbredden.

Resultaterne af de omfattende undersøgelser af randzonens betydning for brinkerrosion har vist, at der ikke er en effekt på brinkerrosionens bidrag til fosfortabet ved at øge randzonen fra 2 m til 10 m. De omfattende undersøgelser viste imidlertid også, at der var et signifikant mindre fosfortab fra de vandløbsstrækninger, hvor der langs vandløbet var en naturlig trævækst, sammenlignet med strækninger uden trævækst langs vandløbet. Trævæksten behøver ikke at udgøre hele 10 m randzonen, men skal som minimum findes i et bælte langs med vandløbskanten.

Ca. halvdelen af de vandløb, hvor der her i notatet forudsættes anlagt 10 m randzoner, er i dag ikke omfattet af krav om 2 m bræmmer. Der kunne forventes en "selvstændig" positiv effekt af at gå fra ingen bræmme til en 2 m bræmme svarende til den evt. effekt, der kom fra indførelse af 2 m-bræmmer med Vandløbsloven i 1992. Der er imidlertid ikke et datagrundlag for at vurdere denne effekt eller det antal km vandløb, hvor der i dag ikke findes en bræmme.

Selvom datagrundlaget er forbedret, er der stadig en betydelig usikkerhed på estimaterne for de forskellige tabsposter. Usikkerheden må ikke forveksles med den store rumlige variation, der vil være i randzonernes effekt over for fosfor, alt efter hvor i landskabet randzonen placeres.

Vidensgrundlaget om de bagvedliggende processer og de kvantitative tab er stadigvæk sparsomt på trods af forskningsindsatsen under VMP III. Specielt mangler der konkrete undersøgelser af randzonernes effekt, herunder målinger af (1) fosforindholdet i bræmmer og arealer påtænkt udlagt som randzoner og hvordan fosforindhold og -fordeling påvirker effekt på fosforudvaskning; (2) fosformobilisering og -transport ved mineralisering og redoxprocesser under de ændrede dyrkningsforhold; (3) fjernelsen af fosfor ved høst og dens påvirkning af randzonens tilbageholdelsespotentiale over tid; (4) risikoen for udfrysning af fosfor fra vegetationen og efterfølgende transport til vand i overfladeafstrømning; (5) rand-

zonens levetid i forhold til tilbageholdelsen af partikulært og opløst fosfor tilført med overfladeafstrømning.

Endelig skal det bemærkes, at effekten af randzoner har en forskellig tidshorisont for de forskellige tabsprocesser. Hvad angår effekten af randzoner på fosfortab via jorderosion og overfladisk afstrømning må denne forventes fra år ét efter randzonens etablering. Effekten i forhold til udvaskning forventes først opnået i fuldt omfang efter 10-30 år i takt med, at jordens fosforindhold udpines i forbindelse med årlig af høstning af vegetation. Effekt for tab via brinkerosion opnås ligeledes først i fuldt omfang efter 10-30 år.

Det skal understreges, at der er en række andre effekter af at udlægge randzoner, herunder kvælstofudvaskning, naturindhold, tab af pesticider m.m., som ikke er behandlet i dette notat.

### **Indhold:**

<b>Randzoneareal langs vandløb og søer større end 100 m<sup>2</sup></b>	<b>s. 3</b>
<b>Effekt af randzoner for P-udvaskning</b>	<b>s. 4</b>
<b>Effekt af randzoner for P-tilbageholdelse ved jorderosion m.m.</b>	<b>s. 8</b>
<b>Effekt af randzoner for brinkerosion</b>	<b>s. 9</b>
<b>Samlet effektvurdering af randzoner</b>	<b>s. 11</b>
<b>Vidensbehov</b>	<b>s. 11</b>
<b>Referencer</b>	<b>s. 12</b>

### **Randzoneareal langs vandløb og søer større end 100 m<sup>2</sup>**

#### *Arealanvendelse*

Arealanvendelse langs vandløb og søer større end 100 m<sup>2</sup> er blevet undersøgt (Carl Bro, 2008). Det samlede areal af 10 m randzoner langs alle vandløb og alle søer større end 100 m<sup>2</sup> udgjorde i 2006 161.198 ha. Heraf bortgik 21.916 ha (14 %) til veje, byer mv. Det samlede areal af dyrkede og udyrkede 10 m randzoner langs alle målsatte og ikke-målsatte vandløb og søer større end 100 m<sup>2</sup> var derfor 139.351 ha i 2006. Det dyrkede areal (omdriftsarealet) i randzonerne udgjorde 39.397 ha (28 %) og det udyrkede areal 99.954 ha. Carl Bro (2008) skønner, at ca. 20.000 ha (14 % af det samlede randzoneareal) af det såkaldt udyrkede areal er ekstensivt dyrkede arealer, hvor der kan foregå græsning og høslæt. Braklagte arealer i randzonerne er en del af de ca. 20.000 ha og udgjorde i 2006 11.046 ha. Forskningsinstitutionerne vurderer, at ca. 70 % af brakarealet er inddraget i omdriften som konsekvens af ophør af brakordningen. Overføres dette til randzonerne, betyder det, at ca. 8.000 ha er overgået fra brak til omdrift. Denne omlægning er indgået i beregningerne.

#### *Randzoner langs naturlige og højt målsatte vandløb*

Længden af naturlige og højt målsatte vandløb, som er omfattet af vandløbslovens § 69-bestemmelse om 2 m bræmmer, er ukendt. Det bedste bud på den samlede længde stammer fra 1999, hvor Skov- og Naturstyrelsen gennemførte en rundspørge blandt landets kommuner (SNS, 1999), hvoraf 77 % svarede. Den samlede længde af vandløb med krav om 2 m bræmmer udgjorde i disse 77 % af kommunerne i alt 38.000 km. Derfor kan 38.000 km opfattes som et minimum bud på den samlede længde af naturlige og højt målsatte vandløb omfattet af et krav om 2 m bræmmer. Bræmmerne langs disse forudsættes udvidet med 8 m til i alt 10 m brede randzoner overalt, hvor der ikke i forvejen er mindst 10 m brede, udyrkede randzoner.

*Randzoner langs vandløb og grøfter, som ikke er omfattet af vandløbslovens § 69 krav om 2 m bræmmer*

Der findes 31.000 km vandløb uden 2 m bræmmer, idet der er i alt 69.000 km vandløb i Danmark (Kort- og Matrikelstyrelsen, 2006), og 38.000 km af disse er naturlige og højt målsatte og derfor omfattet af kravet om 2 m bræmmer (SNS, 1999). Det forudsættes, at der anlægges 10 m randzoner langs disse 31.000 km vandløb.

*Effekter af randzoner langs alle søer større end 100 m<sup>2</sup>*

Der findes i alt 138.154 søer større end 100 m<sup>2</sup> (Kort- og Matrikelstyrelsen, 2006). Udvidelse af de eksisterende 2 m bræmmer til 10 m brede randzoner langs alle disse omfatter et areal på 24.906 ha (Carl Bro, 2008).

### **Effekt af randzoner for P-udvaskning**

I notat om randzoneeffekter (Kronvang & Andersen, 2008) er der indregnet en udvaskningsreduktion ved etablering af udyrkede randzoner på omdriftsarealer og gødede græsarealer på lavbundslande. Antagelsen var, at disse lavbundslande udgjorde ca. halvdelen af det potentielle randzoneareal og var dårlige til at tilbageholde gødningsfosfor. Imidlertid har det vist sig, at grundlaget for disse antagelser både mht. udvaskningsprocessen og omfanget af lavbundsarealet, især det organogene, har ændret sig.

*Biogeokemiske forhold*

Geokemien i danske lavbundsarealer (organogene og minerogene) varierer meget betydeligt mellem lavbundstyper og geologiske regioner, og fosfordynamikken er således afhængig af de stedspecifikke forhold (Kjærgaard, ikke-publicerede data). Fosfor fastholdes i ikke-kalkholdige jorde primært via binding til mineralske faser i form af jern- og aluminiumoxider, og summen af disse metaloxider opfattes derfor ofte som et estimat for jordens fosforbindingskapacitet. Dette gælder både for højbunds- og lavbundslande, men for de fleste danske lavbundslande udgør jernfraktionen den primære bindingskapacitet (Kjærgaard, ikke-publicerede data). Nye danske undersøgelser har vist, at variationen i fosforbindingskapacitet i såvel minerogene og organogene lavbundslande er væsentligt større end tilfældet for højbundslande (Kjærgaard, ikke-publicerede data). Der findes således et meget bredt range fra meget lav til meget høj bindingskapacitet, hvor lavbundslande dog gennemsnitligt har meget høje bindingskapaciteter qua meget høje jernindhold som følge af grundvandspåvirkninger. De danske undersøgelser viser samtidig meget varierende indhold af fosfor, hvor der i nogle lavbundslande er ophobet meget betydelige mængder fosfor. Fosforkoncentrationen i jordvæsken, og dermed udvaskningsrisikoen, øges i takt med mætningsgraden - forholdet mellem den aktuelle fosforbinding og bindingskapaciteten i jord. Fosfor kan tilføres lavbundslandene ved gødsning, og for tørvejordenes vedkommende også ved omsætning (mineralisering) af tørv. Beregninger af P-mineralisering ved omsætning af tørv viser potentielle P-frigivelser fra 0,5 til >50 kg P/ha/år (Charlotte Kjærgaard, personlig meddelelse). I det omfang der er tilstrækkelig bindingskapacitet i jorden, vil udvaskningspotentialen ikke umiddelbart påvirkes af gødsningsniveau eller mineralisering af tørv. Her vil udvaskningspotentialen alene være bestemt af jordens fosformætningsgrad. Tilførsel af overskud af fosfor bidrager dog til en fortsat ophobning af fosfor, der over tid øger jordens fosformætningsgrad og dermed risikoen for tab af fosfor på længere sigt. På arealer med ringe fosforbindingskapacitet eller høj fosformætning vil gødsning og mineralisering af tørv udgøre et større bidrag til risikoen for udvaskning af fosfor. Det skal nævnes, at der ved etablering af udyrkede randzoner stadig vil foregå minera-

lisering af tørven, så længe randzonen er drænet (aerob). Der findes ingen undersøgelser, der belyser omfanget af P-mineralisering i randzonearealet, når randzonen ændres fra omdrift til udyrket tilstand. Der findes i dag heller ingen kortlægning af bindingskapacitet, mætningsgrad og P-mineraliseringspotentiale på lavbundsrandzonearealer, og der er således ikke fagligt grundlag for på nuværende tidspunkt at indregne en udvaskningsreduktion ved etablering af udyrkede randzoner på lavbundslande. Optag af P i plantebiomasse, som derefter høstes, er afgørende for P-balancen i randzonearealer med store mobile fosforpuljer. Her vil høst af biomasse på længere sigt medvirke til at udtømme jordens mobile fosforpulje. En reduktion i P-udvaskningsrisikoen vil dog først slå igennem på længere sigt

DJF har den 18.10.2010 (DJF, 2010) fremsendt et notat til Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri vedrørende smallere randzoner, hvori det bl.a. hedder:

*Den seneste viden fra VMPIII forskningsprojekterne BUFFALO-P og AMORPH (Forskningsprojekter under programmet "Landbrugets husdyrhold, naboerne og miljøet, 2005-2010) dokumenterer imidlertid, at der ikke er fagligt grundlag for at indregne en udvaskningsreduktion ved etablering af udyrkede randzoner på omdrifts- og græsarealer. Det nyeste vidensgrundlag dokumenterer at:*

- (i) Fosforindholdet i randzonemiljøet på såvel højbunds- og lavbundsarealer kan være betydeligt højere end fosforindholdet i omkringliggende marker.*
- (ii) Fosforudvaskningspotentialet er direkte korreleret med jordens fosforstatus. Der hvor der er risiko for fosfortab ved udvaskning, er gødskningsbidraget ubetydeligt i forhold til jordens fosforpulje. Fosfor tabes direkte fra jordpuljen.*
- (iii) Randzoner med høj fosforstatus er således potentielle kilder til fosforfrigivelse i ukendt tidshorisont, og der er ikke fagligt grundlag for at indregne en udvaskningsreduktion ved etablering af udyrkede randzoner. Der findes ingen landsdækkende undersøgelser, der viser i hvor stor udstrækning der findes kritisk høje fosforindhold i randzonemiljøet.*

*Det bør dog nævnes, at etablering af udyrkede randzoner under visse forhold kan have betydning for fosforudvaskning fra randzonen:*

- (i) Ved etablering af udyrkede randzoner kan ophør med pløjning potentielt reducere fosformobilisering og udvaskning fra randzonen. Effekten afhænger dog af jordtype og jordens fosforstatus, hvor effekten forøges med stigende lerindhold, men forventes at blive reduceret med stigende fosforstatus. Der findes pt. ingen undersøgelser, der kan dokumentere og kvantificere dette. Hvor "ophør med pløjning" har en kvantitativ effekt på fosfortabet, vil denne effekt være direkte korreleret med randzone arealet (bredden på randzonen).*
- (ii) En udyrket randzone gødes ikke, så der vil ikke kunne ske yderligere ophobning af P på grund af overgødsning. Suppleres ophør af gødsning med bort-høstning af biomasse-P fra randzonen, vil dette på sigt have en positiv effekt på udvaskningspotentialet. Der findes pt. intet vidensgrundlag for tidshorisonten af P-bioremediering ved høst af biomasse.*

På basis af ovenstående har vi intet fagligt grundlag for at indregne en umiddelbar udvaskningsreduktion ved etablering af udyrkede randzoner. På lang sigt kan der forventes en effekt pga. ophør med gødsning og forudsat, der fjernes fosfor ved høst af vegetation. Effekten er beskrevet som P-bioremediering i litteraturen (van der Salm et al, 2009). Således vil fosforpuljen i jorden kunne nedbringes og mætningsgraden sænkes både på højbundslande og på minerogene og organogene lavbundslande.

### *Lavbundskortlægning*

En landsdækkende GIS-analyse hos DJF over jordbundsforhold i potentielle 10 m-randzoner fandt, at minerogen og organogen lavbundsjord udgjorde henholdsvis 16 % og 21 % af det estimerede randzoneareal på i alt 161 194 ha. I analysen indgik vandløb, grøfter og søer fra TOP10DK-temaet samt et korttema over lavbundsareal, der skelner mellem minerogen og organogen lavbundsjord (M. H. Greve, DJF, pers. medd.; Kheir et al., 2010). Lavbundskortet "Det udvidede lavbundstema", som foreligger som en 24 m-raster og er et screeningskort for lavbundsjord, blev konstrueret ved "overlay" af tre forskellige kort: 1) det skannede, historiske topografiske kort fra 1910 (målestok 1:25.000); 2) det digitale kort over klassificeringen af landbrugsjord fra 1975 (1:50.000; Madsen m.fl., 1992) og 3) Danmarks Digitale Jordartskort (1:25000 og 1:200.000; Jakobsen og Hermansen, 2007), der bl.a. baserer sig på data indsamlet i perioden 1880-2007 vedrørende tørv og gytje. Mere information om Lavbundskortet kan findes i Olesen (2009). Udbredelsen af organogene lavbundsjord er stærkt påvirket af afvanding og dyrkning, som kraftigt fremmer omsætningen af jordens kulstof. De foreløbige resultater fra det igangværende projekt om "Kortlægning af organiske jorder på landbrugsarealer" (del af projektet SINKS)<sup>1</sup> tyder på, at området dækket af tørv er mindre, end hvad der blev angivet i jordklassificeringen i 1975, og det forventes derfor, at der vil ske en betydelig revidering af det estimerede organogene lavbundsareal. De endelige resultater vil foreligge ved projektets slutrapportering medio 2011 (M. H. Greve, DJF, pers. medd.).

### *Estimering af areal for etablering af udyrkede randzoner*

Potentialet for randzoner ved højt målsatte eller naturlige vandløb omfatter arealer, der for nuværende enten er i omdrift (28 %) eller er gødet græs (14 %) (Carl Bro, 2008). Der antages at være en udvaskningsreduktion på disse arealer på langt sigt ved at anlægge udyrkede randzoner. Størrelsen af dette areal er  $38.000.000 \text{ m}^2 * 8 \text{ m} * (0.28 + 0.14) / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} = 25.536 \text{ ha}$  (8 m randzone på begge sider af vandløbet). Dette areal skal nedskrives med 14 %, der er optaget af veje, byer mv., hvorfor det samlede, potentielle randzoneareal er 21.961 ha.

Der laves de samme antagelser for ikke målsatte vandløb. Størrelsen af dette areal er  $31.000.000 \text{ m}^2 * 10 \text{ m} * (0.28 + 0.14) / 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} = 26.040 \text{ ha}$ . Efter nedskrivning med 14 % for veje mv. er det samlede, potentielle randzoneareal 22.394 ha.

Tilsvarende estimeres det potentielle randzoneareal langs søerne. Størrelsen af dette areal er  $24.906 \text{ ha} * (0.28 + 0.14) = 10.460 \text{ ha}$ . Som for vandløbene skal dette areal nedskrives med 14 % for veje mv., hvorfor det samlede, potentielle randzoneareal er 8.996 ha.

### *Beregnet udvaskningsreduktion*

Den forventede reduktion i fosforudvaskningen som følge af P-bioremediering ved høst af biomassen i randzonen er vist i tabel 1. Viden om dette er sparsom, men en opsætning af en Hollandsk P-udvaskningsmodel (PLEASE, der er udviklet ved den hollandske institution ALTErrA) på fem danske minerogene lavbundsjord fra én lokalitet, med varierende P indhold viser, at der efter 30 års af-

<sup>1</sup> Læs mere på

[http://pure.agrsci.dk:8080/research/sinks\\_delprojekt\\_6\\_kortlaegning\\_af\\_de\\_organiske\\_jorder\(2855358\)/](http://pure.agrsci.dk:8080/research/sinks_delprojekt_6_kortlaegning_af_de_organiske_jorder(2855358)/)

høstning af en permanent urte/græs vegetation med en P bortførelse på 15 kg P/ha/år kunne opnås en reduktion i udvaskningsbidraget af opløst uorganisk P på 0,03 til 0,15 kg P/ha per år. Beregningerne er et groft skøn, anvendt på randzonearealet uanset jordtype og foretaget med en præliminær opsætning af PLEA-SE modellen. Resultaterne er derfor foreløbige (Rubæk et al., 2009).

**Tabel 1.** Reduktion i udvaskning af P som følge af ekstra 8 m randzoner langs naturlige og højt målsatte vandløb og P-bioremediering.

Randzonetype	Areal ha	Omdrift ha	Græs Ha	Reduktion ved P-bioremediering efter 30 år kg P/ha/år	Total reduktion tons P/år
8 m, naturlige, højt målsatte	21.961	17.778	4.183	0.03 – 0.15	0,6 – 3,3
10 m, ikke målsatte	22.394	14.929	7.465	0.03 – 0.15	0,7 – 3,3
8 m søer	8.996	5.997	2.999	0.03 – 0.15	0,3 – 1,4

Den samlede reduktion i udvaskningen af fosfor som følge af etablering af 10 m randzoner langs alle vandløb og søer større end 100 m<sup>2</sup> er derfor i intervallet 1,6-8 tons fosfor pr. år. Denne effekt har en lang tidshorisont og kan derfor først forventes over en periode på 30 år.

### Effekt af randzoner for P-tilbageholdelse ved jorderosion og overfladisk afstrømning

Udover en mindre udvaskningsreduktion vil udyrkede 10 m randzoner omkring vandløb og søer være med til at begrænse tabet af fosfor til overfladevand som følge af jorderosion og overfladisk afstrømning. Udyrkede og permanent bevoksede randzoner langs vandløb har i forsøg og under naturlige forhold vist sig at være effektive til at tilbageholde fosfor. 10 m randzoner langs vandløb, der støder op til skrånede marker, har vist sig at kunne reducere fosfortilførslen til vandløb med 50-95% (Heckrath et al., 2010). Under antagelse af, at al overfladeafstrømning passerer igennem randzoner og et tab ved erosion og overfladisk afstrømning som estimeret i Poulsen og Rubæk (2005), vil 10 m randzoner kunne reducere fosfortilførslen som vist i tabel 2. Effekten heraf vil være umiddelbar.

Vi gør opmærksom på, at overfladeafstrømning er et lokalt fænomen stærkt påvirket af landskabsstruktur og terrænforhold (Heckrath, 2009). Derfor modtager kun en begrænset del af randzonerne i landet afstrømning fra tilstødende erosionstruede marker på kuperet terræn. Når afstrømningen møder randzonen, er den typisk koncentreret, og randzoneeffektiviteten afhænger bl.a. af forholdet mellem belastningen og randzonebredde. Derfor forventes det, at en rumligt differentieret udformning af randzonebredden, som tydeligt varierer fra 10 m i forhold til det lokale belastningspotentiale, vil være et mere omkostningseffektivt virkemiddel i forbindelse med overfladeafstrømning end standardbredden.

Den samlede effekt af randzoner langs alle vandløb er derfor opgjort til 4,0-30,0 tons P/år og er uændret i forhold til Kronvang & Andersen, 2008. Det skal understreges, at omfanget af jorderosion og overfladisk afstrømning bygger på forholdsvis gamle observationer. Der er resultater, som indikerer, at tabet af fosfor med overfladisk afstrømning formentlig er større end hidtil antaget, og at de giv-

ne estimater for tilbageholdelsen derfor mest tænkeligt er et minimums estimat. Ændringer i nedbør og nedbørsmønster i de seneste 10-20 år har givetvis også ændret på betydningen af denne tabspost.

<b>Tabel 2.</b> Estimeret årlig reduktion i tab af P ved jorderosion og overfladisk afstrømning. Effekten på jorderosion og overfladisk afstrømning tager udgangspunkt i, at der med disse nye randzoner vil der være minimum 10 m brede randzoner langs alle 69.000 km vandløb og søer større end 100 m <sup>2</sup> i Danmark. Effekten er derfor sat i forhold til det samlede tab af P ved jorderosion og overfladisk afstrømning estimeret i Poulsen og Rubæk (2005).	
	<b>Reduktion i tilførsel af P til vandløb fra jorderosion og overfladisk afstrømning</b>
Effekt ved 10 m randzoner langs alle vandløb og søer	4,0 – 30,0 t P

Hvis ikke der gennemføres et årligt høslæt i randzonerne og bortførsel af plante-biomassen med dens indhold af 5-15 kg P/ha randzone, vil der være risiko for et fosfortab til overfladevand via en kombination af overfladisk afstrømning og udfrysning af fosfor fra plantebiomassen. Udfrysningen af fosfor har påvist at påvirke fosfortab fra marker med overfladisk afstrømning i en række udenlandske undersøgelser. Det anslås, at 10-20 % af biomassens indhold af fosfor vil kunne tabes til overfladevand via kombinationen af udfrysning og overfladisk afstrømning. Da processen ikke nødvendigvis finder sted hver vinter, og plantebiomassen er reduceret i vinteren, anvendes 5 % tab af fosfor fra plantebiomasse, som indeholder en rest på 5 kg P som et gennemsnit for danske forhold. Fosfortabet ved udfrysning vil kun ske i øget omfang fra de randzoner, der i dag er i omdrift. På baggrund heraf estimeres det potentielle årlige tab af fosfor via udfrysning og overfladisk afstrømning fra randzoner, der i dag er i omdrift langs målsatte og ikke-målsatte vandløb til:

Udfrysning af fosfor fra arealer i omdrift langs vandløb og søer: 38.700 ha x 5 kg P/ha x 0,05 = 10 tons P

Hvis der ikke gennemføres et høslæt fra randzonerne, vil den samlede årlige effekt af 10 m randzoner langs målsatte og ikke-målsatte vandløb samt søer blive reduceret med i størrelsesordenen 10 t P/år.

### Effekt af randzoner for brinkerosion

Den seneste viden fra 3 års målinger af brinkerosion ved 36 strækninger á 100 m i Odense Å med inddragelse af alle vandløbs- og randzone typer viser, at der ikke er statistisk signifikant forskel i brinkerosionens omfang ved en 2 m bræmme og en minimum 10 m bræmme (Kronvang m.fl., 2010). Etablering af en 10 m randzone langs naturlige og højt målsatte vandløb, hvor 2 m bræmmen er krævet, kan derfor i modsætning til tidligere vurderinger i Kronvang & Andersen 2008 ikke forventes at give en reduktion i fosfortab til vandløb.

Derimod er der konstateret en statistisk signifikant reduktion i brinkerosionens omfang i alle tre måleår, hvis der i randzonen tættest på vandløb vokser en naturlig trævegetation. Der er konstateret en statistisk signifikant forskel i brinkerosionens omfang på henholdsvis 35 % (2006/07), 27 % (2007/08) og 42 % (2008/09) i de tre måleår. Ved aktiv tilplantning med træer i randzoner langs vandløb kan fosforbidraget fra brinkerosion derfor på sigt reduceres med 27-42 %. Reduktionen i brutto P-tab til vandløb som følge af tilplantning med træer for 3 niveauer af fosforindhold i brinkmaterialet er vist i tabel 3.



**Tabel 3.** Estimeret årlig reduktion i fosfortab til vandløb via brinkerrosion ved tilplantning af randzonen tættest på vandløb med træer beregnet for 3 niveauer af fosforindhold i brinkmateriale.

Total fosforindhold i bræmmen tættest på vandløbet	Reduktion i fosfortab ved plantning af træer i randzonen tættest på vandløbet (kg P pr. km vandløb)
400 mg P/kg tørstof	9-15
600 mg P/kg tørstof	13-23
800 mg P/kg tørstof	17-31

Tilplantning med træer kan ske, hvor der ikke er træer i forvejen, både i randzoner langs de naturlige og højt målsatte vandløb og langs de ikke målsatte vandløb, hvis der her udlægges randzoner. Langs de ikke målsatte vandløb er der intet lovkrav om en eksisterende randzone, så etablering af randzoner må her forventes at give samme effekt, som det var forudsat ved etableringen af 2 m bræmmerne i Vandløbsloven fra 1992. Denne evt. effekt er heller ikke indregnet i Kronvang & Andersen, 2008.

Såfremt der eksempelvis antages en tilplantning af træer langs 10 % af de etablerede randzoner på begge sider af vandløbet, vil der på længere sigt (10-15 år) ske en reduktion i fosfortabet til vandløb med 56-207 tons P pr. år. Trævæksten behøver ikke at udgøre hele 10 m randzonen, men skal som minimum findes i et bælte langs med vandløbskanten.

En del af det fosfor, som eroderes ved brinkerrosion og falder ned i vandløbet med brinkmaterialet, kan blive tilbageholdt i vandløbssystemet i kortere eller længere perioder. Det sker både på vandløbsbunden og på oversvømmede engarealer. Disse processer vil reducere andelen af brink eroderet P, som når frem til nedstrøms søer og fjorde. I analysen fra et vandløbssystem (Odense Å) blev mellem 60-80 % således tilbageholdt i vandløbet. Denne tilbageholdelse skal der tages højde for ved den endelige beregning af effekter af træbeplantning i randzonen. I eksemplet med træbeplantning langs 10 % af de etablerede randzoner på begge sider af vandløbet vil der på længere sigt kunne forventes en samlet reduktion på 11-83 tons P/år.

### Samlet effektvurdering af randzoner

**Tabel 4.** Den samlede estimerede effekt af randzoner.

	Udvaskningsreduktion på lang sigt forudsat afhøstning af plantemateriale (tons P)	Reduktion i udledning fra jorderosion og overfladisk afstrømning (tons P)	Eksempel på reduktion i P-tab fra brinkerrosion ved aktiv træplantning af 10 % af den nye randzone-længde (tons P)
Naturlige og højt målsatte vandløb	0,6 -3,3		-
Ikke målsatte vandløb	0,7 -3,3		-
Søer	0,3 -1,4		-
I alt	1,6 -8	4,0-30,0	11-83

Den samlede effekt af 10 m randzoner er estimeret til 17-120 tons P/år inklusive effekter af træbeplantning i 10 % af randzonerne på begge sider af vandløb og langtidseffekten af afhøstning af plantematerialet i randzonerne ved en årlig slåning. Hvis der ikke gennemføres et høslæt fra randzonerne, vil den samlede årlige effekt af 10 m randzoner langs målsatte og ikke-målsatte vandløb samt søer blive reduceret med 10 t P fra udfrysning fra plantematerialet i randzonen og med 1,6-8,0 tons P fra manglende udvaskningsreduktion fra udpiningen af jordens fosforpulje ved borthøst af plantematerialet i randzonen.

Til sammenligning med ovenstående er der i tabel 5 gengivet de effekter af randzoner, som fremgår af Kronvang & Andersen 2008.

<b>Tabel 5. Effektvurdering af randzoner fra Kronvang &amp; Andersen 2008 (afrundede tal).</b>			
	<b>Udvasknings- reduktion  (tons P)</b>	<b>Reduktion i udledning fra jorderosion og overfladisk afstrøm- ning (tons P)</b>	<b>Reduktion i P-tab til vandløb fra brinkerosion  (tons P)</b>
Naturlige og højt målsatte vandløb	4-33	4-30	55-129
Ikke målsatte vandløb	5-34		
Søer	2-13		-

### **Vidensbehov**

Ovenstående estimater af effekt af randzoner på fosfortab ved udvaskning, erosion, overfladisk afstrømning og brinkerosion er givet på et beskedent vidensgrundlag. Generelt mangler der forståelse for, hvordan disse processer spiller sammen på oplandsniveau, samt udvikling af de nødvendige modellerings værktøjer. Specielt bør der iværksættes eksperimenter i både laboratorium og felt til belysning af fosforindhold og -udvaskning i nu-situationen fra forskellige typer af vandløbsnære arealer, samt modellering af effekten på kort og langt sigt af at udlægge udyrkede og afhøstede randzoner (bioremediering).

Desuden mangler der studier over effekten på brinkerosion af randzoners bredde, når den øges fra ingen randzone til 2 m. Det betyder, at en evt. effekt på brinkerosionen langs vandløb uden lovpligtige bræmmer, svarende til effekten af indførelse af 2 m. bræmmen med Vandløbsloven i 1992, ikke indgår i estimaterne over effekten af randzoner, idet der dels ikke foreligger data for effekten på fosforudledning, dels mangler data for i hvor høj grad, der allerede i dag er en "frivillig" bræmme.

Der findes stort set ingen danske undersøgelser af tab af fosfor ved overfladisk vandafstrømning og fladeerosion, hvor det er fosfor på opløst form samt fosfor bundet til den fin-partikulære fraktion, der transporteres. Endelig mangler der helt eksperimenter med randzoners evne til at tilbageholde den opløste fosforfraktion, herunder randzonens levetid som buffer for jord og fosfor.

Slutteligt vil vi gerne fremhæve, at der formentlig er store gevinster at hente for både natur, miljø og produktion ved en differentieret etablering af forskellige randzonebredder afpasset de lokale forhold ved anvendelse af forskellige værktøjer til udpegnen (Kronvang m.fl., 2010).

## Referencer

Carl Bro (2008). Kortlægning af 10 m randzoner langs målsatte og ikke-målsatte vandløb og søer over 100 m<sup>2</sup> i Danmark. Rapport for Fødevarerministeriet og Miljøministeriet udarbejdet af Simon Grünfeld, Kim Aaen og Tore Stamp Kirkeby, Grontmij/Carl Bro.

DJF (2010). Notat "Vedrørende smallere randzoner" til Fødevarerministeriet dateret 18-10-2010.

DMU (2007). Potentielle randzoner langs målsatte vandløb og søer større end 100 m<sup>2</sup>. Eksternt notat til MST, 13. februar 2007 (Sagsnr. DMU-22-00038).

Forskningsinstitutionerne (2008). Opdateret notat vedr. effekterne af en permanent nulstilling af udtagningsforpligtigelsen. Notat udarbejdet for Fødevarerministeriet og Miljøministeriet af Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, Fødevarerøkonomisk Institut, Københavns Universitet, og Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

Heckrath, G. (2009). Soil erosion by water. s. 89-96. P. Schjønning, B.T. Christensen og G. Heckrath (red.). Threats to Soil Quality in Denmark. DJF Report Plant Science No. 143, Aarhus Universitet.

Heckrath, G., Kjærgaard, C., Hinger, J. Andersen, H.E., Kronvang B. (2010). Randzoner som fosforfiltre. Vand & Jord 17(1) 55-57.

Jakobsen, P.R., Hermansen, B. (2007). Danmarks digitale jordartskort. Version 3.0. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2007/84.

Kheir, R.B, Greve, M.H., Bøcher, P.K., Greve, M.B., Larsen, R., McCloy K.R. (2010). The application of GIS based decision-tree models for generating the spatial distribution of hydromorphic organic landscapes in relation to digital terrain data. Hydrology and Earth System Sciences 6, 847-857.

Kort- og Matrikelstyrelsen (2006). Kort10, version 2006.

Kronvang, B. (2004). Besvarelse af Folketingsspørgsmål 101 og 102 stillet i forbindelse med regeringens forhandlinger med Folketingets partier om VMP III. <http://www.vmp3.dk/Files/Filer/Spm/VMPIII-svar300304.pdf>.

Kronvang, B., Andersen, H.E. (2008): Effekt på fosforudledning af 10 m brede randzoner. Notat til Miljøministeriet.

Kronvang, B., Hoffmann, C., Thodsen, H., Windolf, J. Audet, J., Larsen, S.E., Jensen, H.S. (2010). Fosfor i åer og dale: Kilde eller filter? Vand & Jord, tema: Vandplaner og Ådale, 50-54.

Madsen, H.B., Nørr, A.H., Holst, K.A. (1992). The Danish Soil Classification. Atlas over Danmark I,3. The Royal Danish Geographical Society, Copenhagen.

Olesen, S.E. (2009). Kortlægning af potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabelement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. DJF Markbrug nr. 21.

Poulsen, H.D., Rubæk, G.H.(2005). Fosfor i dansk landbrug. Omsætning, tab og virkemidler. DJF rapport Husdyrbrug nr. 68.

Rubæk, G.H, Heckrath G, Salm, C. van der, Schoumans, O., Jørgensen, U., Børgesen, C.D., Sørensen, P. (2009). Impact of crop management on nutrient losses. I: COST 869. Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwaters: Implementation of the WFD, River Basin Mangement Plans (RBMP), Experiences and problems encountered, s. 26-26.

SNS, 1999. Status for amter og kommuners tilsyn med overholdelse af vandløbslovens § 69 om 2 m dyrkningsfrie bræmmer ved vandløb og søer i 1998. Notat fra Økologisk Kontor, J.nr. 1996-474-001.

Van der Salm C, Chardon W.J., Koopmans G.F., van Middelkoop J.C., Ehlert P.A.I. (2009). Phytoextraction of phosphorous-enriched grassland soils. Journal of Environmental Quality 38, 751-761.