



# FOSFORRENSNING AF REGNVAND I URBANE MILJØER

## RENSELØSNINGER

Linda Bredahl, Rambøll & Sara Egemose, SDU

**RAMBØLL**

**SDU**   
UNIVERSITY OF  
SOUTHERN DENMARK

RENSNING FOR FOSFOR  
2018-05-08

## HVORFOR FOKUS PÅ RENSNING AF FOSFOR?

- Recipientskvalitetskrav - Så længe miljømålene for recipienten (men ikke direkte krav til P i lovgivningen) opfyldes, er det op til den enkelte kommune at fastsætte, hvordan det bliver opfyldt og dermed at fastsætte det endelige krav for P-indholdet ved en udledning til en recipient
- Fosfor - svær at fjerne.
- Pladsmangel i byen
  - Behov for metoder, der kræver mindre plads end regnvandsbassiner.
  - Behov for løsninger i treatment-trains.
- Behov for at anvende metoder, der effektivt fjerner de små partikler og den opløste del af P-puljen.
- Udvikling inden for brug af filterjord/filtermedier
- Behov for software og standardiserede beregningsmetoder

## RENSEGRADER - EKSEMPLER

Metode/ medie		Bassin, kapacitet: > 250 m3/red.ha				Sand- fiter	Sand- filter m. Al	Adsorp- tions- medie	Filter af stenuld		Beplantet filteranlæg	Syntetisk tilsætning i filterjord		
		Typisk rense- grad /3/ /4/	Typisk rensegrad, BMP /1/ /2/	Konser- vativ typisk rense- grad	Koncen- tration i udløb generelt /2/				Rense- grad /9/	Rense- grad /10/		Rense- grad /11/	Koncen- tration i udløb /11/	Samlede renseffekt for bundfæld- ning og filteranlæg /6/
<b>Rensegrader / Udløbskon- centrationer</b>	Enhed for koncen- tration													
<b>Suspenderet stof</b>	mg/l	70-80%	70-90 %	70%	12 (5-20)	85%							-191 - 429%	
<b>DOC</b>	mg/l						80-90 %							
<b>BOD</b>	mg/l	-	20-40 %	20%	4 (1-8)						97%	< 10	-	
<b>COD</b>	mg/l	-	30-60 %	30%	30 (10-60)								-	
<b>Total Fosfor</b>	mg/l	<b>55- 65%</b>	<b>60-80 %</b>	<b>55%</b>	0.1 (0.05-0.2)	<b>45%</b>	<b>70-90 %</b>	<b>64%</b>	<b>66%</b>	0.33	<b>20%</b>	< 14	<b>-1204 - 36%</b>	0.28
<b>Opløst Fosfor</b>	mg/l	-	<b>50-75 %</b>	<b>50%</b>									<b>-1479 - 43%</b>	0.25
<b>Total Kvælstof</b>	mg/l	30-35%	20-60 %	20%	1.2 (0.7-2)	35%		45%			50%	< 40	-	-
<b>NH3+NH4-N</b>	mg/l										90%	< 5	-	-



## SOFTWARE FOR STOFFJERNELSE

- Generelt svært at opstille en virkelighedstro model for stoftilførsel og stoffjernelse, da de varierer utrolig meget over tid.
- Almen praksis at bruge en forsimplet beregning, med gennemsnitskoncentrationer og -fjernelsesgrader. De varierende koncentrationer og rensegrader vurderes at blive udlignet over tid.
- Afhænger af fx
  - Indløbskoncentration
  - oplandstype
  - regnintensitet og varighed
  - forudgående tørvejrperiode
  - opholdstid i afvandingselement
  - stofform (partikulært/opløst)



# SOFTWARE FOR STOFFJERNELSE

- RegnKvalitet
- ECO Lab
- WDP
- STORM

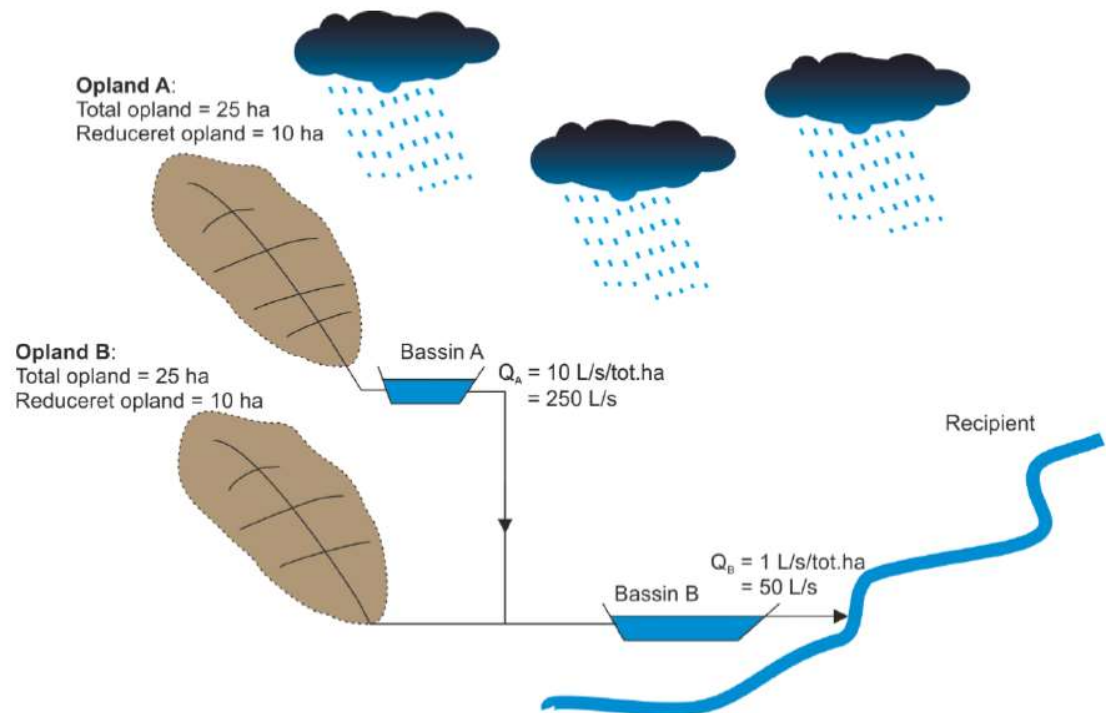
# SOFTWARE FOR STOFFJERNELSE

- RegnKvalitet
- ECO Lab
- WDP – Wet Detention Pond
- STORM

Regnserie/tilløbsvandføring

Konstant sammensætning af indløbsvand

Stoffjernelse efter simpel 1. ordensfjernelsesproces



# SOFTWARE FOR STOFFJERNELSE

- RegnKvalitet
- ECO Lab
- WDP
- **STORM**

Massebalancer

Ingen prædefinerede  
stofparametre - alt  
indtastes

Til mindre oplande –  
udledning i ét punkt –  
vandbalancer

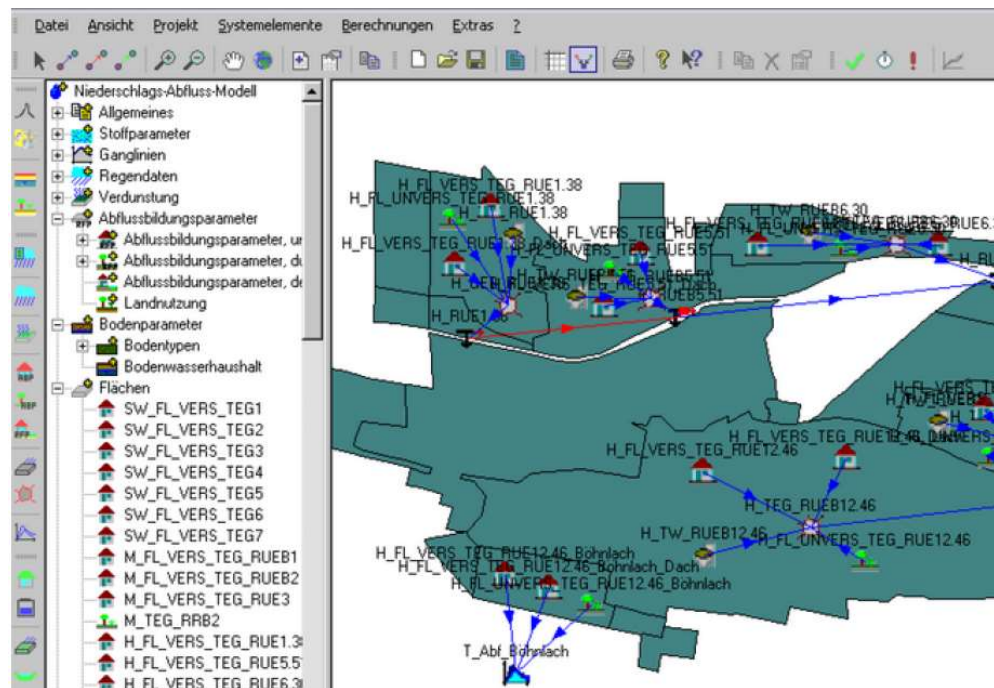
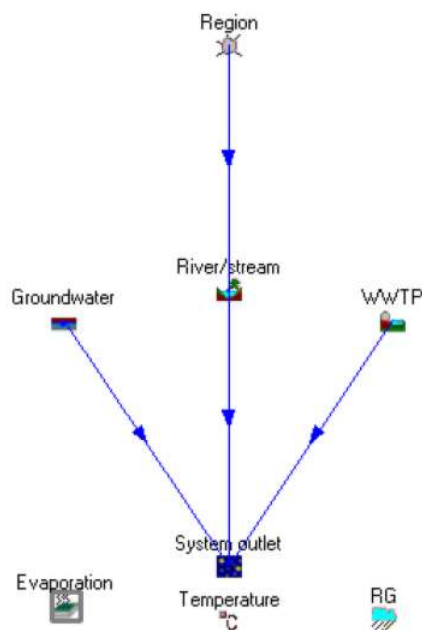


Figure 1-10: System Graphic View in STORM.RWB

# SOFTWARE FOR STOFFJERNELS

- RegnKvalitet
- ECO Lab
- WDP
- STORM
- StormTac
- Infoworks CS
- SuDS Studio
- MUSIC



Lind, J. 2015

Stormwater modelling tools -  
a comparison and evaluation.  
Uppsala University

	StormTac	SuDS Studio	Infoworks CS	MUSIC
<b>Model characteristics</b>				
Systems included	S	S	S,C,W	S
Network	+	-	+++	++
Pollutants	+++	++	+	+
Treatment	++	+++	+	+++
Level of detail	++	+	+++	+
Desktop/Web- application	D	P	D	D
Mathematical basis	Section 2.3.11.2	2.3.14.2	2.3.12.2	2.3.13
Spatial and temporal scale	Semi- distributed	Semi-distributed	Fully distributed	Semi-distributed
<b>Required input</b>				
Input data required to run the model	+++	+++	+	++
Availability of input data	+++	++	+	+
<b>Compatibility and/ or dependence of third-party software</b>				
Necessary programs/add-in modules	+	+	-	-
<b>User friendliness</b>				
Learning period	+++	++	+	+++
Manual	+++	-	++	+++
User experience	+++	+++	+++	(*)
Flexibility	++	++	+++	++
Support	+++	(**)	+++	+++
Forum	-	-	++	++
<b>Obtained results</b>				
Output	++	+	+++	++
Calibration (M/A)	M	-	M	M
Compared to observed data (for default values)	Section 4.2	Section 4.2	Section 4.2	Section 4.2
Compared to each other	Section 4.2	Section 4.2	Section 4.2	Section 4.2
Presentation of results	+	++	+++	++
Uncertainty in predictions	Section 4.2	Section 4.2	Section 4.2	Section 4.2
<b>Model application</b>				
Fields of application	++	+	+++	++
Case studies	+++	++	++	++



## OPTIMALE EGENSKABER I FILTERJORD

Ingen standard for filterjord som sådan  
men de optimale egenskaber er beskrevet...

# OPTIMALE EGENSKABER I FILTERJORD

	<a href="#">Vidensblad 2015 / 10/</a>	<a href="#">Tyske krav ifølge Klikovand / 11/</a> <a href="#">Tyske manuel / 12/</a>
<b>Tykkelse</b>	Filterjordlaget bør være 30-50 cm tykt	Mindst 10 cm tykt lag topjord.
<b>Ledningsevne</b>	$10^{-5}$ m/s - $10^{-4}$ m/s. Justeres ved iblanding af sand.	$10^{-4}$ - $10^{-5}$ m/s ved iblanding af sand.
<b>Blandingsforhold og kornstørrelse</b>	Homogent blandet. Ler (<0,002 mm) og silt (<0,063 mm): 5-10 % (vægtprocent)	En homogen blanding. Et vist lerindhold (3 – 10 %).
<b>Stofparametre</b>	Jorden skal være ren i udgangspunktet Ikke høje mængder fosfor, som let kan udvaskes med regnvandet.	
<b>Organisk stof</b>	Organisk materiale: 1-3 % (vægtprocent) og af så stabil karakter som muligt.	Et vist humusindhold (1 - 3 %)
<b>pH</b>	pH mellem 6,5 og 8, men helst i den lave ende af spektret.	/11/ anviser en høj pH (8,2 ligevægt med kalk) /12/ angiver at pH skal være mellem 6 og 8. Ved tilsætning af kalk, under hensyntagen til de naturlige lokale jordbundsforhold, kan den ønskede pH-værdi på 6 til 8 opnås.
<b>Tilsætninger</b>	En større bindingskapacitet og længere levetid kan opnås ved at iblande stærke 'sorbenter'.	Anvendelse af letopløseligt kalk er ikke tilrådeligt, da dette hurtigt udvaskes som hydrogencarbonat. Hvis f.eks. sand skal inkorporeres som blanding til jorden i et nedsivningsanlæg pga. meget lav permeabilitet, bør der vælges et sandholdigt carbonat.
<b>Oplandskarakteristik</b>	Forholdet mellem vejareal eller parkeringsareal og nedsivningsareal kan variere alt efter det forventede forureningstryk og dybden af jordlaget. Danske eksempler varierer mellem ca. 1:5 og 1:25.	
<b>Dække</b>	Jordlaget skal placeres ved overfladen i anlægget og bør være vegetationsdækket.	

# FORSKNINGSRESULTATER - FILTERTYPER

Materiale	Fordele	Ulemper	Retention	Drift	Levetid	Øvrige kommentarer
Sand	Mest anvendte materiale i DK. Mange erfaringer. Tilbageholder partikler og partikulært P. Billigt	Klotter nemt <sup>5</sup> Uens rensning Ikke god til opløst P	Kornkurven afgør effekt. Bedst i de første år. Der ses alt fra 0-90 % i litteraturen, men også gennemsnitligt 40-60% TP <sup>4</sup> . F.eks. 13-18% af TP og 52-79% af PP <sup>1</sup> ; 40-80% PP <sup>2</sup>	Skal tilsættes og efterfølgende fjernes. Evt. strigles eller beplantes for at undgå klotning.	10-15 år	Anvendes meget varieret geografisk i DK. I nogle forsyninger er det almindelig praksis at lave sandfiltre og andre bruger dem aldrig. Også en del laboratoriestudier
Fe-coated sand	Samme som sand men tilbageholder også opløst P pga. Fe	Infiltrationsraten falder 20-70% <sup>1</sup> Primært lab-forsøg i DK	op til 90% bedre end sand <sup>1</sup>	ukendt	ukendt	Opholdstiden er vigtig
Al-coated sand	Samme som sand men tilbageholder også opløst P pga. Al	Lab-forsøg	Fra <70 til >90% <sup>1</sup>	ukendt	ukendt	Opholdstiden er vigtig Anden variant er Al-tilsætning til indløbsvandet kombineret med sandfilter inden udløb – testet i Life-Treasure
Knust beton	Binder P og tungmetaller effektivt Fjerner partikler Billigt	Høj pH i udløbsvand Uensartet produkt	5,1-19,6 g P/kg <sup>1</sup> 83-96% opl. P og PP <sup>2</sup> , ca. 80% opl. P og PP <sup>3</sup>	Skal tilsættes og fjernes. pH skal neutraliseres i starten	Som sand v. rigtig dimensionering (10-15 år)	Testet i 2 pilotanlæg i DK

## FORSKNINGSRESULTATER - FILTERTYPER

Materiale	Fordele	Ulemper	Retention	Drift	Levetid	Øvrige kommentarer
Skaller og andre kalkprodukter (kalcit/dolomit)	Binder P pga. calcium i materialet Både partikulært og opløst P. Billigt.	Risiko for klotning Risiko for høj pH ved nogle typer Ukendt adsorbtion over lang tid. Ikke altid god adsorbtion. Heterogent materiale	86% TP og 84% opl. P <sup>1</sup> 1-2,5 kg P/m <sup>3</sup> <sup>2</sup> . Andre rapporterer om noget lavere adsorptionsrater	Skal tilsættes og fjernes	Ukendt, men der er regnet på 100 år i testbassinet! <sup>1</sup>	Udført i Life-treasure testbassin i Odense <sup>1</sup> og senere anlæg i Silkeborg Labtests: Arias & Brix 2005 har undersøgt 16 forskellige typer <sup>2</sup> . Derudover mange andre labforsøg bl.a. Stark 2004
Filtermuld	Fjerner både opløst og partikulært stof. Hel eller delvis LAR-løsning.	Valg af filterjorden afgør effektiviteten. Kræver plads	Meget varierende men se bl.a. Cederkvist et al 2016	Pleje af vegetation og overflade	Sandsynligvis 20-50 år, men kendes ikke fra DK. 13-136 baseret på labstudier <sup>1</sup>	Der findes nogle anlæg i DK men ingen kendte langtidsstudier. Metoden stammer fra Tyskland
Olivin og Zeolit	Fe/Mg og Al-holdige mineraler som binder opløst P og som samtidig er filter for partikler Cost-effektive	pH stigning til 10 med olivin, hvilket kræver neutralisering mens zeolit skaber pH-fald til ca. 5 <sup>1</sup> . Materialet tåler dårligt fysisk stress og eroderes nemt <sup>1</sup>	Olivin: 49-98% TP afhængig af opholdstid <sup>1</sup> Zeolit: -2 til 31% af opholdstid <sup>1</sup>	Skal tilsættes og fjernes Neutralisering af udløbsvand	ukendt	Primært labstudier og få pilotanlæg



## FORSKNINGSRESULTATER - FILTERTYPER

Materiale	Fordele	Ulemper	Retention	Drift	Levetid	Øvrige kommentarer
CFH-12	Binder P effektivt. Skal blandes med sand eller andet Ensartet kommercielt produkt	Kun testet i lab og i 1 pilotstudie (bufferzone) Binder kun opløst P og kræver længere opholdstid end det ofte er tilfældet i bassiner	Binder op til 100% <sup>1</sup> eller over 90% <sup>2</sup>	Skal tilsættes og fjernes sammen med at filtermateriale som sand ellers ingen	Ukendt, kommer an på dosis	Jernhydroxider
Vandværks-slam	Jernslam (spildprodukt) fra vandværker Billigt Binder opløst P	Kan allerede have P bundet fra grundvandet Uensartet Binder kun opløst stof Kan indeholde tungmetaller Kun testet i lab	Kun v. opløst P konc. >200 ug/L <sup>1</sup>	Skal tilsættes og fjernes sammen med at filtermateriale som sand ellers ingen	Ukendt, kommer an på dosis	Mange af de internationale studier er lavet ved meget høje P-koncentrationer Et andet alternativ er okkerslam fra okkerfældningsbassiner i vandløb, se også Jørgensen et al 2017

- Fokuseret på danske erfaringer
- Det er korttidsstudier – hvilket er et problem!

## TESTEDE MATERIALER – TIL EVT BRUG I FILTRE

Materiale	Fordele	Ulemper	Retention	Drift	Levetid	Øvrige kommentarer
LDH'er	Binder bl.a. fosfat effektivt. Ensartet syntetiseret produkt.	Primært labforsøg. Skal fremstilles, så dyrere end f.eks. sand	7-82 mg P/g LDH	Ukendt, men skal tilsættes og fjernes	ukendt	Layered double hydroxides
Phoslock	Bentonit coated med lanthan. Binder fosfat. Gode erfaringer fra sørestauring. Ensartet produkt	Dyrere end naturmaterialerne. Meget finpartikulært materiale	Bindingsratioen mellem La og P er 1:1, men Phoslock binder også andre anioner, så bindingsratioen kan være lavere.	ukendt	ukendt	Brugt til sørestauring i udlandet, men kun til labforsøg i Danmark
Aqual-P	Ifølge producenten, vil Aqual-P pga. dens negativt ladede porøse struktur også være i stand til at binde NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .	Upublicerede forsøg på SDU indikerer at Aqual P er mindre pH følsom end rent Al, men der ses dog stadig frigivelse af Al ved højere og lavere pH værdier.	ukendt	ukendt	ukendt	Aqual-P er en zeolit, hvor Aluminium (Al) er ansvarlig for P bindingen.

Opholdstiden er det springende punkt!

Fosforbindende produkt	Maksimal P bindingskapacitet (mg P/g produkt)
Phoslock	10:1
Aqual-P	5:1
LDH	7:1

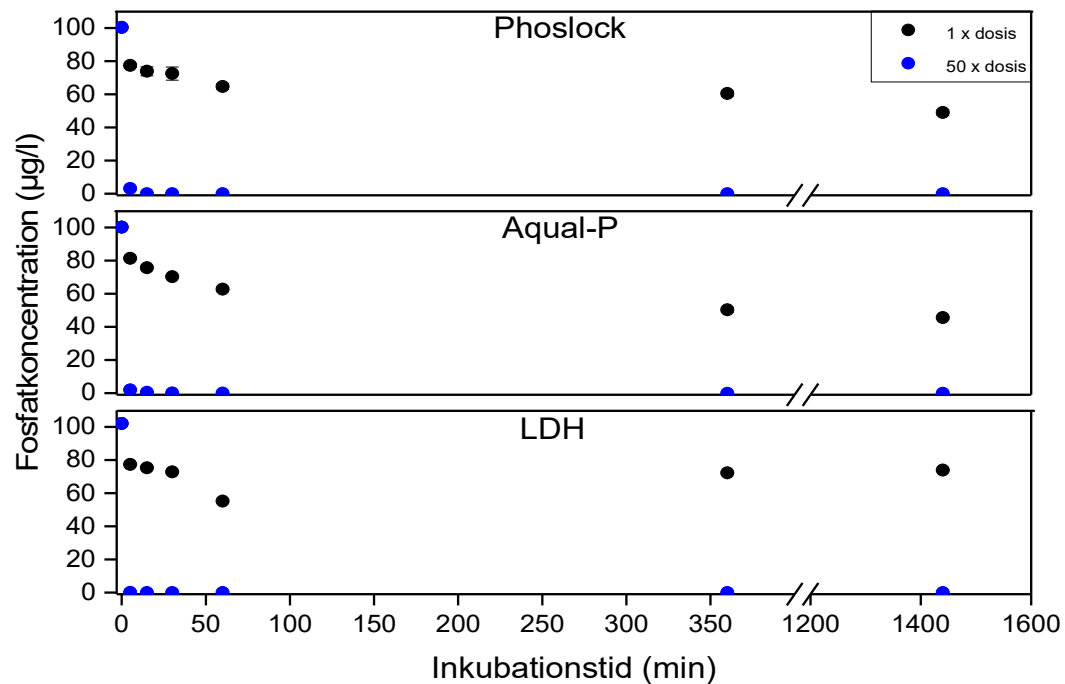
24 timers adsorptionsforsøg

← Kunstigt regnvand

# RESULTATER AF TESTEDE MATERIALER – TIL EVT. BRUG I FILTRE

Ved 1x dosis (simulerer ældre filter) og ved 50x dosis (simulerer nyt filter formentlig underdoseret) i forhold til fosfatmængden i inkubationsrørene

Udgangspunkt på 100 µg/L



## OPSUMMERING

- Mange muligheder eksisterer
- Disse labtest er KUN indledende
- Mangler undersøgelser på tværs
- Mulighed for test af metoder som anvendes på andre felter
- Brug for undersøgelser og test







**Linda Bredahl**  
Seniorkonsulent, M.Sc.  
Klimatilpasning og grøn infrastruktur  
Rambøll Water

Tlf: 5161 8422  
LNDB@ramboll.dk

**RAMBØLL**

**Sara Egemose**  
Lektor  
Syddansk Universitet

Tlf: 6550 7988  
saege@biology.sdu.dk



RENSNING FOR FOSFOR  
2018-05-08