

# Redegørelse for en operationel anvendelse af P-risikoværktøjet til en sårbarhedsdifferentieret regulering til begrænsning af fosfortab

---

Notat fra DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug  
og DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 12. oktober 2012

Goswin Heckrath<sup>1</sup>  
Hans Estrup Andersen<sup>2</sup>  
Charlotte Kjærgaard<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut for Agroøkologi  
<sup>2</sup> Institut for Bioscience

Rekvirent:  
Natur- og Landbrugskommissionen  
Antal sider: 19

Kvalitetssikring, DCE:  
Poul Nordemann Jensen



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

# Indhold

<b>1</b>	<b>Sammendrag (spørgsmål og kort svar)</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Baggrund</b>	<b>6</b>
2.1	Hvad P-risikoværktøjet kan bruges til	6
2.2	Tabrelevante faktorer og -processer	6
2.3	Effekt af differentieret virkemiddelindsats baseret på risikokortlægning	7
<b>3</b>	<b>Opdatering af P-risikoværktøjet</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Drift af P-risikoværktøjet</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Evaluering og usikkerhedsanalyser af P-risikoværktøjet</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Perspektiver for videreudvikling af P-indekskomponenter</b>	<b>16</b>
6.1	Risikokortlægning på lavbundsjord	16
6.2	Risikokortlægning af brinkerosion	16
6.3	P udvaskning på sandede jorde	16
6.4	Kortlægning af drænafstrømning	16
6.5	Kortlægning af hydrologisk forbindelse af overfladeafstrømning i landskabet	17
<b>7</b>	<b>Budget</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Referencer</b>	<b>19</b>

Natur- og Landbrugskommissionen (NLK) har som en del af sit arbejde en opgave med at se på en fremadrettet mere fleksibel regulering. Som grundlag for en mere fleksibel og målrettet regulering af landbrugets næringsstofpåvirkning af vandmiljøet er der blandt andet behov for viden om muligheden for at målrette reguleringen efter de forskellige områders risiko for fosfortab til vandmiljøet. I den forbindelse har NLK's sekretariat bedt Aarhus Universitet udarbejde en redegørelse for en mulig sårbarhedsdifferentieret fosfor-regulering, baseret på en afgrænsning af områder med risiko for fosfortab, kombineret med tabsrelevante faktorer for fosfortab. I bestillingen anføres en række konkrete spørgsmål (se afsnit 1). Endvidere ønskes en redegørelse for de relevante kriterier for fosfortab som fx jordtype, dræningsforhold og fosfortal, og endelig ønskes oplysninger om tidshorisont og omkostningsniveau for udarbejdelse af en forbedret retentionskortlægning afhængig af mulig detaljeringsgrad.

### **Læsevejledning**

Indledende og sammenfattende svares kort på de specifikke spørgsmål i bestillingen. Baggrunden perspektiverer anvendelsen af P-risikoværktøjet og redegør for relevante tabsfaktorer og krav til operationalisering. Først gennemgås de tre punkter, opdatering, etablering af en driftsorganisation og evaluering af P-risikoværktøjet, der anses nødvendige for en operationalisering af værktøjet. Derefter belyses kort videreudviklingsmulighederne med kort og længere tidshorisont. Notatet afsluttes med et budgetforslag, der dog ikke omfatter forskningsindsatsen til videreudvikling, da dette kræver en omfattende projektplanlægning og koordinering med andre danske forskergrupper.

# 1 Sammendrag (spørgsmål og kort svar)

- *Hvordan og til hvilken detaljeringsgrad kan det eksisterende P-risikoværktøj udvikles?*

P-risikoværktøjet foreligger allerede i en prototype-udgave fra 2009. Prototypen kortlægger risikoområder for P-tab på markblokniveau og omfatter tab fra dyrkningsjorden til vandmiljøet via transportvejene erosion, overfladisk afstrømning og udvaskning gennem jordmatricen og gennem makroporer. Prototypen vil indenfor en kort tidshorisont (1 år) kunne dels opdateres, dels forfines til markniveau. En evaluering af redskabet samt en estimering af P-udvaskning på sandede jorde, en integrering af risikokortlægning for brinkerrosion og for lavbundsjord har en tidshorisont på 3 - 5 år. På længere sigt og efter en større forskningsindsats vil kortlægning af afstrømning gennem dræn og af den hydrologiske forbindelse i landskabet mellem overfladeafstrømning og permanente vandområder kunne inkluderes.

- *Kan kortlægningen af risikoområder for P-tab foretages med differentierede klasser?*

Prototypen opererer med 3 risikoklasser, men vi er betænkelige ved en opdeling i flere klasser, da klassegrænserne ikke umiddelbart kan relateres til tabsmængder.

- *Kan kortlægningen af risikoområder for P-tab kombineres med udpegning af vandområder, som er sårbare for P-påvirkning?*

Denne mulighed foreligger allerede, da risikokortlægningen er knyttet til markblokke (fremover eventuelt enkelt-marker), og markblokkenes placering i oplande til kortlagte sårbare eller mindre sårbare vandområderne er kendt.

- *Hvad er potentialet for en reduktion af P-påvirkningen, hvis en kortlægning af risikoområder for P-tab kombineres med udpegning af vandområder, der er sårbare for P-påvirkning?*

Tabsmængder fra enkelte risikoområder kan meget dårligt kvantificeres vha. modeller og uden en stor måleindsats. Effektivurderingen af de fleste virkemidler er også behæftet med store usikkerheder. Derfor kan reduktionen af P-tab til et sårbart vandområde ud fra risikokortlægningen kun groft skønnes. Der findes ingen alternative modeller til formålet. P-risikoværktøjet adresserer de allerfleste relevante tabsposter under danske forhold og indeholder et omfattende virkemiddelkatalog.

- *Analysen til at belyse usikkerheder på risikokortlægningen*

P-risikoværktøjet opererer på mark/markblokniveau og beskriver enkeltprocesser. En stor udfordring for en evaluering af værktøjet består i, at der kun er ganske få måledata tilgængelige på dette niveau. Der er derfor behov for at iværksætte måleprogrammer, omfattende feltobservationer af erosion og overfladisk afstrømning, måling af P-tab fra dræn, målinger af bindingskapacitet for P i jord, samt laboratorieanalyser af udvaskning gennem ma-

kroporer. Indhentning af data og evalueringer vil kunne foretages indenfor 3 - 5 år.

- *Hvad kræves der, for at risikoværktøjet kan anvendes i administration?*

P-risikoværktøjet er web-baseret. En administrativ anvendelse af værktøjet kræver etablering af en organisation, der dels kan stå for den daglige drift af værktøjet, dels kan sørge for den faglige vedligeholdelse. Opgaven kan med fordel deles, så en styrelse eller en privat aktør er ansvarlig for den daglige drift, mens Aarhus Universitet er ansvarlig for det faglige vedligehold.

## 2 Baggrund

### 2.1 Hvad P-risikoværktøjet kan bruges til

P-risikoværktøjet er et landsdækkende screeningsværktøj, der udpeger de områder i landskabet, hvorfra risikoen for fosfortab til vandområder er størst. Værktøjet beregner således ikke den mængde fosfor, der tabes, men rangordner derimod marker eller markblokke efter deres anslåede risiko for fosfortab ad fire tabsveje, se afsnit 2.2. I kombination med virkemidler og omkostningsestimater fra et tilknyttet virkemiddelkatalog hjælper værktøjet desuden med at prioritere indsatsen mod fosfortab ved at give vejledning i, fra hvilke områder man mest omkostningseffektivt kan reducere tabet.

Der findes endnu ikke landsdækkende proces-baserede eller empiriske modeller, der tilfredsstillende kan kvantificere fosfortab eller virkemiddeffekter på den rumlige skala, der er krævet for at opnå en meningsfuld virkemiddelindsats. Derfor har vi valgt at udvikle et værktøj, som kan udpege den relative risiko for fosfortab på markniveau baseret på tilgængelige data. Denne principielle opbygning af P-risikoværktøjet samt usikkerheder vedrørende virkemiddeffekten betyder, at en regulering af landbrugets P-emissioner ikke direkte kan knyttes til de estimerede risikoklasser. Der er med andre ord ikke lighedstegn mellem en kortlagt høj risiko og så et faktisk højt tab. Derimod kan man forestille sig en reguleringsmæssig ramme, der forpligter de lokale miljømyndigheder og landbruget til at inddrage P-risikoværktøjet i udvikling af fleksible og målrettede virkemiddelplaner for oplande til sårbare vandområder.

### 2.2 Tabsrelevante faktorer og -processer

Tab af fosfor fra dyrkningsjord til overfladevand er en kompleks funktion af klima, topografi, jordbundsegenskaber og dyrkningspraksis. Tabet forekommer i opløst eller partikelbundet form og er på højbundsjord kun i beskedent omfang påvirket af biologiske omsætningsprocesser. Disse er derimod afgørende for P mobilisering på mange lavbundsarealer under vandmættede, iltfattige forhold, når de jernminerale, P bindes på, går i opløsning og P frigives. Fire tabsveje anses for relevante på landbrugsjord, nemlig 1) vanderosion, 2) overfladeafstrømning, 3) udvaskning via matriksafstrømning og 4) udvaskning via makroporer, især når markerne er drænet. Fosfortab fra det åbne land til vandmiljø er rumligt og tidsligt stærkt varierende og hidrører fra en relativt begrænset del af det samlede areal - risikoområderne. Risikoområder er områder, hvor en effektiv transportvej forbinder områder med højt indhold af P med et vandløb eller en sø.

Jordens fosforpulje er den væsentligste kilde til fosfortab, mens direkte tab af gødningsfosfor anses for at være beskedent under danske forhold. Derfor vil et øget fosforindhold i jorden alt andet lige øge risikoen for fosfortab. Fosfor er meget reaktivt og bindes let til jordpartiklerne. Kun en lille del af jordens P-indhold er derfor umiddelbart tilgængeligt for planterne. Da P-indholdet oprindeligt har været stærkt begrænsende for planteproduktionen, er dansk landbrugsjord gennem tiderne blevet tilført P-holdig gødning langt ud over planternes behov og dermed beriget med P. I dag ophobes P primært som følge af ubalancen mellem indholdet af kvælstof og fosfor i husdyrgødningen, når denne anvendes til fuldgyødning med kvælstof. Udviklingen af P-

indholdet i jorden viser således et geografisk mønster, der i de senere årtier har været tæt knyttet til intensiteten af husdyrproduktionen.

### 2.3 Effekt af differentieret virkemiddelindsats baseret på risikokortlægning

P-risikokortlægningen adresserer enkelt-transportveje. Den kvantitative viden om tab ad disse transportveje er meget mangelfuld; der er en udpræget mangel på data på området. Det bedste skøn af betydningen af forskellige tabsveje stammer fra Poulsen og Rubæk (2005) og er behæftet med stor usikkerhed, tabel 1. De fleste tabsposter vil på kort eller længere sigt (3 – 5 år) kunne adresseres af P-risikokortlægningen. Der findes virkemidler til reduktion af P-tab fra alle tabsposter. Også her gælder det, at den kvantitative effekt er meget usikkert bestemt. Den samlede kvantitative effekt - og dermed potentialet for en reduktion af P-påvirkningen - vil afhænge af hvilke virkemidler, der anvendes, og i hvilket omfang.

**Tabel 1.** Kvantitative skøn over forskellige tabsposters betydning for dyrkningsbidraget på nationalt plan. Kvaliteten af det faglige grundlag for skønnene er angivet således: (++++): høj; (+++): god; (++): middel; (+): dårlig; (+): dur ikke. Efter Poulsen og Rubæk (2005).

	Tons P pr.år	Kan adresseres med P-risikokortlægningen
Vanderosion	2 – 20 (++)	Ja
Overfladisk afstrømning	5 – 15 (+)	Ja
Vinderosion	5 – 15 (+)	Nej
Brinkerosion	275 -645 (++)	På 3 – 5 årigt sigt
Tab via dræn på minerogene risikojorde	15 – 90 (+)	Ja
Tab via dræn på lavrisikojorde	20 – 90 (+++)	Nej
Tab via dræn på lavbunds-jorde	30 – 225 (+)	På 3 – 5 årigt sigt
Øvre grundvand, drænet dyrket areal	< 20 (++)	Ja
Øvre grundvand, ikke drænet dyrket areal	< 60 (++)	Ja
Dyrkningsbidrag	440 – 1180 (+)	

#### Operationalisering af P-risikoværktøjet

Et grundlæggende element i P-risikoværktøjet er et dansk-udviklet P-indeks. Konceptet og opbygningen af P-Indekset og virkemiddelplanlægningsdelen er beskrevet i Heckrath et al. (2009) og Andersen et al. (2009). Værktøjet foreligger i en prototype-udgave.

P-risikoværktøjet indeholder:

- en landsdækkende beregning af fosfor-tabsrisiko på markblokniveau estimeret for fire tabsveje med hver sit P-indeks
- en landsdækkende kortlægning af baggrundsdata (bilag 1)
- et virkemiddelkatalog, samt estimater af virkemiddeleffekter og -omkostninger
- et *prototype* web-baseret værktøj til risikokortlægning og omkostningseffektiv virkemiddelplanlægning.

P-risikoværktøjet bygger på resultater fra en række nyere forskningsprojekter, og der er under udviklingen af værktøjet etableret nye, landsdækkende

korttemaer<sup>1</sup>. Værktøjet er modulært opbygget og dermed principielt nemt at opdatere. De samme metoder er anvendt landsdækkende, og der er med værktøjet skabt fælles adgang til data og en fælles beslutningsramme. Værktøjet er meget pædagogisk og kan støtte dialogen mellem landbrug og miljøforvaltning. Det er designet med henblik på at skabe en forståelse for samspillet af tabsrelevante faktorer og processer i en landskabssammenhæng. Dette anser vi som afgørende for at skabe det nødvendige kendskab og engagement blandt interessenter for en varieret og målrettet virkemiddelindsats.

En operationel brug af P-risikoværktøjet som miljøplanlægningsredskab f.eks. i forbindelse med miljøgodkendelser ved udvidelse af husdyrbrug og frivillige ordninger under Landdistriktsprogrammet kræver 1) en opdatering af værktøjet, 2) etablering af en organisation til drift og vedligeholdelse af værktøjet, samt 3) en evaluering af værktøjet og usikkerhedsanalyse efter specificerede krav, der er afstemt med myndighederne. Ved opdatering forstår vi en aktualisering af redskabets prototype mht. datagrundlaget og implementering af den software, der driver forskellige komponenter af værktøjet. Der findes herudover flere konkrete muligheder for at implementere nye eller videreudviklede eksisterende komponenter i redskabet. Risikokortlægning på lavbundslande og af brinkerrosion samt estimering af P udvaskning på sandede jorde vil kunne implementeres efter en ekstra forskningsindsats af begrænset omfang og med en skønnet tidshorizont på under 3 år. Der er behov for en opgradering af vores forståelse for vandets strømningsveje i landskabet. En ny og langsigtet koordineret forskningsindsats (> 5 år) vil kunne levere en kortlægning af afstrømning gennem dræn og af den hydrologiske forbindelse mellem midlertidig overfladeafstrømning og permanente vandområder. Disse komponenter vil kunne forbedre redskabet væsentligt.

De tre punkter, der anses nødvendige for en operationalisering af værktøjet, samt videreudviklingsmulighederne gennemgås i det følgende.

---

<sup>1</sup> Uddybning heraf kan eftersendes om ønsket



### 3 Opdatering af P-risikoværktøjet

Behov for opdatering vedrører P-indeks for alle fire transportveje og delindeks. Et vigtigt formål med opdateringen er at gøre fremtidige aktualiseringer af P-risikoværktøjet nemmere. Tabel 2 viser oversigt over opdateringsbehovet. En række af de i prototypen anvendte data og temaer findes i nye versioner (f.eks. markblokkort og registerdata), ligesom en ny, høj-opløselig digital højdemodel er blevet tilgængelig. Denne højdemodel kan med fordel udnyttes til en bedre prædiktions af overfladiske afstrømningsprocesser og især transportfaktorerne, der indgår i delindekserne for disse tabsveje. Erosionsrisikoen genberegnes indenfor aktuelle markblokkgrænser med en opdateret WaTEM-model. Disse normalt tidskrævende erosionsberegninger kan med fordel implementeres som beregningsmæssigt højteffektive computeralgoritmer. Dette vil kræve en begrænset udviklingsindsats i fællesskab med dataloger. Udgangspunktet kunne være en fremgangsmåde oprindeligt udviklet af Terra-STREAM projektet (SCALGO, 2011), som vil kunne gøre fremtidige opdateringer langt nemmere.

Desuden er der nu mulighed for at foretage risikokortlægningen på markniveau fremfor på markblokniveau, da stort set alle enkeltmarker digitaliseres i dag. En overgang til markniveau vil betyde, at brugeren kan indsætte bedriftsdata vedrørende P-status (fosfortal), gødsning og dræning i P-indekset på den relevante skala. Overgang til markniveau vil generelt medføre en bedre rumlig differentiering af risikokortlægningen.

Endelig er der af hensyn til operativ anvendelse af værktøjet behov for enkelte forbedringer og udvidelser: P-virkemiddelværktøjet bør udvides med nye virkemidler og kombinationer af flere af de allerede eksisterende virkemidler: 1) Faciliteten til brugerændring af input forbedres (mulighed for samtidige ændringer på en gruppe af marker frem for individuelt pr. mark). 2) Der bør åbnes for import af data fra eksisterende mark- og gødningsplanlægningssystemer, idet en lang række relevante data allerede findes i disse systemer på elektronisk form. 3) Web-GIS-delen af værktøjet opdateres også mht. drift af P-risikoværktøjet. 4) Hertil kommer, at det bør undersøges om det teknisk er muligt, at åbne for en *feedback* fra virkemiddelværktøjet til risikokortet, således at brugerændringer af inputdata, der medfører en genberegning af P-indekset, også resulterer i et genberegnet risikokort.

Hovedparten af P-indekset er programmeret i analysesoftwarepakken SAS, hvilket besværliggør en integration med den web-baserede platform for P-risikoværktøjet. Af hensyn til effektive fremtidige opdateringer foreslår vi at overføre de eksisterende SAS-programmer til ét sammenhængende, modulært opbygget programsprog, der forenkler denne integration. Af samme grund og for at forbedre dokumentationen skrives alle GIS-operationer ind i ArcGIS™ modeller.

De her beskrevne opdateringer vil kunne gennemføres i løbet af et år.

**Table 2.** Sammendrag af opdateringsbehov for P-risikoværktøjet.

Opdatering	Tiltag	Inputdata	Produkt/Output
<b>P-indeks</b>			
Rumlig opløsning af P-indekspræsentation	Anvendelse af aktuelt markblokkort og digitale markkort til genberegning af fire P-indeks	Markblokkort 2011; IMK markkort (kræver aftale med NEST); input fra diverse P-indekskomponenter	P-indekskort på markniveau
P-indeksberegning	Oprindelig SAS kode overføres i andet programsprog til mere effektiv datahåndtering, bedre dokumentation og nemmere opdatering		Opdateret kode
GIS modeller	Alle GIS operationer til etablering af P-indeks skrives som ArcGIS™ modeller til bedre dokumentation og nemmere fremtidig opdatering		GIS værktøjer til P-indeksberegning
Gødningstilførsel	Kildefaktorerne og P-indeks genberegnes for de fire transportveje	Registerdata 2011	Opdateret P-indeks
Erosionsrisiko på markniveau	Erosionsberegningerne opdateres for nyt markblokkort og opgøres indenfor marker; anvendelse af ny DHM# til erosionsberegninger evalueres; erosionsmodellen implementeres som højt-effektive computeralgoritmer; afstrømningsafstand fra erosionsområder til overfladevand genberegnes for ny DHM	Markblokkort 2011; IMK markkort; LiDAR-baseret DHM	Erosionsrisiko på markniveau
Overfladeafstrømningskortlægning	Beregning af risiko for overfladeafstrømning aktualiseres for nyt markblokkort og opgøres indenfor marker; afstrømningsafstand fra markgrænsen til overfladevand genberegnes for ny DHM;	Markblokkort 2011; IMK markkort; LiDAR-baseret DHM	Risiko for overfladeafstrømning på markniveau
Udvaskning ved matriksafstrømning	Genberegning af kortet over P-bindingskapacitet i underjorden på basis af nye data og kortlægningsmetoder; datalag aggregeres på markniveau	Nyt P-bindingskort; Markblokkort 2011; IMK markkort;	P Indeks matriksafstrømning
Udvaskning ved makroporeafstrømning	Oprindelige datalag aggregeres på markniveau	Markblokkort 2011; IMK markkort;	P Indeks makroporeafstrømning
<b>Webredskab</b>			
GIS interface	Prototype af web-GIS færdigudvikles ved programmering af state-of-the-art web-GIS; udvalg af web-GIS teknologi		Interaktivt web-GIS interface
Interaktivt brugerinput	Datainput fra brugeren (P status, gødskning osv.) effektueres i visning af P-indeks i web-GIS; der udvikles en facilitet til upload af brugerinformationer for en gruppe af marker eller markblokke; programmering af web-GIS og virkemiddelplanlægningsmodulet		Web-GIS, der responderer til brugerinput

Download-redskab	Etablering af en downloadfacilitet for web-GIS redskabet		Praktisk redskab til overførsel af udvalgte kortdata til brugeren
Virkemiddelkatalog	Effekter af nye virkemidler og kombinationsvirkemidler inkluderes i virkemiddelplanlægningsredskabet		Udvidet virkemiddelplanlægningsredskab

# Digital højdemodel

## 4 Drift af P-risikoværktøjet

P-risikoværktøjet er web-baseret og kan enten tilgås af enhver via internettet, eller der kan etableres begrænset adgang vha. *password*. Alle informationer er *a priori* indlagt fra centralt hold. Brugere af værktøjet kan erstatte en række af de centrale data med lokale data (f.eks. fosfortal for enkeltmarker fra analyser). Ved opdateringer af værktøjet kan lokale data accepteres som permanente data efter en kvalitetssikringsprocedure, som skal nærmere specificeres.

Der foreslås en organisation med én aktør, der står for *hosting* og ansvar for daglig drift af P-risikoværktøjet, og én aktør, som står for periodiske opdateringer med nye markkort og registerdata samt øvrig faglig vedligeholdelse af værktøjet. Disse aktører samarbejder desuden om den indledende opdatering af P-risikoværktøjets interfaces. Endelig foreslås der etableret en faglig følgegruppe bestående af potentielle brugere: styrelser, kommuner og landbruget. Desuden bør den institution, der skal hoste systemet, deltage i gruppen for at sikre anvendeligheden. Der bør aftales et system, der skal give struktureret feedback til udviklerne om erfaringer med værktøjets anvendelse. Formålsbeskrivelse, ansvarsfordeling og krav til dokumentation af værktøjets komponenter fastlægges i en rammeaftale.

*Hosting* og ansvar for daglig drift placeres bedst hos en styrelse eller en privat aktør med erfaring fra lignende opgaver. Vedkommende vil få en række startomkostninger (køb af server og licens, flytning af værktøjet til serveren) samt løbende omkostninger (drift af server, håndtering af adgang til værktøjet (hvis der ønskes begrænset adgang), opdateringer). De periodiske opdateringer med nye markkort og registerdata samt almindeligt fagligt vedligehold foretages af Aarhus Universitet og andre forskningsinstitutioner. Denne organisation vil kunne etableres i løbet af et år.

## 5 Evaluering og usikkerhedsanalyser af P-risikoværktøjet

P-risikoværktøjet opererer på mark/markblokniveau og beskriver enkeltprocesser. En stor udfordring for en evaluering af værktøjet består i, at der kun er ganske få måledata tilgængelige på dette niveau. En forsvarlig anvendelse af P-risikoværktøjet i praksis kræver en forståelse for begrænsningerne af redskabet og dermed også af de usikkerheder, der er forbundet med P-indeksestimeringer. Indtil nu er der ikke foretaget en systematisk evaluering eller verificering af P-risikoværktøjet og dets forskellige komponenter. En sådan evaluering og verificering må betragtes som en absolut nødvendighed for en operativ anvendelse af værktøjet. På grund af værktøjets modulære opbygning og opdeling i delindeks samt omkostningsniveauet for indsamling af de nødvendige data for at kunne sammenholde P-indeksværdier med målt P tab, kan modeevalueringen i et vist omfang foretages alene på basis af værktøjets delkomponenter. Muligheder for at gennemføre usikkerhedsanalyser af estimerede P-indeksværdier vil derfor også variere betydeligt blandt de fire del-P-indeks. Nedenfor beskrives, hvordan en risikovurdering af de enkelte tabsprocesser kan evalueres mod enten eksisterende data eller mod data hentet via nye måleprogrammer. Det vil være helt afgørende, at der gennemføres strategiske monitoringsprogrammer, der konkret er designet til at dække behovene ifm. modeevalueringer. Evalueringerne af de forskellige komponenter i P-risikoværktøjet har forskellige tidshorisonter og vil strække sig over ca. 3-5 år.

### Erosion

Den kortlagte erosionsrisiko kan delvis evalueres mod et eksisterende datasæt, ejet af Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, over forekomst og størrelsen af rilleerosion, der er målt på ca. 140 marker efter 4 vintre. Der er to betydende begrænsninger forbundet med denne evaluering, dels at de eroderede områder ikke blev kortlagt i undersøgelsen, og dels at der hverken er data om transport af sediment over markblokgrænsen eller til overfladevand. En omfattende evaluering af P-indekset for erosion i en eksplicit landskabssammenhæng, der også tager hensyn til af randzoneeffekter, vil kræve en større forskningsindsats og målekampagne vedrørende sediment- og fosfortransport. Derfor er denne form for evaluering ikke taget i betragtning her. I stedet vurderes det, at erosionsrisikokortlægningen kan evalueres og perspektiveres i henhold til publicerede studier.

### Overfladisk afstrømning

Der eksisterer ikke noget datasæt over overfladisk afstrømning i Danmark. Et brugbart datasæt til en overordnet vurdering af forekomst af overfladisk afstrømning kan etableres gennem feltobservationer langs vandløb og på markerne i 5 - 10 repræsentative oplande (størrelsesorden 10 km<sup>2</sup>) i senvinteren. Dette datasæt vil også kunne bruges til yderligere at evaluere erosionskortlægningen. Generelt har denne form for evaluering de samme begrænsninger som beskrevet for erosion.

## Udvaskning ved matriksafstrømning

### 1) Drænvandsmålinger

Samlet for Danmark er der måling af fosfortab under rodzonen på kun ca. 40 enkeltmarker. Derudover findes et datasæt med måling af tab af opløst fosfor fra 45 dræn. Her er dog ikke tale om kontinuerte målinger, men om gennemsnitligt 9 prøveudtagninger foretaget i afstrømningsperioden. Dette er problematisk, da P-koncentrationer i drænvand typisk viser stor tidlig variation, også på sandede arealer. Samtidig opfylder de eksisterende lokaliteter kun i begrænset omfang kravene vedr. afstrømningsmønstre og gradient i bindingskapacitet i underjorden for at kunne være egnet ifm. evalueringen af P-indeks for matriksudvaskning.

Til at skabe et systematisk datasæt over P udvaskning på sandede, matriksafstrømningsdominerede lokaliteter foreslår vi at installere passive Sorbicell prøvetagere fra firmaet Sorbisense på 50 udvalgte dræn (eller i grøfter). Prøveudtagningen foregår gennem vinterhalvåret over 3 år.

### 2) Evaluering af bindingskapacitet i underjorden

P-bindingskapaciteten i underjorden bestemmer hvor meget P, der holdes tilbage i jordprofilet. Det foreslås at udtage uforstyrrede jordkolonner fra B horisonten på 50 sandede lokaliteter på en gradient i P-bindingskapacitet. P retention bestemmes under kontrollerede forhold ved udvaskningsforsøg. Resultaterne anvendes til evaluering af skalering af bindingskapacitetseffekten i P-indekset. Desuden indsamles data af bindingskapacitet i jordprofilet på 140 lokaliteter til verificering af P-bindingskapacitetskortet.

## Udvaskning ved makroporetransport

1) Vandtransport i makroporer opstår hovedsageligt, når jordmatrixens vandledningsevne bliver overskredet. En evaluering af risikokortet for makroporestrømning kan foretages i laboratoriet ved dels at måle jordens hydrauliske egenskaber og dels at udføre udvaskningsforsøg med et ureaktivt sporstof på udtagne jordkolonner. De målte hydrauliske værdier kan bruges til en validering af den modelfunktion, der ligger til grund for parameteriseringen af den hydrologiske model, der blev brugt til udviklingen af risikokortet for makroporestrømning. Udvaskningsforsøgene vil kunne anvendes til at validere modeloutputtet fra den hydrologiske model. Til brug for ovenfor nævnte validering foreslår vi udtagning af ca. 100 kolonner fra underjorden på jordtyper med varierende teksturfordeling.

2) Den rumlige udbredelse af de hydrauliske værdier baserer sig på et grid-baseret jordbundskort, udviklet ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. På det seneste er kortet blevet forbedret, så opløsningen nu er på 90 m gange 90 m. Dette nye teksturkort bør valideres i udvalgte områder ved at foretage en systematisk bestemmelse af teksturfordelingen i udvalgte grids. Til brug herfor foreslår vi at udtage prøver på 20 lokaliteter for hver af syv hovedlandskabstyper i tre jorddybder. Tekstur og indhold af svagt-krySTALLINSKE jern- og aluminiumoxider bestemmes.

3) Tab af fosfor via makroporer kan indirekte måles i dræn, idet forekomst af partikulært bundet fosfor i drænvand især ifm. peak flow (afstrømningsmaksima) er en indikator for makroporetransport. Det forudsætter dog kontinuert prøvetagning, da afstrømningen gennem makroporer er stærkt epi-

sodisk. Der eksisterer i Danmark kun 5 dræn med kontinuert prøvetagning, og monitoringsprogrammet bør udvides til 20 dræn, således at forskellige risikoklasser for P-tab via makroporer systematisk kan evalueres. Desuden vil et måleprogram koordineret af Videnscentret for Landbrug, hvor der måles på ca. 250 dræn tre gange i afstrømningsperioden, kunne anvendes til at give et supplerende overblik over tab af fosfor via makroporer til dræn. Dette kræver dog, at koncentrationen af total fosfor måles på filtrerede og ufiltrerede prøver. Generelt skal det undersøges, hvordan det påtænkte måleprogram kan koordineres med andre monitoringsaktiviteter for at reducere omkostningerne.

## 6 Perspektiver for videreudvikling af P-indekskomponenter

### 6.1 Risikokortlægning på lavbundsjord

Danske lavbundsarealer der anvendes landbrugsmæssigt 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. Nyere omfattende undersøgelser viser meget betydelige variationer i fosforindholdet i lavbundsjordene fra <200 til >10.000 mg/kg, hvor det gennemsnitlige indhold for hhv. minerogene og organogene jorde er på 910 mg/kg og 1286 mg/kg og 10 % af arealerne har fosforindhold på  $\geq 1800$  mg/kg og  $\geq 4800$  mg/kg (Kjærgaard et al., 2010). Variationen i fosforindhold afspejler variationen i bindingskapacitet, hvor den meget betydelige fosforakkumulering i nogle lavbundsjordene primært er relateret til jordens indhold af jernoxider. Tabsrisikoen er i overvejen grad knyttet til de processer, der foregår under iltfattige forhold, når jorden er vandmættet. Der er på basis af igangværende forskningsprojekter udviklet en empirisk model, der på basis af få målbare jordparametre kan prædiktere risikoen for fosformobilisering under vandmættede forhold (Kjærgaard og Kristensen, 2011). Da den aktuelle P tabsrisiko fra lavbundsarealer afhænger af såvel mobiliseringspotentialet som de hydrauliske forhold, forudsætter en yderligere kvantificering af P tabsrisikoen en hydrologisk beskrivelse af afstrømningsforholdene på lavbundsarealer. Der vil være meget store muligheder for synergi mellem N- og P-risikokortlægning og en indsats omkring forbedret beskrivelse af afstrømningsforhold på lavbundsarealer.

### 6.2 Risikokortlægning af brinkerosion

Den seneste forskning har vist, at brinkhældning og vegetationstype er bestemmende for risikoen for brinkerosion, som sker ved vandets erosion i vandløbets brinker. Disse faktorer kan indarbejdes i en kortlægning af risikoen for brinkerosion. I målrettede udlagte randzoner kan man udnytte muligheden for en aktiv tilplantning med træer, som naturligt vokser langs vandløb (f.eks. elletræer). Det vil med stor sandsynlighed på længere sigt reducere jord- og P-tab ved brinkerosion (Kronvang et al., 2010 og 2012).

### 6.3 P udvaskning på sandede jorde

I Holland er der udviklet en simpel mekanistisk model (PLEASE) til estimering af P udvaskning på markniveau fra sandede jorde med høj grundvandsstand. Som input kræver modellen data for P status, vandbalance og jordens P-bindingskapacitet. Disse data er tilgængelige i Danmark, og modellen er blevet positivt evalueret i et pilotstudie i Danmark og Holland mht. en eventuel integration i P-indekset (Van der Salm et al., 2011). Vi foreslår, at man med fordel kan udnytte PLEASE til en forbedret risikovurdering af P udvaskning på sandede lokaliteter efter en begrænset forskningsindsats, der skal fastlægge usikkerheder af modelestimer. Datagrundlaget til dette vil i høj grad være det samme, som er nødvendigt for evalueringen af det aktuelle P-indeks for matriksafstrømning.

### 6.4 Kortlægning af drænastrømning

I den nuværende version af P risikoværktøjet indgår dræning som central transportparameter. Dræning af jorden er dog ikke en indikation for at af-



strømning via dræn er kvantitativt betydende. Analyse af danske drænaftstrømningsdata for 19 mindre systemdrænedede dræn-oplande (jordtype JB5, JB6 og JB7) viser, at andelen af vinternedbør der afstrømmer via dræn varierer mellem 10 og 90%. Der vil i forhold til videreudvikling af P risikoværktøjet således være betydelige perspektiver i udvikling af en operationel model til prædiktion af drænaftstrømning. En sådan indsats er påbegyndt i forbindelse med igangværende udviklingsprojekt (iDRÆN, 2011-2015) og beskrevet nærmere i notat omkring N-reduktionskortlægning (reference). Behovet for at igangsætte en yderligere indsats omkring drænaftstrømning er påpeget i ovennævnte N-reduktionsnotat, og der vil være meget store muligheder for synergi mellem N- og P-risikokortlægning og en indsats omkring drænaftstrømning.

## **6.5 Kortlægning af hydrologisk forbindelse af overfladeaftstrømning i landskabet**

Overfladeaftstrømning er en vigtig transportvej for tab af næringsstoffer fra marker til vandområder. Ofte er landskabselementer, såsom grøfter, læhegn og veje, afgørende for den hydrologiske forbindelse mellem mark og vandområde. Dette tages der ikke højde for i de eksisterende grov-skala modeller. Derfor kan en mere nøjagtig beskrivelse af den rumlige sammenhæng af aftstrømningsprocesser og -veje i landskabet betydeligt forbedre implementeringen af målrettede virkemidler. Den vigtigste styrende parameter for overfladeaftstrømning er landskabets topografi, som i dag kan repræsenteres vha. terrændata med en meget høj opløsning. Derfor vil det nu være muligt præcist at modellere overfladeaftstrømning i landskabet, hvor der tages højde for vigtige terrændetaljer og landskabselementer, der kan have indflydelse på vandets strømningsveje i landskabet. En sådan nyudviklet hydrologisk landskabsmodel vil med stor fordel kunne integreres i P-risikoværktøjet til opgradering af komponenterne for overfladeaftstrømning. Udviklingen kan tilvejebringes ved en koordineret forskningsindsats af danske forskergrupper indenfor landskabshydrologi over en periode af 5 år.

## 7 Budget

Nedenfor vises et budgetoverslag vedrørende de tre aktiviteter, der er nødvendige ifm. en operationalisering af P-risikoværktøjet. Alle budgetposter repræsenterer et overslag og vil nødvendigvis skulle tilpasses efter kravene ifm. et eventuelt projekt til operationalisering af P-risikoværktøjet.

Aktivitet	Tidsforbrug i måneder	Løn- omkostning (KKR) <sup>2</sup>	Driftsomkostning ex. moms, ex. overhead, KKR
Opdatering af P-risikoværktøjet	5,5 TAP + 13 VIP	2500	250
Evaluering af P-risikoværktøjet	33 TAP + 21 VIP	6450	2930
Årlig opdatering af P-risikoværktøjet	1 TAP + 1 VIP	250	15

<sup>2</sup> Der regnes i budgetoverslaget med 150.000 kr. pr. VIP måned og 100.000 kr. pr. TAP måned

## 8 Referencer

Andersen, H.E., Heckrath, G., Jensen, A.L., Kronvang, B., Rubæk, G., Kjær-gaard, C. og Hoffmann, C.C. 2009. Et web-baseret P-indeks som miljøplan-lægningsredskab: del 2. *Vand & Jord* 16:49-52.

Heckrath, G., Andersen, H.E., Rubæk, G., Kronvang, B., Kjær-gaard, C. og Hoffmann, C.C. 2009. Et web-baseret P-indeks som miljøplan-lægningsredskab: del 1. *Vand & Jord* 16:44-48.

Kjær-gaard, 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.

Kjær-gaard, C. and Kristensen, K. 2011. Statistical model to predict in situ phosphorus mobilization in rewetted peat and minerogenic lowland sedi-ments. I: Joint meeting of society of Wetland Scientist, WETPOL and Wet-land Biogeochemistry Symposium. Prague, Tjekkiet.

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

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 Environ. Qual.* 41:304-313.

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

Van der Salm, C. Dupas R., Grant R., Heckrath G., Iversen B.V., Kronvang B., Levi C., Rubæk, G. and Schoumans, O.F.. 2011. Predicting phosphorus losses with the PLEASE model on a local scale in Denmark and the Netherlands. *J. Environ. Qual.* 40:1617-1626.