



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Vand i Byer - fra belastning til ressource

MUDP-rapport

Juni 2018



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Tekst: Hasse K. Davidsen, Karsten K. Andersen, Troels J. Lund, Jens Lange, Karen Damsgaard, Rikke Gram-Hansen, Claus Davisen, Katrine Staal-Thomsen og Hamdi A. Ashur

Fotos:

Jens Lange

ISBN: 978-87-7038-028-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Resume</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>Indledning</b>	<b>10</b>
2.1	Baggrund	10
2.2	Formål	10
<b>3.</b>	<b>Generelt</b>	<b>12</b>
3.1	Klimatilpasning	12
3.1.1	Stigende temperaturer	12
3.1.2	Ændret varighed og intensitet på regnhændelser	13
3.1.3	Stigende havvandstand	14
3.1.4	Påvirkning af grundvandsstand	14
3.2	Ressourceoptimering	15
3.2.1	Ressourceoptimering af overskudsvand	15
3.2.2	Optimering af anlægget	17
3.3	Lovgivning	18
3.3.1	Nedsivning til sekundære magasiner	18
3.3.2	Infiltration til primært grundvandsmagasin	19
3.3.3	Rensning til drikkevand	19
3.3.4	Sekundavand til WC-skyl og tøjvask	19
3.3.5	Sekundavand til erhverv	20
3.3.6	Sekundavand til vanding	20
3.3.7	Fordampning	20
3.3.8	Udledning til naturområde	21
3.4	Smart City	21
3.4.1	Frederiksberg smart city	22
<b>4.</b>	<b>Sensoropsætning</b>	<b>23</b>
4.1	Beskrivelse af opsætning	23
4.2	Test af system	24
4.3	Indsamling af nedbørsdata	24
<b>5.</b>	<b>Udvælgelse af pilotområder</b>	<b>26</b>
5.1	Udvalgte pilotområder	26
<b>6.</b>	<b>Frederiksberg Have</b>	<b>27</b>
6.1	Beskrivelse af området	27
6.1.1	Sideløbende projekter	27
6.2	Indsamling af data	28
6.2.1	Vandkvalitet	29
6.3	Klimaeffekter	30
6.4	Vandbalance	32
6.4.1	MIKE URBAN	35
6.5	Ressourceoptimering	36
6.5.1	Konkretiseringsplanen	37
6.5.2	Opmagasiner	38

6.5.3	Øget nedsivning eller infiltration	39
6.5.4	Anvendelse af overskudsvand som sekundavand	40
6.5.5	Jordvarme og primært energilager	40
6.5.6	MIKE URBAN og MIKE FLOOD	41
6.6	Lovmæssige udfordringer	41
6.6.1	Infiltration til primært magasin	41
6.6.2	Nedsivning i øvre sekundære magasin	41
6.6.3	Anvendelse som sekundavand	42
6.6.4	Rekreativt i bassiner og søer	42
6.6.5	Udledning til havn	42
6.7	Teknisk økonomisk vurdering	42
6.7.1	Udløb fra parken i henhold til konkretiseringsplanen	43
6.7.2	Bassin til opmagasinering og brug af sekundavand	44
6.7.3	Bassin til forsinkelse og nedsivning	45
6.7.4	Oprensning af kanaler og søer	46
6.7.5	Infiltration til primært magasin	47
<b>7.</b>	<b>Ærøvej</b>	<b>49</b>
7.1	Beskrivelse af området	49
7.2	Indsamling af data	49
7.2.1	Vandkvalitet	51
7.3	Klimaeffekter	53
7.4	Vandbalance	54
7.4.1	MIKE URBAN	56
7.5	Ressourceoptimering	58
7.5.1	Anvendelse som sekundavand	59
7.5.2	Nedsivning	60
7.5.3	Øget tilløb til Ærøvej	60
7.5.4	Lagring af primærenergi til varmepumper	60
7.5.5	Konkretiseringsplanen	60
7.5.6	MIKE URBAN og MIKE FLOOD	61
7.6	Lovmæssige udfordringer	61
7.6.1	Anvendelse som sekundavand	61
7.6.2	Udledning til havn	62
7.7	Teknisk økonomisk vurdering	62
7.7.1	Tilløb til Ærøvej	62
7.7.2	Sekundavand fra vej til vanding eller spuling	63
7.7.3	Sekundavand fra vej og tag til husholdning	63
<b>8.</b>	<b>Lindevangsparken</b>	<b>64</b>
8.1	Beskrivelse af området	64
8.2	Indsamling af data	65
8.2.1	Videre arbejder	67
<b>9.</b>	<b>Beslutningskatalog</b>	<b>68</b>
9.1	Evalueringsmatrice	68
9.2	Samlet vurdering	70
<b>10.</b>	<b>Observationer og anbefalinger</b>	<b>71</b>
10.1	Vandmængder – Kvantitet/Kvalitet	71
10.1.1	Observationer	71
10.1.2	Anbefalinger	71
10.2	Digital løsning	72
10.2.1	Observationer	72

10.2.2	Anbefalinger	72
10.3	Planlægning af klimatilpasningsprojekt	73
10.3.1	Observationer	73
10.3.2	Anbefalinger	73
<b>11.</b>	<b>Internationale perspektiver</b>	<b>75</b>
11.1	Erfaringer og muligheder	75
<b>12.</b>	<b>Referencer</b>	<b>77</b>

# 1. Resume

I størstedelen af danske kommuner indsamles overflade- og drænvand og ledes direkte til spildevandsbehandling via byens kloaknet, der mange steder allerede er under stort pres. Håndteringen af vandet er uhensigtsmæssig, da den mange steder udgør en belastning og er forbundet med miljømæssige og økonomiske konsekvenser. En mere intelligent udnyttelse af ferskvandsressourcen forekommer derfor at være et oplagt skridt i retning mod mere bæredygtige byer.

Med de tiltagende klimaforandringer vil byerne og vandressourcen blive påvirket af ændret klima der vil have indvirkning i form af stigende temperaturer, ændret varighed og intensitet på regnhændelser, stigende havvandstand og påvirkning på grundvandsstanden. Disse faktorer er alle med til at sætte fokus på hvordan vandet i fremtiden skal håndteres i byrummet.

Samtidig med stigende klimarelaterede udfordringer, foregår en rivende udvikling inden for Smart City, der favner digitale teknologier og data til at reducere ressourceforbrug, samt en vision om at engagere sig med borgerne på nye måder. Der ses dog også på denne front udfordringer med at finde overensstemmelse mellem de gode ideer og visioner, til faktisk implementering i byen. Ofte kræves store investeringer i nye teknologier, hvor det er uvist hvad effekten vil være og om investeringen betaler sig.

I denne rapport kvantificeres hvor stor en ressource, der unødigt belaster kloakkerne for udvalgte områder på Frederiksberg. Dette gøres ved at teste en sensorteknologi til måling af flow i kloakker, samt muligheden for realtidsmåling af flow, niveau og temperatur i kloakkerne. Disse indsamlede data samt analyse af vandkvalitet, bruges til at foretage en vurdering af hvordan den vandmængde, der i dag belaster, kan omdannes til en ressource. Her vurderes forskellige løsninger i forhold til lovgivning og teknisk-økonomiske muligheder og udfordringer. Derudover foretages en vurdering af de øvrige udfordringer og gevinster der måtte være ved de mulige tiltag.

Der er i projektet udvalgt tre pilotområder, der udgøres af Frederiksberg Have, Ærøvej og Lindevangsparken. Af disse er de to sidstnævnte allerede udførte klimaprojekter. Grunden til at netop disse områder blev udvalgt er at det i opstarten af projektet viste sig problematisk at finde områder hvor der kunne måles separat på enten drænvand eller regnvand. Her var Frederiksberg Have dog en undtagelse, da der herfra i dag ledes store mængder vand til kloak hvert år.

Efter udpegning af pilotområderne, blev der installeret målere, der via hastighed, niveau og rørdiameter, udregner flow i indløb til de udvalgte brønde. Der blev i alt installeret 5 flowmålere fordelt på de tre pilotområder samt en regn-sensor der blev sat op i tårnet på Frederiksberg Rådhus. For Frederiksberg Have og Ærøvej blev der indsamlet gode valide data, og der blev derfor fokuseret på disse to områder i de videre vurderinger. Ved Lindevangsparken var det desværre ikke muligt at få flowmålerne til at sende brugbare data.

Ud over måling af flow ud af områderne, blev der udtaget vandprøver fra hhv. Frederiksberg Have og Ærøvej. Disse vandprøver viste overvejende kvalitet som forventet fra disse typer af arealanvendelse, med mindre overskridelser af kvalitetskriterier for både pesticider og PAH'er. For Ærøvej var der dog forhøjede koncentrationer af COD, BOD og kvælstof, der indikerer spor af spildevand i systemet.

For hvert af de to pilotområder blev det vurderet hvilke muligheder der kunne være for resourceoptimering, både ved at bruge vandet lokalt og ved at koble anlæggene til de planlagte klimaveje iht. den konkretiseringsplan der er lavet for Frederiksberg Kommune. Blandt de foreslåede tiltag er nedsivning til øvre eller primært magasin, anvendelse som sekundavand med forskellige formål, fordampning og optimering af nyopførte anlæg ved indbygning af lagring til primær energi.

For at vurdere de forskellige tiltag mellem hinanden er der opstillet en evalueringsmatrice hvor relevante forhold omkring udvalgte af de foreslåede løsninger er inkluderet. Denne kan bruges som støtte til beslutningstagere for at vurdere hvilke løsninger der kan være interessante at arbejde videre med. Fra denne matrice viste det sig umiddelbart favorabelt at koble Frederiksberg Have til konkretiseringsplanen, da dette isoleret set ville medføre stor økonomisk gevinst. Her antages det dog at en nedstrøms vandvej etableres, hvilket i sig selv vil være en enorm økonomisk post. For håndtering af overskudsvandet lokalt var en af de løsninger der scorede højt, direkte infiltration til primært grundvand. Dette er dog en metode der ikke er set mange eksempler på til håndtering af regnvand, og kan derfor forventes at medføre modstand når der kigges på de lovmæssige forhold.

Til forsinkelse af regnvandet fra Frederiksberg Have, er en løsning hvor kanaler og søer oprenses, og vandstanden styres ved et automatisk skod, den mest attraktive løsning. Denne løsning viser potentielt et stort forsinkelsesvolumen, hvilket kan være til stor hjælp med de fremtidige klimaforandringer.

Metodikken og konklusionerne fra projektet vurderes relevante for såvel danske som udenlandske byer. I f.eks. Kina er der voksende opmærksomhed på klimaforandringer, og med stigende urbanisering oplever mange kinesiske byer stress på vandsystemerne, både når det gælder grundvand og håndtering af regnvand. Der er dog stadig en del barrierer der skal overvindes før de kinesiske myndigheder ændrer på den nuværende praksis, hvor der endnu ikke er fuld tiltro til lokal håndtering af regnvand kontra central behandling og håndtering. Dette åbner muligheden for at overføre de erfaringer danske virksomheder har gjort til det kinesiske marked.



## 2. Indledning

### 2.1 Baggrund

I størstedelen af danske kommuner indsamles overflade- og drænvand fra bl.a. bygninger, veje, sportspladser og parker og ledes i dag direkte til spildevandsbehandling via byens kloaknet, der som regel er fælleskloakeret. Vandet belaster derfor kloaknettet, hvis kapacitet i forvejen er presset, og behandles som opblandet spildevand på rensningsanlægget, hvis kapacitet ligeledes er under pres. Håndteringen af vandet er altså uhensigtsmæssig og forbundet med miljømæssige og økonomiske konsekvenser. Desuden forsynes danske byer af drikkevand, der indvindes som grundvand både bynært og i større afstand. Denne ressource er nogle steder under pres og indvindingen belaster det omgivende miljø, men presset kan reduceres ved at optimere byens vandkredsløb.

En mere intelligent udnyttelse af ferskvandsressourcen forekommer derfor at være et oplagt skridt i retning mod mere bæredygtige byer. For at dette kan lade sig gøre, er det nødvendigt at få kvantificeret de ferskvandsstrømme der kommer ind i systemet og få kortlagt hvordan vandet i dag bortledes, og hvor det i sidste ende forsvinder hen.

Frederiksberg står over for de samme udfordringer som resten af hovedstaden og andre storbyer, nemlig tilpasning til mere ekstremregn. Således er målet i både Frederiksberg og Københavns Kommunes klima- og vandhandleplaner, at 1/3 af regnvandet skal afkobles fra fælleskloakeringen. Hvis så stor en afkobling skal kunne lade sig gøre, er der behov for nytænkning af, hvordan byens vandressourcer håndteres. Derfor er Frederiksberg en oplagt lokalitet til at afprøve mulighederne for bedre udnyttelse af vandressourcen.

Samtidig med stigende klimarelaterede udfordringer, foregår en rivende udvikling inden for Smart City, der favner digitale teknologier og data til at reducere ressourceforbrug, forbedrede services og en vision om at engagere sig med borgerne på nye måder.

Klimaforandringernes indflydelse på byerne med skybrud og dets konsekvenser for by, borgere, kultur- og erhvervsliv, som er omdrejningspunktet for dette projekt, viser at der er en brændende platform for nye løsninger, så det ikke kun er større kloakker, der er svaret. Samtidig sætter befolkningsforandringer og stigende urbanisering, et større pres på byernes infrastruktur og giver et akut behov for at nytænke byens egenskab til at inddrage overskydende regnvand i det urbane miljø.

### 2.2 Formål

Projektet har til hensigt at kvantificere hvor stor en ressource, der unødigt belaster kloakkerne og spildes, samt at vurdere mulighederne for alternativ anvendelse, og de miljømæssige og økonomiske gevinster, der kan opnås ved en optimeret anvendelse. Samtidig testes en sensortechnologi til måling af flow i kloakker. Projektet har følgende hovedmål,

- Udvælgelse af og kvantificering af overfladevandskredsløbet i 3 afgrænsede afstrømningsoplande (pilotområder)
- Installation og afprøvning af fjernaflæste online målere placeret i udvalgte afvandingsledninger ved de tre pilotområder
- Vurdering af mulighederne for re-design af afvandingssystemet, med henblik på at opnå en bedre ressourceudnyttelse.

- Identificere forvaltnings- og lovgivningsmæssige barrierer og udfordringer.
- Teknisk-økonomisk vurdering af forskellige optimeringsmuligheder, med henblik på at lægge en ressourceeffektiv plan for afvandingen.

Via ovenstående hovedformål tilstræber projektet at nå frem til løsninger, der kan implementeres, og løsninger som gør det interessant at gennemføre en lignende kortlægning i andre byer, både i Danmark og internationalt. Ligeledes ønskes løsningen med trådløs opsamling af flow-data testet med det formål, at det potentielt vil kunne danne grundlag for et varslingsystem til Frederiksbergs borgere og fremadrettet ligeledes være en kommercielt attraktiv løsning i andre byer.

Til udarbejdelse af dette MUDP projekt har nedenstående virksomheder været involveret, nævnt er også hovedbidrager fra hver virksomhed. Alle har været en del af den oprindelige ansøgning og har hver især bidraget med forskellige nøglekompetencer der tilsammen har løftet opgaven med at få færdiggjort projektet.

- Archiland A/S, Hasse Kampp Davidsen
- Frederiksberg Forsyning, Maria Birkebæk Thomsen
- 2020 Aps (tidligere 2020IVS), Jens Lange
- DISUD, Karsten Krogh Andersen

# 3. Generelt

**I overordnede træk gennemgås klimaets påvirkning på det urbane liv, klimatilpasning, muligheder for udnyttelse af overskudsvand som en nyttig ressource samt tilknyttede forvaltningsmæssige udfordringer og udviklingen af Smart City.**

## 3.1 Klimatilpasning

På Frederiksberg ønsker man at gøre en indsats, som gør byen mindre sårbar overfor klimaændringerne og gør byen klar til at kunne håndtere store mængder regn ved skybrud. Samtidig ønsker man at omdanne uvedkommende regnvand til en ressource der fremmer blå og grønne elementer i Frederiksberg. Et af målene med denne indsats er yderligere at gøre Frederiksberg til en "Klimaby for fremtiden" ved at gå i front med innovative løsninger og samarbejder /1/. Overordnet sættes der på at vælge bæredygtige løsninger, hvor overskydende regnvand håndteres lokalt og om muligt bruges til rekreative byrum.

For at vurdere effekten af klimaforandringer på pilotområderne er der primært kigget på de klimafremskrivinger lavet af FN's klimapanel og brugt i Frederiksberg Kommunes klimatilpasningsplan fra 2012. Ud over en forventning om flere og kraftigere ekstreme vejrhændelser er følgende problemstillinger fremhævet som værende de største påvirkninger af klimaforandringerne,

- Stigende temperaturer
- Ændret varighed og intensitet af regnhændelser
- Stigende havvandstand
- Påvirkning på grundvandsstanden

Det er via en samfundsøkonomisk analyse vurderet at den bedste investering er, at sikre byen imod en 100 års regnhændelse som den estimeres at være om 100 år fra nu /1/.

### 3.1.1 Stigende temperaturer

Det er et velkendt faktum at en øget koncentration af drivhusgasser i atmosfæren medfører øgede temperaturer, hvilket vil medføre varmere somre og mildere vintre. Siden industrialiseringen (1870) er middeltemperaturen i Danmark steget 1,5 grader °C fra 7,1 til 8,6 grader °C i 2015 /2/. Om 100 år forventes temperaturen at være 1,2-3,7 grader °C højere end i dag afhængigt af den globale indsats for at reducere udledningen af drivhusgasser /2/, /3/. På Frederiksberg, og i andre byer, skal hertil lægges den særlige varmeø-effekt, som skyldes, dels at byen opvarmes kunstigt og dels at de sorte overflader absorberer solens stråler. Varmeø-effekten bevirker dels at temperaturen er 1-2 grader °C varmere end det omgivende land, og dels at nedbøren øges som følge af at skyerne tvinges til vejrs af den højere temperatur.

Varmeø-effekten ses at forstærke temperaturstigningen yderligere, og kan derfor være medvirkende til at påvirke befolkningens almene sundhed, med flere sygdomstilfælde og øget dødsfald. Derimod kan etablering af grønne og blå elementer i byen modvirke dette og skabe et godt klima i byen, da disse arealanvendelser har en kølende effekt, via øget fordampning og skygge /1/. Det kan derfor med fordel indtænkes i fremtidige klimaløsninger, at der lægges særlig vægt på at indarbejde grønne og blå elementer. Ydermere vil disse områder også kunne bidrage til rekreativt brug af byrummet.

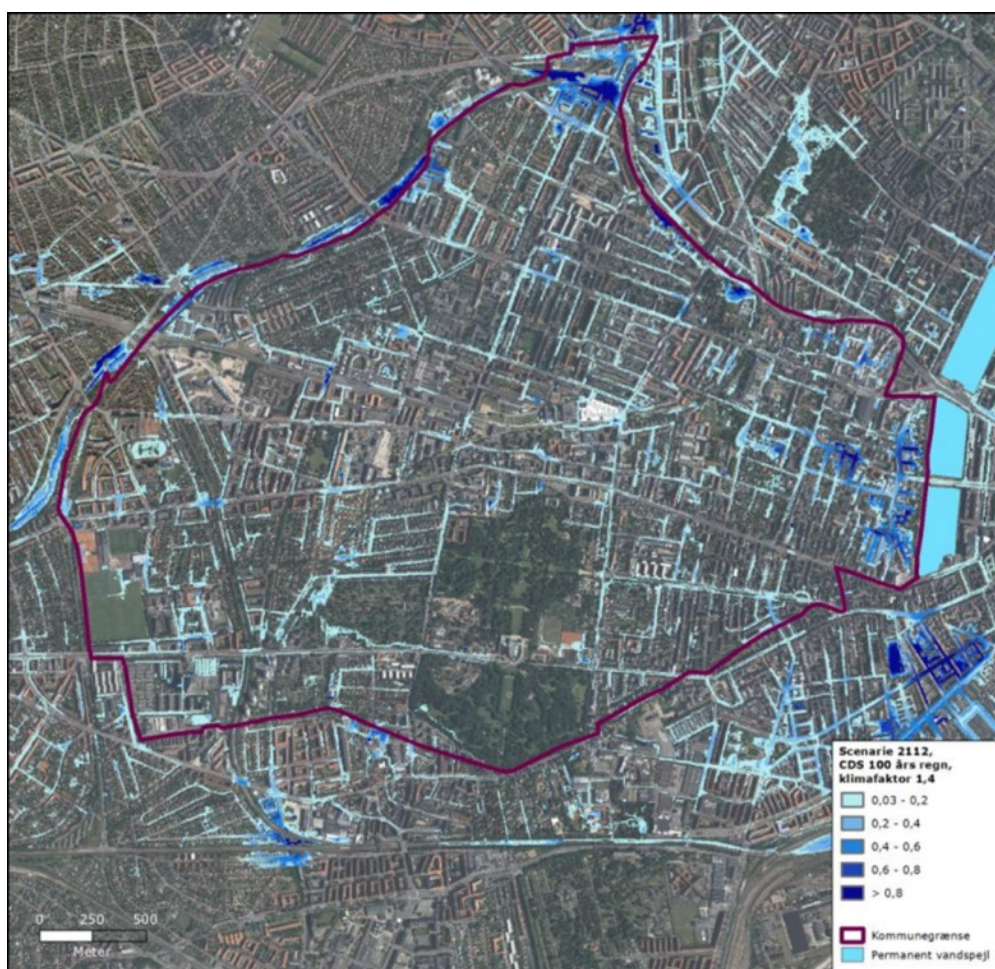
### 3.1.2 Ændret varighed og intensitet på regnhændelser

Med kraftige og mere ekstreme vejrhændelser, vil der i sommerperioden komme mindre regn med længere tørkeperioder og kraftigere regnskyl (skybrud), hvorimod der om vinteren vil være øgede regnmængder.

Om 100 år estimeres det maximale 100 års skybruds regnintensitet at øges med en faktor  $1,4 \times 1,1 = 1,54$  /4/. Faktor 1,4 er klimafaktoren og 1,1 er usikkerhedsfaktoren. Denne klimafaktor er indbygget som forudsætning i Frederiksbergs og Københavns Kommunes klimatilpasningsplan.

I løbet af de sidste 75 år er den årlige nedbør over Danmark steget ca. 100 mm /2/. I løbet af de næste 100 år forventes den årlige nedbør at øges med 1,5 – 7 % og vinterne nedbøren med 3,1-18%, mens sommernedbøren forventes at falde med 0,5 – 17% /2/, /5/.

På Figur 1 ses den beregnede udbredelse af de største oversvømmelser i Frederiksberg Kommune, ved simulering af en 100 års hændelse i år 2112, forudsat at der ikke er udført klimatilpasning. Her ses at den forventede stigning i nedbøren forventes at skabe store oversvømmelser spredt ud over hele kommunen. Oversvømmelserne i Figur 1 er beregnet med en MIKE URBAN model for kloakområdet, hvor Frederiksberg Have ikke er medregnet.



Figur 1 Blue spot kort for Frederiksberg Kommune for en 100 års regn om 100 år

Grundet forventningen til øget nedbør i vinterperioden og kraftigere regnskyl om sommeren, er der i Frederiksberg Kommune sat nogle konkrete mål, der skal gøre Frederiksberg til et attraktivt sted at bo, selv med de kommende ændringer i klimaet. Disse omfatter blandt andet, at 30 % af regnvandet skal afkobles kloaksystemet indenfor de næste 100 år, og at der maksimalt må være 10 cm vand på terræn én gang for hver 100 år.

Ved planlægning af klimaløsninger skal disse to mål derfor indgå som en del af beslutningsgrundlaget for, hvilken klimaløsning der vælges for det udvalgte område, hvor der planlægges at udføre klimaforanstaltninger.

For Frederiksberg Kommune er anvendelsen af regnvandet prioriteret efter følgende /1/,

1. Regnvand anvendes som lokal ressource, (f.eks. via genbrug, nedsivning, fordampning og overfladisk opmagasinering)
2. Regnvand afledes, (f.eks. via underjordiske bassiner og rør)

Ved at prioritere, at regnvandet håndteres lokalt, belastes fælleskloakeringen mindre, og en forøgelse af kloakdimensionerne kan derfor undgås.

Frederiksberg Kommune og Frederiksberg Forsyning har sammen med Københavns Kommune og HOFOR udarbejdet konkretiseringsplaner (se Bilag 1) for de forskellige oplande for klimatilpasning til hyppigere og kraftigere skybrud /6/, /7/. Ifølge konkretiseringsplanerne skal den del af skybrudsvandet, der ikke ledes til kloak, nedsives eller fordampes, opmagasineres og afledes via skybrudsveje og hovedvandveje til havet. For Frederiksberg Øst er hovedvandvejen langs Åboulevarden til tunnel under Vesterbro til Sydhavnen og for Frederiksberg Vest dels via Grøndalsparken til Damhusåen og dels via Dalgas Boulevard og Valbyparken til Kalveboderne.

### 3.1.3 Stigende havvandstand

Eftersom Frederiksberg ligger inde i landet, og der forventes stigninger i havne vandstand på ca. 1 m frem mod år 2112, forventes stigende havvandstand ikke at have stor betydning for dimensionering og planlægning af klimatilpasningsløsninger i selve Frederiksberg Kommune, men derimod har det væsentlig betydning for afløb og overløb til havnen og Kalveboderne.

Da Frederiksberg nu og fremover planlægger at anlægge overordnede "vandveje" (se Bilag 1), der har til formål hurtigt at kunne transportere overfladevand væk fra Frederiksberg og ud til havnen, vil den stigende vandstand dog stadig kunne have en betydning for effekten og dimensioneringen af disse vandveje. Det vurderes dog ikke umiddelbart at være en betydende faktor for de udvalgte pilotområder.

### 3.1.4 Påvirkning af grundvandsstand

Det er vurderet at grundvandet om 100 år generelt vil være steget 0,5 – 1,0 meter, over hele Danmark /8/, /9/. Denne stigning vurderes at være særlig udtalt i vinterperioderne grundet den øgede nedbør og havvandsstigning.

Ses der isoleret på Frederiksberg, forventes der den modsatte effekt med et fald i øvre og nedre grundvandsstand på ca. 0,5 – 1,0 m, såfremt der ikke klimasikres, ved f.eks. nedsivning. Dette fald i grundvandsstand er forventet grundet højere temperaturer, der øger fordampning inden vandet siver til grundvandet, og samtidig forventes en større del af regnvandet at løbe til kloak grundet de mere intense regnskyl, der medfører kortere opholdstid på nedsivningsoverflader /1/.

På Frederiksberg er det primære grundvandsspejl væsentligst styret af oppumpningen, nedsivningen og udvekslingen med det omgivende grundvand. Det sekundære grundvandsspejl er primært styret af nedbøren, nedsivningen og oppumpningen /1/. Kombinationen af øget nedsivning og tætning af kloaksystemet gennem kloakrenovering vil øge det sekundære grundvandsspejl. Konkret er der lavet beregninger der viser, at såfremt 30% af regnvandet afkobles til nedsivning vil vandstanden under Frederiksberg stige med 1 til 2,5 m. Dette vil have en positiv indvirkning på Frederiksberg Forsynings indvinding i området, da grundvandsressourcen bliver øget, men samtidig vil det øge risikoen for oversvømmelser, og dette især i vinterhalvåret, da jorden i højere grad vil være vandmættet.

Ved nedsivning til grundvand er det dog vigtigt at have fokus på de miljømæssige forhold og kvaliteten af det vand der nedsives. Kvaliteten af vandet vil i høj grad være afhængig af areal-anvendelsen af det opland vandet kommer fra, og der kan være behov for at vandet renses, f.eks. via transport igennem specielle jordlag, der kan tilbageholde forureningsstofferne.

## 3.2 Ressourceoptimering

Ved at tilbageholde vandet i byen og se det som en ressource i stedet for at lede vandet til behandling på spildevandsanlæg, vil man reducere det negative fodaftryk på miljøet, resulterende i en mere bæredygtig forvaltning af byens vandressource. Overordnet set bidrager ressourceoptimering til:

- Mindre belastning af kloaksystemet og reduceret spildevandsbehandling samt reduceret risiko for ukontrolleret overløb til sårbare vandområder ved store nedbørshændelser.
- Øget grundvandsdannelse og reduktion af vandforbrug ved brug af afkoblet overfladevand.

Frederiksberg har i lighed med næsten alle andre byer, en stor opgave med klimatilpasning i forhold til øget ekstremnedbør og stigende vandstand. Denne opgave forstærker nødvendigheden af at optimere håndteringen af vandet, og samtidig vurdere de mulige løsninger netop i forhold til et fremtidigt ændret klima.

Med lokal håndtering af regnvand og dermed afkobling, anvendes regnvandet som en ressource lokalt, frem for blot at ledes væk unyttiggjort til rensningsanlæg. Lokal håndtering af regnvandet kan dermed bidrage til grundvandsdannelsen via nedsivning, til flere grønne og blå elementer (fx regnbede, åbne kanaler) eller til genbrug (vanding, toiletskyll/tøjvask).

I arbejdet med ressourceoptimering undersøges dels hvordan vandet kan anvendes i ny sammenhæng, men også hvordan et eksisterende eller kommende anlæg for klimatilpasning kan optimeres ved at tage højde for de udfordringer, der måtte komme med klimaforandringerne.

### 3.2.1 Ressourceoptimering af overskudsvand

I Frederiksberg Kommunes Klimatilpasningsplan /10/ er det en del af strategien, at 30% af overfladevandet skal afkobles spildevandssystemet, således at opdimensionering af kloaker, for tilpasning til den generelle stigende mængde nedbør, kan undgås. Frederiksberg Kloak A/S har identificeret det som en af de helt store svagheder, at der pt. ikke er nogen plan for hvordan de 30% afkobling skal nås, ligesom der ikke er kendskab til (eller plan for) om etablering af separat kloakering for regnvand er nødvendig for at nå målet. Separatkloakering vil være en betydelig investering som vil strække sig over lang tid. En del af planlægningen og prioriteringen af afkoblingen bør indeholde overvejelser om hvorvidt det også er teknisk-økonomisk bæredygtigt at afkoble i de enkelte tilfælde, afhængigt af hvordan ressourcen kan anvendes lokalt.

Håndtering af overskydende regnvand bør først og fremmest prioriteres til lokal anvendelse og først sekundært bør afledning prioriteres. Ressourceoptimering af de overskydende vandmængder, der i dag løber til kloak, vurderes at kunne ske ved at:

- Anvende regnvand eller afværgvand som sekundavand
- Øge nedsivningen – fra terræn eller via infiltrering
- Rekreative anvendelser
- Øge opmagasineringen
- Tilpasse klimaanlæggene til konkretiseringsplanen, dvs. afledning til de planlagte hovedvandveje

**Anvendelse som sekundavand:** Sekundavand defineres ved at være vand af anden kvalitet end drikkevand, der kan erstatte drikkevand i visse funktioner /11/. De primære formål vandet kan anvendes til er følgende:

- Rengøring, spuling af kloak og fejebiler
- Toiletskyl og tøjvask
- Vanding af planter
- Køling/opvarmning ved magasinering under jord og evt. brug af varmepumper

**Nedsivning til primært magasin:** Ved permanent nedsivning af 30 % afkoblet regnvand i kommunen som helhed, vil grundvandsspejlet forventeligt stige med 1 -2,5 meter lokalt i Frederiksberg Kommune. Dette kan medføre betydelige problemer med vand i kældre og nedbrydning af bygninger i nogle områder af Frederiksberg. Det er derfor næppe realistisk at hele den afkoblede vandmængde nedsives.

Endvidere er mulighederne for nedsivning i flere områder begrænset af dels jordforurening og dels for lille permeabilitet. Grundet disse forhold bør det overvejes, om prioriteringen til nedsivning skal ændres, således at der ikke nedsives mere end at det øvre grundvandsspejl ikke gør skade i hvert enkelt område af Frederiksberg.

I stedet for primært at satse på nedsivning af regnvand, må der i områder med højerestående grundvand alternativt satses på andre metoder:

- Brug som sekundavand
- Rensning og brug som drikkevand – evt. efter infiltration til det primære grundvandsmagasin
- Fordampning og reduktion af varmeø-effekten
- Opmagasinering og forsinkelse
- Afledning via skybrudsveje til havet

Der er behov for, at hver af disse muligheder undersøges for, hvor store vandmængder, der kan håndteres med den pågældende metode samt den tilhørende teknologi, økonomi, miljø og sundhed. I nærværende projekt belyses disse forhold i enkelte pilotområder.

**Rekreativ anvendelse:** At anvende det overskydende vand til rekreative formål, omdanner vandet til en ressource, men vil i mange tilfælde stadig ende i kloakken, og derved ikke være afskåret fra at skulle igennem rensningsanlægget.

Anvendes regnvandet som et æstetisk positivt element i bymiljøet, kan anvendelsen f.eks. bestå i springvand eller bassiner i byen. I denne forbindelse kunne de arkitektoniske løsninger have indtænkt nedsivning eller øget fordampning, der således ikke blot forsinker vandets vej til rensningsanlægget men også reducerer mængden. Det skal her bemærkes, at Frederiksberg i forvejen er en grøn by, hvor man skal kunne se et træ fra hver bolig. En yderlige satsning på denne politik, vil øge fordampningen og reducerer varmeø-effekten.

Klimatilpasningsanlæg til opmagasinering af regnvand kan i nogle tilfælde udformes, således at de også har en rekreativ værdi. Eksempelvis er bassinet i Lindevangsparken udformet som en skålformet plads til kulturelle og rekreative aktiviteter.

Vandet vil også i nogle tilfælde kunne udledes til naturområder for herigennem at forbedre naturområdernes vandkvalitet. Her er det dog vigtigt at vandets mulige anvendelse tages i betragtning, da der kan være nogle lovgivningsmæssige udfordringer mht. vandkvalitet der skal tages i betragtning, dette er ligeledes aktuelt hvis vandet anvendes i springvand eller lignende hvor der lægges op til leg med vand, og således direkte kontakt med vandet.

**Tilbageholdelse og tilpasning til konkretiseringsplan:** Klimatilpasningsanlæggene i konkretiseringsplanen er ideelt set dimensioneret til at klare en 100 års skybrudshændelse som den forventes at være om 100 år. Skybrudsanlæggenes primære funktion og design er således at reducere - og helst undgå - oversvømmelser under skybrud. Dette planlægges at ske ved en optimal kombination af øget opmagasinerings og øget afstrømning til havet. Skybrud forekommer i dag i skybrudssæsonen i sommerhalvåret i perioden 1.juni – 1.oktober.

Klimatilpasningsanlægget bør udføres så de er hydraulisk optimalt tilpasset til konkretiseringsplanen. Anlægget skal have forberedt tilløb, afløb og hydraulisk funktion som bestemt i den nyeste optimerede og opdaterede version af konkretiseringsplanen. Anlæg til klimatilpasning er ofte bygget til at fungere i en overgangsfase, hvor de opstrøms og nedstrøms anlæg endnu ikke er udført. Således har anlægget ofte i overgangsfasen udledning til kloak i stedet for til konkretiseringsplanens vandveje. Når hele, eller væsentlige dele af, den pågældende vandvej med de opstrøms og nedstrøms anlæg er udført ifølge konkretiseringsplanen, skal anlæggets tilløb, afløb og hydrauliske funktion tilpasses optimalt hertil.

### 3.2.2 Optimering af anlægget

Udover at optimere brugen af vandet, så det ikke længere belaster rensningsanlægget, kan der opnås ressourceoptimering for selve klimatilpasningsanlægget ved at udføre anlægget således at:

- Driftsudgifterne minimeres
- Levetiden af anlægget øges
- Anlægget ud fra en livscyklusbetragtning får et så lille miljømæssigt fodaftryk som muligt
- Anlægget bruges som primær energi til varmepumper og fjernvarme
- Der opnås synergi med andre formål, såsom forbedring af byrum ved:
  - Bedre æstetik og øget arkitektonisk værdi
  - Skabe blå og grønne elementer
  - Skabe muligheder for leg, sport, ophold og oplevelse

Ang. primær energi til varmepumper er det i seneste anbefalinger fra Klimarådet, vurderet at fjernvarme bør baseres på store varmepumper i stedet for biomasse, da dette ikke er vurderet at være CO<sub>2</sub> neutralt.

Udfordringen ved anvendelse af store varmepumper, er især at fremskaffe primærenergi af den rette mængde, kvalitet og tilgængelighed. Når en stor del af byen alligevel graves op ved etablering af de store investeringstunge klimatilpasningsanlæg som f.eks. Ærøvej, bør man derfor overveje mulighederne for samtidig etablering af anlæg til primærenergi der forsyner store varmepumper til fjernvarme. Primærenergien til store varmepumper kan komme fra luft, jord, grundvand, overfladevand, havvand, røggas, køleanlæg m.v.

Ved etablering af klimatilpasningsanlæg kan overvejes samtidigt at nedlægge ledninger til primærenergi i lukket kredsløb, enten i bunden og eventuelt siderne af klimatilpasningsanlæggene eller i vandvolumenet i den nederste del af anlæggene.

Lægges ledningerne i vandvolumenet skal man sørge for, at anlægget er delvist fyldt med regnvand og energiledningerne er dækket af vand, når varmepumperne skal køre. Der vil eksempelvis kunne køres en drift med helt tømt klimatilpasningsanlæg i skybrudssæsonen (medio maj – medio september) og delvist eller helt fyldt klimatilpasningsanlæg uden for skybrudssæsonen.



### 3.3 Lovgivning

I Danmark er lovgivningen om vandforsyning bygget på det udgangspunkt, at der benyttes grundvand til vandforsyning. Der er derfor endnu ikke lavet en specifik lovgivning der mynter sig på anvendelse af f.eks. sekundavand, og forskellige typer af anvendelse falder derfor under andre eksisterende love, der benyttes for at kunne regulere brugen, og hvor muligt, stille krav til vandkvaliteten i forhold til formålet. Såfremt tiltag af lignende karakter vil skulle indføres uden for Danmark, vil lovgivning i det aktuelle land skulle tages i betragtning. Som eksempel har man i Kina stor opmærksomhed på at kunne genanvende regnvand via grønne teknologier, på en måde så man sikrer mod oversvømmelser i tætbefolkede boligområder, og det er et område hvor der for tiden sker en stor udvikling /12/. I den forbindelse er man i Kina opmærksom på, at de miljømæssige konsekvenser skal reduceres, men der kan være udfordringer, da der mangler nationale retningslinjer og funktionsstandarder /13/, de lokale myndigheder kan rette sig efter. Ved arbejde med denne type projekter, vil det derfor være foretrukket at have en lokal samarbejdspartner, der kender til udviklingen i aktuelle krav og lovgivning.

Med den gældende lovgivning i Danmark defineres regnvand der har løbet på befæstede arealer, som spildevand ifølge Spildevandsbekendtgørelsens §4 /14/, og er dermed omfattet af bekendtgørelsens bestemmelser. Dette betyder at mulige anvendelser af vandet afhænger meget af den vandkvalitet, det aktuelle vand har. Tilladelser og lovgivning vil derfor skulle vurderes for hvert enkelt tilfælde. Således er der kommunen, som meddeler tilladelse til vandforsyningsanlæg, baseret på andre vandkilder end kommunalt forsyningsvand. For at kommunen kan give tilladelse er det nødvendigt med Miljø- og Fødevarerministeriets bemyndigelse til dispensation fra Drikkevandsbekendtgørelsens § 3

En af de faktorer der blandt andet bliver lagt stor vægt på er, at der i udførelsen af projekter, der benytter f.eks. sekundavand, på ingen måde må være mulighed for forveksling mellem drikkevand og sekundavand, da dette kan have alvorlige konsekvenser for brugeren af vandet.

I vurderingen af hvordan de overskydende vandmængder kan håndteres og omdannes fra belastning til ressource er det nødvendigt at være opmærksom på både, hvad der er ressourcemæssigt mest hensigtsmæssigt, men også hvad lovgivningen tillader og stiller af krav. Udvalgte anvendelsesområder til udnyttelse af regnvand er beskrevet i de følgende afsnit.

#### 3.3.1 Nedsivning til sekundære magasiner

Regnvand i form af tag- og overfladevand kan alt efter kvaliteten af vandet nedsives via faskiner, regnbede og andre LAR-anlæg og derved bidrage til grundvandsdannelsen. Ved at lade vandet sive gennem de øvre jordlag vil der ske en naturlig rensning af det vand der nedsives. Dog skal det undersøges om de øvre jordlag er forurenede, da dette vil kunne betyde øget transport af forurening til det primære grundvandsmagasin.

Nedsivning kræver en tilladelse efter Miljøbeskyttelseslovens §19 /15/ og er nærmere reguleret i Spildevandsbekendtgørelsens kapitel 15. Ved meddelelse af tilladelse til nedsivning af tag- og overfladevand til nedsivningsanlæg skal følgende betingelser jævnfør §38 i Spildevandsbekendtgørelsen være opfyldt:

- Afstanden til anlæg til indvinding af vand, hvortil der stilles krav til drikkevandskvalitet, er mindst 25 meter.
- Nedsivningsanlægget dimensioneres, placeres og udføres således, at der ikke opstår overfladisk afstrømning, overfladegener eller gener i øvrigt.
- Afstanden fra nedsivningsanlægget til vandløb, søer og havet er mindst 25 meter.
- Tag- og overfladevand kommer ikke fra offentlige veje, jernbaner eller befæstede arealer, der anvendes til parkering for mere end 20 biler.

I tilfælde af at ovenstående krav ikke kan overholdes, kan kommunen jævnfør §40 i Spildevandsbekendtgørelsen foretage en vurdering af om der alligevel kan gives tilladelse til nedsivningen. Denne vurdering består blandt andet af planforhold for området, risikoen for forurening af nærliggende indvinding af drikkevand og risiko for forurening af grundvandsressourcen.

### **3.3.2 Infiltration til primært grundvandsmagasin**

For at øge grundvandsdannelsen i byområder kan de overskydende vandmængder infiltreres til dybereliggende vandførende geologiske lag.

Infiltration direkte til det primære grundvandsmagasin reguleres af §29 i Spildevandsbekendtgørelsen. Reglerne er ret restriktive, hvilket medfører at der ikke kan meddeles tilladelse til infiltration af vand, der indeholder stoffer anført på bilag 2 i bekendtgørelsen, hvis det sker uden gennemsvivning af jordoverfladen eller undergrunden.

På listen i bilaget er blandt andet metaller og metalforbindelser, persistente kulbrinter, opslemmet stof, stoffer som bidrager til eutrofiering eller har negativ indflydelse på iltbalancen, samt stoffer og præparater eller nedbrydningsprodukter heraf, som har vist sig at have kræftfremkaldende eller mutagene egenskaber eller egenskaber, som kan påvirke steroidogene, thyroide, eller reproduktions- eller andre endokrine funktioner i eller via vandmiljøet.

Vandkvaliteten af regnvand fra tage, veje og parker vil i vid udstrækning udelukke infiltration af regnvand direkte til det primære magasin uden yderligere rensning. Såfremt der opstilles lokalt rensningsanlæg og vandkvaliteten monitoreres vil der være mulighed for at opnå tilladelse til infiltration. Det vil dog mindske en del af den gevinst der er ved at afkoble vandet fra spildevandsrensning, da der stadig skal bruges ressourcer på rensning.

### **3.3.3 Rensning til drikkevand**

I Danmark har man et princip om at drikkevand skal produceres ud fra rent grundvand, som kun har gennemgået en simpel vandbehandling ved itning og filtrering inden det sendes ud til forbrugerne. Derfor er brug af overfladevand en undtagelse, da det vil kræve mere avanceret rensning, og derfor også tilladelse fra de lokale myndigheder. På Frederiksberg er der dog som et af de få steder i Danmark givet en midlertidig (10-årig) tilladelse til avanceret vandbehandling af det indvundne grundvand ved aktiv kulfiltrering.

Kvaliteten af drikkevand er reguleret af Drikkevandsbekendtgørelsen /16/ for at sikre forbrugerne rent drikkevand. Af Drikkevandsbekendtgørelsen fremgår det, at drikkevand, som skal bruges i husholdninger, fødevarer virksomheder, virksomheder der fremstiller lægemidler eller andre produkter, hvortil der stilles særlige sundhedsmæssige krav til vandforsyningen eller offentlige aktiviteter skal være grundvand eller undtagelsesvist overfladevand. Derudover skal drikkevandet overholde grænseværdierne i bekendtgørelsen.

Enkelte steder i Danmark bruges overfladevand i forsyningen, for eksempel i Kalundborg forsyning, hvor vand fra Tissø indvindes og renses. Det rensede vand benyttes dog ikke som drikkevand, men som kølevand i industrien.

På baggrund af praksis og principper vil det være meget vanskeligt at bruge rensset regnvand til drikkevandsforsyning.

### **3.3.4 Sekundavand til WC-skyl og tøjvask**

Regnvand kan i nogle tilfælde bruges til WC-skyl og tøjvask. Det drejer sig specifikt om regnvand opsamlet fra tage. Reglerne omkring brug af tagvand er beskrevet i §5 i Drikkevandsbekendtgørelsen. Anlæg skal etableres i overensstemmelse med gældende Rørcenteranvisning

fra Teknologisk Institut, så det sikres at der ikke tages fejl af haner med sekundavand og drikkevand. Det skal derudover kunne dokumenteres at kravene til vandkvalitet kan opretholdes ved ejendommens øvrige haner til drikkevand /17/.

Et sådan anlæg kan, i private enfamiliehuse, som udgangspunkt etableres uden tilladelse. I etageboliger og fællesvaskerier skal der søges tilladelse hos kommunen, og boligejeren har pligt til at informere beboere om at der anvendes regnvand opsamlet fra tage. I institutioner og bygninger med offentlig adgang må tagvandet kun bruges til WC-skyl og kræver i dette tilfælde en forudgående tilladelse fra kommunen.

Tagvand må ikke bruges til WC-skyl og tøjvask i institutioner for børn under 6 år (f.eks. vuggestuer og børnehaver), hospitaler og plejehjem og andre institutioner for særligt følsomme grupper (f.eks. fysisk og psykisk handicappede).

Såfremt det planlagte anlæg kan overholde de i Drikkevandsbekendtgørelsens §5 opstillede krav, anses det som en mulighed at anvende sekundavand til husholdning i form af WC-skyl og tøjvask. Grundet den meget specifikke formulering om at vandet kun må komme fra tage, kan det dog for nogle boligforeninger være en udfordring, da der ofte opsamles vand fra tage, altaner og tagterrasser i et samlet system.

### **3.3.5 Sekundavand til erhverv**

Brug af regnvand som sekundavand i industrien er mulig til processer, hvor der ikke kræves vand af drikkevandskvalitet. Det kan for eksempel være til køling eller vask af biler og andet materiel. Når vandet har været brugt og udledes som spildevand, kræves en tilslutningstilladelse til processpildevandet for at kunne lede det i kloakken. Vandet skal derfor have en kvalitet, så det er muligt at overholde de vilkår og grænseværdier, der stilles til vandet, når det skal afledes som spildevand til kloakken.

Ved anvendelse som sekundavand der kommer fra befæstede arealer skal det overvejes, om vandkvaliteten er den samme gennem hele året, eller der skal tages særlige hensyn for eksempel i forhold til glatførebekæmpelse. I det tilfælde hvor vandmodtageren ikke ønsker f.eks. salt i vandet, må der laves særlige aftaler om metode til glatførebekæmpelse på de arealer hvorfra der opsamles vand.

### **3.3.6 Sekundavand til vanding**

Brug af regnvand til vanding af blomster, buske og træer i parker, bede og langs vejen er ikke omfattet af kravet i Drikkevandsbekendtgørelsen til vandkvaliteten. Vanding med regnvand betragtes som udledning/udsprøjtning af spildevand uden jordbrugsmæssig værdi på jordoverfladen. Det kræver en tilladelse efter §19 i Miljøbeskyttelsesloven og er nærmere beskrevet i Spildevandsbekendtgørelsens kapitel 16.

For at kunne opnå en tilladelse efter §19 i Miljøbeskyttelsesloven skal det opsamlede regnvand være så rent, at det ikke giver anledning til forurening af grundvand, overfladevand eller udgør en sundhedsfare for mennesker eller dyr.

### **3.3.7 Fordampning**

Regnvand kan opsamles i rekreative, kunstigt anlagte bassiner eventuelt med springvand, hvorfra det fordamper naturligt og via forstøvning fra springvandet. Der kan også etableres beplantede anlæg, da man har erfaring med at visse typer planter fordamper meget vand f.eks. piletræer. Der er ikke på miljøområdet krav til vandkvaliteten i rekreative anlæg. Hvis anlægget lægger op til leg og vandpjask bør det overvejes om Sundhedsstyrelsen skal inddrages i overvejelserne omkring de hygiejniske forhold.

### 3.3.8 Udledning til naturområde

Ved udledning af regnvand til naturområder som søer, vandløb og havet kræves en udledningstilladelse efter §28 i miljøbeskyttelsesloven. I udledningstilladelsen laves en vurdering af regnvandets belastning af vandområdet, det udledes til. Udledningen må ikke være til hinder for, at miljømål opsat i vandområdeplanerne kan overholdes.

Der kan i udledningstilladelsen blandt andet blive stillet vilkår om forsinkelse og rensning af regnvandet. Almindeligt belastede separate regnvandsudledninger såsom overfladevand fra veje og tage er ikke omfattet af Bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenede stoffer (jf. §1) /18/, hvorfor der ikke kan stilles vilkår om grænseværdier for miljøfremmede stoffer i udledningstilladelsen.

## 3.4 Smart City

Dette kapitel ser på udviklingen i smart city, og hvad det giver af muligheder for byer. Teknologiuudviklingen har inden for de sidste 20 år betydet at computerkraft er blevet billigere, fylder mindre og regner hurtigere. Denne eksponentielle udvikling er kendt som Moore's lov. Ikke fordi det er en naturvidenskabelig lovmæssighed, men fordi det er målet som computerbranchen har fulgt for en konkurrencedygtig udvikling af chips og processorer. Det har flyttet barrieren for hvad man meningsfuldt kan tilføre computerkraft og forbinde til internettet. Det har banet vej for 'the Internet of Things', i forkortelse IoT; og er netværksopkoblingen af alt fra forbrugergoder såsom biler, vaskemaskiner og køleskabe, til industri og infrastruktur, såsom fabriksbånd, vindmøller og landbrug. Antallet af genstande der er koblet til internettet, er kraftigt stigende, og udbredelsen af smart city skal ses i denne sammenhæng af generel teknologisk udvikling.

Udover den eksponentielle udvikling i computerkraft er der sket en forandring i adgangen til at udvikle nye teknologier. Tidligere krævede det store investeringer i datacentre og andet hardware for overhovedet at begynde at udvikle nye services og løsninger, hvilket betød at der primært var store virksomheder på teknologimarkedet. I dag er adgangsbarrieren for at udvikle nye løsninger og services meget lav, da man med cloud computing og de mange forskellige platforme kan få adgang til lagring, computerkraft, forbindelse mellem produkter, distribution, markedsføring etc., og det har fået nye spillere på markedet, der hurtigt kan gå fra ide til global teknologi, samt nye forretningsmodeller.

Smart city har gennem de sidste ti år været drevet af de største teknologivirkosomheder, og det har haft den konsekvens at teknologien har været i fokus. I forsøg på at sikre at hverdagslivet bliver taget med i den strategiske planlægning af byen er det dog vigtigt at de digitale teknologier kommer til at have borgere og brugeroplevelse i centrum, og ikke udelukkende fokusere på teknologierne. Det lyder selvfølgelig, men der er masser af eksempler på smart cities og smarte løsninger, som slet ikke har mennesket med, men udelukkende er præget af en teknologibegejstring over al den effektivitet, overblik og kontrol, som digitale systemer i byerne kan give. Udover at have borgeren i fokus er det også en nødvendighed at have blik for hvilke problemstillinger de teknologier der lanceres løser, og at der ikke lanceres teknologi primært for nyhedsværdiens skyld. Forståelsen af problemet, brugeren, brugen og konteksten er central for de gode løsninger. Såfremt smart city løsninger præsenteres meningsfuldt for offentligheden vil de også være af interesse for borgeren. Det kan f.eks. være i forhold til at varsle lokale beboere når der er udsigt til oversvømmelser ved skybrud.

Et centralt element i smart city handler om at organisere byen smartere og arbejde tættere sammen både på tværs af fagområder i kommunerne og mellem offentlige og private aktører, da kommunen kender byen og byens særlige, lokale udfordringer bedst, mens private aktører har fingeren på pulsen i forhold til hvad der sker inden for udviklingen af digitale teknologier.

Det er disse to ekspertiseområder, der skal samarbejde for at teknologier bliver reelle løsninger.

På trods af at mange kommuner de sidste år har lanceret smart city strategier og pilotprojekter viser en undersøgelse fra KL /19/ at der er udfordringer i at komme i gang og særligt efterspørger kommunerne vidensdeling og konkrete erfaringer med at gennemføre smart city projekter.

### **3.4.1 Frederiksberg smart city**

En af de kommuner, der er langt fremme med smart city, er Frederiksberg Kommune, der lancerede deres smart city strategi i 2015 /20/. For Frederiksberg Kommune er smart city:

”Fremtidens by hvor beslutningstagerne har redskaberne og data til at træffe bedre beslutninger, forudse problemer for at løse dem proaktivt og koordinere ressourcer for at byen fungerer effektivt. Udvikling af smart city handler også om, hvordan brugerne af byen er med til at forme byen, og hvordan disse aktivt ved hjælp af data og nye innovative teknologier bidrager til at udvikle byen og skabe de bedste rammer for et trygt og bæredygtigt byliv”.

Strategien er baseret på konkrete mål for smart city-arbejdet, og en række principper for hvordan kommunen vil arbejde med smart city, herunder åbenhed, rum til at eksperimentere, smidig proces og hurtige resultater og gevinster for alle.

Frederiksberg Kommune og Frederiksberg Forsyning arbejder tæt sammen bl.a. med projektet om at opsætte et wifi-netværk i byen, som Frederiksberg Forsyning har gennemført og lanceret i starten af 2018. Wifi netværket, der er bydækkende med 950 accesspoints og strøm i byrummet, skal forsyningen bruge til at lave fjernaflæsning af fjernvarme og vand. Kommunen har ligeledes adgang til at bruge netværket og har dels forskellige løsninger i drift på netværket, fx monitorering af parkering, men ser også på en mere strategisk langsigtet indsats med at bruge netværket inden for særligt mobilitet og klima.

## 4. Sensoropsætning

For at kunne kvantificere den tilgængelige vandmængde i udløbet fra udvalgte områder på Frederiksberg er der testet og demonstreret en løsning bestående af en flow måler, der trådløst sender data til skyen. Ved at gemme data i skyen kan der derefter løbende arbejdes med data f.eks. til modelberegninger med MIKE URBAN.

Følgende beskriver valg af sensorteknologi, skyløsning og opsætning.

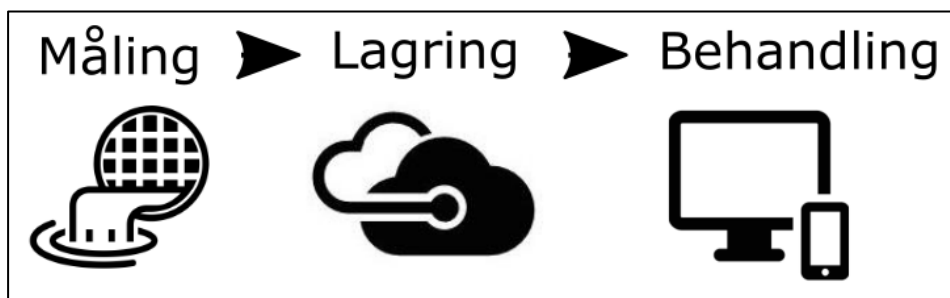
### 4.1 Beskrivelse af opsætning

Til måling af flow fra afvanding og kloakrør blev brugt målere af typen ISCO 2150. De er indstiksmålere og leveres af firmaet Aquasense. Indstiksmåleren monteres ved hjælp af en rustfri bøjle i bunden af kloakrøret i indløbet til en brønd. Måleren registrerer niveau ved tryk, og hastighed via lydbølger. Via disse målinger og værdier for rørdiameter for kloakken beregner måleren det aktuelle flow i kloakken.

Det blev valgt at teste og demonstrere netop denne løsningen da den var relativt billig, sammenlignet med konkurrerende produkter på markedet da projektet startede op. Derudover var det på det tidspunkt en af de få målemetoder, der kunne måle flow i delvist fyldte rør.

Måleren er udstyret med batteri, og SIM-kort til at sende data via det mobile netværk. Flowmåleren blev sat op til at registrere målinger for hvert 15. min., og af hensyn til batterilevetid blev data sendt én gang i døgnet.

Fra måleren sendes data til den tilkoblede Microsoft Azure Cloud løsning, hvor de i princippet er tilgængelige for alle enheder der har adgang til internettet. Figur 2 viser en principskitse over dataflowet fra målingen i kloak til behandling på den ønskede enhed.



Figur 2 Principskitse af dataflow fra kloak til behandling af data

Microsofts Azure løsning blev valgt til formålet, da den ansås for at være den billigste og mest driftssikre løsning på markedet. Derudover betales løsningen via en månedlig lejeaftale, samt tilbyder en fleksibilitet der gør det muligt at op og nedskalere brug af databaser og lagringsplads, uden at have besværet med fysisk at skulle købe hardware til formålet. Både den fleksible betalingsform, og muligheden for skalering gjorde Azure til en attraktiv løsning til projektet. En anden vigtig parameter var, at der via Microsoft Azure let kan købes adgang til standard Microsoft Software, som kan vise data fra de brugte databaser i form af kurver og grafer.

Efter data lå tilgængeligt i Azure databasen, kunne de tilgås via alle software der kan kommunikere med en SQL server, hvilket åbner for brug af en bred vifte af software til præsentation af data. Til dette projekt har været arbejdet dels med Microsoft Power BI, men data er primært visualiseret ved at oprette en kobling mellem Excel og Azure. På denne måde opdateres data hver gang Excel-arket åbnes, og de nyeste data kan let tilgås og præsenteres på grafer.

## 4.2 Test af system

For at teste opsætningen i praksis før målerne blev installeret i de udvalgte kloakrør, blev der af 2020 Aps lavet en testopstilling som vist på Figur 3. Her blev det testet at den trådløse opkobling til Azure virkede efter hensigten og at dataflowet fra måling til lagring af data virkede. Det viste sig her, at det foruddefinerede databaseformat tilhørende måleren ikke var lavet til at udefrakommende skulle forstå forbindelserne mellem diverse tabeller, hvilket gav lidt komplikationer med at sikre at data blev knyttet til de rigtige sensorer. Dette blev dog løst, og efter datastrukturen var forstået, kunne data fra de opsatte sensorer identificeres.

Efter test af systemet blev der opsat flowmålere ved de udvalgte pilotområder. Pilotområderne samt opsætning af målere er beskrevet i følgende afsnit.



Figur 3 Testopstilling for installation af sensorer før de monteres i kloakken

## 4.3 Indsamling af nedbørsdata

Til projektet er udover indsamling af flowdata, også registreret nedbør. Nedbør er registreret med en Young 52202/52203 regnmåler, der ligeledes blev koblet op til Azure og derefter præsenteret og behandlet i Excel. Måleren blev sat op i tårnet på Frederiksberg Rådhus, beliggende nær Frederiksberg Have. Omtrentlig placering er vist på Figur 4.

Regnmåleren blev sat op dels for at teste den valgte databaseløsning, og afprøve indhentning af forskellige typer data, og dels til at sikre viden om de lokale regnhændelser der måtte være tæt ved Frederiksberg Have. Samtidig har det været muligt at få data fra DMI's regnmåler "5730 Landbohøjskolen" placeret på Frederiksberg.

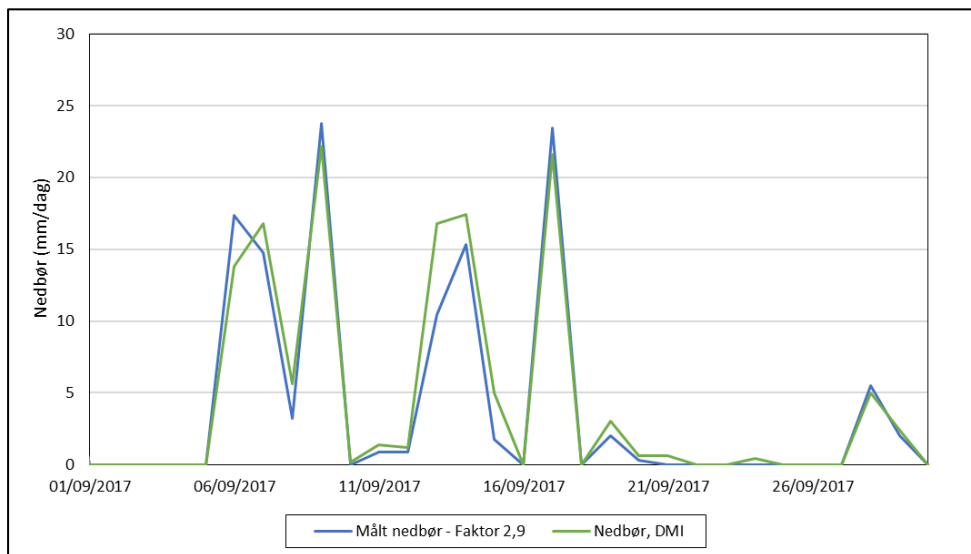
Til det videre arbejde med analyse af data, er målingerne fra DMI's målestation brugt direkte, da disse allerede er korrigerede for vind og vejr. Da målingerne indhentet fra regnmåleren sat op af 2020 Aps ikke er korrigerede, vil der skulle ganges med en korrektionsfaktor, da der ved opsætning af sensoren ikke er taget højde for andre betydende faktorer, såsom vind.



**Figur 4** Ca. placering af regnmåler. Baggrundskortet er fra Google Maps.

Data fra de to sensorer er vist for september 2017 på Figur 5. Her ses, at de to dataserier viser god overensstemmelse, og at de regnhændelser, der har været i september 2017, har været stort set ens for de to målere. Der er brugt en korrektionsfaktor på 2,9 til data indsamlet med regnmåleren sat op ved Rådhuset. Denne korrektionsfaktor er bestemt ved at sammenligne de to dataserier for september måned og finde den faktor, der gav den laveste fejl (RMSE). Da der i september faldt store mængder nedbør, vurderes det, at disse nedbørshændelser må have været ens for begge målere, og korrektionsfaktoren er derfor beregnet baseret på denne måned.

Der ses stadig uoverensstemmelser mellem de to nedbørsserier, men dette kan skyldes, at store nedbørshændelser kan have enkelte lokale variationer. I de videre beregninger er begge dataserier brugt til opstilling af vandbalancer.



**Figur 5** Sammenligning af nedbørsdata fra DMI målestation og 2020 Aps målestation



# 5. Udvalgelse af pilotområder

Ved gennemgang af eksisterende viden og områder med særlig interesse for Frederiksberg Forsyning blev tre pilotområder udvalgt. Følgende beskriver kort processen.

## 5.1 Udvalgte pilotområder

I projektets opstart blev der løbende afholdt workshops mellem projektets parter på Frederiksberg Forsyning hvor det eksisterende afvandingssystem blev gennemgået og hvor forskellige lokaliteter blev vurderet ift. anvendelse som pilotområde. Der er indhentet gamle drænkort mv. fra Forsyningens arkiv. Frederiksberg Forsyning kunne i første omgang afvise nogle af de områder der havde været overvejet. Generelt blev det klart at der for mange eksisterende og kommende anlæg ikke var mulighed for at måle på afstrømning af regnvand fra et bestemt område, da der de fleste steder på Frederiksberg er fælleskloakeret, og Frederiksberg Forsyning ikke har adgang til og informationer om brønde der ligger på privat ejendom.

Nedenstående liste indeholder de fleste af de lokationer der har været i spil, samt angivelse af status på projekt/anlæg.

- **BBA-grunden** – Under udførelse med klimatilpasning
- **Moltkesvej** – Kommende projekt med klimatilpasning
- **Frederiksberg Have** – Eksisterende anlæg
- **Egernvej** – Evt. fremtidig klimatilpasningsprojekt
- **KB Boldbanerne** – Eksisterende anlæg
- **Ærøvej** – Eksisterende anlæg
- **Lindevangsparken** – Eksisterende nyt klimatilpasningsanlæg

Hver af ovenstående lokationer blev gennemgået og undersøgt for mulighederne for at kunne måle på afstrømning af regn eller drænvand fra tilhørende oplande. Ud over ved Frederiksberg Have viste det sig dog at det umiddelbart kun var ved allerede udførte klimaprojekter at der var mulighed for at måle på adskilt regnvand, hvilket afgjorde valget af pilotområder. De tre udvalgte pilotområder blev derfor,

- Frederiksberg Have
- Ærøvej
- Lindevangsparken

Der har været indsamlet data i de tre pilotområder gennem 2017, og så vidt muligt er der herefter foretaget vurdering af muligheder for ressourceoptimering af anlægget eller et anlæg af lignende type. Disse vurderinger samt vandbalancer og klimapåvirkninger er beskrevet i følgende afsnit.

# 6. Frederiksberg Have

**Frederiksberg Have er udvalgt som pilotområde, da der hvert år ledes store mængder vand fra parken til spildevandskloak. Derudover vil data fra Haven kunne bidrage til at vurdere hvad overskydende vand fra et parkområde kan anvendes til.**

## 6.1 Beskrivelse af området

Frederiksberg Have er en park beliggende i Frederiksberg Kommune. Den er anlagt af Frederik d. 4. og har siden 1749 fungeret som udflugtsmål og afveksling fra byens travle liv. Haven rummer i dag både elementer af at have været barokhave og en romantisk landskabshave. Haven er i dag fredet og ejes af staten, men vedligeholdes af Slots og Kulturministeriet. Haven er beliggende centralt i Frederiksberg placeret mellem Zoologisk Have (Zoo) og Frederiksberg Rådhus.



**Figur 6** Billeder fra Frederiksberg Have. Venstre billede viser besøgende i bådture på kanalerne, og til højre ses springvandene ved udløbet i andedammen.

Med et samlet areal på ca. 300.000 m<sup>2</sup> har Haven et stort opland, der bidrager med en stor vandmængde til kloaknettet på Frederiksberg. Nedbør der lander i Haven, ledes til kanaler og søer, via overfladeafstrømning eller via de eksisterende dræn. Herefter samles vandet i den nordlige del af haven og løber ud ved Andebakkestien og derefter til kloak.

### 6.1.1 Sideløbende projekter

Der er sideløbende med nærværende MUDP projekt undersøgt andre alternativer for brug af overskudsvand fra Frederiksberg Have. Disse består af et projekt udført under Grøn Industri-symbiose, hvor der er kigget på mulighederne for at føre vand fra Haven til Zoo. Her er opstillet vandbalancer, simpel model til estimering af vandmængder samt regnet på økonomien tilknyttet forskellige mulige løsninger for at få vandet fra Have til Zoo. Dette projekt er opfulgt af et speciale udført ved Institut for Vand og Miljøteknologi på DTU, hvor der er arbejdet videre med samme tiltag.

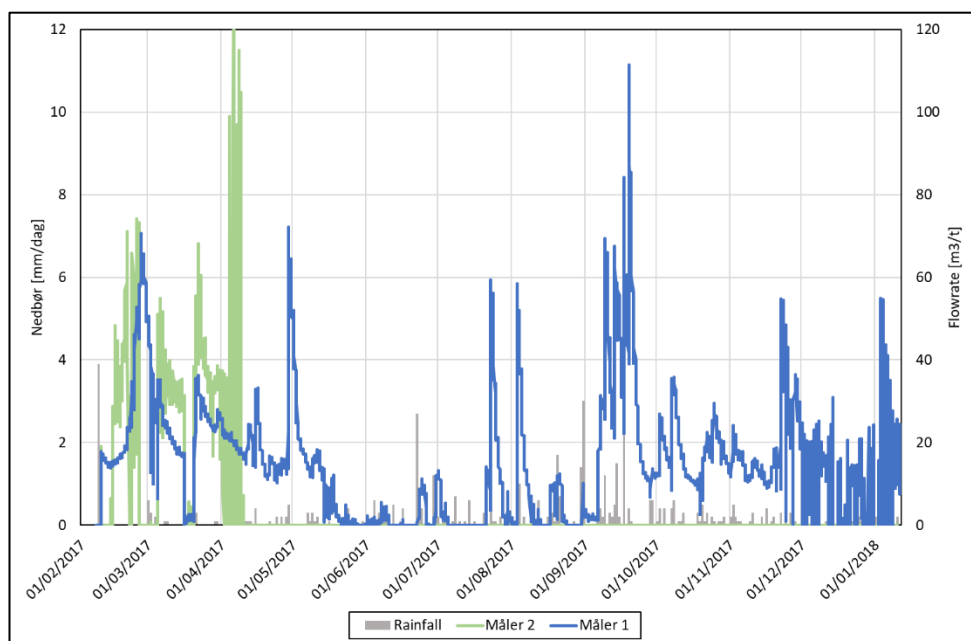
Da denne mulighed er gennemarbejdet i detaljer i disse to projekter, er der i følgende afsnit, hvor forskellige løsninger præsenteres, ikke lagt vægt på at prioritere denne mulighed, men i stedet fokuseret på alternative løsningsforslag.

## 6.2 Indsamling af data

Ved Frederiksberg Have er der indsamlet data om flow og vandkvalitet. For at få et godt billede af hvordan afstrømningsmønsteret er fra Frederiksberg Have, har der i to kloakker været installeret sensorer til registrering af flow ud af haven. De to målere blev placeret i serie i den tro at de begge ville måle det samlede udløb fra Haven, og data på den måde ville kunne bruges som verifikation af om flow-målerne var retvisende. De to brønde målerne var installeret i, viste sig dog ikke umiddelbart at være i serie og data kunne derfor ikke bruges som først antaget. Om-trentlig placering af de to brønde hvor flow-målerne var installeret er vist på Figur 7.



**Figur 7** Placering af brønde hvor der har været installeret flowmålere. Måler 1, vurderes at repræsentere udløbet fra Frederiksberg Have



**Figur 8** Indsamlet flowdata fra måler 1 og 2 ved Frederiksberg Have samt nedbørsdata fra nedbørsdata målt i forbindelse med projektet

For den brønd der med stor sandsynlighed repræsenterer udløbet fra Frederiksberg Have er der indsamlet data i perioden 07/02/2017 til 11/01/2018. Tidsserien dækker stort set et helt år, og danner derfor et godt grundlag for at kunne forstå, hvordan det hydrauliske system fungerer i Frederiksberg Have, og hvilke variationer der ses over året. Disse informationer kan være yderst betydende i vurderingen af, hvordan afledningen ændres fra belastning til ressource. De indsamlede data er vist på Figur 8.

Ud over indsamling af data via sensorer har Frederiksberg Forsyning besøgt og indmålt brønde og overløb fra Haven, så disse kunne indbygges korrekt i den MIKE URBAN model der blev opstillet under projektet, samt for at få en god forståelse af den manuelle styring af overløbsbygværket, der er i dag.

### 6.2.1 Vandkvalitet

For at kunne vurdere kvaliteten af vandet, der udledes fra Frederiksberg Have, er der d. 13-03-2018 udtaget to vandprøver hhv. morgen og aften ved udløbet fra Frederiksberg Have. Analyseresultaterne er præsenteret i Bilag 2, og ligger som grundlag for vurderingerne af hvilke anvendelsesmuligheder, der kan være mest hensigtsmæssige for overskudsvandet fra Frederiksberg Have.

I Tabel 1 er de udvalgte analyseresultater præsenteret som et gennemsnit af de to analyser. I tabellen er angivet fund af miljøfremmede stoffer, samt stoffer med overskridelser af enten drikkevands-, grundvands- eller overfladevandskvalitetskriterier. Derudover er enkelte parametre af særlig relevans for brugen af vandet vist.

**Tabel 1 Udvalgte analyseresultater fra to analyser udtaget ved Andebakkestien ved udløbet fra Frederiksberg Have. Stoffer der overskrider kvalitetskriterierne er markeret med fed skrift.**

Stofnavn	Enhed	Analyse- resultat	Regn- Kvalitet**	Drikke- vand	Grund- vand	Fersk over- fladevand
Ammonium	mg/l	<b>0,064</b>	-	0,05	-	-
Total kvælstof	mg/l	1,3	1,8	-	-	-
Total fosfor	mg/l	0,33	0,0056	-	-	-
NVOC	mg/l	<b>8,3</b>	-	4	-	-
Arsen	µg/l	1,5	-	5	8	4,3*
Barium	µg/l	59	-	-	-	9,3*
Bly	µg/l	2,8	1,1	-	-	-
Bly, filtreret	µg/l	<b>0,54</b>	-	5	1	0,34
Kobber	µg/l	1,7	0,99	-	-	-
Kobber, filtreret	µg/l	<b>1,5</b>	-	2	100	1
Zink	µg/l	6,7	10	-	-	-
Zink, filtreret	µg/l	<b>5,6</b>	-	3	100	7,8
Naphtalen	µg/l	0,015	-	-	-	-
Phenanthren	µg/l	0,012	0,013	-	-	1,3
Benz(a)pyren	µg/l	<b>0,022</b>	0,000075	0,01	-	0,05
4-nitrophenol	µg/l	<b>0,33</b>	-	0,1	0,1	-
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	µg/l	0,014	-	0,1	0,1	7,8
ETU (Ethylthiourea)	µg/l	0,034	-	0,1	0,1	-
Sum af alle pesticider	µg/l	0,37	-	0,5	0,5	-

\* Grænseværdien gælder en filtreret prøve

\*\* Beregnet vandkvalitet via værktøjet "RegnKvalitet\_Vers1.2.xlsx"

For reference er, i kolonnen "RegnKvalitet", vist beregnet koncentration af enkelte parametre fra værktøjet "RegnKvalitet\_Vers1.2.xlsx". Dette værktøj er udviklet som et projekt under initiativet "Vand i Byer". I "RegnKvalitet" udregnes forventet koncentration baseret på oplandets arealanvendelse, og kun for udvalgte parametre. Tabellen indeholder derfor kun koncentrationer i kolonnen "RegnKvalitet" for parametre, hvor disse er udregnet.

Fra Tabel 1 ses, at der for miljøfremmede stoffer er fundet koncentrationer over detektionsgrænsen for PAH'er og pesticider, hvoraf Benz(a)pyren overskrider drikkevandskvalitetskriteriet og 4-nitrophenol overskrider kvalitetskriterier for både drikkevand og grundvand. Benz(a)pyren kommer typisk fra afbrænding af fossile brændstoffer, hvilket betyder at indholdet fundet i udløbet fra Frederiksberg Have må antages at stamme primært fra trafik, men dele kan også komme fra afbrænding i private brændeovne. 4-nitrophenol benyttes i produktionen af fungicider og insekticider og vurderes derfor at være i vandet grundet brug af disse midler i Haven.

Af de analyserede metaller ses det at Zink overskrider drikkevandskriteriet, for både den filtrerede og ikke filtrerede prøve. For bly ses en overskridelse af grundvandkvalitetskriteriet i den ikke filtrerede prøve hvorimod den filtrerede prøve viser koncentrationer under 1 µg/l og er dermed under grundvandkvalitetskriteriet. Koncentrationen ligger dog stadig umiddelbart over kriteriet for fersk overfladevand. For Kobber ses kun en lille forskel i den filtrerede og ikke filtrerede prøve, og begge koncentrationer ses at overholde kvalitetskriterierne for drikke- og grundvand, men at overskride kriteriet for fersk overfladevand. Sammenlignet med forventet koncentration udregnet i "RegnKvalitet" ses Zink at ligge under beregnet, hvorimod både bly og Kobber ligger på højere koncentrationer end beregnet. Overordnet vurderes de fundne koncentrationer at passe godt med de beregnede, og det antages at vandkvaliteten i Haven stemmer godt overens med den forventede koncentration fra et område med arealanvendelsen af denne type.

Sidst ses en overskridelse af drikkevandskvalitetskriteriet for NVOOC. Dette vurderes ikke som et problem, da det ikke forventes, at vandet skal kunne bruges som drikkevand, og at kravet på 4 mg/l er sat primært af hensyn til vandets æstetiske kvalitet og vandets mikrobielle kvalitet /21/.

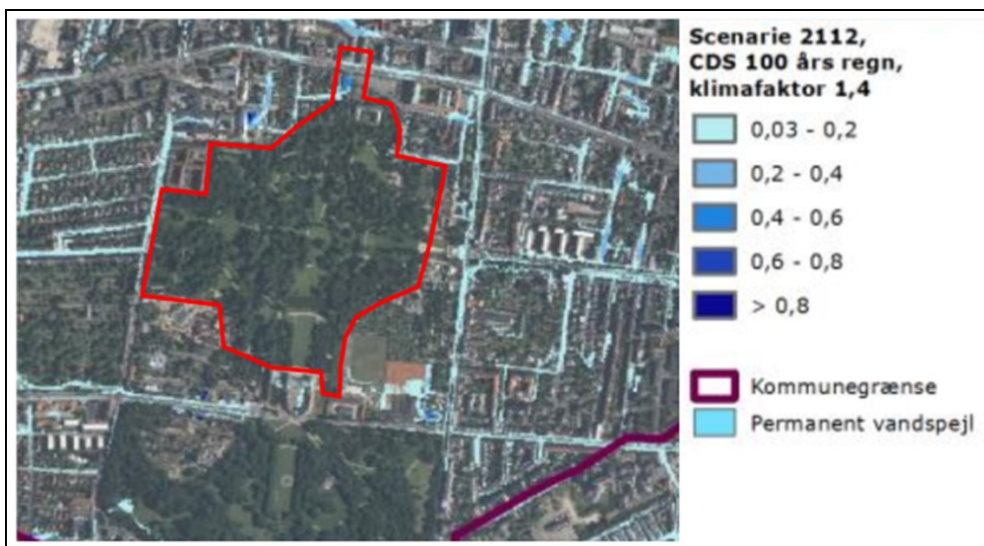
### 6.3 Klimaeffekter

For at kunne foretage en vurdering af hvordan overskudsvandet fra Frederiksberg Have kan udnyttes til andet formål, kan klimaforandringerne komme til at spille en afgørende rolle. Frederiksberg Have vurderes at blive påvirket både positivt og negativt af klimaeffekter, hvilket skal tages med i betragtning, når det vurderes, hvordan det overskydende vand fra Frederiksberg Have kan omdannes til en ressource.

Ved større og hyppigere ekstremregn om sommeren, vil der komme mere afløb til kloaksystemet og der kan opstå risiko for oversvømmelse af dele af haven. Mere regn i vinterhalvåret, vil både medføre mere afløb til kloak, og samtidig udgøre en stor risiko for at store dele af haven vil være oversvømmet eller sumpet grundet mætning af jorden. På Figur 9 ses et bluespot kort beregnet ved hjælp af MIKE URBAN ved en 100 års hændelse i år 2112 ved området omkring Frederiksberg Have. Beregningen er lavet under antagelsen af, at der ikke er udført klimatilpasningstiltag /1/. Oversvømmelse i selve Frederiksberg Have er ikke med på Figur 9, da der ikke er kloakker i haven, hvorfor oversvømmelser i selve haven ikke beregnes i MIKE URBAN. På Figur 9 ses, at der ved udløbet nord for haven kan samle sig 3 til 40 cm vand.

Grundet et hældende terræn med fald mod nord, vurderes det, at det vand der lander i Frederiksberg Have enten nedsives eller strømmer af til de søer- og å-systemer, der er i haven. Det passer også med at vandet i sidste ende staves op ved udløbet af haven, hvor kloakken ikke har kapacitet til den store vandmængde, der kommer ved en 100 års hændelse.





**Figur 9** Bluespot kort over en 100 års skybrudshændelse, forudsat at der ikke er foretaget klimatilpasningstiltag /1/

Med stigende temperaturer vil der være større fordampning og større vækst af planter på land og i vand, hvilket kan øge risikoen for eutrofiering og iltsvind i søerne. Dårligere vandkvalitet kan have en negativ påvirkning på de besøgendes oplevelse af haven, hvilket kan gå ud over antallet af besøgende. Udover øget vækst kan højere temperaturer, kombineret med længere og hyppigere perioder med tørke om sommeren skabe et behov for vanding og tilførsel af vand i tørkeperioder om sommeren, hvilket kan medføre en udgift i driften af parken, såfremt vandet skal indkøbes.

De forventede påvirkninger på grundvandsspejlet for Frederiksberg, uden klimatiltag, er at grundvandsspejlet falder. I dette tilfælde vil der ikke være nogen nævneværdig påvirkning på Frederiksberg Have. Såfremt det lykkes at afkoble 30 % af regnvandet fra ledningssystemet, vil dette vand med stor sandsynlighed blive håndteret lokalt i Frederiksberg Kommune evt. via nedsivning. I så fald er forudsigelsen en vandstandsstigning på 1-2,5 m.

På Figur 10 ses simuleret dybde til det øverst grundvandsspejl i tilfælde af at der nedsives 30 % af regnvandet. Her ses, at der forventes en generel dybde til det øverste grundvandsspejl på mellem 2 til 10 m og derover under Frederiksberg Have. Umiddelbart giver dette ingen påvirkning af det hydrauliske system i Frederiksberg have, men der vil opstå perioder med højrestående grundvandsspejl, grundet det store areal og øget nedsivning til grundvandet på grund af det øgede og længerevarende hydrauliske tryk fra overfladevandet.

Den øgede nedsivning må ses som en positiv effekt for grundvandsressourcen og indvindingen på Frederiksberg, men samtidig kan det give udfordringer at holde haven brugbar i perioder med meget regn.

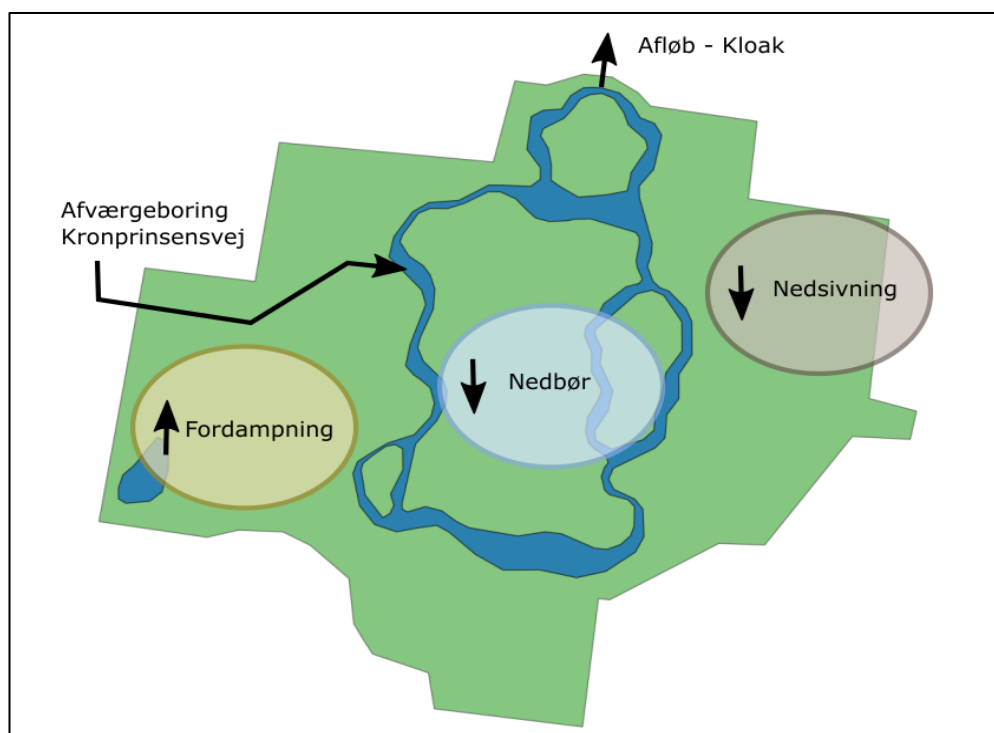


**Figur 10** Dybde til øverste grundvandsspejl i 2110, ved 30% af regnvand der nedsives /1/

## 6.4 Vandbalance

For at kvantificere mængden af "vedkommende" vand (afløbet til kloak), er der opstillet en vandbalance for Frederiksberg Have. For at opstille vandbalancen er det vurderet at følgende komponenter skal tages i betragtning: nedbør, fordampning, afværgepumpning, nedsivning og opmagasinerings. Massebalancen ser derfor således ud:

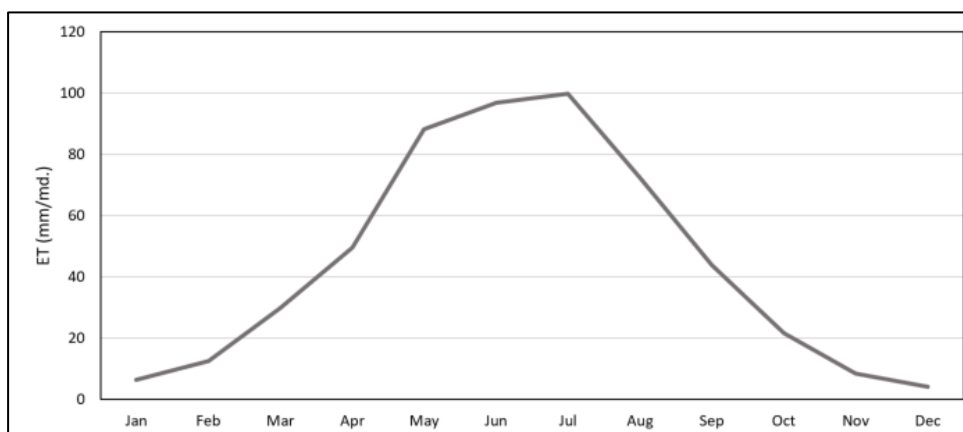
$$Q_{\text{afløb}} = (Q_{\text{nedbør}} + Q_{\text{afværg}}) - (Q_{\text{nedsivning}} + Q_{\text{fordampning}}) + Q_{\text{opmagasinerings}}$$



**Figur 11** Konceptuel oversigt over vigtige komponenter i opstilling af vandbalancen for Frederiksberg Have

Fordampningsdata brugt til opstilling af vandbalancen for Frederiksberg Have er fra DK-Modellen opstillet af GEUS /22/. Her er der brugt fordampningsdata repræsentative for arealanvendelse af typen løvskov, og disse er regnet om til at være i enheden mm/måned. Fordelingen over året ses på Figur 12. Her ses, at den største fordampning forventes i perioden fra maj til august, hvor temperaturen også må forventes at være højest.

Region Hovedstaden har en afværgepumpning ved Kronprinsensvej, der udleder rensset grundvand til kanalerne i Frederiksberg Have. I statusrapport fra 2016 er det angivet at anlægget samlet har udledt 37.071 m<sup>3</sup>/år, med en gennemsnitlig ydelse på 4,2 m<sup>3</sup>/t. Denne vandmængde er derfor brugt som input til beregningen af vandbalancen.



**Figur 12** Fordampning for løvskov fra DK-modellen, beregnet pr. måned



**Figur 13** Oversigt fra Frederiksberg Kommunes web-gis til byggeri og planlægning. Kortet viser potentiale for nedsvivning.

Til vurdering af nedsvivning af overfladevand fra Frederiksberg Have til grundvandet, er benyttet GEUS estimering, der for Sjælland ligger på 300 mm/år /23/. Da det lokalt for Frederiksberg



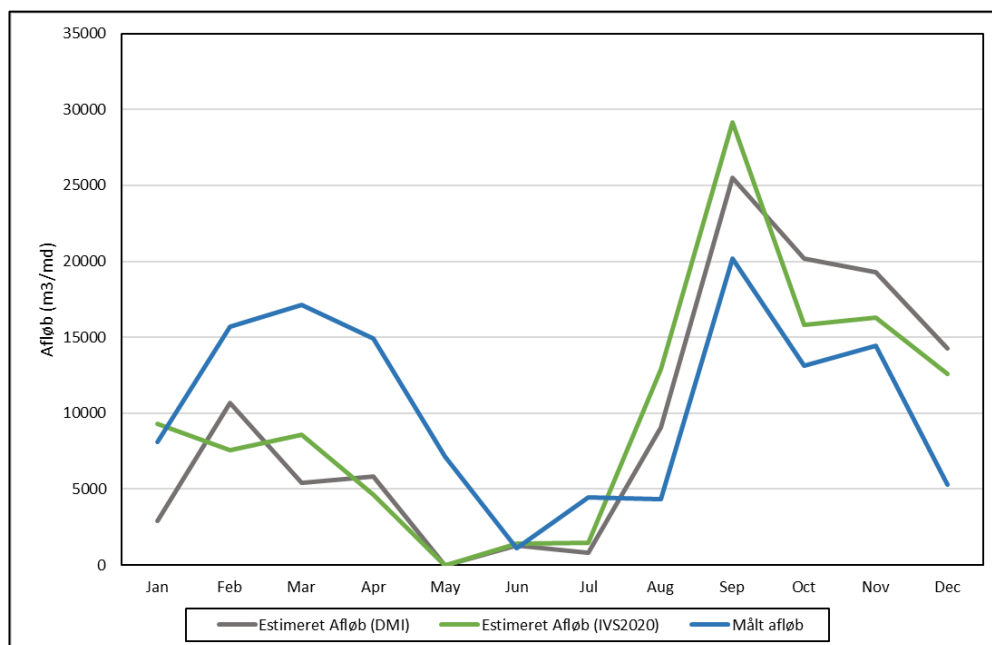
Have er bestemt, at området overvejende ikke er egnet til reinfiltration (Se Figur 13), er der til beregningerne antaget en værdi på 150 mm/år.

Der er i beregningerne af vandbalancen i første omgang ikke taget højde for, at der holdes to forskellige vandspejlskoter for hhv. sommer og vinter i Frederiksberg Have, og at vandspejlet ændres i løbet af en nedbørshændelse og herefter. Det vurderes, at de øvrige input i beregningerne, udgør en større usikkerhed, end værdien af ændret overløbskote og opstuvningen vil bidrage med, og denne er derfor ikke forsøgt indarbejdet. Dermed bliver opmagasineringen,  $Q_{op}$ -magasinering, umiddelbart lig med nul. Dette vurderes at være en rimelig tilnærmelse, når der betragtes tidsrum større end, eller lig med, ca. 1 måned.

Den resulterende vandbalance er vist på Figur 14. Her ses, at vandbalancen udregnet med brug af data fra egen måling af regn, underestimerer mængden af vand der løber fra haven i de første par måneder af året fra januar til maj, hvorimod der i perioden fra august til december ses en overestimering af vandmængderne. Samme tendens ses for vandbalancen beregnet med DMI data.

Fra dette vurderes det umiddelbart, at vandkredsløbet i Frederiksberg Have, er mere komplekst end den opstillede vandbalance. Der kan eksempelvis være en større grad af både nedsivning og fordampning i de måneder hvor det regner meget, og dette bliver ikke inkluderet i den opstillede vandbalance.

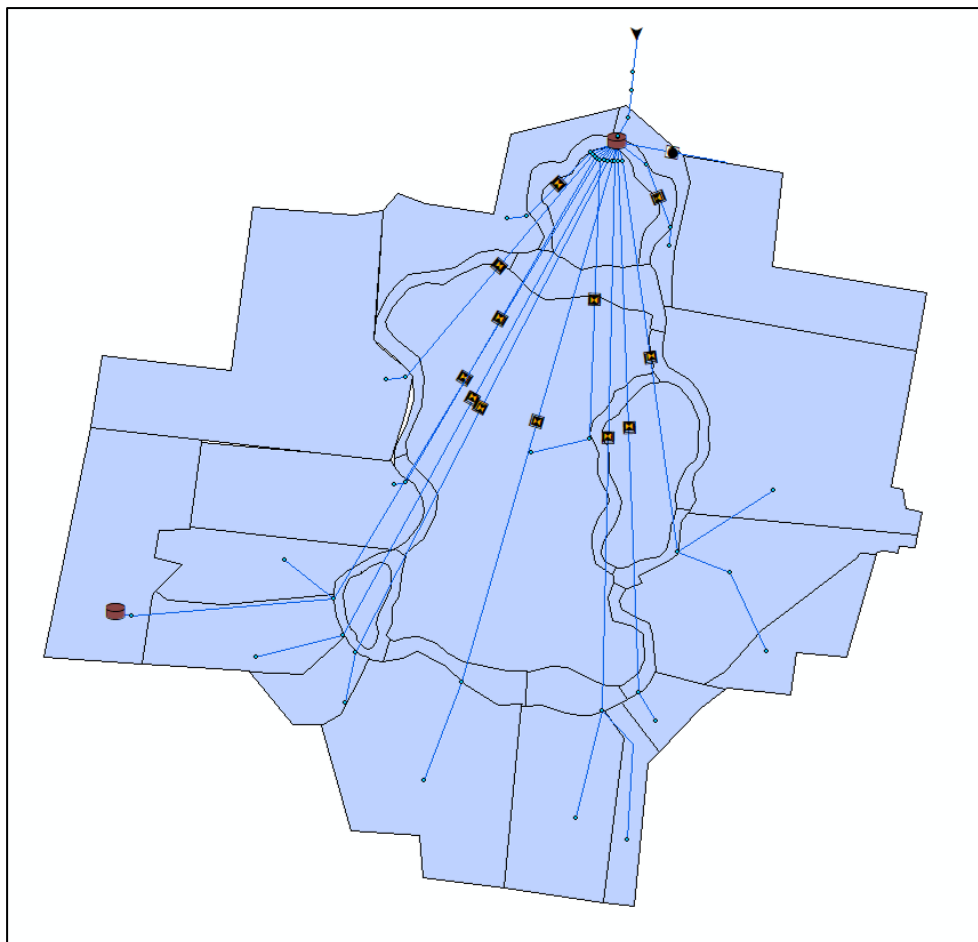
Overordnet ses, at der for månederne fra maj til august må forventes vandmængder på mellem 0 til 10.000 m<sup>3</sup>/md (0 - 14 m<sup>3</sup>/t). Hvor der for den øvrige del af året kan forventes vandmængder mellem 15.000 til 20.000 m<sup>3</sup>/md (21 - 28 m<sup>3</sup>/t). Med en konstant ydelse på 4,2 m<sup>3</sup>/t fra afværgepumpningen, udgør denne dermed mellem 15% til 30% af maksimal udløbet for perioderne med lav og høj middelfaststrømning. Total over hele måleperioden, der her udgør hele 2017, ses en samlet målt afstrømning på 126.000 m<sup>3</sup>.



**Figur 14** Vandbalance opstillet for Frederiksberg Have sammenlignet med målte flow-målinger ved udløbet

### 6.4.1 MIKE URBAN

Der er i forbindelse med projektet opstillet en MIKE URBAN model, der simulerer udløbet fra Frederiksberg Have. For projektet er modellens primære formål at verificere måledata, og dermed den opstillede vandbalance. Derudover vil modellen fremover kunne bruges ved scenariereregninger for forskellige tiltag for ressourceoptimering ved Frederiksberg Have. Endelig har modellen den vigtige funktion at udfylde den manglende delmodel for Frederiksberg Have i den store MIKE URBAN model for Frederiksberg og København. Figur 15 viser koblingen af oplande i modelopsætningen for Frederiksberg Have i MIKE URBAN.



**Figur 15 Udsnit fra modelopsætningen i MIKE URBAN, over model til Frederiksberg Have**

I modellen er inkluderet afværganlæg, fordampning, afstrømning og grundvandsdannelse. Disse input giver tilsammen udløbet i den nordlige del af Haven, som repræsenterer brønden, hvori der har været installeret måler.

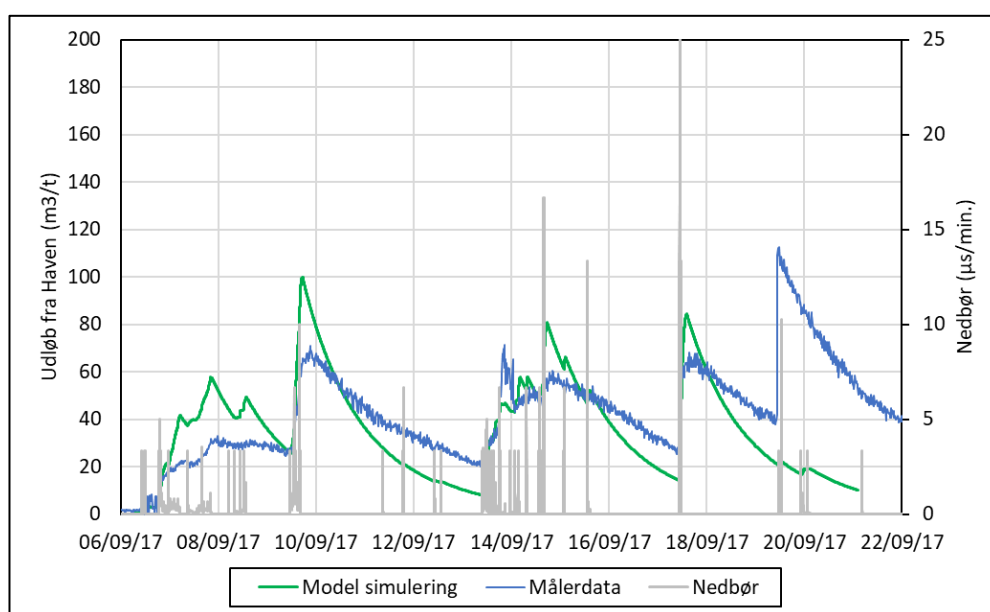
Da MIKE URBAN ikke som udgangspunkt er bygget til at modellere grønne områder og overfladevand, var der lidt udfordringer med at få modellen til at give et retvisende resultat. Efter et par iterationer blev det vurderet at modellen var troværdig. For at teste modellen blev der simuleret en periode fra 06/09/2017 til 21/09/2017. Denne periode blev valgt da der i denne periode faldt store mængder regn.

Figur 16 viser det simulerede flow for udløbet af Frederiksberg Have sammenlignet med det målte flow samme sted. Derudover er nedbørsdata fra DMI's måler plottet på grafen. Det ses umiddelbart, at MIKE URBAN modellen er i stand til at simulere de overordnede variationer i

flow, efter en nedbørshændelse. Det ses også at modellen simulerer for høje peak flow umiddelbart efter en regnhændelse, og samtidig underestimerer flowet i perioden efter nedbørshændelsen. Dette vurderes at skyldes manglende tilbageholdelse af vandet i modellen, hvor der i praksis må forventes at være noget opmagasinering i jordmatricen. Opmagasinerings vil forårsage en afdæmpning af spidsbelastningerne i det faktiske hydrauliske system i Haven.

Den 19/09/2017 ses et spring i de målte data, der ikke genskabes i modelberegningerne. Springet kommer efter en regnhændelse og kan derfor godt være et udtryk for faktisk udløb fra Haven. Niveaueet i Haven styres af et skod ved udløbet, og der er derfor en mulighed for at der har været åbnet midlertidig for dette, for at sænke vandstanden i Haven. Dette er dog ikke bekræftet. Alternativt kan det skyldes fejl i data.

Såfremt modellen skal bruges til videre beregninger, anbefales det, at der arbejdes videre med justering af opmagasinering i MIKE URBAN modellen, så den i højere grad vil kunne simulere det observerede flow.



**Figur 16** Modelresultat fra MIKE URBAN, og sammenligning med det målte flow i perioden, samt nedbørsdata fra DMI's måler.

## 6.5 Ressourceoptimering

Fra Frederiksberg Have er det, ved målinger og opstilling af vandbalance, vurderet at der i 2017 i alt strømmede omkring 130.000 m<sup>3</sup> vand ud af haven og videre til kloaksystemet. Derudover er det fundet, ved analyse af udløbsvandet, at kvaliteten stemmer overens med den forventede kvalitet for et område hvor primær anvendelse er park og rekreative aktiviteter. Disse parametre er vigtige da de kan have stor betydning for, hvilken løsning for ressourceoptimering der vil være mest optimal for det aktuelle område.

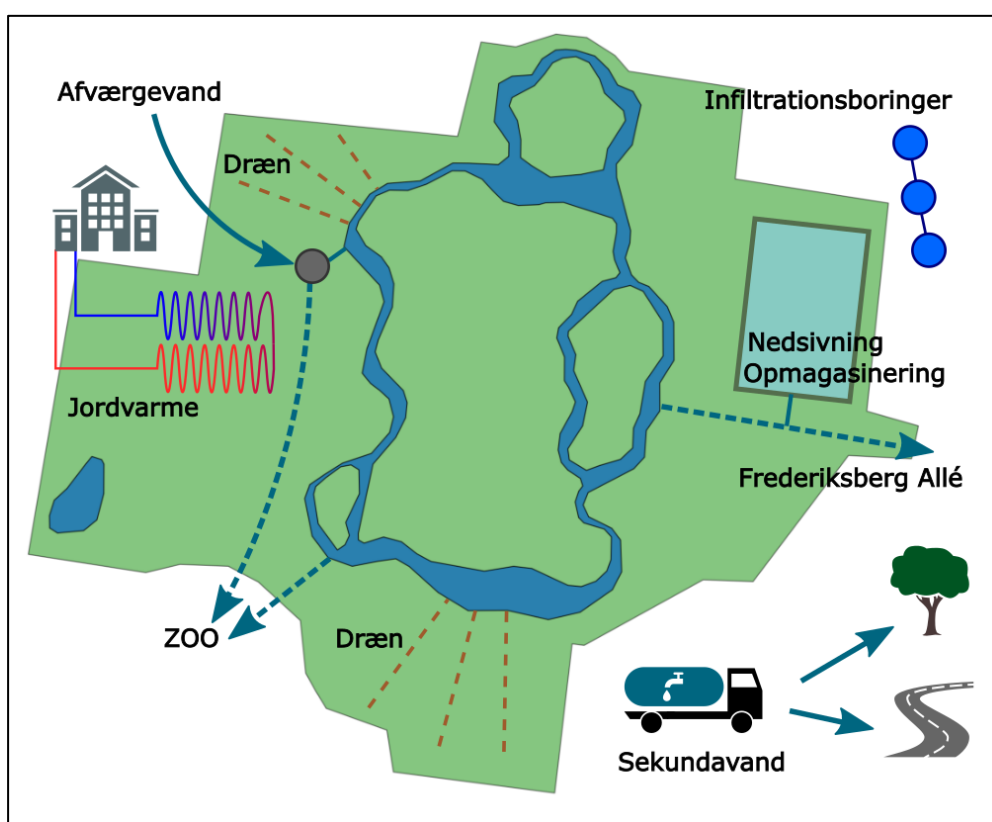
For Frederiksberg Have vurderes det, at ressourcen kan optimeres ved at:

- Øge opmagasineringen i haven
- Øge nedsivningen til øvre sekundært grundvandsmagasin
- Lave aktiv infiltration til primært grundvandsmagasin
- Anvende overskudsvand fra Haven til sekundavand
- Udnytte jordvarme og areal til primært energilager for varmepumper

Frederiksberg Have er en barok have fra 1700-tallet øverst ved Slottet, og udbygget med en romantisk have fra 1800-tallet på det flade område neden for barokhaven. Haven er i dag fredet. Ved etablering af de ovenfor nævnte tiltag vil den kombinerede barokhave og romantiske have blive ført op i det 21. århundrede som en klimahave, der signalerer en af vor tids vigtigste udviklinger: nemlig klimaforandringerne og tilpasningen hertil. Herved vil traditionen med Havens løbende historiske tilpasning og modernisering til historiske perioder fra 1700-tallets barok over 1800-tallets romantik traditionen tro blive ført op til det 21. århundredes fokus på klimaforandringer og klimatilpasning.

Samtidig med at det er ønsket, at det overskydende vand fra Frederiksberg Have om muligt omdannes til en ressource, er det også vigtigt at afstrømningen fra Haven tilpasses konkretiseringsplanen, så vandet i tilfælde af større regnskyl og skybrud ikke fører til oversvømmelser.

På Figur 1 ses plan over Haven med de foreslåede klimatiltag. De nævnte mulige tiltag er beskrevet nærmere i følgende afsnit.



Figur 17 Plan over Frederiksberg Have med de foreslåede klimatiltag.

### 6.5.1 Konkretiseringsplanen

I konkretiseringsplanen for Frederiksberg Kommune er det planlagt, at afløbet fra Haven ændres fra Andebakken mod nord til Frederiksberg Allé mod øst, hvorfra det skal løbe via de planlagte vandveje til havnen.

Ved fremtidig afledning til Frederiksberg Allé kan afløbsvandet ikke løbe på overfladen på grund af terrænkoten, men må afledes gennem et ca. 500 m langt rør. Der skal da etableres dels et indløbsbygværk med skod i Frederiksberg Have og dels et udløbsbygværk på Frederiksberg Allé, hvor den fremtidige kanalbundkote i Frederiksberg Allé er tilstrækkelig under laveste vandstandskote i kanalerne i Frederiksberg Have, således at der er plads til diverse tryktab samt tab til overfald for udløbsskod.

For at reducere dimensionerne for de nedstrøms kanaler, rør og tunneller, bør maksimalafstrømningen fra Haven under skybrud reduceres. Derfor bør opmagasineringen i haven i skybrudssæsonen i sommerhalvåret gøres så stor som mulig i relation til de alternative omkostninger for øget udledning.

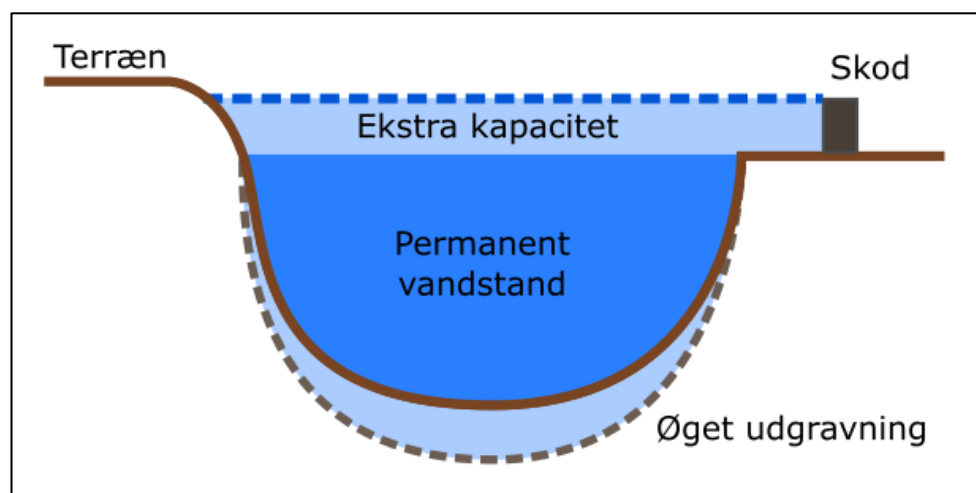
### 6.5.2 Opmagasinerings

Ved at øge opmagasineringen i kanalerne, søerne og jordmatricen under skybrudsæsonen vil det store areal, kunne fungere som en buffer for de store vandmængder der falder på kort tid. Derudover vil et automatisk styret skod, kunne regulere det flow, der løber mod Frederiksberg Allé som skitseret i konkretiseringsplanen.

I dag hæves vandstanden fra omkring primo april i kanalerne, søerne og jordmatricen med 10 cm fra kote 7,45 m DVR90 til kote 7,55 m DVR90 for at forbedre forholdene for de besøgende, der vælger at tage en tur i bådene. Hævningen af vandstanden foregår ved manuelt at hæve skoddet 10 cm i den nordlige afløbsbrønd om sommeren.

For at opretholde forhold, der muliggør fortsat anvendelse af bådene i Haven, og samtidig øge kapaciteten af opmagasinering, anbefales det, at vandstanden i en normal sommerperiode ikke som udgangspunkt hæves, men i stedet oprenses og derved sænkes bunden af kanaler og søer.

Kanalerne og søerne er oprindeligt relativt dybe, men der er aflejret en del dynd på bunden gennem de mange år, Haven har eksisteret. Herved forventes vanddybden mange steder at være reduceret. Det anbefales at opgrave dyndet for dels at skabe øget vanddybde til bådene og dels at skabe et større vandvolumen som buffer til tørkeperioder og til evt. anvendelse som sekundavand. Det er ikke undersøgt hvor dybt dyndlagt er, men det antages, at der vil kunne opnås ca. 10-20 cm ekstra dybde, ved udgravningen. Figur 18 viser et konceptuelt snit af kanalen ved udgravning af bunden. Som tillæg kan anløbsbroerne eventuelt sænkes således, at der bliver mere brugervenlig afstand mellem bro og ræling på bådende.



**Figur 18** Konceptuel snit der viser situationen med fastholdt skod og øget udgravning

Ved at øge dybden i søer og kanaler med ca. 10 cm, sikres at bådende kan komme rundt i Haven, men det giver også mulighed for at udnytte de 10 cm, vandstanden tidligere blev hævet i sommerperioden. Ved at have muligheden for at øge vandstanden 10 cm (med et areal for kanaler og søer på ca. 23.000 m<sup>2</sup>), i skybrudssæsonen kan der i søer og kanaler opmagasineres ca. 2300 m<sup>3</sup> ekstra regnvand under skybrud og store regnhændelser, og hertil kommer ekstra opmagasinering i jordmatricen grundet en lavere udgangsvandstand. Skønnes opmagasinering

i jordmatricen i et porevolumen på 10%, bliver opmagasineringen i jordmatricen på ca. 2770 m<sup>3</sup> (med areal af haven på ca. 277.000 m<sup>2</sup>). I alt bliver opmagasineringen ved store regnskyl da ca. 5.000 m<sup>3</sup> ved at bibeholde skoddet i den lave stilling også om sommeren, og kun lukke eller begrænse udløbet ved udsigt til større regnhændelser.

For at optimere opmagasineringen og afstrømningen kan der installeres et automatisk reguleret skod i udløbsbygværket. Skoddet kunne udføres i to etaper, hvor etape 1 udføres som et fast skod, der er V eller U-formet, og i etape 2 et automatisk reguleret skod. Et automatisk reguleret skod skal reguleres ud fra det målte vandniveau i kanalerne og evt. nedbøren som fore-cast fra radar eller som målt. Således kan en styrestrategi f.eks. være at sænke skoddet, når et skybrud varsles, for at skabe yderligere opmagasinering i Haven, og ved start af skybrud at hæve skoddet. Efter skybrud kan skoddet sænkes i takt med, at der bliver plads til vandet i det nedstrøms system.

Ved hjælp af den udviklede MIKE URBAN model for Frederiksberg Have, kan forskellige skodformer og styrestrategier testes ved modellering i forskellige scenarier.

Udover øget dybde af søer og kanaler og styring af udløbet, kunne det overvejes at etablere et underjordisk opmagasineringsbassin for regnvand i kanten af Haven. Bassinet kan udføres af enten faskineelementer eller i jernbeton. Bassinet vil kunne anvendes som kombineret forsinkelingsbassin og bassin for sekundavand. Ved at indføre et bassin hvor vandet har til formål at kunne benyttes til sekundavand, løses også udfordringen med årstidsvariationerne i udstrømning, da et underjordisk bassin vil fungere som buffer for det varierende flow. Der kan dog opstå udfordringer med vækst i bassinet, da vandet med stor sandsynlighed vil indeholde organisk materiale. Det høje grundvandsspejl kan være en udfordring for et bassin med lukket bund på grund af opdriften.

### **6.5.3 Øget nedsivning eller infiltration**

For at reducere vandmængderne til kloak og renseanlæg fra Haven, bør også nedsivning og reinfiltration overvejes.

Det bør undersøges hvilke muligheder der er for at reinfiltrere overskydende regnvand nær overfladen, i form af et middeldybt nedsivningsanlæg. Ved at reinfiltrere vandet på denne måde vil der kunne udføres et rimelig simpelt anlæg, der formentlig vil kræve et mindre omfang af vedligehold, og som vil kunne bidrage til grundvandsressourcen. Det vil dog også bidrage til en stigning i det øvre vandspejl, der står i tættere kontakt med de omkringliggende kældre, men også vil betyde at jordmatricen omkring nedsivningsanlægget, ikke vil kunne modtage samme mængde regnvand, og derved kunne resultere i at parken i regnfulde perioder, vil være mere våd og ikke lige så attraktiv for de besøgende. De våde arealer vil dog kunne afhjælpes ved at indføre yderligere dræning af Haven, og hæve stierne, så de ikke oversvømmer i samme grad.

Det andet alternativ er at undersøge mulighederne for at reinfiltrere vandet direkte til det primære magasin via dybe filtersatte borer. Den nordøstlige del af Frederiksberg Have er beliggende meget nær eller over Carlsbergforkastningen. Carlsbergforkastningen udgør en bred brudzone, der løber gennem København og Amager, og har en meget høj vandføringsevne, og vil derfor kunne modtage store mængder vand. Frederiksberg Forsynings indvinding foregår ligeledes fra forkastningen, og et vigtigt fokuspunkt for en løsning med reinfiltration af overfladevand, vil derfor være, at kvaliteten af vandet lever op til de krav der bliver stillet af myndighederne. Derudover vil et infiltrationsanlæg kræve regelmæssigt vedligehold og test af boringernes virkningsgrad, for at sikre at de kan tage den nødvendige vandmængde. Infiltration af fersk overfladevand til det primære grundvandsmagasin vil desuden muligvis kunne fungere som en barriere ift. indtrængning af salt havvand når der indvindes fra Carlsbergforkastningen.

#### 6.5.4 Anvendelse af overskudsvand som sekundavand

Overskudsvandet fra Haven kan ud over de ovennævnte tiltag benyttes som sekundavand i forskellige sammenhænge. Som udgangspunkt vurderes det at følgende vil være mulige forbrugere af sekundavand fra Haven:

- Zoologisk Have til bassiner, søer, rengøring eller vanding.
- Vanding/rengøring og spuling andre steder på Frederiksberg i tørre perioder om sommeren

**Vand til Zoologisk Have:** Zoologisk have er én af de største vandforbrugere hos Frederiksberg Forsyning, hvilket gør brugen af sekundavand interessant for Zoo, da de vil kunne opnå en besparelse ved ikke at skulle indkøbe alt vand fra Forsyningen. Samtidig vil afkobling af overskudsvandet fra Frederiksberg Have, spare udgifter til rensning på spildevandsanlæg.

Vandet til Zoo kan komme direkte 1) fra en eksisterende afværgepumpning, 2) fra kanalerne eller alternativt 3) fra et lokalt nedsivnings- og oppumpningsanlæg.

Afværgeanlægget pumper ca. 37.000 m<sup>3</sup> vand op om året eller ca. 4,2 m<sup>3</sup>/time til kanalerne og søerne i Frederiksberg Have. Inden udledning renses vandet via kulfilter for klorerede kulbrinter. Føres vandet direkte til Zoologisk have vil det kunne benyttes til bassiner, rengøring m.v.

Som supplement til – eller i stedet for – afværgevandet kan der pumpes søvand fra kanalerne i Haven til Zoologisk Have. Der kan pumpes vandmængder maksimalt svarende til, at vandstanden i kanalerne ikke synker så meget, at der opstår gener for bådene og planternes rødder. Der kan pumpes mere vand om vinteren end om sommeren. Der kan maksimalt pumpes de vandmængder, som strømmer af til kloakken i dag minus afværgevandet, hvis dette også anvendes, dvs. ca. 87.000 m<sup>3</sup>/år. Disse tal er dog for 2017, der er vurderet til at have været mere vådt end gennemsnittet. Den tilgængelige vandmængde må derfor antages at være mindre for et normalt år. Omvendt forventes regnmængden at øges med klimaforandringerne, så de historiske tal vil med al sandsynlighed være en underestimering af de kommende vandmængder.

Endelig kan det overvejes, at infiltrere overfladevand lokalt i Frederiksberg Have og udføre en ny boring for vand i infiltrationsområdet. Det oppumpede vand kan da anvendes i Zoologisk Have som sekundavand, og vil have gennemgået en naturlig rensning gennem jordmatricen i de sekundære jordlag.

**Vanding eller rengøring/spuling:** Såfremt der opføres et underjordisk bassin til opmagasinerings af overskudsvandet, vil det være muligt at benytte vandet til anden vedligeholdelse på Frederiksberg. Dette kunne være vanding af bede og træer, samt rengøring og spuling af veje, stier og kloaker. Ved at samle vandet i en tank, vil det kunne gøres let for de køretøjer, der udfører arbejderne med f.eks. vanding at komme til at tanke vand. For at undgå at skulle køre forgæves efter vand, vil det være en fordel, hvis der udarbejdes et monitoringsystem der gør det muligt for chaufførerne at se, om bassinet indeholder nok vand til at fylde bilen til det aktuelle forbrug.

#### 6.5.5 Jordvarme og primært energilager

Udover at benytte vandet til enten nedsivning eller sekundavand, kan der være andre typer af ressourceoptimering i Frederiksberg Have. Med de store arealer Haven udgør, vil Frederiksberg Have kunne bruges til primærenergi til varmepumper til opvarmning af bygninger. Dette kan ske ved at anvende vandet i kanaler og søer og/eller nedgrave varmeslanger under græsplæner.

Varmeslangerne kan enten forsyne decentrale varmepumper i bygningerne langs Frederiksberg Have med primær energi eller kan tilkobles et eventuel fremtidigt netværk af varmeslanger og

varmerør til forsyning af en stor central varmepumpe på Frederiksberg Forsyning med primær energi.

Ressourceoptimering skal ikke ses som en selvstændig løsning, men som en mulighed for at tænke et muligt tiltag i en større helhed. Dette vil sige at såfremt der eksempelvis vælges en løsning hvor der skal graves i Frederiksberg Have, så kunne man i samme omgang nedlægge ledninger til jordvarme til at varme bygninger placeret i nærheden, og derved optimere det planlagte anlæg.

### **6.5.6 MIKE URBAN og MIKE FLOOD**

De forskellige løsningsforslag bør gennemregnes med den udviklede MIKE URBAN model og overbygning til MIKE FLOOD, hvor afstrømning over terræn også er modelleret.

## **6.6 Lovmæssige udfordringer**

Vandkvaliteten af vandet, der løber ud fra Frederiksberg Have, er målt ved Andebakkestien. Der er som en del af ressourceoptimeringen givet forskellige forslag til udnyttelse af vandet, men disse kan begrænses af kvaliteten af vandet og lovgivningsmæssige forhold. Nedenstående er en generel vurdering ud fra de analyseresultater, der er fremkommet fra prøvetagningen. Det vil dog være op til en vurdering fra Frederiksberg Kommune af et konkret projekt, der afgør, om der kan gives tilladelse til det givne projekt.

### **6.6.1 Infiltration til primært magasin**

Infiltration af spildevand til primært magasin må kun ske, hvis det ikke indeholder blandt andet metaller og metalforbindelser, persistente kulbrinter, opslemmet stof, stoffer som bidrager til eutrofiering eller har negativ indflydelse på iltbalancen, samt stoffer og præparater eller nedbrydningsprodukter heraf, som har vist sig at have kræftfremkaldende eller mutagene egenskaber eller egenskaber, som kan påvirke steroidogene, thyriode, eller reproduktions- eller andre endokrine funktioner i eller via vandmiljøet /14/. Da grundvandet under Frederiksberg Have anvendes til indvinding af drikkevand er det vigtigt, at det vand der ønskes infiltreret ikke udgør en risiko for grundvandsressourcen.

Fra de vandanalyser der er udtaget ses det, at vandet indeholder ammonium, NVOC, bor, zink, benz(a)pyren og pesticidet 4-nitrophenol over drikkevandskvalitetskriteriet og bly og 4-nitrophenol over grundvandskvalitetskriteriet.

På baggrund af analyseresultaterne er det tvivlsomt, om der kan gives tilladelse til infiltration direkte til det primære grundvandsmagasin. Det kan overvejes, om vandet skal renses, men ved fund af flere forskellige stofgrupper der overskrider kvalitetskriterierne, vil det kræve omfattende rensning, hvilket med stor sandsynlighed vil være dyrt i oprettelse, drift og monitorering.

### **6.6.2 Nedsivning i øvre sekundære magasin**

Ved nedsivning via for eksempel faskiner til det sekundære grundvandsmagasin skal det vurderes om nedsivningen giver anledning til risiko for forurening af nærliggende indvinding af drikkevand eller risiko for forurening af grundvandsressourcen /14/. Til forskel for direkte infiltration til det primære grundvandsmagasin vil vandet ved nedsivning i faskine-anlæg passere jordmatricen, hvor problematiske stoffer enten kan bindes til jordpartiklerne eller nedbrydes.

Den målte vandkvalitet fra Frederiksberg Have indeholder ikke problematiske stoffer i en koncentration, der er kritisk i forhold til nærliggende drikkevandsanlæg eller grundvandsressourcen ved nedsivning via faskine. Det vurderes derfor, at vandet vil kunne nedsives i de øvre magasiner, uden at skulle gennemgå rensning før det udledes.



### 6.6.3 Anvendelse som sekundavand

Overfladevand kan anvendes som sekundavand steder, hvor der ikke er krav til drikkevandskvalitet. Det kunne for eksempel være rengøring, vask af biler, vanding i Zoologisk Have eller andre steder på Frederiksberg, spuling af kloak eller til fejebiler. Tages den målte vandkvalitet i betragtning vurderes det ikke at der vil være problemer med at anvende vandet til formål der ikke kræver drikkevandskvalitet.

Ved brug af sekundavand kræver det en tydelig adskillelse af sekundavand og drikkevand, så sammenblanding undgås. Da Zoologisk Have er et offentligt sted med adgang for mange mennesker skal det overvejes meget nøje, hvad vandet bruges til og om der kan være risiko for, at de besøgende ved en fejl kan tappe vandet som drikkevand, eller på anden måde kan komme i kontakt med vandet, og om dette vil kunne udgøre en potentiel sundhedsmæssig risiko.

### 6.6.4 Rekreativt i bassiner og søer

Der er ikke kvalitetskrav til vand, der anvendes rekreativt i søer og bassiner, som ikke er anlagt som badesøer. Vandkvaliteten af vandet fra Frederiksberg Have er ikke problematisk i forhold til menneskelig kontakt. Hvis anlægget lægger op til leg og vandpjask bør det overvejes om Sundhedsstyrelsen skal inddrages i overvejelserne omkring de hygiejniske forhold.

### 6.6.5 Udledning til havn

Vandet fra Frederiksberg Have betragtes som almindeligt belastede separate regnvandsudledninger. Den målte vandkvalitet er ikke problematisk i forhold til udledning til havnen.

## 6.7 Teknisk økonomisk vurdering

Med udgangspunkt i de optimeringspotentialer der er gennemgået i afsnit 6.5, samt de i afsnit 6.6 gennemgåede lovtekniske forhold for de enkelte løsninger, suppleres der i dette afsnit med en teknisk og økonomisk vurdering af løsningerne. På baggrund af de forskellige forhold foretages der en samlet vurdering af de enkelte løsninger. Disse vurderinger vil bruges som input til det endelige beslutningskatalog der kunne bruges til at veje de forskellige løsninger op mod hinanden.

For vurdering af løsningerne er der udarbejdet økonomiske overslag for hvert af dem, ligesom der er foretaget en beregning af den afledte økonomiske gevinst ved at gennemføre løsningen, som dels består af hvad der spares ved en reduktion i belastningen af spildevandssystemet og/eller en besparelse af rent drikkevand.

For de økonomiske overslag er både etablering og drift af anlæggene prissat. Der er for alle overslag afsat 20% af etableringsomkostningerne til uforudsete udgifter, hvilket på nuværende detaljeringsniveau vurderes at være et rimeligt estimat, om end nogle af løsningerne og elementerne i de enkelte løsninger er forbundet med større usikkerheder end andre. Desuden er der også afsat 20% til forundersøgelser, projektering, tilsyn og rådgivning.

Til at vurdere den samlede omkostning af løsningens omkostninger over en længere årrække, er de årlige udgifter til drift af løsningen prissat; dette kan være udgifter til f.eks. almindeligt vedligehold, udskiftninger, strøm eller monitorering. For at kunne sammenligne de skitserede løsninger er der foretaget en beregning af de samlede drift- og vedligeholdelsesudgifter over en 50-årig periode, svarende til en forventet gennemsnitlig levetid for klimaprojekter /24/. Der er ikke regnet med f.eks. afskrivning eller omregnet til nutidsværdi af investeringerne, men for komponenter med en kortere levetid end de 50 år (f.eks. instrumenter til styring og montering), er udgifter til udskiftning/fornyelse medtaget i beregningerne.

Der er ikke foretaget detailprojektering af løsningerne, og de angivne priser for såvel etablering og drift, er overslag, der vil skulle regnes efter i tilfælde af, at der skal arbejdes videre med et bestemt forslag eller løsning.

Til vurdering af de afledte gevinster ved at etablere tiltaget er der udført beregning af besparelsen ved at vandet ikke løber til kloak, men afkobles fra spildevandssystemet i hele den samlede 50-årige periode. Prissætningen af vandet er foretaget på baggrund af DANVAs prisopgørelse /25/ hvor de 10,35 kr./m<sup>3</sup> er et landsgennemsnit for udgifter til transport og rensning, og vurderes på baggrund af DANVAs opgørelse rimeligt repræsentative for Frederiksberg/Storkøbenhavn. Besparelsen ved ikke at skulle anvende drikkevand er sat til 10,90 kr./m<sup>3</sup>, som er Frederiksberg Forsynings vandpris i 2018 ekskl. afgifter /26/.

I nogle tilfælde er den økonomiske gevinst ikke direkte kvantificerbar selvom den med stor sikkerhed forekommer. Det kan f.eks. være ved midlertidig magasinering/forsinkelse, hvor det nedstrøms system reelt belastes af den samme mængde vand, men hvor forsinkelsen er med til at udjævne flowet, og dermed medfører at dimensionen af afløbssystemet kan reduceres (eller ikke skal udvides), ligesom at oversvømmelser nedstrøms kan reduceres/undgås som følge af forsinkelsen. Den mulige gevinst af dette afhænger meget af de konkrete forhold, og diskuteres derfor nærmere for enkelte tiltag, hvor det er relevant.

### 6.7.1 Udløb fra parken i henhold til konkretiseringsplanen

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifterne til etablering af udløb fra Frederiksberg Have er vist i nedenstående tabel, og vurderes rimeligt sikkert bestemt, idet den væsentligste variable er ledningens længde.

Anlægget vurderes generelt at have en levetid på minimum 70 år, og bortset fra den automatiske styring, vil der ikke være behov for fornyelser eller udskiftninger af dele af anlægget inden for en 50-årig periode.

Driftsudgifterne til løsningen er beskedne, idet anlægget forventes at fungere ved simpel gravitation og derfor ikke kræver særlig styring (ud over den automatiske), pasning eller vedligehold. De samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold over en 50-årig periode vurderes at være ca. 5,6 mio. kr.

**Tabel 2** Oversigt over forventede udgifter ved etablering, drift og vedligehold af udløb fra Frederiksberg Have.

Udløb fra parken i hh. til konkretiseringsplanen	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Bygværker	Stk.	2	150.000	300.000	1.000	70
Ledning	m	500	6.000	3.000.000	1.000	70
Automatisk styring	Stk.	1	100.000	100.000	2.000	10
Opstilling/mobilisering	Stk.	1	100.000	100.000		
I alt, ekskl. uforudsete				3.500.000		
Uforudsete udgifter, 20%				700.000		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				840.000	-	
I alt				5.040.000	4.000	
Istandsættelse og vedligehold over 50 år				400.000		
I alt ved 50 års løbetid				5.440.000	200.000	5.640.000

**Gevinster:** Som gennemgået i afsnit 6.4, vurderes den gennemsnitlige afstrømning fra parken at udgøre ca. 126.000 m<sup>3</sup>/år. Ved at etablere tiltaget vil hele denne mængde afkobles spildevandssystemet, og den økonomiske gevinst hermed vil over en 50-årig periode udgøre i alt ca. 65 mio. kr.

Tiltaget medfører ingen gevinst forbundet med en besparelse af drikkevand.

Det skal dog understreges, at gevinsten ikke vil forekomme, hvis der ikke etableres planlagte vandveje, som indgår i konkretiseringsplanen, idet en afledning til det nuværende nedstrøms fælleskloakerede system ikke vil medføre nogen besparelse.

**Samlet vurdering:** Tiltaget vurderes teknisk, økonomisk og lovgivningsmæssigt forholdsvist ukompliceret, og er med de relativt beskedne anlægs- og driftsudgifter kombineret med de store gevinster en særdeles attraktiv løsning, som dog kræver en ændring af det nedstrøms afløbssystem iht. den samlede konkretiseringsplan for Frederiksberg Kommune.

## 6.7.2 Bassin til opmagasinering og brug af sekundavand

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifter til etablering og drift af bassin til opmagasinering og som reservoir til sekundavand er vist i nedenstående tabel. De fleste af priserne vurderes rimeligt sikkert bestemt, men den største enkeltpost udgøres af selve bassinet, hvis omkostninger i høj grad bestemmes af det ønskede volumen. Der er ved beregningerne antaget et volumen på 5000 m<sup>3</sup>, hvilket blot svarer til ca. 4% af årsnedbøren. Af hensyn til at opnå en større magasinerings- og forsinkelseskapacitet, kunne det være attraktivt at gøre bassinet endnu større, men det vil altså være forbundet med store omkostninger, samt være praktisk svært at finde plads til i Haven.

Da bassinet ønskes anvendt som reservoir til sekundavand til f.eks. tankvogne, som kunne anvende vandet til vanding og spuling, vil dets volumen også blive bestemt af det faktiske behov og hyppighed for sekundavand. Det vil i praksis kræve en nærmere undersøgelse af det specifikke behov, men det vurderes i rapport fra Naturstyrelsen 2014 /11/, at det reelle behov ofte vil være begrænset.

Et volumen på 5000 m<sup>3</sup> vurderes derfor umiddelbart er være et rimeligt estimat, som både vil kunne bidrage som klimatilpasningstiltag og samtidig tjene som reservoir af en størrelse, som vil gøre det anvendeligt over en længere tørvejrperiode.

De samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold over en 50-årig periode vurderes at løbe op i ca. 76 mio. kr.

**Tabel 3** Oversigt over forventede udgifter ved etablering, drift og vedligehold af bassin til opmagasinering og brug af sekundavand.

Bassin til opmagasinering og brug af sekundavand	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Etablering af bassin i jernbeton	m <sup>3</sup>	5000	10.000	50.000.000	5.000	60
Ledninger	m	150	2.000	300.000	1.000	70
Bygværk ved Indløb til bassin fra kanaler	Stk.	1	50.000	50.000	1.000	70
Overløb til kloak fra bassin	Stk.	1	50.000	50.000	1.000	70
Tilslutningspunkt for vandingsbiler	Stk.	1	50.000	50.000	1.000	70
Monitering og styring af vandstand i bassin	Stk.	1	200.000	200.000	10.000	10

Opstilling/mobilisering	Stk.	1	200.000	200.000		
I alt, ekskl. Uforudsete				50.850.000		
Uforudsete udgifter, 20%				10.170.000		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				12.204.000	25.000	
I alt				73.224.000	44.000	
Istandsættelse og vedligehold over 50 år				800.000		
I alt ved 50 års løbetid				74.024.000	2.200.000	<b>76.224.000</b>

**Gevinster:** Ved beregning af de økonomiske gevinster er det antaget, at der anvendes 10.000 m<sup>3</sup> sekundavand pr. år fra bassinet; svarende til to gange det fulde volumen. Da det anvendte vand derved både afkobles kloakken og anvendes i stedet for drikkevand, er der en samlet økonomisk gevinst på ca. 10,6 mio. kr. over en 50-årig periode.

**Samlet vurdering:** Tiltaget vurderes ikke at udgøre en særlig teknisk udfordring, men etablering af et stort (nedgravet) bassin i armeret beton i den fredede Frederiksberg Have vil uden tvivl være forbundet med en del areal- og ejerforholdsmæssige udfordringer.

Selve bassinet er ikke forbundet med særlige lovgivningsmæssige udfordringer, men brugen af sekundavand til et lidt bredere formål end lige spuling af f.eks. kloakker, kan være problematisk, hvilket yderligere vil udfordre tiltagets relevans.

Da de samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold langt overstiger de forventede gevinster vurderes tiltaget samlet set ikke at være attraktivt.

### 6.7.3 Bassin til forsinkelse og nedsivning

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifterne til etablering af udløb fra Frederiksberg Have er vist i nedenstående tabel, og vurderes rimeligt sikkert bestemt, idet den væsentligste variabel er størrelsen af bassinets volumen. I forhold til arealbehov og en overordnet effekt af bassinet, både ift. forsinkelse og nedsivning, er det antaget at have et areal på 2000 m<sup>2</sup>.

Driftsudgifterne er vurderet til at være beskedne, idet det antages, at der etableres en effektiv sedimentation/rensning af vandet, så tilstopning undgås, og at dets funktion ikke forringes væsentligt i løbet af dets levetid. De samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold over en 50-årig periode vurderes at være ca. 12,6 mio. kr.

**Tabel 4** Oversigt over forventede udgifter ved etablering, drift og vedligehold af bassin til forsinkelse og nedsivning.

Bassin til forsinkelse og nedsivning	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Faskiner, 1m dybe	m <sup>3</sup>	2000	4.000	8.000.000	-	60
Overløb til kloak fra faskine	Stk.	1	50.000	50.000	1.000	70
Bygværker	Stk.	2	50.000	100.000	1.000	70
Ledninger	m	200	2.000	400.000	1.000	70
Anstilling/mobilisering	Stk.	1	100.000	100.000		
I alt, ekskl. uforudsete				8.650.000		
Uforudsete udgifter, 20%				1.730.000		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				2.076.000	-	

I alt	12.456.000	3.000	
Istandsættelse og vedligehold over 50 år		-	
I alt ved 50 års løbetid	12.456.000	150.000	12.606.000

**Gevinster:** Til beregning af gevinsterne er antaget at permeabiliteten i de øvre jordlag, som vil være dimensionerende for dets infiltrationsevne er  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s, og at anlægget derved teoretisk vil kunne nedsive ca. 60.000 m<sup>3</sup>/år. I praksis vil der dog ofte være for stort indløb ift. kapaciteten, og den maksimale infiltrationsevne vurderes derfor at være 30.000 m<sup>3</sup>/år (i øvrigt svarende til ca. ¼ af den årlige afstrømning fra Frederiksberg Have).

Set over en 50-årig periode vil det svare på en økonomisk gevinst ved at afkoble vandet på ca. 15,5 mio. kr.

Desuden vil der være en vis forsinkelseeffekt af bassinet, hvis økonomiske gevinst ikke umiddelbart kan kvantificeres.

Tiltaget medfører ikke direkte en besparelse af drikkevand, men da vandet nedsives og dermed bidrager til grundvandsdannelsen, er der en indirekte positiv effekt ift. drikkevandsressourcen, om end en nedsivning på 30.000 m<sup>3</sup>/år kun svarer til ca. 1,2 % af den vandmængde Frederiksberg Forsyning indvinder.

**Samlet vurdering:** Samlet set vurderes udgifterne til drift og vedligehold at være af samme størrelsesorden som de gevinster, som tiltaget bidrager med, hvor der yderligere er positive effekter i form af forsinkelse og øget grundvandsdannelse.

I det konkrete tilfælde vurderes det dog tvivlsomt, om det reelt er muligt overhovedet at nedsive så meget vand, især fordi det sekundære grundvandsspejl i perioder står højt i området, og da man risikerer at den rekreativt attraktive Frederiksberg Have derved bliver vandlidende og mindre brugbar. Endvidere må der også forventes at være nogle ejerforholdsmæssige udfordringer ved at etablere bassinet over så stort et areal.

Lovgivningsmæssigt er der ikke noget til hinder for at tiltaget kan gennemføres, men en nærmere vurdering af forureninger på såvel selve lokaliteten for anlægget, samt eventuel risiko for påvirkning af andre forureninger i området vil være nødvendig.

Samlet set vurderes tiltaget at være rimeligt attraktivt, men der er – i det mindste i det konkrete tilfælde – en meget stor usikkerhed på dets reelle effekt og dermed på de afledte gevinster.

#### 6.7.4 Oprensning af kanaler og søer

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifterne til oprensning af kanaler og søer i Frederiksberg Have er vist i nedenstående tabel, og vurderes rimeligt sikkert bestemt. Den største usikkerhed ligger i hvor stort et volumen, der vil skulle oprenses, da det ikke konkret er undersøgt hvor og hvor meget slam der er på bunden af søer og kanaler.

For at opretholde dybden af kanaler og søer, er det desuden antaget, at der hvert 20. år skal udføres oprensning, og at det automatiske skod og styring heraf har en levetid på 10 år.

Driftsudgifterne vurderes at være meget beskedne, og de samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold over en 50-årig periode vurderes at løbe op i knap 2,1 mio. kr.

**Tabel 5** Oversigt over forventede udgifter ved oprensning/uddybning af kanaler og søer i Frederiksberg Have.

Oprensning af kanaler og søer	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Oprensning af kanaler og søer	m <sup>3</sup>	470	700	329.000	-	20
Automatisk skod	Stk.	1	100.000	100.000	10.000	10
Opstilling/mobilisering	Stk.	1	50.000	50.000		
I alt, ekskl. uforudsete				479.000		
Uforudsete udgifter, 20%				95.800		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				114.960	-	
I alt (drift i 50 år)				689.760	10.000	
Istandsættelse og vedligehold over 50 år				893.500		
I alt ved 50 års løbetid				1.583.260	500.000	2.083.260

**Gevinster:** Da tiltaget udelukkende bidrager til at forsinke vandet (og altså ikke afkobler vand fra spildevandssystemet), er de økonomiske gevinster ikke direkte kvantificerbare.

**Samlet vurdering:** Da udgifterne til oprensning og forbedret styring af vandstanden er meget beskedne i løbet af en 50-års periode, vurderes tiltaget attraktivt, selvom de afledte gevinster ikke umiddelbart kan prissættes.

Tiltaget vurderes i øvrigt at være relevant i kombination med et af de øvrige tiltag for Frederiksberg Have; f.eks. vil flowet fra et nyt udløb fra parken kunne udjævnes en hel del, og dermed bidrage til at selve løsningens dimension måske kan reduceres, men især at den nedstrøms påvirkning som følge af skybrud vil kunne udjævnes, og dermed reduceres i dimension.

### 6.7.5 Infiltration til primært magasin

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifterne til infiltration direkte til primært grundvandsmagasin er vist i nedenstående tabel. Ud over ledninger og fordelingsarrangementer består anlægget af 3 borerer inkl. bestyknings og et rensningsanlæg, så det sikres at vandkvaliteten overholder myndighedskrav. De ret høje udgifter til vandrensning medfører, at de samlede driftsudgifter over en 50-årig periode bliver relativt store. Desuden må der også forventes en del udgifter til løbende monitoring og dokumentation, hvilket er prissat som en driftsudgift under rådgivning.

Selve etableringsomkostningerne vurderes ikke forbundet med store usikkerheder, men driftsudgifterne kan være usikre, hvilket vil have stor betydning for anlæggets samlede økonomi.

De samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold over en 50-årig periode vurderes at løbe op i ca. 15,3 mio. kr.

**Tabel 6** Oversigt over forventede udgifter ved etablering, drift og vedligehold af infiltration til direkte til primært magasin.

Infiltration til primært magasin	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Etablering af borerer inkl. bestyknings (30 m dybe)	Stk.	3	200.000	600.000	30.000	50
Ledning til distribution	m	250	2.000	500.000	10.000	70
Renseanlæg	Stk.	1	500.000	500.000	183.960	50

Fordelingsanlæg fra rensning til boring	Stk.	1	200.000	200.000	10.000	70
Anstilling/mobilisering	Stk.	1	200.000	200.000		
I alt, ekskl. uforudsete				2.000.000		
Uforudsete udgifter, 20%				400.000		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				480.000	15.000	
I alt (drift i 50 år)				2.880.000	248.960	
Istandsættelse og vedligehold over 50 år				-		
I alt ved 50 års løbetid				2.880.000	12.448.000	15.328.000

**Gevinster:** Til beregning af gevinsterne er antaget, at halvdelen af afstrømningen fra parken kan opsamles og infiltreres, hvilket vil svare til en gennemsnitlig ydelse på ca. 7 m<sup>3</sup>/t, hvilket er beskedent med 3 borer. Hvis anlægget skulle kunne infiltrere en større del af afstrømningen, er det snarere kapaciteten af et for-reservoir og/eller vandbehandlingsanlægget, som vil skulle gøres større. Dimensionering af disse vil afhænge af en konkret teknisk-økonomisk optimering af anlægget, men en årlig infiltration på ca. 63.000 m<sup>3</sup> vurderes at være en rimelig antagelse.

Dermed vurderes den samlede økonomiske gevinst i hele den 50-årige periode at udgøre 32,6 mio. kr. alene som følge af at afkoble afstrømningen, hvilket er omtrent det dobbelte af omkostningerne.

Tiltaget giver ikke direkte en besparelse af drikkevand, og er derfor ikke prissat, men da vandet infiltreres direkte til grundvandsmagasinet, er der en positiv effekt ift. drikkevandsressourcen, hvor den infiltrerede mængde svarer til ca. 2,5 % af den vandmængde, Frederiksberg Forsyning indvinder. Endvidere vil infiltrationen kunne fungere som en barriere ift. indtrængende salt havvand ved indvinding, hvilket potentielt kan øge kvaliteten af det indvundne grundvand.

**Samlet vurdering:** Tiltaget vurderes på denne baggrund attraktivt, men risikoen for at den kan udgøre en risiko for drikkevandskvaliteten, samt de lovgivningsmæssige udfordringer med at sikre at vandet ikke på noget tidspunkt kan udgøre en risiko for grundvandsressourcen, skal ikke undervurderes.

# 7. Ærøvej

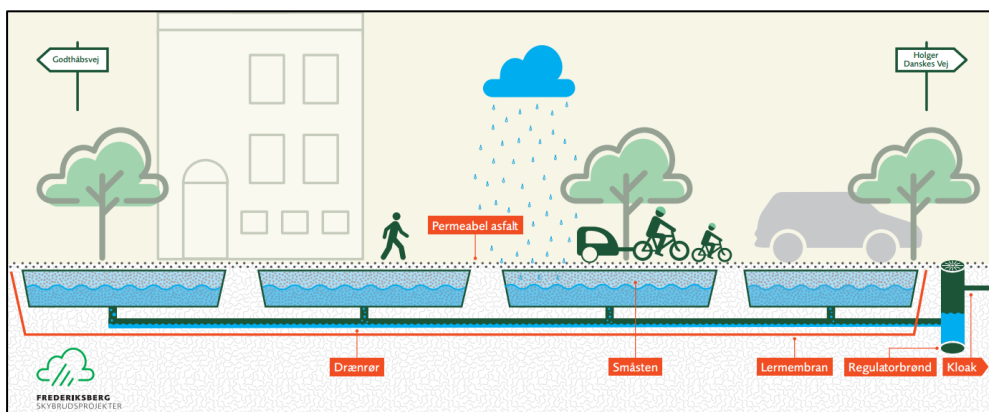
**Ærøvej er et allerede udført klimatilpasningsprojekt. Dette giver mulighed for at kvantificere vandmængderne der kommer fra denne type klimaprojekt, samt dokumentere at anlægget har den ønskede effekt.**

## 7.1 Beskrivelse af området

Ærøvej er en mindre vej der går fra Godthåbsvej til Holger Danskes Vej, og er beliggende i den nordlige del af Frederiksberg Kommune. Ærøvej er udført som en forsinkelsesvej, der aflaster den nedstrøms kloak på Holger Danskes Vej, i tilfælde af store nedbørshændelser og skybrud.

Vejen er lavet med permeabel asfalt på hele vejarealet, der tillader vandet at sive ned under vejen, hvor det opsamles i fire bassiner, der er forsejlet i bunden med en lermembran. Efter som bassinerne er fyldt med småsten, kan der samle sig store vandmængder i porevolumenet mellem stenene. Ved hjælp af et drænrør og en regulatorbrønd sker der en kontrolleret afvanding mod Holger Danskes Vej, så kloaksystemet ikke belastes for hårdt under skybrud. Figur 19 viser en principskitse over anlægget under Ærøvej.

Anlægget er dimensioneret til at kunne indeholde 128 m<sup>3</sup> regnvand i porevolumenet, og har et estimeret opland på ca. 4300 m<sup>2</sup>. Dette volumen er dimensioneret til at skulle kunne forsinke vand både fra vej og fra de omkringliggende tage. Grundet lovmæssige udfordringer (manglende tilladelse efter Miljøbeskyttelsesloven /14/) blev tagene dog ikke tilkoblet bassinerne, og ledes derfor direkte til fælleskloak. Dette betyder derfor at anlægget som det står i dag, er overdimensioneret til de vandmængder der forventes at komme fra vejen alene.



Figur 19 Principskitse over forsinkelsesanlægget på Ærøvej

## 7.2 Indsamling af data

Ved Ærøvej er der indsamlet data om flow og vandkvalitet. Til dette projekt er Ærøvej interessant da den giver de optimale muligheder for at måle på hvor meget vand der opsamles via en vej med permeable belægning, nu hvor alt vandet stadig ledes til kloak, frem for at det neds-



ves som grundvand, som det ses ved andre klimaveje. Ligeledes bør alt vand der findes i regulatorbrønden som udgangspunkt stamme fra nedsivet nedbør via vej eller grusarealerne omkring vejtræerne.

Der er opsat en enkelt flowmåler ved udløbet fra drænrøret til regulatorbrønden. Grundet udfordringer med at udpege passende pilotområder har denne måler ikke været installeret i et fuldt år, men i perioden fra 21/06/2017 til 12/01/2018. Sensommer og efterår vil normalt være den periode med de største nedbørshændelser, hvilket gør at den målte periode stadig antages at give et godt indblik i tilgængelige vandmængder, og om anlægget kan tilbageholde de dimensionerede vandmængder. Figur 20 viser en ca. placering af den brønd måleren har været installeret i samt det tilhørende tilstrømningsopland for brønden.

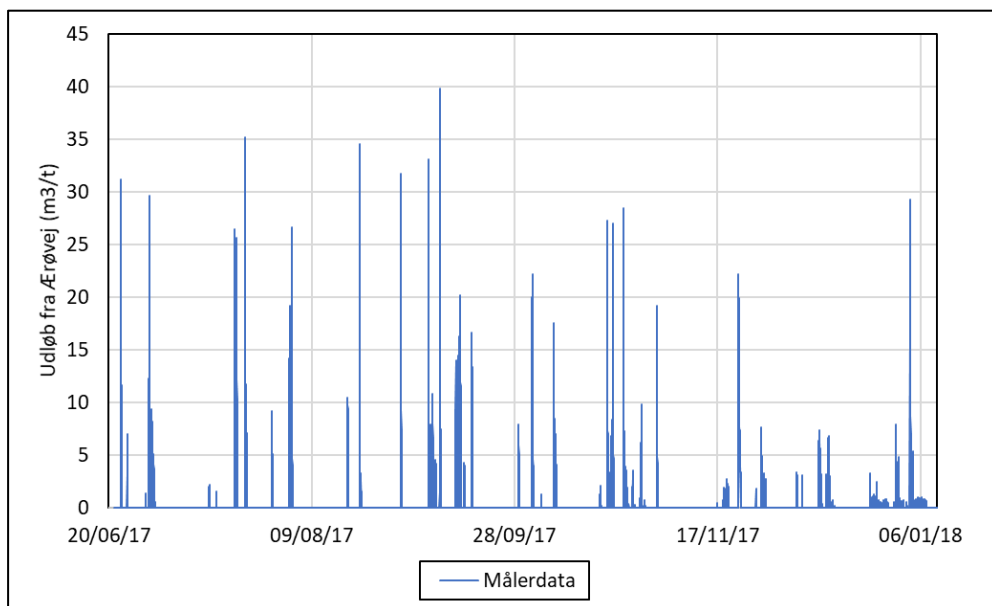


**Figur 20** Placering af brønd hvor der har været installeret flowmåler, samt omtrentligt opland for brønden.

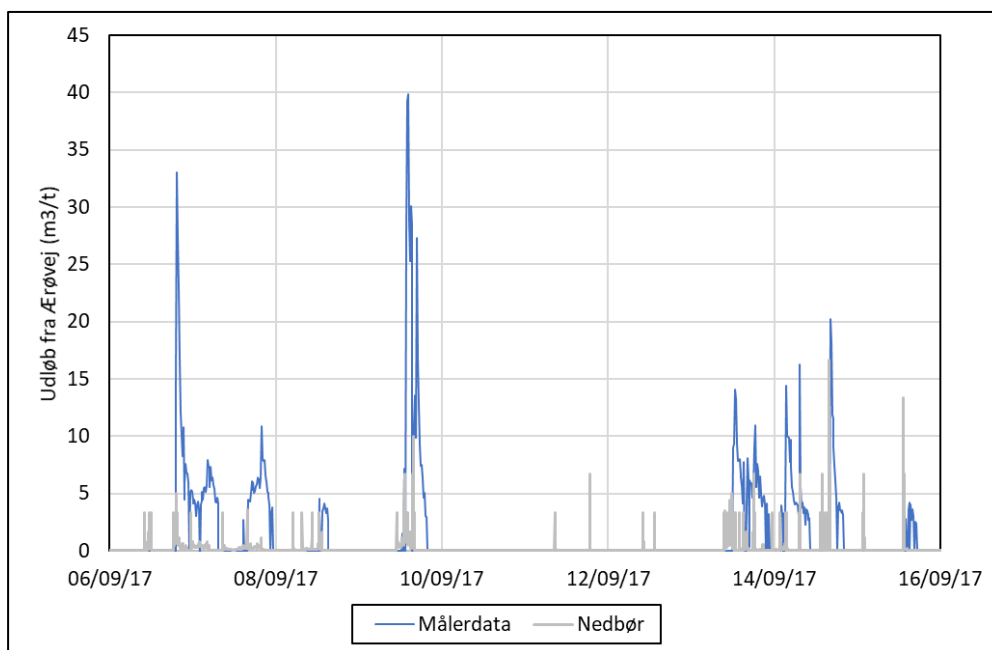
På Figur 21 er de indsamlede data vist i sin fulde udstrækning, hvor der på Figur 22 er vist et udsnit af data. Der er alene præsenteret DMI's regn-data sammen med flow data, idet regnmåleren placeret ved Frederiksberg Rådhus ikke giver tilstrækkelig lokal viden pga. afstanden til flowmåleren på Ærøvej. Figur 22 viser at fluktuationer i flow er sammenfaldende med nedbørshændelser. Ved tilsvarende flowmålinger fra Frederiksberg Have, er der også målt negativt flow ved Ærøvej. De negative flows vurderes at være et resultat af negative hastighedsmålinger, det er dog uvist hvad de negative værdier repræsenterer. De målte hastighedsværdier og de korresponderende niveaumålinger er indenfor flowmålerens rækkevidde, og kan umiddelbart ikke tilskrives udstyrets måleusikkerhed. Da der i udløbsledningen fra regulatorbrønden er installeret kontraventil, vurderes det heller ikke at kunne skyldes tilbageløb fra fælleskloakken.

Regulatorbrønden, hvorfra vandet der løber fra Ærøvej tilbageholdes før udløb til fælleskloakken, har et udløb til kloak via et Ø50 mm hul i overløbsrøret. Vandet der opsamles via Ærøvej vil derfor løbe af i den hastighed udløbsrøret tillader. I tilfælde af at volumenet under Ærøvej fyldes er der installeret et overløb i kote 9,23 mDVR90, der sikrer at vandet ikke kommer i terræn. Drænrøret der afvander bassinerne under Ærøvej har bund i kote 8,35 mDVR90 hvilket derfor tillader et vandniveau over bund af dræn på 88 cm. Via niveaumåling foretaget med installeret måler kan det ses at det højeste registrerede niveau blev opnået d. 03/08/2017, og var på 61

cm. Dette tyder derfor på at der gennem hele måleperioden har været en minimum frihøjde på omkring 27 cm, hvilket stemmer godt overens med at anlægget er overdimensioneret i forhold til størrelsen af oplandet.



Figur 21 Indsamlet flowdata for Ærøvej



Figur 22 Udsnit af indsamlet data fra Ærøvej, vist med DMI nedbør.

### 7.2.1 Vandkvalitet

For at kunne vurdere kvaliteten af vandet der udledes fra Ærøvej, er der d. 13-03-2018 udtaget to vandprøver hhv. morgen og aften ved udløbet fra Ærøvej til regulatorbrønden. Analyseresultaterne er præsenteret i Bilag 2, og ligger til grundlag for vurderingerne af hvilke anvendelsesmuligheder der kan være for overskudsvandet fra Ærøvej.

I Tabel 7 er de udvalgte analyseresultater præsenteret som et gennemsnit af de to analyser. I tabellen er angivet fund af miljøfremmede stoffer, samt stoffer med overskridelser af enten drikkevands-, grundvands- eller overfladevandskvalitetskriterier. Derudover er enkelte parametre af særlig relevans for brugen af vandet vist.

For reference er, som for Frederiksberg Have, vist beregnet koncentration af enkelte parametre fra værktøjet "RegnKvalitet\_Vers1.2.xlsx".

**Tabel 7 Udvalgte analyseresultater fra to analyser udtaget ved i brønden ved udløbet fra Ærøvej**

Stofnavn	Enhed	Analyse- resultat	Regn- Kvalitet**	Drikke- vand	Grund- vand	Fersk over- fladevand
Natrium	mg/l	470	-	175	-	-
Ammonium	mg/l	1,1	-	0,05	-	-
Nitrit	mg/l	0,49	-	0,1	-	-
Total kvælstof	mg/l	10	1,5	-	-	8
Total fosfor	mg/l	0,054	0,17	-	1,5	0,15
COD	mg/l	405	44	-	-	75
BOD	mg/l	255	6	-	-	15
Arsen	µg/l	0,89	-	5	8	4,3*
Barium	µg/l	130	-	-	-	9,3*
Bly	µg/l	0,65	3,5	-	-	-
Bly, filtreret	µg/l	0,13	1,3	5	1	0,34
Kobber	µg/l	3,5	16	-	-	-
Kobber, filtreret	µg/l	3,1	7,3	2	100	1
Zink	µg/l	6,9	36	-	-	-
Zink, filtreret	µg/l	5,0	14	3	100	7,8
Naphtalen	µg/l	0,013	-	-	-	-
4-nitrophenol	µg/l	0,48	-	0,1	0,1	-
ETU (Ethylthiourea)	µg/l	0,24	-	0,1	0,1	-
Sum af alle pesticider	µg/l	0,71	-	0,5	0,5	-

\* Grænseværdien gælder en filtreret prøve

\*\* Beregnet vandkvalitet via værktøjet "RegnKvalitet\_Vers1.2.xlsx"

Fra Tabel 7 ses at der for miljøfremmede stoffer er fundet koncentrationer over detektionsgrænsen for PAH'er og pesticider. For pesticiderne overskrider ETU og 4-nitrophenol kvalitetskriterierne for både drikke- og grundvand. Samlet ses sum af pesticider også at overskride kriteriet på 0,5 µg/l.

Forekomsten af pesticider, forventes at stamme fra brug af sprøjtegifte langs vejen til bekæmpelse af blandt andet ukrudt osv. Den høje koncentration betyder at brugen af vandet begrænses, og at der vil skulle være opmærksomhed omkring driften af vejen i visse tilfælde.

For analyserede metaller ses ligeledes overskridelser af krav til drikkevand for enkelte metaller, og overskridelse af kriteriet for fersk overfladevand for Kobber. Sammenlignet med beregnede koncentrationer for samme type arealanvendelse via "RegnKvalitet" ses dog at de fundne koncentrationer ligger under det forventede, hvilket antyder at indholdet af metaller ligger noget under arealer af med samme areal anvendelse.

Ovenstående parametre er som beskrevet indenfor det forventede. En væsentlig afvigelse ses dog i indholdet af COD, BOD og kvælstof, der er langt over de beregnede koncentrationer. Højt indhold af disse to parametre ses ofte i spildevand fra hushold. Da vejen er en nedslivningsvej der udelukkende samler vand fra vejoverfladen, er fund af COD og BOD i så høje koncentrationer et tegn på at der ledes vand til systemet fra anden side. Der kan dog være tale om en midlertidig tilslutning, der har været skyld i forureningen.

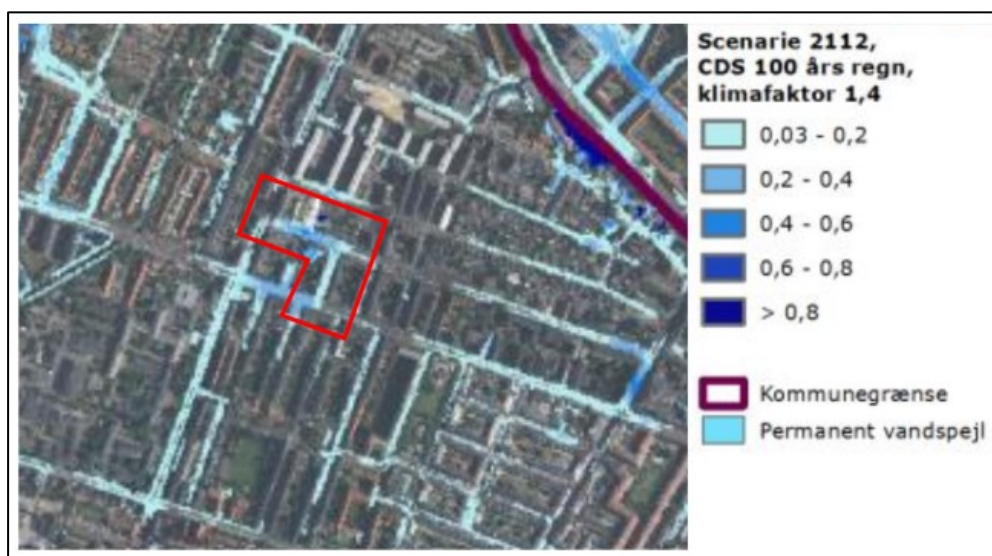
### 7.3 Klimaeffekter

For forsinkelsesanlægget på Ærøvej vurderes klimaforandringerne at medføre, at anlæggets relativt dæmpende og udlignende effekt på skybruddene vil blive mindre og at en større delmængde af vandet vil løbe direkte til kloak. Figur 19 viser en principskitse over forsinkelsesanlægget ved Ærøvej. Her ses hvordan vand, der lander på vejen, siver ned gennem belægningen, for derefter at løbe langsomt til kloak.

Der er overkapacitet i anlægget i forhold til en 100 års regn om 100 år, idet porevolumenet i anlægget er relativt stort. Ved øget regn i vinterperioden kan der ved koblede regnhændelser muligvis opstå en risiko for, at anlæggets kapacitet fyldes og ikke kan strømme af før næste regnhændelse. I en sådan situation vil vandet ligeledes løbe på overfladen og til regulatorbrønden for derefter at løbe til kloak.

På Figur 23 ses et bluespot kort beregnet ved hjælp af MIKE URBAN og MIKE FLOOD ved en 100 års hændelse i år 2112 ved området omkring Ærøvej, beregningen er lavet under antagelsen at der ikke er udført klimatilpasning /1/. Her ses tydeligt at såfremt der ikke havde været udført et klimaprojekt ville Ærøgade være et område hvor klimaeffekter ville have betydning, med en forventet vandhøjde på 3 til 20 cm på Ærøvej. Det ses samtidig at der nedstrøms for Ærøvej, på Holger Danskes vej forventes at opstives 20 til 40 cm vand ved en 100 års regnhændelse. Denne påvirkning af Holger Danskes vej må også antages begrænset ved at forsinke vandet fra Ærøvej.

Nu, hvor der er udført klimaprojekt på Ærøvej, må det trods de forventede klimaforandringer antages, at en 100 års regnhændelse ikke vil skabe oversvømmelser på vejen. Dette er dog med en antagelse om, at vejens permeabilitet vedligeholdes og at dens effekt fortsat vil være gældende 100 år fra nu.



Figur 23 Bluespot kort over en 100 års skybrudshændelse, forudsat at der ikke er foretaget klimatilpasning /1/

Stigende temperaturer forventes ikke at have udpræget påvirkning på Ærøvej. Der vil blive varmere, hvilket som nævnt kan have betydning for velvære og sundhed for beboere i området, men der er i det udførte projekt plantet træer, der kan medvirke til at give skygge og øge fordampning. Samtidig vil der via den permeable vej og den tilbageholdte vandmængde være mulighed for en øget fordampning, der i begrænset grad vil mindske mængden af vand, der løber til kloak.

Uden klimatiltag, forventes grundvandsspejlet på Frederiksberg at falde. I dette tilfælde vil der ikke være nogen påvirkning på forsinkelsesanlægget på Ærøvej. Såfremt det lykkes at afkoble 30 % og håndtere vandet lokalt via nedsivning, forudsiges en stigning på 1-2,5 m. På Figur 24 ses simuleret dybde til det øverst grundvandsspejl i tilfælde af at der nedsives 30 % af regnvandet. Her ses det at for området omkring Ærøvej er der generelt 3,5 til 10 m fra terræn til øvre grundvandsspejl. Dette scenarie er udregnet med antagelsen, at indvindingen på Frederiksberg er uændret. Med en forventet dybde på 3,5 til 10 m vurderes det ikke at have betydning for anlægget på Ærøvej, da dette befinder sig i de øverste 2-2,5 m under terræn.

I tilfælde af, at Frederiksberg Forsyning drosler ned på indvindingen, eller at vandspejlet i perioder kommer til at stå højere end det simulerede, vil det kunne betyde, at der potentielt vil være udvendigt vandtryk på forsinkelsesbassinets membran og på regulatorbrønden, hvilket muligvis vil kunne påvirke anlægget, og i tilfælde af utætheder medføre mere regnvand til kloak, men også åbne for muligheden for, at der strømmer grundvand til kloak, og derved belaster kloakken med uvedkommende vand.



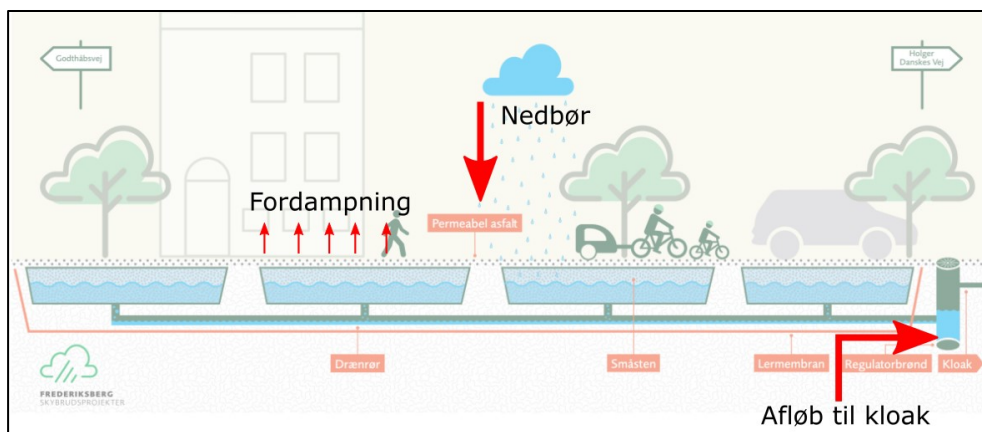
**Figur 24** Dybde til øverste grundvandsspejl i 2110, ved 30% af regnvand der nedsives /1/

## 7.4 Vandbalance

For at opstille vandbalancen for Ærøvej er det vurderet, at de vigtigste komponenter er nedbør og fordampning, en principskitse af dette er vist på Figur 25. Udover førnævnte er der forsinkelsen og opmagasinering i bassinet under vejen. Massebalancen ser derfor således ud,

$$Q_{\text{afløb}} = Q_{\text{nedbør}} - Q_{\text{fordampning}} + Q_{\text{opmagasinering}}$$

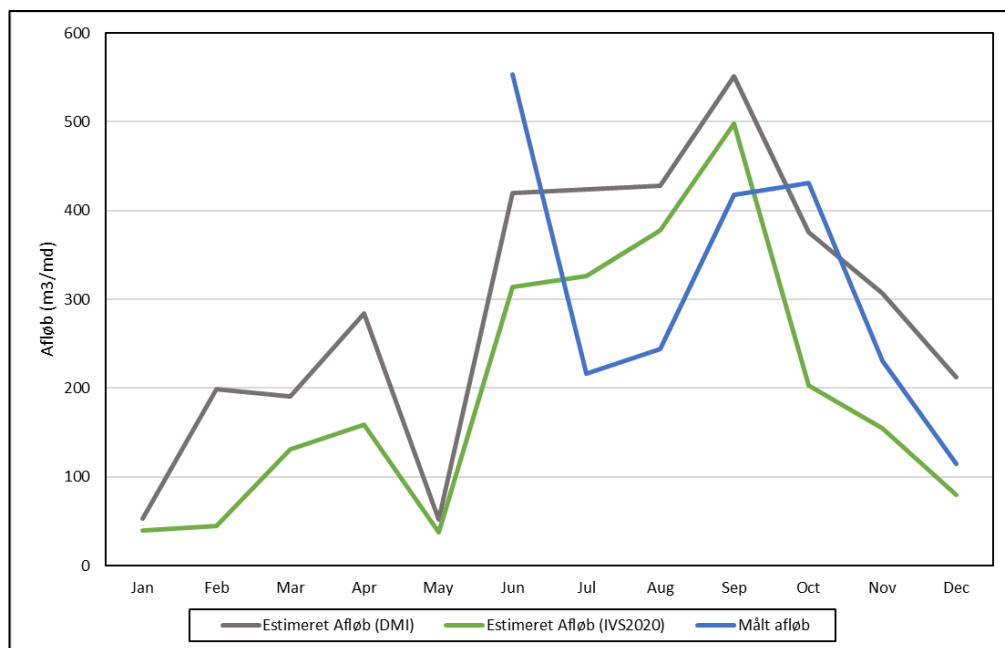




**Figur 25** Konceptuel oversigt over vigtige komponenter i opstilling af vandbalancen for Ærøvej

For nedbør er der, som for vandbalancen opstillet for Frederiksberg Have, brugt data både fra DMI og egne målte data. Disse er summeret på månedsbasis, og vandbalancen er vist pr. måned. Til estimeringen af mængden af fordampet vand, er benyttet tal beregnet for befæstet areal i Frederiksberg Kommune /27/, denne indsættes som en konstant, da der ikke foreligger bedre data.

Figur 26 viser resultatet af vandbalancen opstillet for Ærøvej. Her er måleren først sat op fra juni, og der er derfor ikke data til sammenligning før juni. Det ses på grafen, at afløb estimeret med egne indsamlede data og data fra DMI viser samme tendenser som det målte flow. Den bedre korrelation mellem den beregnede og målte vandbalance for Ærøvej, vurderes at skyldes, at der her er tale om et lukket system, der ikke påvirkes af mange eksterne faktorer, og derfor må det være lettere at få den beregnede vandbalance til at matche de faktiske målte data.



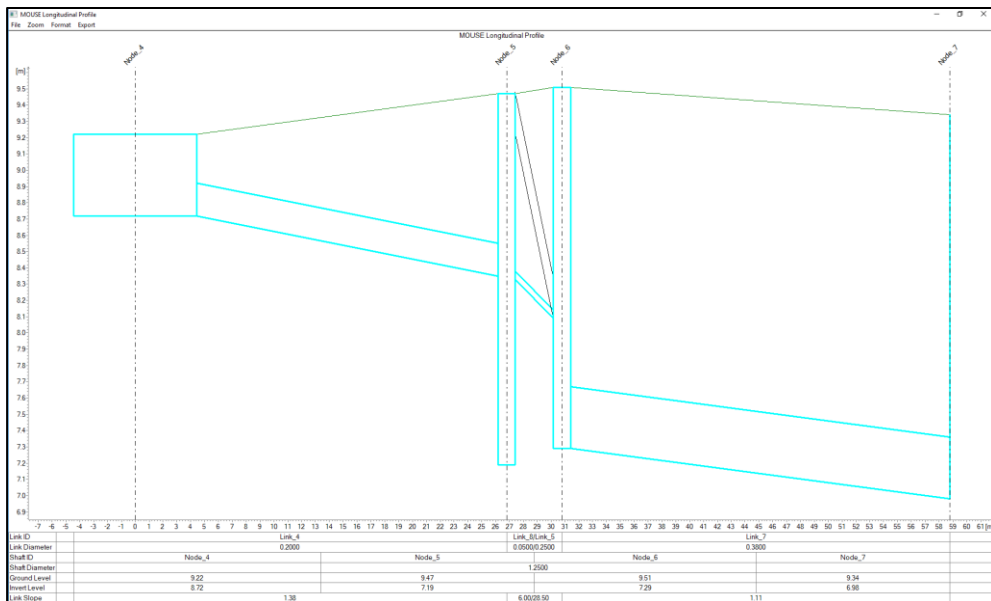
**Figur 26 Vandbalance opstillet for Ærøvej sammenlignet med målte flow-målinger ved udløbet**

I den målte periode er der registreret et samlet udløb på 2200 m<sup>3</sup>, hvilket svarer til et gennemsnitlig flow på ca. 0,44 m<sup>3</sup>/t. Ses ikke på den gennemsnitlige ydelse men på afstrømning efter en nedbørshændelse ses dog væsentlig større ydelser i kortere perioder.

#### 7.4.1 MIKE URBAN

Der er i forbindelse med projektet opstillet en MIKE URBAN model, der simulerer udløbet fra drænet ved Ærøvej. For projektet er modellens primære formål at verificere måledata, og dermed den opstillede vandbalance. Derudover vil modellen fremover kunne bruges ved scenarieberegninger i Frederiksberg Forsynings MIKE URBAN og MIKE FLOOD modeller. Endelig vil modellen kunne indsættes i den store MIKE URBAN model for Frederiksberg og København. Figur 27 viser et udsnit fra modelopsætningen i MIKE URBAN.

I modellen er inkluderet nedbør og afstrømning. Disse input giver tilsammen udløbet i drænet der samler vandet fra forsinkelsesbassinene, og repræsenterer derved brønden hvori der har været installeret måler.



**Figur 27** Tværsnitsprofil af MIKE URBAN modellen for Ærøvej. Her ses Ærøvej koblet sammen med fælleskloak, via både fast udløb på 50mm og overløbsrør af større diameter.

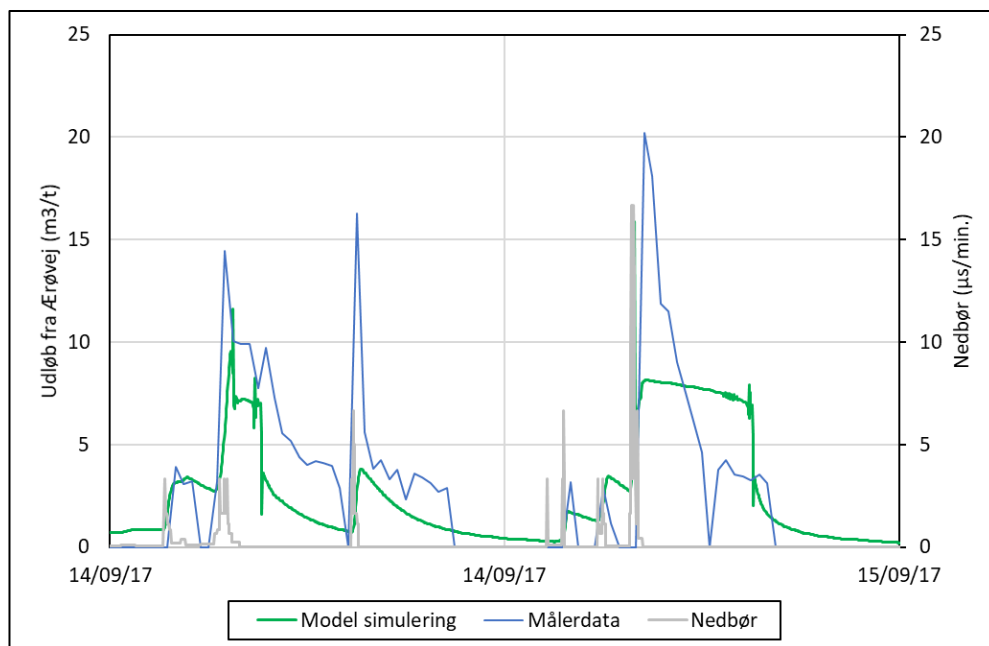
For at teste modellen blev der simuleret en periode fra 06/09/2017 til 21/09/2017. Denne periode blev valgt da der i denne periode faldt store mængder regn.

Figur 28 viser det simulerede flow for udløbet ved Ærøvej sammenlignet med det målte flow samme sted. Derudover er nedbørsdata fra DMI's måler plottet på grafen. Det ses umiddelbart, at MIKE URBAN modellen er i stand til at simulere de overordnede variationer i flow, efter en nedbørshændelse. Samtidig kan det konstateres, at der stadig er nogle mønstre i afstrømningen modellen endnu ikke rammer. Det ses blandt andet, at de peaks, der bliver målt ved nedbørshændelser, ikke simuleres i modellen. Samtidig ses der ved afstrømningen/tømningen af bassinerne fra observationerne at komme mere vand, end der simuleres i modellen.

Disse uoverensstemmelser formodes at skyldes modelopsætningen, der kan finjusteres yderligere. Der er dog også den mulighed, at måleren i nogle tilfælde overestimerer flowet, hvilket dog ikke vurderes tilfældet i denne situation.

Såfremt modellen skal bruges til videre beregninger, anbefales det at der arbejdes videre med justering af opmagasinerings i MIKE URBAN modellen, så den i højere grad vil kunne simulere det observerede flow.





**Figur 28** Modelresultat fra MIKE URBAN, og sammenligning med det målte flow i perioden, samt nedbørs-data fra DMI's måler.

## 7.5 Ressourceoptimering

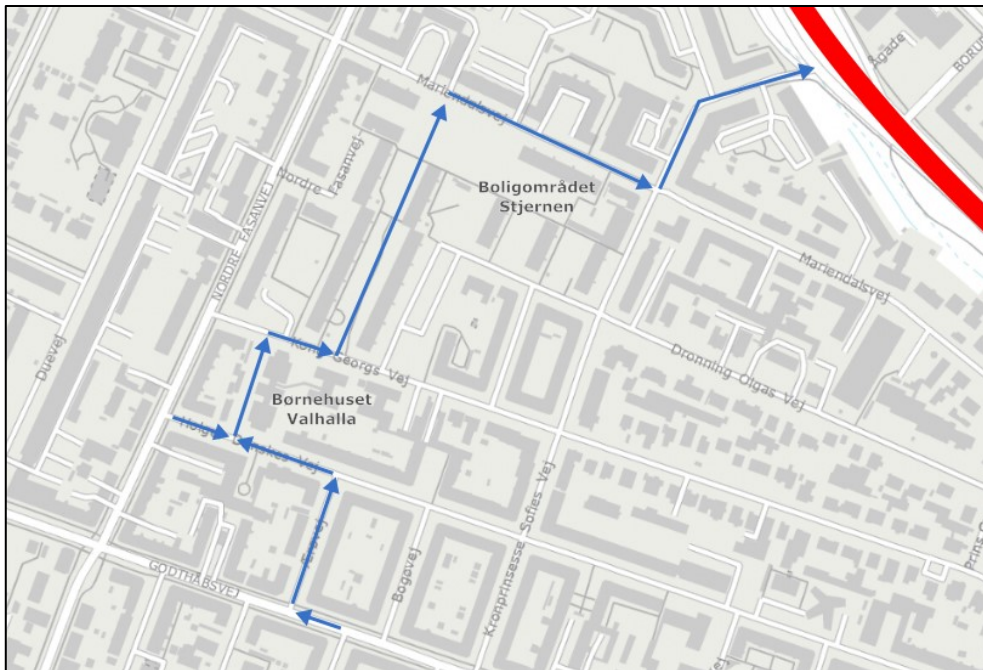
Fra Ærøvej er det, ved målinger og opstilling af vandbalance, vurderet at der er strømmet omkring 3500 m<sup>3</sup> vand til kloak i 2017. Det ses også ved måling af flowet til kloak, at dette varierer meget over året og er tæt forbundet med mængden af nedbør for en given periode. For at foretage en vurdering af, hvordan denne vandmængde kan omdannes til en ressource, er parametre som vandmængder, vandkvalitet og årstidsvariationer vigtige, da de kan have stor betydning for, hvilken løsning der vil være mest optimal for det aktuelle område.

For Ærøvej og fremtidige klimaveje med permeable belægning vurderes det, at ressourceoptimering med fordel kan ske ved at:

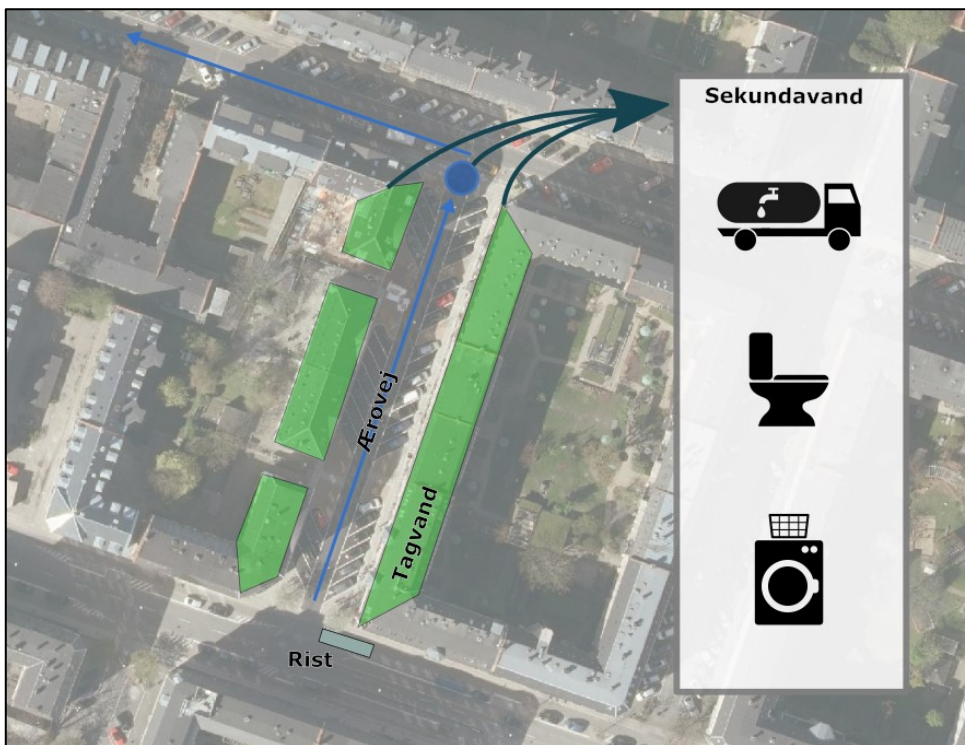
- Anvende regnvand som sekundavand
- Øge opmagasineringen
- Nedsive til grundvand
- Lagring af primær energi til varmepumper
- Tilpasse anlægget til konkretiseringsplanen

Da Ærøvej allerede er et udført klimaprojekt, vil de gavnlige effekter af at vejen kobles til de større vandveje som angivet i konkretiseringsplanen blive præsenteret. Der vil dog også blive evalueret, hvordan man for Ærøvej og kommende tilsvarende klimaveje vil kunne benytte det opsamlende vand som ressource, f.eks. ved at anvende vandet til sekundavand eller til nedsivning under vejen.

På Figur 29 og Figur 30 ses konceptuelle plantegninger for Ærøvej og de foreslåede optimeringer af klimavejen. I de følgende afsnit beskrives de enkelte løsninger nærmere.



**Figur 29** Plan over Ærøvej og de foreslåede optimeringer af klimavejen. Den røde markering er hovedvandvejen langs Åboulevarden.



**Figur 30** Ærøvej og de foreslåede optimeringer af klimavejen

### 7.5.1 Anvendelse som sekundavand

Sekundavand fra veje med permeable belægning vurderes at kunne anvendes til:

- Rengøring, vask eller vanding af udendørsarealer i lokalområdet.
- Spuling af kloaker på Frederiksberg
- Toiletskyl, vask i naboejendomme

Det kan overvejes at anvende det opsamlede regnvand i anlægget som sekundavand. Sekundavandet kan enten anvendes af de nærliggende ejendomme til toiletskyl, vask, rengøring og vanding af gårdhaver eller af Kommunen til vanding af grønne områder og vejtræer.

I det tilfælde at vandet skal anvendes som sekundavand kan der etableres pumpning fra regulatorbrønden eller fra en nyetableret pumpebrønd. I begge tilfælde, kan det overvejes at blænde det nuværende Ø50mm afløbsrør, og etablere et tilsvarende i en højere kote, der derved sikrer at der vil være et større volumen der tilbageholdes i bassinerne. På denne måde vil der hyppigere være vand tilgængeligt til anvendelse som sekundavand. Med den overdimensionering der er på anlægget, ville dette tiltag sandsynligvis kunne udføres uden at påvirke forsinkelsen af vandet til kloak, og uden at have øget hyppighed af overløb til kloak.

### **7.5.2 Nedsivning**

Da Ærøvej udelukkende er udført som en forsinkelsesvej, vil det kræve omfattende indgreb at omdanne vejen til nedsivning, men for fremtidige klimaveje vil et anlæg udført som Ærøvej blot med åben bund der tillader nedsivning være en fordel på flere fronter. Dels ville den mængde der nedsiver blive afskåret fra rensningsanlægget, men samtidig ville der skabes en positiv miljømæssig effekt i form af grundvandsdannelse.

For at vandet kan nedsives kræver det at de lokale omstændigheder er på plads, både med hensyn til jordbundsforhold og eksisterende forurening. Derudover vil mængden af biler der færdes på vejen også kunne være en begrænsende faktor for om vejvandet vil egne sig til nedsivning, ligesom det kan være nødvendigt at stille krav til glatførebekæmpelse.

### **7.5.3 Øget tilløb til Ærøvej**

For bedre at udnytte volumen af anlægget på Ærøvej kan det overvejes at etablere tilløb fra Godthåbsvej ved at indbygge en stor ny rist langs vejbanens kantsten på Godthåbsvej lige før hjørnet mellem Godthåbsvej og Ærøvej (se Figur 30).

Ligeledes for at udnytte volumen bedre kan der etableres tilslutning af tagene mod gaden for husene på Ærøvej.

Disse to tilkoblinger vil hjælpe til at udnytte volumen bedre under Ærøvej, men de vil samtidig forringe den samlede vandkvaliteten. Godthåbsvej er en meget trafikeret vej hvilket må forventes at skabe mere forurening end hvad der ses på Ærøvej, og afstrømning fra tage vil typisk øge indholdet af metaller fra f.eks. tagrender.

### **7.5.4 Lagring af primærenergi til varmepumper**

Der kan nedlægges varmeslanger i fremtidige klimaveje til anvendelse for opvarmning af bygninger med jordvarme ved varmepumper. Varmeslangerne kan enten forsyne decentrale varmepumper i bygningerne langs vejene med primær energi eller kan tilkobles et eventuelt fremtidigt netværk af ledninger til forsyning af en stor central varmepumpe på Frederiksberg Forsyning med primær energi.

### **7.5.5 Konkretiseringsplanen**

Ifølge konkretiseringsplanen skal regnvandet fra Ærøvej ned ad Holger Danskes vej mod vest til Børnehuset Valhalla, under Børnehuset Valhalla til Kong Georgs vej, derefter gennem boligområdet Stjernen til Mariendalsvej og videre mod øst ad Mariendalsvej til skybrudsvejen langs Åboulevarden. Det anbefales at holde fast i denne vandvej, da den bedst følger terrænet og den naturlige vandvej frem til hovedvandvejen langs Åboulevarden. Fra Ærøvej til Børnehuset Valhalla anbefales at udføre Holger Danskes Vej som klimavej magen til klimavejen på Ærøvej. Under Børnehuset Valhalla og Børneinstitutionen Stjernen anbefales vandvejen at lægges i rør, som delvist kan skydes under legepladser og andre følsomme områder.

På grund af vanskelighederne med denne linjeføring som følge af grundejernes negative holdning, har der været foreslået en alternativ vandvej op ad bakke til Kronprinsesse Sofies Vej og videre til Mariendalsvej. Denne vandvej kan ikke anbefales, da vandet skal løbe op ad bakke på Holger Danskes Vej.

I et tredje forslag, som er konfirmeret i Rammeaftalen med Forsyningssekretariatet og Kommunen, føres regnvandet fra Ærøvej til Nordre Fasanvej og videre heraf mod lavpunktet ved Nordre Fasanvejs krydsning med Åboulevarden. Denne vandvej må absolut frarådes, da regnvandet ikke kan ledes væk fra lavpunktet ved Åboulevarden.

### **7.5.6 MIKE URBAN og MIKE FLOOD**

De forskellige løsningsforslag bør gennemregnes med den udviklede MIKE URBAN model og overbygning til MIKE FLOOD, hvor afstrømning over terræn også er modelleret.

## **7.6 Lovmæssige udfordringer**

Vandkvaliteten af vandet, der løber ud fra Ærøvej, er målt ved brønden på Holger Danskes Vej. Der er som en del af ressourceoptimeringen givet forskellige forslag til udnyttelse af vandet, men disse kan begrænses af kvaliteten af vandet og lovgivningsmæssige forhold. Nedenstående er en generel vurdering ud fra de analyseresultater, der er fremkommet fra prøvetagningen. Det vil dog være op til en vurdering fra Frederiksberg Kommune af et konkret projekt, der afgør, om der kan gives tilladelse til det givne projekt.

Vandkvaliteten af vandet fra Ærøvej indikerer, at der til tider ledes sanitært spildevand til regnvandssystemet. Ud fra værdierne af COD, BOD og kvælstof vurderes det, at der muligvis er en fejlkobling eller lignende. Det kan eventuelt være en midlertidig fejlkobling, i forbindelse med istandsættelse af nabobyggerier, hvor der i projektperioden har været stillet skure til håndværkere op i nærheden. Inden der tages nærmere stilling til den fremtidige anvendelse af vandet, bør dette undersøges nærmere.

### **7.6.1 Anvendelse som sekundavand**

Ved anvendelse af vandet fra Ærøvej som sekundavand, er vurderet muligheden for at benytte vandet til toiletskyl og tøjvask, privat vanding og bilvask, vanding af træer og parker på Frederiksberg, spuling og fejebiler.

Ved brug af sekundavand til toiletskyl og eventuelt tøjvask i en fælles vaskekælder i beboelsesejendommene på vejen, vil det være en forudsætning at tagvandet kan afkobles og opsamles separat. Grundet formulering i §5 i Drikkevandsbekendtgørelsen vil det ikke være muligt at anvende vand der er nedsivet i Ærøvej til dette formål.

Tagvandet vil kunne bruges til vanding og vask af biler. Der er dog den udfordring, at vandforsyningen til husholdningsbrug skal være af drikkevandskvalitet undtagen brugen af tagvand til toilet og tøjvask. Det vil derfor kræve en afklaring hos kommunen, af om vand til vanding i private haver og vask af biler betragtes som vand til husholdningsbrug. Etableres en hane til vanding og bilvask skal hanen placeres, så der ikke er direkte adgang for beboere, da der vil være risiko for, at hanen vil blive forvekslet med en hane med drikkevand.

Principielt vil vandet fra Ærøvej kunne bruges som sekundavand, hvor der ikke er krav til drikkevandskvalitet til andre formål lokalt eller andre steder på Frederiksberg. Dette indebærer anvendelse som vanding af træer og parker på Frederiksberg, spuling og tankning af fejebiler. Der er dog en specifik udfordring omkring tilførslen af sanitært spildevand enten ved fejlkobling eller fra midlertidige skurvogne, som gør at kvaliteten af vandet ikke kan garanteres på nuværende tidspunkt.

## 7.6.2 Udledning til havn

Vandet fra Ærøvej betragtes som almindeligt belastede separate regnvandsudledninger, og der burde derfor som udgangspunkt ikke være problemer med at udlede vandet via kommende vandveje til havnen. Da analyseresultaterne dog indikerer, at der er tilledning af sanitært spildevand til regnvandssystemet, bør dette undersøges inden en udledning til havnen etableres.

## 7.7 Teknisk økonomisk vurdering

For Ærøvej er der i de følgende afsnit prissat og foretaget en samlet vurdering af løsningerne, gennemgået i afsnit 7.5. Priserne er angivet som stk. priser på de enkelte elementer eller komponenter, så løsninger kan skaleres såfremt der er behov for dette. Forudsætninger og baggrund for beregningerne er beskrevet yderligere i afsnit 6.7 for Frederiksberg Have.

### 7.7.1 Tilløb til Ærøvej

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifterne ved etablering af tilløb til Ærøvej er vist i nedenstående tabel, og består af ristbygværk og tagnedløb fra ejendommene langs Ærøvej. Udgifterne vurderes rimeligt sikkert bestemt, og vurderes ikke at indeholde egentlige driftsudgifter. Dermed vurderes de samlede udgifter at være lidt over 1 mio. kr.

**Tabel 8** Oversigt over forventede udgifter ved etablering, drift og vedligehold af tilløb til Ærøvej.

Tilløb til Ærøvej	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Etablering af rist i Godthåbsvej	Stk.	2	200.000	400.000	-	60
Tagnedløb, inkl. ændring af fortov	Stk.	12	20.000	240.000	-	60
Anstilling/mobilisering	Stk.	1	100.000	100.000		
I alt, ekskl. Uforudsete				740.000		
Uforudsete udgifter, 20%				148.000		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				177.600		
I alt (DKK)				1.065.600		
Istandsættelse og vedligehold over 50 år				-		
I alt ved 50 års løbetid (DKK)				1.065.600	-	1.065.600

**Gevinster:** Ved beregning af gevinsterne er antaget hele den vandmængde, som falder på tagene og en del af Godthåbsvej (i alt 3000 m<sup>2</sup>) ledes til Ærøvej og dermed afkobles kloakken. Det vil over en 50-årig periode medføre en besparelse på i alt ca. 0,9 mio. kr., og altså være af samme størrelse som de forventede udgifter.

Det skal i øvrige bemærkes, at gevinsten afhænger af, at de planlagte vandveje i konkretiseringsplanen gennemføres, idet tiltaget ellers ikke vil medføre en afkobling af vandet, da det på nuværende tidspunkt ledes til fælleskloak.

**Samlet vurdering:** I forhold til lovgivning, miljø og teknik vurderes tiltaget ikke særligt kompliceret at gennemføre. Da udgifterne og gevinsterne er af samme størrelse, vurderes tiltaget kun at være lidt attraktivt, dog vil tilbageholdelse af ekstra vand i bassinet under Ærøvej mindske belastningen på kloakken under store regnhændelser, de økonomiske gevinster fra dette er dog ikke direkte kvantificerbare.

## 7.7.2 Sekundavand fra vej til vanding eller spuling

**Anlægs- og driftsudgifter:** Udgifterne til etablering og drift af opsamlingspunkt for vand til spuling og vanding er vist i nedenstående tabel. Det er antaget, at der etableres et overvågningssystem, så det kan overvåges om der er tilstrækkeligt med vand i systemet, til at en tankbil kan køre forbi og hente vand. De øvrige anlægs- og driftsudgifter er beskedne, og vurderes i alt udgøre 1,2 mio. kr. over en 50-årig periode.

I øvrigt gælder de samme generelle forhold, som diskuteret under opsamling af sekundavand i Frederiksberg Have (se afsnit 6.5.4).

**Tabel 9** Oversigt over forventede udgifter til etablering, drift og vedligehold af anlæg for sekundavand fra vej til vanding eller spuling.

Sekundavand fra vej til vanding/spuling	Enhed	Stk.	Stk. pris (DKK)	Samlet pris (DKK)	Drift (DKK/år)	Levetid
Tilslutningspunkt for vandingsbiler	Stk.	1	50.000	50.000	1.000	70
Moniteringssystem for vandstand i bassin	Stk.	1	100.000	100.000	10.000	10
Anstilling/mobilisering	Stk.	1	50.000	50.000		
I alt, ekskl. Uforudsete				200.000		
Uforudsete udgifter, 20%				40.000		
Projekt, tilsyn/rådgivning, 20%				48.000		
I alt (DKK)				288.000	11.000	
Istandsættelse og vedligehold over 50 år				400.000		
I alt ved 50 års løbetid (DKK)				688.000	550.000	1.238.000

**Gevinster:** Ved beregning af de økonomiske gevinster er det antaget, at der anvendes 300 m<sup>3</sup> sekundavand pr. år fra bassinet; svarende til to gange det fulde volumen mellem bassinets porer, og svarende til at en 30 m<sup>3</sup> tankvogn tømmer bassinet 10 gange på et år.

Da det anvendte vand derved både afkobles kloakken og anvendes i stedet for drikkevand, er der en samlet økonomisk gevinst på ca. 320.000 kr. over en 50-årig periode. Denne gevinst kunne øges yderligere ved at ændre systemet så volumen under Ærøvej udnyttes bedre.

**Samlet vurdering:** Etablering og brug af bassinet vurderes ikke forbundet med særlige lovgivningsmæssige udfordringer, men brugen af sekundavand til et lidt bredere formål end lige spuling af f.eks. kloakker, kan være problematisk, hvilket yderligere vil udfordre tiltagets relevans.

Da de samlede udgifter til etablering, drift og vedligehold langt overstiger de forventede gevinster vurderes tiltaget samlet set ikke at være attraktivt.

## 7.7.3 Sekundavand fra vej og tag til husholdning

Udgifterne til anvendelse af sekundavand fra en blanding af vej og tagvand er ikke gennemgået nærmere da de lovmæssige udfordringer vurderes at være for store til at dette kan betragtes som en mulig løsning, og der vil skulle ændres i lovgivningen før at der ville kunne gives tilladelse hertil.

Derudover vurderes det umiddelbart som en omkostningstung løsning da der både ville skulle etableres et fordelingsystem i ejendommen, samt at der skal etableres separat fordelingsystem rundt i alle lejligheder. Denne løsning vil derfor være mere attraktiv, såfremt at der er tale om etablering af nybyggeri, hvor det kan tænkes ind bygningsdesignet.

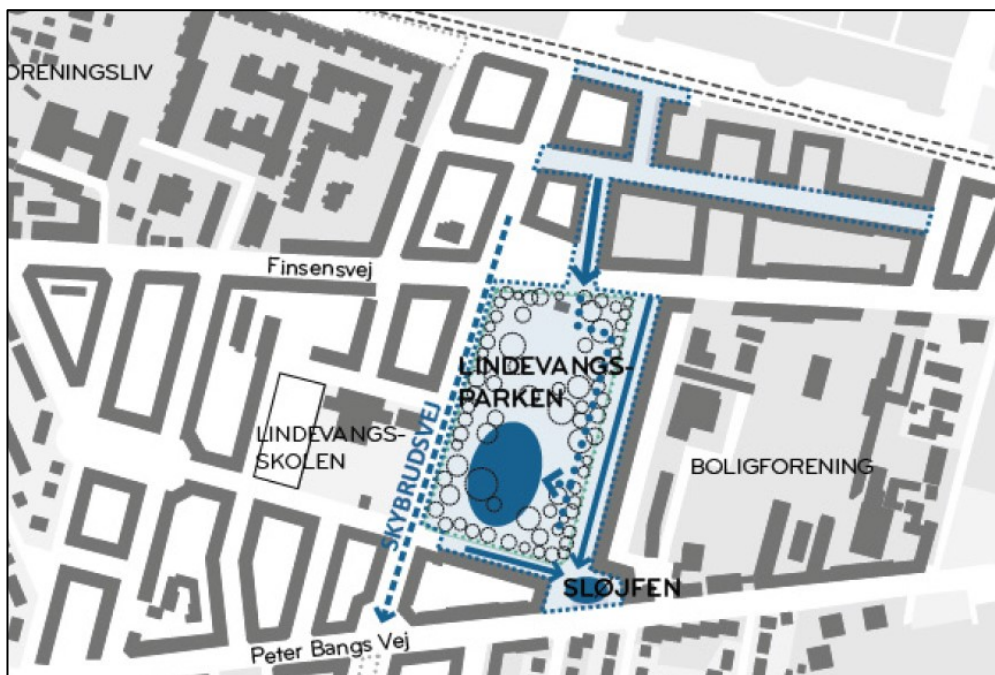


# 8. Lindevangsparken

**Klimatilpasningsprojektet ved Lindevangsparken består af mange sammensatte elementer, der gør området interessant at måle på, da det vil kunne vurderes om de forskellige anlæg for nedsvivning har den ønskede effekt.**

## 8.1 Beskrivelse af området

Lindevangsparken er beliggende centralt i Frederiksberg Kommune, og har et areal på ca. 31.000 m<sup>2</sup>. Parken er en del af et udført klimatilpasningsprojekt hvor der samles vand fra parkens omkringliggende veje, og fra hustage i området. Klimatilpasningssystemet er udført som to systemer der opsamler vand, hvor det ene er Lindevangsparken og det andet er Sløjfen beliggende umiddelbart syd for parken. Figur 31 viser en skitse over vandets vej fra de omkringliggende områder til Lindevangsparken og Sløjfen.



**Figur 31 Skitse og oversigtskort over vandets vej i Lindevangsparken og Sløjfen**

Vandsystemet i Lindevangsparken har et samlet opland på 11.845 m<sup>2</sup> ud over parkens areal, og systemet har et samlet volumen på 1.850 m<sup>3</sup>, fordelt på den åbne kanal og nedsvivningsrende (Grøften) der løber langs parken mod øst, og 1.600 m<sup>3</sup> i lavningen ved Scenen (det blå areal i parken på Figur 31). Når kapaciteten i Grøften er opbrugt løber vandet videre til Scenen, hvor der dels er udført en faskine til nedsvivning, men derudover også er mulighed for at plænen omkring Scenen kan oversvømmes. Anlægget er dimensioneret således at der forventes at stå vand på plænen et par gange om året i dybde op til 1 meter ved de største skybrud.

Sløjfen har et opland på 9.000 m<sup>2</sup>, og et volumen på 700 m<sup>3</sup>. Volumenet er fordelt på 500 m<sup>3</sup> i en faskine under jorden og 200 m<sup>3</sup> over jorden. Sløjfen modtager regnvand fra vejen syd og øst for Lindevangsparken. Bassinet er dimensioneret til at kunne håndtere en 100-års hændelse.

## 8.2 Indsamling af data

Ved Lindevangsparken var det planen at der skulle måles flow i systemet tre forskellige steder. De planlagte steder var ved indløbet til parken fra oplandet nord for Finsensvej, og før og efter faskinen under Scenen. På denne måde var det forhåbningen at det ville være muligt at måle vandmængden indsamlet nord for Finsensvej, samt derefter at kunne estimere nedsivningen i hhv. Grøften og faskinen.

Der blev midlertidig kun installeret to flowmålere, da brønden ved indløbet til faskinen ikke tillod installation af denne type flowmåler. De to flowmålere blev derfor installeret som planlagt ved indløbet til parken og efter faskinen, så det kunne måles hvor ofte der var overløb i faskinen. Figur 32 viser omtrentlig placering af de brønde hvori der var installeret flowmålere.



**Figur 32** Omtrentlig placering af de to brønde hvori der var installeret flowmålere, ved indløbet til Lindevangsparken, og efter overløb fra faskinen.

Flowmålerne var installeret i perioden fra 21/06/2017 til 11/01/2018. I denne periode lykkedes det at modtage data fra udløb fra faskine til d. 02/08/2017, og for indløb til Lindevangsparken blev data registreret for hele perioden, på nær i perioden fra mellem d. 15/09/2017 til d. 10/11/2017. Der blev dog i perioderne hvor målerne kunne registrere og sende data ikke målt noget flow over 0 m<sup>3</sup>/t i nogen af de to brønde.

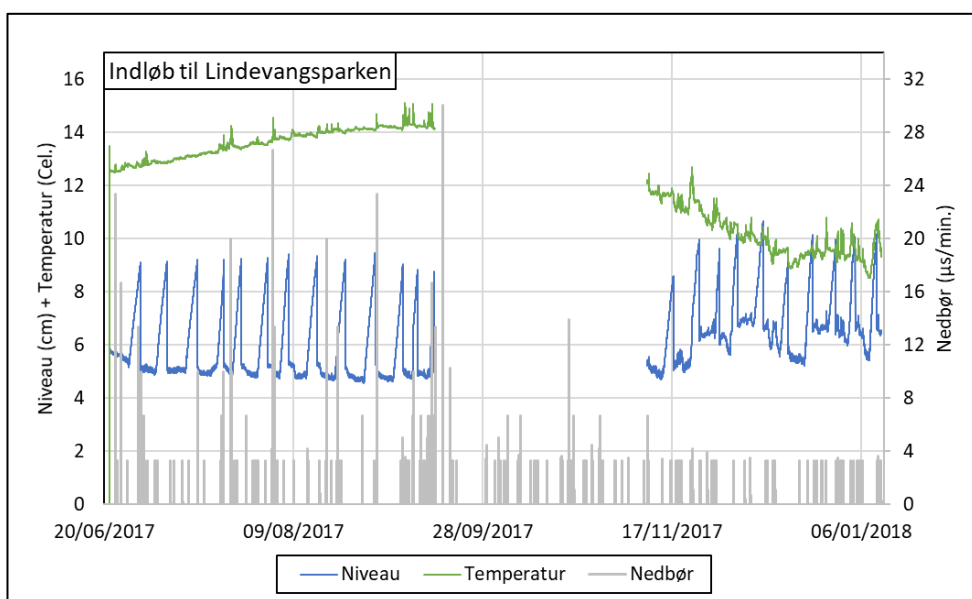
På grund af dette noget uventede resultat, blev måleren ved indløbet af Lindevangsparken besøgt flere gange under perioden, for ved tilsyn at kunne vurdere om måleren var defekt. Måleren fungerede umiddelbart som den skulle, og indløbet til Lindevangsparken blev efterfølgende eftersat i forbindelse med henholdsvis normal regn og kraftig regn. Der var ved besøg næsten intet vand i kloakrøret. Dette vurderes at skyldes at kloakrøret er 600 mm i diameter hvilket gjorde, at vandniveauet i røret var meget lavt. Den valgte flowmåler skal minimum måle i 2,5 cm vand for at lydmålingen og derved flowhastigheden fungerer, der blev ved tilsyn ikke konstateret vandniveau over 2,5 cm i kloakrøret ved Lindevangsparken, og dette vurderes at



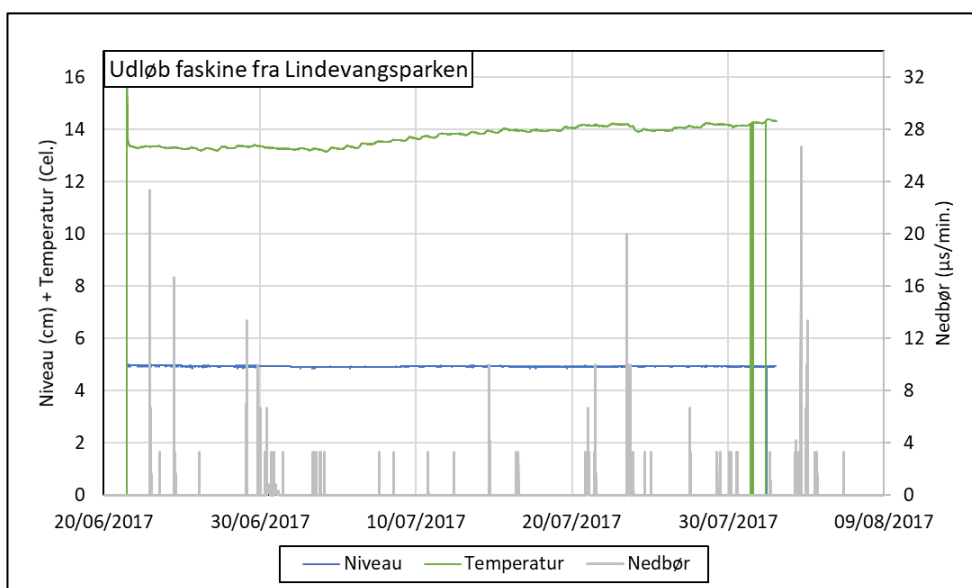
være grunden til at måleren ikke fungerede. Dette anses som en meget stor ulempe ved de valgte flowmålere og medfører en væsentlig nedsættelse af mulige områder, hvor målerprincippet kan anvendes.

For måleren installeret efter udløbet fra faskinen, kan det manglende flow tyde på at der ikke i den målte periode var overløb fra faskinen. Dette kan også hænge sammen med den begrænsede vandmængde der antages at være kommet fra det nordlige opland.

Nedenstående Figur 33 og Figur 34 viser det målte niveau samt temperatur i de to målere installeret ved Lindevangsparken. På graferne ses at der ved Indløbet til Lindevangsparken, har været registreret niveau mellem 5 til 10 cm, men samtidig ses at forløbet har noget der lader til at være en periodisk tendens til at registrere peaks i niveauet. Hverken temperatur eller niveau lader dog til at have en sammenhæng med nedbør. For udløb fra faskinen ses niveauet at ligge konstant på ca. 5 cm over den målte periode. Da der for både hastighed og flow er målt 0-værdier, regnes dette dog ikke for at være et reelt niveau, men nærmere et billede af 0-niveauet.



Figur 33 Niveau og temperatur målt ved indløb til Lindevangsparken.



Figur 34 Niveau og temperatur målt ved udløb faskine fra Lindevangsparken

### **8.2.1 Videre arbejder**

Der blev i projektet valgt ikke at arbejde videre med Lindevangsparken, grundet de tvivlsomme målinger. En del af rationale bag at måle ved Lindevangsparken var dels at kunne vurdere den afstrømmende vandmængde der kommer nord for Finsensvej, men også at vurdere effekten af de forskellige nedsivningstiltag via Grøften og Faskinen under Scenen.

Uden brugbare data er det ikke muligt at komme nærmere et estimat på effekten af de to nedsivningstiltag. Derudover vurderes det ikke at ressourceoptimering, lovmæssige forhold og teknisk-økonomisk vurdering, differentierer sig væsentligt fra de allerede præsenterede muligheder ved hhv. Frederiksberg Have og Ærøvej, og der arbejdes derfor ikke videre med disse.

# 9. Beslutningskatalog

For at give beslutningstagere et redskab til vurdering af de foreslåede løsninger er lavet en evalueringssmatrice, hvor løsningerne vægtes efter medfølgende udfordringer og gevinster.

## 9.1 Evalueringssmatrice

Der er for de diskuterede løsninger for hhv. Frederiksberg Have og Ærøvej foretaget en samlet evaluering af de forskellige optimeringsmuligheder i en evalueringssmatrice. Her er de primære omkostninger, gevinster og udfordringer for hver af løsningerne vægtet med henblik på at kunne foretage en prioritering/udvælgelse af de mest relevante. Hvert af tiltagene er vægtet med en score mellem 0 og 10, hvor 10 er optimalt. Hovedformålet med evalueringssmatricen er at beslutningstagere får løsningerne præsenteret, og kan have disse konklusioner med når der træffes beslutninger om hvilke løsninger der potentielt skal arbejdes videre med.

Med i evalueringssmatricen er inkluderet direkte omkostninger og økonomiske gevinster, øvrige gevinster, tekniske udfordringer/usikkerheder, lovgivningsmæssige udfordringer samt øvrige forhold. Sidst er lavet en samlet score. Ved den endelige vurdering er den samlede score beregnet på to forskellige måder; først hvor scoren fra de forskellige evalueringsskriterier er vægtet ens, og derefter, hvor den primære vægt er lagt på dets direkte økonomiske afkast, sekundært på de øvrige gevinster, mens de øvrige kriterier er vægtet lavest. Den anvendte vægtning fremgår af matricerne præsenteret i Tabel 10 og Tabel 11. Evalueringssmatricen er præsenteret med beskrivelser til de enkelt poster i Bilag 3.

**Tabel 10** Evalueringssmatrice med vægtet score af de forskellige klimatilpasningsløsninger. Her benyttes lige vægtet score.

Løsning	Direkte omkostninger	Direkte Økonomiske gevinster	Øvrige gevinster	Teknisk udfordring / usikkerhed	Lovgivningsmæssig udfordring	Øvrige forhold	Samlet vurdering
<b>Vægt</b>	1	1	1	1	1	1	
<b>Frederiksberg Have</b>							
Udløb iht. konkretiseringsplan	7	10	6	8	9	1	41
Bassin til opmagasinering og anvendelse som sekundavand	1	5	1	4	6	4	21
Bassin til forsinkelse og nedsivning	5	6	7	2	8	2	30
Opmagasiner i kanaler, søer og jord	10	0	9	9	10	8	46
Infiltration til primært magasin	4	8	6	6	6	5	35
<b>Ærøvej</b>							
Tilløb til Ærøvej	10	1	6	9	9	5	40
Sekundavand til vanding/spuling	10	1	2	4	6	5	28

**Tabel 11** Evalueringsmatrice med vægtet score af de forskellige klimatilpasningsløsninger. Her benyttes differentieret score.

Løsning	Direkte omkostninger	Direkte Økonomiske gevinster	Øvrige gevinster	Teknisk udfordring / usikkerhed	Lovgivningsmæssige udfordringer	Øvrige forhold	Samlet vurdering
<b>Vægt</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	
<b>Frederiksberg Have</b>							
Udløb iht. konkretiseringsplan	7	10	6	8	9	1	49
Bassin til opmagasinering og anvendelse som sekundavand	1	5	1	4	6	4	20
Bassin til forsinkelse og nedsivning	5	6	7	2	8	2	35
Opmagasiner i kanaler, søer og jord	10	0	9	9	10	8	43
Infiltration til primært magasin	4	8	6	6	6	5	39
<b>Ærøvej</b>							
Tilløb til Ærøvej	10	1	6	9	9	5	40
Sekundavand til vanding/spuling	10	1	2	4	6	5	32

De økonomiske forhold for tiltagene er vurderet på baggrund af den teknisk-økonomiske vurdering (se afsnit 6.7 og 7.7), hvor etableringsomkostninger, samt drifts- og vedligeholdelsesomkostninger og direkte kvantificerbare økonomiske gevinster over en 50-årig periode er beregnet. Det relative afkast er beregnet på baggrund af disse.

De øvrige gevinster er tildelt en score på basis af de øvrige afledte gevinster, hvilket primært er relateret til en øget forsinkelse af vandet ved skybrud via opmagasinering, og deraf afledte mindre dimension af afløbssystem og reduceret risiko for oversvømmelser nedstrøms, eller den øgede grundvandsdannelse som nogle af tiltagene medfører.

Hvis tiltaget er teknisk udfordrende eller det er usikkert om det vil have den ønskede effekt, enten generelt eller i det konkrete tilfælde, er det tildelt en score i forhold til dette.

Den lovgivningsmæssige udfordring er indeholdt i vurderingen, og forholder sig primært til om det overhovedet vil være muligt at få (permanent) tilladelse til at udføre tiltaget; og ikke nødvendigvis om den myndighedsmæssige behandling er omfattende.

Under øvrige forhold er særlige forhold gældende for den konkrete løsning givet en score. F.eks. afhænger hele tiltaget udløb iht. konkretiseringsplanen af at der udføres en videre klimatilpasning og skybrudstunnel nedstrøms i oplandet. Hvis denne ikke udføres, har tiltaget ingen relevans. I andre tilfælde er det den lokale funktion som rekreativt område, som kan være med til at begrænse tiltagets gennemførlighed.

## 9.2 Samlet vurdering

Som det fremgår af Tabel 10 og Tabel 11 vurderes tiltagene *opmagasinering i søer, kanaler og jord* samt *udløb i iht. konkretiseringsplanen* at være de mest attraktive uanset hvilken vægtningsmodel, der anvendes. Det skal dog bemærkes, at tiltaget *udløb iht. konkretiseringsplanen* afhænger af, at der investeres store summer og gennemføres en omfattende klimatilpasning af den nedstrøms del af Frederiksberg (og København), for at tiltaget er relevant.

Med en differentieret vægtning er det tiltagne *infiltration til primært magasin og opmagasinering i søer, kanaler og jord* som vurderes næstmest attraktivt, mens tiltaget *bassin til forsinkelse og nedsvivning* følger efter. Alle disse tre tiltag har et (om end for de to sidste, lille) positivt økonomisk afkast. Tiltaget med *infiltration til primært magasin* vurderes ligeledes attraktivt da vandet på denne måde omdannes til en lokal ressource, i stedet for blot at ledes til havn via de større vandveje.

Hvis kriterierne vægtes ens, falder det i højere grad ud til tiltaget *opmagasinering i søer kanaler og jord*, der også vurderes særdeles relevant, selvom det ikke er forbundet med et direkte økonomisk afkast, da der ikke afkobles vand fra kloakken, og samtidig ikke forventes besparelser på drikkevand.

Flere af disse tiltag vil kunne supplere hinanden, i form af f.eks. for Frederiksberg Have både at udføre tiltag med tilpasning til konkretiseringsplan, samtidig med at tiltaget *opmagasinering i søer, kanaler og jord* implementeres. På denne måde vil den økonomiske gevinst ved disse to tiltag tilsammen stadig være stor, og store vandmængder vil kunne tilbageholdes ved f.eks. skybrud. Ligeledes vil løsningen med *opmagasinering i søer, kanaler og jord* kunne hjælpe til at udjævne udløbet fra Haven hvilket kan være til stor gavn for øvrige løsninger hvor vandmodtageren ønsker et mere stabilt flow for at kunne få større gavn af vandet over hele året.

# 10. Observationer og anbefalinger

**Gennem projektet er der indsamlet erfaringer med de afprøvede løsninger. Disse erfaringer kan forhåbentlig skabe et værdifuldt grundlag for kommende projekter indenfor lignende områder.**

## 10.1 Vandmængder – Kvantitet/Kvalitet

Til dimensionering af klimaprojekter samt som grundlag for lovgivning om brugen af overskudsvand i form af regnvand og drænvand, er et solidt datagrundlag væsentligt for, at de rigtige beslutninger træffes og at de implementerede løsninger leverer et resultat der både gavner byen og miljøet. Det ses ved for få klimatilpasningsprojekter, at effekten af disse efterfølgende monitoreres, og erfaringsdata for allerede implementerede løsninger er derfor begrænset. Både når det kommer til vandmængder og vandkvalitet.

### 10.1.1 Observationer

Efter dialog med forskellige interessenter samt gennemgang af litteraturen, tegnede der sig et billede af, at der overordnet set er mangel på data og monitorering i særdeleshed omkring vandkvalitet, men også for faktiske målinger af hvor store vandmængder der strømmer fra et givent område og med hvilket afstrømningsmønster. Grundet udfordringer med udpegning af pilotområder blev fokus derfor lagt på værdien af indsamling af data.

Ved gennemgang af de lovmæssige forhold, der er gældende for brug af regnvand til forskellige formål, vurderes det, at der i de fleste tilfælde ikke er udarbejdet specifik lovgivning, målrettet brugen af vand på alternative måder. Der findes love til andre forhold, der kan bruges afhængig af den foreslåede klimaløsning, men da flere af disse ikke er udarbejdet til det specifikke formål at bruge vandet som f.eks. sekundavand, lader det til, at der er tilfælde, hvor det kan være udfordrende at sikre sig at lovgivningen er på plads. Dette kræver derfor tæt dialog med den relevante myndighed, og kan i nogle tilfælde skabe udfordringer for tidsplanen for gennemførelse af et projekt.

### 10.1.2 Anbefalinger

Baseret på ovenstående observationer anbefales, at der iværksættes initiativer til indsamling af viden om hvordan forskellige typer af klimatilpasningsløsninger påvirker by og miljø. Her vurderes den største usikkerhed at være i form af fremtidens nedbørsmønster, den sammenhængende overordnede hydraulik og vandkvalitet, da vandkvalitet kan have store konsekvenser, både for grundvandsressourcen, og for en eventuel brug af vandet. Dette kan sikres ved f.eks. at sætte krav til at klimaløsninger, der implementeres, har den tiltænkte funktion og at vandet forbliver af en kvalitet, der ikke over tid vil kunne skade miljøet.

Derudover vurderes det, at der ved revision af lovgivningen kan tænkes ind, at der i stigende grad er behov for at kunne håndtere regnvand lokalt, da det kan være med til at løse nogle af de udfordringer der følger med de fremtidige klimaforandringer, samt reducere den store investering det vil kræve at skulle håndtere hele vandmængden centralt.

## 10.2 Digital løsning

Med nye muligheder indenfor digitale løsninger åbner der sig en række af løsninger der kan være interessante at sætte i spil i byernes smart city udvikling. Inden for drift og vedligehold ses mange mulige tiltag, der kan gøre drift af byen lettere, og samtidig højne borgerens oplevelse af byen og dens muligheder.

Når det er sagt, ses der en stor barriere i at få forvandlet ide til praksis, og ledes der efter konkrete eksempler hvor digitale løsninger og smart city er taget i brug, er der ikke umiddelbart overensstemmelse mellem faktisk udførte projekter og alle de gode ideer og muligheder der bliver diskuteret. Årsagen til dette er mange, men nogle af de største forhindringer kan ofte forklares ved en teknologi og infrastruktur der stadig kræver store investeringer og udvikling for at få en løsning realiseret.

Derudover er der også til tider er tendens til at hypen omkring sensor teknologi og indsamling af data nogle gange bliver prioriteret fremfor at fokusere på, hvad den konkrete anvendelse af de indsamlede data er. På denne måde kan der i sidste ende blive brugt ressourcer på en løsning, der ikke ender med at give merværdi til hverken borger eller byen.

### 10.2.1 Observationer

I nærværende projekt er der testet teknologi, både i form af sensorer og digital platform. Det oprindelige mål med projektet var at få sat en løsning op, der ville vise sig at skabe værdi og som kunne være attraktivt at benytte andre steder i Frederiksberg Kommune og andre byer i Danmark og udlandet, heriblandt Kina.

De brugte sensorer blev valgt, da de er afprøvet over en længere årrække og derfor var forventet at give troværdige data og være stabile i drift. Dette har de også til dels levet op til, men samtidig har der også været udfordringer, der umiddelbart begrænser brugen af denne type sensorer til registrering over en længere periode og med mange målere på en gang. En af de største udfordringer har været mængden af tilsyn, der har krævet for at skifte batteri og tjekke rigtigheden af indkomne data, samt rense målerhovedet for evt. skidt der blokerer for måling.

En generel udfordring ved at sende data fra en enhed der ikke er forbundet til el-nettet er at sendefrekvens hænger tæt sammen med batterilevetid. Ved realtidsmålinger vil batterilevetid derfor reduceres kraftigt. Ved installation af en lang række af sensorer kan der derfor blive brugt mange ressourcer på at tilse udstyr, og gevinsterne ved løsningen opvejer derfor ikke altid medfølgende drift og udgifter. Dette kan løses med en udvidelse af el-nettet, men dette er ressourcemæssigt en krævende opgave, og komplicerer installation af de enkelte sensorer.

### 10.2.2 Anbefalinger

Med den hastigt udviklende sensor og netværksteknologi vi ser i dag, samt de erfaringer der er gjort i nærværende projekt, anbefales en alternativ løsning for fremtidig måling af flow i kloaknettet.

Ved at benytte nye tilgængelige netværk, der er mindre energikrævende som LoRa, NB-IoT eller Sigfox, samt nye typer af sensorer der er optimeret til at være strømbesparende vil der kunne opsættes sensorer i et stor antal brønde uden det hyppige tilsyn, der ellers har været krævet. En fremgangsmåde kunne være, at der for en lokation installeres en niveaumåler og en flowmåler. Flowmåleren nedtages efter ca. 1 måned hvorefter flowet beregnes via niveaumålerens værdi i databasen, baseret på den første måneds målinger med begge målemetoder. Alternativt kan niveaumålingerne kobles til en MIKE URBAN, der med målinger af niveau kan beregne flowet, og dermed også have mulighed for at tage højde for f.eks. tilbageslutning.

På denne måde vil udgiften til realtidsmålere reduceres til ca. 10%, serviceudgifterne ville være minimale, mulighed for hurtig udvidelse af antal målere øges. Ved at vælge en måler der benytter en Open source platform vil der være større frihed til programmering af loggerne, samt frihed til opsætning af den databaseløsning der modtager data. Dette vil åbne for muligheden for let at anvende data i nye og eksisterende løsninger.

Såfremt ovenstående gevinster kan realiseres, vil det være muligt at implementere en mere smart styring af kloaknettet, hvor bufferkapacitet i kloaknettet hurtig vil kunne identificeres og vandet styres i en retning, så der i højere grad undgås oversvømmelser og for stor belastning af kloakken. Der vil ligeledes kunne opbygges automatiske systemer, som kan tilbageholde vand i naturområder, som Frederiksberg Have, og derved nedsætte belastningen på kloaksystemer og rensningsanlæg i forbindelse med kraftige nedbørsmængder.

Derudover vil borgerne, i forbindelse med oversvømmelser, kunne blive advaret ved mulighed for oversvømmelse i deres huse, og derved kan følgeskaderne ved ekstrem nedbør nedsættes væsentligt.

### **10.3 Planlægning af klimatilpasningsprojekt**

Der er i dag stort fokus på implementering af klimatilpasningsprojekter, men for mange af de projekter der i dag designes, er der ikke taget højde for, at der potentielt kan være gevinster ved at kunne monitorere effekten af den implementerede løsning. Samtidig kan der, fra et miljømæssigt perspektiv, i nogle tilfælde også sættes fokus på at tænke livscyklus ind i planlægning af klimatiltag.

Ved monitorering af hvor meget vand der nedsives, hvor meget vand der løber over til kloak, eller hvilken kvalitet vandet har, vil der kunne indsamles værdifuld viden, både til fremtidige klimaprojekter, men også til justering af den implementerede løsning såfremt det viser sig at den i praksis ikke virker efter hensigten, eller at vandet er af en kvalitet der ikke tillader f.eks. nedsivning eller anvendelse til sekundavand.

#### **10.3.1 Observationer**

Det blev ved udvælgelse af pilotområder klart, at der i mange tilfælde er ringe mulighed for at måle på hvor meget overskydende vand, der genereres i et bestemt område. Det har naturligt ikke været en del af designet af de eksisterende løsninger, at der skal kunne måles separat på regn og drænvand, og derfor var det en større udfordring at identificere områder hvor dette var en mulighed, uden at der skulle laves større indgreb der muliggjorde monitorering.

Løsningen blev derfor i høj grad at vælge områder med allerede udførte klimaprojekter, da disse tillod måling på overskydende vand i form af regnvand. Det var dog heller ikke her let at få installeret målere i alle brønde, da dette ikke har været tænkt ind i dimensioneringen under udførelsen af projektet.

#### **10.3.2 anbefalinger**

Ved anbefalinger i forhold til planlægning af fremtidige klimatilpasningsløsninger ses umiddelbart to interessante emner, hvoraf det ene er øget fokus på monitorering, og muligheden for dette, og den anden går på de miljømæssige påvirkninger et projekt vil indføre sammenlignet med de, der ville have været ved en mere traditionel løsning.

Der har tilknyttet til nærværende projekt, sideløbende været udført et VIS projekt i samarbejde mellem DTU, Frederiksberg Forsyning og Archiland. I dette projekt med titlen "Udvikling og integration af bæredygtighedsværktøj for vurdering af alternativer for ressourceeffektiv plan for håndtering af regnvand" blev der regnet på de miljømæssige og økonomiske gevinster ved et projekt i stil med Ærøvej, dog hvor der antages nedsivning i stedet for udløb til kloak. Her blev



det klart, at de største negative miljømæssige effekter kom fra det ressourceforbrug der var ved udførelse og vedligehold af klimavejen. Konkret blev det fundet, at projektets levetid og holdbarheden af de valgte materialer havde stor betydning for det beregnede materialeforbrug, og dermed den miljømæssige påvirkning. Ved at udføre klimavejen som en nedsivningsvej, antaget at der ikke er forurening under vejen, kunne gevinsten ved at generere grundvand dog, i en miljømæssig betragtning, i nogen grad opveje den negative effekt der var ved det øgede ressourceforbrug.

Konklusionen fra projektet peger på, at der kan være miljømæssige gevinster ved at designe anlægget således at det som minimum har samme levetid som ville være forventet af en traditionel løsning. Samtidig skal de materialer der udskiftes løbende som en del af vedligehold af løsningen, som f.eks. topbelægningen på en klimavej, optimalt have samme holdbarhed som de materialer de erstatter.

# 11. Internationale perspektiver og projektets resultater

**Med en voksende opmærksomhed på klima og alternative løsninger til håndtering af regnvand, er Kina et land hvor der foretages store investeringer indenfor området. Dette ses som en oplagt mulighed for at skabe forretning i Kina, og udnytte den erfaring vi har i Danmark.**

## 11.1 Erfaringer og muligheder

Danmark har via en målrettet national strategi for klimatilpasning opnået særdeles værdifuld erfaring om dimensionering og integration af klimaløsninger i det urbane miljø. Denne viden eksporteres allerede i dag i nogen udstrækning til det internationale marked. I Danmark har erfaringerne været grundlag for justeringer af lovgivningen, principper for dispensationer i lokalplaner og en udbredt forståelse for best practises og typiske problemstillinger.

Archiland har i 2017-2018 været rådgiver på et byfornyelsesprojekt af Qinglong Hutong i det centrale Beijing. Beijings hutonger er traditionelle historiske beboelsesområder med smalle gader og små gårdmiljøer. Et centralt ønske fra distriktsregeringen har været at forbedre levestandarden for indbyggerne gennem en omfattende opgradering af byrummene med respekt for områdets kulturhistorie.

Et hovedfokus i Qinglong har været at håndtere regnvand lokalt, hvilket vil gavne både byens belastede afløbssystem og det stærkt overudnyttede grundvandsmagasin. Dertil er forholdene for nedsivning favorable, hvormed en lokal løsning til håndtering af regnvand ville være et oplagt valg i dansk kontekst. Den kinesiske lovgivning er, i modsætning til den danske, endnu ikke justeret efter den stigende efterspørgsel på lokale klimaprojekter. Eksempelvis betyder velmenende regler, at der ved nye projekter i Beijing skal separatkloakeres i rørdimensioner der kan håndtere hele designhændelsen. Denne redundans i systemet fjerner det økonomiske rationale for at lave blå-grønne klimaløsninger i gadebilledet, og åbner en besværlig og principielt overflødig proces med myndighederne om dispensation fra reglerne.

Principperne fra nærværende projekt kan i høj grad overføres til det kinesiske eksempel fra Qinglong Hutong. De kinesiske myndigheder har endnu ikke opnået en tilstrækkelig tryghed omkring lokal håndtering af regnvand. Ved at gennemføre projekter som i Qinglong opbygges erfaring hos lokale myndigheder hvilket bidrager til en fælles forståelse, der vil kunne hjælpe med at opstille generelle principper for klimaløsninger. Først derefter kan vi forvente at myndighederne tør ændre de generelle regler på området.

Ved Qinglong Hutong vil integrering af sensorer kunne tænkes ind allerede i designfasen, på basis af de erfaringer og problemstillinger som blev konstateret i nærværende projekt. Sensorerne vil derefter kunne give en værdifuld dokumentation for ydelsen af eksempelvis et nedsivningsanlæg. For det første vil myndighederne kunne få viden om effekten af forskellige virkelige regnhændelser, som kan sammenholdes med den forventede beregnede ydelse. For det andet vil det være muligt at høste erfaringer om hvordan ydelsen af anlægget påvirkes over tid. Begge disse vil være væsentlige i opbygningen af den påkrævede erfaring og dokumentation i kinesisk kontekst, som på sigt vil kunne påvirke lovgivningen og skabe mere favorable

betingelser for danske firmaer med eksportinteresse i klimaløsninger der kan skabe en ressource af den overskydende vandmængde.

Et andet bidrag fra nærværende projekt er anbefalingerne om at inddrage og analysere de forventede afledte effekter for samfundet, herunder også negative effekter til eksempelvis drift og vedligehold. I Kina er praktisk arbejdskraft endnu en lav omkostning sammenlignet med Danmark, men med øget kinesisk velfærd forventes driftsudgifter og mængden af manuelt arbejde at blive betydende designparametre på længere sigt. Igen vil erfaringerne fra nærværende projekt bidrage til at flytte forskningen og vidensdelingen på området fremad, hvilket igen vil øge konkurrenceevnen for de danske firmaer som forstår at tilpasse sig i et konstant skiftende kinesisk marked.

Der med det gennemførte projekt især arbejdet på at anvende metoder til kvantificering af uvedkommende vand i kloakker, teste sensorteknologi og cloud-baseret datahåndtering, samt evaluering af hvordan overskydende vand kan håndteres under hensyn til lovgivning, teknik, økonomi og miljøforhold.

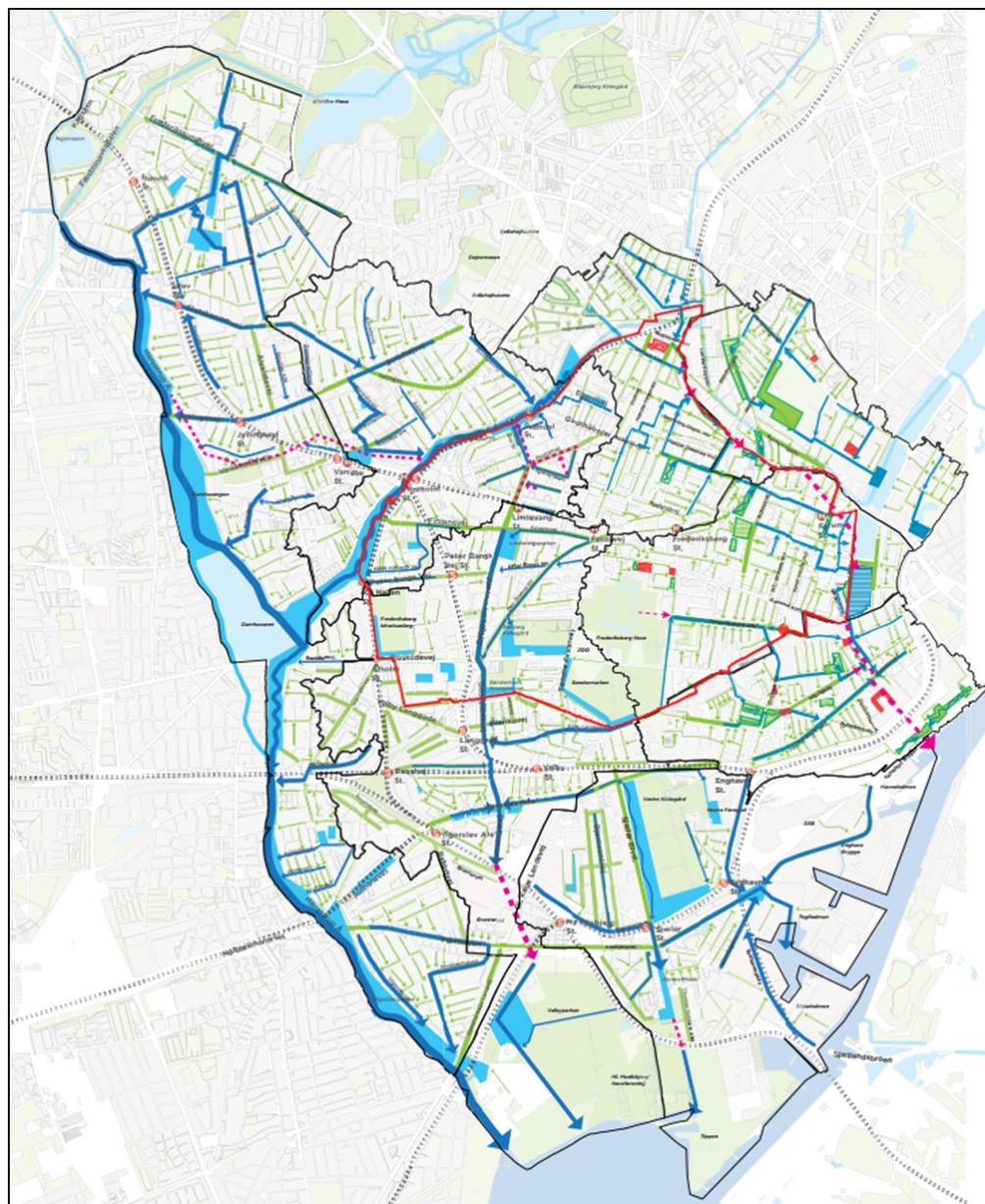
Projektet har demonstreret hvordan eksisterende måleteknologi kan kombineres med cloud-baseret real-time datahåndtering. For at tage fordelene ved en real-time monitoring videre, bør løsningen anvendes til styring af specifikke forhold, så at vandet f.eks. håndteres på forkant eller som funktion af den igangværende monitoring. Da projektet ikke har indeholdt denne komponent, er der ikke som direkte følge af projektet opnået øget beskæftigelse, udarbejdet decideret nye produkter eller søgt om nye patenter.

Der vurderes dog at være et betydeligt potentiale for at udvikle og anvende teknologien på bl.a. projekter i Kina, som diskuteret ovenfor. Hvis løsningerne anvendes mere konsekvent til monitoring og dokumentation på flere af de mange igangværende byudviklings- og -fornyelsesprojekter i Kina, vil der kunne opnås en betydelig eksport, som vurderes at kunne udgøre flere millioner kroner.

## 12. Referencer

- /1/ "Klimatilpasningsplan 2012" Baggrundsrapport. Frederiksberg Kommuner. 2012
- /2/ John Capellan, DMI's hjemmeside januar 2018.
- /3/ "Climate change. The Physical Science Basis". 2013. IPCC.UN Panel of climate change. The fifth assessment report.
- /4/ Spildevandskomiteen skrifter 27-30
- /5/ Martin Olesen m.fl. "Fremtidige klimaforandringer i Danmark" DMI, Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014
- /6/ "Konkretisering af skybrudsplan for Ladegårds Å, Frederiksberg Øst og Vesterbro". Frederiksberg Kommune, Frederiksberg Forsyning, Københavns Kommune og HOFOR, 2015
- /7/ "Konkretisering af skybrudsplan for oplandet København Vest og Frederiksberg Vest". Frederiksberg Kommune, Frederiksberg Forsyning, Københavns Kommune og HOFOR, 2015
- /8/ Refsgaard J.C. "Det fremtidige klima i Danmark" GEUS, 2012.
- /9/ Henriksen H.J. " Klimaeffekter på hydrologi og grundvand – klimagrundvandskort" 2012, GEUS
- /10/ Frederiksberg Kommunes Klimatilpasningsplan 2012, Klimabyen for Fremtiden, Godkendt af kommunalbestyrelsen 9. september 2013
- /11/ Udredning om brug af sekundavand i Danmark, 2014, HOFOR, Miljøstyrelsen, ISBN nr. 978-87-7091-542-7
- /12/ <https://www.greenbiz.com/article/chinas-sponge-cities-aim-reuse-most-rainwater> (sidst besøgt 23/04/2018)
- /13/ Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities. Hui Li, Liuqian Ding, Minglei Ren, Changzhi Li, Hong Wang, Published 28 August 2017
- /14/ Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, Bek. nr. 1469 af 12. december 2017
- /15/ Lov om miljøbeskyttelse, Lov bek. nr. 966 af 23. juni 2017
- /16/ Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, bek. nr. 1147 af 24. oktober 2017
- /17/ Brug af regnvand, Rørcenter-anvisning 003, Teknologisk Institut, 4. udgave 2012
- /18/ Bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenende stoffer til vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og havområder, bek. nr. 1433 af 21. november 2017
- /19/ KL's Smart City undersøgelse, Oktober 2017. Link: [http://www.kl.dk/ImageVaultFiles/id\\_86016/cf\\_202/Smart\\_City\\_Forum\\_-\\_Sp-rgeskemaunders-gelse\\_oktober.PDF](http://www.kl.dk/ImageVaultFiles/id_86016/cf_202/Smart_City_Forum_-_Sp-rgeskemaunders-gelse_oktober.PDF) (sidst besøgt 03/05/2018)
- /20/ Smart City Frederiksberg, Strategi 2015. Frederiksberg Kommune
- /21/ NVOC krav til drikkevand, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 18 2005, Vibeke Ernstsen, Carsten Langtofte Larsen og Lisbeth Tougaard
- /22/ GEUS (2011). Vandbalance i Danmark. Vejledning i opgørelse af vandbalance ud fra hydrologiske data for perioden 1990-2010. Rapport 2011/77.
- /23/ Kapitel 7. Vandkredsløbets regionale variationer og klimainput til den nationale vandressourcemodel. Hans Jørgen Henriksen, GEUS, Claus Kern-Hansen, DMI, Niels Bering Ovesen, DMU.
- /24/ <http://skat.dk/skat.aspx?oid=2168540>
- /25/ [www.klimatilpasning.dk/media/1154227/vand-i-tal-2015.pdf](http://www.klimatilpasning.dk/media/1154227/vand-i-tal-2015.pdf)
- /26/ [www.frb-forsyning.dk/Default.aspx?ID=2245/](http://www.frb-forsyning.dk/Default.aspx?ID=2245/)
- /27/ DET URBANE HYDROLOGISKE KREDSLØB, Frederiksberg Kommune, Rambøll, Lars M. Markussen 98/9.

# Bilag 1. Konkretiseringsplan for Frederiksberg Kommune



## **Bilag 2. Analyseresultater**



ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
www.alsglobal.dk

## ANALYSERAPPORT

Frederiksberg Forsyning A/S  
Stæhr Johansensvej 38  
2000 Frederiksberg C  
Att.: Alex Durhuus

Udskrevet: 04-04-2018  
Version: 1  
Modtaget: 13-03-2018  
Påbegyndt: 13-03-2018  
Ordrenr.: 434118

Sagsnavn: Frederiksberg Forsyning  
Lokalitet: Frederiksberg Forsyning  
Prøvested: Holker Danskevej 98  
Prøve ID: Brønd  
Udtaget: 13.03.2018 kl. 8.00  
Prøvetype: Drikkevand - Boringskontrol + PAH'er 16 komp. + Enkeltparametre +  
Prøvetager: Lab/DBH  
Kunde: Frederiksberg Forsyning A/S, Stæhr Johansensvej 38, 2000 Frederiksberg C

Prøvenr.:	37121/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
<b>FELTMÅLINGER:</b>					
Prøvetagning, Boring	+	-	-	DS/ISO 5667-11:2009	-
pH ved prøvetagning	-	pH	-	DS/EN ISO 10523:2012	-
Temperatur ved prøvetagning	-	°C	-	-	-
Ledningsevne v. prøvetagning	-	mS/m	-	DS/EN 27888:2003	-
Itindhold v. prøvetagning	-	mg/l	0.1	DS/EN ISO 5814:2012	-
<b>Laboratoriets målinger:</b>					
Calcium, Ca <sup>++</sup>	66	mg/l	0.5	DS/EN ISO 11885:2009	10
Magnesium, Mg <sup>++</sup>	9.6	mg/l	0.3	DS/EN ISO 11885:2009	10
Kalium, K <sup>+</sup>	8.2	mg/l	0.05	DS/EN ISO 11885:2009	10
Natrium, Na <sup>+</sup>	460	mg/l	0.1	DS/EN ISO 11885:2009	10
Jern, Fe	0.31	mg/l	0.01	DS/EN ISO 11885:2009	10
Mangan, Mn	0.020	mg/l	0.001	DS/EN ISO 11885:2009	10
Ammonium+ammoniak, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.90	mg/l	0.004	SM 17udg. 4500-NH3	10
Nitrit, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.40	mg/l	0.001	DS/ISO 15923:2013	10
Nitrat, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.8	mg/l	0.4	DS/ISO 15923:2013	10
Total kvælstof, N	9.6	mg/l	0.01	DS/ISO 29441:2010	10
Total fosfor, P	0.066	mg/l	0.003	DS/EN ISO 6878:2004 Del 7	10
COD Iltforbrug m. dichromat	370	mg/l	5	DS/ISO 15705:2006	10
BOD <sub>5</sub> , modif	230	mg/l	1	DS/EN 1899-1:2003	15
Chlorid, Cl <sup>-</sup>	150	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Fluorid, F <sup>-</sup>	0.14	mg/l	0.03	DS 218:1975.MOD	10
Sulfat, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	12	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Hydrogencarbonat, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	320	mg/l	3	DS/EN ISO 9963-1:1996	5
Aggressiv kuldioxid, CO <sub>2</sub>	-	mg/l	2	DS 236:1977	10
Hydrogensulfid, H <sub>2</sub> S	<0.01	mg/l	0.01	DS 278	10
Methan, CH <sub>4</sub>	<0.010	mg/l	0.01	HS GC/FID	20
NVOC	240	mg/l	0.1	DS/EN 1484:1997	15
Arsen, As	0.83	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Barium, Ba	120	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bly, Pb	0.65	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bor, B	70	µg/l	10	DS/EN ISO 11885:2009	20
Bly, Pb, Filtr Felt	0.14	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobber, Cu, Filtr Felt	3.3	µg/l	0.04	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobolt, Co	0.21	µg/l	0.01	DS/EN ISO 17294-2:2016	15
Kobber, Cu	3.8	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Nikkel, Ni	1.5	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn, Filtr Felt	6.6	µg/l	0.5	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn	8.5	µg/l	0.3	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
<b>PAH'er 16 komp.</b>					
Naphtalen	0.015	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphthylen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphthen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Fluoren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Phenanthren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Anthracon	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14

side 1

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. **Tætningsmærke**  
 Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, med mindre skriftlig godkendelse foreligger. **<**: mindre end **>**: større end **DL**: Detektionsgrænse  
**#**: ikke akkrediteret **lp.**: ikke påvist **Urel**: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER





ALS Denmark A/S  
 Bakkegårdsvej 406 A  
 DK-3050 Humlebæk  
 Telefon: +45 4925 0770  
 www.alsglobal.dk

**ANALYSERAPPORT**

Prøvenr.:	37121/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
Fluoranthren	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Pyren	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)anthraen	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Chrysen	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(b+h)fluoranthener	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)pyren	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Indeno(1,2,3-cd)pyren	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Dibenzo(a,h)anthraen	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(ghi)perylene	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(e)pyren	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
PAH, sum (EPA - 16 komp.)	0.015	µg/l		GC/MS/SIM	
PAH, sum (4 komp. if. bek. 802, 2016)	<-0.1	µg/l	0.1	GC/MS/SIM	
PAH, sum (MST - 6 komp.)	l.p.	µg/l		GC/MS/SIM	
<b>Pesticider, Drikkevand grundpakke</b>				GC/LC/MS	
2,4-dichlorphenol	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
2,6-Dichlorprop (2,6-DICPP)	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorbenzoesyre	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorphenol	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
4-PPP, (4-Chlorprop)	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
4-nitrophenol	0.68	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Aminomethylphosphonsyre, AMPA	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Atrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Bentazon	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desphenyl-chloridazon	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Methyl-desphenyl-chloridazon	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Desethylatrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-desisopropylatrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-hydroxy-atrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethylterbutylatrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropylatrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Dichlobenil	-0.010	µg/l	0.010	GC/MS	15
Dichlorprop(2,4-DP)	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Dialkyl-hydroxy-atrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
ETU (Ethylenthiourea)	0.34	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Glyphosat	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Hexazinon	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxyatrazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxysimazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
MCPA	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Mechlorprop(MCPP)	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Simazin	-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15

**Kommentar**

Ingen kommentar

Camilla Højsted

**Kopimodtagere:**

Frederiksberg Kommune, Rådhuset, 2000 Frederiksberg

side 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

**Legende:**

< mindre end

# Ikke akkrediteret

>: Større end

l.p.: Ikke påvist

DL: Detektionsgrænse

Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER





**DANAK**  
TEST Reg. nr. 361

ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
www.alsglobal.dk

**ANALYSERAPPORT**

Frederiksberg Forsyning A/S  
Stæhr Johansensvej 38  
2000 Frederiksberg C  
Att.: Alex Durhuus

Udskrevet: 04-04-2018  
Version: 1  
Modtaget: 13-03-2018  
Påbegyndt: 13-03-2018  
Ordrenr.: 434118

Sagsnavn: Frederiksberg Forsyning  
Lokalitet: Frederiksberg Forsyning  
Prøvested: Andebakkesti nr. 5  
Prøve ID: Brønd  
Udtaget: 13.03.2018 kl. 8.35  
Prøvetype: Vand - Boringskontrol + PAH'er 16 komp. + Enkeltparametre +  
Prøvetager: Lab/DBH  
Kunde: Frederiksberg Forsyning A/S, Stæhr Johansensvej 38, 2000 Frederiksberg C

Prøvenr.:	37122/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
<b>FELTMÅLINGER:</b>					
Prøvetagning, Boring	+	-	-	DS/ISO 5667-11:2009	-
pH ved prøvetagning	-	pH	-	DS/EN ISO 10523:2012	-
Temperatur ved prøvetagning	-	°C	-	-	-
Ledningsevne v. prøvetagning	-	mS/m	-	DS/EN 27888:2003	-
Iltindhold v. prøvetagning	-	mg/l	0.1	DS/EN ISO 5814:2012	-
<b>Laboratoriets målinger:</b>					
Calcium, Ca++	120	mg/l	0.5	DS/EN ISO 11885:2009	10
Magnesium, Mg++	13	mg/l	0.3	DS/EN ISO 11885:2009	10
Kalium, K+	6.3	mg/l	0.05	DS/EN ISO 11885:2009	10
Natrium, Na+	29	mg/l	0.1	DS/EN ISO 11885:2009	10
Jern, Fe	0.08	mg/l	0.01	DS/EN ISO 11885:2009	10
Mangan, Mn	0.049	mg/l	0.001	DS/EN ISO 11885:2009	10
Ammonium+ammoniak, NH4+	0.12	mg/l	0.004	SM 17udd. 4500-NH3	10
Nitrit, NO2-	0.015	mg/l	0.001	DS/ISO 15923:2013	10
Nitrat, NO3-	2.1	mg/l	0.4	DS/ISO 15923:2013	10
Total kvælstof, N	1.4	mg/l	0.01	DS/ISO 29441:2010	10
Total phosphor, P	0.32	mg/l	0.003	DS/EN ISO 6878:2004 Del 7	10
COD Iltforbrug m. dichromat	25	mg/l	5	DS/ISO 15705:2006	10
BOD5, modif	6.0	mg/l	1	DS/EN 1899-1:2003	15
Chlorid, Cl-	73	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Fluorid, F-	0.23	mg/l	0.03	DS 218:1975,MOD	10
Sulfat, SO4--	70	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Hydrogencarbonat, HCO3-	340	mg/l	3	DS/EN ISO 9963-1:1996	5
Aggressiv kuldioxid, CO2	-	mg/l	2	DS 236:1977	10
Hydrogensulfid, H2S	0.02	mg/l	0.01	DS 278	10
Methan, CH4	0.088	mg/l	0.01	HS GC/FID	20
NVOC	7.9	mg/l	0.1	DS/EN 1484:1997	15
Arsen, As	1.4	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Barium, Ba	56	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bly, Pb	0.62	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bor, B	80	µg/l	10	DS/EN ISO 11885:2009	20
Bly, Pb, Filtr Felt	2.1	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobber, Cu, Filtr Felt	1.6	µg/l	0.04	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobber, Co	0.24	µg/l	0.01	DS/EN ISO 17294-2:2016	15
Kobber, Cu	1.8	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Nikkel, Ni	2.3	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn, Filtr Felt	7.1	µg/l	0.5	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn	5.5	µg/l	0.3	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
<b>PAH'er 16 komp.</b>					
Naphtalen	0.011	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphthylen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphthen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Fluoren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Phenanthren	0.011	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Anthraen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14

side 1

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, med mindre skriftlig godkendelse foreligger.

**Teckenforklaring**

< mindre end  
# Ikke akkrediteret  
> Større end  
I.p.: Ikke påvist  
DL: Detektionsgrænse  
Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S  
 Bakkegårdsvej 406 A  
 DK-3050 Humlebæk  
 Telefon: +45 4925 0770  
 www.alsglobal.dk

**ANALYSERAPPORT**

Prøvenr.:	37122/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
Fluoranthen	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Pyren	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)anthracen	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Chrysen	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(b+h)fluoranthener	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)pyren	0.019	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Dibenzo(a,h)anthracen	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(ghi)perylene	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(e)pyren	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
PAH, sum (EPA - 16 komp.)	0.041	µg/l		GC/MS/SIM	
PAH, sum (4 komp. if. bek. 802, 2016)	<-0.1	µg/l	0.1	GC/MS/SIM	
PAH, sum (MST - 6 komp.)	0.019	µg/l		GC/MS/SIM	
<b>Pesticider, Drikkevand grundpakke</b>				GC/LC/MS	
2,4-dichlorphenol	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
2,6-Dichlorprop (2,6-DCCP)	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorbenzoesyre	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorphenol	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
4-CCP, (4-Chlorprop)	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
4-nitrophenol	0.42	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Aminomethylphosphonsyre, AMPA	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Atrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	0.013	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Bentazon	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desphenyl-chloridazon	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Methyl-desphenyl-chloridazon	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Desethylatrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethylidesopropylatrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-hydroxy-atrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethylterbutylazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropylatrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Dichlobenil	<-0.010	µg/l	0.010	GC/MS	15
Dichlorprop(2,4-DP)	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Didealkyl-hydroxy-atrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
ETU (Ethyenthiourea)	0.020	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Glyphosat	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Hexazinon	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxyatrazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxysimazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
MCPA	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Mechlorprop(MCPP)	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Simazin	<-0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15

**Kommentar**

Ingen kommentar

Camilla Højsted

**Kopimodtagere:**

Frederiksberg Kommune, Rådhuset, 2000 Frederiksberg

side 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, med mindre skriftlig godkendelse foreligger.

<: mindre end >: Større end DL: Detektionsgrænse  
 #: Ikke akkrediteret l.p.: Ikke påvist Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S  
Bakkegårdsvej 406 A  
DK-3050 Humlebæk  
Telefon: +45 4925 0770  
www.alsglobal.dk

## ANALYSERAPPORT

Frederiksberg Forsyning A/S  
Stæhr Johansensvej 38  
2000 Frederiksberg C  
Att.: Alex Durhuus

Udskrevet: 04-04-2018  
Version: 1  
Modtaget: 13-03-2018  
Påbegyndt: 13-03-2018  
Ordrenr.: 434118

Sagsnavn: Frederiksberg Forsyning  
Lokalitet: Frederiksberg Forsyning  
Prøvested: Holker Danskevej 98  
Prøve ID: Brønd  
Udtaget: 13.03.2018 kl. 16:00  
Prøvetype: Vand - Boringskontrol + PAH'er 16 komp. + Enkeltparametre +  
Prøvetager: Lab/DBH  
Kunde: Frederiksberg Forsyning A/S, Stæhr Johansensvej 38, 2000 Frederiksberg C

Prøvenr.:	37123/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
<b>FELTMÅLINGER:</b>					
Prøvetagning, Boring	+	-	-	DS/ISO 5667-11:2009	-
pH ved prøvetagning	-	pH	-	DS/EN ISO 10523:2012	-
Temperatur ved prøvetagning	-	°C	-	-	-
Ledningsevne v. ptagning	-	ms/m	-	DS/EN 27888:2003	-
Iltindhold v. ptagning	-	mg/l	0.1	DS/EN ISO 5814:2012	-
<b>Laboratoriets målinger:</b>					
Calcium, Ca++	69	mg/l	0.5	DS/EN ISO 11885:2009	10
Magnesium, Mg++	9.9	mg/l	0.3	DS/EN ISO 11885:2009	10
Kalium, K+	8.6	mg/l	0.05	DS/EN ISO 11885:2009	10
Natrium, Na+	480	mg/l	0.1	DS/EN ISO 11885:2009	10
Jern, Fe	0.09	mg/l	0.01	DS/EN ISO 11885:2009	10
Mangan, Mn	0.014	mg/l	0.001	DS/EN ISO 11885:2009	10
Ammonium+ammoniak, NH4+	1.3	mg/l	0.004	SM 17udd, 4500-NH3	10
Nitrit, NO2-	0.57	mg/l	0.001	DS/ISO 15923:2013	10
Nitrat, NO3-	3.7	mg/l	0.4	DS/ISO 15923:2013	10
Total kvælstof, N	11	mg/l	0.01	DS/ISO 29441:2010	10
Total fosfor, P	0.041	mg/l	0.003	DS/EN ISO 6878-2004 Del 7	10
COD Iltforbrug m. dichromat	440	mg/l	5	DS/ISO 15705:2006	10
BOD5, modif	280	mg/l	1	DS/EN 1899-1:2003	15
Chlorid, Cl-	190	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Fluorid, F-	0.18	mg/l	0.03	DS 218:1975,MOD	10
Sulfat, SO4--	15	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Hydrogencarbonat, HCO3-	370	mg/l	3	DS/EN ISO 9963-1:1996	5
Aggressiv kuldioxid, CO2	-	mg/l	2	DS 236:1977	10
Hydrogensulfid, H2S	<0.01	mg/l	0.01	DS 278	10
Methan, CH4	0.018	mg/l	0.01	HS GC/FID	20
NVOC	270	mg/l	0.1	DS/EN 1484:1997	15
Arsen, As	0.95	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Barium, Ba	140	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bly, Pb	0.64	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bor, B	80	µg/l	10	DS/EN ISO 11885:2009	20
Bly, Pb, Filtr Felt	0.12	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobber, Cu, Filtr Felt	2.9	µg/l	0.04	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobolt, Co	0.23	µg/l	0.01	DS/EN ISO 17294-2:2016	15
Kobber, Cu	3.1	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Nikkel, Ni	1.8	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn, Filtr Felt	3.4	µg/l	0.5	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn	5.2	µg/l	0.3	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
<b>PAH'er 16 komp.</b>					
Naphtalen	0.011	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphthylen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphten	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Fluoren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Phenanthren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Anthracen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14

side 1

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

**Teckenforklaring**  
 <: mindre end DL: Detektionsgrænse  
 #: Ikke akkrediteret !p.: Ikke påvist Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S  
 Bakkegårdsvej 406 A  
 DK-3050 Humlebæk  
 Telefon: +45 4925 0770  
 www.alsglobal.dk

**ANALYSERAPPORT**

Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
Fluoranthen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)anthracen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Chrysen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(b+h+k)fluoranthener	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Dibenzo(a,h)anthracen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(ghi)perylene	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(e)pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
PAH, sum (EPA - 16 komp.)	0.011	µg/l		GC/MS/SIM	
PAH, sum (4 komp. if. bek. 802, 2016)	<0.1	µg/l	0.1	GC/MS/SIM	
PAH, sum (MST - 6 komp.)	lp.	µg/l		GC/MS/SIM	
<b>Pesticider, Drikkevand grundpakke</b>					
2,4-dichlorphenol	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
2,6-Dichlorprop (2,6-DCPP)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorbenzoesyre	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorphenol	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
4-CPP, (4-Chlorprop)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
4-nitrophenol	0.27	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Aminomethylphosphonsyre, AMPA	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Bentazon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desphenyl-chloridazon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Methyl-desphenyl-chloridazon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Desethylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-desisopropylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-hydroxy-atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethylterbutyliazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Dichlobenil	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS	15
Dichlorprop(2,4-DP)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Dialkyl-hydroxy-atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
ETU (Ethylenthioourea)	0.13	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Glyphosat	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Hexazinon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxyatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxymiazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
MCPA	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Mechlorprop(MCPP)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Simazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15

**Kommentar**

Ingen kommentar

Camilla Højsted

**Kopimodtagere:**

Frederiksberg Kommune, Rådhuset, 2000 Frederiksberg

side 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

**Testforhold:**  
 < mindre end >: Større end DL: Detektionsgrænse  
 #: Ikke akkrediteret lp.: Ikke påvist Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S  
 Bakkegårdsvej 406 A  
 DK-3050 Humlebæk  
 Telefon: +45 4925 0770  
 www.alsglobal.dk

**ANALYSERAPPORT**

Frederiksberg Forsyning A/S  
 Stæhr Johansensvej 38  
 2000 Frederiksberg C  
 Att.: Alex Durhuus

Udskrevet: 04-04-2018  
 Version: 1  
 Modtaget: 13-03-2018  
 Påbegyndt: 13-03-2018  
 Ordrenr.: 434118

Sagsnavn: Frederiksberg Forsyning  
 Lokalitet: Frederiksberg Forsyning  
 Prøvested: Andebakkesti nr. 5  
 Prøve ID: Brønd  
 Udtaget: 13.03.2018 kl. 16:15  
 Prøvetype: Vand - Boringskontrol + PAH'er 16 komp. + Enkeltparametre +  
 Prøvetager: Lab/DBH  
 Kunde: Frederiksberg Forsyning A/S, Stæhr Johansensvej 38, 2000 Frederiksberg C

Prøvenr.:	37124/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
<b>FELTMÅLINGER:</b>					
Prøvetagning, Boring	+	-	-	DS/ISO 5667-11:2009	-
pH ved prøvetagning	-	pH	-	DS/EN ISO 10523:2012	-
Temperatur ved prøvetagning	-	°C	-	-	-
Ledningsevne v. ptagning	-	mS/m	-	DS/EN 27888:2003	-
Itindhold v. ptagning	-	mg/l	0.1	DS/EN ISO 5614:2012	-
<b>Laboratoriets målinger:</b>					
Calcium, Ca++	120	mg/l	0.5	DS/EN ISO 11885:2009	10
Magnesium, Mg++	14	mg/l	0.3	DS/EN ISO 11885:2009	10
Kalium, K+	6.3	mg/l	0.05	DS/EN ISO 11885:2009	10
Natrium, Na+	30	mg/l	0.1	DS/EN ISO 11885:2009	10
Jern, Fe	0.05	mg/l	0.01	DS/EN ISO 11885:2009	10
Mangan, Mn	0.050	mg/l	0.001	DS/EN ISO 11885:2009	10
Ammonium+ammoniak, NH4+	0.008	mg/l	0.004	SM 17udq, 4500-NH3	10
Nitrit, NO2-	0.012	mg/l	0.001	DS/ISO 15923:2013	10
Nitrat, NO3-	1.4	mg/l	0.4	DS/ISO 15923:2013	10
Total kvælstof, N	1.2	mg/l	0.01	DS/ISO 29441:2010	10
Total fosfor, P	0.34	mg/l	0.003	DS/EN ISO 6878:2004 Del 7	10
COD Iltforbrug m. dichromat	29	mg/l	5	DS/ISO 15705:2006	10
BOD5, modif	8.4	mg/l	1	DS/EN 1899-1:2003	15
Chlorid, Cl-	83	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Fluorid, F-	0.25	mg/l	0.03	DS 218:1975,MOD	10
Sulfat, SO4-	79	mg/l	0.5	DS/ISO 15923:2013	10
Hydrogencarbonat, HCO3-	360	mg/l	3	DS/EN ISO 9963-1:1996	5
Aggressiv kuldioxid, CO2	-	mg/l	2	DS 236:1977	10
Hydrogensulfid, H2S	0.02	mg/l	0.01	DS 278	10
Methan, CH4	0.049	mg/l	0.01	HS GC/FID	20
NVOC	8.7	mg/l	0.1	DS/EN 1484:1997	15
Arsen, As	1.5	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Barium, Ba	62	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bly, Pb	0.45	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Bor, B	80	µg/l	10	DS/EN ISO 11885:2009	20
Bly, Pb, Filtr Filtr	3.4	µg/l	0.025	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobber, Cu, Filtr Filtr	1.4	µg/l	0.04	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Kobolt, Co	0.26	µg/l	0.01	DS/EN ISO 17294-2:2016	15
Kobber, Cu	1.6	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Nikkel, Ni	2.5	µg/l	0.03	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn, Filtr Filtr	6.2	µg/l	0.5	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
Zink, Zn	5.6	µg/l	0.3	DS/EN ISO 17294-2:2016	10
PAH'er 16 komp.	-	-	-	GC/MS/SIM	-
Naphtalen	0.019	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphtylen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Acenaphten	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Fluoren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Phenanthren	0.012	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Anthracen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14

side 1

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, med mindre skriftlig godkendelse foreligger.

Legende:  
 <: mindre end >: Større end DL: Detektionsgrænse  
 #: Ikke akkrediteret l.p.: Ikke påvist Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER



ALS Denmark A/S  
 Bakkegårdsvej 406 A  
 DK-3050 Humlebæk  
 Telefon: +45 4925 0770  
 www.alsglobal.dk

**ANALYSERAPPORT**

Prøvenr.:	37124/18				
Parameter	Resultat	Enhed	DL	Metode	Urel (%)
Fluoranthen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)anthracen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Chrysen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(b+h)fluoranthener	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(a)pyren	0.024	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Dibenzo(a,h)anthracen	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(ghi)perylene	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
Benzo(e)pyren	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS/SIM	14
PAH, sum (EPA - 16 komp.)	0.055	µg/l		GC/MS/SIM	
PAH, sum (4 komp. if. bek. 802, 2016)	<0.1	µg/l	0.1	GC/MS/SIM	
PAH, sum (MST - 6 komp.)	i.p.	µg/l		GC/MS/SIM	
<b>Pesticider, Drikkevand grundpakke</b>				GC/LCMS	
2,4-dichlorphenol	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
2,6-Dichlorprop (2,6-DCPP)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-dichlorbenzoesyre	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,5-dichlorphenol	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS	10
4-CP, (4-Chlorprop)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
4-nitrophenol	0.23	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Aminomethylphosphonsyre, AMPA	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	0.014	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Bentazon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desphenyl-chloridazon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Methyl-desphenyl-chloridazon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	30
Desethylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-desisopropylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethyl-hydroxy-atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desethylterbutylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropylatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Dichlobenil	<0.010	µg/l	0.010	GC/MS	15
Dichlorprop(2,4-DP)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Didealkyl-hydroxy-atrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
ETU (Ethyenthloourea)	0.047	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Glyphosat	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	10
Hexazinon	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxyatrazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Hydroxysimazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
MCPA	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Mechlorprop(MCPP)	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15
Simazin	<0.010	µg/l	0.010	LC/MS/MS	15

**Kommentar**

Ingen kommentar

Camilla Højsted

**Kopimodtagere:**

Frederiksberg Kommune, Rådhuset, 2000 Frederiksberg

side 2

Laboratoriet er akkrediteret af DANAK. Analyseresultaterne gælder kun for den analyserede prøve. Analyserapporten må kun gengives i sin helhed, medmindre skriftlig godkendelse foreligger.

**Legende:**

<: mindre end >: Større end DL: Detektionsgrænse  
 #: Ikke akkrediteret i.p.: Ikke påvist Urel: Den relative måleusikkerhed

RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER

# Bilag 3. Evalueringsmatrice

Område	Løsning	Direkte økonomiske omkostninger		Direkte økonomiske gevinster		Øvrige gevinster		Teknisk udfordring / usikkerhed		Løgningsmæssig udfordring		Øvrige forhold		Samlet vurdering
		Samlet afkast (kr)	Score	Omkostninger (kr)	Score	Beskrivelse	Score	Beskrivelse	Score	Beskrivelse	Score	Beskrivelse	Score	
Vægt			1		1									
Frederiksborg Udbylt hls. g. høve	Udbylt hls. konkurrencerings plan	5.640.000	7	65.000.000	10	Forsinkelset nedstrøms	6	Lille	8	Lille	9	Klirrer af en videre klimatilpasning og skyvudsurnel nedstrøms	1	41
	Bassin til opmagasinering og anvendelse som sekundærvand	76.224.000	1	10.600.000	5	Ingen øvrigt afdrætte	1	Lille, men anvendelsen som sekundærvand og mulighed for at afsætte dette er usikker	4	Nogen, især omkring anvendelse af sekundærvand	6	Problematisk at etablere iht. havens anvendelse	4	21
	Bassin til forsinkelset og nedstrømning	12.606.000	5	15.500.000	6	Forsinkelset nedstrøms-øget grundvandsdannelse	7	Nogen risiko for at tilbage ikke er muligt. Det nedstrømskapalet et er usikker, og hvis det virker kan det medføre lokale oversvømmelser	2	Lille. Der lokal risiko for foreningsspredning	8	Problematisk at etablere iht. havens anvendelse.	2	30
	Opmagasinering i kanal er søer og jord	2.083.260	10	-	-	Forsinkelset nedstrøms-lake etableringsomkostninger	9	Lille	9	Lille	10	Mindre indgreb der ikke vurderes problematisk for havens anvendelse	8	46
	Infiltration til primært magasin	15.368.000	4	32.600.000	8	Øget grundvandsniveau	6	kan udgøre en risiko for grundvandsressourcen kvaliteten. Der er begrænset erfaringer med mange års drift af infiltrationsboringer	6	Nogen, kan være svært at få tilladelse til at infiltrere af hensyn til grundvandsbeskyttelse.	6	Ingen særlige sætnevnt i 15	5	35
Æt-røvej	Tiløb til Æt-røvej	1.065.600	10	900.000	1	Forsinkelset nedstrøms	6	Lille	9	Lille	9	Ingen særlige sætnevnt i 15	5	40
	Sekundærvand til vanding/spuling	1.238.000	10	320.000	1	Begrænset forsinkelset nedstrøms	2	Lille, men anvendelsen som sekundærvand og mulighed for at afsætte dette er usikker	4	Nogen, især omkring anvendelse af sekundærvand	6	Ingen særlige sætnevnt i 15	5	28

Område	Løsning	Direkte økonomiske omkostninger		Direkte økonomiske gevinster		Øvrige gevinster		Teknisk udfordring / usikkerhed		Lovgivningsmæssig udfordring		Øvrige forhold		Samlet vurdering
		Samlet afkast (kr)	Score	Omkostninger (kr)	Score	Score	Score	Beskrivelse	Score	Beskrivelse	Score	Beskrivelse	Score	
Vægt			2		2		1		0,5		0,5		0,5	
Frederiksborg Havn	Udløb iht. konkretiseringsplan	5,640,000	7	65,000,000	10	Forsinkelse nedstrøms	6	Lille	8	Lille	9	Afhænger af en videre klimatilpasning og skybrudstunel nedstrøms	1	49
	Basin til opmagsrøring og anvendelse som sekundavand	76,224,000	1	10,600,000	5	Ingen øvrigt afledte	1	Lille, men sekundavand og mulighed for at afsætte dette er usikker	4	Nogen, især omkring anvendelse af sekundavand	6	Problematisk at etablere iht. havens anvendelse	4	20
	Basin til forsikelse og nedsvinng	12,606,000	5	15,500,000	6	Forsinkelse nedstrøms+øget grundvandsdannelse	7	Nogen risiko for at tiltaget ikke er muligt, lød nedsvinngspaciet eten er usikker, og hvis det virker kan det medføre lokale oversvømmelser	2	Lille Dog lokalt risiko for frentningsproblemer	8	Problematisk at etablere iht. havens anvendelse.	2	35
	Opmagsrøring i kanaler søer og jord	2,083,260	10	-	-	Forsinkelse nedstrøms+have etableringsomkostninger	9	Lille	9	Lille	10	Mindre indgreb der ikke vurderes problematisk for Havens anvendelse	8	43
	Infiltrator til primært magasin	15,368,000	4	32,600,000	8	Øget grundvandsdannelse	6	Kan udgøre en risiko for grundvandsressourcenes kvalitet. Der er begrænsede erfaringer med mange års drift af infiltrationsboringer	6	Nogen, Kan være svært at få tilladelse til at infiltrere af hensyn til grundvandsbeskyttelse.	6	Ingen særlige - Score sæt neutralt til 5	5	39
Ærøvej	Tilføjet til Ærøvej	1,065,600	10	900,000	1	Forsinkelse nedstrøms	6	Lille	9	Lille	9	Ingen særlige - Score sæt neutralt til 5	5	40
	Sekundavand til vandreg/spuling	1,238,000	10	320,000	1	Begrænset forsinkelse nedstrøms	2	Lille, men anvendelsen som sekundavand og mulighed for at afsætte dette er usikker	4	Nogen, især omkring anvendelse af sekundavand	6	Ingen særlige - Score sæt neutralt til 5	5	32



## Vand i Byer – fra belastning til ressource

I størstedelen af danske kommuner indsamles overflade- og drænvand og ledes direkte til spildevandsbehandling via byens kloaknet, der mange steder allerede er under stort pres. Håndteringen af vandet er uhensigtsmæssig og forbundet med miljømæssige og økonomiske konsekvenser. En mere intelligent udnyttelse af ferskvandsressourcen forekommer derfor at være et oplagt skridt i retning mod mere bæredygtige byer.

Samtidig med stigende klimarelaterede udfordringer, foregår en rivende udvikling inden for Smart City, der favner digitale teknologier og data til at reducere ressourceforbrug, og en plan om at engagere sig med borgerne på nye måder.

I denne rapport kvantificeres hvor stor en ressource, der unødigt belaster kloakkerne for udvalgte områder på Frederiksberg. Samtidig testes en sensorteknologi til måling af flow i kloakker. Rapporten giver forskellige alternative løsninger, der beskrives ud fra lovgivningsmæssige, tekniske og økonomiske hensyn, og opstiller en evalueringssmatrice, der udgør et godt grundlag for beslutningstagere ift. fremtidige beslutninger om klimaløsninger.



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø  
[www.mst.dk](http://www.mst.dk)