



ETABLERING AF P-ÅDALE

Faglig rapport fra DMU nr. 840 2011



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



[Tom side]

ETABLERING AF P-ÅDALE

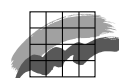
Faglig rapport fra DMU nr. 840 2011

Brian Kronvang¹
Martin Søndergaard¹
Carl Christian Hoffmann¹
Hans Thodsen¹
Niels Bering Ovesen¹
Michael Stjernholm¹
Carsten Brian Nielsen¹
Charlotte Kjærgaard²
Boris Schønfeldt³
Bo Levesen³

¹ Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet

² Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

³ Vejle kommune



Datablad

- Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 840
- Titel: Etablering af P-ådale
- Forfattere: Brian Kronvang¹, Martin Søndergaard¹, Carl Christian Hoffmann¹, Hans Thodsen¹, Niels Bering Ovesen¹, Michael Stjernholm¹, Carsten Brian Nielsen¹, Charlotte Kjærgaard², Boris Schönfeldt³ & Bo Levesen³
- Institutioner, afdelinger: ¹Afdeling for Ferskvandsøkologi
²Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
³Vejle kommune
- Udgiver: Danmarks Miljøundersøgelser©
Aarhus Universitet
- URL: <http://www.dmu.dk>
- Udgivelsesår: Juni 2011
- Redaktion afsluttet: Maj 2011
- Faglig kommentering: Henning S. Jensen, Syddansk Universitet
- Finansiel støtte: Naturstyrelsen
- Bedes citeret: Kronvang, B., Søndergaard, M., Hoffmann, C.C., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Stjernholm, M., Nielsen, C.B., Kjærgaard, C., Schönfeldt, B. & Levesen, B. 2011: Etablering af P-ådale. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 67 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 840. <http://www.dmu.dk/Pub/FR840.pdf>
- Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
- Sammenfatning: Etablering af områder langs vandløb, som til tider oversvømmes, er en metode til at tilbageholde vandløbets partikelbundne fosfor og dermed begrænse fosfortilførslen til nedstrømsbeliggende søer. I denne rapport gennemgås de forskellige overvejelser og undersøgelser, som ligger forud for lokalisering og etablering af oversvømmelsesområder.
- Emneord: Vandplaner, søer, vandløb, fosfor, oversvømmelse, P-ådalsområder, fosforfrigivelse.
- Layout: Anne Mette Poulsen
- Illustrationer: Grafisk værksted, DMU Silkeborg
- Omslagsfoto: Gensnoning og etablering af oversvømmelsesområder langs Odderbækken, Vejle kommune (fotograf: Karsten Wandall)
- ISBN: 978-87-7073-250-5
- ISSN (elektronisk): 1600-0048
- Sideantal: 67
- Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside <http://www.dmu.dk/Pub/FR840.pdf>
og på Naturstyrelsens hjemmeside under www.vandprojekter.dk

Indhold

Forord

Sammenfatning

1 Indledning 8

- 1.1 Baggrund og formål 8

2 Screening og lokalisering af potentielle P-ådsalsområder 11

- 2.1 Indledning 11
- 2.2 GIS-analyser til identifikation af områder, som kan oversvømmes 12
- 2.3 Forekomst af store vandføringer og oversvømmelser 13
- 2.4 Koncentrationen af suspenderet stof i danske vandløb 14
- 2.5 Beregning af potentiel P-tilbageholdelse 16
- 2.6 Prioritering blandt potentielle P-ådsalsområder 19

3 Vurdering af risiko for fosforfrigivelse fra ådalsjorde 21

- 3.1 Baggrund for risikovurdering ved P-ådsalsprojekter 21
- 3.2 Prøvetagning i forbindelse med forundersøgelse af P-ådsalsprojekter 21
- 3.3 Vurdering af potentiel risiko for fosforfrigivelse fra ådalsjorde 23

4 Detailundersøgelser af vandløb forud for etablering af P-ådsalsområder 27

- 4.1 Feltmålinger 27
- 4.2 Terrænopmålinger 27
- 4.3 Metoder til hævning af vandstand 28

5 Forvaltning af området 31

- 5.1 Håndtering af dræn/grøfter i området 31
- 5.2 Drift af området (retningslinjer for f. eks. omdrift, gødskning, pesticidbrug m.m.) 31
- 5.3 Fjernelse af næringsstoffer fra området (høslet mm.) 32

6 Demonstration af de beskrevne metoder m.m. til lokalisering af P-ådale 33

- 6.1 Identifikation af søer med P-reduktionsmål (fremgår af vandplanerne) 34
- 6.2 Lokalisering af ådale opstrøms disse søer, hvor der evt. kan anlægges områder til oversvømmelse (vurderes via kort/GIS). 34
- 6.3 Analyse af eksisterende data (screening) til identifikation af potentielle P-områder 35
- 6.4 Indsamling af nye data fra potentielle P-ådsalsområder (detailundersøgelser) 36

7 Referencer 38

8 Bilag 40

- 8.1 GIS-analyser til identifikation af områder, som kan oversvømmes 40
- 8.2 Analyse af store vandføringer og oversvømmelse i danske vandløb 46
- 8.3 År til år variationer i antal dage med stor vandføring 49
- 8.4 Model for partikelbundet transport af fosfor fra oplande 50
- 8.5 Målinger af suspenderet stof i vandløb 52
- 8.6 Fosfordeponering ved oversvømmelse 57

- 8.7 Baggrund for risikovurdering fosforfrigivelse ved P-ådsalprojekter 59
- 8.8 Afrapporteringsskema 61
- 8.9 Prøvehåndtering og analyse 62
- 8.10 Det gensnoede vandløbs dimensioner 64
- 8.11 Overvågning af et P-ådsalråde 66
- 8.12 Tørstofproduktion og indbygning af fosfor og kvælstof i overjordisk biomasse 67

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

Forord

Denne rapport giver en vejledning i, hvordan der kan lokaliseres og etableres oversvømmelsesområder langs vandløb. Formålet er at skabe områder, hvor der kan ske en bundfældning af partikelbundet fosfor (P-ådale), så fosfortilførslen til nedstrømsbeliggende søer dermed reduceres.

Rapporten giver en kortfattet gennemgang af de forskellige overvejelser og beregninger, der ligger forud for udvælgelsen af potentielle oversvømmelsesområder. I bilagsdelen er der givet mere detaljerede beskrivelser og beskrevet konkrete måleresultater.

Projektet har været fulgt af en styregruppe bestående af Olaf Christiani (NST), Boris Schønfelddt (Vejle kommune), Søren Madsen (Næstved kommune). Deltagerne takkes for gode og konstruktive input under hele forløbet. Også tak til Henning S. Jensen (SDU), der har stået for den eksterne faglige kommentering.

Sammenfatning

Mange af de danske søer lever ikke op til Vandrammedirektivets krav om mindst en god økologisk tilstand inden 2015. Der er derfor brug for at reducere fosfortilførslen til en række søer, som det er beskrevet i vandplanerne.

Et af virkemidlerne til at mindske fosfortilførslen til søer er at etablere arealer langs vandløb opstrøms disse søer, som oversvømmes en gang i mellem (de såkaldte P-ådalsområder). I forbindelse med oversvømmelse vil der nemlig deponeres en stor del af den partikelbundne fosfor (P), som transporteres i vandløbet, og som derved kan fjernes fra vandløbet.

Den første øvelse til at lokalisere potentielle P-ådalsområder kan foretages alene på baggrund af eksisterende data og kortmateriale. GIS-analyser kan således anvendes til at lokalisere områder og beregne, hvor store arealer, det drejer sig om.

Potentialet for forekomsten af store vandføringer og oversvømmelser i et givent vandløb kan dernæst vurderes på baggrund af eksisterende data fra danske vandløb. Disse viser blandt andet, at der er væsentlige regionale forskelle i antallet af dage med stor vandføring, således at der generelt er flest af sådanne dage på Fyn og Sjælland, men at hyppigheden også afhænger af vandløbstype. Kendskabet til indholdet af suspenderet stof, som er tæt relateret til indholdet af partikulært fosfor, kan også anvendes i en forhåndsvurdering af potentielle P-ådalsområder. Analyse af danske data viser her for eksempel de laveste koncentrationer i Vestjylland. Den potentielle P-tilbageholdelse kan estimeres på baggrund af størrelsen af det mulige oversvømmelsesområde, forventet gennemsnitlige antal dage med oversvømmelse og forventet depositionsrate.

Ud over vurderingen af den potentielle P-tilbageholdelse kan det i et givent område også være nødvendigt at tage højde for en række andre hensyn. Det kan være forhold vedrørende områdets størrelse og placeringen af området i forholdet til søen samt påvirkningen af eksisterende naturtyper og naturinteresser.

Oversvømmelsen af et område indebærer også en risiko for, at der kan frigives fosfor fra det vanddækkede område. For at vurdere denne risiko er der angivet en strategi for, hvordan jordbundsprøver kan udtages og analyseres. Antallet af delområder og prøver til analyse afhænger af arealets størrelse. Disse analysedata danner grundlag for at vurdere den potentielle risiko for fosforfrigivelse fra et P-ådalsområde og dermed også til at afgøre, om et område bør anvendes eller ej.

Forud for etableringen af et P-ådalsområde vil det også ofte være nødvendigt at indsamle nye data fra et område. Det drejer sig især om terrænopmålinger og kortlægning af vandløbsmorfologi. Efterfølgende er det også nødvendigt at vurdere hvilken metode, der skal anvendes til at hæve vandstanden og dermed skabe oversvømmelse. Den mest oplagte metode er genslyngning af vandløbet, der også vil have positive synergi-effekter på vandkvaliteten og den økologiske tilstand. Andre metoder er hævning af vandløbsbunden og ophør eller reduktion af grødeskæring.

Under og efter etableringen af et P-ådsalsområde er der en række forhold, som skal tages i betragtning for at opnå det bedste resultat på både kort og lang sigt. Disse omfatter fjernelse af dræn og grøfter i projektområdet, retningslinjer for drift af området (gødskning mm.) og fjernelse af næringsstoffer gennem drift af projektarealet (fx via høslet).

Til sidst i rapporten er der gennemregnet et eksempel (Oddebæk i Midtjylland), som demonstrerer, hvordan forløbet forud og under etableringen af et P-ådsalsområde kan gennemføres.

I en bilagsdel er der angivet en række mere detaljerede analyser og yderligere informationer, herunder indhold af suspenderet stof i en række danske vandløb, gennemførelsen af GIS-analyser, model til beregning af partikelbundet fosfor i vandløb og hvor meget fosfor, der kan fjernes ved høslet.

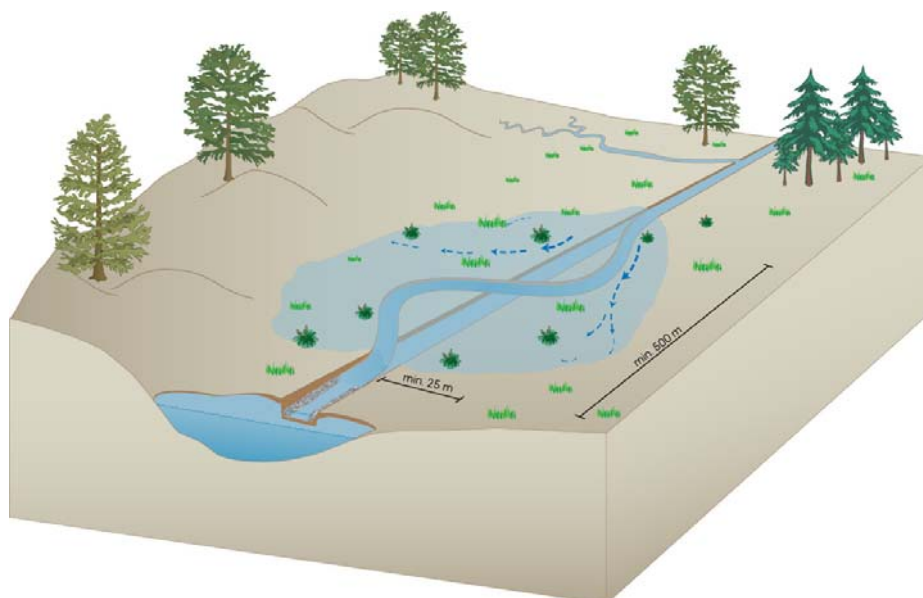
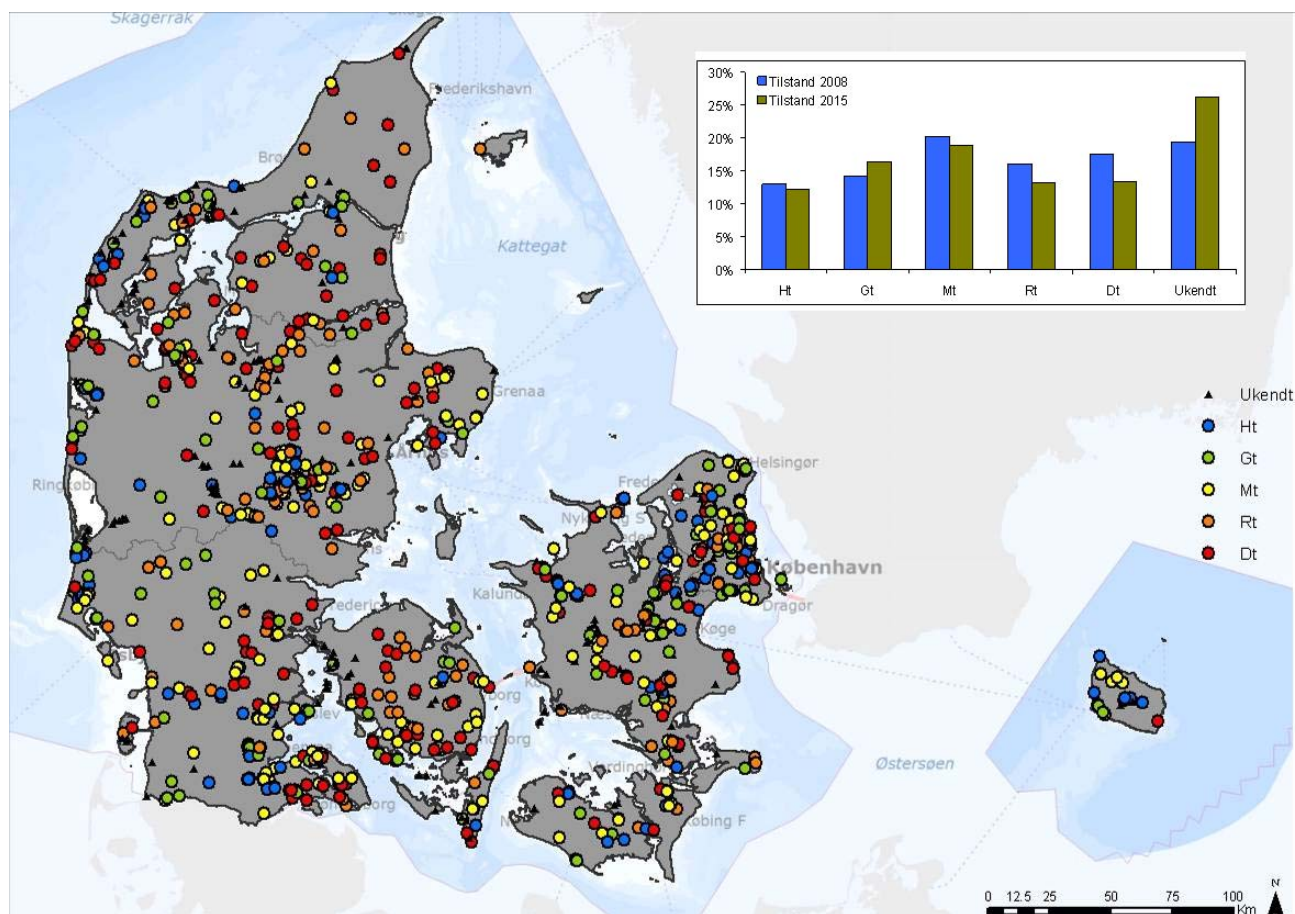


Fig. 0.1 Illustration af, hvordan et P-ådsalsområde kan etableres langs et vandløb. På figuren er angivet forslag til teknisk minimumdimensionering af et P-ådsalsområde.

1 Indledning

1.1 Baggrund og formål

Mange danske søer modtager stadigvæk for store fosformængder til at leve op til kravet om mindst en god økologisk tilstand jf. Vandrammedirektivet. Tilstanden i de enkelte søer og fastsættelse af den økologiske klasse og forventninger til den fremtidige tilstand er angivet i vandplanerne udarbejdet for de 23 hovedvandoplande (<http://www.naturstyrelsen.dk/VANDET/Vandplaner/>). Baseret på den foreløbige plan, som netop har været i høring (maj 2011), vurderes kun omkring 25 % af de danske søer omfattet af direktivet i dag at have mindst en god økologisk tilstand. Dette svarer til omkring 30 % af søerne med kendt tilstand, idet tilstanden er ukendt i ca. 20 % af søerne (figur 1.1).

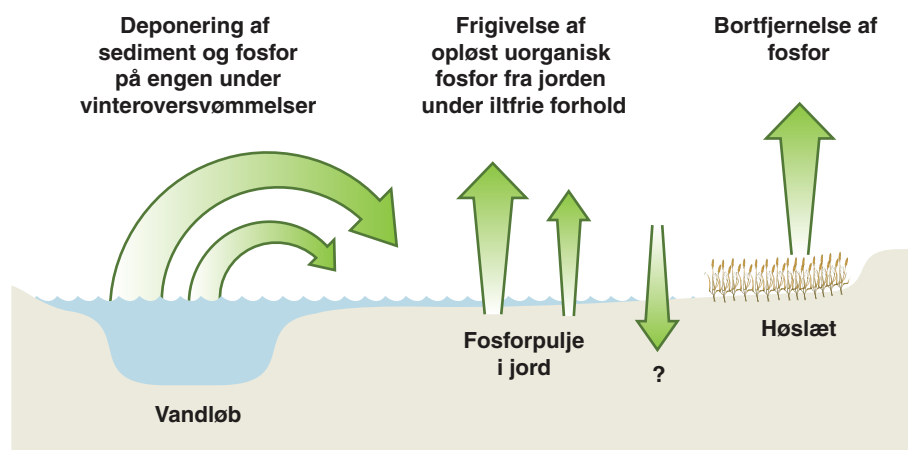


Figur 1.1. Placering af søer omfattet af vandplanerne med angivelse af den økologiske tilstand. Kortet er lavet på baggrund af indmeldinger jf. vandplanerne (<http://www.naturstyrelsen.dk/VANDET/Vandplaner/>) og de foreløbige planer, som er sendt i høring. Diagrammet i øverste højre hjørne angiver den samlede fordeling af søer i henholdsvis høj, god, moderat, ringe, dårlig og ukendt økologisk tilstand (angivet for 2008 og forventet tilstand i 2015).

I forbindelse med Vandrammedirektivets implementering er der derfor undersøgt en række muligheder for at kunne mindske fosforbelastningen til de søer, hvor det er nødvendigt. De forskellige muligheder til brug for vandplanindsatsprogrammer og deres effektivitet er angivet i

Virkemiddelkataloget (www.naturstyrelsen.dk/.../Virkemiddelkatalog_oversvømmelse_3_Samlet.pdf). Kataloget opridser en række muligheder inden for blandt andet landbrugsrelaterede tiltag. Et af disse virkemidler er etablering af arealer med periodevis oversvømmelse i ådale med henblik på fosforfjernelse. Dette er det eneste målrettede virkemiddel for fosforreduktion blandt de landbrugsrelaterede tiltag og har til formål at reducere den diffuse tilførsel af fosfor til søer med et reduktionsbehov ved periodevis oversvømmelse og ekstensivering af ådale, dvs. de såkaldte P-ådale. I Grøn Vækst-aftalen er etableringen af op til 3.000 ha P-ådale angivet til at skulle bidrage med 30 tons fosfor ud af de i alt 210 tons, som fosforafstrømningen jf. vandplanerne skal reduceres med. En mere uddybende beskrivelse af virkemidlet og dets forudsætninger er givet i faglig rapport nr. 625 fra DMU (http://www2.dmu.dk/Pub/FR625_final.pdf).

Princippet ved dette virkemiddel er, at der i forbindelse med oversvømmelse af vandløbsnære arealer sker en deponering af partikler og dermed en tilbageholdelse af partikelbundet fosfor (figur 1.2). Oversvømmelsen kan under visse forhold (beskrives nærmere i denne rapport) også give anledning til en fosforfrigivelse fra de oversvømmede arealer, men generelt vurderes metoden at kunne tilbageholde mellem 10 og 30 kg P per hektar oversvømmet areal (http://www2.dmu.dk/Pub/FR625_final.pdf). Disse tilbageholdelsesrater er vurderet på baggrund af en række erfaringstal, som dog primært er baseret på oversvømmelse af de nedre dele af vandløbet, hvor potentialet er størst, og hvor der er brede engarealer langs vandløbene (Kronvang et al., 2010). Normalt vil oversvømmelsen af de nedre vandløbsdele kunne vare i længere tid sammenlignet med længere oppe i vandløbssystemet, og dermed er potentialet for fosfortilbageholdelse generelt størst i de nedre dele af et vandløbssystem. Det vil også være her, man finder de bredeste ådale, hvor oversvømmelse hyppigst og mest naturligt kan finde sted.



Figur 1.2. Principskitse over deponeringen og fjernelse/frigivelse af fosfor i forbindelse med oversvømmelse fra vandløb i en ureguleret ådal.

For at etablering af P-ådale kan implementeres i kommunerne på en ensartet måde og med de forholdsregler, der er nødvendige, har Naturstyrelsen fundet det hensigtsmæssigt at få udarbejdet en teknisk anvisning, der sætter kommunerne i stand til konkret at lokalisere områder til anvendelse af virkemidlet, og som samtidigt beskriver hvilke forhold, der skal iagttages for at sikre P-effekten af virkemidlet.

Anvisningen følger en skabelon, der svarer til den naturlige arbejdsgang, der vil være i forbindelse med en kommunes udvælgelse, planlægning og håndtering af P-ådsalsprojekter (Box 1.1). Hovedvægten i denne rapport vil blive lagt på punkt 3-4, dvs. screeningsprocessen, der anvendes til identifikation af potentielle P-ådsalsområder, samt en gennemgang af de detailundersøgelser, der bør foretages før den endelige udvælgelse, og før projektet sættes i gang. I bilaget er der givet mere udførlige beskrivelser for flere af punkterne samt konkrete data fra vandløb til vurdering af indhold af suspenderet stof.

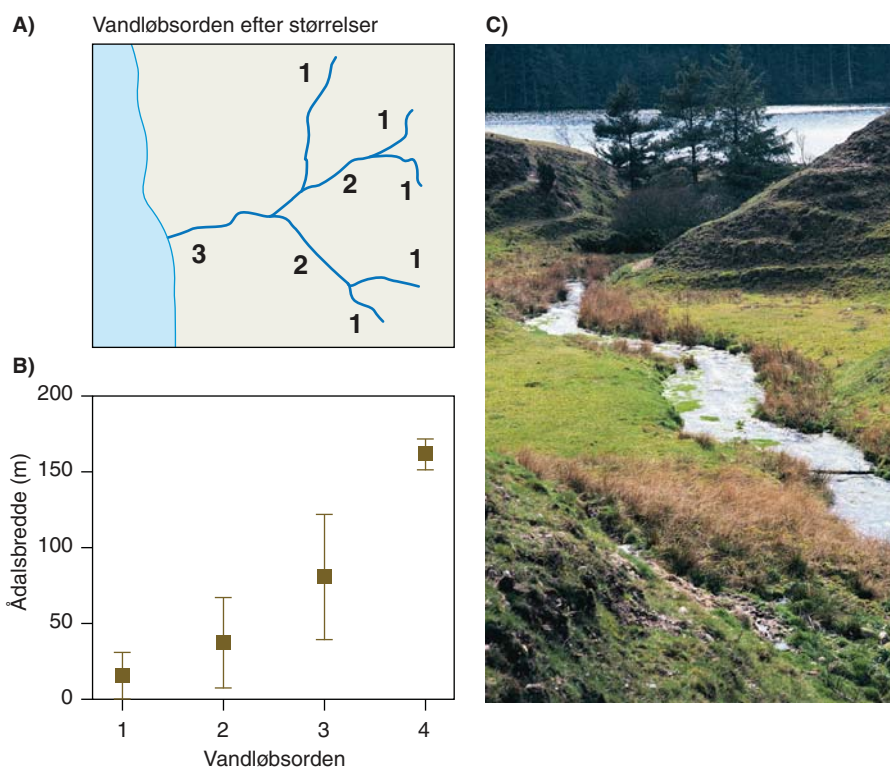
Box 1.1. Samlet og overordnet arbejdsgang (fra start til slut) i forbindelse med anlæg af P-ådale:

1. Identifikation af søer med P-reduktionsmål (fremgår af vandplanerne).
2. Lokalisering af ådale opstrøms disse søer, hvor der evt. kan anlægges områder til oversvømmelse (vurderes via kort/GIS).
3. Analyse af eksisterende data (screening) til identifikation af potentielle P-områder: a) Identifikation af vandløb med hyppige oversvømmelser og stor transport af partikulært fosfor, b) beregning af potentiel P-tilbageholdelse, c) vurdering af beliggenhed.
4. Indsamling af nye data fra potentielle P-ådsalsområder (detailundersøgelser). Vurdering af risiko for P-frigivelse fra de oversvømmede arealer. Forslag til metodevalg (for at skabe oversvømmelse) udarbejdes. Detailundersøgelser af vandløb.
5. Prioriteringen blandt potentielle områder revideres evt. på baggrund af detailundersøgelsen.
6. Projektet gennemføres.

2 Screening og lokalisering af potentielle P-ådalsområder

2.1 Indledning

Inden åen er blevet til en å, er den sprunget ud som en lille kildebæk øverst oppe i vandløbssystemet. Den lille kildebæk løber videre som en bæk, inden den vokser sig større og bliver til en å eller støder til en å. Dalen med den lille bæk eller den mindre å er ofte lille og smal, med stejle hældning og lille vandføring - alt sammen forhold, der bevirker, at man *ikke* naturligt har oversvømmelse her (figur 2.1).



Figur 2.1. A: Princip bag inddeling af vandløb i vandløbsordener. B: Ådalsbredden som funktion af vandløbsordenen. Jo højere orden, jo bredere ådal. Figuren er baseret på data fra Brede Å. C: En lille bæk med smal ådal eller kløft og den stejle hældning, som *ikke* er egnet til oversvømmelse.

Ser man helt systematisk på ådalens bredde i forhold til vandløbets størrelse, kan man få en klar indikation af, hvor man tidligst kan forvente at have morfologiske forhold, der kan give oversvømmelse (figur 2.1). Her fremgår det tydeligt, at første ordens vandløb ikke har en ådal, der er tilstrækkelig bred til, at der kan skabes tilstrækkelig plads til oversvømmelse. Det er tidligst ved anden ordens vandløb, at ådalen har udvidet sig nok til, at der eventuelt kan skabes mulighed for oversvømmelse - og her skal man stadig betænke, at de øvrige forhold, der kunne tale for en oversvømmelse, skal være i orden (fx tilstrækkelig høj vandføring og indhold af suspenderet stof, se afsnit 2.4). Endvidere skal oversvømmelsesarealet ligge lavt i terrænet i forhold til de omkringliggende arealer og

skal topografisk set være fladt, dog er eventuelle depressioner kun en fordel.

Det første skridt i forbindelse med etablering af P-ådsalsområder er at lokalisere potentielle områder, som kan oversvømmes. Udpegningen og udarbejdelsen af en bruttoliste over mulige områder kan i den indledende fase baseres på en screening, der gennemføres ved skrivebordet på basis af eksisterende data- og kortmateriale. Et typisk forløb indeholder punkterne opsummeret i Box 2.1.

Box 2.1. Metoder til lokalisering af potentielle P-ådale:

1. GIS-analyser. Hvor findes der områder opstrøms søer, som kan oversvømmes? Hvor mange hektar kan der oversvømmes og har de en tilstrækkelig bredde i forhold til vandløbet (mindst 25 m jf. virkemiddelkataloget)?
2. Lokalisering af vandløb med oversvømmelser. Hvor mange dage om året kan det pågældende område forventes oversvømmet (antallet af peak-dage)?
3. Lokalisering af vandløb med stor stoftransport. Hvor store mængder suspenderet stof er der i vandløbet, som kan deponeres. Vurderes evt. via regionskort over suspenderet stof.
4. Forventet fosfortilbageholdelse. Hvor stort er det samlede potentiale til at deponere fosfor i det pågældende område (afhænger af oversvømmet areal, varighed af oversvømmelse og koncentration af suspenderet stof).
5. Prioritering af blandt potentielle P-ådsalsområder. Hensyntagen til øvrige forhold.

2.2 GIS-analyser til identifikation af områder, som kan oversvømmes

Der findes flere GIS-værktøjer, som kan bruges til at identificere potentielle oversvømmelsesområder langs et vandløb. GIS-analyser kan give et overblik over placering af arealer, deres størrelser og højdevariationerne på et detaljeringsniveau, som ikke nødvendigvis kan opnås via feltbesigtigelser. Detaljeringsgraden afhænger af de anvendte baggrundsdata, men det er oplagt at bruge den seneste fælles offentlige højdemodel (<http://www.kms.dk/Referencenet/dhm/>), der med en opløsning på 1,6 m giver det mest detaljerede billede.

En gennemgang af selve GIS-analyserne og metoderne bagved er givet i bilag 8.1. Et eksempel på hvordan et område langs et vandløb kan beskrives er vist i figur 2.2.

Som illustreret i figur 2.2, vil potentielle oversvømmelsesområder typisk ligge langs et vandløb, men der er ikke noget i vejen for, at det kan strække sig lidt væk fra vandløbet, eller at der vil være højere beliggende områder (øer) inde i et oversvømmelsesareal. I afsnit 2.5 er der angivet minimums- og maksimumskrav til dimensionering af oversvømmelsesarealer og også givet eksempler på hvor meget fosfor, der deponeres i forskellige afstande til vandløbet.



Figur 2.2. Eksempel på, hvordan lavtliggende områder omkring et vandløbssystem kan beskrives via GIS. Blå nuancer er niveauer under vandløbsniveauet, og røde nuancer er mellem 0 og 3 m over vandløbsniveauet. De mest mørkerøde farver er dér, hvor der er mindst højdeforskel i forhold til vandløbsbunden, og som dermed sammen med blå områder er de mest sandsynlige oversvømmelsesområder. Se også bilag 8.1.

2.3 Forekomst af store vandføringer og oversvømmelser

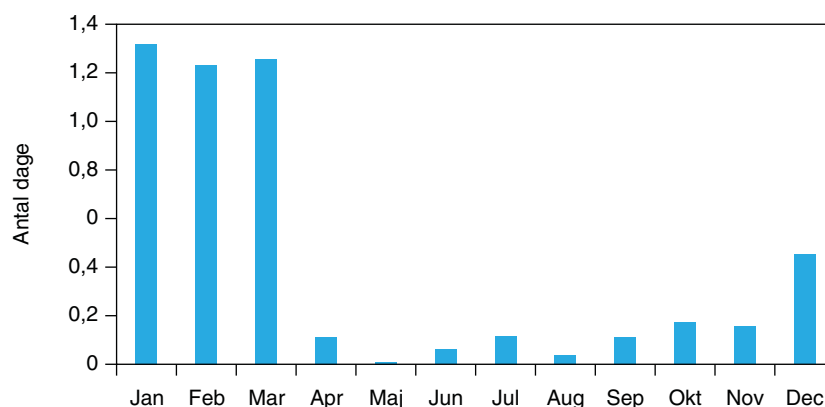
En forudsætning for at kunne skabe periodisk oversvømmelse af arealer langs vandløb er, at der forekommer perioder med store afstrømninger. Det bedste er selvfølgelig, hvis man har konkrete data for et vandløb at vurdere ud fra, men hvis dette ikke er tilfældet, er der i dette afsnit foretaget en analyse af forekomsten af store afstrømninger i danske vandløbstyper. Analysen kan være retningsvisende for hvilke vandløbstyper og regioner af Danmark, hvor der hyppigst forekommer store vandføringer og dermed potentiel oversvømmelser af de ånære arealer. Resultaterne af analysen er vist i tabel 2.1. I bilag 8.2 er der angivet den gennemsnitlige medianmaksimumsafstrømning i forskellige regioner og vandløbstyper i Danmark.

Resultaterne i tabel 2.1 er kun vejledende for, hvor hyppigt man kan forvente en forekomst af store vandføringer, men ved forekomst af mange dage med stor vandføring er der alt andet lige større mulighed for at genskabe hyppigere oversvømmede P-ådale. Resultatet skal kombineres med lokal viden om betydende forhold for vandføringsevnen, såsom hældning, grødevækst og –skæring, brinkvegetation og –skæring, samt de lokale topografiske forhold, før antallet af dage med oversvømmelser pr. år kan beregnes. Antallet af dage med oversvømmelser vil ofte være meget større end antallet af dage med stor vandføring, og dagene angivet i tabel 2.1 kan derfor betragtes som et minimumsestimater. Der vil dog ofte være meget store variationer fra år til år i antallet af dage med store vandføringer afhængig af nedbørsforholdene de enkelte år (se bilag 8.3).

Tabel 2.1. Det potentielle gennemsnitlige antal dage om året, hvor 95 % percentilen af medianmaksimumvandføringen overskrides i perioden 1990-2009 inddelt efter georegion og vandløbstype. Dette antal kan betragtes som et minimumsestimater for antallet af oversvømmelsesdage. N er antallet af vandløb og St standardvariationen på middelværdien. Se også bilag 8.2.

Region	Oplandsklasse									
	Georegion	Type I vandløb (små vandløb, < 2 m bredde)			Type II vandløb (mellemstore vandløb, bredde fra 2 m – 10 m)			Type III vandløb (store vandløb, bredde > 10 m)		
		N	Middel	St	N	Middel	St	N	Middel	St
Vest- og Nordjylland	1,2,3,4	5	3,6	1,9	21	2,4	1,0	37	4,6	3,2
Midt- og Østjylland	5,6,7a	11	3,2	1,2	32	3,9	3,0	17	6,2	4,1
Fyn	7b	7	4,4	2,8	9	6,3	3,9	7	5,4	2,9
Sjælland	7c,8	9	7,8	10,5	35	4,8	3,6	18	10,9	9,0
Bornholm	9	1	2,2		3	1,0	0,1	0		

Der er en tydelig forskel i det gennemsnitlige antal dage med store vandføringer mellem især region Sjælland og de øvrige regioner ved Type I vandløb. Langs Type II vandløb er der flere dage med store vandføringer i region Fyn og Sjælland, end det er tilfældet for de øvrige regioner. Type III vandløb viser samme tendens som for Type I vandløb med flest dage med store vandføringer langs vandløb i Sjælland. Der kan også erkendes en generel tendens til en stigning i antal dage med store vandføringer med stigende vandløbstype, således er der flere dage med stor vandføring i Type III vandløb end i Type I vandløb. I figur 2.3 er der vist en sæsonmæssig analyse af forekomsten af dage med stor vandføring. Den viser, at oversvømmelse typisk vil finde sted i vintermånederne og især i månederne januar-marts.

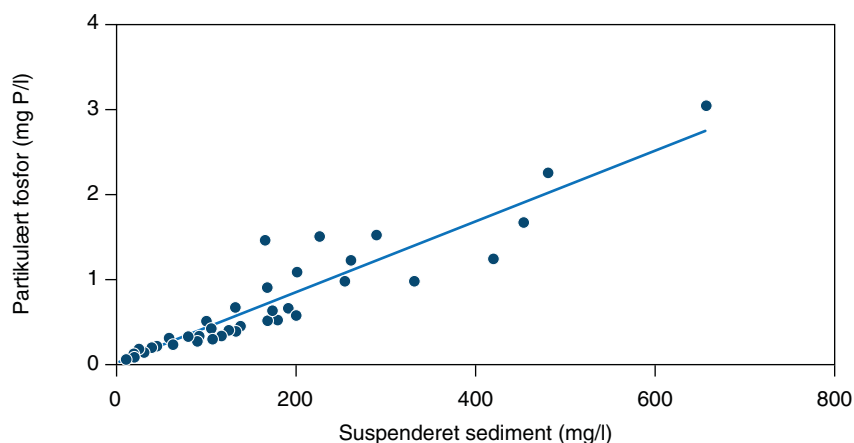


Figur 2.3. Sandsynligheden for oversvømmelse langs danske vandløb gennem året (vurderet ud fra middel antal dage pr. måned, hvor vandføringen er større end 95 % af medianmaksimumsvandføringen, middel for 212 stationer for 1990 – 2009).

2.4 Koncentrationen af suspenderet stof i danske vandløb

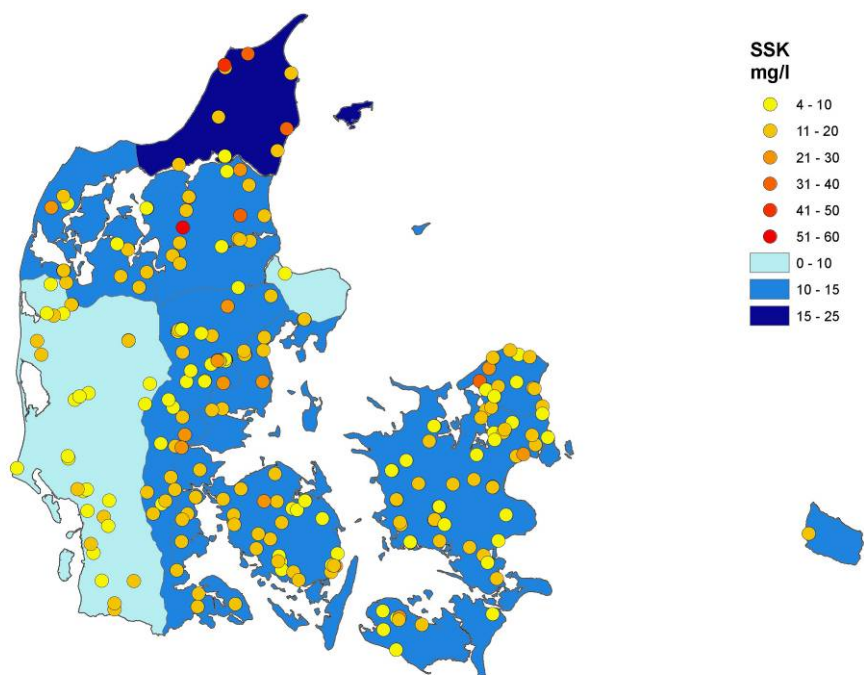
Ud over at etablere P-ådsalsområder langs vandløb, som faktisk oversvømmer (afsnit 2.3), er det også relevant at vurdere, hvor meget fosfor, der faktisk transporteres. Potentialet for at tilbageholde fosfor i forbindelse med oversvømmelse stiger nemlig proportionalt med indholdet af suspenderet stof. Det er derfor mest relevant at etablere P-ådsalsområder langs vandløb, som har et højt indhold af suspenderet stof. En sammenhæng mellem indhold af suspenderet stof og partikulært fosfor er vist i

figur 2.4. Den partikelbundne transport af fosfor fra et opland kan også estimeres via modeller (se bilag 8.4).



Figur 2.4. Eksempel på sammenhæng mellem indhold af suspenderet stof og partikulært fosfor i Gelbæk (1. ordens vandløb i Midtjylland) målt gennem 8 efterårs- og vintered-børshændelser. Fra Kronvang et al. (1997). $N = 40$, $p < 0,001$, $r^2 = 0,87$. $C_{pp} = 0.0042 \cdot C_{ss}$

I figur 2.5 er der vist resultaterne af en analyse af indholdet af suspenderet stof i danske vandløb med henblik på at identificere regioner og områder, hvor indholdet af suspenderet stof evt. kan forventes at være højest, og hvor det derfor vil være mest aktuelt at anlægge P-ådalsområder. Analysen er baseret på omkring 18.500 målinger i perioden 1989-2010. For at mindske usikkerheden er der kun medtaget stationer, hvor der er mindst 20 observationer af suspenderet stof (se også bilag 8.5, hvor der er en tabel med målte koncentrationer af suspenderet stof i de 199 vandløbsstationer, som ligger til grund for figur 2.5).



Figur 2.5. Middel SSK (suspenderet stof koncentration) på alle stationer med minimum 20 observationer (prikker). Middel SSK i hver af de ni georegioner (blå baggrundsfarver). I bilag 8.5 er angivet de gennemsnitlige målte koncentrationer på de alle de angivne stationer.

Resultaterne viser, at de højeste koncentrationer af suspenderet stof generelt findes i Nordjylland og Nordsjælland, mens der ikke er nogen stationer med høj koncentration i Midt- og Vestjylland. Der er stor variation i koncentrationerne på de enkelte stationer i hver georegion, men generelt ligger stationer med høj koncentration i den del af landet, der var isdækket under sidste istid, hvilket sandsynligvis skyldes de mere lerede jordforhold og et landskab med flere høje hældninger. Den lave suspenderet stof for georegion 5 (Nordlige Djursland) er baseret på kun én station og skal ikke tillægges for stor betydning.

2.5 Beregning af potentiel P-tilbageholdelse

2.5.1 Estimering baseret på generelle data

De foregående tre afsnit har vurderet, om der findes mulige oversvømmelsesområder opstrøms en given sø, hvor hyppigt der kan forventes oversvømmelser, og hvor meget suspenderet stof der transporteres. Når disse tre punkter er besvaret, kan det sidste og vigtigste spørgsmål besvares, nemlig: hvor meget fosfor kan der potentielt forventes tilbageholdt på de oversvømmede arealer? Svaret på dette spørgsmål er belyst i det følgende og illustreret via eksempler. Se også bilag 8.6.

Før de endelige beregninger er der dog nogle faglige forudsætninger i forhold til vandmængder og ådalsdimensioner, som skal overvejes (tabel 2.2). Således bør der i den endelige lokalisering af potentielle P-ådalområder kun indgå vandløb med oplandsarealer større end 2 km². Dette kriterium er fastsat af hensyn til, at der i vandløbet skal være en vandføring, som er stor nok til i praksis at kunne oversvømme de tilliggende arealer og sikre et vist vandskifte.

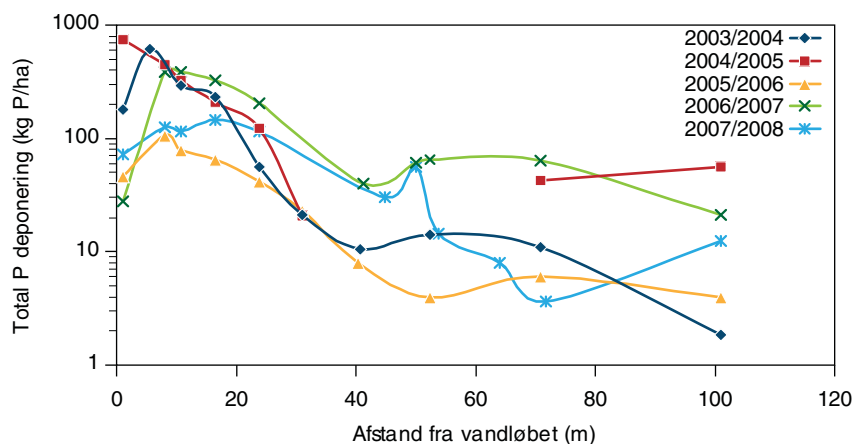
Tabel 2.2. Dimensionering i forbindelse med lokalisering af P-ådalområder

Oplandsareal		Oversvømmelsesbredde		Oversvømmelseslængde	
Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
2 km ²	-	25 m (på mindst én side)	Type I vandløb: ca. 25m Type II vandløb: ca. 100 m Type III vandløb: >100 m	500 m	-

Et andet hensyn, som skal overvejes, er, at de potentielt oversvømmede arealer skal have en vis minimums- og maksimumsudbredelse både i bredde (afstand fra vandløbet) og længde (langs vandløbet). Grænsen for minimumsbredden er her sat ved, at der som minimum skal være mulighed for at skabe oversvømmelse på 25 m på den ene side af vandløbet målt fra vandløbets kronekant (selvfølgelig er det kun godt, hvis der også er oversvømmebare arealer på den anden side af vandløbet). Kravet til en minimumsbredde af arealet er sat for at sikre, at de fine sediment partikler i suspension i vandløbet, og som har en langsom udsynkning, kan nå at sedimentere på arealet under oversvømmelsen.

Det er også relevant at sætte en maksimumsafstand for hvor langt væk fra vandløbet, der vil forekomme nævneværdig sedimentation af partikler med fosfor. Målinger i forskellige vinterperioder langs et større vandløb (Odense Å: Type 3) viser, at mængden af deponeret sedimentbundet fosfor falder hurtigt væk fra åen (figur 2.6). Mængden af deponeret sediment er dog både afhængig af sedimentkoncentrationen i vandløbet, antallet af dage med oversvømmelser og endeligt vandskiftet mellem

åen og engen, Det betyder, at jo flere gange det stående vandvolumen udskiftes i oversvømmelsesperioden, jo mere nyt sediment bæres ind over engen med fosfor, som kan sedimentere. Teoretiske beregninger af vandskifteforhold ved typiske vandføringer i de tre størrelsestyper af vandløb viser, at man ved et Type I vandløb (oplandsareal < 10 km²) ikke skal meget længere ud end de 25 m, før vandskiftet bliver for lille. Derimod kan man langs Type 2 vandløb (oplandsareal 10-100 km²) forvente en god virkning ud til en afstand af op til 100 m fra vandløbet. Langs Type III vandløb (oplandsareal > 100 km²) kan der forventes en virkning på afstande større end 100 m fra vandløbet.



Figur 2.6. Målt deponering af fosfor i et transekt med sedimentfælder udlagt på en oversvømmet eng langs en genslynget del af Odense Å – resultater fra 5 vinterperioder. Bemærk den logaritmiske skala på y-aksen.

Tabel 2.3. Forventede deponeringsrater af partikelbundet fosfor på potentielle projektarealer, som ligger på Fyn. Det årlige antal kg angivet i kolonne 6 er minimumsestimater (se også teksten).

1. Lokaltet	2. Muligt oversvømmelsesareal	3. Oplandets størrelse til opstrøms del af området	4. Forventet gennemsnitligt antal dage med stor vandføring pr. år	5. Forventet depositionsrate af fosfor (kg P/overvømmet dag/hektar)*	6. Årlig antal kg P, som kan forventes tilbageholdt (søjle 2 x 4 x 5)
Xvandløb, type I	3 ha	220 ha	4 dage	1 kg P	12 kg P
Xvandløb, type II	12 ha	2000 ha	6 dage	1 kg P	72 kg P
Yvandløb, type I	2,5 ha	500 ha	4 dage	1 kg P	10 kg P
Zvandløb, type II	50 ha	2000 ha	6 dage	1 kg P	300 kg P

*) Værdi taget fra tabel 2.4.

Endelig må længden af den oversvømmede strækning ikke være for kort. En strækning på minimum 500 m anbefales for, at et område kan inddrages i den endelige analyse. Dette kriterium anvendes for at sikre, at tilstrækkelige store arealer kan oversvømmes. Dimensionerne på P-ådalsområder er givet i tabel 2.2.

Oplandene til de enkelte områder som indgår i tabel 2.3 kan beregnes ud fra eksisterende viden i GIS eller ved en indtegnning af det topografiske opland til vandløbet, hvor det oversvømmede område starter. Det forventede gennemsnitlige årlige antal dage med stor vandføring kan udledes af tabel 2.1 ud fra viden om den region, som området ligger i og typen af vandløb. Erfaringerne fra konkrete genslyngningsprojekter i et

type II vandløb som Oddebæk (se tabel 6.2), type III vandløbet Odense Å (se figur 8.11) og andre type III vandløb (se figur 8.9) viser, at varigheden af oversvømmelser ofte er 5-10 gange antallet af dage med stor vandføring, men med meget store variationer fra år til år. De beregnede deponeringsrater i tabel 2.3 er derfor minimumsestimater.

Resultaterne i tabel 2.1 kan derfor kun anvendes som et første udgangspunkt for i hvilke typer vandløb, der kan forventes at forekomme flest oversvømmelser af de ånære arealer, hvis man genskaber et naturligt tværprofil i P-ådalene.

I næste omgang skal regionen, hvor områderne ligger, sammenholdes med GIS-kortet over forventet indhold af suspenderet stof i vandløbene. Danmark er opdelt i tre regioner, hvor indholdet gennemsnitligt er størst i Nordjylland og mindst i Vestjylland og på Djursland (figur 2.5). I tabel 2.4 kan en vejledende deponeringsrate af partikelbundet fosfor derefter aflæses, og denne indføres i tabel 2.3.

De vejledende deponeringsrater vil afhænge af koncentrationen af suspenderet stof i vandløbsvandet i perioder med oversvømmelser. Da denne ikke er kendt er det valgt, at anvende en årlig gennemsnitskoncentration af suspenderet stof målt i vandløb under det nationale overvågningsprogram (figur 2.5). De vejledende deponeringsrater af fosfor i tabel 2.4 er derfor alene en gennemsnitsrate for de tre viste regioner, som vil kunne variere betydeligt indenfor regionen (se enkeltvandløb i bilag 8.5).

Den samlede årlige mængde fosfor, som kan forventes deponeret på de oversvømmede arealer, kan herefter beregnes ved at multiplicere søjlerne 2, 4 og 5. Resultatet indføres i tabel 2.3 og anvendes i den endelige beslutningstagen om, hvor der skal foretages detailprojektering af et P-ådalsprojekt.

Indenfor regionerne Nordjylland, Vestjylland og Djursland og resten af Danmark er der lokalt i de enkelte vandløb variationer i den gennemsnitlige koncentration af suspenderet stof (se figur 2.5 og bilag 8.5). I bilag 8.5 er koncentrationen af suspenderet stof vist for de enkelte vandløb, som er med i det nationale overvågningsprogram (NOVANA). Hvis koncentrationen af suspenderet stof lokalt i regionen er lavere end de viste gennemsnitlige indhold i de tre regioner vist på kortet i figur 2.5 må den forventede deponeringsrate nedskaleres forholdsmæssigt i forhold til de vejledende deponeringsrater vist i tabel 2.4. Hvis der i det konkrete område findes eller foretages målinger igennem minimum et år af koncentrationen af suspenderet stof i vandløb kan der tilsvarende beregnes en lokal deponeringsrate.

Tabel 2.4. Vejledende deponeringsrater af partikelbundet fosfor på oversvømmede arealer. Raten er angivet pr. oversvømmet areal.

Region	Fosfordeponeringsrate (kg P pr. oversvømmet hektar pr. oversvømmet dag)
/estjylland og Norddjursland	0,5 kg P pr. dag
Nordjylland	1,5 kg P pr. dag*
Resten af Danmark	1,0 kg P pr. dag

*Denne deponeringsrate er skønnet ud fra kendskab til indhold af suspenderet stof koncentrationer, da der ikke foreligger målinger fra oversvømmede arealer i denne region.

2.5.2 Beregning baseret på konkrete data

Hvis der findes eller produceres konkrete måledata fra et projektområde kan der laves mere præcise beregninger af den potentielle P-tilbageholdelse. Beregning af et udpeget områdes P-deponering kan gennemføres, som vist i eksemplet fra Oddebæk projektet (afsnit 6).

Disse beregninger kræver, at det oversvømmede areals størrelse ved den konkrete lokalitet opgøres ud fra de tilgængelige topografiske data, og at der er opsat en hydraulisk model for vandløbet i form af et simpelt stationært vandspejlsberegningsprogram (som VASP der anvendes af mange kommuner) eller et dynamisk værktøj (som MIKE-Flood). Opsætningen af beregningsværktøjet kræver, at der forefindes viden om de nye bundkoter, tværprofiler og kronekanter med jævne mellemrum (f.eks. hver 100 m) langs vandløbet i projektområdet. Desuden kræves det, at der er adgang til døgnmiddelvandføringer i vandløbet for en given periode (helst flere år).

Når disse data er samlet og indlagt i beregningsværktøjet kan antallet af dage med overskridelser af det nye projekterede vandløbs bredfyldte vandføring beregnes ved indlæggelse af en kendt eller simuleret ruhedsparemeter for strækningen i beregningsværktøjet (Mannings tal: M). Det er afgørende, at der vælges ruhestal som tager hensyn til årstiden således, at der om vinteren anvendes høje Manning tal (f.eks. M=20-30) og om sommeren lave Manning tal (f.eks. M=10, hvor der er meget grødevækst i vandløbet).

Når det gennemsnitlige antal af oversvømmelsesdage pr. år og arealet, der bliver oversvømmet, er beregnet, kan antal kg fosfor, som deponeres, beregnes ud fra de regionale depositionsrater (kg P pr. oversvømmet hektar ådal pr. oversvømmet dag) i tabel 2.4 hvor raterne er justeret efter oplysninger om den gennemsnitlige årlige koncentration af suspenderet stof i vandløb fra bilag 8.5 eller ud fra lokale målinger igennem minimum et år.

2.6 Prioritering blandt potentielle P-ådsalsområder

Evnen til at tilbageholde fosfor er ikke det eneste hensyn, der må tages, når P-ådsalsområder skal udvælges, og ikke alle potentielle P-ådsalsområder vil være lige egnede. Nogle områder kan prioriteres lavt og andre højt af forskellige årsager, som angivet i tabel 2.5. Der kan godt være områder, som både falder i kategorien høj og lav prioritet, fordi der er modstridende "interesser". Det er ikke hensigten med denne rapport at give en komplet oversigt, men her er der nævnt nogle af de mest almindelige hensyn, som må vurderes.

Hensyn, som må vurderes:

- Blandt de højt prioriterede områder i forhold til at opnå en god tilbageholdelse af fosfor er områder, som ikke er i drift, da dette vil reducere risikoen for udvaskningen af P i forhold til områder i drift. Man skal dog være opmærksom på, at områder ude af drift godt tidligere kan have været i omdrift og derfor stadigvæk have en stor pulje af ophobet fosfor. Intensivt dyrkede områ-

der/områder i drift er ofte med højt indhold af mobilt fosfor og vil derfor være i risiko for at frigive fosfor (se også afsnit 3).

- Områder over en vis størrelse vil sandsynligvis være de mest omkostningseffektive, men det er ikke en analyse, der foretages i denne rapport. Dog er det, som angivet i tabel 2.2, foreslået at etablere strækninger langs vandløb på mindst 500 m. Tilsvarende vil vandløb af en vis størrelse formentligt også være mest omkostningseffektive og primært omfatte vandløb af 3. orden eller højere.
- Effekten af den etablerede P-ådal vil alt andet lige være størst, hvis området placeres umiddelbart opstrøms søen. Dette hænger sammen med, at hvis området ligger langt væk fra søen, så vil vandløbets naturlige hydrologi efterhånden øge vandløbets indhold af suspenderet stof igen. Det er ikke muligt at angive præcis, hvor langt væk fra søen en P-ådal må etableres, idet hastigheden, hvormed indholdet af suspenderet stof opbygges, afhænger af vandløbets fald og oplandets beskaffenhed.
- Etablering af periodisk oversvømmede områder vil altid forårsage en meget betydelig påvirkning af de eksisterende områder langs vandløbet og de naturtyper og naturinteresser, som måtte findes i forvejen (§3-arealer, beskyttelseskrævende arter, Natura 2000, Bilag IV arter, mm.).
- Eksisterende botaniske naturværdier i potentielle oversvømmelsesområder kan vurderes på baggrund af vegetationsundersøgelser. Vegetationsundersøgelsen danner baggrund for vurdering af naturværdier i områderne, herunder om der befinder sig beskyttede naturtyper, der er sårbare over for ændringer i miljøet (Nygaard et al., 2009). Da naturområder kan være små, bør vegetationsundersøgelserne have et detaljeringniveau, der sikrer, at små områder ikke overses. Metoder til kortlægning af habitatnatur og § 3 arealer kan anvendes. Disse er beskrevet i tekniske anvisninger og kan findes her:
<http://www.dmu.dk/Myndighedsbetjening/Overvaagning/Fagdatacentre/FDCBiodiversitet/Tekniske+anvisninger/> og her:
<http://www.dmu.dk/dyrplanter/naturtilstand/naturtilstandpaa3arealer/>
- Endelig kan der være en række øvrige hensyn, som må vurderes: hensyn til tekniske anlæg og bygninger i området, fredninger, arkæologiske forhold, friluftssinteresser, landskabelige hensyn og ejerforhold.

Tabel 2.5. Typer af områder langs vandløb med angivelse af høj og lav prioritering i forhold til evt. anvendelse som P-ådal.

Høj prioritet	Lav prioritet
Område ude af drift gennem længere tid	Intensivt dyrkede områder
Områder umiddelbart opstrøms søen	Områder langt væk fra søen
Store arealer	Små arealer
Vandløb med højt indhold af suspenderet stof	Områder med stor naturværdi

3 Vurdering af risiko for fosforfrigivelse fra ådalsjorde

3.1 Baggrund for risikovurdering ved P-ådalprojekter

Al jord indeholder større eller mindre mængder af fosfor, som er bundet mere eller mindre permanent. Når lavbundsarealer oversvømmes vil der derfor også være en vis risiko for, at noget af denne fosfor kan frigives. Det er denne risiko, som vurderes i dette afsnit.

Danske lavbundsarealer omfatter to hovedtyper: 1) organogene jordarter (tørv og gytje med >10% organisk materiale i de øverste 30 cm), og 2) minerogene lavbundsarealer, som overvejende består af mere sandede jordarter. Indholdet af fosfor varierer meget og undersøgelse af 1315 organogene og 2064 minerogene danske lavbundslokaliteter har vist variationer i total P i de øverste 30 cm fra <200 til >10.000 mg/kg (Kjærgaard et al., 2010). Danske lavbundslande kan således have betydelige fosforpuljer i jorden. Disse fosforpuljer er oftest ikke mobile under aerobe (ilt-holdige forhold). Når lavbundsarealer vandmættes, som fx ved hævnning af grundvandsspejlet, kan der imidlertid opstå anaerobe (ilt-frie) forhold i jorden, hvorved fosfor bundet til jordens jern (Fe)oxider kan frigives.

Den potentielle risiko for P-frigivelse under vandmættede forhold kan vurderes ud fra en simpel statistisk relation, hvor jordens volumenvægt og jordens jern:fosfor-forhold indgår som vurderingsparametre. En vurdering af risikoen for fosforfrigivelse omfatter derfor udtagning og analyse af jordprøver. En nærmere beskrivelse af grundlaget for vurdering af risiko for fosforfrigivelse fra ådalsjorde fremgår af bilag 8.7. Det er væsentligt at påpege, at der er tale om en potentiel tabsrisiko, der ikke kan bruges kvantitativt under feltforhold, hvor flere forhold, herunder især hydrologi og redox-gradienter vil påvirke den aktuelle P-frigivelse. Den beskrevne risikovurdering er dog pt det bedste grundlag for en vurdering af den potentielle risiko for P-frigivelse. En egentlig kvantitativ risikovurdering ville kræve målinger under feltforhold.

3.2 Prøvetagning i forbindelse med forundersøgelse af P-ådalprojekter

Formålet med udtagning af jordprøver til analyse er at vurdere risikoen for frigivelse af fosfor fra en eventuel jordpulje. Prøvetagningen fokuseres på dybden 0-30 cm. Kvaliteten af en sådan risikovurdering afhænger af kvaliteten af det datamateriale, der ligger til grund for analysen, herunder hvor godt prøven repræsenterer arealet. Lavbundsarealer er generelt meget heterogene arealer, hvor jordtype og jordens indhold af jern og fosfor kan variere indenfor korte afstande både horisontalt og vertikalt. Der findes dog ingen systematiske undersøgelser og statistisk grundlag til kvantificering af arealvariationen på lavbundsarealer. En vurdering af potentialet for P-tab fra lavbundsland i forbindelse med P-ådalprojekter omfatter følgende delelementer (Box 3.1).

Box 3.1. Delelementer i forundersøgelse af lavbundsarealer

1. Opdeling af arealet i lige store delområder (grids)
2. Udtagning af jordprøver
3. Udtagning af volumenprøver
4. Stedfæstning af delområder med GPS
5. Prøvehåndtering og analyse

3.2.1 Opdeling af arealet i lige store delområder (grids)

Ved prøvetagning skal det sikres, at prøven er dækkende for en repræsentativ arealenhed. Dette sikres bedst ved at inddele projektområdet i repræsentative enheder og for hver arealenhed udtage én jordprøve, der består af et større antal delprøver. Ved denne metode inddeles arealet i lige store delområder. Der kan vælges kun at tage én prøve bestående af 16 delstik pr. grid. I stærkt afvigende mindre områder udtages ingen prøve, mens der for større afvigende områder bør udtages en selvstændig prøve. Delområder bør ikke slås sammen på tværs af jordtyper og marker. Metoden har den fordel, at den er enkel. Ulempen er, at der kan være meget variation, som ikke afdækkes af den valgte inddeling. Da der ikke findes systematiske undersøgelser af variationen på lavbundsarealer, anbefales et minimumsantal prøver afhængigt af projektareal, som angivet i tabel 3.1.

Tabel 3.1. Minimumsantal af delområder og jordprøver for tre projektstørrelser

Projektareal (ha)	Minimumsantal delområder (grid)	Minimumsantal jordprøver	Antal delprøver pr. jordprøve
<5	5	5	16
5-20	10	10	16
>20	20	20	16

3.2.2 Udtagning af jordprøver

For hvert delområde skal der udtages delprøver, så de dækker hele delområdet. Delprøver tages typisk med et egnet jordspyd i den ønskede jorddybde 0-30 cm og samles til én enkelt jordprøve, der således repræsenterer delområdet (enkelt grid). Der udtages en jordprøve bestående af 16 stik med jordspyd for hvert delområde. På arealer med forskellige jordtyper bør disse jordprøver ikke sammenblandes. I nogle tilfælde vil dybden af det organogene jordlag være så lille, at udtagning af jordprøver i pløjelagets dybde vil give en blanding af organogen jord og mineraljord. Prøvedybden bør justeres således, at der enten tages prøver af det organogene lag eller af mineraljord.

3.2.3 Udtagning af volumenprøver

Ved jordprøvetagning skal der for hvert delområde (grid) udtages minimum én volumenprøve til bestemmelse af jordens volumenvægt. Volumenprøven bør udtages med dertil egnet volumenbor (fx volumenbor fra Eijkelkamp til lavbundslande, 04.15.SA / 04.15.SB, www.eijkelkamp.com). Ved prøvetagningen udtages én intakt jordkerne på max. 30 cm. Det er meget vigtigt, at jordkernens præcise længde måles i felten, således at der efter tørvægtsbestemmelse kan beregnes en volumenvægt. Denne parameter indgår i den endelige risikovurdering.

Foruden jordkernens længde skal også volumenborets indre diameter angives præcist, da denne indgår i beregning af prøvens volumenvægt. Efter udtagning overføres jordkernen kvantitativt (evt. med vand) til prøvebeholder og sendes til tørvægtsbestemmelse med henblik på beregning af jordens volumenvægt.

3.2.4 Stedfæstning af prøvefelter med GPS koordinater

For hvert delområde registreres GPSkoordinaten for delområdets midtpunkt, således at den udtagne jordprøve kan stedfæstes. Koordinaten af-rapporteres sammen med analysedata og volumenvægt på afrapporterings-skema (bilag 8.8).

3.2.5 Prøvehåndtering og analyse

Jordprøver skal opbevares på køl (< 4°C) indtil analyse. I laboratoriet skal der på jordprøven laves bestemmelse af bicarbonat-dithionit (BD) ekstraherbart Fe (Fe_{BD}) og P (P_{BD}). Volumenprøven tørres ved 105°C og vejes, og prøvens volumenvægt beregnes. Håndtering og analyse af prøver er beskrevet i bilag 8.9. Forudsætningen for at kunne lave risikovurderingen er at prøvehåndtering og analysen gennemføres nøjagtigt som beskrevet i bilaget.

3.3 Vurdering af potentiel risiko for fosforfrigivelse fra ådalsjorde

Formålet med udtagning af jordprøver til analyse er på basis af målbare parameter at vurdere risikoen for frigivelse af fosfor fra en eventuel jordpulje. Baggrunden for en sådan vurdering er beskrevet mere detaljeret i bilag 8.7. En vurdering af potentialet for P-tab fra lavbundsjord i forbindelse med P ådalsprojekter omfatter følgende delelementer (Box 3.2).

Box 3.2. Delelementer i risikovurdering

1. Beregning af $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold
2. Beregning af volumenvægt (kg/m^3)
3. Vurdering af potentiel risiko for P-frigivelse i delområder
4. Vurdering af potentiel P-frigivelse for hele projektområdet

3.3.1 Beregning af $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold

Analyseresultater for Fe_{BD} og P_{BD} kan angives i mol/kg eller i mg/kg. I tilfælde af sidste omregnes til mol/kg, således at $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforholdet kan beregnes. Beregning af mol Fe_{BD} , P_{BD} og $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold:

$$Fe_{BD} (mmol / kg) = \frac{Fe_{BD} (mg / kg)}{55,847 (mg / mmol)}$$

$$P_{BD} (mmol / kg) = \frac{P_{BD} (mg / kg)}{30,9738 (mg / mmol)}$$

$$Fe_{BD} : P_{BD} - \text{molforhold} = \frac{Fe_{BD} (\text{mmol} / \text{kg})}{P_{BD} (\text{mmol} / \text{kg})}$$

Beregningseksempel:

BD-analyse	Analyseresultat	Omregning	Beregnet molforhold
	mg/kg	mmol/kg	
Fe _{BD}	6349	113,69	
P _{BD}	308	9,94	
Fe _{BD} :P _{BD} -molforhold			11,4

3.3.2 Beregning af volumenvægt

Volumenvægten af den udtagne volumenprøve beregnes på basis af (i) tørstofindhold (kg) af den 105°C tørrede volumenkerne, (ii) jordkernens længde (L) målt i felten umiddelbart efter udtagning, og (iii) volumenborets indre radius (r).

$$\text{Volumenvægt} (\text{kg} / \text{m}^3) = \frac{\text{ovntørprøve} (\text{kg})}{\pi \times L (\text{m}) \times r^2 (\text{m}^2)}$$

Beregningseksempel:

	Enhed	Data	Datatype
Jordkernens længde (L)	m	0,28	Målt i felten
Volumenborets indre radius (r)	m	0,02467	Udstyrs specifik
Prøvens volumen (cylinder)	m ³	0,00053536	Beregnet
Vægt af ovntør jordkerne	kg	0,25756	Målt i laboratoriet
Beregning af volumenvægt	kg/m ³	481	Beregnet

3.3.3 Vurdering af potentiel risiko for P-frigivelse i delområder (grids)

På basis af volumenvægt og Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold kan der for hver prøvefelt (grid) laves en kvalitativ vurdering af potentiel risiko for fosfortab (tabel 3.2). Beskrivelse af afskærings Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold for volumenvægtsklasser fremgår af bilag 8.7. En jord med volumenvægt fra 300-400 kg/m³ vurderes således at have høj risiko for P-tab ved et Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold <15, mens Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold ≥15 vurderes til lav risiko for P-tab.

Tabel 3.2. Vurdering af risiko på basis af jordtype (volumenvægt) og jordens Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold

Volumenvægt	Afskærings Fe _{BD} :P _{BD}	Høj risiko for P-tab	Lav risiko for P-tab
kg/m ³	molforhold	Fe _{BD} :P _{BD} -molforhold	Fe _{BD} :P _{BD} -molforhold
<199	11	<11	≥11
200-399	15	<15	≥15
400-599	19	<19	≥19
≥ 600	25	<25	≥25

3.3.4 Vurdering af potentiel risiko for P-frigivelse for projektområdet

Da der i dag ikke findes vidensgrundlag til at lave en egentlig kvantificering af P-tabsrisikoen for et givet P-ådalprojekt, må en vurdering af risikoen for en potentiel P-frigivelse bero på en kvalitativ vurdering. På den

baggrund vurderes et projektområde at have en "høj risiko" for P-frigivelse, hvis 25 % af prøveløserne (grids) har en høj risiko for P-tab baseret på tabel 3.2. Hvis dette er tilfældet kan projektområdet ikke indregnes som P-virkemiddel. Et forbedret vidensgrundlag, herunder monitorering af P-ådsalsprojekter, ville muliggøre en kvantitativ vurdering af P-tabsrisikoen.

Tabel 3.3. Samlet vurdering af projektområdet på basis af andel af grids med "høj risiko"

Andel af prøveløser (grids) med "høj risiko"	Samlet vurdering af projektområdet
≥25 %	Projektområdet er ikke egnet som P-virkemiddel
<25 %	Projektområdet er egnet

3.3.5 Gennemgang af eksempel på P risikovurdering

Et P-ådsalsprojekt omfatter et areal på 12 ha – risikoen for P-frigivelse skal vurderes. Det omfatter følgende punkter:

1. Projektområdet opdeles i 10 lige store delområder (grids) á 1,2 ha (eksempel tabel 3.4).
2. For hvert grid tages 16 stik med jordspyd fordelt over hele arealet. De 10 jordprøver sendes til analyselaboratoriet, hvor de opbevares på køl (< 4°C) indtil analyse.
3. For hvert grid udtages minimum én volumenprøve med egnet volumenbor. Prøvens længde måles og nedskrives umiddelbart efter udtagning. Volumenprøven overføres kvantitative til prøvebeholder og sendes til laboratoriet til tørvægtbestemmelse.
4. GPS-koordinat aflæses i delområdets midtpunkt, således at jord- og volumenprøven kan stedfæstes.
5. På basis af analyseresultaterne beregnes $F_{BD}:P_{BD}$ -molforhold og volumenvægt for hver jordprøve (eksempel tabel 3.4)
6. For hvert delområde angives på basis af jordtype (prøvens volumenvægt) afskærings $F_{BD}:P_{BD}$ -væriden, og det vurderes, om prøven har høj eller lav risiko for P-tab (eksempel tabel 3.4).
7. Hvis 25 % af prøveløserne eller mere har høj risiko for P-tab, vurderes projektområdet "ikke-egnet" som P-virkemiddel. I det viste eksempel (tabel 3.4) vurderes kun 20 % af projektområdet til "høj risiko", og P-ådsalsprojektet kan derfor godkendes som P-virkemiddel.

Tabel 3.4. Eksempel på P-risikovurdering for projektområde på 12 ha.

Delområde	Areal	Volumenvægt	Fe_{BD}:P_{BD}	Afskærings Fe_{BD}:P_{BD}- værdi	Risiko
nr	ha	kg/m³	molforhold	Tabel 3.2	Ja/Nej
1	1,2	355	16	15	Nej
2	1,2	402	19	23	Ja
3	1,2	255	17	15	Nej
4	1,2	302	18	15	Nej
5	1,2	513	26	23	Nej
6	1,2	478	17	23	Ja
7	1,2	325	25	15	Nej
8	1,2	416	31	23	Nej
9	1,2	289	19	15	Nej
10	1,2	303	27	15	Nej

4 Detailundersøgelser af vandløb forud for etablering af P-ådalsområder

Efter den indledende screening til lokalisering af potentielle P-ådalsområder på baggrund af eksisterende data og vurdering af risiko for P-frigivelse på baggrund af jordbundsundersøgelser kan det også være nødvendigt indsamle andre data fra det potentielle område. Dels for at afgøre via feltmålinger om forudsætningerne holder m.h.t. terræn og vandføring, dels for at klarlægge, hvordan vandstanden kan hæves, så oversvømmelser vil finde sted og dels for at kunne foretage en beregning af projektområdets potentielle P-tilbageholdelse som beskrevet i afsnit 2.5.2.

4.1 Feltnmålinger

Ofte vil der i et givet vandløb, hvor der påtænkes etableret et P-ådalsområde, kun eksistere begrænsede data i forvejen, og her vil det være nødvendigt at tilvejebringe nye data for at etablere et tilstrækkeligt beslutningsgrundlag.

4.2 Terrænoptmålinger

Højdemodellen for området langs vandløbet (afsnit 2.2) giver ikke nødvendigvis tilstrækkelig information om højdevariationer inden for små områder, som eksempelvis langs selve vandløbet, hvor der kan være levee-dannelser eller små diger, som kan påvirke oversvømmelsesprocessen. Her kan det være relevant med nye terrænoptmålinger.

Detaljerede vandkoter fra profilmålinger af vandløb kan også være vigtige som baggrund for GIS-analyserne til mere præcis at vurdere hvor store områder, der kan oversvømmes (se afsnit 2.2). GIS-analyser kan også anvendes til at vurdere, hvor der allerede findes områder, som ligger under vandløbsniveau, og hvor fjernelse af diger/volde langs vandløbet vil være tilstrækkelig til at skabe oversvømmelse.

4.2.1 Kortlægning af vandløbsmorfologi og vandføringsevne

Kendskab til vandløbets aktuelle vandføringsforhold er vigtige for at kunne vurdere forhold i forbindelse med den påtænkte oversvømmelse og lave nye beregninger. Dette kendskab opnås bedst, hvis der er en målestation i det pågældende område. Da dette sjældent vil være tilfældet, kan man i stedet anvende data fra en nærliggende referencestation. Hvis referencestationen ligger i samme vandløb, op eller nedstrøms, kan data korrigeres på baggrund af forholdet mellem oplandsarealer og derefter anvendes direkte. Hvis der ikke er stationer i samme vandløb, kan data fra en referencestation suppleres med enkeltmålinger af vandføringen på den aktuelle strækning og en direkte relation mellem data. Referencestationen skal så vidt muligt have opland af samme størrelsesorden og ligge så tæt på som muligt.

4.3 Metoder til hævning af vandstand

Vandløbene i mange ådale er gennem tiden blevet reguleret, og ådalene er unaturligt tørre. Afvandingsforanstaltninger har medført, at det i en årrække har været muligt at dyrke arealerne helt ud til vandløbsbrinkerne. I nogle områder ophører driften dog med tiden, fordi jorden efterhånden sætter sig, ved at det organiske stof i jorden omsættes og jorden komprimeres.

Som nævnt i indledningen, så er ideen med P-ådalprojekter temporært at oversvømme de vandløbsnære arealer, så en del af det partikelbundne fosfor i det oversvømmede vand sedimenterer på engen. Der er flere metoder til at opnå denne situation, men de fleste tilfælde omfatter én eller flere af følgende elementer:

- Hævning af vandløbsbund. Udlægning af sand vil hæve vandløbsspejlet og føre til hyppigere oversvømmelser.
- Ophør af vandløbsvedligeholdelse. Herved vil modstanden mod vandets frie strømning i vandløbet stige i grødens vækstperiode, og vandføringsevnen vil dermed blive reduceret. Desuden vil der ske en øget sedimentation i overbrede tværprofiler, så der på sigt kan ske en hævning af bunden og/eller indsnævring af tværprofilet. Herved reduceres vandføringsevnen hele året i vandløbet. Begge elementer vil medføre en større naturlig vandudveksling mellem vandløb og enge, hvorved næringsstoffer omsættes og/eller tilbageholdes.
- Genslyngning af vandløbet og højere beliggenhed af vandløbsbunden. Afhængig af dimensioneringen giver genslyngning anledning til oversvømmelser af de vandløbsnære arealer i kortere eller længere perioder. Tiltaget medfører desuden en generel højere grundvandsstand i de vandløbsnære arealer.

Om et vådområdeprojekt i en ådal gennemføres ved at hæve vandspejlet i forbindelse med en hel eller delvis gensoning af vandløbet eller ved på anden måde at hæve vandspejlsniveauet vil blandt andet omfatte en økonomisk overvejelse. En hævning af vandspejlsniveauet uden restaurering af vandløbet kan i visse tilfælde forringe vandløbskvaliteten (risikoen for tilsanding af gydebanks bør vurderes). Som udgangspunkt vil den bedste løsning for et vådområdeprojekt i et P-ådalområde med regulerede udrettede vandløb omfatte en gensoning af vandløbet med naturlige dimensioner (bundniveau, bundbredde, anlæg, hældning mv.) således der bliver en naturlig kontakt mellem vandløb og ådalsarealer.

4.3.1 Hævning af vandløbsbund

Den umiddelbart mest lavteknologiske løsning til at hæve vandløbsniveauet er at hæve vandløbsbunden. Det er dog ikke nødvendigvis den billigste løsning, hvis der er tale om vandløb, der er gravet dybt ned. Her kan det evt. bedre betale sig at grave et helt nyt vandløb (i den rette dimension) ved siden af det gamle. Hvis der kun skal udlægges grus og sten kan det bedst betale sig at gendanne nye stryg på den lige vandløbsstrækning. I så fald skal udlægningen af stryg ske med intervaller af 5-7 gange vandløbets bredde for at følge et naturligt vandløbs afstande mel-

lem stryg og høller (se bilag 8.10). Grus kan bedst udlægges som gydegrus blandinger efter anvisningerne i Græsbøl et al. (1988). Hævning af vandløbsbunden vil ikke sikre samme oversvømmelsespotentialer som i et slynget vandløbsforløb pga. de manglende mæanderbuer, hvor vandet i ydersiden ved brinkfyldt vandføring løber ind over engen.

4.3.2 Ophør/reduktion af grødeskæring

Stop eller reduceret grødeskæring og øget fremvækst af planter i vandløbet er en anden metode. Dog vil en øget plantevækst ikke give nogen større umiddelbar effekt for oversvømmelser, da den største afstrømning og dermed mulighed for P-tilbageholdelse finder sted i vinterhalvåret, hvor der ikke er så meget grøde. En øget plantevækst især i den brednære zone (emergent vegetation) vil medføre en bremsning af vandet, som afstedkommer en sedimentation på bunden af sand og slam. Det vil føre til højere vandstand, og med tid vil vandløbets dimensioner blive så indsnævret, at det kan skabe oversvømmelser. Tidsrummet, som der går inden tværprofilet er indsnævret, kan være fra få til mange år (10-20 år) alt afhængig af størrelsen af sedimenttransporten i vandløbet. Effekten af ændret grødeskæring er størst i de nedre dele af vandløbssystemet og hjælper nok mindre på de øvre vandløbsstrækninger, hvor der ofte er en stor beskygning af vandløbet fra bredvegetation.

4.3.3 Genslyngning af vandløbet

Den mest oplagte metode til at skabe øget oversvømmelse er genslyngning af vandløbet, som virker umiddelbart ved at skabe oversvømmelser. Genslyngning af vandløbet skaber også en række andre positive synergieffekter i forhold til vandplanerne og medvirker til en forbedret tilstand af vandløbet og de fysiske forhold. Ud over at have en gavnlig effekt på vandkvaliteten, vil genslyngning af vandløb i mange tilfælde have en positiv økologisk effekt, men kun hvis vandløbsvedligeholdelsen samtidig ophører. På grund af sætninger i de vandløbsnære arealer er det umuligt helt at genskabe de naturlige forhold. De vandløbsnære arealer vil i en længere periode blive mere forsumpet med hyppigere oversvømmelser end under de naturlige forhold. I selve vandløbet vil de forbedrede fysiske forhold på sigt også medvirke til at øge den økologiske kvalitet.

4.3.4 Dimensionering af gensnoede af vandløb

En del vådområdeprojekter har omfattet en gensnoing af vandløbet, som dræner de vandløbsnære arealer og oplandet. Genskabelse af den dynamiske interaktion mellem vandløb og det vandløbsnære areal vil betyde, at der langs vandløbet bliver mulighed for oversvømmelse, hvorved sediment og organisk stof, samt hertil bundne næringsstoffer, vil blive deponeret, og nitrat-kvælstof kan blive omsat via denitrifikation og afgasset til atmosfæren som frit kvælstof.

Ved anlægning af nye slyngninger i vandløb er der flere forhold som skal tages i betragtning:

- Hvordan skal det nye åløb forløbe?
- Hvordan skal det nye åløb dimensioneres?
- Hvordan skal vandføringsevnen være?

- Skal der ske sikringer af visse højt målsatte naturtyper i ådalen?
- Skal det nye åløb frit kunne erodere sig rundt i ådalen?
- Skal der etableres gydeområder?

Der er nogle overordnede overvejelser, som der skal tages hensyn til ved projektering af gensnoningsprojekter som en del af P-ådale. En nærmere beskrivelse er givet i bilag 8.10. Her der også forslag i forbindelse med sikring af brinker og udlægning af gydegrus mm.

5 Forvaltning af området

Under og efter etableringen af et oversvømmelsesområde er der en række forhold, som skal iagttages i forhold til, hvordan området forvaltes og for at opnå det bedste resultat både på kort og lang sigt. En oversigt er givet i Box 5.1. Det kan også være relevant at følge områdets tilstand og dets effekter. Elementer til overvågning af et P-ådsalsområde er vist i bilag 8.11.

Box 5.1. Forvaltning af området

- Håndtering af dræn og grøfter
- Drift af oversvømmelsesområdet (omdrift, gødskning, pesticidforbrug mm)
- Fjernelse af næringsstoffer (høslet mm.)

5.1 Håndtering af dræn/grøfter i området

I oversvømmelsesområdet skal dræn og grøfter sløjfes. En bibeholdelse af dræn og grøfter vil påvirke strømningsforholdene i negativ retning og medvirke til højere udvaskning af næringsstoffer, når oversvømmelsen aftager.

Det er vigtigt, at dræne sløjfes så effektivt som muligt, dvs. ikke kun i enderne, men også med passende mellemrum, idet det har vist sig, at dræne delvis kan begynde at virke igen, fordi strømmende vand eroderer sig ned til drænrørene, som så begynder at fungere igen.

Dræn fra oplandet (dvs. samlerør) skal ikke afbrydes, men blot fortsætte gennem oversvømmelsesarealet ud til åen. Hvis disse dræn fra oplandet afbrydes og strømmer ud på oversvømmelsesarealet, vil der opstå uønskede effekter i forhold til tilbageholdelse af fosfor. Udstrømning af drænvand vil have den modsatte retning i forhold til oversvømmelsesvand, hvilket ikke er ønskeligt, idet oversvømmelsesvandet skal bevæge sig så langt væk fra vandløbet som muligt, samtidig med at hastigheden aftager, og de allerfineste partikler med det højeste fosforindhold kan sedimentere. I tilfælde hvor drænet strømmer uden for oversvømmelses-situationen, vil drænvandet strømme netop i overfladen og rodzonen, hvor den største mængde fosfor befinder sig, og der vil være stor risiko for udvaskning af fosfor.

5.2 Drift af området (retningslinjer for f. eks. omdrift, gødskning, pesticidbrug m.m.)

Oversvømmelsesarealet kan ikke anvendes som omdriftsareal, da det er vigtigt, at der er et flerårigt solidt vegetationsdække på arealet - gerne græs - som giver en god stabil flade, der både kan opfange det suspenderede stof og medvirke til at sænke hastigheden af det oversvømmende vand, således at sedimentationen kan foregå.

Da deponeringen af det suspenderede materiale indeholder næringsstoffer - endda i stor mængde - er det ikke tilrådeligt at gøde arealet yderligere. Kreaturer udsat til græsning bør ikke tilskudsfordres for at undgå ekstra tilførsel af næringsstoffer til området.

5.3 Fjernelse af næringsstoffer fra området (høslet mm.)

Nettoproduktionen af organisk stof i en ådal kan være betragtelig, og det betyder, at der gennem sæsonen naturligt sker en ophobning af organisk stof (primært plantemateriale), hvori der også vil være bundet fosfor. Den overjordiske del af det organiske stof vil ved vækstsæsonens afslutning henfalde og vil eventuelt kunne føres bort med vandløbsvand ved vinterens oversvømmelser. Denne transport af fosfor ud i vandløbet kan imødegås ved afgræsning og høslet.

5.3.1 Afgræsning og høslet

Det vil være muligt at slå vegetationen i P-ådalene eller lade dem afgræsse i sommerperioden, idet oversvømmelser først indtræffer senere, når de høje afstrømninger begynder i løbet efteråret. Det kan bidrage til at fjerne kvælstof og fosfor. Græsning kan dog også bidrage til at omdanne organisk bundet fosfor til mere labile former. I bilag 8.12 er der vist eksempler på primærproduktion og indholdet af kvælstof og fosfor i den overjordiske plantebiomasse i danske vådområder og dermed hvor meget fosfor og kvælstof, der kan fjernes. Ved borttagning af hø kan der fjernes ca. 100 kg N ha⁻¹ år⁻¹ og ca. 10 kg P ha⁻¹ år⁻¹.

5.3.2 Fjernelse af trævækst

Områder, som tages ud af drift, og hvor der ikke foretages høslet eller afgræsning, vil med tiden naturligt springe i skov. For netto at fjerne fosfor fra disse områder vil det være en fordel at holde trævæksten nede og jævnlige fjerne dem (stammer, grene, kviste) fra området. Hvis et P-ådalsområde får lov til at stå permanent med trævækst, vil der endvidere være risiko for, at der med tiden dannes afstrømningskanaler i den vegetationsfattige underskov eller helt bare jord, og dette vil øge risikoen for erosion og vil nedsætte effektiviteten, hvormed fosfor kan tilbageholdes. Her må man huske på, at de oprindeligt beregnede tilbageholdelsesrater var baseret på græsdede arealer. Problemet med mulig erosion vil især være relevant, hvis der etableres trævækst, som står meget tæt og regelmæssig (eksempelvis pil).

6 Demonstration af de beskrevne metoder m.m. til lokalisering af P-ådale

I dette afsnit er der givet et eksempel på, hvordan metoderne til udpeging af P-ådale kan gennemregnes. Der er taget udgangspunkt i processen, som er skitseret i box 1.1. Som eksempel er valgt Odderbæk, der ligger opstrøms Kulsø mellem Give og Nr. Snede i Vejle kommune (figur 6.1, 6.2). I efteråret 2010 blev Odderbækken gensnoet med henblik på at reducere næringsstofbelastningen af de nedstrømsbeliggende vandområder og for at etablere et uforstyrret og naturligt vandløb med optimal miljøtilstand (<http://www.vejle.dk/page44498.aspx>). Projektet får tilskud fra Vandmiljøplan III midlerne. VMPIII yder tilskud til fjernelse af kvælstof under betingelse af, at projekterne ikke må føre til en frigivelse af fosfor. I Odderbæk projektet er der dog også gjort tiltag for at sikre en netto tilbageholdelse af fosfor, som kan bruges som eksempel på udpeging af P-ådale i lighed med nærværende anvisning.



Figur 6.1. Odderbæk. fra: <http://www.vejle.dk/page44498.aspx>



Figur 6.2. Venstre: Odderbæk efter tilbageførsel til det oprindelig løb. Højre: Oversvømmelse på de tilstødende marker efter genslyngning. Fra: <http://www.vejle.dk/page48744.aspx>. Foto: Matthew Cochran, januar 2011.

6.1 Identifikation af søer med P-reduktionsmål (fremgår af vandplanerne)

Kulsø er omfattet af vandplanen fra Hovedvandsopland Ringkøbing Fjord.

http://www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner/Se_vandplanerne/Ringkoebing_Fjord/1_8_Ringkoebing_Fjord.htm

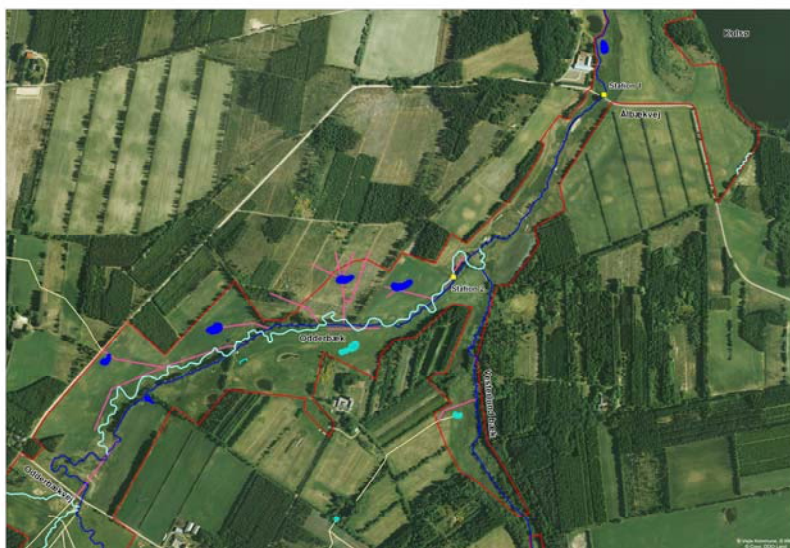
Heri angives Kulsø under redegørelsen til at have en ringe økologisk tilstandsklasse både nu og i 2015 (nuværende indhold af klorofyl som sommermiddel er på 52 µg/l). Under indsatsbehovet angives, at:

”Den eksterne fosforbelastning skal reduceres med 205 kg årligt. Dette kan gøres ved en indsats over for den diffuse afstrømning fra oplandet. Det vurderes ud fra de foreliggende data, at søens interne belastning og dårlig vandkvalitet i opstrøms beliggende søer hindrer målopfyldelse i 2015.

Det vil sige, at der skal gøres en aktiv indsat over for den diffuse afstrømning af fosfor fra oplandet, og at denne skal reduceres med 205 kg fosfor årligt for fuld målopfyldelse. I første planperiode inden år 2015 skal den diffuse afstrømning være reduceret med 195 kg fosfor årligt med en direkte indsat over for afstrømningen fra landbruget.

6.2 Lokalisering af ådale opstrøms disse søer, hvor der evt. kan anlægges områder til oversvømmelse (vurderes via kort/GIS).

GIS-beregninger med Odderbækken som eksempel er vist i bilag 8.1. P-ådalsområdet fremgår af figur 6.3.



Figur 6.3. P-ådalsområdet ved Odderbæk mellem Odderbækvej og Ålbækvej. Dræn (pink) er omlagt til overrisling og damme (blå flader).

6.3 Analyse af eksisterende data (screening) til identifikation af potentielle P-områder

6.3.1 Identifikation af vandløb med hyppige oversvømmelser og stor transport af partikulært fosfor

Projektområdet ligger på en strækning af Oddebækken (region Midt- og Østjylland), hvor denne er et type II vandløb. Jævnfør tabel 2.1 er det gennemsnitlige antal dage med oversvømmelse minimum 3,9 dage om året.

6.3.2 Beregning af potentiel P-tilbageholdelse

Analysen af potentiel P-tilbageholdelse i det udvalgte område ved Oddebæk baserer sig på data fra en målestation nedstrøms projektområdet, hvor der er døgnmiddelvandføringsdata fra perioden 2001-2009. Analysen om oversvømmelse er gennemført på en station midt på en strækning, som skal genslynges. Data over den gamle og nye tværprofil er vist i tabel 6.1.

Vandspejlsberegninger er gennemført af Vejle Kommune med programmet VASP (udviklet af Orbicon) til belysning af antal dage med oversvømmelser. De hydrauliske forudsætninger er vist i tabel 6.1. Der er således foretaget beregninger af de forventede antal dage med oversvømmelser i det nye vandløb vha. de vandføringsmålinger, der er gennemført ved målestationen nedstrøms projektområdet forud for projektgennemførelsen i perioden 2001-2009. Den lange måleserie skyldes, at man i Vejle Amt lavede belastningsundersøgelser af søen fra 2001 og siden sammen med lodsejerne ved Oddebæk valgte at gennemføre et fosforprojekt i oplandet til søen. Målet er her at reducere tilledningen af fosfor til Kulsø, således at målsætningen for søen kan opfyldes. Siden er målingerne fastholdt for at følge effekten af de tiltag, som lodsejeren frivilligt har gennemført i samarbejde med dels Vejle Amt og Vejle Kommune.) Antallet af dage med oversvømmelser fordelt på en sommer- og en vinterperiode er vist i tabel 6.2. Der er meget store variationer i antallet af dage med oversvømmelser fra år til år og fra sommer til vinter. Ved hjælp af beregningerne for den valgte periode ses det, at der maksimalt er 14 dage med oversvømmelser i sommeren 2002 og 66 dage med oversvømmelser i vinteren 2007. I 2003 har der på årsbasis kun været beregnet 4 dage med oversvømmelser og i 2009 ingen dage. Det beregnede antal dage med store vandføringer og oversvømmelse er ved denne metode meget større (faktor 6) end de beregnede antal dage jf. tabel 2.1 (se også afsnit 6.3.1).

Det beregnede mulige oversvømmede areal er på i alt 4 hektar. Forventet gennemsnitlig årlig deponering af fosfor kan derfor beregnes som: $P_{\text{deponering}} = 4 \text{ hektar} \times 24,3 \text{ dage} \times 0,5 \text{ kg P/ha dag} = 48,6 \text{ kg P}$. De 24,3 dage er summen af antal oversvømmelsesdage om vinteren (20,6 dage) og sommeren (3,7 dage).

Tabel 6.1. Tværprofildata anvendt af Vejle Kommune til beregning af antal dage med oversvømmelser.

Gammel Profil data:	Nye Profil data:
Bundbredde (m): 2,0	Bundbredde (m): 2,0
Skrånings anlæg (1:2): 2,0	Skråningsanlæg (1:2): 2,0
Bundhældning (0/00): 4,87	Bundhældning (0/00): 1,55
Manningtal: sommer=12; vinter=24	Manningtal: sommer=12; vinter=24
Bredfyldt vandføring (m³/s): 4,752	Bredfyldt vandføring sommer (m³/s): 0,315
	Bredfyldt vandføring vinter (m³/s): 0,615
Dybde (m): 1,26	Dybde (m): 0,43
Bundkote (m): 56,74	Bundkote (m): 57,57
Oversvømmelse kote (m): 58,0	Oversvømmelse kote (m): 58,0

Tabel 6.2. Beregning af antallet af dage med oversvømmelser pr. år i Odderbæk. Vinterperioden er oktober til april. Sommerperioden er maj til september.

År	Det gamle vandløb	Det nye vandløb	Det gamle vandløb	Det nye vandløb
	Sommer	Sommer	Vinter	Vinter
2002	0	14	0	50
2003	0	2	0	2
2004	0	5	0	18
2005	0	2	0	14
2006	-	-	-	-
2007	0	3	0	66
2008	0	0	0	4
2009	0	0	0	0
Gennemsnit	0	3,7	0	20,6

6.3.3 Vurdering af beliggenhed.

P-ådsområdet ligger 500 m fra Kulsø og vurderes på den baggrund at være velegnet. P-ådsområdet er omkring 2.000 m langt og mellem 20 og 60 m bredt; sammenlign med anvisningerne i tabel 2.2.

For en nærmere beskrivelse af området og af øvrige naturinteresser se: www.odderbaek.dk. og <http://www.odderbaek.dk/PDF%20filer/Kollektiv%20naturplan.pdf>.

6.4 Indsamling af nye data fra potentielle P-ådsområder (detailundersøgelser)

6.4.1 Vurdering af risiko for P-frigivelse fra de oversvømmede arealer

Projektet om Odderbækken er igangsat før denne vejledning, så der er ikke lavet en vurdering af jordbundsforholdene efter denne skabelon.

Odderbæk-projektet er som beskrevet et VMPIII-projekt, hvor der ikke har været stillet krav om dokumentation for en netto fosfortilbageholdelse. Odderbæk-projektet er trods dette gennemført med fosfortilbageholdelse for øje, idet det længe har været kendt, at Kulsø har en ringe økologisk tilstand som følge af fosforbelastning.

Der har derfor været foretaget følgende vurderinger af jordens fosfor bindings-/frigivelses-potentiale:

Der er i forbindelse med fosfor-projektet gennemført kampagnemålinger i oplandet, hvor der i fem prøveserier er udtaget prøver i vandsystemet ca. 30 steder, fra små drænudløb og grøfter til selve hovedløbet. Målingerne er gennemført ved baseflow og i flomsituationer. Ved hver station er målt N og P.

Desuden er der udtaget prøver til måling af fosforindhold (P-tal) på stort set alle dyrkede marker i det ca. 3.000 ha store opland. Et enkelt sted på en mark med et særligt højt P-tal er der gennemført målinger af P-tal i intervaller af 25 cm ned til 1 meters dybde for at vurdere, om der er udvaskning.

Disse prøver er brugt til at målrette indsatsen for at fjerne N og P mod de deloplande, hvorfra udvaskningen er størst.

Man har kunnet koncentrere sig om afstrømningen fra landbrugsområder, idet alle enkeltudledere har fået påbud om spildevandsrensning i 2004.

6.4.2 Eksempel på metodevalg ved retablering af vådområde ved Oddebæk

I Oddebæk vådområde-restaureringen, som er vist i figur 6.1 og 6.2, blev der anvendt en kombination af tre elementer til genopretning af vådområdet:

1. Genslyngning af den øverste ca. halvdel af vandløbet ved gravning af nyt vandløbsforløb i terrænet og indsnævring af tværprofilet.
2. Hævning af vandløbsbunden på den nederste halvdel af strækningen.
3. Opsporing af dræn og afskæring af disse ved ådalsskrænten, så de overrisler engene og i enkelte tilfælde ledes gennem nygravede damme. Dette tiltag er specifikt målrettet tilbageholdelse af fosfor ved at virke som fosforfældningsbassiner. Herved tilbageholdes størstedelen af den partikelbundne fosfor. Der er gennemført målerunder ved samtlige tilløb til P-ådalsområdet, og det er fundet, at dræntilløbene indeholder en stor andel af partikelbundet fosfor – mellem 65 og 95 % af totalfosfor.

Tiltag 1 og 2 (hævning af vandløbsbund og nyt vandløb) er sammenholdt for en vurdering af kosteffektiviteten. Der er etableret 1,7 km nyt vandløb til en pris af 196.000 kr i rene anlægsudgifter. Desuden er bunden hævet på en strækning af 400 m ved udlæg af sten og grus til en pris af 57.000 kr. Dette giver en meterpris for de to tiltag på henholdsvis 115 kr/m for gravning af nyt vandløb og 142 kr/m for hævning af vandløbsbund. Det nye vandløb forventes at få bedre fysiske forhold samt bedre kontakt med ådalen, da vandløbet er placeret vha. af GIS-analyser af ådalsbunden. Herved har vi optimeret fosfortilbageholdelsen ved oversvømmelser pga. terrænnær placering af vandløbet.

7 Referencer

Andersen, H.E., Kronvang, B. and Larsen, S.E., 2005. Development, validation and application of Danish empirical phosphorus models. *Journal of Hydrology*, 304(1-4): 355-365.

Brookes, A. 1984: Recommendations bearing on the sinuosity of Danish stream channel. Report from the Danish EPA, Freshwater Laboratory, 115 s.

Græsbøll, P., C. Aub-Robinson and B. Kronvang, 1988: Restaurering af gydepladser i vandløb. Publikation fra Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium nr. 99, 75 s.

Institute of Hydrology, 1992. Low Flow estimation in the United Kingdom. IH report No. 108. Institute of Hydrology, Wallingford, U.K. <http://nora.nerc.ac.uk/6050/>

Kjærgaard, C., L. Heiberg, H.C.B. Hansen, H. Jensen, M.H. Greve og C.C. Hoffmann. 2010. Risiko for fosfortab ved reetablering af vådområder. *Vand & Jord* 17 (2): 58-62.

Kronvang, B., Græsbøll, P., Svendsen, L.M. og Friberg, N., Kjellsson, G., Hald, A.B., Nielsen, M.B., Petersen, B.D. og Ottosen, O., 1994: Restoration of river Gelså at Bevtøft: Environmental effects in streams and riparian areas (in Danish). National Environmental Research Institute, Technical Report No. 110. 88 pp.

Kronvang, B., Andersen, I.K., Hoffmann, C.C., Pedersen, M.L., Ovesen, N.B. & Andersen, H.E. 2007: Water Exchange and Deposition of Sediment and Phosphorus during Inundation of Natural and Restored Lowland Floodplains. - *Water, Air and Soil Pollution* 181(1-4): 115-121.

Kronvang, B., Hoffmann, C.C. and Dörge, R. (2009) Sediment deposition and net phosphorus retention in a hydraulically restored lowland river-floodplain in Denmark: combining field studies with laboratory experiments, *Marine and Freshwater Research* 60: 638-646.

Kronvang, B., Svendsen, L.M., Jensen J.P. og Dørge, J. 1997. Næringsstoffer – arealanvendes og naturgenopretning. Temarapport fra DMU nr. 13, 38 s.

Kronvang B., Hoffmann C., Thodsen H., Windolf, J., Audet, A., Larsen S.E., Jensen H.S. 2010. Fosfor i åer og dale: Kilde eller filter? *Vand & Jord* 17 (2): 50-54.

Mernild, S.H. 2001. Regimeformler og vandløbsklassifikation. Speciale ved Geografisk Institut, Københavns Universitet, 190 s.

Nielsen, K. (red.) 2000. Areal Informations Systemet – AIS. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser oktober 2000.

Olesen, S.E. 2009. Kortlægning af potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabselement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. DJF Markbrug nr. 21. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.

Ovesen, N.B., Iversen H.L., Larsen S.E., Müller-Wohlfeil D.-I., Svendsen L.M., Blicher A.S, Jensen P.M. 2000. Afstrømningsforhold i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU nr. 340, 238 sider.

Paludan, C. and Jensen, S.J. 1995. Sequential extraction of phosphorus in freshwater wetland and lake sediment: Significance of humic acids. *Wetlands*, 15(4):365-373.

8 Bilag

8.1 GIS-analyser til identifikation af områder, som kan oversvømmes

Analyser af GIS-data er en oplagt måde til at give et overblik over, hvor der eventuelt vil kunne etableres P-ådalområder. GIS-analyser kan give et overblik over placering af arealer, deres størrelser og højdevariationerne på et detaljeringsniveau, som ikke nødvendigvis kan opnås via feltbesigtigelser. Detaljeringsgraden afhænger af de anvendte baggrundsdata, men i det følgende er der taget udgangspunkt i den seneste fælles offentlige højdemodel (<http://www.kms.dk/Referencenet/dhm/>), der med en opløsning på 1,6 m giver det mest detaljerede billede. Modellen er baseret på LiDAR data fra 2007.

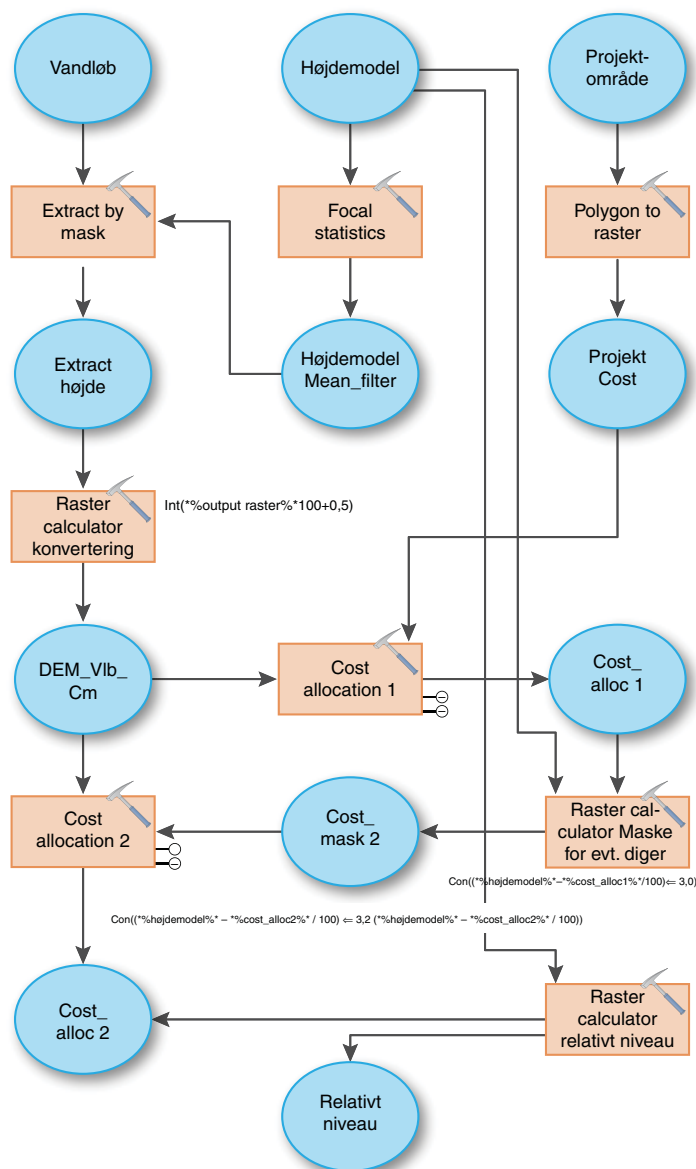
Der findes flere værktøjer til at gennemføre de rasterbaserede GIS-analyser, men her er der taget udgangspunkt i ArcGIS med tilkøbsmodulet Spatial Analyst. Bruges Map-Info vil det være nødvendigt med tilkøbsmoduler fx Vertical Mappe eller Engage. Der findes også open source Desktop GIS software, der kan udføre raster analyse, se f.eks. [An Overview of Free & Open Source Desktop GIS \(FOS-GIS\)](#), www.freegis.org eller www.opensourcegis.org. Når der i det efterfølgende refereres til navne på ArcGIS funktioner, er det således ikke for at anbefale et specifikt GIS system, men fordi det er dette system, som er anvendt her. Fremgangsmåden for GIS-analyserne er skitseret i box 8.1 og visualiseret i figur 8.1.

Box 8.1. Fremgangsmåde for GIS-analyser baseret på anvendelse af en højdemodel og GIS-værktøjet ArcGIS:

1. Udvælge af vandløb opstrøms søer med P-reduktionskrav.
2. Afgrænsning af interesseområde
3. Fastlæggelse af referenceniveau:
 - a. Højdemodellen filtreres med henblik på bestemmelse af middelniveau i et 5* 5 vindue
 - b. Udtræk højdeværdierne fra 3a) under vandløbene
 - c. Konverter de udtrukne højdeværdier til cm
4. Beregn 1. referenceflade ved hjælp af en Cost alllokering, hvor værdierne fra 3c) udgør kildeceller, og en rasterrepræsentation af interesseområde udgør "Cost fladen".
5. Bestem eventuelle begrænsninger i udbredelsen af referencefladen ved at markere arealer interesseområdet der ligger mere end en valgt grænseværdi f.eks. 3 meter) over 1. referenceflade som "NoData".
6. Beregn nu den endelige referenceflade, idet resultatet af 5) benyttes som "Cost flade".
7. Det relative niveau kan nu bestemmes ved at subtrahere den endelige referenceflade fra højdemodellen.

Et centralt punkt i analyserne er referenceniveauet, der angiver et karakteristisk niveau for vandløbet for hvornår, det løber over sine breder, hvilket i denne sammenhæng kan være kronekanten. Det bedste udgangspunkt for at fastlægge referenceniveauet for et vandløb i et givent

punkt ville være at basere denne på aktuelle målte data fra det pågældende vandløb, men ofte er disse data ikke tilstede. Alternativet er at uddrage referenceniveaueet direkte fra højdemodellen, men dette kan desværre kun ske som en grov tilnærmelse, hvilket dog stadig kan være relevant ved den første screening.



Figur 8.1. Beregningsmodel for identifikation af områder, der ligger mindre end 3 m over vandløbet og er umiddelbart forbundet hermed.

Når højdemodellen kun vil være en tilnærmelse skyldes det flere forhold:

LiDAR modellen er scannet i foråret 2007 under varierende vandspejls-niveauer. Tidspunktet for overflyvning er dog kendt og dokumenteret i metadata.

Ved interpolationen sker der dels en filtrering, dels en interpolation af værdier fra LiDAR punktsværmen, og man vil oftest ikke bestemme vandoverfladens niveau, men et gennemsnit af punkter fra både vandløbsbrink og vandflade.

Vektor repræsentationen af vandløbene i fx KMS Kort10 vil ikke nødvendigvis være eksakt sammenfaldende med vandløbets forløb i højdemodellen på grund af de uafhængige dataetableringer.

For at omgå punkt 3) kan man til denne analyse vælge at benytte midelværdien fra højdemodellen inden for en afstand af fx 3 cellebredder fra vandløbet fra Kort10.

Til den første screening i form af en visuel bedømmelse af mulige oversvømmelige arealer kan man passende benytte koterne fra højdemodellen under vandløbsvektorer af en god kvalitet, f.eks. fra Kort10. Ved de senere mere detaljerede analyser (se afsnit 4.3 under detailanalyser) anbefales det at man benytter feltmålte koteværdier for kronekanten langs de interessante dele af vandløbet. I den sammenhæng har fastsættelsen af niveauerne den største betydning, hvorimod om et kotepunkt afbildes eksakt oveni vandløbets forløb i højdemodellen er uden betydning.

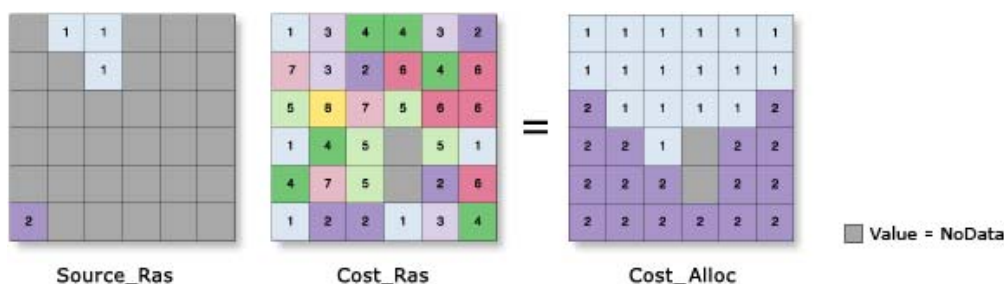
Arbejdsprocessen med at fastlægge potentielt oversvømmelige arealer kan inddeles i to trin:

Trin 1: Forberedelse af datagrundlag og visuel bedømmelse af potentielt oversvømmelige arealer

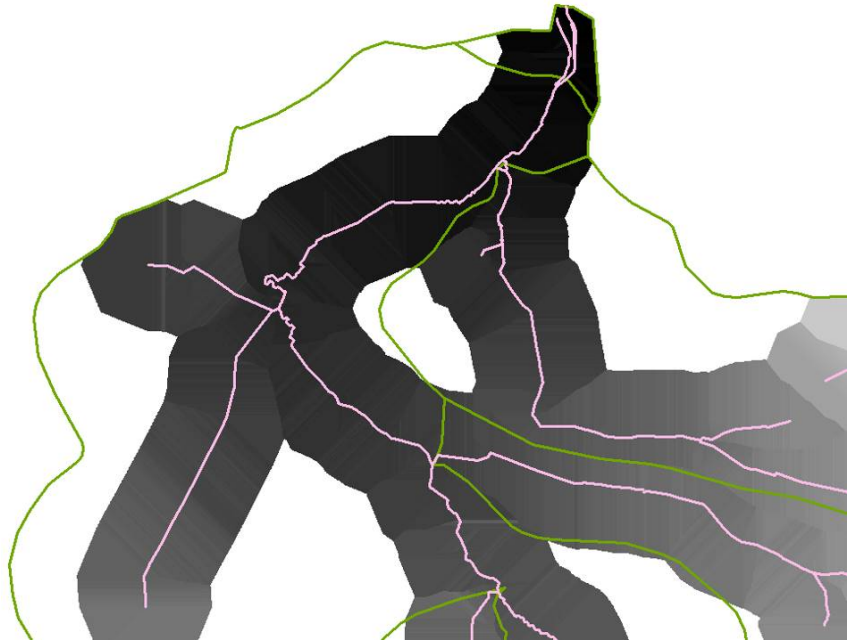
Første trin i processen består i at beregne referencefladen ved hjælp af Cost allocation funktionen. I ArcGIS kan dette kun ske for heltalsværdier, hvorfor højdemodellens oprindelige værdier i meter (decimaltal) konverteres til hele centimeter. I næste step trækkes referencefladens niveauer fra højde-modellen (se figur 8.2 i box 8.2). Herved får man et kort over de relative højdeniveauer.

Box 8.2. Referenceflade og Cost allokering

Referencefladen kan bedst visualiseres som et bredt bånd, der følger vandløbet i både plan og niveau. Referencefladen etableres gennem en "Cost allokering" hvor raster-celler tildeles værdien af den kildecelle (Source_Ras), der ligger nærmest under hensyn til modstanden (Cost_Ras), i disse beregninger bruges en simpelt Cost_Ras i form af værdien 1 for celler inden for projektområdet og værdien NoData udenfor. Kildecellerne repræsenterer i denne sammenhæng punkt-observationer af referenceniveauet langs vandløbet. På figur 8.2 er vist principper for Cost allokering. På figur 2.3 er vist resultatet af en cost-allokering langs et vandløb (Odderbæk opstrøms Kulsø) og begrænset til en bredde på 300 m.



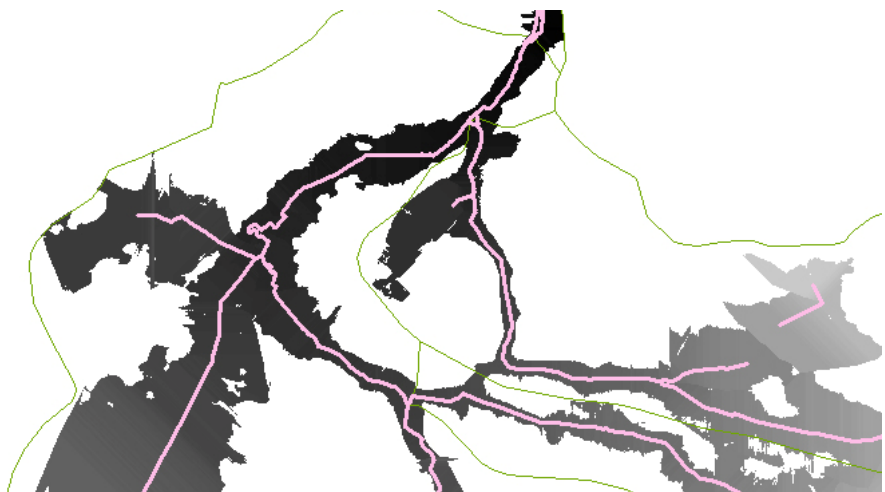
Figur 8.2. Princippet for Cost allokering: Source_Ras er kildeceller med observationer af højdeværdier (i cm), langs vandløbet enten udtrykket som værdier under vandløbslinier fra Kort10 eller punktmålinger. Cost_Ras repræsenterer projektområder og gives værdien 1 for celler, der skal medtages i beregningen, og NoData for celler, der enten ligger udenfor området eller er forhindringer (højtliggende arealer).



Figur 8.3. Referencefladen som resultat af "Cost allocation" af højdeværdier fra LiDAR modellen under KMS Kort10 vandløb. Den stribede karakter skyldes dels, at interpolationen af højdemodellen i varierende grad formår at repræsentere kronkanten, dels at Kort10 vandløbs repræsentationen ikke er perfekt matchet med vandløbsforløbet i højdemodellen. Cost allokeringen er begrænset til en bredde på 300 m. De lyserøde linjer er vandløb, mens de grønne linjer er vandskel.

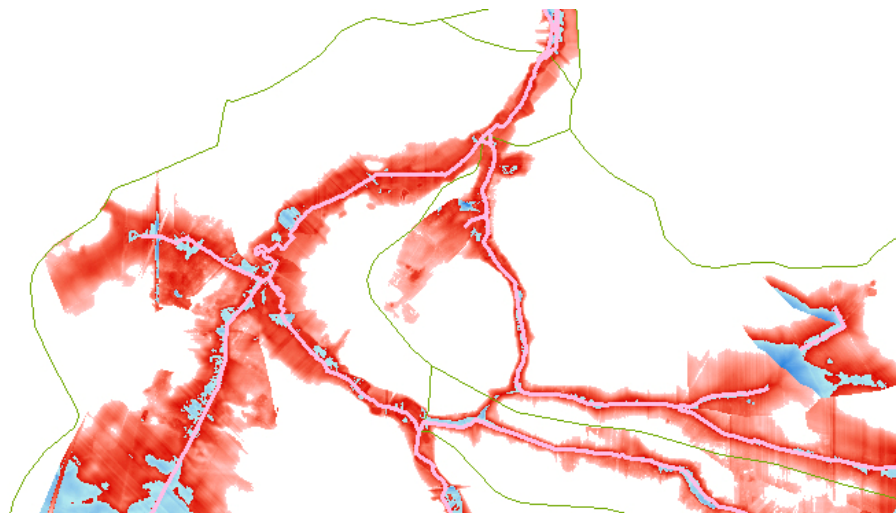
Ønsker man at begrænse udbredelsen af referencefladen, så det fx ikke udbredes om på bagsiden af højdedrag, kan man enten vælge at angive en maksimal bredde fx 500 m, eller man kan repetere Cost allokeringens funktionen efter at have markeret de områder af højdemodellen, der ligger mere end fx 3 m over referencefladen.

På figur 8.4 er resultatet af Cost-allokering efter at have markeret arealer der ligger mindre end 3 m over referenceniveauet. Hele processen er skematisk vist i figur 8.2.



Figur 8.4. Referencefladen som resultat af 2. "Cost allocation" ud fra LiDAR modellen under Kort10 vandløb. Den første Cost allokering (figur 2.3) var ikke begrænset højdemæssigt, men her er Cost allokering begrænset til de områder, hvor differencen mellem højdemodel og 1. Cost allokering er under 3 m.

Kortet kan efterfølgende visualiseres ved fx ækvidistante kurver eller farveskalaer, som det er vist i figur 8.4. Dette gør det muligt at identificere større sammenhængende områder med samme relative niveau i forhold til referenceniveauet (figur 8.5).



Figur 8.5. Kort over relativt niveau baseret på Kort10 Vandløbs allokeringen og en afgrænsning til niveauer mindre end 3m over vandløbet. Blå nuancer er niveauer under vandløbsniveauet, røde nuancer er mellem 0 og 3 m over vandløbsniveauet.

Trin 2: Estimering af arealer og oversvømmet volumen af potentielle oversvømmelige områder

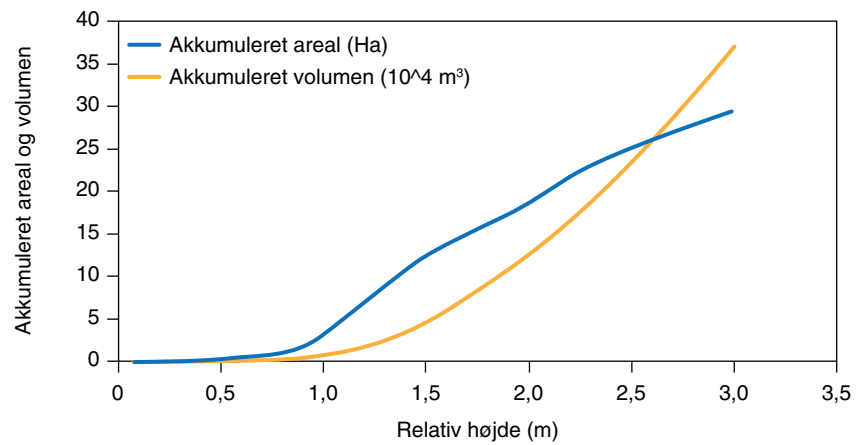
Når det potentielle projekt område er afgrænset, kan man estimere arealer og volumener på basis af histogrammer over højdefordelingerne. Det er i særlig grad væsentligt, at man finder en passende afgrænsning i nedstrøms retning. Man kan på dette tidspunkt vælge at skifte grundlaget for referenceniveauet fra værdier i højdemodellen under Kort10 vandløb til fx koter fra feltmålte profilmålinger (se afsnit 4.3). I figur 8.6 er det illustreret, hvordan Cost allokeringen kan baseres på feltmålte koter langs vandløbet.

På histogrammerne (eksempel vist i figur 8.7) er det muligt at bedømme dels hvor store arealer, der oversvømmes ved et givet niveau, dels at få et estimat af det volumen af vand der være i et område ved de forskellige vandstande. Kurveforløbet kan også bruges til at vurdere hvilken vandstandshævning, der skal til, før større arealer oversvømmes, og til at identificere evt. tærskelværdier, hvor der med små ændringer i vandkoten sker store ændringer i det oversvømmede areal. Figur 8.7 viser således, at det er nødvendig med en relativ højde på mindst én meter før der oversvømmes væsentlige arealer.

Ønsker man, at der ved beregningerne tages hensyn til evt. inddæmninger og mellemliggende højdedrag, skal man evt. køre en ekstra "Cost allocation" af referencepunkterne, hvor de forhindringer, der skal tages hensyn til, er markeret i "Cost overfladen" som NoData eller meget høje værdier (se box 8.2).



Figur 8.6. Cost allokering baseret på feltmålinger af koter. Man bemærker det jævne forløb af referenceniveaubåndet. Beregningen er begrænset til en afstand på 300 m fra hvert punkt. De feltmålte koter er markeret med grønne firkanter.



Figur 8.7. Samlet areal og volumen af et oversvømmelsesområde ved forskellig relativ højde (i forhold til referenceniveauet). Kurveforløbet er baseret på det relative niveau på det område, der er vist i figur 2.6.

8.2 Analyse af store vandføringer og oversvømmelse i danske vandløb

Analysen opdeler danske vandløb efter størrelse og de regioner, som de afvander. En forskel i antallet af dage med forekomst af store vandføringer er nemlig en af de faktorer, som styrer det endelige antal dage, hvor der kan forekomme oversvømmelser af P-ådale. Andre faktorer er den lokale vandføringsevne, som styres af forhold som vandløbets skikkelse, vandløbets hældning, forekomst af store sten, grene mv. i vandløbet, brinkvegetation og forekomst af vandplanter i åen (grødebiomasse og arter). Derfor har grødeskæringens omfang (intensitet og måde) også betydning for, hvor mange dage et vandløb vil oversvømme engen i det enkelte år, og det er i sidste ende antallet af dage med forekomst af oversvømmelser, som har betydning for den mængde af fosfor, som kan fastlægges på engene (se afsnit 2.5).

Til brug i analysen af forekomsten af store vandføringer i danske vandløb blev der udvalgt 212 hydrometristationer, som har en ubrudt døgnmiddelvandføringsserie over en 20-årig periode fra 1990-2009. Stationerne ligger overalt i Danmark (figur 8.8) og dækker også de tre forskellige vandløbstyper, som der opereres med i Vandplanerne:

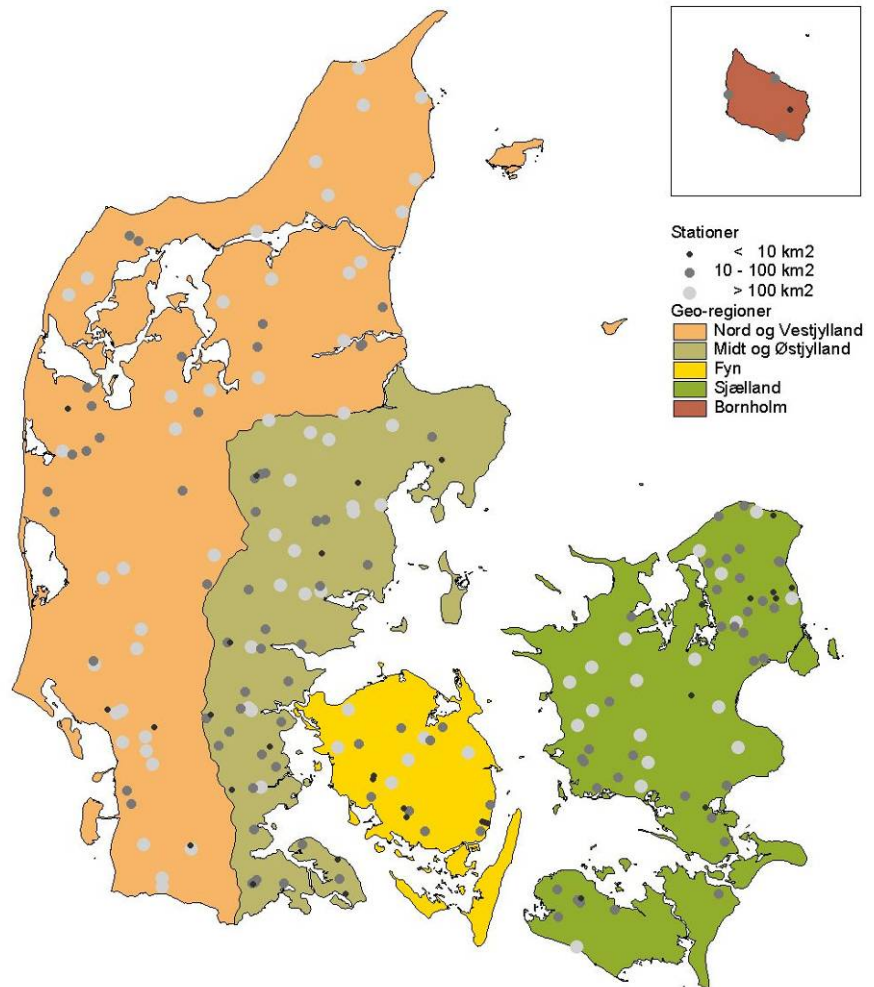
Type I vandløb: 1. og 2. ordens vandløb med bredde < 2 m og opland < 10 km².

Type II vandløb: 3. og 4. ordens vandløb med bredde > 2 og < 10 m og opland mellem 10-100 km².

Type III vandløb: > 4 . ordens vandløb med bredde > 10 m og opland > 100 km².

Medianmaksimumvandføringen er valgt som en tærskelværdi i analysen af forekomsten af store vandføringer. Medianmaksimum er en variabel, som hyppigt anvendes ved beskrivelse af maksimale vandføringer i vandløb og er defineret som den årlige maksimale vandføring, der forekommer hvert andet år i analyseperioden (Ovesen et al., 2001). Beregningen af medianmaksimum er foretaget ved i 20 års dataserien af daglige vandføringer at udtrække den årlige maksimumsvandføring og derefter beregne medianen af de 20 værdier (se også box 8.3).

Medianmaksimumsvandføringen er ud fra litteraturen en størrelse, som ligger tæt på den bredfyldte vandføring i upåvirkede, naturlige vandløb, hvor vandløbet ved yderligere stigning i vandføring derefter går over sine bredder og oversvømmer de ånære arealer. I litteraturen opereres der med et gentagelsesinterval på ca. 1,3 år for bredfyldt vandføring (Leopold & Miller, 1964). Denne teoretiske forekomst af bredfyldt vandføring tager ikke hensyn til de lokale forhold vedrørende vandføringsevnen, som er givet ovenfor, hvorfor bredfyldt vandføring og oversvømmelser må forventes at forekomme hyppigere i mange danske vandløb.



Figur 8.8. De 212 hydrometriske vandløbsstationer opdelt i 3 størrelsesklasser og fordelt på regioner, der er anvendt til analyse af maksimumafstrømninger.

Analysen af overskridelser af tærskelværdien, samt percentiler af denne (fx 95 %) er herefter beregnet ved at optælle antallet af dage med overskridelser i hele 20 års perioden og herefter beregne et årligt gennemsnitligt antal dage. De 212 vandløb blev i analysen grupperet i de tre størrelsestyper og 9 georegioner. I slutanalysen er flere af georegionerne blevet samlet til større regioner, da der ikke var vandløb nok i den enkelte klasse til at give en meningsfyldt statistisk analyse af det gennemsnitlige årlige antal dage med overskridelser af tærskelværdierne. Endelig blev georegion Østdanmark opdelt i tre underregioner (Østjylland, Fyn og Sjælland) med henblik på at analysere eventuelle forskelle i disse regioner.

Resultatet af antal dage med overskridelser af 95 % percentilen af medianmaksimum er vist i tabel 2.1. Bornholm har kun få vandløb med i analysen, men det ser ud til, at der langs de Bornholmske vandløb kun kan forventes få dage med overskridelser af tærskelværdien for store vandføringer og meget færre end i resten af Danmark (tabel 2.1).

Box 8.3. Maksimumvandføring og oversvømmelse

Medianmaksimumvandføring:

Medianmaksimum er 50 % fraktilen af en serie med årsmaksima. Det svarer til det niveau, der i gennemsnit bliver overskredet hvert andet år. Værdien, der normalt beregnes på en dataserie på 20-30 år, anvendes til karakteristik af stor vandføring, l/sek. og afstrømning fra et opland, l/sek/km². Den gennemsnitlige medianmaksimumafstrømning i forskellige områder af Danmark og typer af vandløb er vist i tabel 8.1. Vandføringsdata fra de enkelte vandløb kan findes via de lokale enheder i NST eller alternativt skaffes via Danmarks Miljøundersøgelser

Oversvømmelsesgrænse:

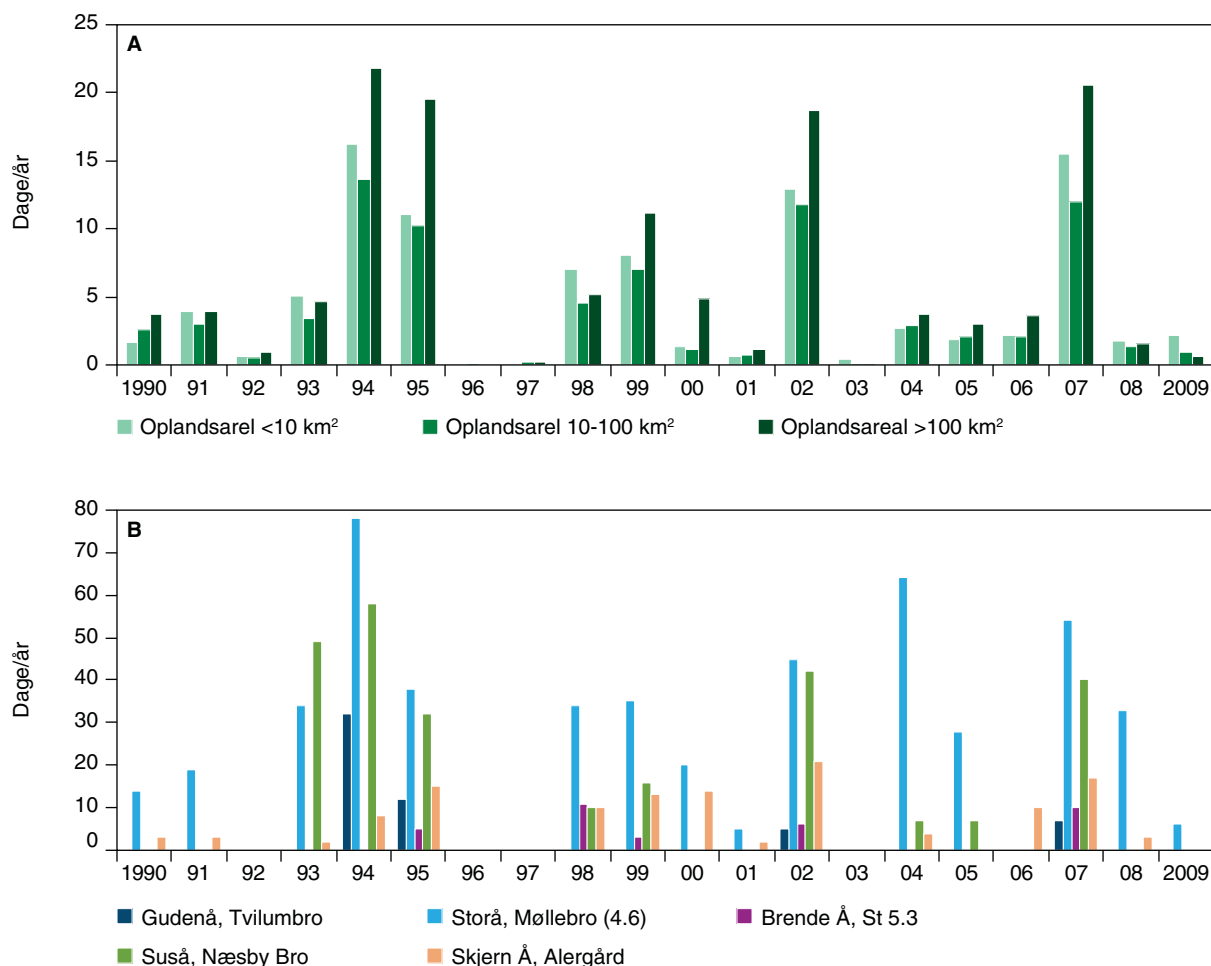
I et vandløb med naturlige dimensioner svarer 95 % percentilen af medianmaksimumvandføringen til, at vandløbet ca. er bredfyldt i en situation uden stuvning udover den naturlige. En overskridelse heraf vil således medføre oversvømmelse. Da der er mange danske vandløb, der ikke har naturlige dimensioner, men fx er uddybet eller med stor bredde, vil bredfyldt vandføring ofte forekomme mindre hyppigt. Derimod vil forekomst af grøde og brinkvegetation kunne øge forekomst og antal dage med bredfyldt vandføring og oversvømmelser.

Tabel 8.1. Den gennemsnitlige medianmaksimumafstrømning i forskellige regioner af Danmark og i forskellige vandløbstyper.

Medianmaksimumafstrømning, l/sek/km²	Type 1	Type 2	Type 3
Vest- og Nordjylland	57	48	41
Midt- og Østjylland	71	58	42
Fyn	58	42	46
Sjælland	39	41	31
Bornholm	60	92	

8.3 År til år variationer i antal dage med stor vandføring

Figur 8.9 viser en analyse af de danner baggrund for tabel 2.1. Den viser antal dage med store vandføringer, samt forekomsten af faktisk oversvømmelse ved 5 eksisterende hydrometristationer i Danmark i perioden 1990-2009 (se også tabel 2.1). Beregningerne af oversvømmelser er sket ud fra observerede vandstande på stationerne. Som det tydeligt fremgår af figuren, er der store variationer i antallet af dage med oversvømmelser fra år til år. I mange af årene er der kun få eller ingen dage med oversvømmelser, mens der i våde år forekommer mange dage med oversvømmelser. En genskabt P-ådal må forventes at følge samme mønster med stor variation fra år til år i antallet af dage med oversvømmelser. Der er også væsentlige regionale forskelle med eksempelvis væsentligt hyppigere oversvømmelser i Storeåen (Møllebro) end i Brede Å. Erfaringer fra restaureringsprojekter i vandløb, hvor åen blev gensnoet viser, at oversvømmelser fandt sted mellem 20 og 170 dage om året i et transekt på en strækning af Odense Å (5 års periode) og 1-33 dage i tre transekter langs en gensnoet strækning af Brede Å (analyse af et vådt år).



Figur 8.9. Øverst: Beregnet antal dage pr. år, hvor 95 % af medianmaksimumafstrømningen overskrides. Angivet for perioden 1990-2009 og inddelt efter tre størrelseskategorier af oplande.

Nederst: Antal målte dage med oversvømmelser ved 5 hydrometristationer i forskellige dele af landet i perioden 1990-2009.

8.4 Model for partikelbundet transport af fosfor fra oplande

Det største potentiale for effektivt at fjerne fosfor ved at etablere oversvømmelsesområder vil være langs vandløb med høje indhold af suspenderet materiale. Hvis vandløbets indhold af partikulært fosfor er ringe er potentialet ringere, som vist i afsnit 2.4

Der er mulighed for at gå lidt mere detaljeret til værks, idet der er udviklet en simpel empirisk model for transporten af partikelbundet fosfor (PP) i vandløb på baggrund af målinger i en række vandløb (ligning 2, box 8.4) (Andersen et al., 2005). Denne model giver et estimat af PP tabet pr. hektar opland og således en indikation af hvor meget fosfor, der kan forventes at være i vandløbsvandet ved en given P-ådal. Der findes flere metoder, men for at give et ensartet grundlag anbefales i givet fald at anvende følgende ligning 2 angivet i box 8.4.

Box 8.4 Beregning partikelbundet fosfor i vandløb på baggrund oplandsdata

Ligning 2:

$$PP(kg/ha) = 1,09 \times \exp(-7,6634 + 0,9208 \times \ln(Q_{flom}) + 0,0229 \times A + 0,0092 \times S + 0,0187 \times SL - 0,0412 \times EM)$$

hvor:

Q_{flom} er Flomafstrømningen: $(1 - BFI) \times$ års afstrømning (mm/år).

S: Andel sandjord i opland (%). Sum af FK 1-3 i den danske jordklassifikation divideret med sum af FK 1-8.

A: Andel af landbrugsjord i opland (%) fra Markblok tema, brug evt. AIS luatype 2112 selvom den i de fleste tilfælde vil være højere.

SL: Slope/hældning af vandløb (‰ eller m/km)

EM: Andel Eng/mose i opland (%). Kode 4110 + 4120 i AIS areal anvendelses tema.

BFI er Base Flow Indekset, som kan beregnes efter metode angivet af Institute of Hydrology (1992).

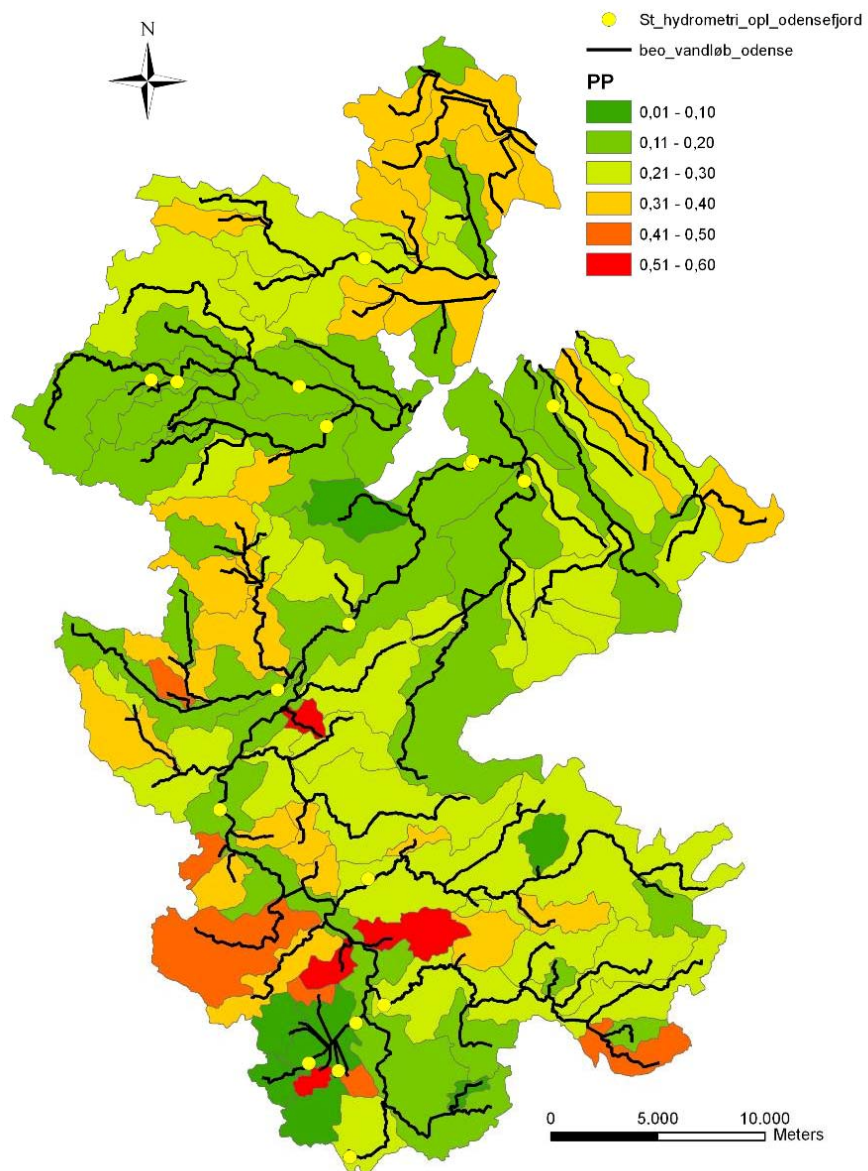
PP transporter er beregnet for 93 deloplande til Odense fjord som angivet i Fig. 8.10.

PP modellen har en $R^2 = 0,75$.

$Q_{flom} = 1/BFI$ kan beregnes efter anvisning i "Institute of Hydrology (1992)" på baggrund af daglige vandføringer fra en målestation. Der bør vælges en målestation med samme hydrologiske regime som på den undersøgte lokalitet.

Hældningen af vandløbet kan fx estimeres ved at se, hvor to højdekurver krydser vandløbet omkring og opstrøms strækningen, og sammenholde højdeforskellen med længden langs vandløbet mellem de to punkter.

Et eksempel på modellens anvendelse er vist i figur 8.10, der viser Odense Fjord-oplandet. Som det illustreres forudsiger modellen ret store forskelle i koncentrationen af partikelbundet fosfor.



Figur 8.10. Partikulært fosfor (PP) for 93 del-oplande til Odense fjord, estimeret med PP model. Enheder er kg/ha/år.

8.5 Målinger af suspenderet stof i vandløb

I dette bilag findes datagrundlaget for figur 2.5.

Data er beregnet på observations data trukket fra overfladevandsdatabase ODA, som suspenderede stoffer fra 1/1 – 1989 til 11/11 2010. Alle stationer med minimum 20 observationer indgår. Placering af stationsnumre for de enkelte vandløb fremgår af Faglig rapport fra DMU nr. 340 fra Ovesen et al. (2000) eller via Naturstyrelsens oplandsdatabase.

SSK_mg_l er middel koncentrationen af alle målinger på stationen

SSK_antal er antal observationer fra den pågældende station

SSK_st.dev. er standard afvigelsen på koncentrationsmålingerne

SSK 10% er 10 % procentilet af koncentrationsmålingerne

SSK 90% er 90 % procentilet af koncentrationsmålingerne

Vandløbs navn	DMU_NR	OBS_STD_NR	DDH_NR	SSK_mg_l	SSK_antal	SSK_st.dev	SSK 10%	SSK 90%
ELLING Å	20005	2000005	20114	12.4	85	16	3	20
UGGERBY Å	30002	3000002	30137	37.7	85	50	12	76
LIVER Å	40002	4000002	40079	19.9	74	15	5	39
VARBRO Å	40004	4000004	40004	40.9	25	27	15	77
VOER Å	50003	5000003	50001	30.6	82	19	15	53
RY Å	60001	6000001	60013	18.1	81	15	4	38
LINDHOLM Å	70002	7000002	70055	9.4	42	6	4	18
GERÅ	80001	8000001	80056	14.9	85	11	4	28
TRANUM Å	90021	9000021	90149	10.7	36	12	3	25
HALKÆR Å	100006	10000006	100022	10.2	31	16	3	16
HERREDS Å	100009	10000009	100023	10.3	34	10	3	20
KÆRS MØLLEÅ	100010	10000010	100095	8.6	33	8	2	21
ROMDRUP Å	100011	10000011	100094	25.7	32	30	4	49
HARRING Å	110010	11000010	110100	5.4	30	5	2	12
HVIDBJERG Å	110011	11000011	110019	28.2	47	19	7	53
ÅRUP Å	110016	11000016	110088	10.3	77	12	2	20
TREND Å	130010	13000010	130060	8.4	33	11	2	13
ODDERBÆK	130011	13000011	130089	59.6	257	81	5	174
LINDENBORG Å	140016	14000016	140009	16.6	59	16	5	29
REFSKÆR BÆK	140020	14000020	140107	30.1	51	57	6	41
KASTBJERG Å	150002	15000002	150071	13.8	61	14	4	23
HASLEVGÅRDS Å	150032	15000032	150178	12.6	87	18	2	28
VALSGÅRD BÆK	150034	15000034	150005	5.8	24	6	2	8
VILLESTRUP Å	150035	15000035	150011	10.3	59	12	2	19
BREDKÆR BÆK	160023	16000023	160114	10.3	69	11	4	16
FALD Å	160024	16000024	160131	13.1	68	30	3	19
LYBY-GRØNNING GRØFT	160030	16000030	160153	18.4	103	36	2	39
VIUM MØLLEÅ	160070	16000070	160042	7.4	81	9	3	11
HVAM BÆK	170004	17000004	170033	10.2	81	10	3	22
SIMESTED Å	170007	17000007	170094	14.8	68	11	3	30
SKALS Å	180077	18000077	180115	11.9	63	7	5	23
JORDBRO Å	190012	19000012	190106	16.5	71	25	3	26
LÅNUM BÆK	190015	19000015	190097	11.6	70	12	3	23
KARUP Å	200024	20000024	200210	12.7	64	9	3	22
KNUD Å	210030	21000030	210417	12.2	71	16	3	31
NIMDRUP BÆK	210040	21000040	-	9.5	70	10	2	21
SALTEN Å	210062	21000062	210918	7.8	71	8	3	12
ELLERUP BÆK	210072	21000072	211154	18.3	88	28	5	28
GUDEN Å	210084	21000084	210882	4.7	61	3	2	8
GUDEN Å	210086	21000086	210906	6.2	25	6	2	14
GUDEN Å	210089	21000089	210902	6.4	64	3	4	10
GUDEN Å	210090	21000090	210291	4.6	52	4	1	9
ALLING Å	210413	21000413	210924	17.3	72	13	5	31
GUDEN Å	210467	21000467	210914	8.0	110	7	2	14
MAUSING MØLLEBÆK	210487	21000487	211123	9.2	80	5	6	14
FUNDER Å	210529	21000529	210426	12.8	64	19	4	19
HADSTEN LILLE Å	210548	21000548	210895	20.6	27	31	7	25
KNUD Å VÆNGE TILLØB	210572	21000572	210476	8.7	70	10	2	20
HYLTE BÆK	210648	21000648	210416	5.5	54	5	2	11
HORNDRUP BÆK	210752	21000752	211057	21.9	271	34	6	43
JAVNGYDE BÆK	210759	21000759	211070	8.0	91	11	2	18

Vandløbs navn	DMU_NR	OBS_STD_NR	DDH_NR	SSK_mg_l	SSK_antal	SSK_st.dev	SSK 10%	SSK 90%
JAVNGYDE BÆK	210759	21000759	210612	8.0	91	11	2	18
HAURBÆK	210786	21000786	210336	11.0	80	8	5	19
SKJELLEGRØFTEN	210803	21000803	210332	7.6	80	11	2	11
ØLHOLM BÆK	210872	21000872	211156	17.5	67	36	4	34
HOLMSBÆK	210873	21000873	210954	22.0	70	35	9	28
ELLEBÆK	220043	22000043	220154	10.8	66	16	2	19
HESTBÆK	220047	22000047	220270	4.5	46	7	2	7
IDOM Å	220048	22000048	220226	6.8	65	4	2	12
RÅSTED LILLE Å	220050	22000050	220247	10.8	67	9	3	17
SUNDS MØLLEBÆK	220053	22000053	220351	12.4	68	9	5	20
STORÅ	220062	22000062	220001	7.8	67	3	5	12
EGÅ	230055	23000055	230091	15.7	20	11	6	29
HEVRING Å	230087	23000087	230108	6.8	26	4	3	13
FELDBÆK	240061	24000061	240061	16.6	83	28	3	31
HOLTUM Å	250020	25000020	250216	9.7	64	6	5	15
BRANDE Å	250021	25000021	250217	4.5	53	2	2	7
HOVER Å	250075	25000075	250081	11.6	86	8	3	22
OMME Å	250078	25000078	250093	8.7	70	6	3	15
SKJERN Å	250082	25000082	250633	8.3	49	3	5	12
TIM Å	250086	25000086	250988	12.9	72	11	3	26
SKJERN Å	250097	25000097	-	8.8	72	5	4	14
SKJERN Å	250592	25000592	-	4.0	38	4	1	7
ÅRHUS Å	260080	26000080	260057	19.4	93	17	5	40
ÅRHUS Å	260082	26000082	260066	11.8	97	12	3	23
LYNGBYGÅRDS Å	260096	26000096	260065	17.2	97	14	6	35
RÆVS Å	270035	27000035	270001	20.7	172	16	8	37
HANSTED Å	270045	27000045	270071	13.6	69	14	3	24
BYGHOLM Å	280001	28000001	280033	11.4	72	11	4	21
LANGSLADE RENDE	300013	30000013	300067	6.2	24	3	3	11
VARDE Å	310027	31000027	310326	9.4	73	9	5	14
FRISVAD MØLLEBÆK	310032	31000032	310555	7.6	73	6	2	13
VEJLE Å	320001	32000001	320051	11.4	75	7	3	18
GREJS Å	320004	32000004	320123	20.2	68	38	6	28
ENGELSHOLM BÆK	320017	32000017	320131	6.0	58	10	1	10
HØJEN Å	320022	32000022	320115	20.6	76	38	5	34
SPANG Å	330004	33000004	330011	18.8	75	27	4	37
VESTER-NEBEL Å	340002	34000002	340049	10.9	60	13	3	20
KOLDING Å	340019	34000019	340059	13.5	76	8	7	21
BRAMMING Å	350006	35000006	350231	8.5	73	5	3	14
SNEUM Å	350010	35000010	350227	10.0	72	5	5	15
SMØRPØT BÆK	350011	35000011	350119	10.4	71	6	5	15
STENDERUP BÆK	350013	35000013	350217	7.1	71	5	3	14
KONGE Å	360009	36000009	360138	8.8	70	5	3	14
GAMST MØLLEBÆK	360012	36000012	360207	12.4	73	32	2	25
SØGÅRD SØ TILLØB S5	360018	36000018	360199	4.5	37	5	2	7
HJARUP BÆK	360029	36000029	360111	10.5	57	15	3	18
SOLKÆR Å	370011	37000011	370040	17.3	69	26	3	32
HADERSLEV MØLLESTRØM	370034	37000034	370051	16.3	79	11	5	30
KÆR MØLLE Å	370036	37000036	370004	14.4	79	24	3	32
TAPS Å	370038	37000038	370052	15.2	78	20	3	40
BLÅ Å (LILLEÅ)	380020	38000020	380177	10.2	77	16	2	28

Vandløbs navn	DMU_NR	OBS_STD_NR	DDH_NR	SSK_mg_l	SSK_antal	SSK_st.dev	SSK 10%	SSK 90%
HJORTVAD Å	380023	38000023	380019	10.4	72	15	2	21
RIBE Å	380024	38000024	380082	9.4	72	6	3	15
BRØNS Å	390001	39000001	390021	8.8	66	4	3	14
REJSBY Å	390002	39000002	390029	11.2	67	11	4	18
BREDE Å	400001	40000001	400028	9.0	67	6	4	15
ELSTED BÆK	410012	41000012	410085	10.5	79	14	4	18
FISKBÆK	410014	41000014	410002	18.0	80	22	4	41
PULVERBÆK	410016	41000016	410081	16.6	80	39	3	27
BLÅ Å - BOVRUP BÆK	410020	41000020	-	11.2	80	11	3	21
BOLBRO BÆK	420012	42000012	420111	12.4	284	20	2	20
GRØNÅ	420016	42000016	420105	13.3	67	7	5	22
VIDÅ	420021	42000021	420048	11.6	68	6	5	18
STORÅ	430001	43000001	430004	11.4	98	10	3	21
RINGE Å	430003	43000003	430003	10.1	26	6	4	18
VIBY Å	430007	43000007	430005	20.0	26	18	8	32
VINDINGE Å	440021	44000021	440008	9.4	94	16	3	16
ODENSE Å	450002	45000002	450003	9.1	631	12	2	19
ODENSE Å	450003	45000003	450021	11.8	616	12	2	25
ODENSE Å	450004	45000004	450002	10.4	90	8	4	19
STAVIS Å	450005	45000005	450022	14.6	93	12	6	24
ARRESKOV SØ TILLØB 5	450034	45000034	450153	5.9	91	5	2	10
ARRESKOV SØ TILLØB 1	450035	45000035	-	9.1	90	10	2	18
LANGESØ TILLØB 1	450041	45000041	450082	23.3	26	24	7	42
LINDVED Å	450043	45000043	450026	9.4	95	8	4	16
GEELS Å	450058	45000058	450024	8.2	94	11	3	13
HOLSTENHUUS AFLØB	450059	45000059	450237	8.4	27	13	2	16
RISLEBÆK	450090	45000090	-	16.3	91	17	4	36
BRENDE Å	460001	46000001	460002	13.5	93	13	4	24
HÅRBY Å	460017	46000017	460004	10.1	96	10	5	17
SØHOLM SØ TILLØB 1	460018	46000018	460047	12.9	95	16	5	23
PUGE MØLLEÅ	460020	46000020	460003	11.9	27	9	2	24
HUNDSTRUP Å	470001	47000001	470031	14.9	93	19	3	30
LILLEBÆK	470033	47000033	470072	24.2	340	46	4	47
SYLTEMÆ Å	470035	47000035	470018	16.4	22	14	8	30
VEJSTRUP Å	470036	47000036	470019	10.9	90	30	3	14
STOKKEBÆKKEN	470037	47000037	470020	9.8	92	12	3	21
LILLEBÆK DRÆN	470041	47000041	470098	4.5	131	9	1	8
LILLEBÆK DRÆN	470045	47000045	470097	17.8	109	47	1	35
ESRUM Å	480004	48000004	480090	8.1	96	12	3	12
FØNSTRUP BÆK	480006	48000006	480086	5.3	33	4	2	10
HØJBRO Å	480007	48000007	480053	13.6	93	13	4	25
SØBORG KANAL	480010	48000010	480046	14.8	94	12	5	28
ØSTERBÆK	480011	48000011	480085	12.3	93	17	2	28
ARRESØ KANAL	490054	49000054	490056	33.6	96	17	9	58
LYNGBY Å	490057	49000057	490091	6.8	124	5	2	13
RAMLØSE Å	490059	49000059	490088	25.2	27	32	6	45
ÆBELHOLT Å	490061	49000061	490026	13.0	123	16	3	25
KIGHANERENDEN	500048	50000048	500079	11.9	74	7	5	20
MØLLE Å	500051	50000051	500078	7.2	74	6	3	15
NIVE Å	500056	50000056	500052	11.6	93	6	4	20
USSERØD Å	500057	50000057	500053	10.4	93	8	3	19
LAMMEFJORD SØKANAL	510020	51000020	510107	7.6	87	8	2	13

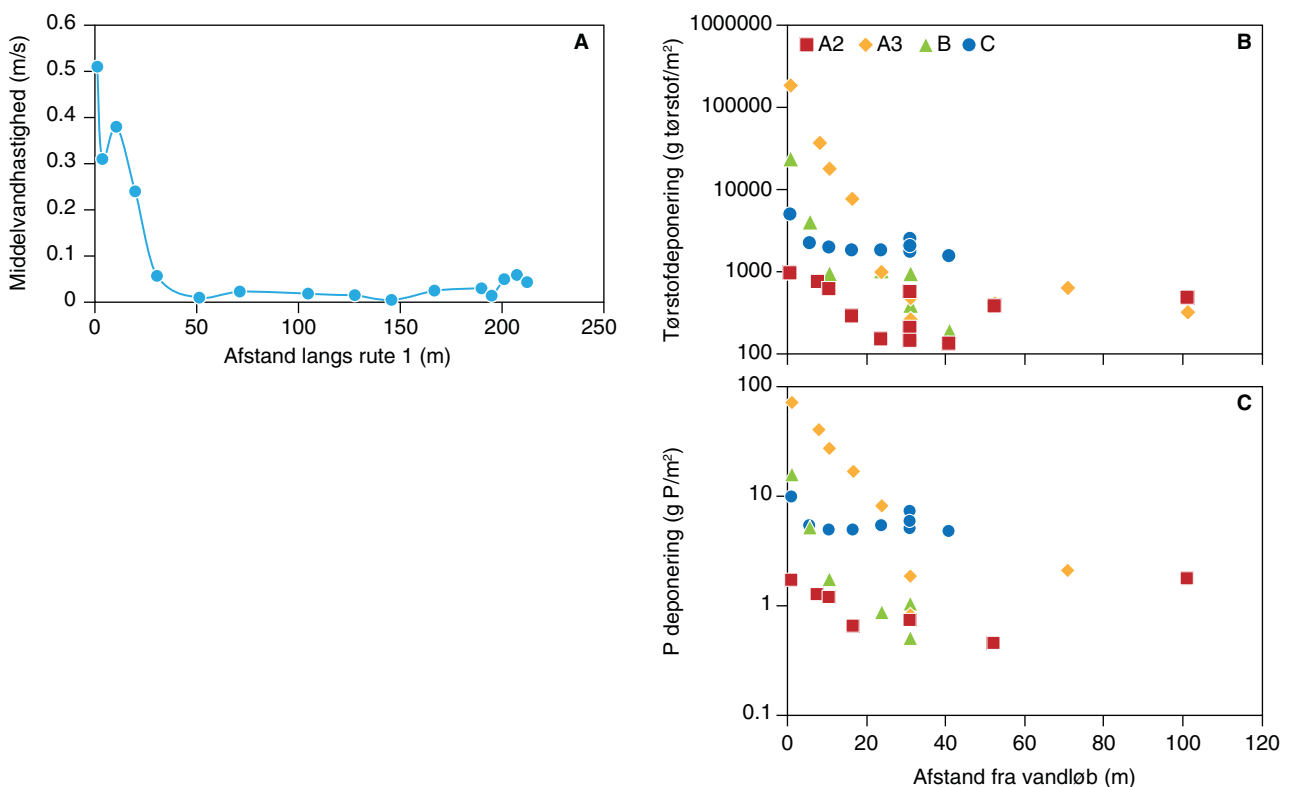
Vandløbs navn	DMU_NR	OBS_STD_NR	DDH_NR	SSK_mg_l	SSK_antal	SSK_st.dev	SSK 10%	SSK 90%
TUSE Å	510024	51000024	510017	14.4	87	16	4	24
JONSTRUP Å	520022	52000022	520103	10.0	62	6	4	15
GRÆSE Å	520025	52000025	520189	12.7	94	10	4	20
HAVELSE Å	520029	52000029	520190	9.0	94	6	3	17
MADEMOSE Å	520033	52000033	520252	11.0	93	11	3	24
UDESUNDBY Å	520035	52000035	520020	10.2	21	6	5	19
VÆREBRO Å	520039	52000039	520194	15.8	94	19	3	37
HOVE Å	520063	52000063	520179	8.9	73	5	3	15
HOVE Å	520064	52000064	520178	11.3	61	6	4	19
LANGVAD Å	520068	52000068	520037	9.6	75	7	2	17
Maglemose Å	520199	52000199	-	8.4	75	7	2	13
LL. VEJLE Å	530010	53000010	530042	16.1	75	19	3	41
ST. VEJLE Å	530011	53000011	530070	20.0	75	29	3	52
DAMHUSÅEN	530028	53000028	530080	10.5	74	9	4	19
LADEGÅRDSÅEN	530029	53000029	530081	8.6	40	8	3	14
HARRESTRUP Å	530042	53000042	530083	13.7	21	17	5	30
FLADMOSE Å	540002	54000002	540012	7.4	104	7	2	15
NDR. HALLEBY Å	550015	55000015	550070	6.2	87	5	2	12
ÅMOSE Å	550018	55000018	550073	9.7	88	8	2	23
BJERGE Å	560001	56000001	560117	10.5	98	13	2	29
SEERDRUP Å	560002	56000002	560116	15.6	99	41	2	26
TUDE Å	560003	56000003	560061	10.9	99	18	2	17
TUDE Å	560005	56000005	560036	10.7	101	18	2	19
HULEBÆK	570044	57000044	570132	13.5	102	24	3	24
SUSÅ	570050	57000050	570253	9.6	100	16	2	16
FLADSÅ	570052	57000052	570224	16.8	93	22	4	34
SALTØ Å	570055	57000055	570247	13.3	93	16	2	27
SUSÅ	570058	57000058	570258	6.4	94	4	2	13
HARALDSTED Å	570063	57000063	570241	10.2	98	14	2	20
BORUP BÆK	580019	58000019	580024	13.6	75	9	6	24
KØGE Å	580047	58000047	580007	11.6	75	11	2	20
TRYGGEVÆLDE Å	590006	59000006	590119	8.5	74	7	2	19
HULEBÆK	600027	60000027	600009	11.3	92	11	3	21
MERN Å	600031	60000031	600001	14.9	93	15	3	36
TRANEGÅRD LILLE Å	600035	60000035	600036	8.8	88	11	2	21
TUBÆK	600036	60000036	600002	8.0	121	8	2	17
FRIBRØDRE Å	610013	61000013	610003	8.4	93	9	2	17
HALSTED Å	620012	62000012	620001	3.6	92	2	2	6
HØJVADS RENDE	620014	62000014	620038	21.0	361	32	3	42
MARREBÆKSRENDE	620015	62000015	620002	6.6	85	11	2	13
RYDE Å	620017	62000017	620007	6.9	97	6	2	15
ÅMOSE RENDEN	620022	62000022	620039	11.0	82	14	3	25
NÆLDEVADS Å	640025	64000025	640007	10.0	92	11	2	21
HOVEDKANAL	650001	65000001	650002	9.9	93	11	2	23
BAGGE Å	660014	66000014	660007	12.9	61	18	2	29

8.6 Fosfordeponering ved oversvømmelse

Dette afsnit giver en analyse af hvor meget fosfor, der kan forventes deponeret ved oversvømmelser vurderet på baggrund af konkrete målinger. Det beskedne antal lokaliteter, hvor disse målinger er foretaget, betyder dog en relativ stor usikkerhed omkring størrelsen af de vejledende deponeringsrater, som de er angivet i tabel 2.4.

De vejledende deponeringsrater vil afhænge af koncentrationen af suspenderet stof i vandløbsvandet i perioder med oversvømmelser. Da denne ikke er kendt er det valgt, at anvende en årlig gennemsnitskoncentration af suspenderet stof målt i vandløb under det nationale overvågningsprogram (figur 2.5). De vejledende deponeringsrater af fosfor i tabel 2.4 er derfor alene en gennemsnitsrate for de tre viste regioner, som vil kunne variere betydeligt indenfor regionen (se enkeltvandløb i bilag 8.5).

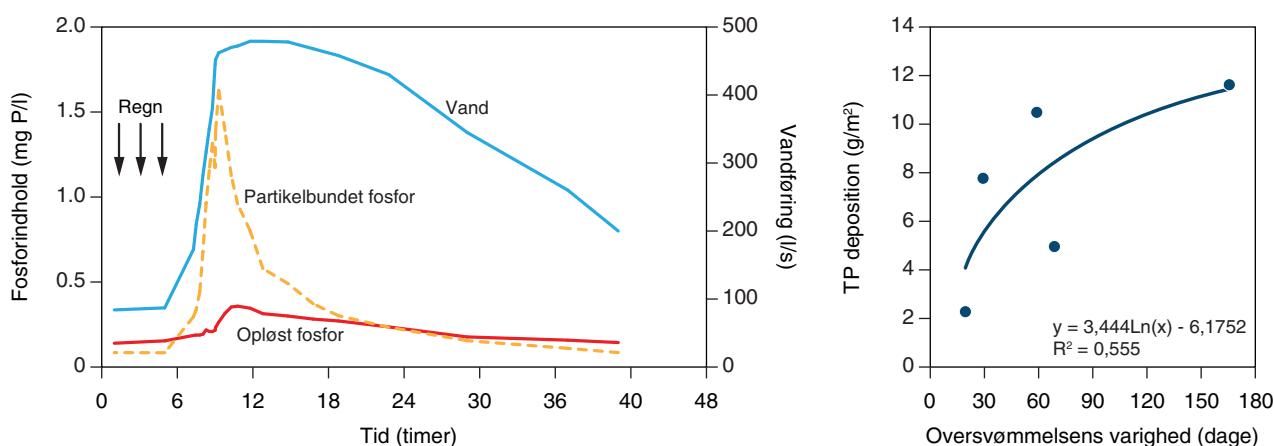
Målinger af sedimentationen af partikler på engen under tidsvise oversvømmelser af ånære arealer og ådale har vist, at der deponeres groft og fint minerogent og organisk materiale på engen (Kronvang et al., 2007, 2009, 2010). Målinger er gennemført med sedimentfælder på tidsvist oversvømmede enge langs flere danske åer. Det drejer sig alle tilfælde om type II (vandløbsorden 3 eller 4) eller type III (vandløbsorden >5) vandløb. Sedimentationen sker på grund af den umiddelbare nedsættelse af vandets strømhastighed på engen, hvor hældningen ofte er lille, og der er stor modstand mod vandets strømning fra plantedækket.



Figur 8.11. Middelvandhastigheden (A) langs en 210 m lang strækning (rute 1) i Gjern å målt i forbindelse med en oversvømmelseshændelse i vinteren 2002-2003 (fra Kronvang et al., 2007), samt deponering af sediment (B) og partikulært fosfor (C) i forskellige afstande til vandløbskanalen og på forskellige transekter langs Odense å i vinteren 2004-2005. Symbolerne (A2, A3, B, C) henviser til fire forskellige transekter (se Kronvang et al., 2009).

Målingerne viser, at sedimentationen af materiale generelt aftager med afstanden fra åen (figur 8.11, højre). Det sedimenterede materiale indeholder en del fosfor bundet i det minerogene eller organiske materiale. Indholdet af fosfor i det sedimenterede materiale på engen stiger som hovedregel med afstanden til vandløbet, pga. en stigning i indholdet af fine partikler (silt/ler) og organisk stof, som typisk indeholder meget fosfor.

Ved de tidvise oversvømmelser tilbageholdes derfor en del af det partikelbundne fosfor, som er i transport i vandløb ved de høje afstrømningen. Det er også her, at vi normalt kan måle det største indhold af suspenderet stof og partikelbundet fosfor i vandløbsvandet (figur 8.12, venstre). Langt den største stigning i indholdet af fosfor skyldes partikulært fosfor, mens den opløste fraktion øges i mindre grad.



Figur 8.12. Venstre: Transport af fosfor (partikulært og opløst fosfor) i et vandløb efter regnvejrs og øget vandføring (fra Kronvang et al., 1997). Højre: Sammenhæng mellem oversvømmelsens varighed og deponeringen af fosfor (fra Kronvang, upub).

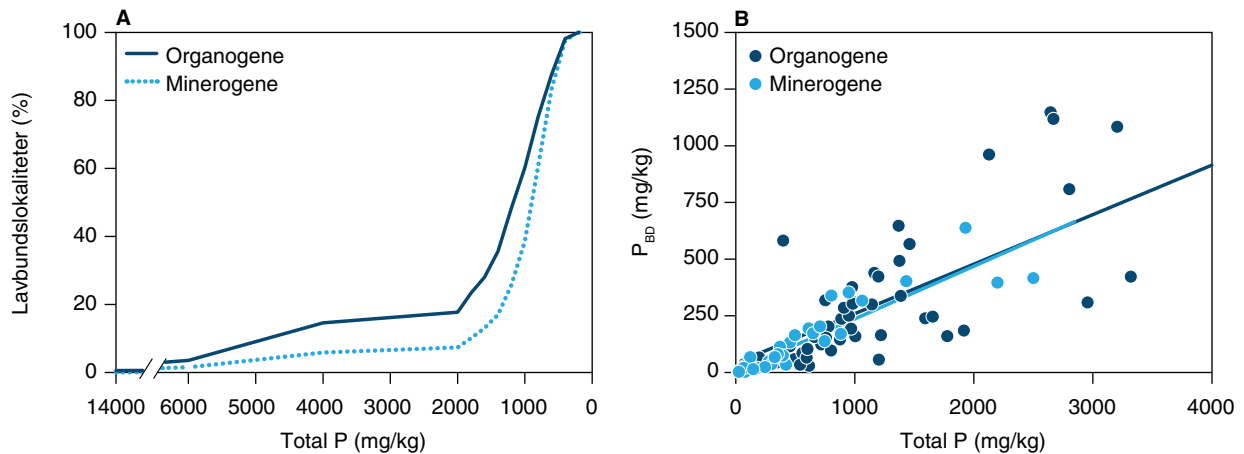
Resultater fra undersøgelser i fire ådale, hvor ådalsarealet omfattede mellem 63 og 2200 ha viser, at mellem 30 % og 75 % af ådalen reelt oversvømmes med vandløbsvand, mens resten af ådalen topografisk ligger på et højere plateau end vandstanden stiger i vandløbet (Schou et al., 2007).

Målinger gennem 5 vinterperiode i en ådal ved Odense Å viser en positiv sammenhæng mellem omfanget af hvor meget partikelbundet fosfor, der i gennemsnit er sedimenteret i en oversvømmet ådalstransekt, og antallet af dage i vinteren, hvor åen er gået over sine bredder (figur 8.12, højre).

Effekten på reduktion af fosfortransporten i vandløb er som gennemsnit anslået til 10-30 kg P pr. ha for den del af arealet, hvor der årligt sker kortvarige oversvømmelser. Analyser af de indsamlede data viser, at sedimentationsraten for partikelbundet fosfor er 0,2-0,5 kg P pr. ha oversvømmet eng pr. dag i de vestjyske vandløb (Skjern Å og Brede Å) og 1,0-1,2 kg P pr. ha oversvømmet eng pr. dag i de østdanske vandløb (Gjern Å og Odense Å).

8.7 Baggrund for risikovurdering fosforfrigivelse ved P-ådsalsprojekter

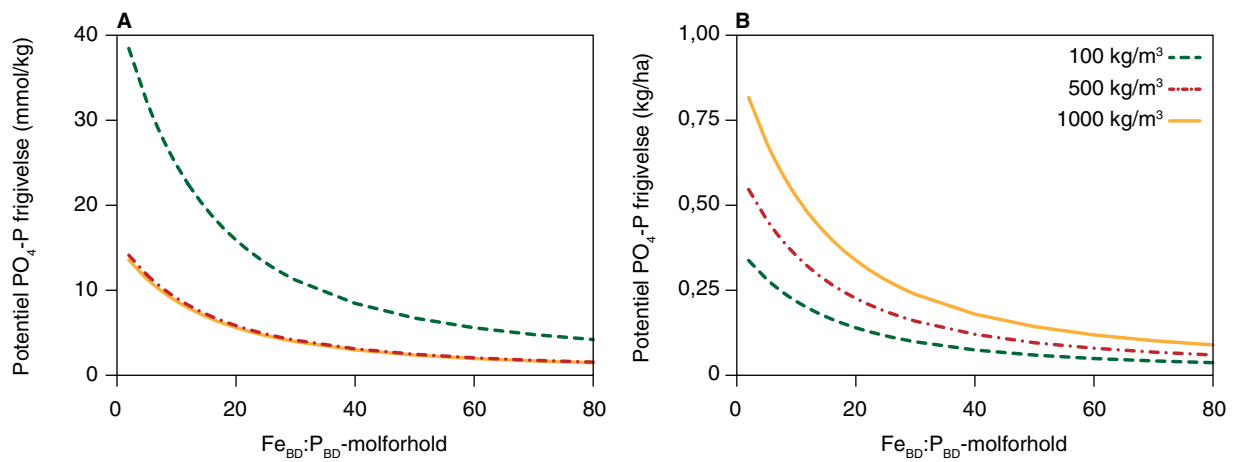
Danske lavbundsarealer omfatter organogene jordarter (tørv og gytje med >10 % organisk materiale i de øverste 30 cm), mens det resterende minerogene lavbundsareal overvejende består af mere sandede jordarter /1/. Undersøgelse af 1315 organogene og 2064 minerogene danske lavbundslokaliteter har vist variationer i total P (TP) i de øverste 30 cm fra <200 til >10.000 mg/kg (figur 8.13a). Det gennemsnitlige TP indhold er hhv. 910 mg/kg og 1286 mg/kg for minerogene og organogene lavbundslande, mens 10 % har TP indhold på ≥ 4825 mg/kg og ≥ 1800 mg/kg for henholdsvis organogene og minerogene lokaliteter. En grov approximation viser, at ca. 21-23 % af lavbundjordens TP indholdet er bundet til let reducerbare jern- (Fe) oxider, eksperimentelt defineret som bicarbonat-dithionit ekstraherbart Fe (Fe_{BD}) og P (P_{BD}) (figur 8.13b).



Figur 8.13. Andel af lavbundslokaliteter med tilsvarende total P (TP) indhold i overjorden 0-30 cm. Antallet af undersøgte lokaliteter er 1315 organogene og 2064 minerogene danske lavbundslokaliteter. (b) Andel af P bundet til reducerbare Fe-oxider (Fe_{BD}) som funktion af TP for organogene ($R^2=0,76$) og minerogene lavbundslande ($R^2=0,83$).

Når grundvandspejlet hæves på lavbundsarealer, kan der opstå iltfri (anerobe) forhold i jorden. Under anaerobe forhold opløses de reducerbare Fe-oxider, og samtidig kan fosfor bundet til disse Fe-oxider frigives til jordvandet. Danske laboratorieundersøgelser af 60 organogene og minerogene lavbundslande har vist, at potentialet for P frigivelse under vandmættede forhold kan beskrives som funktion af jordens $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molfordhold og jordens kulstofindhold udtrykt ved jordens volumenvægt (figur 8.13a). Resultaterne viser, at fosforfrigivelsespotentialet reduceres med stigende $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molfordhold, og at kulstofrige jorde (defineret ved volumenvægt < 500 kg/m³) har et større potentiale for jernreduktion og dermed P-frigivelse sammenlignet med mere minerogene jorde (volumenvægt > 500 kg/m³).

For reetablerede vådområder og P-ådsalsprojekter er det dog den arealbaserede potentielle P-frigivelse, der er aktuelt, og hvis den potentielle P-frigivelse omregnes fra $\mu\text{mol P}$ pr. kg jord (figur 8.14a) til kg P pr. ha (figur 8.14b) ses, at arealer med høj volumenvægt dominerer den arealbaserede P-frigivelse trods et lavere potentiale for jernreduktion.



Figur 8.14. Potentiel P-frigivelse som funktion af jordens $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold for tre jordtyper defineret ved jordens volumenvægt (kg/m^3) i hhv. (A) $\mu mol /kg/dag$ og (B) $kg/ha/dag$.

Modelberegningerne i figur 8.14b er udgangspunktet for vurdering af risiko for P-frigivelse beskrevet i afsnit 3. Det er væsentligt at påpege, at der er tale om en potentiel tabsrisiko, der ikke kan bruges kvantitativt under feltforhold, hvor flere forhold herunder især hydrologi og redoxgradienter vil påvirke den aktuelle P-frigivelse. Af samme årsag er afskæringsværdien mellem høj og lav risiko også valgt arbitrært i kurvernes vendetangent. Risikovurdering baseret på denne eksperimentelt underbyggede model er dog p.t. det bedste grundlag for en vurdering af den potentielle risiko for P-frigivelse. Et forbedret vidensgrundlag og en egentlig kvantitativ risikovurdering ville kræve målinger under feltforhold.

8.8 Afrapporteringsskema

P-ådsalsprojekt:										
Arealstørrelse:										
			Volumenprøve			Analyseprøve				
Delområde	Areal	Lokalitet	Prøvelængde	Tørvægt	Volumenvægt	Fe _{BD}	P _{BD}	Fe _{BD} :P _{BD}	Afskæringsværdi	P-tabs risiko
nr	ha	GPS	m	kg	kg/m ³	mol/kg	mol/kg	molforhold	Fe _{BD} :P _{BD}	Ja/Nej
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Vurdering af risiko for hele projektområdet:										

8.9 Prøvehåndtering og analyse

Det anbefales, at prøverne analyseres af laboratorier, der i forvejen har god erfaring med håndtering af organogene lavbundsjord og analyse af BD-ekstraherbart Fe og P.

1. Analyse for bicarbonat-dithionit ekstraherbart Fe (Fe_{BD}) og P (P_{BD})

Forbehandling:

De udtagne jordprøver skal opbevares ved $< 4^{\circ}C$ indtil analyse. Prøveforbehandlingen omfatter (i) homogenisering, (ii) sigtning og (iii) tørstofbestemmelse

Proceduren:

1. Den markfugtige jordprøve homogeniseres og der udtages en stor delprøve der sigtes ved 4 mm
2. Den sigtede jordprøve deles i to delprøver (A, B)
3. Delprøve A afvejes til tørstofbestemmelse ved $105^{\circ}C$
4. Delprøve B gemmes på køl ($< 4^{\circ}C$) indtil analyse

Ekstraktion:

Bicarbonat-dithionit (BD) ekstraktionen foretages i henhold til metodebeskrivelsen modificeret efter Paludan og Jensen (1995).

Proceduren:

1. På basis af tørstofbestemmelsen afvejes af delprøve B markfugtig jord svarende til 1,000 g tør jord til centrifugeglas.
2. Der tilsættes 25 ml BD-reagens ($NaHCO_3$ og $Na_2S_2O_4$) og rystes på rystebord 1 time efterfulgt af centrifugering. Supernatanten overføres til 100 ml prøveflasker. Denne proces gentages yderligere to gange med 25 ml BD-reagens, dog rystes kun i 5 min, centrifugeres og supernatanten overføres til prøveflasker.
3. Afslutningsvist tilsættes 25 demineraliseret vand, der rystes i 5 min, centrifugeres og supernatanten overføres til prøveflasker.
4. De i alt 100 ml supernatant gennembobles med atmosfærisk luft 1 time for at oxidere overskydende dithionit. Derefter tilsættes 4 ml 2 M H_2SO_4 .
5. røven sættes på destruktionsblok forud for analyse af total-P og total-Fe efter standardprocedurer.
6. Resultater angives i mg/kg og mmol/kg.

2. Bestemmelse af volumenvægt

Volumenvægtsbestemmelsen omfatter ovntørring, vejning og beregning af volumenvægt

1. Hele prøven overføres kvantitativt (med vand) til tørringsbakker og tørres ved 105°C i 24 timer.
2. Den ovntørre prøve vejes
3. Volumenvægten beregnes som beskrevet i afsnit 3.3.2

8.10 Det gensnoede vandløbs dimensioner

Såfremt det besluttes at genslynge vandløbet helt eller delvist, skal det overvejes grundigt, hvorledes meandrene placeres og udformes. Det er vigtigt med et "naturligt" forløb, dvs. ikke for mange, og ikke for få meanderbuer, og man skal huske, at der normalt skal være større krumning i den nedstrøms del af meanderen i forhold til den opstrøms del. Åens oprindelige snoede forløb i ådalen fra før udretningen og dræningen kendes oftest ikke. Dog kan der foreligge gamle tegninger fra udretningsprojektet, som kan være et godt udgangspunkt for design af det nye forløb. Alternativt kan de gamle 'Generalstabskort' fra slutningen af 1800 tallet anvendes eller de endnu ældre matrikelkort fra udflytningen i slutningen af 1700-tallet, hvor sognegrænserne ofte fulgte den snoede å. De gamle Generalstabskort forefindes i en digital version, og de gamle matrikelkort kan fremskaffes fra Kort- og Matrikelstyrelsen.

Som tommelfinger regel vil et naturligt snoet vandløb have en afstand mellem to meanderbuer på 7 gange ovenbredden af vandløbet (bredde ved bredfyldt vandføring). Det betyder, at der på en 100 m strækning af et 1 m bredt vandløb skal være 14 meanderbuer, mens det tilsvarende antal meanderbuer er på 3 i et 5 m bredt vandløb.

Vandløbets slyngningsgrad måles som sinuøsitet, defineret som vandløbets længde mellem to punkter (fx over en 200 m strækning), divideret med fugleflugtslinien mellem de punkter. Et vandløb med en sinuøsitet på $<1,05$ er en lige kanal, en sinuøsitet mellem $1,05-1,25$ er svagt sinuøs, $1,25-1,50$ er sinuøs, og er værdien på $>1,50$, er vandløbet meandrerende. Som tommelfingerregel stiger modstanden mod vandets strømning i vandløbet med sinuøsiteten, dvs. vandføringsevnen falder med stigende sinuøsitet. Dermed vil hyppigheden af tidvise oversvømmelser af ådalen alt andet lige stige, jo mere sinuøst vandløbets forløb dimensioneres. Hvis man vil vide mere om meanderbuer, kan det læses i lærebogen "Fluviale processes in Geomorphology", af Leopold, Wolman og Miller (1964).

Det gensnoede vandløbs dimensioner

Vandløbet bør anlægges med varierende profiler i meandre og strækninger mellem meandre. Stryg skal etableres mellem meanderbuerne, og der kan med fordel udlægges gydegrus i strygene. Tværsnitsprofil og dybde bør være større i meanderbuerne, således at der fremkommer en variation med større strømhastigheder i strygene mellem meandrene og de dybe huller i meandrene. Relativt flade anlæg giver større bredzone, som normalt vil give bedre økologiske forhold og mindre brinkersion.

Fastlæggelse af det nye vandløbs dimensioner i tværprofilerne er selvsagt ikke let, da de oprindelige bredder og dybder ikke kendes. I nogle tilfælde kan der findes relikter af det gamle forløb i ådalen, hvor bredden muligvis kan erkendes og anvendes som støtte. Dybden er formentlig sjældent anvendelig, da de relikte meanderbuer eller lige strækninger formentlig med tiden er blevet fyldt op med jord og organisk stof. En anden mulighed er at anvende formler til bestemmelse af de naturlige dimensioner. Sådanne er blevet udviklet for danske vandløbstyper af Brookes (1984) og Mernild (2001). Formlerne kan anvendes til at beregne en 'naturlig' ovenbredde og gennemsnitlig dybde begge for et bredfyldt

tværsnitsprofil af vandløbet ud fra et kendskab til oplandets størrelse i km² det pågældende sted (tabel 8.2).

Tabel 8.2. Oversigt over opstillede sammenhænge mellem oplandsareal og dimensioner i form af bredde og dybde af tværprofiler ved bredfyldt vandføring i forskellige typer af naturlige danske vandløb. Tabelladata holder måske ikke for morænevandløb. W = Vandløbets ovenbredde ved bredfyldt vandføring målt i meter. D = gennemsnitlig dybde i vandløbstværsnittet ved bredfyldt vandføring målt i meter. A = Oplandsarealet til stedet i vandløbet målt i kvadratkilometer.

	Brookes (1984)	Mernild (2001)
Bredfyldt bredde		
Hedeslettevandløb	$W = 0,741 * A^{0,47}$	$W = 2,249 * A^{0,26}$
Morænevandløb	$W = 1,413 * A^{0,32}$	$W = 1,941 * A^{0,23}$
Bakkeøvandløb	-	$W = 1,737 * A^{0,31}$
Bredfyldt dybde		
Hedeslettevandløb	$D = 0,513 * A^{0,18}$	$D = 0,497 * A^{0,13}$
Morænevandløb	$D = 0,229 * A^{0,33}$	$D = 0,247 * A^{0,26}$
Bakkeøvandløb	-	$D = 0,274 * A^{0,26}$

Da der er visse forskelle mellem de gamle (Brookes, 1984) og nye sammenhænge (Mernild, 2001), anbefales det til støtte i dimensioneringen af et snoet vandløb at anvende de nyeste ligninger opstillet i 2001.

Sikring af brinker

Det er generelt en dårlig ide at sikre brinkerne med sten for at forhindre erosion. Formålet med et slynget vandløb er fra naturens hånd, at det skal have lov til frit at vandre rundt i ådale og danne en ådalsmosaik af gamle afskårne hestesko søer og det aktive vandløbsforløb. Når vandløbet får lov til frit at vandre rundt, vil der opnås den bedste naturkvalitet i ådalen. Hvis brinkerne fikses for at forhindre dets aktive flytning, afskærer man også vandløbet fra at optage sediment fra brinkerne, og det vil i stedet erodere i bunden. Man vil så opnå det modsatte af det ønskede ved projekter, nemlig et dybere vandløb uden kontakt med den omgivende ådal. Hvis nygravede brinker skal sikres i den første vinterperiode, kan der gennemføres en aktiv tilsåning af de nygravede brinker. Til dette kan anvendes rug eller græsblanding af græsser som findes i ådalen. Erfaringer vedrørende tilsåning af brinker blev indhentet i Gelså projektet i 1989-1991 (Kronvang et al., 1994). Endvidere kan man med stort held anvende bionedbrydelige mætter til beskyttelse af de nygravede brinker, specielt hvis etableringsarbejdet sker om efteråret.

Udlægning af gydegrus, større sten, dødt træ og træplantning langs brinker

Der kan med stor fordel udlægges gydegrus på de nyretablerede stryg. Der må dog forventes en del sedimenttransport og mulig tilsanding efter den første vinterperiode, hvor det nygravede forløb tilpasses ved erosion. Det er derfor muligt, at en maskinel oprensning af gydegruset er nødvendigt efter den første vinterperiode for at fjerne sand og slam. Udlægning af enkelte større sten og/eller dødt træ i vandløb er en god idé, da de danner skjule- og levesteder for fisk og smådyr. Desuden er det en god idé at lave en beplantning med træer langs det nye vandløb, fx på sydsiden, både for at skygge vandløbet og for at øge brinkens modstand mod vandets erosive kræfter (Kronvang et al., 2010). Tilplantning med en naturlig trævegetation er meget bedre end stensikringer, da de både vil holde på brinkerne, skygge vandløbet og levere energi til vandløbet i form af nedfaldne blade, frø, kviste og grene.

8.11 Overvågning af et P-ådsalsområde

Af hensyn til justeringer af aktuelle projekter og vidensopbygning forud for eventuelle andre P-ådsalsprojekter er det en god idé at overvåge og vurdere effekterne af det etablerede oversvømmelsesområde. Det er ikke hensigten her at foreslå egentlige overvågningsprogrammer, men blot anvise nogle enkelte metoder, som ikke nødvendigvis behøver at være særligt ressourcekrævende. En oversigt er givet i tabel 8.3.

Tabel 8.3. Metoder til vurdering af effekter ved vurdering af P-ådsalsområder.

Metode	Til vurdering af	Bemærkninger
Stoftransportmålinger af fosfor opstrøms og nedstrøms P-ådsalsområder.	Tilbageholdelsen af fosfor.	Hvis den samlede fosfortransport i vandløbet er stort, kan det være vanskeligt at måle forskelle på årsbasis, men der kan evt. måles i perioder med oversvømmelser.
Vandstandsmålinger.	Hyppighed af oversvømmelser.	Kontinuerte (automatiske) målinger af vandstand i vandløbet.
Sedimentationsmåtte.	Deponeringen af P.	Måtter udlægges i P-området, indsamles og deponeret materiale analyseres efter en periode. En enkelt måde at vurdere deponeringen af P. Målinger kan evt. begrænses til at måle deponeret materiale (g tørvægt/m ²).
Økologisk tilstand i området.	Økologiske effekter af etableringen.	Kan være mere eller mindre detaljeret, men evt. begrænset til en botanisk registrering.
Økologisk tilstand i vandløb.	Økologiske effekter af etableringen.	Kan være mere eller mindre detaljeret, men evt. begrænset til en vurdering af DVFI.
Økologisk tilstand af nedstrøms sø.	Økologiske effekter af etableringen på søen.	Kan være mere eller mindre detaljeret (se evt. NOVANA-programmet).

8.12 Tørstofproduktion og indbygning af fosfor og kvælstof i overjordisk biomasse

Tabel 8.4. Oversigt over tørstofproduktion, kvælstof- og fosforindhold i overjordisk biomasse.

	Tørstof g/m²	Kvælstof g/N/m²	Fosfor g/P/m²
Landsforsøgene			
slæt på våd humusjord, 3 år	499	9,1	-
Stevns å, eng	300 - 525	7,4 - 10,5	0,8 - 1,3
Syv Bæk, eng	427 - 538	10,4 - 12,5	-
Gjern Å:			
A, eng	500 - 750	8-12	1,3 - 1,4
B, mose	1200 - 1400	13 - 26	2,4 - 2,9
C, eng	350 - 650	5-10	0,9 - 1,5
D, eng	300 - 450	5-7	0,9 - 1,2
Engarealer, Fussingø, fjernelse ved slæt	300-460	6,7-10,3	0,8-1,1
Glumsø, rørskov	1260	17,5	1,8

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet. På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.

DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø. Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, konferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 4630 1200
Fax: 4630 1114

Administration
Afdeling for Arktisk Miljø
Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afdeling for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejløvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 8920 1400
Fax: 8920 1414

Afdeling for Ferskvandsøkologi
Afdeling for Terrestrisk Økologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 14, Kalø
8410 Rønne
Tlf.: 8920 1700
Fax: 8920 1514

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. 2011

- 817 Improving the Greenlandic Greenhouse Gas Inventory.
By Nielsen, O.-K., Baunbæk, L., Gyldenkærne, S., Bruun, H.G., Lyck, E., Thomsen, M., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Hoffmann, L., Fauser, P., Winther, M., Nielsen, M., Plejdrup, M.S., Hjelgaard, K. 46 pp.
- 815 Danmarks biodiversitet 2010 – status, udvikling og trusler.
Af Ejrnæs, R., Wiberg-Larsen, P., Holm, T.E., Josefson, A., Strandberg, B., Nygaard, B., Andersen, L.W., Winding, A., Termansen, M., Hansen, M.D.D., Søndergaard, M., Hansen, A.S., Lundsteen, S., Baattrup-Pedersen, A., Kristensen, E., Krogh, P.H., Simonsen, V., Hasler, B. & Levin, G. 152 s. (also available in print edition, DKK 150)
- 814 Bynaturen i hverdagslivet.
Af Petersen, L.K. & Nielsen, S.S. 80 s.
- 813 Environmental monitoring at the Seqi olivine mine 2010.
By Søndergaard, J. & Asmund, G. 36 pp.

2010

- 812 Environmental monitoring at the cryolite mine in Ivittuut, South Greenland, in 2010.
By Johansen, P., Asmund, G., Rigét, F. & Schledermann, H. 34 pp.
- 811 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2010.
By Glahder, C.M., Søndergaard, J., Asmund, G. & Rigét, F. 32 pp.
- 810 Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 - 2009.
By Mikkelsen, M.H. Albrektsen, R. & Gyldenkærne, S. 136 pp.
- 809 Review, improvement and harmonisation of the Nordic particulate matter air emission inventories.
By Nielsen, O.-K., Illerup, J.B., Kindbom, K., Saarinen, K., Aasestad, K., Hallsdottir, B., Winther, M., Sjodin, Å., Makela, K. & Mikkola-Pusa, J. 77 pp.
- 808 Temporal and spatial variations in the long-term fluctuations of wildlife populations in Greenland.
By Moshøj, C.M., Forchhammer, M. & Aastrup, P. 36 pp.
- 807 Evaluation of local contamination sources from the former mining operation in Maarmorilik.
By Johansen, P., Asmund, G., Schiedek, D. & Schledermann, H. 44 pp.
- 806 Vandmiljø og Natur 2009. NOVANA. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning.
Af Nordemann Jensen, P., Boutrup, S., Bijl, L. van der, Svendsen, L.M., Grant, R., Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R., Ellermann, T., Petersen, D.L.J., Hjorth, M., Søgaard, B., Thorling, L. & Dahlgren, K. 108 s.
- 805 Arter 2009. NOVANA.
Af Søgaard, B., Pihl, S., Wind, P., Clausen, P., Andersen, P.N., Bregnballe, T. & Wiberg-Larsen, P. 114 s.
- 804 Vandløb 2009. NOVANA.
Af Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Baattrup-Pedersen, A., Bøgestrand, J., Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Thodsen, H., Sode, A., Kristensen, E. & Kjeldgaard, A. 98 s.
- 803 Søer 2009. NOVANA.
Af Bjerring, R. Johansson, L.S., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Sortkjær, L. & Wiindolf, J. 96 s.
- 802 Landovervågningsoplände 2009. NOVANA.
Af Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. 124 s.
- 801 Atmosfærisk deposition 2009. NOVANA.
Af Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L. & Geels, C. 95 s.
- 800 Marine områder 2009. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten.
Af Petersen, D.L.J. & Hjorth, M. (red.) 127 s.
- 799 The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2009.
By Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzler, M. & Jensen, S.S. 61 pp.
- 798 Økologisk risikovurdering af genmodificerede planter i 2009. Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsføringsager.
Af Kjellsson, G., Damgaard, C., Strandberg, M., Sørensen, J.G. & Krogh, P.H. 46 s.

ETABLERING AF P-ÅDALE

Etablering af områder langs vandløb, som til tider oversvømmes, er en metode til at tilbageholde vandløbets partikelbundne fosfor og dermed begrænse fosfortilførslen til nedstrømsbeliggende søer. I denne rapport gennemgås de forskellige overvejelser og undersøgelser, som ligger forud for lokalisering og etablering af oversvømmelsesområder.