Kvantificering af fosfortab fra N og P vådområder

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 10. september 2013
Rev.: 26. juni 2014

Carl Chr. Hoffmann, Brian Kronvang og Hans Estrup Andersen
Institut for Bioscience

Charlotte Kjærgaard
Institut for Agroøkologi

Rekvirent:
Naturstyrelsen
Antal sider: 42

Kvalitetssikring, centret:
Poul Nordemann Jensen

AARHUS UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
http://dce.au.dk

Indhold

1 Indhold og læsevejledning 3

2 Udlægning af prøvefelter og prøvetagning 5

2.1 Udlægning af prøvefelter 5
2.2 Jordprofil – praktisk udførelse 5
2.3 Prøvetagning til P-risikovurdering 9
2.4 Bemærkninger vedrørende udtagning af jordprøver 10

3 Bestemmelse af vandstrømning gennem projektområdet 11

3.1 Baggrund for vurdering af vandgennemstrømning 11
3.2 Princip for beregning 11
3.3 Beregning af Base Flow-indeks, BFI 13
3.4 Beregning af oplandsarealet til projektområdet 14
3.5 Beregning af nettonedbør 14
3.6 Vurdering af dræningsintensitet i projektområdet 15
3.7 Vurdering af sedimenternes permeabilitet 15

4 Sedimentation af P fra overrisling med drænvand 16

5 Beregning af sedimentation af fosfor fra vandløb under oversvømmelse 18

6 Baggrund for beregning af fosforfrigivelse ved reetablering af vådområder 20

6.1 Fosforindhold i danske lavbundsarealer 20
6.2 Baggrund for kvantificering af fosformobilisering ved reetablering af vådområder 20
6.3 Beregning af fosforfrigivelsesrater 21
6.4 Begrænsninger ved beregning af P-tabsrater 23

7 Opsamling 25

8 P balancen 26

9 Brinkerosion 27

10 Referencer 28

Bilag 1. Generering af stationsoplande 30

Bilag 2. Nedbørskorrektioner 34

Bilag 3. Eksempel fra Odderbæk 35

Bilag 4. Hjælpeskema fra Kapitel 2.1 38

Bilag 5. Afrapporteringsskema 40

Bilag 6. Prøvehåndtering og analyse 41

1 Indhold og læsevejledning

Denne vejledning erstatter kapitel 2.5 "Beregning af potentiel P-tilbageholdelse og kapitel 3 "Vurdering af risiko for fosforfrigivelse fra ådalsjorde" med tilhørende bilag 8.7 i Faglig Rapport fra DMU nr. 840, 2011 Etablering af P-ådale. I den faglige rapport nr. 840 vil kapitel 1 og kapitel 2 – dog undtaget 2.5 – kapitel 4, kapitel 5 samt bilagene 8.1, 8.2, 8.3 og 8.10 stadig kunne anvendes da disse kapitler omhandler emner som: screening og lokalisering af potentielle P-ådalsområder, detailundersøgelser af vandløb forud for etablering af P-ådalsområder, forvaltning, samt bilag indeholdende: Gis-analyser

Denne vejledning kan bruges både ved etablering af P-ådale og ved andre typer vådområdeprojekter hvor grundvandsgennemstrømning reetableres og der sker overrisling med drænvand, hvor åvand oversvømmer de vandløbsnære arealer eller i meget brede ådale hvor der sker samtidig oversvømmelse med åvand og overrisling med drænvand samt også ved sødannelse. Fokus er på kvantificering af input af fosfor til nyetablerede vådområder og kvantificering af muligt tab af fosfor fra disse områder (se figur 1.1).

Det er væsentlig at bemærke at i forhold til Faglig Rapport fra DMU nr. 840, 2011 Etablering af P-ådale arbejdes der nu med grid opdeling og transekter i projektområdet. Der skal laves jordprofilbeskrivelser til 1 meters dybde og jordens hydrauliske ledningsevne skal vurderes (Kapitel 2.1) og vandstrømmen gennem projektområdet skal kvantificeres (Kapitel 3).

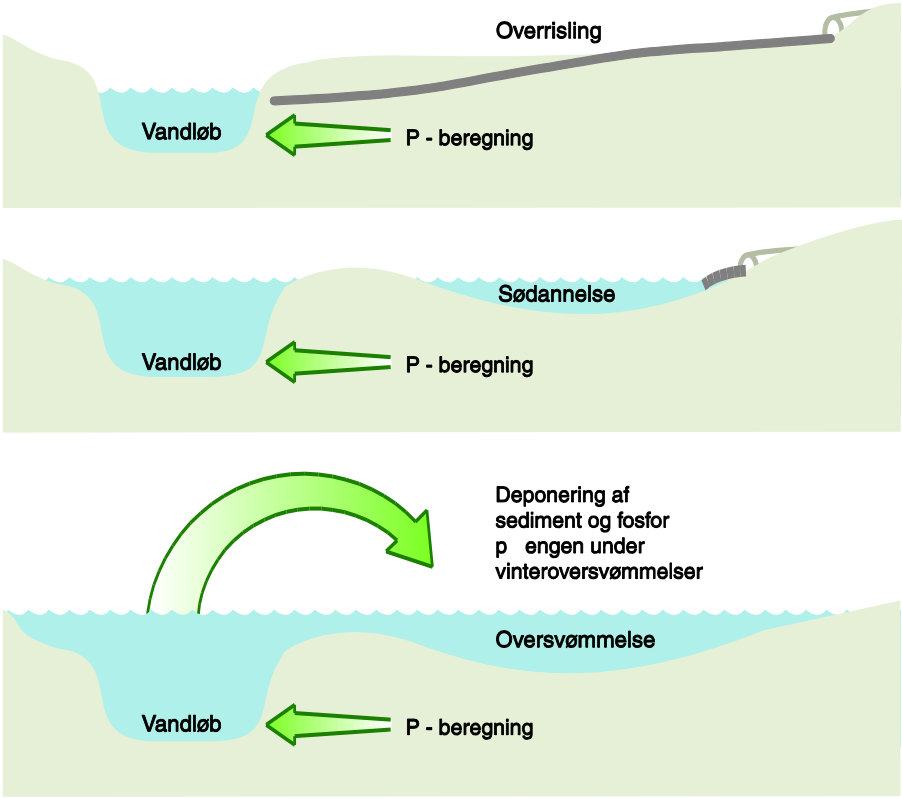
Ved prøvetagning til jordbundsanalyser arbejdes der transektvis og anvisningerne fra Faglig Rapport fra DMU nr. 840, 2011 Etablering af P-ådale er også medtaget i denne vejledning (kapitel 2.2). Der er anvisning på estimering af drænvandets indhold af partikulært fosfor i kapitel 4, og i kapitel 5 opsummeres hvorledes sedimentation af fosfor skal beregnes.

I kapitel 6 gennemgås hvorledes man skal beregne tabet af fosfor fra projektområdet med anvendelse af et nyudviklet formelsæt samt ved anvendelse af de strømningsrater man har fundet ved at anvende procedurerne i kapitel 3. Alle data kan opsamles i skemaet vist i kapitel 7 og sluttelig kan selve P balancen opgøres (Kapitel 8).

Til hjælp for beregning af oplandsstørrelser er der et bilag om oplandsgenerering. Der et bilag med eksempler på beregninger af P frigivelse fra Odderbæk, samt et bilag om overrislingsprojekter med begrænset drænvandsafstrømning.

Vidensgrundlaget for vejledningen er baseret på "state-of-the-art" og nyeste viden om hydro-biogeokemisk omsætning af fosfor i reetablerede vådområder. Vejledningens resultater er baseret på et stort antal jordprøver fra repræsentative danske lavbundstyper, geokemiske analyser, eksperimentelle undersøgelser af P tab under strømning og omfattende statistiske undersøgelser. Analysearbejdet og tolkningen af data er pågået helt frem til afslutningen af denne vejledning (september 2013).

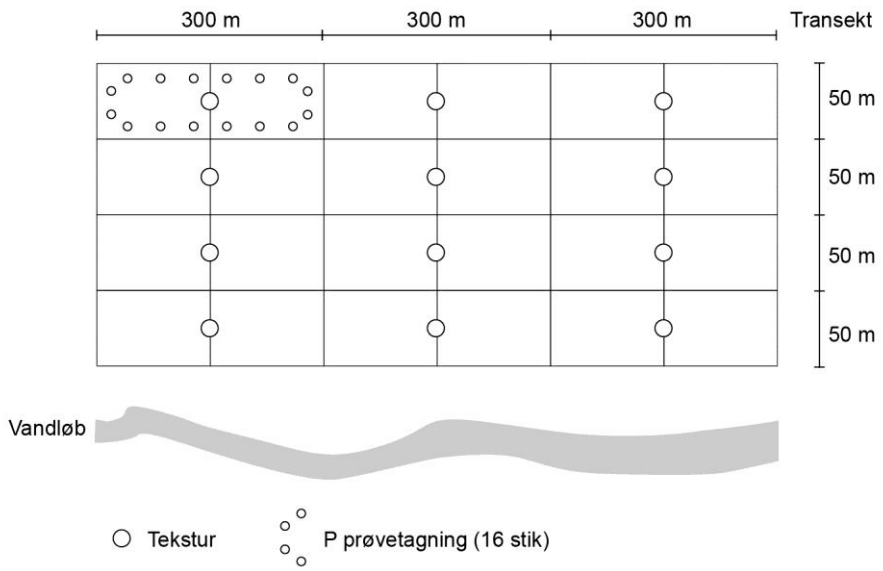
Figur 1.1. Figuren illustrerer tre typiske vådområde projekttyper. Når dræn og grøfter afbrydes reetableres grundvandsgennemstrømningen igennem ådals sedimentet, og der kan i nogle tilfælde dannes lavvandede søer. Samtidig kan der forekomme overrisling/infiltration af drænvand, og hvor ådalens forhold tillader også oversvømmelser med vandløbsvand.



2 Udlægning af prøvefelter og prøvetagning

2.1 Udlægning af prøvefelter

I projektområdet udlægges et gridnet indeholdende en række traceer med prøvetagningsfelter og punkter til jordprofilbeskrivelse. De enkelte grid må maksimalt have størrelsen 300 m i bredden og 50 m i længden ned mod vandløbet, som illustreret i figuren nedenfor. Hvis projektområdet er meget heterogent med hensyn til arealanvendelse og jordtype, skal størrelsen på griddene nedsættes, så de repræsenterer homogene forhold. Midten af hvert grid markeres som et punkt, hvor der skal foretages en jordprofilbeskrivelse og udtages en prøve til volumenvægt-bestemmelse. Der skal således foretages en boring til profilbeskrivelse for hver 50 m ned mod vandløbet og for hver 300 m langs vandløbet. Samtidig registreres punktets koordinater med GPS. Hvis det viser sig, at der jordtypemæssigt eller arealanvendelsesmæssigt er behov for en finere inddeling skal dette foretages således at griddene fremtræder som homogene enheder



Figur 2.1. Skematisk illustration af princippet for praktisk gennemførelse i felten ved borebeskrivelse og vurdering af hydraulisk ledningsevne i forbindelse med fosforlækage-beregning. Et grid er på maksimalt 300 m x 50 m = 1,5 ha.

2.2 Jordprofil – praktisk udførelse

Profilbeskrivelsen skal foretages til 1 meters dybde, og der skal medsendes et foto af jordprofilerne, samt tages en GPS på punktet. Den praktiske udførelse af jordbundskarakteriseringen kan gøres ved at man graver et firkantet hul og foretager jordprofilbeskrivelsen. Men man kan også udtage jordprøver med et hulbor i 50 eller 100 cm længde og foretage en såkaldt borebeskrivelse. Udgravning at et stort hul giver et godt visuelt billede af jordbundsforholdene, og man kan ofte erkende hvor i jordprofilet vandet løber, men i lavbundsområder fyldes hullet ofte meget hurtigt med vand, hvorfor metoden har sin begrænsning. Udtagning af jordkerner med hulbor eller andet prøvetagningsudstyr er knap så tidskrævende og samtidig kan man nå større dybder. Vandledende jordlag vil ofte afsløre sig ved at laget "driver" af vand eller ved at det er svært at få udtaget en borekerne fordi prøven ikke vil med op, da den glider af på grund af det høje vandindhold.

Jordart

I denne sammenhæng er jordart, tekstur og humusindhold de vigtigste elementer i jordbundskarakteriseringen. Følgende opdeling kan være hensigtsmæssig (simplificeret efter *Greve og Sørensen, 1992; Larsen et al., 1988*). Det er vigtigt at beskrive, hvilken jordart, man har med at gøre. Nogle af de jordarter, som er almindelige i vådområder, er:

Ferskvandsaflejring
Smeltevandsaflejring
Moræneesand
Moræneler
Gytje
Tørv

Ferskvands- og smeltevandsaflejringer

Ferskvands- og smeltevandsaflejringer er typisk meget velsorterede aflejringer. Det er ikke væsentligt, om man skelner imellem smeltevands-og ferskvandsaflejringer. De er meget ens, både mht. udseende og egenskaber. Ofte støder man på sandede aflejringer (ferskvandssand), men ferskvands-silt og ferskvands-ler træffes også. Moræneaflejringer er typisk dårligt sorterede aflejringer. De varierer meget mht. lerindhold. Man skelner overordnet mellem to typer moræneaflejringer:

morænesand (<ca. 15 % lerindhold) og
moræneler (>ca. 15 % lerindhold).

Gytje

skal her forstås bredt, som et organisk sediment dannet i søer, i ådale eller på havbunden, og hvor de forskellige elementer er flyttet i forhold til deres oprindelige aflejringssted. Det organisk materiale er meget finkornet - minder om ler – og præger sedimentets overordnede karakter. En gytje skal indeholde mindst 50 % organisk stof. Der kan skelnes mellem to typer Gytje:

Kalkgytje (farve hvidlig)
Anden gytje (lysebrun – mørkebrun).

Tørv (*indeholder mindst 12-18 % kulstof*)

Fibrist:>2/3 fiberindhold (i.e. fibre>0.15 mm); alternativ betegnelse: stærk fiberholdig
Hemist: 1/3-2/3 fiberindhold; alternativ betegnelse fiberholdig
Saprist:<1/3 fiberindhold; alternativ betegnelse svag fiberholdig.

Omsætningsgrad

Som supplement til fiberindholdet angives tørvens omsætningsgrad (humositeten) ved anvendelse af følgende termer 5 punkts skala: uomsat - svagt omsat - moderat omsat - stærkt omsat - fuldstændig omsat. Har man at gøre med en tørvejord, hvor udgangsmaterialet oprindeligt er tørv, men hvor der er et vist mineralindhold (iblandet f.eks. ved sandfygning), kan man eventuelt inddele indholdet af uorganisk materiale i de enkelte tørvelag på følgende måde:

Svagt mineralholdig: <25 % uorganisk indhold
Mineralholdig: 25-50 % uorganisk indhold
Stærkt mineralholdig: >50 % uorganisk indhold.

I øvrigt får man kendskab til indholdet af organisk materiale fra glødetabsanalysen foretaget i forbindelse med de kemiske jordbundsanalyser.

Tekstur

Ved angivelse af en jordarts tekstur anvendes normalt et trekantsdiagram, fx. *Greve og Sørensens (1992)*. Ved hjælp af et trekantsdiagram angiver man en mineraljords teksturklasse ud fra jordartens relative indhold af sand, silt og ler. En sådan klassificering bør foretages af en øvet beskriver, ellers må prøverne sendes til laboratorieanalyse. Med henblik på de hydrauliske forhold i lavbundsjorde, kan man dog ofte nøjes med en mere grov beskrivelse af jordarternes tekstur. For de lerede jordarter kan man stille sig tilfreds med i selve jordartsnavnet at angive dens overordnede lerede karakter, fx. moræneler og ferskvandsler, - og derfor undlade at angive en teksturklasse for jordarten. De grovtekstur elle jordarter, fx. morænesand og mange ferskvands og smeltevandsaflejringer, kan derimod på en grov måde beskrives ved hjælp af navnet på den kornstørrelse, der dominerer jordarten:

Teksturklasse - Dominerende kornstørrelse

Stenede og grusede jordarter: Sten >20 mm
Groft grus 6 – 20 mm
Fint grus 2 - 6 mm
Sandede jordarter: Grovsand 0,5 - 2,0 mm
Mellemsand 0,125 - 0,500 mm
Finsand 0,063 - 0,125 mm
Siltede jordarter: Silt 0,002 - 0,063 mm.

Hvis man mener, at det er muligt kan teksturklassen ler tilføjes til ovenstående (15-100 % af prøven indeholder lerpartikler med kornstørrelse <2 µm) Mellemsand kan evt. opdeles i fint mellemsand (0,125 - 0,200 mm) og groft mellemsand (0,200 - 0,500 mm). Det er også en god idé at angive jordartens sorteringsgrad, da den påvirker den hydrauliske ledningsevne. For eksempel er morænesand ofte dårligt sorteret. Morænesand har i øvrigt ofte et vist indhold af ler og silt, hvilket ikke vil fremgå ud fra en teksturbeskrivelse ved hjælp af ovenstående grove klassifikationssystem. Ifølge det, vil en morænesand f.eks. kunne blive betegnet "mellem- til grovsand", hvorimod et egentligt teksturelt trekantsdiagram evt. vil klassificere samme jordart som "LERHOLDIGT siltet mellem- til grovsand". Det er derfor altid vigtigt, at man angiver hvilket trekantsdiagram, man bruger, eller hvilket groft beskrivelsessystem - f.eks. det ovenstående - man anvender. Man bør altid angive hvilket beskrivelsessystem, der anvendes, da definitionen på hvad f.eks. "mellemsand" er, varierer også fra beskrivelsessystem til beskrivelsessystem. Ved beskrivelse af sandede jordarters tekstur kan man med fordel anvende lup og mm-papir: korn fra jordarten fordeles på et lille stykke mm-papir og iagttages under lup. - For sandede jordarter kan man f.eks. udvælge et antal sandkorn, og for hvert enkelt af dem undersøge/vurdere, hvor mange der skal ligge efter hinanden, for at rækken af sandkorn bliver én mm lang.

Tildeling af hydraulisk ledningsevne til de beskrevne jordlag

Der foretages vurdering af tekstur i forhold til angivelse af hydraulisk ledningsevne for jordlagene 0-30 cm og 30-100 cm. På basis af teksturvurderingen angives en hydraulisk ledningsevne med udgangspunkt i tabel 2.1, der differentierer hydraulisk ledningsevne i forhold til jordtype og organogene jordes omsætningsgrad.

Tabel 2.1. Hydrauliske ledningsevner for forskellige jordtyper.

Materiale	Mættet hydraulisk ledningsevne ($m\ s^{-1}$)	Vurderet ledningsevne	Gennem-strømning	Permeabilitet
Groft grus og fint grus	$>1\cdot10^{-2}$	Meget høj	Meget høj	1
Grovkornet sand (500-2000 µm)	$1\cdot10^{-3}$	Meget høj	Meget høj	1
Uomsat tørv (ikke humificeret tørv)	$1\cdot10^{-3}$	Meget høj	Meget høj	1
Svagt omsat tørv (svagt humificeret	$1\cdot10^{-4}$	Høj	Høj	1
tørv)	$1\cdot10^{-4}$	Høj	Høj	1
Mellemkornet sand (125-500 µm)				
Mellemkornet sand med indslag af				
moderat omsat tørv	$5\cdot10^{-4}$	Moderat	moderat	0,5
Finkornet sand (63-125 µm)	$1\cdot10^{-5}$	Moderat	Moderat	0,5
Moderat omsat tørv	$5\cdot10^{-5}$	Moderat	Moderat	0,5
Gyttjeholdigt sand	$1\cdot10^{-6}$	Lav	Lav	0
Stærkt omsat tørv	$1\cdot10^{-6}$	Lav	Lav	0
Silt	$1\cdot10^{-6}$ - $1\cdot10^{-9}$	Meget lav	Meget lav	0
Ler	$1\cdot10^{-9}$ - $1\cdot10^{-11}$	Meget lav	Meget lav	0
Kalkgytje	$1\cdot10^{-11}$	Meget lav	Meget lav	0
Fuldstændig omsat tørv	$5\cdot10^{-7}$	Meget lav	Meget lav	0

Den vurdering man foretager af jordprofilet indføres i hjælpeskemaet, der er vist herunder, men også findes i bilag 4. Man kan dernæst foretage den endelige vurdering som vist i hjælpeskemaet. Den endelige vurdering foretages ved at man tildeler strømningsmængder til de enkelte jordlag som beskrevet i kapitel 3.

Hjælpeskema

Transekt	Station	Afstand til Vandløb m	Dybde i cm	Tekstur/omsætningsgrad	Tildelt ledningsevne	Permeabilitet	Gennemstrømning (fås fra kap 3)
1	1						
1	1						

2.3 Prøvetagning til P-risikovurdering

Formålet med udtagning af jordprøver til analyse er, at vurdere risikoen for frigivelse af fosfor fra jordens pulje af jernbundet P. Prøvetagningen fokuseres på dybden 0-30 cm, hvor P-indholdet generelt er størst. Kvaliteten af en 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.

Ved prøvetagning skal sikres, at prøven er dækkende for en repræsentativ arealenhed. Dette sikres bedst ved at inddele projektområdet i repræsentative enheder (grids som beskrevet ovenfor) og for hver arealenhed udtage én jordprøve der består at et større antal delprøver (16 stik per prøve). 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.

Udtagning af jordprøver

For hvert delområde (grid) 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 er repræsentativ for hele 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. Hvor der indenfor prøvetagningsdybden er stor variation i jordtypen fx tørv og mineraljord bør prøven tages indenfor den dominerende jordtype med angivelse af dybde for de respektive jordlag.

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 lavbundsjorde, 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 mhp. beregning af jordens volumenvægt (se bilag 6).

Stedfæstning af prøvefelter med GPS koordinater

For hvert delområde registreres GPS koordinaten for delområdets midtpunkt således at den udtagne jordprøve kan stedfæstes. Koordinaten afrapporteres sammen med analyse data og volumenvægt på afrapporteringsskema (Bilag 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 skal tørres ved 105˚C, vejes og

prøvens volumenvægt beregnes. Håndtering og analyse af prøver er beskrevet i bilag 6 (side 41). Forudsætningen for at kunne lave risikovurderingen er at prøvehåndtering og analysen gennemføres nøjagtigt som beskrevet i bilag 6.

2.4 Bemærkninger vedrørende udtagning af jordprøver

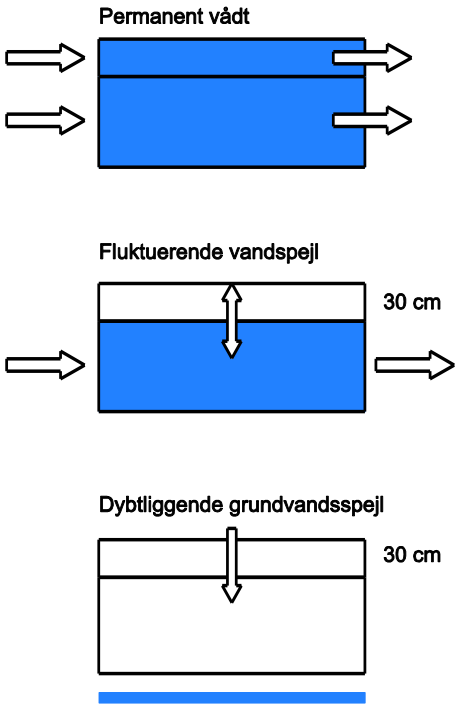
Ved meget store projekter dvs. > 100 - 150 ha:

Opdeling af projektarealet i lige store delområder (grids) kan fraviges hvis projektområdet er meget stort og hvis mark-, jordtype- og arealanvendelsesskel tilsiger dette og der dermed opnås delområder (grids), der er ensartede med hensyn til jordtype, dyrkningsforhold eller lignende. Der skal selvstændigt redegøres for fravigelsen i opdeling i delområder (grids).

3 Bestemmelse af vandstrømning gennem projektområdet

3.1 Baggrund for vurdering af vandgennemstrømning

Udgangspunktet for beregningen er, at den samlede nettonedbør for oplandet til projektområdet skal passere gennem projektområdet, da dette ligger på grænsen til vandløbet. Det er den helt overfladenære del af denne strømning, der er af betydning for udvaskning af fosfor. Vandstrømningen vurderes for hvert prøvefelt. Der skelnes forsimplet mellem tre forskellige situationer (fig. 3.1): (i) prøvefeltet er permanent vådt, og strømningen foregår lateralt gennem hele profilet, opløst fosfor transporteres konvektivt, (ii) grundvandsspejlet er tæt på jordoverfladen, der er udveksling af fosfor mellem den umættede og den mættede zone gennem diffusion samt konvektivt med nedsivende nedbør, i den mættede zone sker der en lateral, konvektiv transport af fosfor, (iii) grundvandsspejlet ligger dybere end 1 m, fosfor, der desorberes af nedsivende nedbør, bindes igen, før det når vandmættede, reducerede forhold.



Figur 3.1. Tre strømningssituationer, hvor prøvefeltet er hhv. (i) permanent vådt, (ii) med højtliggende grundvandsspejl og (iii) med dybereliggende grundvandsspejl.

3.2 Princip for beregning

Den overfladenære del af strømningen kvantificeres ved hjælp af Base Flow-indekset, BFI (Institute of Hydrology, 1993), der separerer vandløbshydrografen i en overfladenær komponent og en grundvandskomponent. Efterfølgende vurderes det på grundlag af dræningsintensiteten i prøvefeltet samt sedimenternes permeabilitet, hvor stor en del af den overfladenære afstrømning, der kan passere det øverste jordlag (0 – 30 cm). Nedenfor opridses først beregningsproceduren opdelt på de tre strømningssituationer, og derefter følger en beskrivelse af, hvordan de enkelte elementer i beregningen tilvejebringes:

Prøvefeltet er permanent vådt (situation (i)):

1. BFI beregnes (dimensionsløs)

2. Direkte opland til projektområdet beregnes (m^2)

3. Projektområdets areal beregnes (m^2)

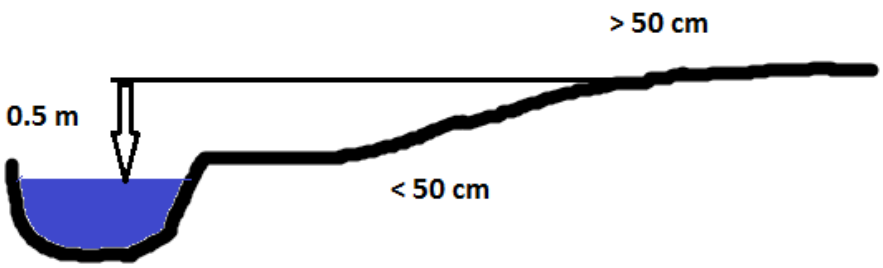
4. Nettonedbøren for oplandet til projektområdet beregnes (mm $år^{-1}$).

5. Den overfladenære strømning, Q_{OF}, beregnes: Q_{OF} = (1 – BFI) * Nettonedbør * Oplandsareal (m^3 $år^{-1}$).

6. Den overfladenære strømning skal passere projektområdet og omregnes til en arealbelastning: Q_{OF_areal} = [Q_{OF} / Projektområdets areal] (mm $år^{-1}$). Hermed tages der højde for, at vandet skal passere gennem hele arealet før udløb i vandløbet, og at vandet på et tidspunkt får en ligevægts-P-koncentration (EPC_0), hvorefter der ikke desorberes mere P.

7. På grundlag af dræningsintensitet i prøvefeltet samt sedimenternes permeabilitet bestemmes for hvert prøvefelt hhv. en drænfaktor (værdi mellem 0 og 1) og en permeabilitetsfaktor (værdi mellem 0 og 1), som for hver prøvefelt adderes (max sum = 1) og summen multipliceres på Q_{OF_areal}. Tærskelværdi: hvis den vægtede Q_{OF_areal} er mindre end nettonedbøren for projektområdet, anvendes Q_{OF_areal} = nettonedbøren. Herved er der for hvert prøvefelt beregnet en gennemstrømning (mm $år^{-1}$), som kan anvendes til beregning af fosforlækage for det enkelte prøvefelt ved hjælp af ligning 6.1 (kapitel 6, p.21).

Figur 3.2. Prøvefeltets placering hhv. lavere end 50 cm over vandløbets sommermiddelvandstand og højere end 50 cm over vandløbets sommermiddelvandstand.



Prøvefeltet er delvist vådt (situation (ii)):

1. BFI beregnes (dimensionsløs)

2. Direkte opland til projektområdet beregnes (m^2)

3. Projektområdets areal beregnes (m^2)

4. For hvert prøvefelt vurderes, om det ligger hhv. op til 50 cm over sommermiddelvandstand i vandløbet, eller om det ligger højere end 50 cm over sommermiddelvandstand i vandløbet.

5. Nettonedbøren for oplandet til projektområdet beregnes (mm $år^{-1}$).

6. Den overfladenære strømning, Q_{OF}, beregnes: Q_{OF} = (1 – BFI) * Nettonedbør * Oplandsareal (m^3 $år^{-1}$).

7. Den overfladenære strømning skal passere projektområdet og omregnes til en arealbelastning: Q_{OF_areal} = [Q_{OF} / Projektområdets areal] (mm $år^{-1}$). Hermed tages der højde for, at vandet skal passere gennem hele arealet før udløb i vandløbet, og at vandet på et tidspunkt får en ligevægts-P-koncentration (EPC_0), hvorefter der ikke desorberes mere P.

   For prøvefelter op til 50 cm over sommermiddelvandstand (fig. 3.2): den beregnede Q_{OF_areal} anvendes

   For prøvefelter, der ligger højere end 50 cm over sommermiddelvandstand (fig. 3.2) reduceres vandstrømningen, idet det antages, at den kun foregår i 4 måneder om året: Q_{OF_areal} = (4/12) * Q_{OF_areal}

8. På grundlag af dræningsintensitet i prøvefeltet samt sedimenternes permeabilitet bestemmes for hvert prøvefelt hhv. en drænfaktor (værdi mellem 0 og 1) og en permeabilitetsfaktor (værdi mellem 0 og 1), som for hver prøvefelt adderes (max sum = 1) og summen multipliceres på Q_{OF_areal}. Tærskelværdi: hvis den vægtede Q_{OF_areal} er mindre end nettonedbøren for projektområdet, anvendes Q_{OF_areal} = nettonedbøren. Herved er der for hvert prøvefelt beregnet en gennemstrømning (mm $år^{-1}$), som kan anvendes til beregning af fosforlækage for det enkelte prøvefelt ved hjælp af ligning 6.1 (kapitel 6, p.21).

Grundvandsspejlet ligger altid dybere end 1 m i prøvefeltet (situation (iii)):

1. Q_{OF_areal} = 0.

3.3 Beregning af Base Flow-indeks, BFI

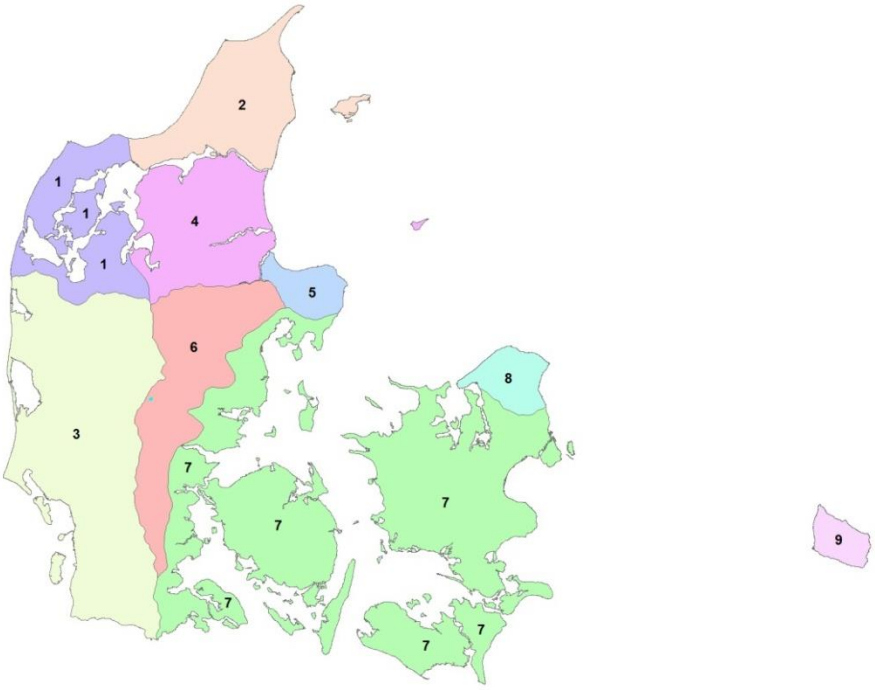
BFI beregnes på grundlag af karakteristika for oplandet til projektområdet efter nedenstående ligninger, der inddrager georegion (et nummer mellem 1 og 9, se fig. 3.3), årlig målt nedbør (variablen nedbaar, mm $år^{-1}$), samt andelen af sandjord (summen af grovsandet og finsandet jord, variablen js, %) og andelen af humusjord (variablen j9, %) i oplandet:

```
 if region_nr=1 then
   bfi=1.3152-0.8620-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9+0.01091*js;
 if region_nr=2 then
   bfi=1.3152-0.8620-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9+0.01091*js;
 if region_nr=3 then
   bfi=1.3152-0.1133-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9+0.002806*js-
0.02147*j9;
 if region_nr=4 then
   bfi=1.3152-0.8509-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9+0.01079*js;
 if region_nr=5 then
   bfi=1.3152-0.8509-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9+0.01079*js;
 if region_nr=6 then
   bfi=1.3152-0.6356-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-
0.007967*j9+0.007747*js+0.01963*j9;
 if region_nr=7 then
   bfi=1.3152-0.6581-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9+0.007150*js;
```

```
if region_nr=8 then
  bfi=1.3152-0-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9;
if region_nr=9 then
  bfi=1.3152-0-0.0001957*nedbaar-0.005439*js-0.007967*j9;
```

NB. Det skal bemærkes, at det kun er ved beregning af BFI, at der anvendes målt nedbør (hvis man selv ønsker at beregne BFI og ikke benytter regnearket, hvor der er taget højde for dette)

Figur 3.3. Danmark opdelt i ni georegioner.



3.4 Beregning af oplandsarealet til projektområdet

Det direkte opland til projektområdet, dvs. oplandet mellem projektområdets nedstrøms og opstrøms rande, bestemmes ved GIS-procedurer på grundlag af en digital terrænmodel. Der benyttes en 1,6 m digital terrænmodel (DHM/Terræn 1,6 m), som gratis kan hentes via Kortforsyningen (http://download.kortforsyningen.dk/). GIS-procedurerne er beskrevet i bilag 1. I Kortforsyningen vælg: Danmarks Højdemodel og herunder DHyM/Rain (en tilpasning af højdemodellen således at overfladevandet kan strømme i modellen, som det gør i naturen f.eks. ind under veje, hvor den krydses af en å)

3.5 Beregning af nettonedbør

Nettonedbør (mm $år^{-1}$) beregnes som forskellen mellem nedbør og referencefordampning (potentiel fordampning) for en 10 års periode. Der kan anvendes klimadata fra DMI's 20 km klimagrid med u-korrigeret nedbør og potentiel fordampning. Før beregning skal nedbørsværdierne korrigeres på månedsniveau med korrektionsfaktorerne angivet i Allerup, Madsen og Vejen (1998) (gengivet i bilag 2).

3.6 Vurdering af dræningsintensitet i projektområdet

En eventuel afvanding af projektområdet indikerer en stor vandstrømning gennem området. Denne information bruges i bestemmelsen af vandstrømningen. Dræningsintensiteten kan vurderes via drænkort eller via drænopsporing (dvs. optælling af drænrør, der udmunder ved vandløbet; foretages bedst i afstrømningsperioden, hvor der samtidig ikke er voksende vegetation). Dræningsintensitet vurderes for hvert prøvefelt og omsættes til en drænfaktor efter nedenstående tabel:

Drænings-intensitet	**Intensiv (mere end 25 % af arealet drænet/grøftet*)**	**Moderat (arealet er drænet/grøftet, men under 25 %)**	**Ingen dræning/grøftning**
Drænfaktor	1	0,5	0

*)en dræning/grøftning på 25 % svarer til, at der er et drænrør eller en grøft for hver 75 m langs vandløbet.

3.7 Vurdering af sedimenternes permeabilitet

Denne vurdering foretages i forbindelse med profilbeskrivelsen (kapitel 2) og udmunder i en fastsættelse af permeabilitetsfaktoren (kapitel 2).

Permeabilitet	**Meget høj - Høj**	**Moderat**	**Lav – Meget lav**
Permeabilitetsfaktor	1	0.5	0

Beregning af vandstrømningen gennem projektområdet ved ovenstående metode er overslagsmæssig og behæftet med usikkerhed. Større sikkerhed kan opnås ved gennem dybere boringer at fastslå tykkelsen af det lag, som strømningen faktisk foregår igennem, og ved synkronmålinger af vandføringen opstrøms og nedstrøms for projektområdet at bestemme den faktiske tilstrømning gennem projektområdet. Bedst er det at opsætte en 2D eller 3D grundvandsmodel for området baseret på en geologisk beskrivelse og fastsættelse af relevante randbetingelser ved hjælp af målinger.

4 Sedimentation af P fra overrisling med drænvand

Drænvand fører i varierende koncentrationer partikelbundet fosfor bundet i kolloider og små lerpartikler med sig fra marken til vandløb (Grant et al., 1995). En stor del nedslemmes fra overjorden gennem jordmatricen formentligt oftest gennem jordens makroporer (ormegange, sprækker, rodkanaler). Målinger i 6 dræn i Landovervågningsoplandene i perioden 1990-2011 og 2 dræn i 2 år i perioden 2007-2009 viser, at der kan være stor forskel i de enkelte dræns indhold af partikelbundet fosfor (tabel 4.1).

Det ene dræn (L2_1) afvander et lavbundsareal hvor der formentlig tilstrømmer dybere og reduceret grundvand fra baglandet med et indhold af ferrojern og opløst orthofosfat. I dræn sker der formentlig en dannelse af okkerpartikler hvortil der sker en sorption af opløst orthofosfat, der så ved udmundingen er blevet til partikelbundet fosfor idet vandprøverne filtreres til adskillelse af opløst og partikelbundet fase. De andre dræn i LOOP og ved Egeskov afvander højbundsarealer og dermed mere karakteristiske for de dræn som afskæres ved vådområde projekter.

Tabel 4.1. Oversigt over tabet af partikelbundet fosfor i drænvand i LOOP oplande i perioden 1990-2011, samt i to dræn ved Egeskov målt i 2 år (2007-2009). [1)] Dræn L2_1 er ikke medtaget i det beregnede gennemsnit da det er et lavbundsdræn.

Dræn-id	Percentiler for PP-transport, kg P/ha/år				
	P10	P25	P50	P75	P90
L1_3	0,002	0,003	0,007	0,010	0,033
L1_5	0,001	0,003	0,006	0,008	0,041
L1_6	0,000	0,001	0,005	0,019	0,023
L1_7	0,001	0,004	0,011	0,019	0,021
L2_1	*0,491*	*0,517*	*0,683*	*0,779*	*0,961*
L4_2	0,008	0,013	0,025	0,044	0,062
L4_6	0,001	0,005	0,030	0,063	0,133
Egeskov, vest	-	-	0,087	-	-
Egeskov. øst	-	.	0,322	-	-
Gennemsnit[1]	0,002	0,005	0,062	0,027	0,052

Når dræn afskæres i ådals skrænten og drænvandet overrisler en engparcel vil det meste af det partikelbundne fosfor blive tilbageholdt på engoverfladen ved at det sedimenterer ud og/eller fanges i vegetationen i det lille vådområde som dannes. I projekter skal der anvendes den gennemsnitlige tabsrate for partikelbunder fosfor på 0,062 kg P/ha pr. år. For at beregne sedimentationen af partikelbundet fosfor skal der indsamles følgende oplysninger fra projektområdet:

1. Viden om hvor der sker drænafstrømning med overrisling til følge af en engflade.
2. Et bedst muligt skønnet drænopland til hvert af de dræn på højbundsjord som afskæres. Oplandet kan findes ud fra kort over drænets beliggenhed hvor der indtegnes et topografisk opland.

3. Hvis der er mistanke om at nogle af de dræn som afskæres afvander lavbundsarealer (f.eks. hvis de er vandførende om sommeren) og modtager reduceret grundvand, så skal der gennemføres en screening af drænets flow og indhold af partikelbundet fosfor over en længere periode (helst et år men ved meget konstant drænafstrømning kan en mindre periode anvendes), hvis der ønskes anvendt en anden rate for tab af partikelbundet fosfor end den angivne i tabel 4.1.

Herefter beregnes det samlede drænede oplandsareal til projektområdet hvis nødvendigt for henholdsvis højbundsdræn og lavbundsdræn.

Sedimentationen af partikelbundet fosfor beregnes herefter ved a multiplicere det samlede drænede areal på højbundsjord med det gennemsnitlige mediantab af partikelbundet fosfor fra tabel 4.1. Hvis der er lavbundsdræn og der er målt separat på dem skal disse tillægges individuelt ud fra gennemførte målinger. Alternativt anvendes samme tabsrater på disse dræn som for højbundsdræn.

5 Beregning af sedimentation af fosfor fra vandløb under oversvømmelse

Beregningen af sedimentationen af fosfor i et projektområde 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) (se Kronvang et al., 2011). 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 det gennemsnitlige antal af oversvømmelsesdage pr. år og arealet, der bliver oversvømmet, er beregnet, så skal der regnes på hvor mange kg fosfor, som der kan deponeres under oversvømmelserne.

Trin 1 er en beregning af det forventede tab af partikelbundet fosfor fra oplandsarealet til det vandløb eller de vandløb som løber gennem projektområdet. Oplandstabet af partikelbundet fosfor beregnes ved hjælp af ligning 2 som er vist i boks 1 nedenfor. Tabet af partikelbundet fosfor skal beregnes som et gennemsnit for en årrække, typisk ved anvendelse af vandafstrømningen fra oplandet til vandløbet over en 10 års periode.

Når oplandstabet af partikelbundet fosfor er beregnet kan den anvendte mængde deponeret fosfor pr. oversvømmet hektar ådal pr. dag findes af tabel 5.1.

Tabel 5.1. Vejledende deponeringsrater af partikelbundet fosfor på oversvømmede arealer.

Modelberegnet oplandstab af partikelbundet fosfor (kg P pr. hektar pr. år)	Fosfor deponerings rate (kg P pr. oversvømmet hektar pr. dag)
<0,14	0,5 kg P pr. dag
0,14-0,36	1,0 kg P pr. dag
>0,36	1,5 kg P pr. dag

Den største sedimentationsrate på 1,5 kg P pr. ha oversvømmet areal pr. dag for partikelbundet fosfor kan kun anvendes hvis det gennemsnitlige modelberegnede tab af partikelbundet fosfor fra oplandet til vandløbet er højt (> 0,36 kg P/ha). Den næsthøjeste sedimentationsrate på 1,0 kg P pr. ha oversvømmet areal pr. dag skal kun anvendes hvis tabet af partikelbundet fosfor er i intervallet 0,14-0,36 kg P/ha. Den lave sedimentationsrate på 0,5 kg P pr. ha oversvømmet areal pr. dag skal anvendes hvis tabet af partikelbundet fosfor er mindre end 0,14 kg P/ha.

Ved beregning af sedimentationen af fosfor skal følgende kriterier overholdes i forhold til den gennemsnitlige bredde af ådale hvor der kan forventes at ske en sedimentation og hvor deponeringsraterne for fosfor derfor kan anvendes:

Langs type I vandløb (oplandsareal < 10 km²), dog skal et minimumsoplandsareal på 2 km² altid være opfyldt (se Kronvang et al. 2011), kan sedimentation kun beregnes for de første 25 m af ådalen på hver side af vandløbet.

Langs type 2 vandløb (oplandsareal 10-100 km²) må der beregnes en sedimentation ud til en afstand af maksimalt 75 m fra vandløbet.

Langs Type III vandløb (oplandsareal > 100 km²) må der beregnes sedimentation ud til en afstand på maksimalt 100 m fra vandløbet.

Sedimentationen i projektområdet pr. år beregnes herefter ud fra følgende ligning:

Sedimentation (kg P/år) = antal dage med oversvømmelse x sedimentationsraten x oversvømmet areal.

En bedre og mere sikker viden om det oversvømmede areals udstrækning og sedimentationen på arealet kan opnås ved at opsætte mere komplekse dynamiske modeller til beskrivelse af udvekslingen af vand og stof mellem vandløb og ådal som for eksempel vist i (Poulsen et al., 2013).

Beregning partikelbundet fosfor i vandløb på baggrund oplandsdata

Ligning 2:

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

hvor:

Q_{flom} er Flomafstrømningen***: (1-BFI)×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 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.

Alternativt kan BFI estimeres ud fra ligningen angivet i kapitel 4.

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.

***: Ad Q_{flom}: Afstrømningen ved et planlagt vådområde kan enten hentes fra eksisterende op- eller nedstrøms hydrometristationer i samme vandløb ved en ekstrapolation til projektområdet eller alternativt fra hydrometristationer i samme region og landskabstype. Alternativt kan standardberegnede afstrømningsværdier for ca. 15 km² polygoner i Danmark fra DK-modellen anvendes. Disse data kan bestilles via Bioscience, AU, Silkeborg (dog mod betaling af den tid der medgår til udtræk af data).

6 Baggrund for beregning af fosforfrigivelse ved reetablering af vådområder

6.1 Fosforindhold i danske lavbundsarealer

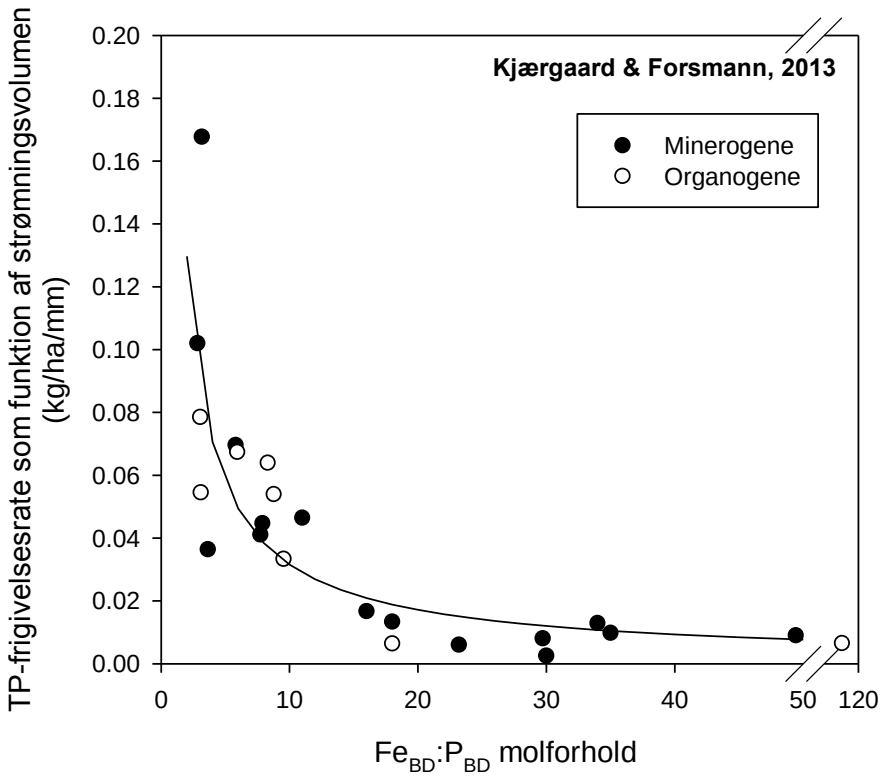
Nyere undersøgelse af 1315 organogene og 2064 minerogene danske lavbundslokaliteter har vist variationer i total P i de øverste 30 cm fra <200 til >10.000 mg/kg (Kjærgaard & Greve, 2011). Det gennemsnitlige TP indhold er hhv. 910 mg/kg og 1286 mg/kg for minerogene og organogene lavbundsjorde, mens 10% har TP indhold på ≥4825 mg/kg og ≥1800 mg/kg for henholdsvis organogene og minerogene lokaliteter. Generelt falder fosforindholdet med dybden, men for mange lokaliteter ses generelt høje TP indhold ned til 1 m.

Undersøgelserne har endvidere vist at Fe-oxider udgør den kvantitativt dominerende bindingskomponent for fosfor i flertallet af de undersøgte danske lavbundslokaliteter (Kjærgaard & Greve, 2011). Under aerobe (iltholdige) forhold er fosfor generelt hårdt bundet til jordens Fe(III)-oxider, dog øges risikoen for fosfortab med øget grad af fosformætning. Under vandmættede anaerobe (iltfrie) forhold opløses dele af jordens Fe(III)-oxider, idet Fe(III) reduceres til opløst Fe(II) og samtidig frigives fosfor bundet til disse redox-følsomme Fe-oxider. Den mikrobielt medierede Fe-reduktion resulterer således i en reduktion af jordens fosforbindingskapacitet. Et kvantitativt udtryk for mængden af let reducerbare Fe(III)-oxider og fosfor bundet til disse Fe(III)-oxider kan eksperimentelt bestemmes som bicarbonat-dithionit (BD) ekstraherbart Fe (Fe_{BD}) og P (P_{BD}). Undersøgelser af danske lavbundsarealer viser at indholdet af Fe_{BD} varierer fra 250 til 64.100 mg/kg i organogene jorde og fra 75 til 22.000 mg/kg i minerogene jorde, mens indholdet af P_{BD} varierer fra 17 til 3000 mg/kg i organogene jorde og fra 2 til 450 mg/kg i minerogene jorde. Indholdet af P bundet til redox-følsomme Fe-oxider (Fe_{BD}) udgør gennemsnitligt 20-23% af total P i overjorden.

6.2 Baggrund for kvantificering af fosformobilisering ved reetablering af vådområder

Når der reetableres vådområder på drænede lavbundsarealer ændres såvel de hydrologiske som de biogeokemiske forhold. De hydrologiske påvirkninger afhænger af jordtype og strømningsveje efter reetablering og er beskrevet i kapitel 3. Når hydrologien ændres fra en situation med dræning til en situation med diffus gennemstrømning af grundvand og/eller drænvand vil alene den forøgede vandgennemstrømning af de fosforholdige jordlag medføre en forøget risiko for mobilisering af fosfor ved desorption (frigivelse) af fosfor bundet til mineraloverflader (Kjærgaard et al., 2012). Denne fosforfrigivelse kan blive accelereret, når der opstår anaerobe forhold, hvor jordens Fe(III)-oxider opløses. Under sådanne forhold reduceres jordens fosforbindingskapacitet og fosfor bundet til Fe(III)-oxider frigives. Kulstofholdige jorde har grundet et højere indhold af biotilgængeligt kulstof, generelt en øget risiko for at der opstår anaerobe forhold sammenlignet med minerogene jorde (Kjærgaard et al., 2012). Foruden jordtypen vil vandets kemi, herunder indholdet af O_2 eller andre elektronacceptorer (NO_3^-, SO_4^{2-}), af det vand der gennemstrømmer vådområdet kombineret med vandets strømningsvej / aktive strømningsvolumen og opholdstid i lavbundsarealet være afgørende for, hvorvidt der i vådområdet udvikles forhold der fremmer fosfortab (Hoffmann et al., 2009).

En fuldstændig vurdering af fosfordynamikken i forbindelse med reetablering af vådområder er således kompliceret og fordrer et betydeligt datagrundlag. En mere simpel betragtning, der kan opfattes som en worst-case situation for fosfortab, vil være at antage at jorden er anaerob og at der foregår en diffus matricestrømning gennem de fosforholdige jordlag. Mobilisering af fosfor under sådanne forhold er undersøgt for 25 organogene og minerogene lavbundsjorde i 0-30 cm (Kjærgaard et al., 2012, Kjærgaard et al., 2013, Forsmann og Kjærgaard, 2013). Resultaterne viser at TP-frigivelsesraten for såvel organogene og minerogene arealer under anaerobe forhold kan beskrives på basis af jordens Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold og som funktion af strømningsvolumen (Figur 6.1, Ligning 6.1). Ved Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold >20 er TP-frigivelsesraten lav og relativt konstant mellem 0.006-0.01 kg/ha/mm (i.e. 1 mm ha = 10.000 liter vand per ha), mens TP frigivelsesraten stiger ved Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold <20, og ved Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold <10 ses en meget betydelig stigning med tabsrater fra 0.03-0.17 kg/ha/mm.



Figur 6.1. TP-frigivelsesrate som funktion af strømningsvolumen og jordens Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold (kg/ha/mm). Resultater er fra Kjærgaard et al., 2012; Forsmann og Kjærgaard, 2013; Kjærgaard et al., 2013

$$P_{release} = 0{,}2384 \times [Fe_{BD}{:}P_{BD} - molforhold]^{-0{,}878} \quad (R^2 = 0{,}78) \qquad \text{Ligning 6.1}$$

Resultaterne giver aktuelle målte TP-frigivelsesrater for såvel organogene og minerogene jorde der gennemstrømmes konvektivt under anaerobe forhold. Det er væsentligt at påpege at de beregnede P-frigivelsesrater ikke tager højde for evt. readsorption/fældning af P under transporten eller ved transport over aerobe redox-grænseflader.

6.3 Beregning af fosforfrigivelsesrater

På baggrund af analyseresultater for de udtagne jordprøver (Kap 2.3) beregnes delområdernes Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold samt volumenvægt. 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:

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

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

$$Fe_{BD} : P_{BD} - molforhold = \frac{Fe_{BD}(mmol/kg)}{P_{BD}(mmol/kg)} \qquad \text{Ligning 6. 2}$$

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).

$$Volumenvægt(kg/m^3) = \frac{ovntørprøve(kg)}{\pi \times L(m) \times r^2(m^2)} \qquad \text{Ligning 6. 3}$$

På basis af de beregnede Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold beregnes herefter for hvert delområde en P-frigivelsesrate på basis af Ligning 6.1 der angiver P-frigivelsesraten i kg TP pr. ha delområde pr. afstrømningsvolumen.

Beregningseksempel

Et lavbundsareal på 10 ha skal reetableres til vådområde. Udlægning af prøvefelter (Kap. 2) giver anledning til underopdeling af projektarealet i 10 delområder som i dette eksempel har samme areal (Tabel 6.1). For hvert delområde udtages en jordprøve baseret på 16 stik i 0-30 cm til Fe_{BD} og P_{BD} analyse samt en volumenprøve til volumenvægtsbestemmelse. På basis af indholdet af Fe_{BD} og P_{BD} beregnes et Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold (Ligning 6.2) samt en P-frigivelsesrate i kg/ha/mm (i.e. 1 mm ha = 10.000 liter vand ha) (Ligning 6.1) for hvert delområde (Tabel 6.1).

Tabel 6.1. Resultater for P_{BD}, Fe_{BD}, Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold samt beregnede P-frigivelsesrater (kg/ha/mm)

Del-område	Areal Ha	P_{BD} mg/kg	Fe_{BD} mg/kg	Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold	TP-frigivelsesrate kg/ha/mm
1	1	302.5	13266.1	24.3	0.0145
2	1	565.5	12580.1	12.3	0.0263
3	1	249.6	4883.7	10.9	0.0294
4	1	55.6	4473.0	44.6	0.0085
5	1	192.3	7076.8	20.4	0.0169
6	1	960.3	42109.9	24.3	0.0145
7	1	67.0	935.2	7.74	0.0395
8	1	163.8	919.4	3.11	0.0880
9	1	172.1	7286.1	23.5	0.0149
10	1	26.8	301.6	6.23	0.0478

For det konkrete eksempel ligger grundvandsspejlet altid under 30 cm og afstrømning gennem de øvre 0-30 cm svarer således til netto-nedbør på 325 mm (Kap. 3). På baggrund heraf beregnes det aktuelle P-tab i kg pr. år ved en afstrømning på 325 mm (Tabel 6.2).

På basis af delområdernes volumenvægt beregnes indholdet af P_{BD} (kg/ha). Under antagelse af at P_{BD} udgør den umiddelbart mobile P-fraktion og at den gennemsnitlige tabsrate er konstant kan der laves en simpel overslagsberegning over antallet af år med P-tab, der for det pågældende eksempel viser at vådområdet teoretisk kan frigive fosfor i 45 år efter reetablering.

Del-område	Areal ha	$P_{BD\ (0\text{-}30\ cm)}$ mg/kg	$P_{BD\ (0\text{-}30\ cm)}$ kg/ha	P-tabsrate kg/ha/mm	P-tab kg/år (325 mm)
1	1	302.5	182	0.0145	4.71
2	1	565.5	485	0.0263	8.55
3	1	249.6	121	0.0294	9.56
4	1	55.6	67	0.0085	2.76
5	1	192.3	201	0.0169	5.49
6	1	960.3	2058	0.0145	4.71
7	1	67.0	222	0.0395	12.8
8	1	163.8	468	0.0880	28.6
9	1	172.1	513	0.0149	4.84
10	1	26.8	94	0.0478	15.5
Gennemsnitligt			441		

6.4 Begrænsninger ved beregning af P-tabsrater

Ovenstående kvantificering af fosfortabsrater er baseret på målinger af aktuelle TP-tabsrater fra repræsentative danske organogene og minerogene lavbundsjorde under vandmættede anaerobe forhold og ved konvektiv strømning. Den deraf afledte empiriske model til estimering af P-tabsrater repræsenterer således et "worst case" scenario med antagelsen om anaerobe forhold og konvektiv strømning. Udgangspunktet for denne forsimplede tilgang er begrundet i målet om en operationel og omkostningseffektiv model. For de fleste danske ripariske lavbundsarealer vil der være konvektiv strømning af grundvand samt infiltrerende nedbør og evt. drænvand. Tilsvarende vil gælde for lavvandede grundvandsfødte søer etableret på ripariske lavbundsarealer. I tilfælde hvor der etableres søer der udelukkende fødes af overfladevand uden nogen grundvandstilstrømning, vil den her beskrevne model til prædiktion af P-tabsraten ikke kunne benyttes. Her vil en P frigivelse fra sedimentet foregå ved en langsommere diffusion fra jord til vandfasen, hvor diffusionshastigheden vil afhænge af Fe_{BD}:P_{BD} molforholdet (Forsmann et al., 2013), redox-forholdet over jord-vand grænsefladen, samt den hydrauliske opholdstid i søen.

Derudover er det væsentligt at påpege at risikovurderingen udelukkende tager udgangspunkt i indholdet af P_{BD} og Fe_{BD}:P_{BD}-molforholdet i 0-30 cm. Indholdet er P er generelt højest i 0-30 cm og falder med dybden, men P-indholdet kan være højt helt ned til 100 cm. Da P-mætningsgraden dog typisk er størst i 0-30 cm beregnes P-tabsraten ud fra en "worst case" betragtning, mens en vurdering af P-indholdet og antal år med P-frigivelse baseret på 0-30 cm vil underestimere jordprofilens mobile P-fraktion og dermed antallet af år med P-frigivelse. Hertil bør også nævnes at tabsraten vil variere årligt afhængigt af variationer i afstrømningen, samt at det ikke forventes at tabsraten er konstant over tid.

Endelig bør det påpeges at modellen er udviklet på basis af data fra lavbundsarealer, hvor Fe(III)-oxider udgør den kvantitativt dominerende P-bindingsfraktion. Det betyder at modellen må forventes at overestimere P-

tabsraten for arealer, hvor Al er kvantitativt betydende bindingskomponent, hvilket dog kun gælder en mindre andel af de danske lavbundsarealer (Kjærgaard, ikke publ.). Modellen tager heller ikke højde for readsorption/fældning af fosfor under den videre transport eller i forbindelse med transport over aerobe redox-grænseflader. En sådan vurdering vil dog kræve meget omfattende kendskab til strømningsveje og sediment geokemi for den pågældende lokalitet.

7 Opsamling

Her indføres alle indsamlede og beregnede data fra kapitel 2, 3, 4, 5, 6.

Slutskema

ID		Topografisk placering $				Jordbund		Drænforhold		Vand	P risiko		
Prøve-felt ID	Areal ha	Permanent vådt (-) $	Temporær vådt (-) * <50	>50	Dybere lig. Grundvand (-)	Tekstur	PF (-)	Drænings-grad (%)	Dræn-faktor (-)	Beregnet Gennemstrøm mm år	Fe:P ratio	P tabsrate Kg P ha mm	Beregnet P-tab Kg P år

*<50 & >50: Terrænoverfladen er henholdsvis lavere end 50 cm over vandløbets sommermiddelvandstand og højere end 50 cm over vandløbets sommermiddelvandstand. $ angives med plus eller minus for hvilken strømningssituation der skal anvendes se figur 3.1. PF = permeabilitetsfaktor

8 P balancen

Introduktion

Som allerede omtalt i indledningen (Figur 1) er det er væsentligt at bemærke, at uanset projekttype vil reetablering af et vådområde, som følge af afbrydning af dræn og grøfter, medføre en konvektiv gennemstrømning af grundvand via vådområdet til recipienten. Dette gælder også ved sjapvandsdannelse og ved sødannelse, dog med det forbehold, at hvis der både er et veldefineret indløb og udløb fra søen kan tabet fra søbunden være begrænset af den diffusive udveksling af fosfor mellem søsedimentet og den ovenfor liggende vandsøjle. Man vil derfor principielt skulle anvende en reduktionsfaktor for at beregne udvaskningen. Denne reduktionsfaktor vil være afhængig af Fe_{BD}:P_{BD} forholdet i sedimentet, vandets opholdstid i søen samt redox gradienten over sediment - sø interfasen, og den skal vurderes og fastlægges i hvert enkelt tilfælde for det givne projekt, da det ikke har været muligt med en operationel løsning grundet stor kompleksitet. Den samlede P-balance opgøres på grundlag af følgende udtryk:

Overrisling:
Samlet P-tab/tilbageholdelse = Tilført PP med drænvand (kapitel 4) - P-frigivelse (kapitel 6)

Oversvømmelse:
Samlet P-tab/tilbageholdelse = Deponeret PP (kapitel 5) - P-frigivelse (kapitel 6)

Sødannelse:
Samlet P-retention = (Pindløb – Psø) * årlig vandføring– P-frigivelse

Pindløb: Tilgængelig data

Psø = Pindløb/(1+ $TW^{0,5}$)) (Vollenweider, 1976)

P-frigivelse: Beregnet fra formel 6.1 i kapitel 6).

For en sø med veldefineret indløb og udløb hvor der vil være diffusiv udveksling af fosfor mellem søsedimentet og vandsøjlen:

Samlet P-retention = (Pindløb –Psø) * årlig vandføring – P-frigivelse * Reduktionsfaktor (faktoren bestemmes for det givne projekt).

Bemærkninger: Ved sødannelser laves fosforfrigivelsesberegning (kapitel 6) på nøjagtig samme måde som for øvrige projekter.

Vollenweider:
I søer er sammenhængen mellem tilbageholdelsen af fosfor og vandets opholdstid modelmæssigt beskrevet af bl.a. Vollenweider 1976:

Psø = Pindløb/(1+ $TW^{0,5}$)

hvor Psø er søkoncentrationen, Pindløb er indløbskoncentrationen, og TW vandets opholdstid i år i søen.

NB Det er pt ikke tilladt at inkludere høstning og afgræsning i P balancen.

9 Brinkerosion

Ved etablering af vådområder sker der ofte en ændring i vandløbets skikkelse i form genslyngning af forløbet, hævning af vandløbsbunden eller andre former for ændret vandspejlsforhold. Disse ændringer vil også have indflydelse på erosionens omfang i vandløbets brinker og dermed bidraget med partikelbundet fosfor til vandløbet.

Brinkerosion skyldes forskellige mekanismer herunder vandets strømning og dets erosionsevne set i forhold til faktorer som brinkmaterialets sammensætning, beskyttelsen med vegetation og hvor stejlt brinken står (Laubel et al., 2003; Kronvang et al., 2011 & 2012). Stejle brinker kan således ved underminering af brinkfoden styrte sammen og derved tilføre meget store mængder sediment og fosfor til vandløbet. Sammenstyrtningen af brinker er en proces som sker over længere tidsrum end det daglige erosionslid af vandet på brinkens materiale.

Det er derfor meget svært at kvantificere og forudse brinkerosionens omfang. Vi ved fra flere undersøgelser af sedimenttransport- og fosfortransport efter en genslyngning at der momentant (over flere måneder) vil være en ustabil periode efter gravearbejdets afslutning hvor der er en forhøjet brinkerosion (se Kronvang et al., 1994; Kronvang et al., 1998).

Ved en ændring af brinkernes højde og eventuelt deres hældning efter en etablering af vådområder vil der forventeligt efter en ustabil første periode kunne forventes en reduktion i brinkerosion og dermed tilførslen af sediment og fosfor til vandløbet. Sker der samtidig en genslyngning med en omlægning af vandløbet til et længere forløb vil der samtidig blive flere meter brink med risiko for erosion.

Det er derfor meget komplekst at indregne effekter af brinkerosion for P-balancen i vådområde projekter. Det vil kræve opgørelser af ændringerne i det samlede brinkareal, viden om brinkerosionens omgang og indholdet af finpartikulært materiale og fosfor i brinkmaterialet.

En sådan analyse ligger ud over hvad der kan forventes gennemført i de normale vådområdeprojekter. Ved meget store vådområdeprojekter, som omfatter ændringer i vandløbets skikkelse og/eller forløb er det en mulighed for at inddrage dette element, men det vil i givet fald kræve specielle opgørelser og forundersøgelser.

10 Referencer

Allerup, P, Madsen, H. og Vejen, F. 1998. Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrektioner. Danish Meteorological Institute. Technical report 98-10.

Forsmann D. M. og Kjærgaard, C. 2014. Phosphorus from anaerobic peat soils during convective discharge – Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow. Geoderma 223-225:21-32.

Greve, M.H. & Sørensen, P. 1992. Vejledning i jordprofilbeskrivelse. Geokompendium nr. 30, Geologisk Institut, Aarhus Universitet

Greve, M.H. & Sørensen, P. 1992. Vejledning i borebeskrivelse. Geokompendium nr. 31, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Hoffmann, C.C., Kjærgaard, C., J. Uusi-Kämppä, H.C.B. Hansen, Kronvang, B., 2009. Phosphorus retention in riparian buffers: review of their efficiency. J. Environ. Qual. 38, 1–14.

Institute of Hydrology. 1993. Low flow estimation in the United Kingdom. IH report 108. Institute of Hydrology, Wallingford, United Kingdom

Kjærgaard, C., Heiberg, L., Jensen, H.S., Hansen, H.C.B. 2012. Phosphorus mobilization in rewetted peat and sand at variable flow rate and redox regimes. Geoderma 173-174:311-321

Kjærgaard, C., Forsmann D.M. et al.. 2013. Predicting phosphorus release from restored wetland soils. In prep.

Kjærgaard, C. & Greve, M.H. 2011. National monitering af danske lavbundsarealer. Pt. ikke publiceret.

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 Bevtoft: Environmental effects in streams and riparian areas (in Danish). National Environmental Research Institute, Technical Report No. 110. 88 pp.

Kronvang, B., Svendsen, L.M., Brookes, A., Fisher, K., Møller, B., Ottosen, O., Newson, M. and Sear, D. 1998. Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne: A joint Danish and British EU-LIFE project, III - Channel morphology, hydrodynamics and transport of sediment and nutrients. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8, 209-222.

Kronvang, B., Søndergaard, M., Hoffmann, C.C., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Stjernholm, M., Nielsen, C.B., Kjærgaard, C., Schønfeldt, 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

Kronvang, B., Audet, J., Baattrup-Pedersen, A., Jensen, H.S. and Larsen, S.E. 2012. Phosphorus loss via bank erosion in a Danish lowland river basin. Journal of Environmental Quality 41, 304-313.

Kronvang, B., Andersen, H.E., Larsen, S.E. & Audet, J. 2013. Importance of bank erosion for sediment input, storages and export at the catchment scale. Journal of Soils and Sediments 13: 230-241.

Larsen, G., Frederiksen, J., Villumsen, A., Fredericia, J., Gravesen, P., Foged, N., Knudsen, B. og Baumann, J. 1988. Vejledning i ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. Dansk Geoteknisk Forening.

Laubel, A.R., Kronvang, B., Hald, A.B. & Jensen, C. 2003. Hydromorphological and biological factors influencing sediment and phopshorus loss via bank erosion in small lowland rural streams in Denmark. - Hydrological Processes 17: 3443-3463.

Nielsen, K., Stjernholm, M., Olsen, B.Ø., Müller-Wohlfeil, D.-L., Madsen, I.-L., Kjeldgaard, A., Groom, G., Hansen, H.S., Rolev, A.M., Hermansen, B., Skov-Petersen, H., Johannsen, V.K., Hvidberg, M., Jensen, J.E., Bacher, V., Larsen, H., 2000. Areal Informations Systemet—AIS. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, URL: http://ais.dmu.dk

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.

Poulsen, J., Hansen, F., Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Kronvang, B. 2013. Linking floodplain hydraulics and sedimentation patterns along a restored river channel: River Odense, Denmark. Ecological Engineering (in press)

Bilag 1. Generering af stationsoplande

Generering af stationsoplande på basis af Lidar 10m højdemodel vha. ArcGIS Spatial Analyst Extension

For at generere stationsoplande kræves to input

1. Stations-koordinater i UTM zone 32, EUREF89
2. Lidar 10 m højdemodel.

Om højdemodellen

Højdemodellen DHM/Terræn 10 m grid kan downloades fra

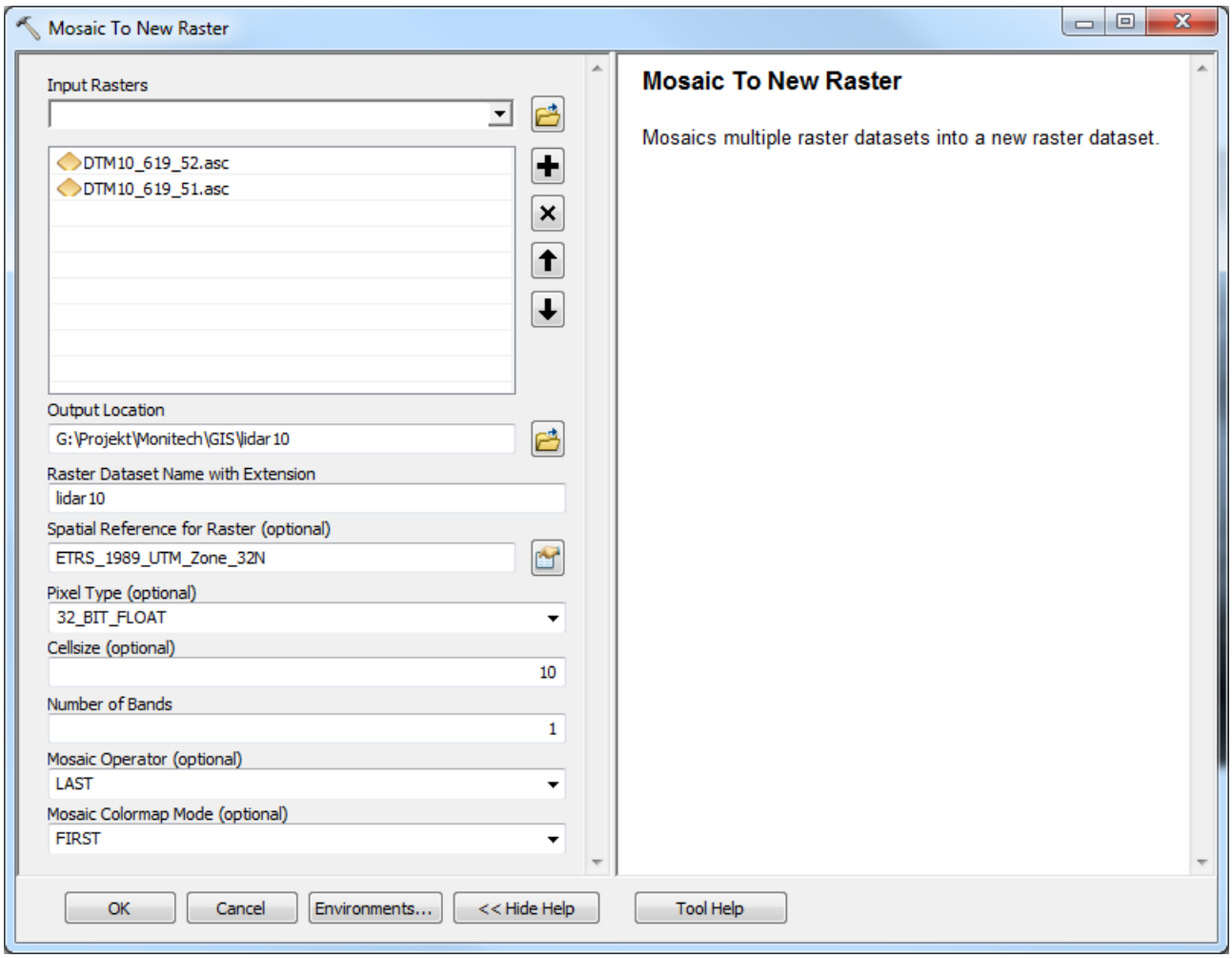
http://download.kortforsyningen.dk/content/dhmterr%C3%A6n-16-m-grid

Det er gratis at oprette sig som bruger og downloade ønskede data.

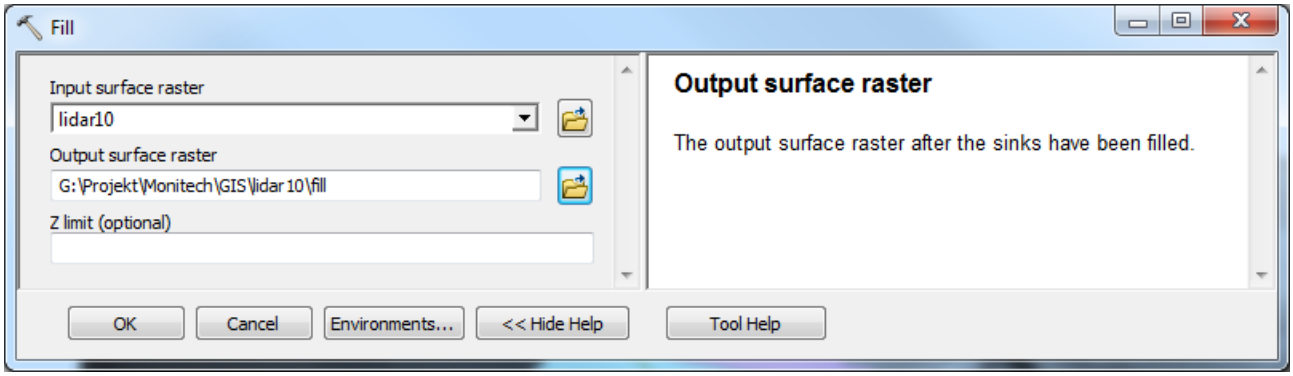
Lidar data'ene ligger i sheets, så man kan vælge kun at downloade det område man har brug for.

Generering af stationsoplande

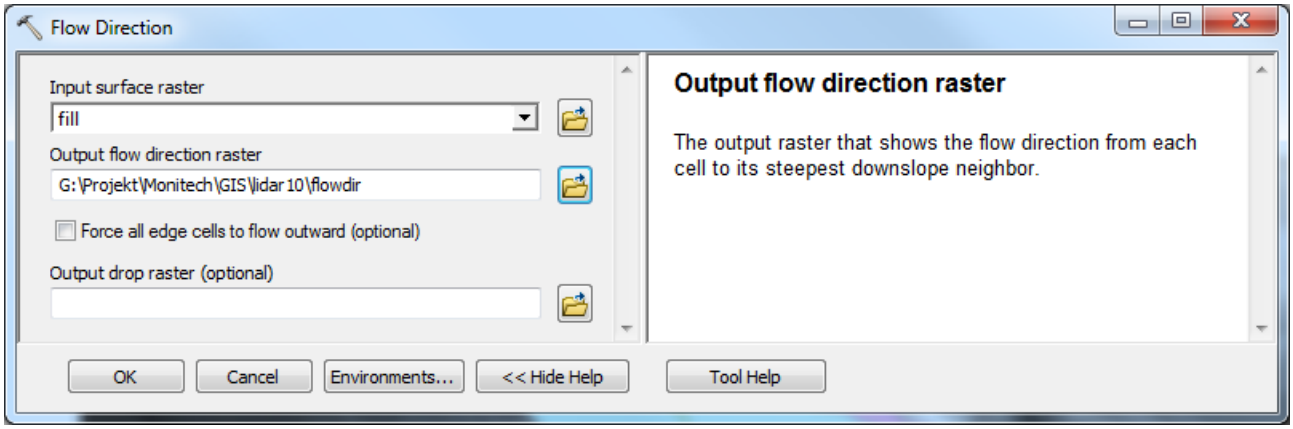
1. Hvis området strækker sig over flere Lidar-sheets samles disse i ArcGIS vha tool 'Mosaic to New Raster':



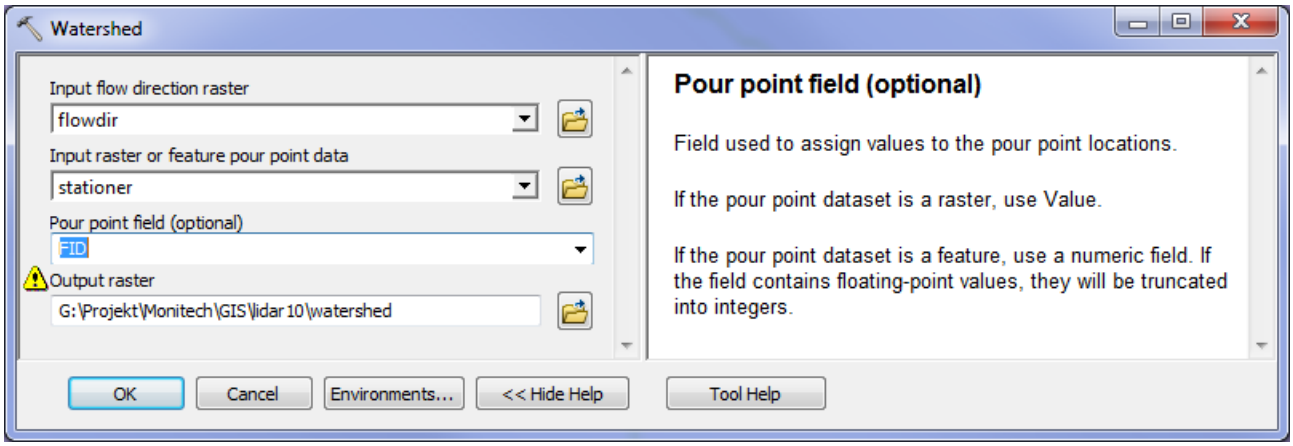
2. Tool 'Fill' udfylder lokale lavninger i højdemodellen, sådan at alle celler kan tildeles en afstrømningsretning:



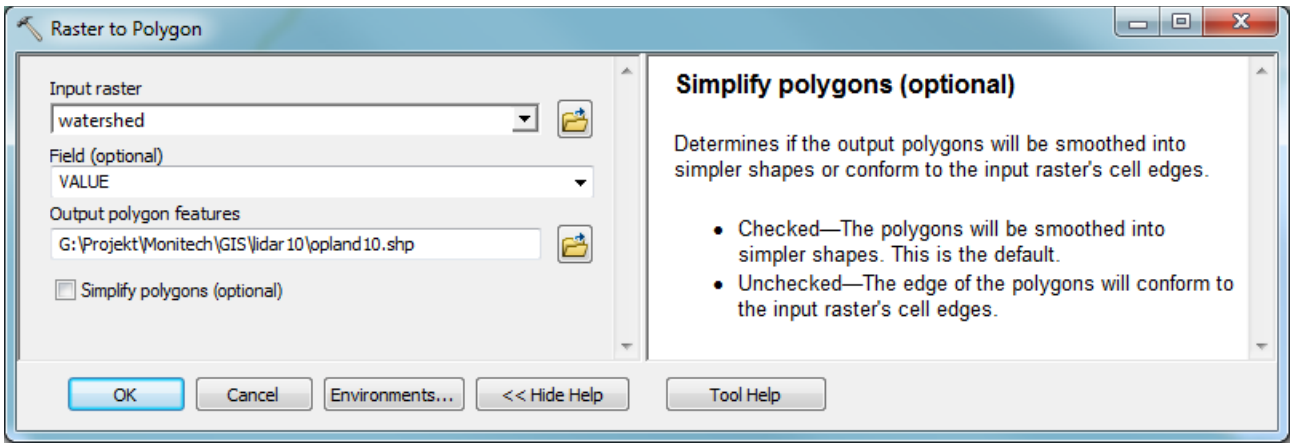
3. Tool 'Flow Direction' sætter afstrømningsretning på hver celle:



4. Tool 'Watershed' genererer oplande ud fra stationspunkterne og Flow Direction filen. Der dannes et opland opstrøms hver station:



5. Tool 'Raster to polygon' konverterer de genererede oplande til vektorer:



Fejlmuligheder:
Stationspunktet skal ligge i den laveste celle i ådals-profilet, ellers dannes der intet opland. Start Editing og flyt stationen på plads manuelt.

Store vejanlæg, der gennemskærer området kan have betydning for oplandsgenereringen. Det er jo en smagssag om man vil have sådan et vejanlæg afspejlet i afgrænsningen af oplandet. Hvis det er et oversvømmelsesområde er det måske reelt nok at vandet stoppes af vejen, me hvis det er et topografisk opland, plejer vi at sige at vejen ikke er en barriere. Dette for at undgå at der bliver afstrømningsløse områder i landet.

Bilag 2. Nedbørskorrektioner

Standardværdier for nedbørskorrektioner (%), Allerup, Madsen og Vejen (1998).

Læforhold	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
Frit eksponeret	53	53	45	29	16	13	12	12	13	17	29	48	27
Moderat læ	41	42	35	24	13	11	10	10	11	14	23	27	21
Ideelt læ	29	30	26	19	11	9	8	8	9	10	17	26	16

Daglig målt nedbør korrigeres op med den relevante månedsfaktor for at kompensere for aerodynamisk tab og opfugtningstab. Hvis læforholdene for nedbørsstationen ikke er kendte anvendes nedbørskorrektionerne for moderat læ.

Referencer

Allerup, P, Madsen, H. og Vejen, F. 1998. Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrektioner. Danish Meteorological Institute. Technical report 98-10.

Bilag 3. Eksempel fra Odderbæk

Til illustration af vejledningens procedurer gennemgås et projektforslag omfattende en restaurering af den nedre del af Odderbæk, som er et anden ordens tilløb til Skjern å – løber ud i Kulsø.

Faktuelle oplysninger
Projektområdets areal = 22.7 ha (beregnet af rådgiver)
Oplandet til projektområdet = 104 ha (beregnet via bilag 1)
Georegion = 6 (aflæst på figur i kapitel 3)
Andel af sandjord fra jordtypekort = 100% (fra jordbundskort, sum af finsandet og grovsandet jord)
Andel af humusjord fra jordtypekort = 0% (fra jordbundskort)

Beregning af grundlag for vandgennemstrømning
Nedbør = 906 mm $år^{-1}$ (korrigeret, beregnet via kapitel 3 og bilag 2)
Nettonedbør = 324 mm $år^{-1}$ (beregnet via kapitel 3 og bilag 2)
BFI beregnet fra nedbør, sandjord og humusjord = 0.73 (kapitel 3)
Q_{OF} = (1 - BFI) * nettonedbør * oplandsareal = (1 – 0.73) * 324/1000 * 104 * 10,000 m3/år = 90,109 m^3/år.
Q_{OF} omregnet til en arealbelastning af projektområdet: Q_{OF_areal} = [90,109/(22.7 * 10,000)] * 1000 = 401 mm $år^{-1}$.

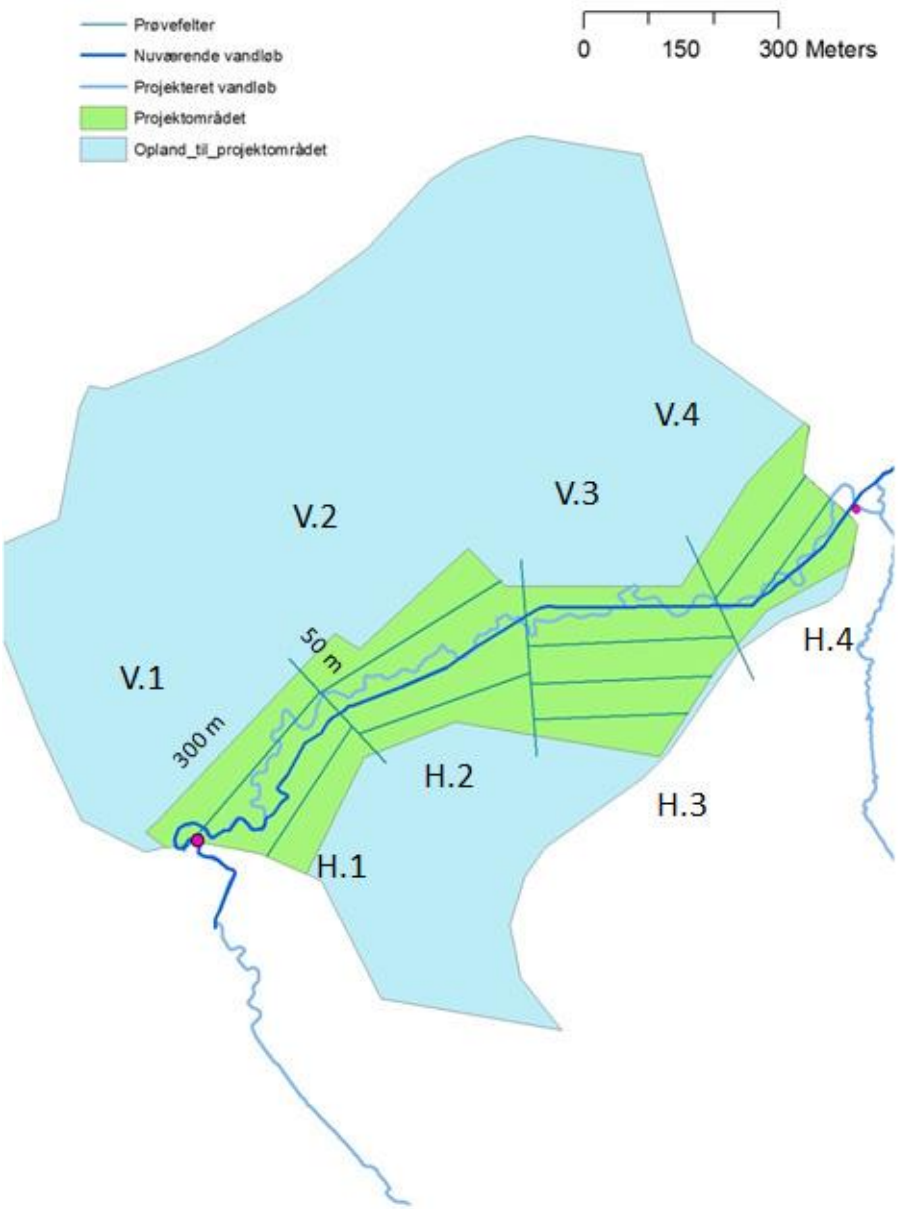
Inddeling i prøvefelter
Projektområdet inddeles i prøvefelter som illustreret på fig. B3.1: længde ca. 300 m langs vandløbet og bredde ca. 50 m vinkelret på vandløbet. Arealet af prøvefelterne beregnes og indføres i slutskemaet (Tab. B3.1).

Topografisk placering
Bemærk, at det er situationen efter gennemførelse af vådområdeprojektet, der skal beskrives. På grundlag af oplysninger fra projekteringen om vandløbets sommermiddelvandstand og forventet grundvandsdybde sammenholdt med et topografisk kort udfyldes slutskemaets felter om topografisk placering af de enkelte prøvefelter.

Jordbund
Der er lavet borebeskrivelser, der viser at hele projektområdet er sandet og hovedsagelig består af mellemkornet, som er indføjet i skemaet nedenfor. Permeabilitetsfaktoren bliver derfor sat til 1 (jævnfør kapitel 3).

Drænforhold
Ved feltbesigtigelser samt ved at kigge på drænkort blev dræningsintensiteten for hvert prøvefelt bestemt. Da denne viste at være større end 25 % blev drænfaktoren sat til 1, pånær ved V4 og H4.

Vandgennemstrømning
Vandgennemstrømningen beregnes på grundlag af ovenstående afsnit, samt oplysninger om topografisk placering, drænfaktor, og permeabilitetsfaktor for hvert prøvefelt (jævnfør kapitel 3).



Figur B3.1. Gridinddelingen af Odderbæk projektområdet

Slutskema for Odderbæk med dataoplysninger, beregnet vandgennemstrømning og beregnet P udvaskning fra kapitel 6.

ID		Topografisk placering $				Jordbund		Drænforhold		Vand	P risiko			
Prøve-felt ID	Areal ha	Permanent vådt (-) $	Temporær vådt (-) * <50	>50	Dybere lig. Grundvand (-)	Tekstur	PF (-)	Drænings-grad (%)	Dræn-faktor (-)	Beregnet Gennemstrøm mm år	Fe:P ratio	P tabsrate Kg P ha mm	Beregnet P-tab Kg P år	Antal År P-tab
V 1.1	1,2			+	140 cm	Mellemkornet sand	1	25	1	0				
V 1.2	1,5		+			Mellemkornet sand	1	25	1	401				
H 1.1	1,0			+	100 cm	Mellemkornet sand	1	25	1	0				
H 1.2	1,0		+			Mellemkornet sand	1	25	1	401				
V 2.1	1,1			+		Mellemkornet sand	1	25	1	324 #				
V 2.2	1,5		+			Mellemkornet sand	1	25	1	401				
H 2.1	1,0			+		Mellemkornet sand	1	25	1	324				
H 2.2	1,5		+			Mellemkornet sand	1	25	1	401				
V 3.1	1,0			+		Mellemkornet sand	1	25	1	324				
H 3.1	1,0			+		Mellemkornet sand	1	25	1	324				
H 3.2	1,2		+			Mellemkornet sand	1	25	1	401				
H 3.3	1,4		+			Mellemkornet sand	1	25	1	401				
H 3.4	1,5	+				Mellemkornet sand	1	25	1	401				
V 4.1	1,5			+		Mellemkornet sand	1	<25	0,5	324				
V 4.2	1,4		+			Mellemkornet sand	1	<25	0,5	401				
V 4.3	0,5	+				Mellemkornet sand	1	<25	0,5	401				
H 4.1	1	+				Mellemkornet sand	1	<25	0,5	401				

*<50 & >50: Terrænoverfladen er henholdsvis lavere end 50 cm over vandløbets sommermiddelvandstand og højere end 50 cm over vandløbets sommermiddelvandstand

$ angives med plus eller minus for hvilken strømningssituation der skal anvendes se figur 3.1

PF = permeabilitetsfaktor

beregning: 401 x 4/12 =134 mm, men på grund af tærskel sættes værdien til 324 mm (lig med nettonedbøren)

Bilag 4. Hjælpeskema fra Kapitel 2.1

Transekt	Station	Afstand til Vandløb m	Dybde i cm	Tekstur/omsætningsgrad	Tildelt ledningsevne	Permeabilitet	Gennemstrømning (fås fra kap 3)
1	1						
1	1						

Transekt	Station	Dybde i cm	Tekstur/omsætningsgrad	Tildelt ledningsevne	Permeabilitet	Gennemstrømning (fås fra kap 3)
1	1					
1	1					

Bilag 5. Afrapporteringsskema

Afrapporteringsskema (tidligere benævnt skema 8.8)

P-ådalsprojekt:										
Arealstørrelse:										
			Volumenprøve			Analyseprøve				
Delområde	Areal	Lokalitet	Prøvelæng-de	Tørvægt	Volumenvægt	Fe_{BD}	P_{BD}	Fe_{BD}:P_{BD}	Af-skæringsværdi	P-tabs risiko
nr	ha	GPS	m	kg	kg/m3	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:										

Bilag 6. Prøvehåndtering og analyse

Det anbefales, at prøverne analyseres af laboratorier, der i forvejen har god erfaring med håndtering af organogene lavbundsjorde 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°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°C
4. Delprøve B gemmes på køl (< 4°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. Supernantanten overføres til 100 ml prøveflasker. Denne proces gentages yderligere to gange med 25 ml BD-reagens, dog rystes kun i 5 min, centrifugeres og supernantanten overføres til prøveflasker.
3. Afslutningsvist tilsættes 25 ml demineraliseret vand, der rystes i 5 min, centrifugeres og supernantanten overføres til prøveflasker.
4. De i alt 100 ml supernantant gennembobles med atmosfærisk luft 1 time for at oxidere overskydende dithionit. Derefter tilsættes 4 ml 2 M H_2SO_4.
5. Prøven sættes på destruktionsblok forud for analyse af total-P og total-Fe efter standardprocedurer.
6. Resultater angives i mg/kg tør jord og mmol/kg tør jord.

Vedrørende analyse ved anvendelse af ICP.
ICP kan anvendes til analyse af TP og TFe i dithionitfraktionen. Erfaringsmæssigt ligger detektionsgrænsen på 2 mg TP pr. kg tør jord (Henning Jensen, personlig meddelelse). Ved P-risikovurdering baseret på ICP analyse vil en acceptabel detektionsgrænse være 5-10 mg TP pr. kg tør jord.

2. Bestemmelse af volumenvægt

Volumenvægtsbestemmelsen omfatter ovntørring af volumenprøven, vejning og beregning af volumenvægt

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

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).

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

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