

Koblede afkoblinger

Vilkår for landskabsbaserede afkoblinger af regnvand i det københavnske kloakopland til Harrestrup Å



”At bevæge sig fra en kloakbaseret afvandingsstrategi til en strategi baseret på byens landskab kræver ikke blot samarbejde på tværs af discipliner. Det er også nødvendigt med en god portion mod til at prøve ideer af – for ingen kan se hele vejen fra situationen i dag, hvor stort set alle afleder regnvand til kloak, til en evt. fremtidig situation, hvor afkoblinger er gennemført massivt og vandet håndteres overfladenært og decentralt

Udfordringen er derfor at gå fornuftigt frem, og hverken satse så lidt, at de landskabsbaserede løsninger aldrig når at komme i spil for alle pengene er brugt på konventionelle løsninger, ej heller så voldsomt at vi ikke når at lære af vores erfaringer”

Marina Bergen Jensen, seniorforsker, cand.hort., PhD
Projektansvarlig for forskningsprojektet Black, Blue and Green (2BG)

Tak til

Først og fremmest en stor tak til
Københavns Kommune og
Københavns Energi A/S
for uundværlig sparring undervejs i projektet.

Derudover tak til
Frederiksberg Kommune
Frederiksberg Forsyning A/S

Seniorkonsulent Govert D. Geldof
Landskabsarkitekt og kunstner Herbert Dreiseitl
Dr. Gudrun Beneke
Professor Ellen Braae

Grontmij | Carl Bro
Ingenieurgesellschaft, Prof. Dr. Sieker, MBH
Moe & Brødsgaard
Sven Bech A/S
Uponor
Århus Kommune

1:1 Landskab
Kragh og Berglund
Opland
Witraz Arkitekter
Thing og Wainø
Hanna Rehling, Signe Rabølle, Sine Rauff Schultz
Maiken Zippora Andersen, Karen Traberg Larsen, Karin Sunde Persson,
Rikke Thirrmann Thomsen

der alle har givet specifikke bidrag i processen, der har ført til udviklingen af denne rapport.

Endelig en tak til øvrige 2BG-projektdeltagere, herunder kommuner, forsyningsselskaber, rådgivere og faglige interesseorganisationer, der løbende tilkendegiver deres interesse og engagement i projektet.

Indholdsfortegnelse

Anbefalinger	9
Baggrund	
Er byens landskab et godt supplement til kloakkerne?	15
Udfordringen omkring Harrestrup Å	18
Casestudiet som eksempel på et bedre beslutningsgrundlag for LAR	20
Casestudiets metode.....	20
Analysen	
Almen beskrivelse af det københavnske Harrestrup Å opland.....	30
Kompleksitet som vilkår.....	32
Kan der skabes merværdi af afkoblinger?	33
Hvor skal afkoblingerne placeres for at undgå overløb	36
Simulering af afkoblingens hydrologiske præmisser og konsekvenser.....	37
Vurdering af forureningsforhold.....	43
Økonomiske aspekter	49
Strategiudkast	
Forslag til afkoblingsstrategi for det københavnske Harrestrup Å opland.....	60
Referencer	
Præsentation af de PhD-studerende	

Forord

Nærværende rapport præsenterer de væsentligste resultater af arbejdet med landskabsbaserede afkoblinger af regnvand fra de fælleskloakerede oplande til Harrestrup Å beliggende i Københavns og Frederiksberg kommuner.

Rapporten er udarbejdet af de i alt 8 PhD-studerende med tilknytning til forskningsprojektet ”Black, Blue and Green – integrated infrastructure planning as key to sustainable urban water systems” (2BG), der med hver deres faglighed har bidraget til udviklingen, diskussionen og kvalificeringen af en integreret strategi for landskabsbaseret regnvandshåndtering i det nævnte område.

Projektet fungerer som et fælles case studie og har til opgave at integrere de disciplinære forskningsspor, udveksle viden, metoder og datasæt på tværs af faggrænser og (om end kun på teoretisk niveau) aktivt belyse og afprøve muligheder og metoder for landskabsbaseret regnvandshåndtering i en dansk kontekst.

Det skal understreges, at der er tale om et ”høringsudkast”, der kan danne grundlag for en videre diskussion om mulighederne for landskabsbaseret regnvandshåndtering i Københavnsområdet.

2BG-gruppen anbefaler

Med udgangspunkt i undersøgelsen præsenteret i denne rapport har 2BG-gruppen følgende generelle anbefalinger vedrørende planlægning og implementering af landskabsbaseret regnvandshåndtering til aflastning af fælleskloakker i eksisterende byområder:

- Arbejd sammen. Vand kender ikke til administrative grænser. Husejere og naboer skal arbejde sammen ligesom kommune og forsyningsselskab skal være fælles om udviklingen af løsninger og fordeling af ansvar
- Kortlæg interesser og indarbejd dem i projektet, for derigennem at sikre en social bæredygtig udvikling af projektet.
- Arbejd med en holistisk forståelse af byens vandsystem på tværs af skala
- Forstå betydningen af det hydrologiske vandkredsløb. Indsaml data omkring det hydrogeologiske system som styrer et evt. sekundært vandspejl
- Undgå overdimensionering ved at tænke i sammenhængende systemer af magasiner og overløb
- Arbejd med stedsspecifikke løsninger
- Søg at integrere regnvandshåndtering i det eksisterende bymiljø uden at kompromittere eksisterende funktioner
- Søg efter at skabe synergi mellem regnvandshåndtering og øvrige planlægningsinitiativer. Det kan f.eks. være fremme af sammenhængende grønne strukturer, sikre skoleveje eller mere attraktive byrum
- Skab (så vidt muligt) simple og billige løsninger, der kan implementeres bredt
- Vær opmærksom på, at vadier, infiltrationsplæner og regnbede generelt kan være et omkostningseffektivt alternativ i fælleskloakerede områder
- Arbejd med en kort og lang tidshorisont. F.eks. med en overordnet strategi, der sikrer, at enkelte tiltag, der implementeres på kort sigt ikke forhindrer større, mere holistiske tiltag på længere sigt
- Brug en trinvis implementeringsstrategi, der starter med de mest oplagte muligheder (f.eks. afkobling af skoler og boligforeninger) og samtidig skaber et erfaringsgrundlag for senere mere komplekse langtidsløsninger (f.eks. inkluderende større veje)
- LAR er et infrastruktursystem, som skal tænkes på linie med vand-, varme- og trafikinfrastruktur
- Regulering bør baseres på enten en afgift eller et tilskud, der er afhængigt af mængden af vand, der håndteres
- En afgift eller tilskudsordning bør suppleres med informationskampagner
- Acceptér at planlægningen er en iterativ proces mellem implementering og evaluering
- Vælg så vidt muligt overfladenære infiltrationsløsninger, som giver mulighed for at benytte en veldefineret filterjord til rensning af vandet

- Aftal med grundejere, at der ikke benyttes pesticider og vejsalt, hvor der nedsives eller udledes regnafstrømning

Specifikke anbefalinger til Københavns Kommune og Københavns Energi, såfremt de ønsker at gå videre med strategien:

- Inviter repræsentanter fra forskellige afdelinger, der har andel i implementeringen af LAR-løsninger, og skab i fællesskab grundlaget for en samlet strategi for LAR. Evt. med udgangspunkt i nærværende rapport
- Vælg en ankerperson, eller et sekretariat for LAR-løsninger, der kan formidle og koordinere indsatsen
- Undersøg de juridiske muligheder for implementering og regulering
- Vær opmærksom på, at LAR skaber ikke-prisfastsatte gevinster som bør medregnes i en evt. beslutningsproces
- Formulér og specificér sammenhæng mellem LAR og øvrig planlægning med henblik på politisk behandling, f.eks. via spildevandsplanen
- Gennemfør pilotprojekter, der tager udgangspunkt i kommunens strategi og målsætninger. Mulige pilotprojekter kunne f.eks. være afkobling af Vanløse Skole, Voldparken og Ådalsvej, som berøres i denne rapport
- Sammenhold mulighederne for landskabsbaseret regnvandshåndtering med en eventuel revitalisering af Harrestrup Å og den mulige åbning af Grøndalsåen. Dette gælder især afprøvning af muligheder for ”end-of-pipe”-rensning og Plan B-løsninger
- Udarbejd program for involvering. F.eks. ved at gennemføre en informationskampagne, der skaber fokus på emnet og kommunens engagement i opgaven
- Lav en informationsplatform, f.eks. hjemmeside, der præsenterer information om muligheder og begrænsninger for LAR i kommunen. Kan f.eks. indeholde kort over nedsivningsområder, tekniske beskrivelser for udførelse og information om økonomiske incitamentter for afkobling

Nedenfor angives nogle af de emner, der kræver nærmere undersøgelser for en mere præcis forståelse af muligheder og begrænsninger ved landskabsbaseret regnvandshåndtering:

- Implementering af pilotprojekter med monitorering af dimensioneringsforhold, sæsonvariationer, grundvandsforhold, vandkvalitet, sammenhæng mellem vand og jord, æstetisk fremtræden, drift og vedligeholdelse. F.eks. som fase-opdelt program med dokumentation og videndeling
- Mere detaljerede undersøgelser af filterjord som renseforanstaltning, herunder opbygning, effektivitet og levetid.
- Bedre dokumentation af regnafstrømningens sammensætning, særligt de mange miljøfremmede organiske stoffer
- Mere detaljerede undersøgelser af regnvandsdynamikkens integration i landskabsarkitekturen – gerne udviklet i tæt dialog mellem ingeniører og arkitekter
- Mere detaljerede undersøgelser af plantevalg til LAR-elementer.

- Indsamling af flere eksisterende data med henblik på at forbedre den hydrogeologiske model:
 - geotekniske borer med tilhørende geologiske prøvebeskrivelser og pejlinger
 - digitalisering af byggesager og spildevandssager fra kommune-arkiv med henblik på udredning af brugen af omfangsdræn
 - inddragelse af TV-inspektioner fra kloakker med henblik på at lokalisere områder med højtliggende grundvandsspejl i form af eventuelle problemer med indsvivende grundvand gennem utætheder
- Indsamling af nye data med henblik på at forbedre den hydrogeologiske model:
 - Etablering af korte borer (<15 meter) på udvalgte lokaliteter med henblik på geologisk prøvebeskrivelse og kontinuert monitoring af det sekundære grundvandsspejl
 - Interviews af lodsejere med henblik på kortlægning af eventuelle problemer med indsvivning af grundvand
 - Indhentning af infiltrationstest i jorde spredt i oplandet
 - Udførelse af geofysiske målinger (MEP) med henblik på kortlægning af sand- og lerforekomster i den terrænnære (<20 meter) lagserie.
- Forbedring af værktøjer til udveksling af data mellem byplanlæggere og hydrologer (GIS og hydrogeologisk model)
- Mere detaljerede undersøgelser af interaktionen mellem afkoblingsløsninger og deres indflydelse på belastningen af kloaksystemet (f.eks. GIS og hydraulisk model)
- En afdækning af de velfærdsøkonomiske gevinster ved landskabsbaseret regnvandshåndtering
- Undersøgelse af totaløkonomi (anlæg, drift, levetid) for LAR-systemer i sammenligning med konventionelle afvandingssystemer
- Belysning af muligheder for landskabsbaseret regnvandshåndtering i den historiske bymidte
- Evt. undersøge mulighederne for dyb infiltration, der by-pass'er øverste lavpermeable jordlag.

Baggrund

Er byens landskab et godt supplement til kloakkerne?

København står som andre danske byer over for en udfordrende opgave med at håndtere byens vand:

- Der skal håndteres mere og kraftigere nedbør på grund af klimaforandringer og fortætning af byen, bl.a. fliser i forhaven;
- EU skærper tonen i forhold til byens miljøbelastning og beskyttelse af grundvandet
- Byens borgere formulerer stadigt tydeligere ønsket om en by med et sundt og attraktivt bymiljø, ikke mindst ønsket om synlige og tilgængelige vand-elementer.

I 2BG-projektet (www.2BG.dk) vurderes hvilken rolle byens landskab, dvs. byens jord, vegetation, terræn og faste overflader, kan spille for regnvandshåndteringen i områder, hvor den eksisterende kloakkapacitet ikke slår til. Ved at forbruge, forsinke, nedsive og fordampe en andel af regnafstrømningen kan presset tages af kloaknettet, der dermed har større chance for at følge med og undgå overløb. Når man skal vurdere den landskabsbaserede afvandings potentiale som alternativ til udvidelse af den konventionelle kloakkapacitet bør man, udover de rent kvantitative betragtninger, se på mulighederne for at kontrollere regnafstrømningens kvalitet og for at skabe merværdi af løsningerne i en bredere bymæssig forstand. Landskabsbaserede afvandingsløsninger involverer uundgåeligt en række aktører, og dermed stiger såvel den organisatoriske kompleksitet som udfordringen med at forstå aktørernes ønsker og bekymringer, og dermed muligheden for at påvirke aktørernes implementeringsadfærd.

Projektgruppen fokuserer på fælleskloakerede områder, for her er problemerne med kloakoverløb størst og frihedsgraderne færrest.



Figur 1. For lille afvandingskapacitet fører til to typer af problemer: 1) kloakvand kommer op af de forkerte steder, f.eks. i kældrene i private hjem, eller på gaderne, hvor vandet dels kan komme op af kloakken, eller regnvandet ikke kan løbe ned fordi kloakken er fyldt. 2) for mange aflastninger, hvilket betyder at blandingen af regn og almindeligt spildevand sendes urensset direkte til et vandløb.

Hvis byens landskab kan være en del af løsningen i de fælleskloakerede områder, der typisk befinder sig i byens centrale områder, kan det i princippet være det alle vegne, også i separatkloakerede områder og i nye byområder. Projektets mål er at skabe et bedre besluningsgrundlag for et

eventuelt dansk paradigmeskifte, hvor de gammelkendte og velafprøvede kloakbaserede løsninger erstattes af, eller – hvilket sikkert er mere optimalt – suppleres med løsninger baseret på lokal afledning af regnvand (LAR).



Figur 2. To blandt flere mulige løsninger til imødekommelsen af mere afvandskapacitet omfatter (til venstre) større rør og (til højre) aktivering af byens landskab for tilbageholdelse, nedsivning og fordampning af regnvand.

Som eksempelområder er valgt Odense og København. Arbejdet i Odense blev gennemført vinteren 2007/2008 og havde fokus på problemer med kloakoverløb i Skibhuskvarteret og Bolbro-området. Resultatet kan downloades fra 2BG-projektets hjemmeside, www.2BG.dk.

Nærværende rapport kigger på det københavnske kloakopland til Harrestrup Å, hvilket omfatter bydelene Husum, Brønshøj, Vanløse og det vestlige Valby, svarende til ca. 1/6 af Københavns Kommunes areal. Når det regner kraftigt i disse områder udledes urensset spildevand direkte til Harrestrup Å, fordi kloaksystemet ikke er stort nok til at sende al vandet gennem Damhusåens Renseanlæg. På grund af disse kloakoverløb fra det vestlige København, tillige med overløbene fra andre kommuner langs Harrestrup Å, kan der ikke opnås badevandskvalitet i Kalveboderne, som åen udmunder i.



Figur 3. Udsigt fra ”Bjerget” ved Kalveboderne over Kystagerparken i Hvidovre. Hvis kloakoverløbene til Harrestrup Å kan komme under kontrol, kan Valbyparken skifte navn til Valby Strandpark, for da kan det sydlige København få en strand.

Hvis bylandskaberne skal spille en rolle i eksisterende by handler det i praksis om at hustagenes nedløbsrør skal afkobles fra kloakken og regnvandet i stedet håndteres i f.eks. folks egen have. Det kan også betyde at vejenes nedløbsbrønde skal blændes og vandet i stedet f.eks. nedsives i en rabat, eller ledes til et grønt område. Elementer som grønne tage, permeable belægninger, og tanke eller bassiner til opsamling og forsinkelse af regnvand kan også bringes i spil.

Udfordringen omkring Harrestrup Å

"I København har vi investeret fornuftigt over årene og har ikke et efterslæb i kloakinvesteringer. Vi har ingen problemer med oversvømmede kældre eller veje, og er generelt godt kørende. Der er dog to områder hvor vi stadig har udfordringer.

For det første er der mange overløb til Harrestrup Å/Damhusåen fra de fælleskloakerede områder i Husum, Brønshøj, Vanløse og Valby. Det er ikke godt for åen – den kan aldrig få en normal biologi, hvis ikke overløbene kommer under kontrol og reduceres kraftigt. Kalveboderne, som åen løber ud i, kan desuden kun opnå badevandskvalitet, hvis overløbene stoppes. Der ligger en tværkommunal plan for, hvordan overløbene kan komme under kontrol ved at grave bassinledninger ned langs åen. Den løsning er dyr, og vi vil gerne prøve at finde en løsning, der er billigere og mere bæredygtig, hvis det overhovedet er muligt, og i stedet klare problemerne ved hjælp af LAR. Det vand, der ledes til kloakkerne, bør være vand, der skal renses på det centrale renseanlæg, det kan være fraktioner af regnvandet, men først og fremmest spildevandet.

Den anden ting, vi bekymrer os om, er hvordan vi skal følge med klimaændringerne. Hele byen er fælleskloakeret, og selv om kloakken i dag kan følge med, vil der helt sikkert opstå problemer, hvis nedbørsmængderne stiger med 30 – 40 %. I fald LAR-løsningerne kan implementeres i takt med at klimaændringerne slår igennem, kan københavnere spare rigtig mange penge – måske i størrelsesordenen 5 – 10 milliarder kroner. Det er også interessant, at hvis der kan kobles så mange tage og veje af fælleskloakken, kan problemerne med overløb til Harrestrup Å/Damhusåen reduceres markant. Det vil gøre behovet for de konventionelle løsninger, dvs. store ledninger og bassiner, mindre.

Vi erkender, at vi alene er en af aktørerne i gennemførelsen af mere bæredygtige løsninger. Grundejeren er den væsentligste aktør i en mere bæredygtig forvaltning af regnvandet, ligesom alle relevante kommunale myndigheder er stærke spillere. Uden dette brede samarbejde kan løsningerne ikke realiseres."



Niels Bent Johansen
Udviklingschef
Vand & Afløb
Københavns Energi A/S

”København har nu en stærk klimaplan, der ligesom de omfattende miljømål København tidligere har vedtaget, er med til at sætte København på landkortet. Vi skal være Europas førende miljøhovedstad i 2030. Vi har ikke kun fokus på reduktion af CO2-udledningen, men også på klimatilpasning omkring de intensive nedbør, vi har set de senere år. Vi er positive omkring Lokal Afledning af Regnvand – vi har set mange eksempler fra udlandet og er parat til at støtte flere forsøg i København. Der er afsat penge til at betale folk tilslutningsbidraget tilbage hvis de ønsker at udtræde af kloakfællesskabet for regnvand, og til at demonstrere hvordan LAR-løsninger kan realiseres. Det er vigtigt at kvaliteten af det vand der ledes til grundvand og recipienter er god, - rene vandmiljøer har høj prioritet. Hvis vejvand skal håndteres lokalt skal det først renses. Vi synes også det er interessant at LAR kan være en løftestang for byens udvikling på en række andre områder end det rent afledningsmæssige. Kan vi få en mere attraktiv by med stærke blå og grønne strukturer, der samtidig forbedrer de rekreative områder og bidrager til en øget biodiversitet, er der meget at vinde. Hvis LAR-løsningerne skal anvendes i større udstrækning, er det nødvendigt at tilpasse den kommunale planlægning og sagsgang til de nye koncepter. For at tilpasningen kan finde sted er det nødvendigt, at medarbejdere fra de fagområder (byplanlæggere, vejingeniører, byggesagsbehandlere, parkforvaltere, spildevandsingeniører, miljøforvaltere) der er involveret i sagsbehandlingen, får et godt kendskab til LAR-løsningerne og deltager i deres implementering indenfor deres arbejdsområde. I forbindelse med implementeringen af LAR i Københavns Kommune, er der nedsat en tværfaglig arbejdsgruppe. For at sikre at kendskabet til LAR-løsningerne udbredes, har arbejdsgruppen udarbejdet en håndbog med LAR-metoder, som udgør materialet i et undervisningsforløb, hvor medarbejderne introduceres i LAR-metoderne. Efterfølgende inddrages medarbejderne i udarbejdelsen i procedurer, der sikrer, at LAR-metoderne inddrages i den kommunale sagsbehandling.”

Lykke Leonardsen
Områdechef
Center for Park og Natur
Teknik- og Miljøforvaltningen
Københavns Kommune



Casestudiet som eksempel på et bedre beslutningsgrundlag for LAR

I case-studiet omkring afkoblinger i det københavnske opland til Harrestrup Å bidrager 2BG-projektets 8 PhD-studerende ud fra hver sin faglighed til at skabe en bedre forståelse af begrænsninger og muligheder ved landskabsbaseret regnvandshåndtering. I fællesskab formuleres principper for metodens evt. udbredelse og håndtering af usikkerheder. Gennem eksempler illustreres hvordan løsningerne kan se ud i praksis, og via et sæt anbefalinger videregiver gruppen de bedste råd for en evt. implementering. Det overordnede formål er at give et eksempel på et godt beslutningsgrundlag for implementering af LAR i stor skala. I beslutningsgrundlaget inddrages grundvand-, jordbunds- og terrænforhold, det eksisterende kloaknet, forventede krav til vandets kvalitet, samt mulighederne for at indpasse løsningerne på en god måde i byen, herunder sikre en fornuftig plan for beskyttelse af grundvandet samt håndtering af ekstremregn (Plan B). Samtidig berøres faktorer af betydning for den praktiske implementering, f.eks. anlægsøkonomi, samt muligheder for at påvirke vand-afledningens adfærd gennem afgiftsregulering eller via information, holdningspåvirkning m.v.

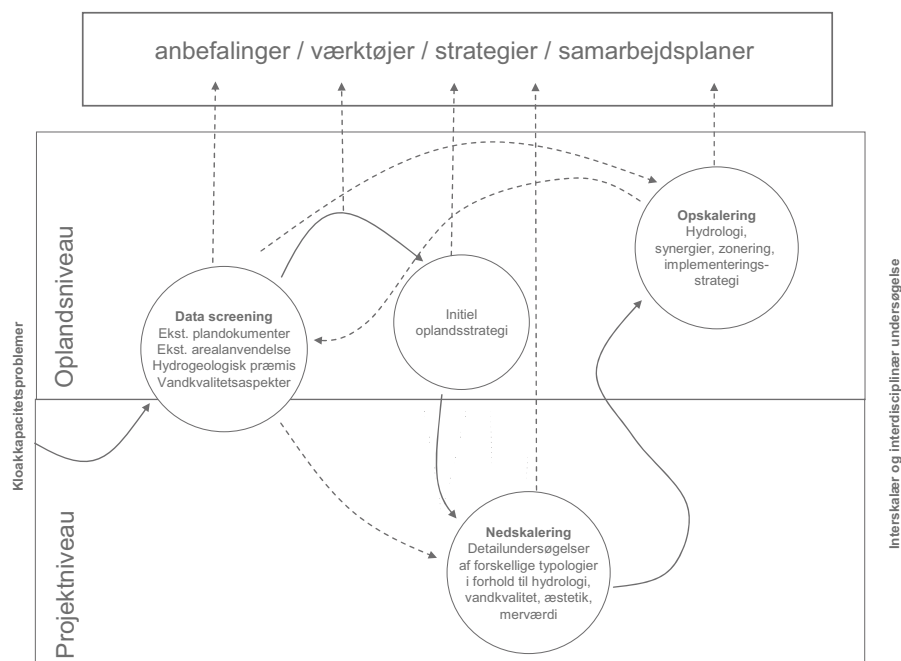
Casestudiets metode

Arbejdet med landskabsbaseret regnvandshåndtering er forbundet med et relativt beskedent erfaringsgrundlag. Mange værktøjer og teknologier kendes endnu ikke, ligesom mange interesser, traditioner og fagligheder skal mødes for at finde frem til en realiserbar løsning.

På opfordring af konsulent Govert Geldof, der har mange års erfaring med nytænkende afvandingsprojekter, anskues projektet som et ”wicked problem” (Conklin, 2006). Hermed forstås, at problemet ikke kan løses ”som vi plejer” i et lineært forløb med dataindsamling, analyse, løsningsstrategi og implementering. Snarere er der tale om en kontinuert, iterativ proces, hvor hver foreløbige løsning gør os klogere på problemområdet som helhed, og hvor hvert tentative svar er et input til problemanalysen. Ved projektets opstart og flere gange i løbet af casestudiet er der afholdt workshops med repræsentanter for Københavns Kommune og Københavns Energi. Midtvejs i projektet afholdtes desuden workshop med repræsentanter for de øvrige 2BG-kommuner, nemlig Greve, Odense og Århus.

Ud fra en forventning om, at dispositioner på oplandsniveau bestemmer muligheder og begrænsninger for håndtering af regnvand på den enkelte matrikel, og modsat, at detailundersøgelser har indflydelse på forståelsen og afprøvningen af overordnede greb, er undersøgelsen gennemført i en iterativ proces på tværs af rumlig skala.

En screening af eksisterende kortgrundlag og plandokumenter kombineret med første grundvandssimulering leder til udviklingen af en første initielle oplandsstrategi eller ”rammeplan” for mulige løsninger (figur 4).



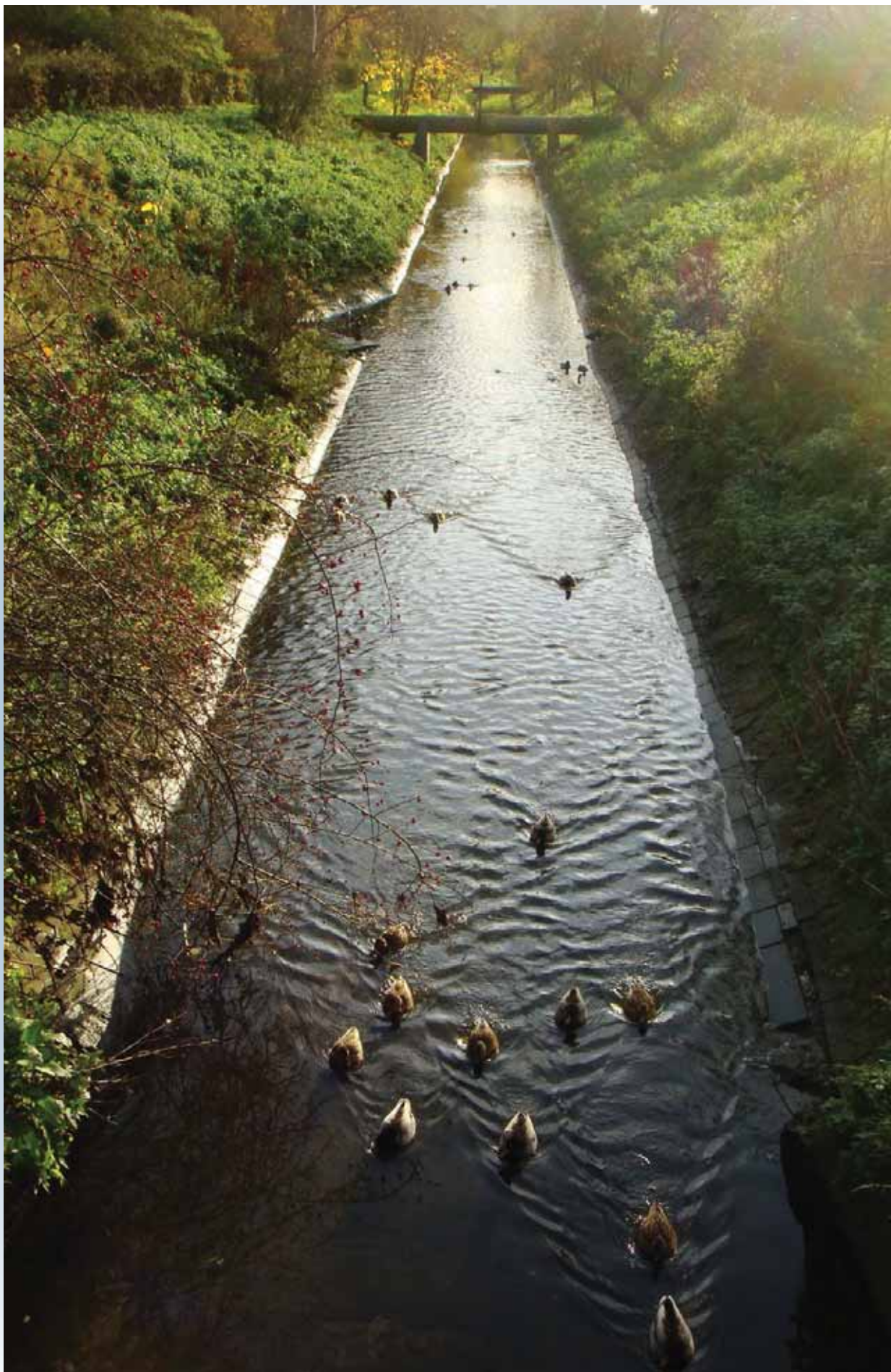
Figur 4. Illustration af arbejdsmetode med iteration, delundersøgelser- og resultater og feed-back funktioner. Udfordringen med at anvise en LAR-løsning for det københavnske opland til Harrestrup Å vist som et forhekset problem (a wicked problem), hvor begrænsninger og muligheder afsløres gradvist ved spring mellem forskellige skalaer og tilbagevendende loops mellem fagligheder i takt med at ny forståelse genereres.

Detailstudier af repræsentative områder gennemføres primært ved brug af landskabsarkitektens og afløbsingeniørens faglighed. Muligheder og begrænsninger identificeret på projektniveau, i kombination med mere detaljerede geo-hydrologiske modelberegninger, leder tilbage til en revurdering og tilpasning af den overordnede strategi på oplandsniveau. Parallelt belyses miljøkemiske, økonomiske og sociale aspekter, og ved workshops undervejs flettes de generelle retningslinjer sammen med de stadigt mere specifikke strategier.

Metoden afspejler dels udviklingen og afprøvningen af en samarbejdsorganisation, der søger at facilitere dialog, iteration og feed-back mellem discipliner og skalaniveauer, dels søger at udvikle og afprøve en række værktøjer til udveksling af data på tværs af fagområder.

Sammenhængen mellem data screening, oplandsstrategi og detailstudier er cyklisk og repræsenterer et loop, der kan gennemføres igen og igen af kommune og forsyningsvirksomhed. Efterhånden som afkoblinger finder sted og nye metoder og resultater vinder frem vil de føde modellen med ny information.

Analyser



Harrestrup Å



Bækkeskovvej mod Vanløse



Grøndalsparken



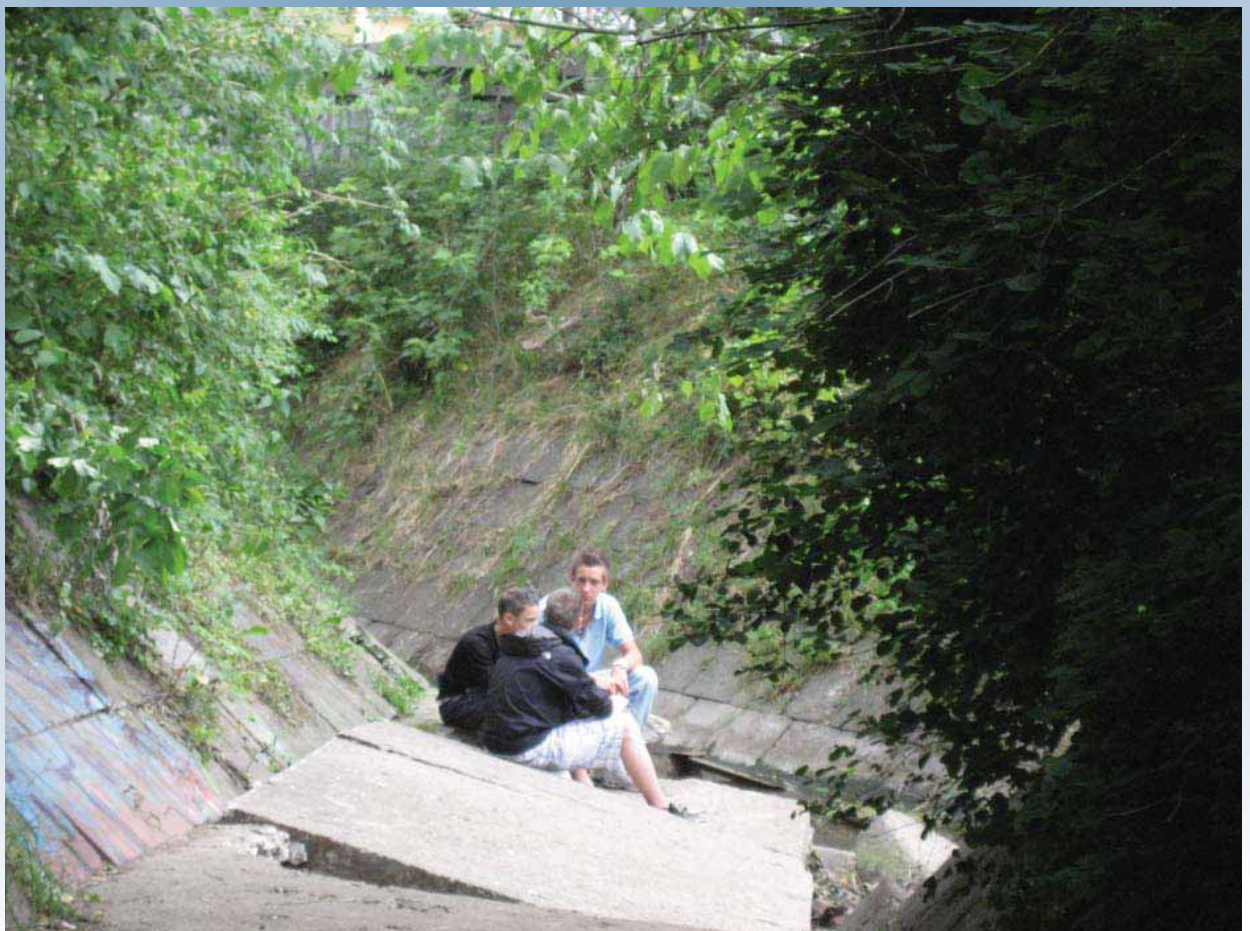
Ålekistevej



Ranbølvej



Harrestrup Å ved Damhussøen



Tilløb til Harrestrup Å fra overløbsbygværk



Ålekistevej



Hanstholmvej



Damhussøen



Husum Skole

Almen beskrivelse af det københavnske Harrestrup Å opland



Figur 5. Afgrænsning af kloakoplande i Københavns og Frederiksberg kommuner, der har overløb til Harrestrup Å. Harrestrup Å løber fra nord mod syd langs den vestlige oplandsgrænse, og passerer Damhussøen før udmunding i Kalveboderne, der ses nederst i midten af billedet. © Google Earth.

Geografisk afgrænsning

Det betragtede caseområde ligger umiddelbart øst for Harrestrup Å og omfatter bydelene Husum, Brønshøj, Vanløse og det vestlige Valby. Området er blandt de inderste og ældste forstadsbebyggelser i København.

Arealanvendelse

Bydelene er primært boligområder, især findes mange enfamiliehuse. En række større indfaldsveje og jernbaner gennemskærer og opdeler området. Ser man på det befæstede areal fordeler det sig med 25 % centralt beliggende enfamiliehuse, 22 % tæt by og 20 % veje og jernbaner. De resterende godt 30 % fordeler sig med énfamiliehuse tæt på lavtliggende grønne områder, karrébebyggelser, åbne-høje boligblokke, erhverv, rækkehuse, grønne områder, offentlige institutioner og byomdannelsesområder.

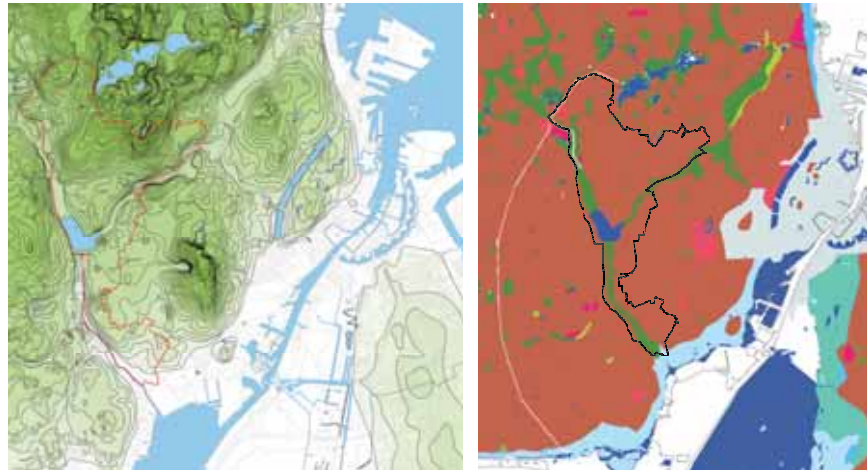
Grøn struktur

Vestvolden, Damhusengen, Grøndalsparken og Vigerslevparken danner et stort og sammenhængende landskabsstrøg fra Kalveboderne i syd til Utterslev Mose i nord. Områderne ligger lavt og er primært historiske vådområder, med Harrestrup Å, Grøndalsåen, Damhussøen og

Damhusengen som de væsentligste landskabselementer. Almene boligbyggerier er generelt udlagt med større grønne friarealer, ligesom haverne omkring de mange énfamiliehuse bidrager til en generel oplevelse af boligområderne som grønne og frodige.

Terrænforhold

Den nordlige del er karakteriseret ved svagt hældende terræn fra nord mod syd (fald på 20 m over 1700 m, svarende til 1,2 % i gennemsnit) og med en relativt stor afstand til øverste grundvandsspejl (ca. 2 meter i en vintersituation), mens området syd for Damhussøen (vestlige Valby) er relativt fladt og med mere terrænnær grundvandsstand.

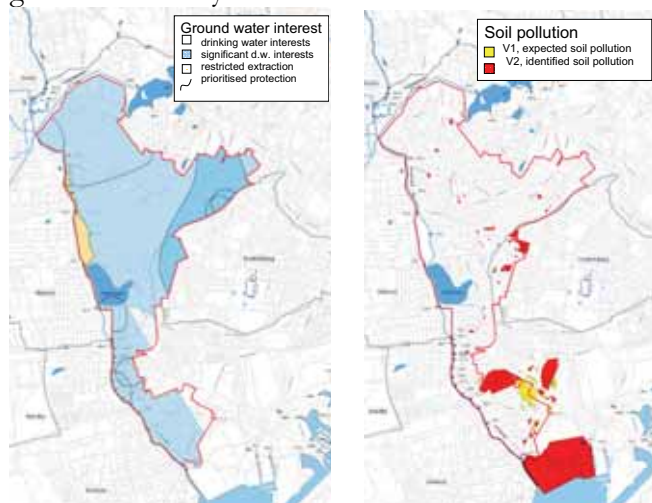


Figur 6. Til venstre: Topografi med 1 m højdekurver (KK, 2003). Til højre: Jordtyper (brun: moræneler, grøn: ferskvandsgytje, pink: smeltevandssand) (GEUS, 2000).

Hydrogeologiske forhold

Området er domineret af lavpermeabel moræneler, hvilket skaber et sekundært terrænnært grundvandsmagasin. I lavninger findes områder med ferskvandsgytje.

Drikkevandsinteresser forekommer i det meste af området. Der er særlige drikkevandsinteresser i nordøst og en prioriteret indsats for grundvandsbeskyttelsen i nordvest.



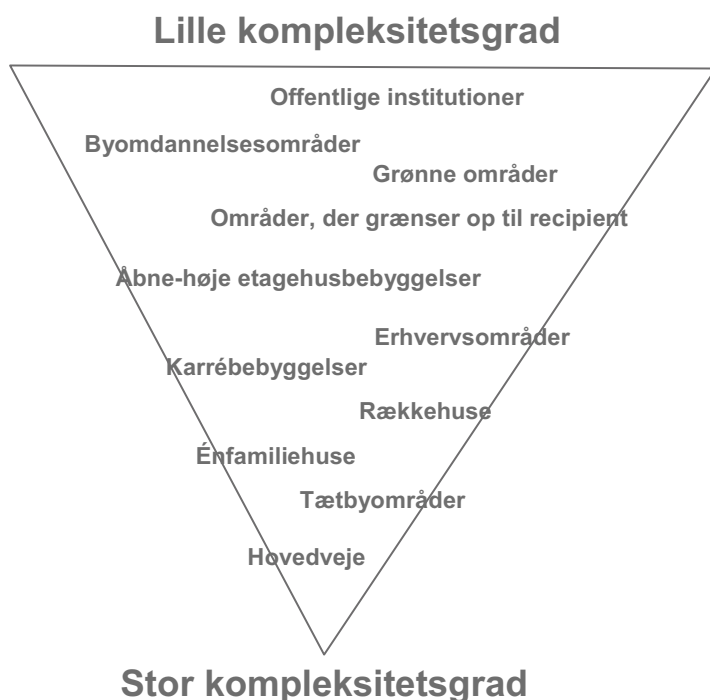
Figur 7. Til venstre: Grundvandsinteresser (lyseblå: drikkevandsinteresser og særlige drikkevandsinteresser) (KK, 2005). Til højre: Jordforureninger (gul: videnniveau 1, rød: videnniveau 2) (KK 2009a, FK 2009).

Forureningsforhold

Jordforurening knytter sig særligt til tidligere industrigrunde (gasværker i Valby og på Frederiksberg, samt losseplads ved Kalveboderne), mens den store trafikintensitet langs hovedindfaldsveje øger forureningstrykket på det afstrømmende regnvand. Aktuelle erhvervsformål knytter sig til lagerfunktioner, varehussalg og enkelte tankstationer (syv E-områder i alt). Medicinalvirksomheden Radiometer i Husum er eneste rammeområde i oplandet, der er klassificeret som industri (J2) (KK, 2009b).

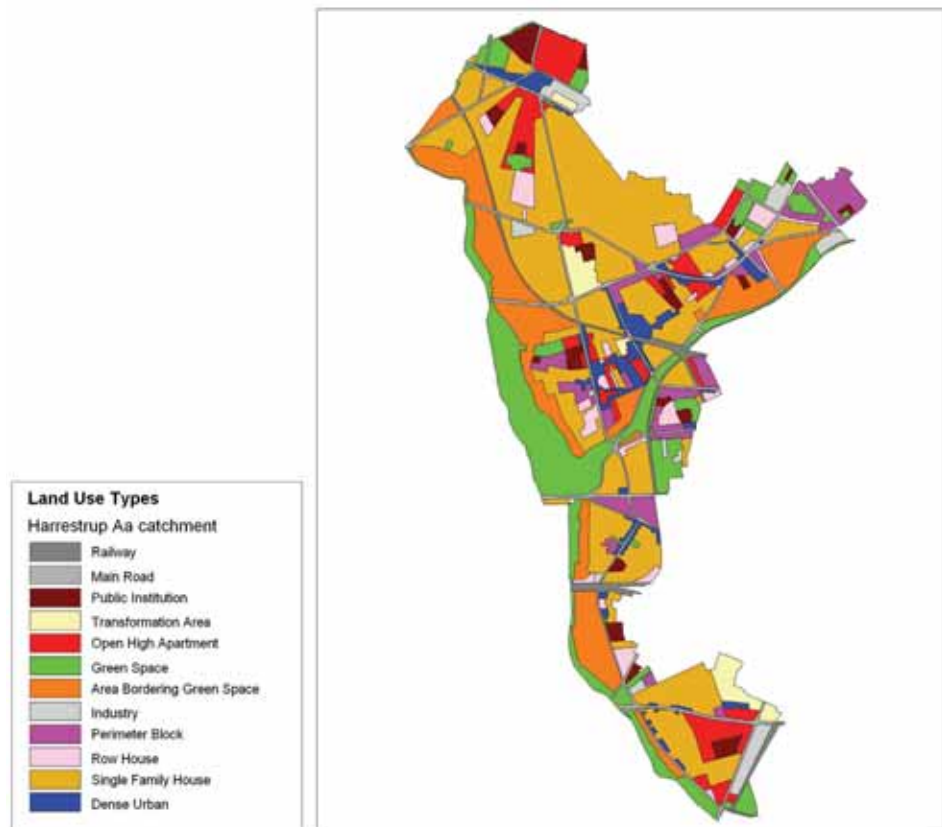
Kompleksitet som vilkår

Ud over ovenstående terræn-, forurenings- og hydrogeologiske forhold repræsenterer forskellige arealtyper i byen en anden dimension som ramme for afkoblinger. Det er nemlig ikke lige nemt at afkoble forskellige arealer i byen. Graden af kompleksitet relaterer sig blandt andet til forholdet mellem befæstede og ubefæstede arealer, forureningsgrad, erfaringsgrundlag, ejerstruktur og ikke mindst antallet af aktører, der skal involveres i processen. Offentligt ejede bygninger, områder med få interessenter (så som boligforeninger), og områder under omdannelse forventes at være relativt nemme at afkoble, mens større veje og tætte byområder er forbundet med en højere grad af kompleksitet i forbindelse med lokal afledning af regnvand.



Figur 8. Illustration af forskellige arealanvendelsestyper ordnet efter en gradient af forventet kompleksitet forbundet med afkobling. Let øverst, svært nederst.

Flere af de nemmere arealtyper kan umiddelbart afkobles. Kommunen kan spille en aktiv rolle for eksempel ved at indtænke landskabsbaseret regnvandshåndtering i tilknytning til områdefornyelser, byomdannelser eller renovering af offentlige ejendomme. Mere komplekse typologier kræver længere tidshorisonter.



Figur 9. Oversigtskort med angivelse af arealanvendelse.

Ved introduktion af en afkoblingsstrategi i stor skala kan det være hensigtsmæssigt at starte med massive afkoblinger af de relativt nemme områder. Pilotforsøg i de mere komplekse arealtyper kan bidrage til at monitere, evaluere og forbedre (model)værktøjer og (rengøring)teknologier som over tid kan bidrage til, at massive afkoblinger også kan finde sted i områder med en højere grad af kompleksitet.

Kan der skabes merværdi af afkoblinger?

Behovet for øget afvandringskapacitet og forbedring af vandkvaliteten i Harrestrup Å og Kalveboderne er knyttet til meget store anlægsinvesteringer. Kan disse investeringer tænkes sammen med andre udfordringer og målsætninger i Københavns Kommune, så der skabes størst mulig samfundsmæssig gevinst?

Mulige synergier er belyst og udviklet på baggrund af en screening af plandokumenter (KK 2009c, 2009d, 2008a, 2008b, 2003 m.fl.), samtaler med repræsentanter fra Københavns og Frederiksberg kommuner, Københavns Energi og Frederiksberg Forsyning, studier af referenceprojekter (Stockman et al. 2008, Greef 2005 m.fl.) samt GIS-undersøgelser, skitsering og mapping-øvelser.

Ud over at skabe mulighed for en badestrand ved Kalveboderne og forbedre vandkvaliteten i Harrestrup Å forventes landskabsbaseret

regnvandshåndtering at danne grundlag blandt andet følgende synergimuligheder på henholdsvis by-niveau og projekt-niveau:

På by-niveau kan landskabsbaseret regnvandshåndtering bidrage til

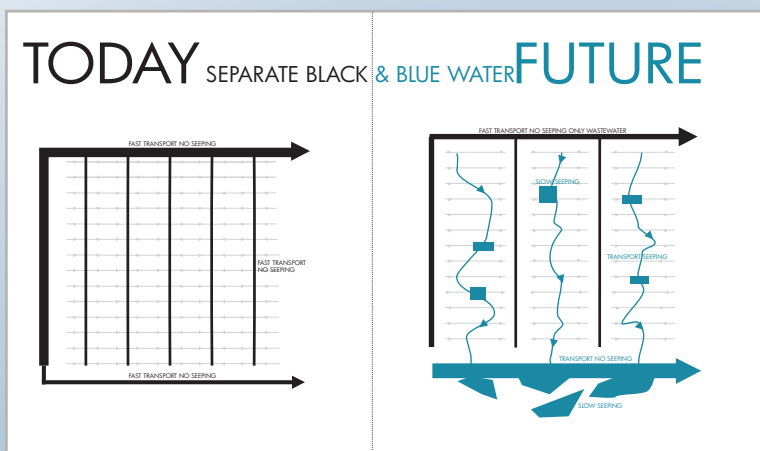
- At konkretisere målsætningerne i Kommuneplan 2009 om at ”tænke nyt, tænke grønt, tænke blå og tænke mangfoldigt” i byudviklingen, blandt andet ved at
 - sammentænke blå- og grønne strukturer og evt. nye stiforbindelser for fodgængere og cyklister. (Dette er især en prioritet i Vanløse og Valby)
 - fremme begrønning af byen, grønne forbindelser og implementeringen af lommeparker, herunder styrke de grønne områders funktion og nødvendighed i byen
 - styrke identiteten af og orienteringen i svagt kodede byområder ved aktivering af landskabspotentialet. (Dette er særlig aktuelt i Brønshøj-området)
 - fremme sammenhængen mellem parker/søer/strand, og den bagvedliggende by. (Dette er særlig interessant langs Harrestrup Å og Grøndalsåen)
- At styrke Københavns klimarobusthed ved at
 - respektere byens underliggende hydrologiske præmis
 - forbedre energi- og CO₂-regnskabet på renseanlæggene ved at holde regnvand ude af kloakkerne og dermed reducere pumpe- og beluftsarbejdet samt kemikalieforbruget
- I et videre perspektiv at forbedre forholdene i Københavns overfladevande, herunder
 - vandføringen i Harrestrup Å
 - vandkvaliteten i Københavns Indre Søer ved øget vandudskiftning baseret på regnvand fra Vanløse/Brønshøj
 - reducere behovet for import af grundvand fra omegnskommuner ved øget opsamling og genanvendelse af regnvand lokalt eller øget grundvandsdannelse via nedsivning på byniveau
 - fremme biodiversitet og bynatur
 - ø øge trafiksikkerheden, herunder sikre skoleveje, ved integrerede blå og grønne anlæg langs veje og stier.

På projekt-niveau kan landskabsbaseret regnvandshåndtering konkret tænkes sammen med:

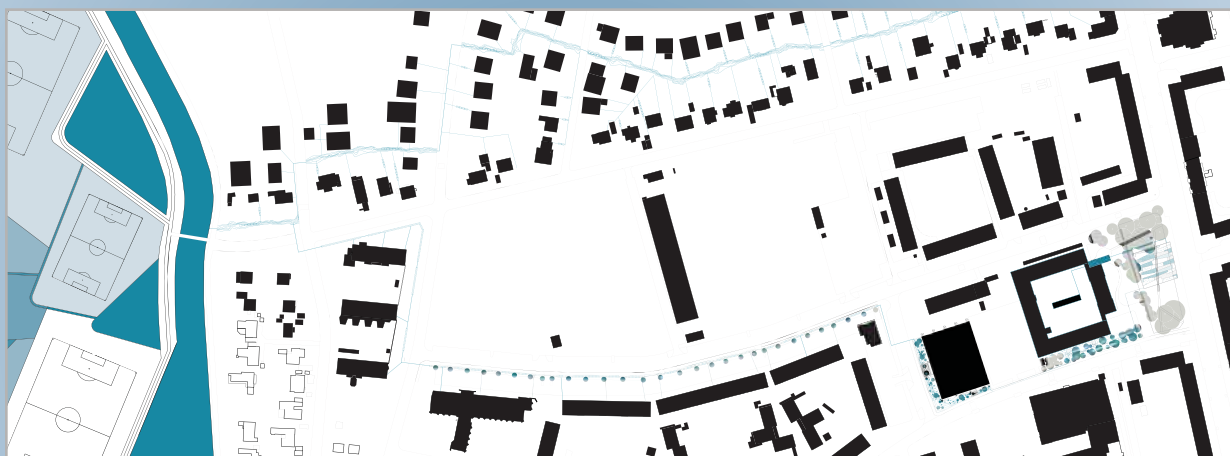
- Planlagte områdefornyelser (helhedsorienterede byfornyelser) i Voldparken (Husum), Flintholm Allé (Frederiksberg) og Kirsebærhaven (Valby), hvor vand tænkes ind som et socialt og rumligt aktiv
- Renovering af kommunale skoler og idrætsanlæg (66 skoler og 53 idrætsanlæg i alt i Københavns Kommune), hvor leg- og læringselementet i forhold til vand og bæredygtighed kan spille en rolle, ligesom skoler kan fungere som fyrtårne til fremme af landskabsbaseret regnvandshåndtering i lokalområdet

Afkobling af Vanløse Skole

Et designforslag for landskabsbaseret regnvandshåndtering i og omkring Vanløse Skole udviklet af tegnestuen 1:1 Landskab i forbindelse med en workshop for praktiserende landskabsarkitekter, der blev gennemført i perioden 2.-18. november 2009 på Skov & Landskab.



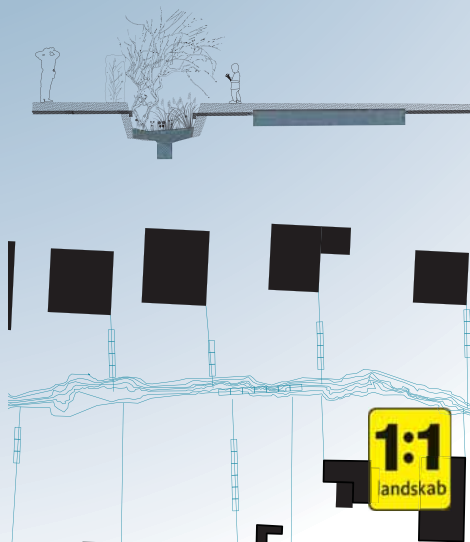
Lokal regnvandshåndtering som del af en ny infrastruktur, der designes med udgangspunkt i et naturligt vandssystem; i det her tilfælde Harrestrup Å, og strækker sig til de tætte bycentre i oplandet.



Tegnestuens 1:1 Landskab overordnede vandkoncept omfatter hele området fra Vanløse Skole til Harrestrup Å, inklusive en overløbsstrategi. Damhusengens fodboldbaner terrænforskydes, så de kan fungere som hele området overløbsområde (plan B) under minimal forstyrrelse af fodbolden.



Samtidig præsenteres en ide med en regnvandsbæk til transport og nedslivning af regnvand i baghavernes skellinie



1:1
landskab

- Kobling til byomdannelsesprocesser som Grøntorvsgrunden og Torveporten i Valby, Skjulhøj Allé i Vanløse og langs Frederikssundsvej i Husum. Her kan der ikke alene tænkes i nul-løsninger, men potentiel overkapacitet, så omdannelsesområderne fungerer som ”svampe” eller bufferområder for overskydende regnvand fra naboområder.

De konkrete synergimuligheder kan implementeres med et opportunistisk udgangspunkt. Når chancen byder sig, og når der alligevel skal graves op og afsættes midler på budgettet, kan landskabsbaseret regnvandshåndtering tænkes med ind i løsningen. Dette under hensyntagen til kompleksitetsgraden i den enkelte arealanvendelsestype (jf. figur 8).

Synergier præsenteret i denne rapport bygger på eksisterende målsætninger og eksisterende planlægning i Københavns Kommune. De søger således at ligge i forlængelse af allerede formulerede initiativer i kommunen. Men oversigten er på ingen måde udtømmende. En mere offensiv implementeringsstrategi kunne også vælges, ligesom mere ekstreme og modsatrettede udviklingsscenarier kunne udvikles til en bredere belysning af løsningspaletten.

Hvor skal afkoblingerne placeres for at undgå overløb

Det overordnede formål med Harrestrup Å studiet er at undersøge i hvilken grad landskabsbaseret afvanding kan bidrage til at reducere antallet af kloakoverløb til Harrestrup Å. Eftersom kloaksystemet, der er forbundet med Harrestrup Å gennem overløbsbygværker, har en kompleks struktur er det nødvendigt at lave en dynamisk model for at kunne belyse sammenhænge mellem nedbør, afvandingsmetoder og antal overløb fra kloaksystemet. Nogle af hovedspørgsmålene er:

- Hvor stor en andel af det samlede befæstede areal i oplandet skal afkobles for at målet om højst 1 overløb per overløbsbygværk pr. år kan opnås?
- Er det nødvendigt med en fuld afkobling eller er tilbageholdelse og forsinkelse tilstrækkeligt?
- Er fordelingen af de landskabsbaserede løsninger inden for oplandet ligegyldig, eller er det vigtigt at afkoble i bestemte områder for at opnå effekten?

For at besvare disse spørgsmål er der benyttet en MOUSE-model udviklet af Københavns Energi, som dækker hele oplandet til Damhusåens Renseanlæg, samt regnsrier, som dækker perioden 1979 til 2008. Modellen beregner strømning i kloak, inklusive kloakoverløb, ud fra regn-data, oplandsparametre og information om kloaksystemet. De fleste af simuleringerne er udført for en kortere periode (14 måneder) for at reducere beregningstiden, og dermed have mulighed for at køre flere simuleringer. Den valgte periode er udvalgt således at det gennemsnitlige årlige antal overløb rammes nogenlunde. Antallet af overløb er opgjort for de overløbsbygværk, der er nævnt i bilag 3 i visionsrapporten for Harrestrup Å (Vision, 2007).

Ud fra Visionsrapportens foreslåede bassinvolumen har man fra Københavns Energis side gættet på at afkobling af 60 % af de befæstede arealer i det betragtede opland vil have samme effekt som bassiner. Denne

situation er modelleret ved at reducere det befæstede areal med 60 % jævnt fordelt over hele området. Denne tilgang er efterfølgende sammenlignet med en simulering hvor 60 % - reduktionen af det befæstede areal først og fremmest foretages i områder omkring de overløbsbygværker, der jf. bilag 3 ses at have flest overløb.

De to simuleringer resulterer i store forskelle i antal overløb. Hovedkonklusionen er derfor at det ikke er ligegyldigt hvordan de afkoblede arealer fordeles i oplandet. Størst effekt vil opnås ved at afkoble strategisk.

Resultaterne er foreløbige og baseret på simulering af en periode lidt længere end et enkelt år. Skønt dette år antages at repræsentere det gennemsnitlige antal overløb årligt ret præcist er denne antagelse ikke verificeret.

Simulering af afkoblingens hydrologiske præmisser og konsekvenser

Indledning

I hydrologisk perspektiv baserer LAR sig på følgende tre mekanismer: nedsivning, fordampning og tilbageholdelse af regnvand. Nedsivning foregår over hele året, mens fordampning reelt set kun foregår i sommerhalvåret. LAR-metoder baseret på nedsivning er dermed potentielt mere effektive end metoder udelukkende baseret på fordampning.

Nedsivning er imidlertid begrænset af jordbundsforhold, de terrænnære hydrogeologiske forhold og afstanden til grundvandsspejlet. Eksisterende anbefalinger til etablering af nedsivningsbaserede LAR-metoder, f.eks. Skrift 25, (IDA, 1994) er udelukkende fokuseret på kortlægning af den hydrauliske kapacitet i jordbunden og på den nuværende afstand til grundvandsspejlet. Ved implementering af LAR på større skala vurderes det imidlertid essentielt at forstå det komplette hydrologiske system, ikke mindst med henblik på at kortlægge risikoen for stigende grundvandsspejl som følge af øget nedsivning. En sådan forståelse af det hydrologiske kredsløb opnås bedst ved anvendelsen af en integreret urban vandkredsløbsmodel.

En integreret urban vandkredsløbsmodel er derfor udviklet og opstillet for oplandet. Kernen i modellen er en traditionel grundvandsmodel, hvori der er implementeret nyudviklede moduler til modellering af interaktion mellem grundvand og utætte kloakker og vandforsyningsledninger. Endvidere er der implementeret moduler til modellering af forskellige LAR-elementer som faskiner, infiltrationsplæner, grønne tage, vadier og regnvandstanke.

LAR-scenarium - 60 % afkobling

Den urbane vandkredsløbsmodel er brugt til at simulere de hydrologiske konsekvenser af et afdræningsscenarium, hvor LAR-løsninger implementeres med forskellig fordeling af nedsivning, fordampning og tilbageholdelse. I scenariet er 40 % afledt direkte til kloak, mens 60 % håndteres ved afledning til vandløb, grønne tage, regnvandstanke, infiltrationsplæner, vadier og rende-faskiner.

LAR-scenarium - simuleret vandbalance

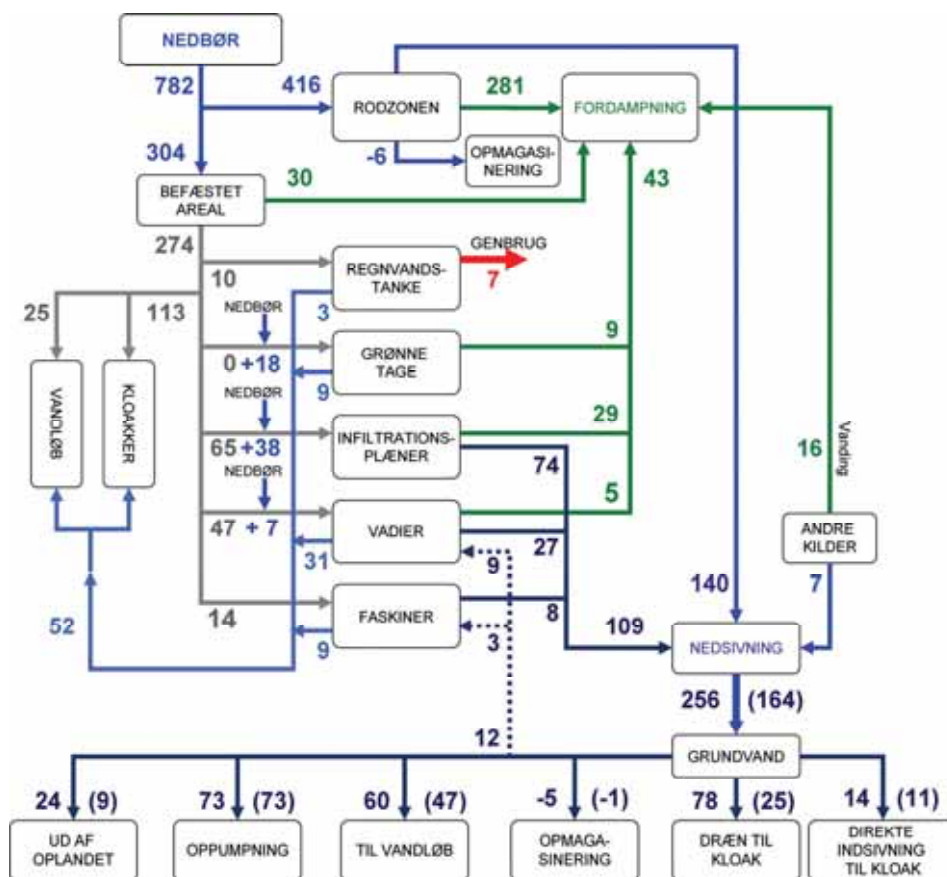
Den simulerede vandbalance for afkoblingsscenariet er vist på figur 10 for 10 års perioden 1994-2003 (jf. figur-teksten for forklaring). På trods af at fordampning er tilstræbt ved anvendelse af grønne tage, vadier og infiltrationsarealer øges den årlige nedsivning i perioden fra 164 mm til 256 mm. Den voldsomme stigning i nedsivning på 56 % vil ifølge modellen medføre en stigning af grundvandsspejlet op til terrænniveau (de øverste 0-2 meter). Når grundvandsspejlet påvirkes så markant, reduceres kapaciteten af de nedsivningsbaserede LAR-elementer (faskiner og vadier), hvorved relativt store mængder af overløbsvand genereres (figur 10). Endvidere medfører det højtstående grundvandsspejl, at grundvandsdræning til kloakker (dræn er implementeret i modellen i 1.2 meter under terræn) stiger drastisk fra 25 mm til 78 mm. I virkeligheden forventes denne dræncapacitet ikke implementeret i oplandet og grundvandsindsivning til fundamenter og kældre kan blive en udbredt konsekvens.

Af de implementerede LAR-metoder vurderes regnvandsopsamling til sekundær vandforsyning ganske effektiv, især taget problematikken med de nedsivningsbaserede LAR-metoder i betragtning. Ved anvendelse af de nyeste anbefalinger til dimensionering af regnvandstanke til toilet-skyl kan der således udnyttes 7 mm af de 10 mm opsamlet regnvand i transformationsområder (figur 10). Potentialet i at anvende regnvand til sekundær vandforsyning vurderes således betydeligt i hydrologisk perspektiv, da metoden både reducerer mængden af afstrømmende regnvand og samtidig sparer på den primære vandforsyning baseret på grundvand.

Det skal bemærkes, at den simulerede fordampning og nedsivning fra vadier og infiltrationsplæner er meget afhængig af de arealer som udlægges til formålet. I scenariet er der anvendt et infiltrationsareal af græs på 1 m² pr. 2 m² tagareal. For vadierne er der anvendt et areal på 1 m² pr. 8 m² reduceret areal. Fordobles de anvendte arealer (hvilket ikke er vurderet realistisk i oplandet) kan fordampningen fordobles, mens nedsivningen halveres.

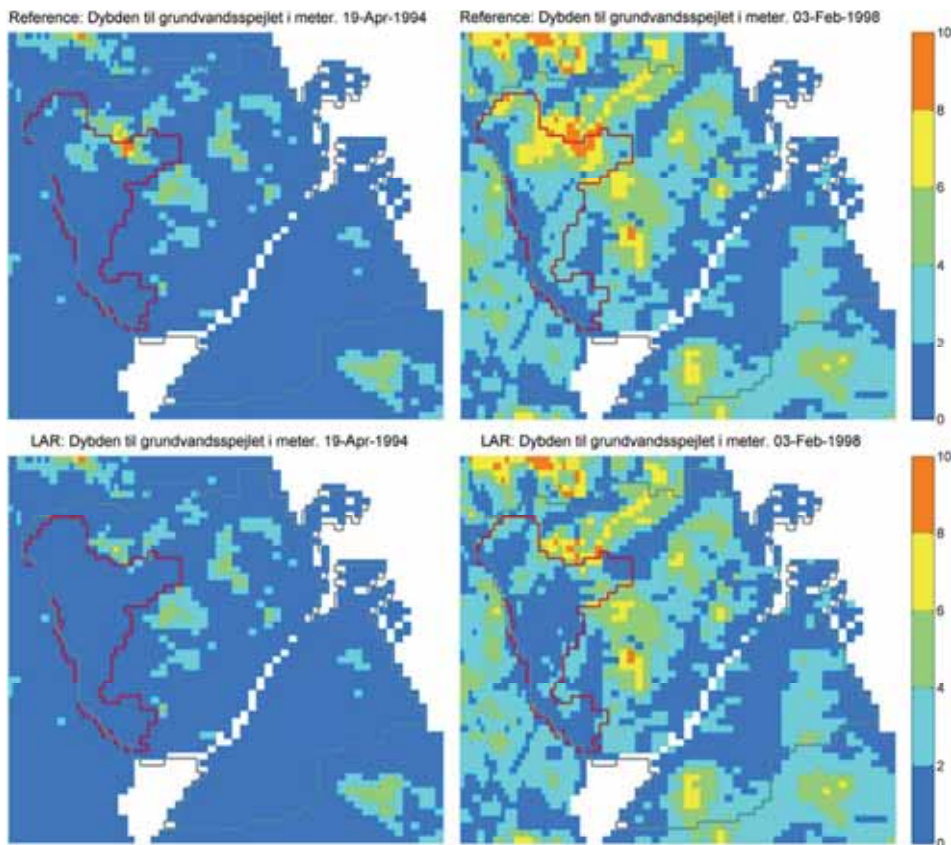
LAR-scenarium - simuleret kort over dybden til grundvandsspejlet

På figur 11 ses den simulerede afstand til grundvandsspejlet før og efter implementering af LAR og for både en maksimum situation (højt grundvandsspejl, april 1994) og en minimum situation (lavt grundvandsspejl, februar 1998). Før LAR implementeres simuleres der generelt et grundvandsspejl tæt på terræn i maksimum situationer, mens afstanden til grundvandsspejlet er betydelig større i minimumsituationer (øverst på figur 11). Efter LAR implementeres ses det simulerede grundvandsspejl generelt at være tæt på terræn både i maksimum og minimum situationen (nederst på figur 11).



Figur 10: Simuleret gennemsnitlig vandbalance for perioden 1994-2003 i mm pr. år i et scenarium med 60 % afkobling. Tallene i parentes refererer til vandbalancen før scenariet. Nedbøren på 782 mm fordeler sig med 416 mm på åbne arealer / rodzonen, 304 mm på befæstede arealer, 18 mm på grønne tage, 38 mm på infiltrationsplæner og 7 mm på vadier. Oplandets nuværende gennemsnitlige befæstelsesgrad er dermed 41 % (304+18/782). Af de 304 mm nedbør der rammer befæstede overflader fordampes 30 mm umiddelbart (befugtningstab), mens 274 mm bliver til afstrømmende regnvand. Heraf tænkes 40 % afledt direkte til kloak, mens 60 % håndteres ved direkte afledning til vandløb (25 mm) og via LAR-elementerne regnvandstanke (10 mm), infiltrationsplæner (65 mm), vadier (47 mm) og rende-faskiner (14 mm). Fordelingen mellem udnyttelse, fordampning, nedsivning og overløbsvand fra hvert LAR-element afhænger blandt andet af den anvendte dimensionering¹. Af regnvandsopsamlingen på 10 mm udnyttes de 7 mm til toilet-skyl. Fra LAR-elementerne fordampes i alt 43 mm, mens 109 mm nedsiver til grundvandssystemet. Sammen med nedsivning fra rodzonen (140 mm) og kilder knyttet til vandforsyning (7 mm) nedsiver således i alt 256 mm. På grund af et højtliggende grundvandsspejl (forsaget af den øgede nedsivning) dræner faskinerne og vadierne dog i alt 13 mm grundvand. Den andel af vandet som hvert LAR-element ikke kan håndtere (3 mm overløb fra regnvandstanke, 9 mm fra grønne tage, 31 mm fra vadier og 9 mm fra faskiner) havner i kloakken eller vandløb. Grundvandsdræningen til kloak i oplandet stiger i øvrigt markant fra 25 mm til 78 mm, mens stigningen i de andre grundvandsbalanceled er mindre (strømning ud af oplandet, vandløbsafstrømning, opmagasinering og direkte indsivning til kloakker).

¹ Regnvandstanke: 4 m³ pr. 150 m² tag og forbrug = 0,84 mm/dag (parcelhus), 4 m³ pr. 150 m² tag og forbrug = 1,41 mm/dag (rækkehus), 90 m³ pr. 4000 m² tag og forbrug = 0,68 mm/dag (institution), 50 m³ pr. 1200 m² tag og forbrug = 2,67 mm/dag (etagebolig) (baseret på Miljøstyrelsen, 1998, Rosted-Petersen et al., 1996, Rygaard et al., 2006, Rørcentret, 2000, m.fl.); grønt tag: 100 mm med kapacitet på 30 %; infiltrationsareal: 1 m² pr. 2 m² tag og 1000 mm jord med kapacitet på 25 %; vadi: 1 m² pr. 8 m² red. areal og 500 mm jord med kapacitet på 25 %; rende-faskine: 1 m³ pr. 30 m² tag.

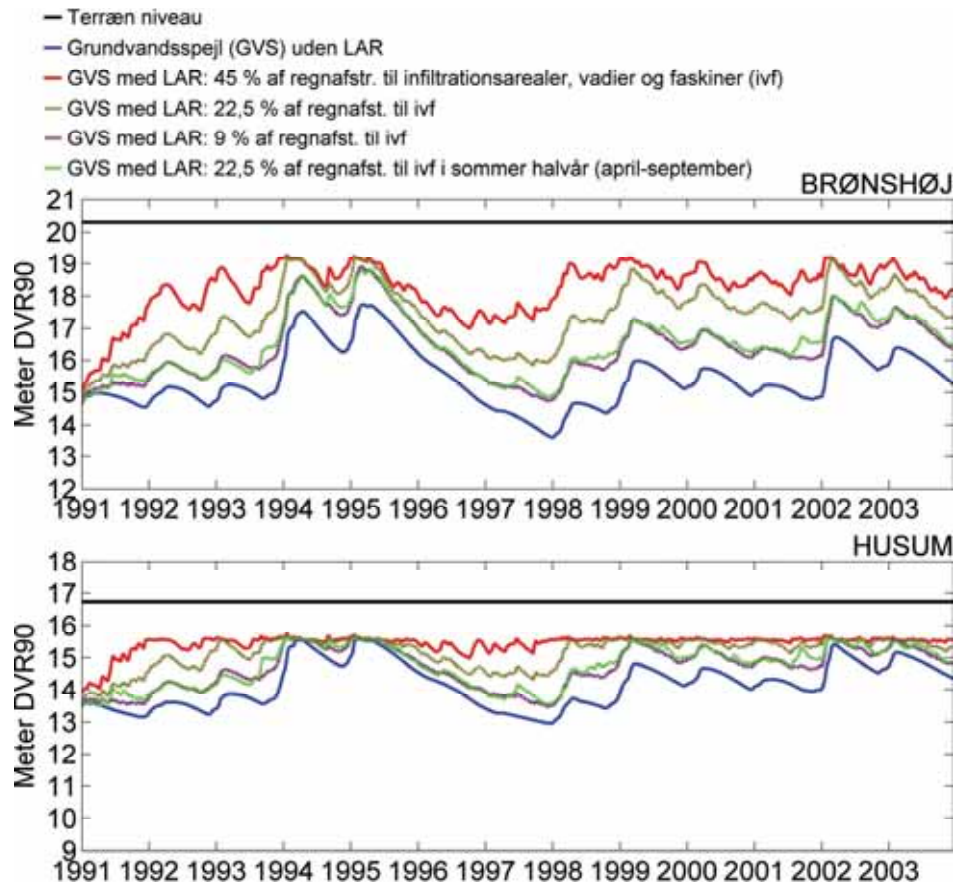


Figur 11: Simuleret dybde til grundvandsspejlet uden LAR (øverst) henholdsvis med LAR (nederst) og for en maksimum situation med højt grundvandsspejl (til venstre) henholdsvis en minimum situation med lavt grundvandsspejl (til højre).

LAR-scenarium - simuleret tidlig udvikling af grundvandsspejlet

På figur 12 er vist simulerede tidsserier af grundvandsstand før og efter implementeringen af LAR for perioden 1991-2003 for to udvalgte bydele i oplandet, nemlig Brønshøj og Husum. Figuren viser simuleret grundvandsstand i flere scenarier, hvor regnafstrømningen til infiltrationsplæner, vadier og faskiner reduceres gradvis fra de 45 %, der er udgangspunktet vist på figur 10, til den nedsvinningsmængde, der netop ikke medfører kritisk stigning i grundvandsspejlet, og dermed kan betegnes bæredygtig nedsvinning.

Før LAR implementeres viser figur 12, at det simulerede grundvandsspejl er 2-6 meter under terræn i Brønshøj, afhængig af årstid samt tørre og våde år. I Husum er grundvandsspejlet tættere på terræn; 1,5-3 meter under terræn. I tilfælde af at 45 % af regnafstrømningen ledes til infiltrationsplæner, vadier og faskiner simulerer modellen, at grundvandsspejlet stiger til nær terrænniveau i både Brønshøj og Husum, hvilket også vil være en konsekvens i andre dele af oplandet (jf. figur 11). Det skal bemærkes, at der i modellen er implementeret dræn i dybden 1,2 meter under terræn, hvorfor grundvandsstanden ikke overstiger dette niveau ved Husum. For dette scenarium indikerer modellen dermed et betydeligt behov for dræning af grundvand i Husum, og i særdeleshed i lavere liggende dele af oplandet.



Figur 12: Modellsimuleringer af grundvandsstand før og efter implementering af LAR i Brønshøj og Husum.

Ved en tilledning på 22,5 % af regnvandsafstrømningen er grundvandsstigningen stadigvæk kritisk ved Husum, mens stigningen er mindre kritisk ved Brønshøj (figur 12). Ved tilledning af 9 % af regnafstrømningen til infiltrationsplæner, vadier og faskiner, vurderes nedsivningen fra LAR-elementerne at være acceptabelt ved både Husum og Brønshøj.

Et interessant resultat opnås i det sidste scenarium, hvor 22,5 % af regnvandsafstrømningen ledes til de nedsivningsbaserede LAR-elementer, men kun i sommerhalvåret april-september. Derved udnyttes de nedsivningsbaserede LAR-elementer i sommerperioden, hvor de største regnhændelser typisk forekommer, mens regnafstrømningen ledes til kloakkerne i vinterhalvåret. Figur 12 viser, at dette scenarium medfører omtrent samme acceptable respons på grundvandsspejlet som i scenariet med 9 % tilledning af regnvandsafstrømning over hele året. I dette tilfælde kan der således bortskaffes dobbelt så meget regnafstrømning i de kritiske sommerperioder med store regnhændelser i forhold til at nedsive over hele året.

Figur 12 illustrerer modellens styrke i at estimere bæredygtig nedsivning i Brønshøj og Husum. For de lavere-liggende bydele (dvs. Valby, Vigerslev og Vanløse) indikerer modellen, at der reelt set ikke bør nedsives.

Årsag til det simulerede store respons på grundvandsspejlet

Hovedårsagen til den simulerede relativ store respons på grundvandsspejlet ved forøget nedsivning, skal findes i de hydrogeologiske forhold i caseområdet. Den hydrogeologiske lagfølge består øverst af et udbredt leret morænedæklag. Morænedæklaget overlejrer typisk kalken, dog findes i nogle områder spredte sand- og gruslag mellem morænedæklaget og kalken. Morænedæklaget er lavpermeabelt og karakteriseret ved en lav effektiv porøsitet, hvilket medfører at laget dels fungerer som en hydraulisk barriere for dyb perkolation, dels kun rummer et begrænset porevolumen for ekstra nedsivning. I den øvre del af morænedæklaget forventes dog en større sprækkeintensitet og forvitningsgrad end i den nedre homogene del af morænedæklaget. Sammen med spredte forekomster af fyldlag forventes det at medføre en større horisontal vandtransport i toppen af morænedæklaget, hvilket er repræsenteret i modellen ved at tildele en meget større hydraulisk ledningsevne i de øverste fem meter af morænedæklaget.

Usikkerheder og anbefalinger

Usikkerheden på simuleringen af responset på grundvandsspejlet som følge af øget nedsivning er især knyttet til den hydrogeologiske model, som danner rammen for den anvendte grundvandsmodel. På grund af et mangelfuldt datagrundlag til karakterisering af de hydrogeologiske lagfølger er de styrende hydrauliske parametre (hydraulisk ledningsevne og magasintal) for lagene kalibreret ved at sammenholde simuleringer og observationer af hydraulisk grundvandspotentialer (desværre haves kun data fra kalken), vandføring i vandløb og indkommende vand på renseanlæg. Selv om den anvendte model er kalibreret, eksisterer der andre modeller med forskellige lagfølger og parameterverdier, som alle kalibrerer de tilgængelige (men begrænsede) observationsdata. Dette faktum inducerer en betydelig usikkerhed på modelforudsigelserne.

Det vurderes, at en effektiv reduktion af modelusikkerheden kan opnås ved at indsamle flere eksisterende data med henblik på at forbedre den terrænnære hydrogeologiske model. I den forbindelse forventes geotekniske borer og prøvetagninger at kunne bidrage med væsentlig information i form af geologiske prøvebeskrivelser og pejlinger i de terrænnære lagfølger. Kommunens arkiv omkring byggesager / spildevandssager kan endvidere give informationer omkring brugen af omfangsdræn, hvilket igen indikerer mulige problemer med højt grundvandsspejl. En screening af relativ få spildevandssager i Københavns Kommune er allerede udført med henblik på en vurdering af brugen af omfangsdræn. Screeningen viser umiddelbart, at omfangsdræn ikke benyttes i stor stil i oplandet, hvilket ikke er i direkte modstrid med modellens simulering af det nuværende grundvandsspejl. Dog indikerer modellen, at diverse fugtproblemer i kældre / fundamenter kan være et problem i lavtliggende områder i oplandet. I den forbindelse skal det nævnes, at resultatet af screeningen sløres af, at det først var byggeskik at etablere omfangsdræn efter 1950; langt hovedparten af husene i oplandet er således fra før 1950. Det anbefales at kortlægge et eventuelt problem med fugtige kældre ved yderligere arkivgennemgang suppleret med interviewundersøgelser. Inddragelse af TV-inspektioner af kloakker vurderes endvidere at kunne give indirekte information om højtliggende grundvandsspejl i form af eventuelle problemer med indsvivende grundvand gennem utætheder.

I forbindelse med en bedømmelse af modellens troværdighed skal det bemærkes, at historiske målebordsblade fra 1862-1899 (før byområderne blev udbygget) viser spredte drængrøfter på datidens landbrugsjorde i hele oplandet. Dette indikerer, at jordene i oplandet var, og stedvis sikkert er, vandlidende. Intensiteten af drængrøfter fra de gamle målebordsblade bekræftes af modellen, sådan at områder med mange drængrøfter er sammenfaldende med et simuleret grundvandsspejl nær terrænniveau om vinteren, mens områder med færre drængrøfter er sammenfaldende med større afstand til det simulerede grundvandsspejl.

Til trods for den eksisterende usikkerhed på modellen indikerer de udførte simuleringer, at en stigning af grundvandsspejlet til nær terræn kan være en ”worst-case” konsekvens af betydelig nedsivning af regnvandsafstrømning. Det skal understreges, at modellen ikke viser, at afkobling af regnvand ved LAR-metoder er umulig. Modellen indikerer udelukkende, at afkobling af regnvand ved brug af LAR bør baseres primært på andre mekanismer end nedsivning til grundvandssystemet. Her tænkes især på tilbageholdelse af regnvand før udledning til recipient eller kloak. Hvis der benyttes nedsivningselementer bør der dels gå gradvist frem, så effekter på grundvandsspejl kan monitoreres og bruges til kalibrering af den benyttede model, dels bør der anvendes nedsivningselementer baseret på vegetationsdækkede overflader, frem for faskiner.

Fremtidsperspektiver

Fremtidige klimaændringer forventes at medføre stigende vinternedbør, hvilket kan øge den naturlige nedsivning i Danmark med over 20 % over en 100 års periode (Roosmalen et al., 2007). På baggrund af de foretagne modelsimuleringer er der dermed en betydelig risiko for, at der stedvis i oplandet kan ske en stigning af grundvandsspejlet til terrænniveau - udelukkende på baggrund af klimaændringer. En stigning af grundvandsspejlet til terrænniveau vil givet kræve massiv dræning omkring huse for at undgå grundvandsindsivning til kældre og fundamenter. Betydelig dræning af grundvand i byområder kan således være påkrævet i fremtiden, hvilket med fordel kan kædes sammen med LAR. For eksempel kan et LAR-element både have nedsivnings- og drænfunktion ved at aflaste kloakken om sommeren, hvor nedsivning er favorabel på grund af lavere grundvandsspejl (jf. figur 12), og fungere som dræningselement om vinteren, hvor grundvandsstanden står højest.

Vurdering af forureningsforhold

Reduktionen af overløb til Harrestrup Å vil forbedre vandkvaliteten i åen og Kalveboderne, men landskabsbaserede afkoblinger af regnvand kan medføre nye forureningsrisici, som vi er nødt til at tage højde for - ikke mindst i forhold til grundvandsbeskyttelsen. Når regnen strømmer over byens overflader vaskes den akkumulerede forurening af og kan transporteres med afstrømningen til overflade- og grundvand. Vandet fra tætte byområder kan sjældent leve op til de kvalitetskrav som EU's vandrammedirektiv fordrer uden først at underkastes en form for rensning. Ligeledes medfører landskabsbaserede afkoblinger at byens borgere i højere grad bliver eksponeret for vandet. Det er derfor vigtigt at lægge en strategi

som sikrer en tilfredsstillende kvalitet af det afstrømmende regnvand til den enkelte situation, hvad enten vi leder det til vores naturlige vandområder eller anvender det til forsyning eller rekreative formål.

Det er vanskeligt at forudsige hvor forurenede det afstrømmende regnvand vil være, da det afhænger af kilderne i området samt en lang række lokale og meget variable faktorer. Nogle af de mest betydende variable faktorer er længden af tørvejrperioder, trafikbelastning i området og bidraget fra den diffuse atmosfæriske forurening. Typiske forureningsstoffer som ses i regnafstrømning fra byområder omfatter partikler, tungmetaller - især bly, kobber, krom og zink, miljøfremmede organiske mikroforureninger - primært polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), men også pesticider, blødgørere og phenoler, samt smitstoffer, f.eks. bakterier og vira. Næringsalte som kvælstof (N) og fosfor (P) kan også forekomme i koncentrationer som kan være skadelige for overfladevande.

Kvaliteten af det afstrømmende regnvand

Vi har forsøgt at estimere den forventede kvalitet af regnafstrømningen i det københavnske opland til Harrestrup Å ved at:

- 1) se på danske og udenlandske målinger af regnafstrømningens kvalitet i urbane områder,
- 2) identificere kilder til forurening i oplandet.

I vurderingen er der skelnet mellem afstrømning fra veje og tage. Så mange forureningsstoffer som muligt er forsøgt medtaget. For at vurdere behovet for rensning har vi sammenlignet de estimerede koncentrationer med gældende kvalitetskrav ved udledning af vand til overfladerecipienter eller ved nedsivning til grundvandet, dvs. bekendtgørelse nr. 1669 (MIM 2006) og EU's kvalitetskriterier for overfladevand (EC 2008), samt Miljøstyrelsens *Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand* (MST 2009). Vi har antaget at afstrømmende regnvand, der udledes direkte til recipient ikke fortyndes i vandløbet, fordi det er sandsynligt at bynære vandløb i sommerhalvåret primært forsynes med regnafstrømning. For afstrømmende regnvand, der nedsives til grundvandet har vi regnet med en fortyndingsgrad svarende til den ubefæstede andel der nedsives til grundvandet. Der er på den måde tale om et såkaldt "worst case"-scenarium.

I tabel 1 har vi antydnet behovet for rensning. Der er stor usikkerhed forbundet med de anslåede nødvendige fjernelsesprocenter, hvilket primært skyldes det begrænsede antal danske målinger på især xenobiotica (miljøfremmede organiske forbindelser), herunder særligt pesticider fra tage, hvorfor de anførte nødvendige fjernelsesbehov måske er for høje. Kobber er et af de stoffer der kan vise sig problematisk. Kvalitetskriterierne for kobber er skrappe og kobber findes i betydelig grad på opløst form. Også gruppen af PAH er udfordrende, idet de kræver meget høje fjernelsesprocenter, specielt de tunge forbindelser fra forbrænding som f.eks. benzo(ghi)perylen. For pesticider kan man forestille sig at udfasning/forbud er en bedre strategi end rensning, om end begrænsning af pesticider i maling m.v. vil være vanskelige at regulere lokalt.

Tabel 1: Den estimerede nødvendige fjernelse af tungmetaller og miljøfremmede organiske forbindelser i vejvand og tagvand, hvis vandet skal overholde kvalitetskriterier for nedsivning til grundvand eller udledning til overfladevand. ^aAfhænger af specieringen af total Cu (her er regnet med at 50% er på opløst form) da kriteriet gælder for opløst kobber.

	Vejvand		Tagvand	
	Nedsivning til grundvand	Udledning til overfladevand	Nedsivning til grundvand	Udledning til overfladevand
Tungmetaller				
Kadmium	70 %	90 %	-	10 %
Krom	-	55 %	-	-
Kobber	80 % ^a	95 % ^a	-	-
Kviksølv	-	50 %	-	15 %
Nikkel	7 %	25 %	-	-
Bly	97 %	90 %	30 %	-
Zink	40 %	75 %	-	-
PAH'er				
Antracen	-	15 %	-	-
Fluoranten	75 %	90 %	-	-
Benzo(a)pyren	85 %	70 %	50 %	-
Benzo(b+k)fluoranten	85 %	95 %	25 %	70 %
Benzo(ghi)perylene	99 %	99.5 %	95 %	98 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	99 %	99.5 %	95 %	98 %
Pesticider				
AMPA	90 %	-	90 %	-
BAM	70 %	-	70 %	-
2,4-D	10 %	-	10 %	-
Dichlobenil	65 %	-	65 %	-
DNOC	95 %	-	95 %	-
Glyphosat	99 %	-	99 %	-
MCPA	25 %	-	25 %	-
Simazin	40 %	-	40 %	-
Terbutylazin	40 %	-	40 %	-
Andre miljøfremmede stoffer				
DEHP	0 - 95 %	0 - 97 %	0 - 95 %	0 - 97 %
Nonylphenol	0 - 90 %	0 - 95 %	0 - 90 %	0 - 95 %
Pentachlorophenol	-	15 - 25 %	-	15 - 25 %
Hexachlorobenzene	-	0 - 40 %	-	0 - 40 %

En yderligere udfordring er fjernelsen af DEHP og nonylphenol, der i følge nogle målinger vil kræve store fjernelsesgrader. Vi må erkende at der i disse estimater fremkommer nogle koncentrationsniveauer, navnlig for de tunge PAH-stoffer, som det vil være meget vanskelig at rense ned til niveauer anført i lovgrundlaget.

Den samlede konklusion er derfor at en del af stofferne kan forekomme på mange forskellige koncentrationsniveauer, hvor de laveste ikke kræver den store rensning, men hvor de højeste derimod vil kræve at vandet renses effektivt, endog meget effektivt i nogle tilfælde. Behovet for rensning er størst i forbindelse med afstrømning fra trafikerede arealer som veje og parkeringspladser, men for pesticidernes vedkommende er det i lige så høj grad bidraget fra tagene der giver høje koncentrationer. Ligeledes er tagdækninger af metal, så som kobber og zink, problematiske i forhold til tungmetaller i afstrømningsvandet, hvilket dog ikke fremgår af tabellen.

Der er store usikkerheder behæftet med en vurdering af denne karakter og konklusionen rækker således ikke meget ved den allerede eksisterende viden om regnafstrømningens kvalitet, nemlig at den er højest variabel og at der i de fleste tilfælde vil være behov for at rense vandet inden det udledes til vandmiljøet.

Muligheder for at kontrollere vandkvaliteten

Der fokuseres i nærværende projekt primært på forsinkelse via grønne tage og nedslivningsløsninger, enten via faskine eller overfladenære løsninger som vadier, infiltrationsplæner eller regnbede. I en rensemæssig sammenhæng spiller de grønne tage ikke en central rolle, dels fordi regnvandet ikke er særlig beskidt på det tidspunkt hvor det passerer gennem et grønt tag, dels fordi et grønt tag udelukkende reducerer afstrømningen fra taget selv, og ikke er beregnet til at modtage vand fra andre overflader. Selv om underjordiske faskiner sandsynligvis kan udgøre effektive renseforanstaltninger, er der en del usikkerheder forbundet med faskiner, der gør dem vanskelige at vurdere rent rensemæssigt. For det første ligger den primære rensekapaletet i den omkringliggende jord, hvilket gør monitorering og kontrol vanskeligt, for det andet kan faskiner have direkte kontakt til høj-permeable lag, højtstående grundvand og/eller dybtgående sprækker, hvorved jordmatrixen omkring faskinen kan forbigåes, og evt. forureningskomponenter overføres direkte til grundvandet. Konklusionen omkring faskiner er derfor er det ikke hensigtsmæssigt at lede formodet forurenede regnafstrømning til faskiner uden forudgående rensning.

Ved de overfladenære løsninger derimod har vi mulighed for at sikre at infiltrationen foregår gennem et veldefineret jordmedium, som både har gode vandførende egenskaber og høj renseseffektivitet. Derudover giver denne løsning mulighed for at udskifte jordmediet, når/hvis rensekapaleteten mindskes. Der foreligger efterhånden mange udenlandske undersøgelser af sådanne overfladenære infiltrationssystemer og der er mange positive erfaringer i blandt. Renseeffektiviteten af sådanne systemer kan være meget høj hvis jorden er designet efter fornuftige retningslinjer.

Der findes ingen sådanne retningslinjer i Danmark, men i flere lande har man taget skridtet og lavet den slags standarder. Tyskland, vores nærmeste nabo, er måske den nation, der er længst fremme med brugen af

overfladenære infiltrationssystemer, nemlig de såkaldte Mulden-Rigolen Systemen, som svarer til hvad vi i denne rapport betegner som en vadi. De tyske retningslinjer er beskrevet af Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA, 2005). Ifølge dette dokument tillades det som hovedregel at nedsive regnafstrømning fra trafikerede veje og parkeringsarealer, hvis blot retningslinjerne for dimensionering og filtermedium overholdes.

Tysk filterjord til nedsivning af vejvand

De tyske standarder foreskriver retningslinjer for infiltrationssystemerne med hensyn til filterjordens tykkelse, hydrauliske ledningsevne, pH, lerindhold samt indhold af omsat organisk materiale (humus). Derudover stilles der krav om nedsivningsarealets størrelse i forhold til det befæstede areal, som der modtages vand fra.

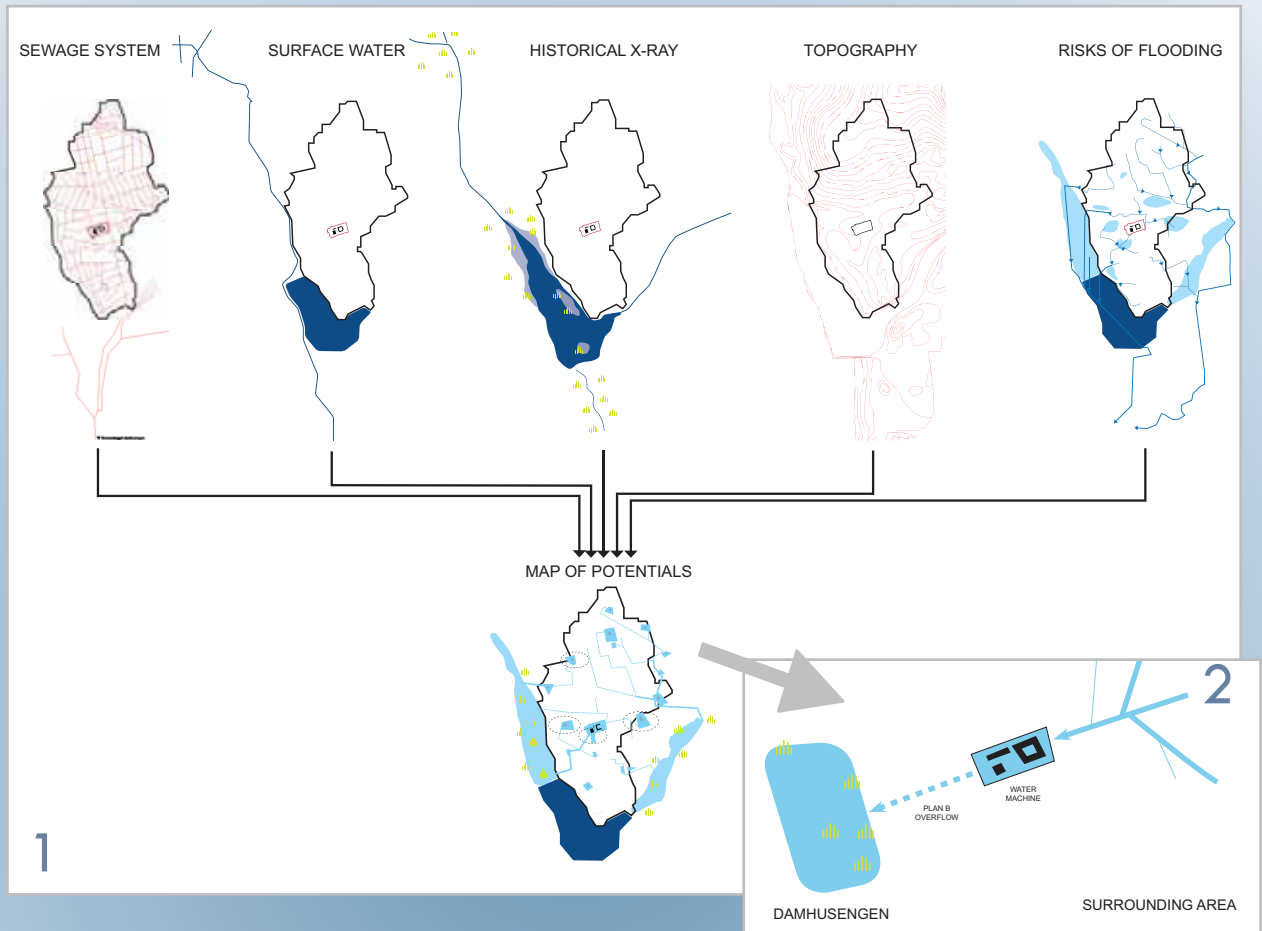


Figur 13. Til venstre: Billede af tysk vadi (Mulden-Rigolen system) ved indfaldsvej til industrikvarter i Hoppegarten ved Berlin. Til højre: Jordprofil af de øverste 30 cm i infiltrationssystemet. Jorden er, som det ses, meget ensartet, og der er livlig aktivitet i form af flora og mikrofauna.

Mange af de tyske infiltrationssystemer har modtaget afstrømningen fra trafikerede veje og parkeringsarealer i op mod 10 eller sågar 15 år. Men der foreligger på nuværende tidspunkt ingen egentlig dokumentation for hvor godt disse systemer fungerer efter at have opereret i så lang tid. Derfor har 2BG-forskere fra Det Biovidenskabelige Fakultet ved Københavns Universitet indgået et samarbejde med en tysk ingeniørvirksomhed (Ingengesellschaft, Prof. Dr. Sieker, MBH) for at undersøge og teste disse infiltrationsjorder. Vi har indsamlet prøver fra forskellige Mulden-Rigolen systemer rundt omkring i Tyskland (Berlin, Dortmund og Hamborg) og arbejder i øjeblikket med at karakterisere dem i laboratoriet. Derudover vil jorderne blive undersøgt for deres indhold samt fordeling af udvalgte tungmetaller og fosfor. Der blev også indsamlet jordkolonner som opstilles i laboratoriet, således at vi kan teste hvordan vand, partikler og opløste forureningsstoffer transporteres og tilbageholdes i jorden.

Afkobling af Vanløse Skole

Et designforslag for landskabsbaseret regnvandshåndtering i og omkring Vanløse Skole udviklet af arkitekterne Sine Rauff, Hanna Rehling and Signe Rabølle i forbindelse med en workshop for praktiserende landskabsarkitekter, der blev gennemført i perioden 2.-18. november 2009 på Skov & Landskab.



Med udgangspunkt i en analyse af kloakopland 36 i Vanløse (figur 1) tegnes et konkluderende potentialekort. Heri indgår Vanløse Skole som en potential "vand maskine" (figure 2), der renser, genbruger og infiltrerer vand fra omkringliggende områder..

Skitser i planen (figur 3) viser, hvordan skolen vi se ud i forskellige nedbørsscenarier.

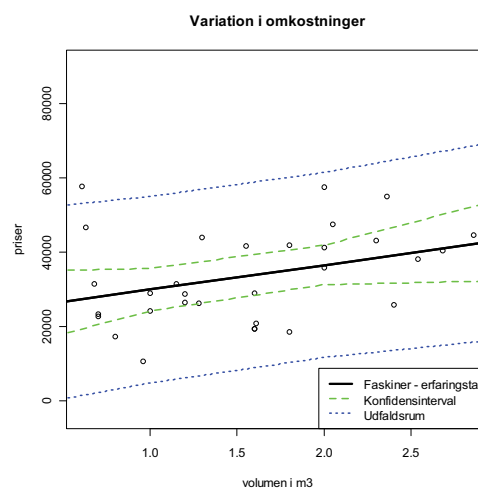
Økonomiske aspekter

Det fælleskommunale samarbejde omkring Harrestrup Å projektet forventer at afholde udgifter svarende til 119 mio. kr. i separat kloakerede områder og 722 mio. kr. i fælleskloakerede områder. Københavns kommune forventer at stå for 325 mio. kr. af det samlede beløb (vision, 2007).

I separat kloakerede områder vil kapacitetsproblemerne blive løst ved udbygning af regnvandsbassiner, der i tilfælde af en regnhændelse vil håndtere den øgede mængde regnvand. Det forventes, at der er behov for at udbygge med en samlet bassinvolumen på 158.000 m³ svarende til en pris på 753 kr/m³ bassinvolumen. Anlægsudgifterne for regnvandsbassiner i separat kloakerede områder vurderes til at ligge på mellem 700 og 1100 kr/m³ afhængig af regnvandsbassinets størrelse (PH-consult, 2006).

I det fælleskloakerede område af Harrestrup Å vurderes det, at der er behov for at udbygge bassinvolumen med 135.000 m³ svarende til en pris på 5313 kr/m³ bassinvolumen. Dele af løsningen vil være lukkede betonbassiner, der kan håndtere både regn- og spildevand ved en regnhændelse. Anlægsudgifterne på disse bassiner falder med bassinvolumen. Således koster et bassin på 200 m³ omkring 15.000 kr/m³, 500 m³ koster 10.000 kr/m³, 1000 m³ koster 8500 kr/m³, 2000 m³ koster 7500 kr/m³ og 5000 m³ koster 6000 kr/m³. Bassiner over 10.000 forventes at koste omkring 4000 kr/m³ (PH-consult, 2006).

Bornholms Forsyning har leveret en række erfaringstal for afkobling af parcelhusgrunde med faskineanlæg. Tallene viser en gennemsnitlig fast startomkostning på ca. 23.325 kr. og en variable omkostning på 6.637 kr./m³. Det fremgår af figur 14, at der er stor variation i omkostningerne. Variationen er først og fremmest bestemt af, hvor meget rørledning det er nødvendigt at etablere i forbindelse med faskineanlægget. For den enkelte grundejer, der står overfor at etablere et faskineanlæg, betyder det, at der er stor usikkerhed forbundet med de egentlige omkostninger.



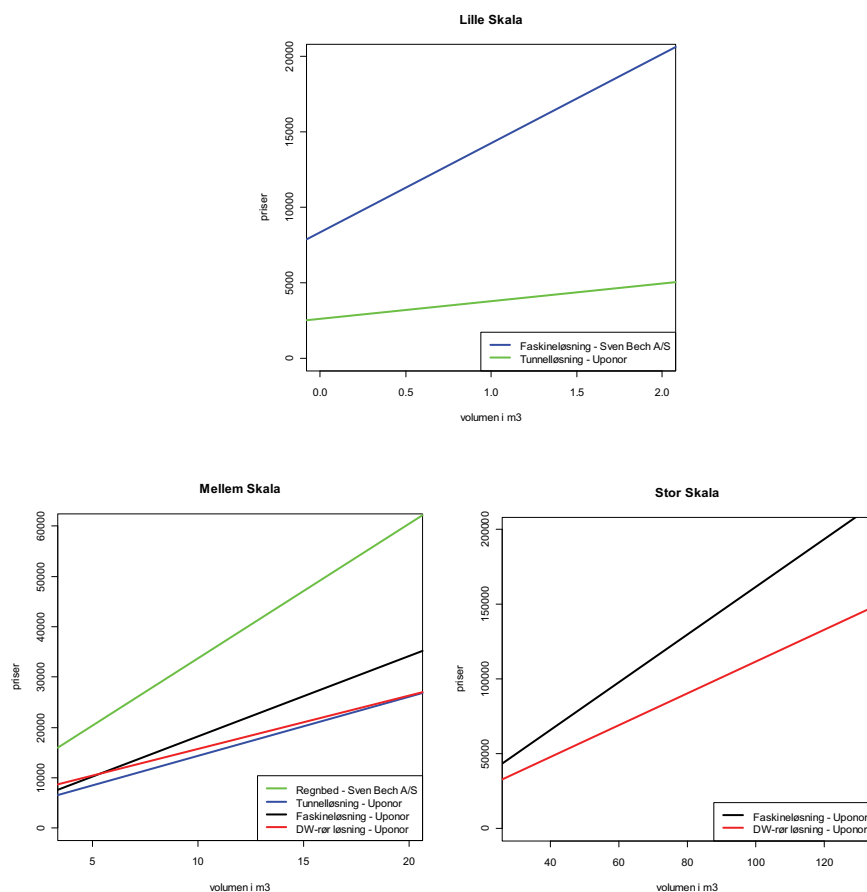
Figur 14. Figuren beskriver sammenhængen mellem volumen og pris for faskineanlæg baseret på erfaringstal fra Bornholm Forsyning. Den blå linie beskriver den lineære sammenhæng baseret på OLS regression, mens den grønne stiplede linie beskriver

konfidensintervallet og den blå stiplede linie beskriver det forventede udfaldsrum for kommende observationer.

I forbindelse med projektet, er der blevet indsamlet nogle omkostningsestimater på forskellige typer faskineløsninger og regnbed fra Sven Bech A/S og Uponor. Omkostningerne for de forskellige løsninger sammenlignes i tabel 2 og figur 15 sammenholdt med størrelsen på løsningerne. Der er en relativ stor forskel på de forskellige omkostningsestimater. Erfaringstallene fra Bornholms Forsynings har de højeste faste og variable omkostninger, dernæst kommer Sven Bech A/S og til sidst kommer Uponor med de laveste omkostningsestimater. Forskellen kan forklares ved forskellig beregningsmetode. Sven Bech A/S medregner ikke udlægning af rørledning samt reetableringsomkostninger i deres omkostestimater. I erfaringstallene fra Bornholm udgør udlægning af rørledning samt reetableringsomkostninger gennemsnitlig 17.500 kr. af de faste omkostninger. Beregningsestimaterne fra Uponor forholder sig udelukkende til etablering af selve løsningen. Omkostningerne ved at forbinde løsningen med et tag eller lignende inddrages ikke i beregningerne. Disse omkostninger kan variere betydeligt selv på mellem og stor skala LAR-løsninger. Moe & Brødsgaard giver nogle omkostningsestimater på faste omkostninger på mellem 20.000 kr. til 293.000 kr. for projekter med regnvandsbeholdere på mellem 5 til 24 m³. Disse tal indeholder ikke etableringsomkostningerne for selve løsningen. De faste omkostninger bestemmes hovedsagelig af rørledning- og reetableringsomkostninger.

I et større velfærdsøkonomisk perspektiv betyder ovenstående tal at ingen af LAR løsninger vil kunne konkurrere med regnvandsbassiner i separat kloakerede områder. Tallene viser at LAR kan udgøre et omkostningseffektivt alternativ i fælleskloakerede områder. Lønsomheden af LAR løsninger afhænger af størrelsen på de lukkede betonbassin der planlægges - med en stigende lønsomhed ved mindre bassiner. Lønsomheden af LAR løsninger afhænger ligeledes af de faste omkostninger ved etablering LAR. De faste omkostninger kan variere betydeligt og kan dermed være afgørende for omkostningerne i de enkelte projekter. Ingen af omkostningsestimaterne forholder sig til levetiden eller vedligeholdelsen på de forskellige løsninger. Levetid og vedligeholdelsesomkostninger vil kunne sikre mere pålidelige og sammenlignelige omkostningsestimater.

I en kommende beslutningsproces vil det være fejlagtigt kun at forholde sig omkostningssiden af LAR løsninger. De forventede rekreative gevinster af LAR løsninger bør ligeledes tages med i betragtning. På nuværende tidspunkt findes der ingen velfærdsøkonomiske estimater af værdien af de rekreative gevinster forbundet med LAR løsninger. Disse estimater er under udarbejdelse og vil være til rådighed inden for en kort årrække. Tilblivelsen af velfærdsestimaterne kan følges på følgende hjemmeside ligesom man vil kunne finde en mere udførlig beskrivelse af de præsenterede omkostningsberegninger: <http://sites.google.com/site/tokeemilpanduro/>.



Figur 15. Figuren øverst sammenligner etableringsomkostninger for faskineløsning og for tunnelløsning i lille skala. Figuren nederst til venstre sammenligner etableringsomkostninger for regnbede, tunnelløsning, faskineløsning og DW-rør i mellem skala. Figuren nederst til højre sammenligner etableringsomkostninger for faskineløsning og DW-rør i stor skala.

Tabel 2. Tabellen viser de faste og de variabel omkostning sammenholdt med dimensionerne på løsningen samt budgiveren.

Løsning	Faste omkostning i kr.	Variable omkostning i kr./m ³	Volumen i m ³	Virksomhed
Faskine (kassette)	2.223	1.597	3-126	Uponor
Tunnel	2.631	1.174	1-32	Uponor
DW-rør	5.067	1.064	4-126	Uponor
Regnbed	6.932	2.676	6,4-19,2	Sven Bech A/S
Faskine (kassette)	8.350	5.900	0-2	Sven Bech A/S
Faskine (kassette)	23.325 kr	6.637	0-2,5	Bornholms Forsyning

Hvordan regulerer vi os frem til LAR løsninger?

Udgangspunktet for enhver regulering bør være, at det velfærdsøkonomiske udbytte bliver størst muligt, under hensyntagen til, at der kun er en begrænset mængde ressourcer til rådighed (Schou et al., 2005). Det betyder, at de gevinster, der er forbundet med reguleringen, bør stå mål med de omkostninger, som reguleringen ansporer folk til at påtage sig. I Harrestrup Å projektet vil disse gevinster først og fremmest være i form af rent badevand ved Kalvebod Brygge og rent vand i Harrestrup Å. I et større landspolitisk perspektiv kan gevinsterne være i form af reduceret risiko for oversvømmelse i byområder og de dertilhørende skader på bygningskonstruktioner og infrastruktur.

Potentielle skader som følge af oversvømmelser vil kunne estimeres ved hjælp af urbane hydrologiske modeller – såsom MIKE URBAN - i sammenhæng med GIS data og bygningsdata fra OIS databasen (Seidelin et al., 2007). Det er derimod, ikke på nuværende tidspunkt, muligt at vurdere de velfærdsøkonomiske gevinster af rent badevand ved Kalvebod Brygge. Med manglende information på de velfærdsøkonomiske gevinster vil det ikke være muligt at identificere den sociale optimale regulering. Den næstbedste løsning vil være at sikre omkostningseffektiv regulering, dvs. en regulering med størst mulige effekt til de laveste mulige omkostninger.

Indenfor regulering er der overordnet to muligheder. Den først mulighed kaldes ”Command & Control” (C&C) regulering og virker f.eks. ved, at myndighederne sætter standarder og direktiver for folks handlinger. C&C er effektiv, men ikke nødvendigvis omkostningseffektiv. C&C er effektiv i den forstand, at det sikrer, at målsætningerne med reguleringen opnås. Folk vil leve op til de definerede standarder og direktiver, hvis omkostningerne ved ikke at gøre det, i form af bøder og straf, er højere end omkostningerne forbundet med at efterleve de pålagte standarder og restriktioner. Det store problem ved C&C er, at standarder og direktiver ofte designes og fungerer uafhængigt af de omkostninger, der er forbundet med dem (Engel et al., 2008). Det fremgår af figur 14, at omkostningerne ved at afkoble regnvand kan variere betydeligt. Det betyder, at C&C kan være en meget dyr velfærdsøkonomisk løsning. Ud fra et omkostningseffektivitetsperspektiv vil det give meget mere mening at få folk med lave omkostninger til at afkoble og lade folk med høje omkostning i fred. Problemet er blot, at myndighederne ikke kender omkostningerne for den enkelte og dermed ikke kan differentiere mellem folk.

Den anden reguleringsmulighed er baseret på økonomiske incitamenter. Disse virker ved at pålægge folk økonomiske afgifter eller give folk økonomisk tilskud for en given handling (Hanley et al., 1997). I forhold til implementering af LAR løsninger bør en afgift eller tilskudssats være afhængig af mængden af vand, som folk udleder fra deres grunde, eller den mængde vand de reducerer udledningen med gennem LAR løsninger. Størrelsen af afgiften eller tilskuddet bør altså være bestemt af den m^3 regnvand, de håndterer gennem LAR løsninger. Afhængig af afgiften eller tilskuddets størrelse vil folk med lave omkostninger implementere LAR løsninger, når omkostningen ved dette vil være lavere end afgiftsbesparelsen eller tilskuddet. Folk med høje omkostninger vil derimod kun implementere LAR løsninger i mindre omfang eller slet ikke. På den måde skaber regulering baseret på økonomiske incitamenter fleksible løsninger, hvor folk

kan implementere LAR løsninger i det omfang, det er økonomisk muligt for dem. Nogle vil kunne afkoble hele deres grund, mens andre kun vil kunne afkoble deres udestue eller skur. Fælles for alle løsningerne vil være at omkostningerne ikke overstiger afgiften eller tilskuddet. Regulering baseret på økonomiske incitamenter sikrer dermed et omkostningseffektivt resultat.

Det store problem ved regulering baseret på økonomiske incitamenter er spørgsmålet om størrelsen. Hvor stor skal afgiften eller tilskuddet være for at opnå det ønskede resultat? Hvis man som myndighed ikke kender folks omkostninger, er det svært at bestemme afgiften eller tilskuddets størrelse. Strategien bør derfor være, at gøre det klart for folk, at man som myndighed vil ændre størrelsen afgiften eller tilskuddet, hvis det ønskede resultat ikke opnås. I tilfældet af en afgiftsordning bør myndigheden kun justere afgiften opad, mens det omvendte gør sig gældende for tilskud. Dette betyder også, at det økonomiske incitament bør være en løbende ordning og ikke udbetales som et samlet engangsbeløb.

Figur 14 og figur 15 giver et indblik i nogle af de prisfastsatte omkostningerne forbundet med LAR, men udgør på ingen måde de samlede omkostninger. Inden gravemaskinerne står i folks baghave, vil de have brugt en del tid på at danne sig et overblik over hvilke LAR løsninger, der er tilgængelige, og om de er økonomisk rentable i forhold til afgiften eller tilskuddet, og om hvordan det rent praktisk kan lade sig gøre på deres grunde. De har brugt tid på at ringe rundt til myndigheder for at finde ud af hvilke krav og forpligtigelser, de skal leve op til, og hvordan man rent administrativt får reduceret sin afgift eller opnår sit tilskud. De har også brugt tid på at ringe rundt til entreprenører for at få tilbud og for at bestemme sig for, hvem de stoler på, og hvem der kan tilbyde den bedste løsning. Og inden de bruger al den tid, har de brugt tid på at overveje, om det overhovedet kan betale sig at bruge al den tid, når man nu ikke ved, om det overhovedet kan betale sig at gå i gang. Al den tid og de bekymringer er en ikke prisfastsat omkostning, og det samme er risikoen for, at al den tid er spildt, hvis det alligevel ikke kan betale sig. Derudover kan den opfattede risiko ved "nye" teknologier såsom LAR udgøre en omkostning, selvom denne opfattede risiko er ubegrundet. Eksempelvis kan folk måske tro, at der er en øget risiko for vand i kælderen med en faskine i baghaven. Selvom dette ikke er tilfældet, er den opfattede risiko reel for den enkelte og dermed en omkostning. I selve implementeringsfasen vil der ydermere være en omkostning forbundet ved ikke at kunne benytte grunden, som folk plejer.

Alle disse ukendte omkostninger knytter sig ikke til den konkrete implementering af de anlæg, der faktisk reducerer mængden af regnvand fra grundene. Dermed er de blot omkostninger og barrierer for reguleringens succes, og bør reduceres i videst mulig omfang. Mængden af tid folk bruger kan reduceres gennem veltilrettelagte informationskampagner samt en hurtig og smidig myndighedshåndtering. Informationskampagner vil ligeledes kunne ændre folks opfattelse af risikoen ved LAR og dermed reducere de samlede omkostninger. Problemet med omkostningerne i selve implementeringsfasen vil der ikke kunne gøres meget ved fra myndighedernes side.

En grundigere gennemgang af potentielle reguleringsmuligheder samt deres fordele og ulemper vil kunne findes på Toke Panduros hjemmeside.

Informationskampagner i praksis

Informationskampagner kan operere på mange forskellige medieplatforme der både kan fungere enkeltvis og som en del af en større kampagnestrategi der bygger på flere medieplatforme. Erfaring viser at konkrete eksempler på LAR-løsninger med ansigt til ansigt kommunikation skaber de bedst resultater i forhold mindske folks usikkerhed og skabe overblik. I Holland er der mange og gode erfaringer med at det offentlige arrangerer offentlige udstillinger, hvor borgerne kan:

- få en klar forståelse af hvordan LAR-elementer virker i praksis
- få viden om hvordan LAR-elementerne anlægges på egen grund
- stille spørgsmål til forskellige eksperter om LAR-elementerne
- komme i kontakt med entreprenører der kan udføre arbejdet.

Et andet eksempel på en informationskampagne for at fremme afkobling på privat grund er Vand-have-projektet, der blev gennemført i Dordrecht i Holland i 2007 (figur 16). Her tilbød kommunen gratis kurser til borgere, der var interesseret i at implementere LAR-elementer i deres have. Undervisningen blev varetaget af eksperter fra forskellige fagområder. Borgerne fik her mulighed for:

- at lære om betydningen af lokal håndtering af regnvand
- lære om de tekniske aspekter af LAR-anlæg
- designe deres egen løsning under vejledning af eksperter
- få overslag over de forventede omkostninger

Projektet var succesfuldt og gav kommunen stor prestige blandt borgerne. Kurset var et startskud til at hjælpe de første igang med at afkoble, og fik derved sat en bevægelse i gang, hvor et stigende antal borgere blev opmærksomme på mulighederne og efterhånden koblede af.



Figur 16. Et eksempel på lokal regnvandshåndtering i en privat have i Dordrecht. Foto: Chiara Fratini.

Aktørinteresser og barrierer

Landskabsbaserede afvandingsløsninger kommer uundgåeligt til at involvere en lang række aktører og interesser på alle niveauer. Dermed stiger den organisatoriske kompleksitet i beslutningsprocessen. Med det formål at forstå i hvilken udstrækning landskabsbaserede afvandingsløsninger kan imødekomme hovedaktørernes behov er der i forbindelse med casestudiet taget hul på en aktøranalyse. Gennem analysen identificeres de barrierer, der eksisterer over for afkoblinger af både offentlige og private befæstede

arealer. På baggrund af resultatet skal der foreslås strategier, der kan imødekomme aktørernes interesser og overkomme barrierer.

Aktøranalysen præsenteret i det følgende er baseret på en brainstorm med resten af 2BG-forskningsgruppen; en workshop i Odense d. 29. juni 2009, hvor en række repræsentanter fra Odense, Århus, Greve og Københavns kommuner og forsyningsselskaber blev bedt om at identificere hovedaktørerne bag landskabsbaserede afvandingsløsninger på byskala; et interview med Jan Burgdorf Nielsen fra Københavns Kommune, Teknik og Miljøforvaltningen for at bekræfte billedet og tilføje evt. vigtige aktører og drivkræfter i den lokale situation; samt 4 interviews gennemført af to studerende, Alice Broeng Andersen og Julie Benedicte-Nislev med Jan Burgdorf Nielsen, Københavns Kommune, Charlotte Storm, Københavns Energi, Peter Daniel Andersen, Vanløse Skole, Anette Velk fra et lokalt ejendomsselskab i Vanløse, samt Kristoffer Amlani Ulbak fra Gladsaxe Kommune (Andersen og Benedicte-Nislev, 2009).

Som yderligere input benyttes et tidligere gennemført studium fra Holland, hvor der blev gennemført 30 interviews med professionelle og private (Fratini, 2009).

Der er to hovedaktører i beslutningsprocessen; Københavns Kommune (KK), repræsenteret ved Center for Park og Natur, og Københavns Energi (KE), der er Københavns forsyningsselskab og 100 % ejet af kommunen. Både KK og KE er interesserede i at afkoble en stor del af byens befæstede arealer fra kloakken, men ud fra forskellige motiver og ideer om hvordan det gøres bedst. KK er interesseret i at benytte vandelementer og grønne områder til rekreative formål, og har her fokus på Kalveboderne med Kalvebod Brygge og Valbyparken som muligt kommende strandområde. KE er principielt kun interesseret i at implementere LAR hvis det er den billigste måde at opgradere det nuværende fælleskloakerede system på.

Regulering af LAR-løsninger i stor skala vil gøre det nødvendigt at involvere dele af forvaltningen samt andre myndigheder som ikke vil have de samme interesser som Center for Park & Natur og KE. Disse forskellige myndighedsaktører vil både kunne fungere som medspillere såvel som modspillere i beslutningsprocessen. For eksempel vil Center for Veje modsætte sig LAR-løsninger, der vil påvirke vigtige indfaldsveje til byen også selvom denne påvirkning kun vil være midlertidig eller tilbagevendende i kortere tidsrum. LAR-løsninger der involverer svagt trafikerede veje, vil der sikkert kunne argumenteres for med større lydhørhed. Et andet eksempel på en med-/modspiller kunne være Center for Bydesign. Konceptet med grønne og blå elementer i bylandskabet vil der sikkert være åbenhed overfor, men når dette konkretiseres til at afse ressourcer til ændringer i lokalplanerne vil dette muligvis møde modstand.

Den nuværende regulering tager udgangspunkt i private grundejere, der overordnet kan inddeles i énfamiliehuse og etageejendomsselskaber. I en spørgeskemaundersøgelse, der er gennemført af Gladsaxe Kommune for at vurdere interesse i afkobling, har en del af ejerne af énfamiliehuse signaleret modstand over for afkobling. Modstanden skyldes usikkerhed omkring mulige konsekvenser af håndtering af regn i egen have, herunder sagsbehandling, økonomi og de tekniske konsekvenser. Folk mangler

overblik, hvilket udgør en barriere for implementeringen af LAR-løsninger i områder med énfamiliehuse.

Etageejendomsselskaber viser større interesse for afkobling da den nuværende tilskudsordning er særdeles økonomisk attraktiv for dem. Ejendomsselskaberne deler det samme manglende overblik og usikkerhed med grundejere af enfamiliehuse og afventer initiativer fra andre, der kan vise hvordan det kan gøres i praksis. Finansiering synes også at udgøre en forhindring da tilbagebetalingsbeløbet først udbetales når LAR-anlægsudgifterne er afholdt.

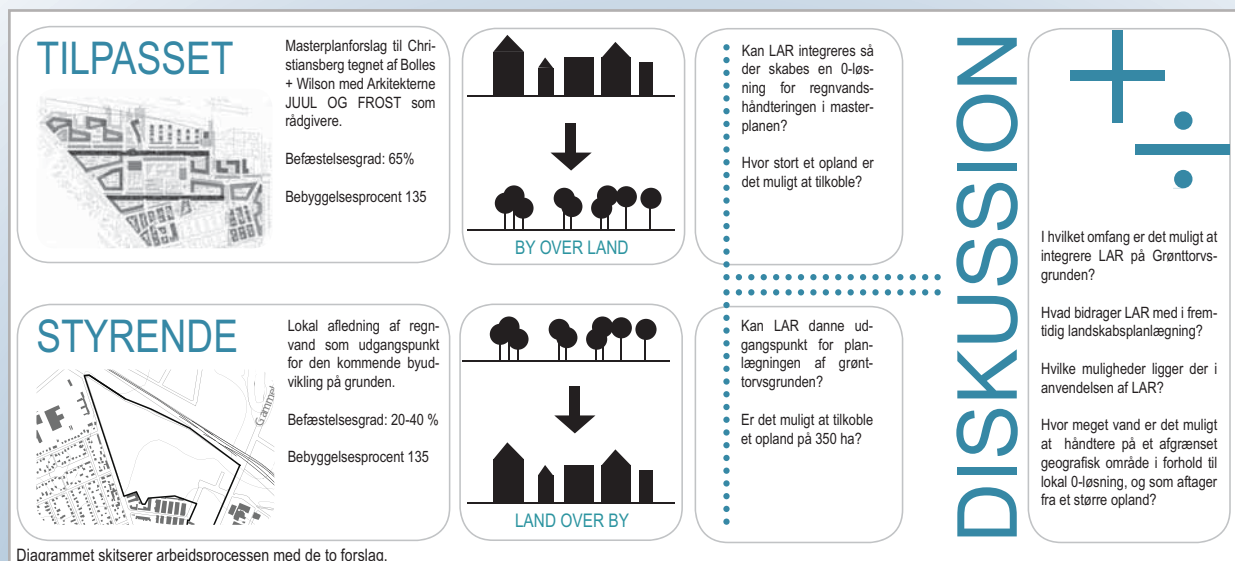
På nuværende tidspunkt er offentlige arealer ikke indtænkt som en del af LAR-løsningen selvom dette vil være oplagt. Ud fra et økonomisk perspektiv bør alle grundejere behandles ens, således at det er de mest omkostningseffektive tiltag, der implementeres. Inddragelsen af offentlige arealer - såsom parker m.m – vil kunne udløse konflikter med brugere af de grønne områder, der ønsker at bibeholde områderne i deres nuværende form. KK er på nuværende tidspunkt allerede opmærksom på idrætsklubber med særlig arealkrævende aktiviteter såsom fodbold. En anden interessegruppe er kolonihave-ejere. Kolonihaver ligger typisk i forlængelse af offentlige grønne arealer, hvilket betyder at kolonihaveejere vil opleve forandring af omkringliggende arealer på tæt hold.

I forbindelse med implementering af LAR i stor skala er det vigtigt at få afdækket hvilke aktører der har interesse i projektet og hvilke potentielle konflikter der kan opstå som følge heraf. Hvilke mod- og medstridende interesser ligger der i projektet, og hvorledes indtænkes de i en større social sammenhæng i det urbane landskab?

Opsummering

Som opsamling på undersøgelsen og diskussionen af de økonomiske og organisatoriske aspekter ved LAR kan det nævnes, at faskiner og regnbede kan være et omkostningseffektivt alternativ i fælleskloakerede områder. Regulering bør baseres på enten en afgift eller et tilskud, der er afhængigt af mængden af vand, der håndteres. En afgift eller tilskudsordning bør suppleres med informationskampagner. Derudover bør aktører og interesser kortlægges og indarbejdes i en strategi, for derigennem at fremme en social bæredygtig udvikling i det urbane landskab.

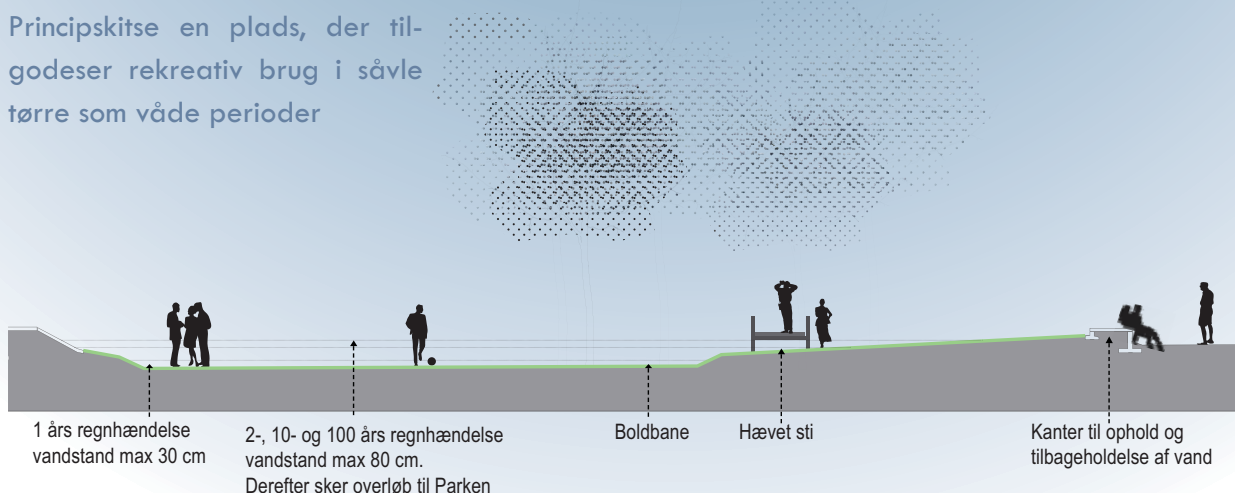
En metodisk undersøgelse af lokal afledning af regnvand på Grønttorvsgrunden i Valby



To specialestuderende i landskabsarkitektur, Karin Kragtig Peschardt og Sara Birkmose Andersen, har undersøgt mulighederne for at implementere landskabsbaseret regnvandshåndtering på Grønttorvsgrunden i Valby. De kvantificerede de forventede regnvandsmængder og udviklede to forslag der henholdsvis tilpassede den eksisterende masterplan for området til landskabsbaseret regnvandshåndtering, henholdsvis undersøgte en mulig maksimal retentions- og infiltrationskapacitet på grunden. Deres arbejde viser, at selv den tilpassede masterplan har en potentiel overkapacitet, der kan udnyttes til at håndtere overskydende regnvand fra omkringliggende byområder.

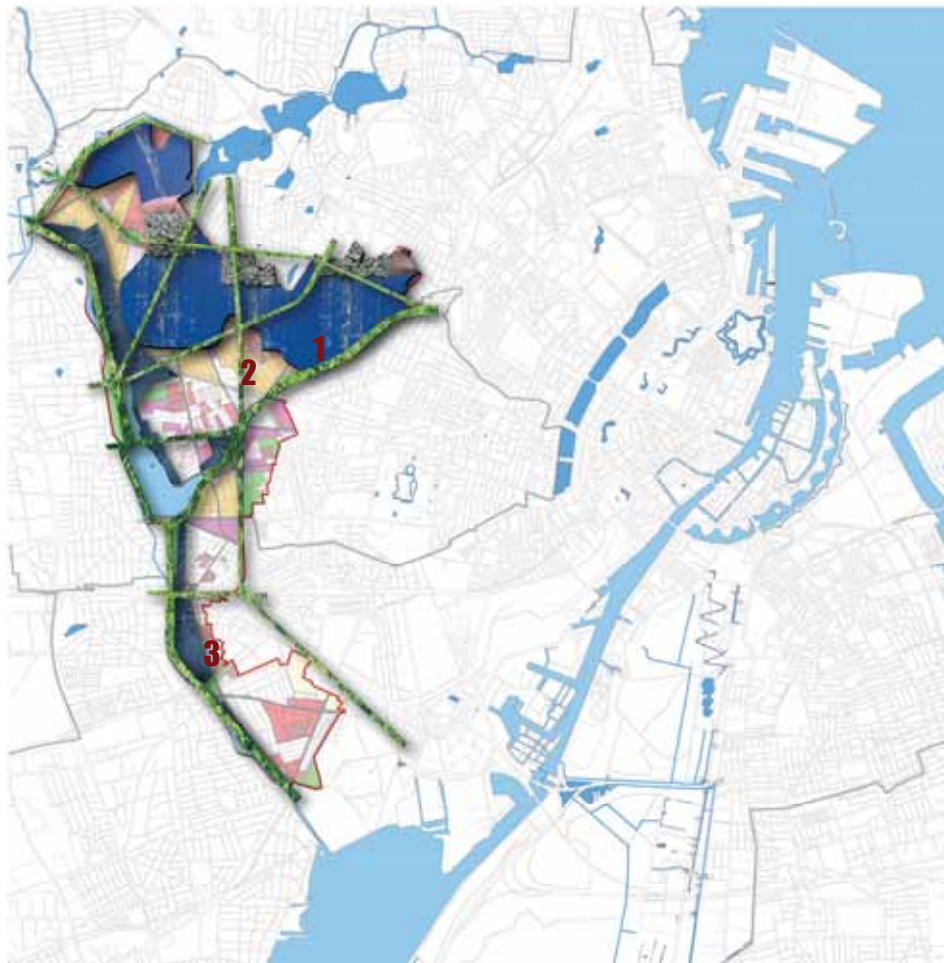


Principskitse en plads, der tilgodeser rekreativ brug i såvel tørre som våde perioder



Strategiudkast

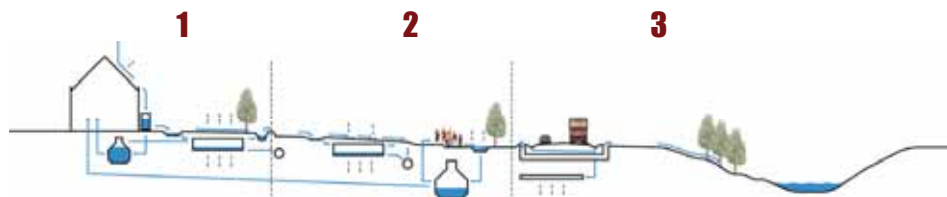
Forslag til afkoblingsstrategi for det københavnske Harrestrup Å opland



Figur 17. Overordnet oplandsstrategi, inddelt efter 3 områdetyper: 1) infiltration i det nordligste område. 2) sammentænkning med grønne forbindelser . 3) udnyttelse af terræn for udledning til lokal recipient.

På baggrund af den gennemførte stedsanalyse, synergimulighederne, forureningsbetragtninger og den urbane vandkredsløbsmodel foreslår vi en differentieret strategi for håndtering af regnvand i det københavnske Harrestrup Å opland. Vandkredsløbsmodellen peger på risikoen for at massiv forøgelse af infiltrationen vil føre til permanent højtstående grundvand i mange områder. For at undgå dette scenarie lægges vægten på fordampning, forsinkelse og transport til recipient, samt genbrug af regnvand og infiltration i udvalgte områder.

Der arbejdes ud fra et koncept om ”koblede afkoblinger” (figur 18). Heri ligger, at de enkelte elementer for landskabsbaseret regnvandshåndtering (f.eks. regnbede og faskiner) er forbundet i serier via overløb (f.eks. til grøfter).



Figur 18. Principskitse af "koblede afkoblinger" som et serielt forbundet system af forsinkelselementer og overløbsstrukturer. Vægtningen af indsatser på matrikel-, kvarters- og bydelsniveau varierer i forhold til det enkelte område, der er i fokus. De nedenfor angivende områdetyper 1-3 har henholdsvis fokus på matriklen (type 1), kvarteret (type 2) og udnyttelse af terrænet tæt på recipienten (type 3).

Vi anbefaler generelt at der benyttes vegetationsdækkede overfladeløsninger som grønne tage, regnbede, infiltrationsplæner, trug og vadier. Disse løsninger fremmer fordampning, forsinker og reducerer afstrømningen, og har gode renseegenskaber. Overalt hvor det er muligt bør disse løsninger vælges frem for underjordiske faskineløsninger.

For Harrestrup Å oplandet foreslås en geografisk opdelt strategi, der tager højde for de hydrologiske forhold i området og som samtidig fremmer synergi med andre funktioner af det eksisterende bylandskab. Som vist på figur 17 er der identificeret tre forskellige arealtyper, der foreslås behandlet efter hver sin strategi.

- Områdetype 1. Promovering af kontrolleret nedsivning.
- Områdetype 2. Promovering af blå/grønne parkveje.
- Områdetype 3. Promovering af regnvandstransport til recipienter .

Områdetype 1. Promovering af kontrolleret nedsivning

I områdetype 1 er afstanden til det øverste grundvandsspejl relativt stor, så her kan infiltration anvendes i nogen grad (figur 19) Vi foreslår, at kommunen og de private husejere arbejder sammen om at afkoble så store befæstede arealer fra kloaksystemet som muligt. Målet kan nås med informationskampagner og incitamentsfremmende strategier, der informerer de private husejere, og får dem som medspillere i byens tilpasning til et ændret klima.

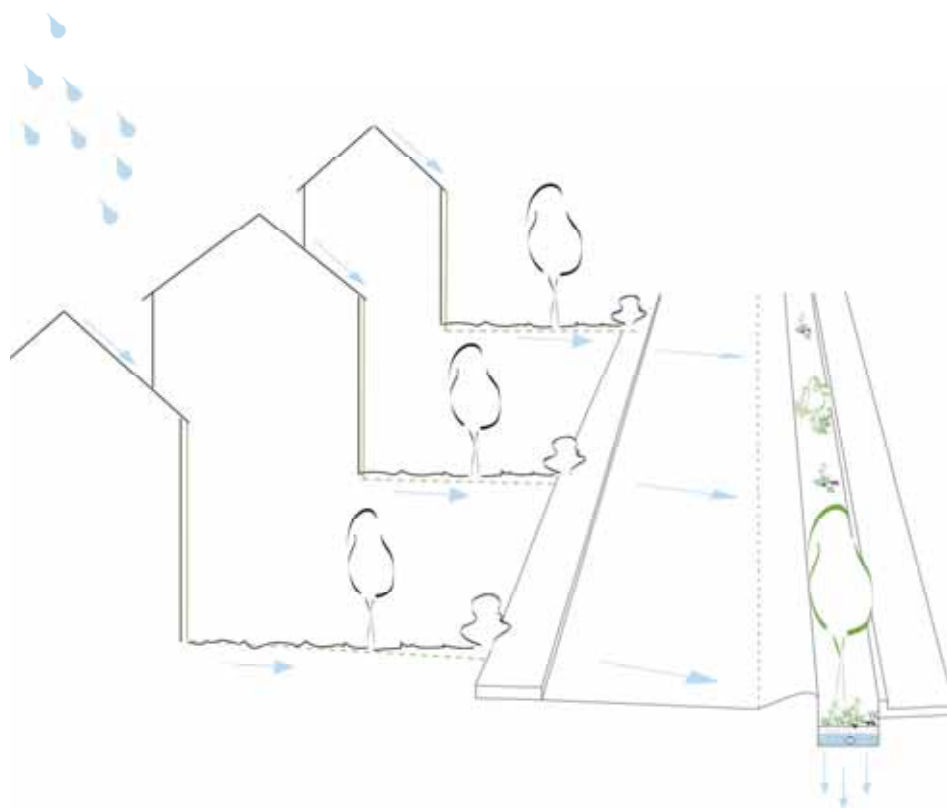
I disse højtliggende områder ser vi mulighed for at afkoble store arealer ved brug af en række små, isolerede elementer, der tillader fordampning og infiltration. Elementer på privat grund, som grønne tage, vadier, regnbede, infiltrationsplæner og evt. faskiner, skal suppleres med en kommunalt anlagt og drevet Plan B løsning, der kan håndtere overløb fra elementerne på privatgrund, f.eks. ved en 5 års regn, ved brug af gader og nærliggende grønne områder.



Figur 19 Principskitse af løsningsmuligheder i områdetype 1.



Figur 20. Principskitse af blå/grønne parkveje i områdetype 2.



Figur 21. Principskitse af løsningsmulighed i områdetype 3.

Områdetype 2. Promovering af blå/grønne parkveje

Københavns Kommune arbejder på at etablere grønne forbindelser mellem eksisterende grønne områder for at fremme bynaturen og rekreative mulighederne i den tætte by. Vi foreslår at dette mål forsøges realiseret i synergi med en regnvandshåndteringsstrategi. ”Blå/grønne parkgader” kan bruges til opsamling og håndtering af regnvand fra naboarealer via tilstødende gader og integrere vandet som et værdifuldt element i gaden, f.eks. i form af en åben vandkanal, der tjener til forsinkelse, og evt. nogen grad af infiltrations-elementer (figur 20). En strategi for grønne parkgader, forankret hos kommunen, vil omdanne eksisterende gader til grønne forbindelser, der opgraderer det lokale klima, regulerer tung trafik og fremmer tilgængeligheden for bløde trafikanter.

Områdetype 3. Promovering af regnvandstransport til recipienter

For områder, hvor terrænet skræner mod eksisterende grønne områder med åbne vandsystemer foreslår vi en strategi baseret på forsinkelse, rensning og transport til recipienten. Dette skaber samtidig lineære forbindelser – kiler i byens masse - der fremmer den rumlige sammenhæng mellem ådalene og den bagvedliggende by. Eksisterende gader omdannes til at kunne transportere vandet fra huse, fortove og vejen selv til recipienten, f.eks. ved at implementere en rendesten eller et regnbed langs vejen (figur 21). Vandet magasineres på gaden og strømmer langsomt nedad mod recipienten. Lokale forhindringer som større krydsende veje, jernbaser og lokale lavninger skal passeres, hvortil man kan forestille sig forskellige muligheder (se temaopslag vedrørende ”dead-ends”). Som vist i 1:1 Landskabs arbejder (se temaopslag vedrørende afkobling af Vanløse Skole) kan man også forestille sig transportelementer anlagt som grønne strøg langs skel i baghaven.

Eksisterende grønne områder og åbne vandområder anbefales ikke kun brugt i ekstrem-situationen (Plan B), men bør også håndtere vand i normalsituationen. Disse områder får dermed en mere dynamisk karakter end i dag med skiftende vandstande og i nogle tilfælde vil de levere areal til anlæg til rensning af vand, der ankommer via veje.

De foreslåede arealtyper med tilhørende strategi har flydende grænser og ikke alle arealer inden for oplandet kan klart siges at tilhøre en af de tre typer. I disse områder kan en kombination af tiltagene for de tre arealtyper være muligt.

Vi forestiller os at en kombination af forskellige strategier og elementer kan gøre det muligt at håndtere regnvand lokalt som et supplement til det konventionelle kloaksystem, uden at der derved opstår problemer med forsumpning af oplandet. Dette kan sikres ved at gå gradvist frem.

Tabel 3. Oversigt over områdestrategier.

	Områdetype 1 Promovering af kontrolleret nedsivning	Områdetype 2 Promovering af blå/grønne parkveje	Områdetype 3 Promovering af regnvandstransport til recipienter
Afvandingsstrategi og elementer	Regnvand håndteres på det enkelte areal i samarbejde med den private grundejer. Elementer: grønne tage, vadier, regnbede, infiltration gennem græs, trug	Grønne parkgader til at transportere og håndtere regnvand fra omgivende arealer. Elementer: Infiltration gennem græs, trug, åbne vandkanaler	Afstømningen fra de befestede arealer føres til lokale gader, hvor det forsinkes og transporteres til lavtliggende grønne områder og åbne recipienter. Elementer: rendestene og regnbede i gaderne.
Plan B	Overløb til kloak, rendesten der fører til grønt områder, eller regnbet i vejen	Overløb til grønne områder eller kloak	Overløb til grønne områder og åbne recipienter
Kontrol af kvalitet	Ingen kobber- eller zink- tage. Infiltration gennem filtermuld i videst mulige omfang. Faskiner bør kun bruges til rent tagvand.	Regnvand bør forsyne systemer med åbent vandspejl, hvis det stammer fra rene overflader som tage eller er underkastet forudgående rensning. Systemer med indbygget rensekapacitet (f.eks. regnbede og trug), bør anvendes i videst mulig omfang. Alternativt er en god "end-of- pipe" renseforanstaltning en mulighed for udledning til recipient.	Systemer med rensekapacitet (f.eks. vegetationsbærende grøfter) bør anvendes i videst mulig omfang. Alternativt (f.eks. ved brug af rendesten) bør systemet suppleres af en god "end-of- pipe" løsning for udledning til recipient.
Synergimuligheder	Involvering af borgerne. Øget opmærksomhed og deltagelse i løsninger. Styrkelse af lokal identitet i bebyggelsen.	Sammentænkning af grønne forbindelser med normal afvanding og Plan B-løsninger i en integreret blå/grøn struktur. Øget opmærksomhed, forbedret lokalt klima og bynatur, bedre forhold for fodgængere og cyklister, nye rekreative områder	Forbedret rumlig og strukturel sammenhæng mellem by og grønne områder. Smukkere gaderum. Trafikdæmpende foranstaltninger .
Udfordringer	En god strategi for involvering af aktører	Trafikafviklingen	Lokale lavninger, krydsning af store veje krydsning af jernbanen

Arbejdet med den enkelte lokalitet

Arbejdet med det enkelte sted afdækker typisk en lang række problemer, der først viser sig når den specifikke løsning skal findes. I arbejdet med Harrestrup Å casestudiet er der skitseret og diskuteret en række løsningsdesign for forskellige situationer i oplandet (se temaopslag vedrørende afkobling af Vanløse Skole). Ved hjælp af studenteropgaver, en 14 dages workshop med professionelle landskabsarkitekter, samt egne skitser er der opnået en bedre forståelse af de stedsafhængige udfordringer vi står over for, når vi kaster os ud i lokal regnvandshåndtering. Listen af problemstillinger, der herved er genereret, har givet feedback til den overordnede strategi for det samlede område. Nogle af de udfordringer, der viser sig når der arbejdes med det specifikke design er:

- **Skala som et komplekst planlægningsproblem**

Arbejdet med lokal håndtering af regnvand kræver en holistisk forståelse af byens vandsystem på alle niveauer af planlægningen. Når en afvandingsløsning skal planlægges er designeren nødt til at forstå det omkringliggende naturlige vandopland og det eksisterende kloaksystem såvel som det lokale terræn og den rute en regndråbe vil følge når den falder på stedet.

- **Økonomiske aspekter**

Tilpasning af eksisterende by til mere regn kan blive meget dyrt, jf. foregående kapitel, idet terrænet skal bearbejdes og konflikter med eksisterende rørsystemer og øvrige infrastrukturfunktioner på stedet skal løses. Her er det vigtigt at identificere billige løsninger, som kan implementeres trinvis.

- **Løsninger på kort sigt og løsninger på lang sigt**

Ved en trinvis tilpasning af eksisterende by til mere regn er det vigtigt at planlæggerne er opmærksomme på at de enkelte tiltag der implementeres ikke forhindrer større fremtidige tiltag, herunder en holistisk løsninger for det samlede system. Som nævnt tidligere bør de letteste tilpasninger foretages først for dermed at høste de mest oplagte muligheder først, og samtidig skabe et erfaringsgrundlag for senere mere komplekse langtidsløsninger.

- **Respekt for de eksisterende områder**

Når der implementeres nye regnvandsløsninger må de eksisterende områder må landskabet eksisterende funktioner ikke kompromitteres. Regnvandsløsningen bør ikke designes som et ekstra lag i området, men integreres i de eksisterende miljø.

- **Beplantning og vedligehold**

Planter der kan tolerere ekstreme våde og ekstreme tørre vækstforhold er ikke almindeligt udbredte i byernes beplantninger. Særligt i en dansk kontekst er der behov for at få samlet viden om vand- og tørketolerante arter. Desuden vil der være behov for at justere sædvanlig plejepraksis til vedligeholdelse af planter i LAR-elementer.

- **Kommunalt ansvar**

Vandsystemer stopper ikke ved skel mellem ejendomme, og matcher heller ikke altid ansvarsfordelingen hos myndighederne. En aktørtilgang der går udover de eksisterende forvaltnings- og myndighedsskel er derfor nødvendig hvis der skal implementeres et integreret system.

- **LAR som infrastruktur**

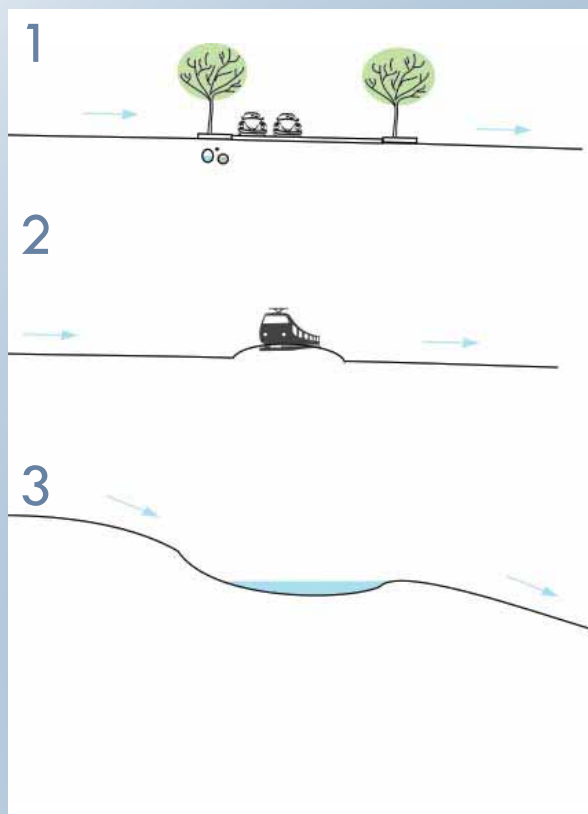
Selv om afvandingssystemer baseret på LAR ofte består af vegetationsdækkede elementer på overfladen er det vigtigt at de får same grad af opmærksomhed som byens kloaksystemer.

- **Om at designe til såvel tørke og som ekstrem regn**

At arbejde med LAR-baserede regnvandssystemer indebærer at der opfindes et designsprog, der fungerer både under tørre forhold og i situationer med ekstrem regn. I hverdagssituationen med ingen eller kun mindre byger er anlæggene overvejende tørre og kun i meget få tilfælde er de reelt fyldt til randen med vand. Dette understreger behovet for en god dimensionering og en forståelse af at systemerne kun sjældent er blå, men det meste af tiden er det grønt system. Hvis hensigten er at lave systemer der har vandspejl til daglig kræver et mere avanceret design med opbevaringstanke, pumper og gode overløbssystemer.

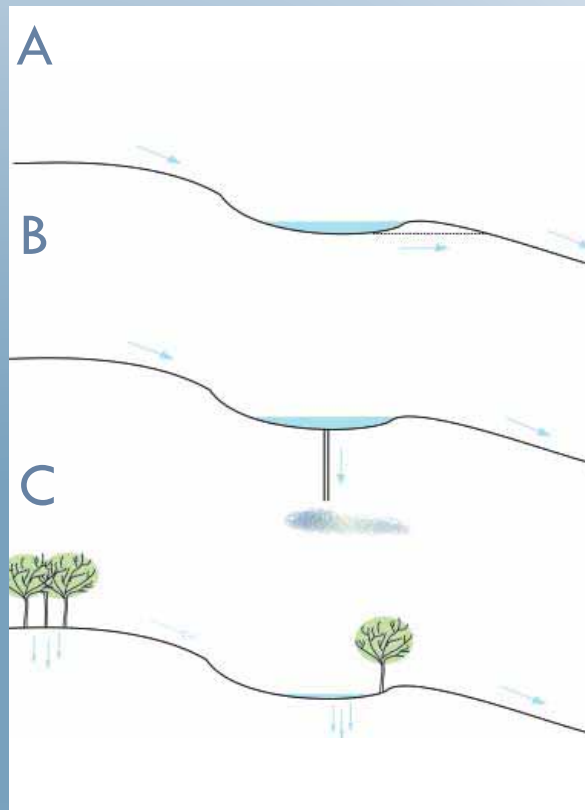
Hvordan kan fysiske forhindringer, “dead-ends” håndteres når regnvand skal sendes overfladisk til en local recipient

Eksempler på “dead-ends”



- 1= Krydsende veje
- 2= Krydsende jernbaner
- 3= local lavning

Mulig stedspecifik løsning



- A= Rør eller dybere rendestene bruges til at krydse vejen/banen
- B=Lokal dyb infiltrationsløsning (til sandlomme)
- C=Brug af lokale grønne områder, f.eks. sportsbaner eller grønne bede på gadehjørnertil forsinkelse og nedsivning før vandet når frem til ”dead-end’en”

Referencer

1:1 landskab (2009). *A natural rainwater flow*. Et designforslag for landskabsbaseret regnvandshåndtering i og omkring Vanløse Skole. Workshop bidrag, Skov & Landskab.

Andersen, A.B. and Benedictsen-Nislev, J. (2009). *Disconnecting Vanløse Private Households.*, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen.

Andersen, S.B. and Kragtig Peschardt, K.(2009). *En metodisk undersøgelse af lokal afledning af regnvand på Grønttorvsgrunden i Valby*. MSc thesis, Skov & Landskab, Københavns Universitet.

BBR-registeret (1996) i Miljøstyrelsen (1998). Boligernes vandforbrug – den udnyttelige regnvandsressource, p9. 46-47.
<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1998/87-985613-4-0/pdf/87-985613-4-0.pdf>

Conklin, J. (2006): *Dialogue Mapping: Building Shared Understanding of Wicked Problems*, Wiley.

DWA (2005): Standard DWA–A 138E, Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water. DWA, German Association for Water, Wastewater and Waste (English version), Hennef 2006.

EC (2008): Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the council of 16. December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy. European Commission. 16-12-2008.

Engel, S., Pagiola S., and Wunder S. (2008): Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*. Vol. 65:4, pp. 663-75.

FK (2009): jordforurening_v1 og jordforurening_v2. udtræk af geodata, Frederiksberg Kommune.

Fratini C. (2008). *Urban Flood Risk Management: Implementation of the 3 Points Approach*. MSc thesis project at the Department of Environmental Engineering of the Technical University of Denmark.

GEUS (2000). Danmarks Digitale Jordartskort 1:25.000. Metadata for Areal Informations Systemet. (AIS)

Greef, P. de (ed.) (2005): *Rotterdam Waterstad 2035 -Internationale Architectuur Biennale*, Episode Publishers, Rotterdam

Hanley N., Shogren J.F. and White B. (1997): *Environmental Economics in theory and Practice*. Published by Macmillan.

IDA (1994): Nedsivning af regnvand – dimensionering. Skrift 25. IDA Spildevandskomiteen 1994.

KK (2009a): LAR_Projekthåndbog – sådan vælger du den rigtige metode til Lokal Afledning af Regnvand (LAR), høringsudgave af 25. juni 2009, Københavns Kommune.

KK (2009b), Den Tænkende Storby, Forslag til Københavns Kommuneplan 2009, Rammer for Lokalplanlægning, Københavns Kommune.

KK (2009c), Den Tænkende Storby, Forslag til Københavns Kommuneplan 2009, Hovedstruktur. Københavns Kommune.

KK (2009d), Lommeparker, træer og andet grønt, udkast af 24. februar 2009, Teknik- og miljøforvaltningen, Københavns Kommune.

KK (2008a). Valby Lokaludvalgs udkast til bydelsplan for Valby, Valby Lokaludvalg, november 2008, Københavns Kommune.

KK (2008b). Forslag til Bydelsplan for Vanløse 2008-2009, november 2008, Københavns Kommune.

KK (2005), Grundvandsplan 2005 for Københavns Kommune, Miljøkontrollen, Københavns Kommune.

KK (2003b) ByskabsAtlas København 2003, Bygge- og Teknikforvaltningen, Københavns Kommune.

MIM (2006): BEK nr.1669. Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet, Miljøministeriet.

MST (2005) Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand. Opdateret 2009. Tilgængelig online:
http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/2EED6D00-3C69-486A-BED8-34B1FD527A8D/0/Kvalitetskriterierjord_og_drikkevand.doc

PH-Consult (2006): Harrestrup Å-system og Kalveboderne, status og modelberegninger for afløbssystem. Udgivet af Københavns kommune.

Rabølle, S., Rauff, S. and Rehling, H. (2009). *Et designforslag for landskabsbaseret regnvandshåndtering i og omkring Vanløse Skole*. Workshopbidrag, Skov & Landskab.

Rosted Petersen et al (1996) i Miljøstyrelsen (1998). Boligernes vandforbrug – den udnyttelige regnvandsressource, p. 54.
<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1998/87-985613-4-0/pdf/87-985613-4-0.pdf>

Roosmalen, L. B., Christensen, B. S. B., Sonnenborg, T. O., 2007: Regional differences in climate change impacts on groundwater and stream discharge in Denmark. *Vadose Zone Journal* 6: 554-571.

Rygaard et al (2006). Integreret håndtering af vand og spildevand i København: Projekt A2, p. 18. <http://www2.er.dtu.dk/publications/fulltext/2006/MR2006-131.pdf>

Rørcentret (2000). Brug af regnvand til wc-skyll og vaskemaskiner i boliger, Rørcenter-anvisning 003. http://www.blst.dk/NR/rdonlyres/64A7BD7A-4025-410C-BC5F-BDCA34248B9B/0/Brug_af_regnvand_roercenteranvisning003.pdf

Schouet J.S., Hasler B. & Hansen L.G.(2005): Styringsmidler i naturpolitikken – miljøøkonomisk analyse. Faglig rapport fra DMU, nr. 564.

Seidelin C., Nielsen T., Kunnerup T., Arnbjerg-Nielsen K, Sneftrup H., Hansen J.H & Olsen D.B (2007): Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. Miljøministeriet.

Stokman, A.; von Seggern, H.; Rabe, S.; Schmidt, A.; Werner, J.; Zeller, S. (2008): *Wasseratlas, WasserLand-Topologien für die Hamburger Elbinsel*. Jovis Verlag GmbH og IBA Hamburg GmbH

Vision (2007): Vision for Harrestrup Å-system og Kalveboderne. Udgivet af Københavns kommune.

Præsentation af de PhD-studerende

Nedenfor præsenteres korte biografier af de ialt 8 PhD-studerende, der er tilknyttet forskningsprojektet "Black, Blue and Green - Integrated Infrastructure Planning as Key to Sustainable Urban Water Systems." Alle har bidraget aktivt til udarbejdelsen af den tværfaglige undersøgelse af mulighederne for landskabshåndteret regnvandshåndtering i de københavnske oplande til Harrestrup Å.



Antje Backhaus, Dipl.-Ing. (FH) i landscape management

Jeg er PhD-studerende i landskabsarkitektur på Skov & Landskab ved Københavns Universitet. Før jeg startede min PhD i februar 2008 arbejdede jeg som landskabsarkitekt og planlægger på tegnestuen "Gruppe F" i Berlin. Min PhD, der er en del af 2BG-projektet, har titlen Urban Stormwater Landscapes – Values and Design".

I Harrestrup Å projektet har jeg arbejdet tæt sammen med Ole Fryd og forsøgt at udvikle strategier, værktøjer og retningslinier til planlægning og implementering af landskabsbaseret regnvandshåndtering i København. Mit hovedfokus har været arbejdet med landskabsbaserede løsninger på projektniveau. Som

en del af dette arbejde har jeg været ansvarlig for organiseringen og gennemførelsen af en workshop for praktiserende landskabsarkitekter.

Email: abac@life.ku.dk. Tlf.: 35331785.



Maria Bergman, civilingeniør i environmental engineering

Jeg er PhD-studerende på DTU Miljø, hvor jeg har været siden april 2008. Mit arbejde fokuserer på at udvikle eksisterende modeller for byens afdræning til at inkludere LAR-metoder så som faskiner, grønne tage, infiltrationsoverflader m.v. Målet er at gøre interfacet mellem konventionelle MOUSE-beregninger og de p.t. håndbaserede dimensioneringer af LAR-elementer mere smidigt. Jeg har i fællescasen hjulpet Antje Backhaus med at vurdere dimensioner på lokale løsninger, og er desuden påbegyndt en vurdering af sammenhæng mellem afkoblingernes fordeling i

oplandet og antal overløb i de enkelte overløbsbygværker.

Email: mkb@env.dtu.dk. Tlf.: 45251690.



Heidi Birch, miljøingeniør fra DTU

Jeg er PhD-studerende på DTU Miljø, hvor jeg har været siden februar 2008. Formålet med PhD-projektet er at få en bedre forståelse af de processer, der kontrollerer udledninger fra spildevandssystemer under regn, samt at optimere design af monitoringsystemer for prioriterede stoffer ved at bruge ny teknologi og viden fra modeller. I nærværende projekt har jeg arbejdet tæt sammen med Simon Toft Ingvertsen om beskrivelsen af afstrømningens forureningsgrad i forhold til forskellige kvalitetskriterier og om strategier for kontrol af afstrømningens

kvalitet. Desuden samarbejde med Antje Backhaus i udviklingen af planløsninger, der går på tværs af rumlig skala, og med Jan Jeppesen i udviklingen af værktøjer til vurdering af samspillet mellem afstrømningen og de eksisterende hydrologiske forhold.

Email: heb@env.dtu.dk. Tlf.: 45251608.

Chiara Fratini, MSc i environmental engineering, speciale i water management

I forbindelse med mit speciale fra DTU, og som en del af mit internship i afdelingen for water management i det hollandske ingeniørfirma Tauw, har jeg gennemført tre case studier vedrørende regnvandshåndtering i Holland og Danmark med i alt 35 kvalitative interviews. Mit ophold hos Tauw gav mig et væsentligt indblik i tilgangen til regnvandshåndtering i Holland, hvilket jeg kunne bruges som sammenligningsgrundlag til vurderingen af tilgangen i Danmark. I forbindelse med min ansættelse som forskningsassistent på DTU Miljø har jeg deltaget i 2BG-casestudiet. Mit fokus har været at gennemføre en foreløbig aktor-analyse og, med udgangspunkt i erfaringerne fra mit



afgangsprojekt, bidrage med anbefalinger, der kan fremme den sociale dimension og øge motivationen for at engagere sig i lokale afkoblingsløsninger. Jeg er netop startet som PhD-studerende på DTU Management. Titlen på mit PhD-projekt er "Integrated Management of Urban Water Systems". Formålet med projekter er at få et bedre indblik i, hvorledes danske forvaltninger og forsyningselskaber kan fungere som katalysatorer for de tekniske og organisatoriske innovationer, der er nødvendige, for at fremme mere bæredygtige urbane vandsystemer. Heri har metoder til fremme af det tværfaglige samarbejde og den sociale involvering på lokalt niveau en særlig prioritering.

Email: chif@env.dtu.dk. Tlf.: 45251462.



Ole Fryd, civilingeniør i urban design

Jeg er PhD-studerende på Skov & Landskab, hvor jeg har været siden november 2007. Min hovedinteresse ligger i udviklingen af strategier til transformation af den eksisterende by til mere vandsensitive urbane landskaber. Heri indgår særligt de fysisk-strukturelle udfordringer vedrørende håndtering af vand i byen samt mulighederne for at bruge visionsplaner som ramme for implementeringen af landskabsbaseret regnvandshåndtering. I nærværende projekt har jeg arbejdet tæt sammen med såvel Antje Backhaus i udviklingen af planløsninger, der går på tværs af rumlig skala, som med Jan Jeppesen i udviklingen af værktøjer til vurdering af samspillet mellem arealanvendelse og hydrologisk kapacitet.

E-mail: ofr@life.ku.dk. Tlf.: 61307761.



Simon Toft Ingvertsen, Miljøkemiker

Jeg er Ph.D-studerende indenfor vandkvalitet og lokale renseteknologier ved Institut for Jordbrug og Økologi på KU-LIFE. Jeg har været i gang med projektet siden februar 2008 og mit arbejde skal bidrage til at sikre en tilfredsstillende kvalitet af det vand som udledes til vandmiljø og grundvand som følge af landskabsbaseret afvanding i byerne. I nærværende fællesprojekt I nærværende projekt har jeg arbejdet tæt sammen med Heidi Birch om beskrivelsen af afstrømningens forureningsgrad i forhold til forskellige kvalitetskriterier og om strategier for kontrol af afstrømningens kvalitet. Mit hovedfokus har været på sidstnævnte, og arbejdet har været baseret på eksisterende undersøgelser og erfaringer med nedsivningssystemer, primært hentet i den internationale litteratur.

E-mail: sti@life.ku.dk. Tlf.: 35333462.



Jan Jeppesen, cand. scient. hydrogeolog og ansat ved ALECTIA A/S

Jeg er PhD-studerende på Geologisk Institut, Århus Universitet. Jeg er færdig med PhD studiet 1. maj 2009. Siden 2002 har jeg arbejdet som hydrogeolog hos Watertech og ALECTIA A/S. Min PhD, der er en del af 2BG-projektet, har titlen "Kvantificering af det urbane vandkredsløb". I projektet udvikles en integreret urban vandkredsløbsmodel med fokus på grundvandssystemet. Modellen kan simulere de hydrologiske forudsætninger og konsekvenser af at implementere LAR. I Harrestrup Å projektet har jeg arbejdet tæt sammen med Ole Fryd og forsøgt at modellere de hydrologiske forudsætninger og konsekvenser af forskellige strategier for landskabsbaseret regnvandshåndtering i København. Mit hovedfokus har været simulering af LAR strategier, men den opstillede model er også brugt til at simulere den historiske udvikling af vandkredsløbet i København for perioden 1850-2003. Mit fremtidige PhD-arbejde omfatter simulering af LAR strategier under fremtidige klimaændringer.

E-mail: jaje@alectia.com. Tlf.: 27138033.



Toke Panduro, M.Sc. i geografi og geoinformatik

Jeg er PhD-studerende på Skov & Landskab i afdeling for Økonomi, Politik & Driftplanlægning. Formålet med mit PhD-studium er at understøtte beslutningstagere i deres beslutninger omkring håndtering af byens vandsystemer. Det vil jeg gøre via to indsatsler. For det første vil jeg videreudvikle værktøjer til økonomisk vurdering af projekter med særligt fokus på eksternaliteter associerede med landskabsbaseret regnvandshåndtering. For det andet vil jeg analysere eksisterende regulering og foreslå nye reguleringsprincipper baserede på markedsmekanismer, der kan øge udbredelsen af mere bæredygtige

vandhåndteringsløsninger. På nuværende tidspunkt arbejder jeg tæt sammen med det økonomiske råd om at værdisætte grønne områder i de 4 største by i Danmark. Vi forventer at have nogle resultater i slutningen af januar 2010. I det kommende år vil jeg indgå samarbejde med Århus Kommune og Grøntmij | Carl Bro omkring flere velfærdsøkonomiske aspekter af synlig vand i det urbane landskab. Følg mit arbejde og få overblik over de resultater jeg opnår gennem min forskning på min hjemmeside:

<http://sites.google.com/site/tokeemilpanduro/>

E-mail: tepp@life.ku.dk. Tlf.: 23962908.

Udarbejdet af Ole Fryd, Antje Backhaus, Jan Jeppesen,
Maria Bergman, Simon Toft Ingvertsen, Heidi Birch, Toke
Panduro og Chiara Fratini

Med vejledning fra Marina Bergen Jensen, Torben Dam,
Steen Christensen, Jakob Magid, Philip Binning, Peter
Steen Mikkelsen, Hans Christian Holten Lützhøft, Stephan
Pauleit og Bo Jellesmark Thorsen

Tak til Københavns Kommune og Københavns Energi
for undværlig sparring undervejs i projektet.