RECIPIENTEFFEKTER SOM KONSEKVENS AF UDLEDNING FRA VÅDE REGNVANDSBASSINER

MONITERING AF VANDKVALITETSPARAMETRENE TEMPERATUR, OPLØST ILT, PH OG LEDNINGSEVNE

AALBORG UNIVERSITET

Louise Knudsgård Hørup og Marianne Skaarup Fink
Kandidatspeciale, Vand og miljø - Institut for Byggeri, By og Miljø

Juni 2020

AALBORG UNIVERSITET

Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet
Institut for Byggeri, By og Miljø
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg
http://www.build.aau.dk

Titel:

Recipienteffekter som konsekvens af udledning fra våde regnvandsbassiner

Undertitel:

Monitering af vandkvalitetsparametrene temperatur, opløst ilt, pH og ledningsevne

Projekttype:

Kandidatspeciale

Projektperiode:

3. februar 2020 - 10. juni 2020

Forfattere:

Louise Knudsgård Hørup
Marianne Skaarup Fink

Vejledere:

Anja Thrane Hejselbæk Thomsen
Jesper Ellerbæk Nielsen
Michael Robdrup Rasmussen

Forside:

Vådt regnvandsbassin i Voldum
Maj 2020, Marianne Skaarup Fink

Antal sider: 69
Bilag: 7
Elektroniske bilag: 1

Resumé:

Dette afgangsprojekt omhandler recipienteffekter som konsekvens af udledning fra våde regnvandsbassiner. Med afsæt i vandkvalitetsparametrene temperatur, opløst ilt, pH og ledningsevne er det undersøgt, om udledninger fra våde regnvandsbassiner giver anledning til bekymring for vandkvaliteten nedstrøms udledningspunktet. Forventningen var, at vand i våde regnvandsbassiner vil være af en dårligere kvalitet end det i recipienten, hvormed en udledning vil forringe vandkvaliteten nedstrøms udløbspunktet.
Med afsæt i et nyere vådt regnvandsbassin, beliggende i den østjyske by Voldum, og recipienten Revens Møllebæk, er det undersøgt vha. et måleprogram opsat på projektlokaliteten, hvordan bassinudløbet kvantitativt påvirker vandkvaliteten i recipienten ift. temperatur, ilt, pH og ledningsevne.
Måleresultaterne viser, at bassinudledningen generelt har lille indvirkning på vandkvaliteten i det modtagende vandløb. Temperaturændringer forårsaget af regnvandsbassinet er kortvarigt op mod 1,5°C, ligesom kortvarige, men ikke kritiske, fald i ledningsevnen i vandløbet kan tilskrives regnvandsbassinet ifm. nedbør. I bassinet måles i perioden fra slut marts til slut maj 2020 overmætning af ilt, hvorfor koncentrationen af opløst ilt i det udledte vand i perioden ikke giver anledning til bekymring for vandkvaliteten nedstrøms bassinudløbet. Grundet høj iltproduktion i bassinet ses højere pH end i vandløbet, hvorfor observerede fald i pH i vandløbet under nedbør heller ikke tilskrives bassinet.

Abstract

This master project revolved around the effects of discharges from wet stormwater detention ponds on the receiving watercourse. Based on the water quality parameters: temperature, dissolved oxygen, pH, and conductivity, it was studied whether the discharges from wet detention ponds give rise to concern for the water quality downstream from the discharge point. Ahead of the project it was expected that water in wet detention ponds would be of a poorer quality than that in the receiving stream. Thus, it was anticipated that discharges from the pond would reduce water quality downstream from the discharge point.

Based on a measuring programme in a newly established (2018) wet detention pond situated in Voldum in Eastjutland, Denmark, and the receiving watercourse, Revens Møllebæk, the quantitative effects of the pond outlet on the stream, in relation to temperature, dissolved oxygen, pH, and conductivity, were studied. The measurements of temperature covered several seasons (from May 2019 to May 2020) while dissolved oxygen, pH, and conductivity was monitored from March to May 2020.

The measurements generally showed small effects on the water quality in the receiving stream as a consequence of the pond discharge. The maximum temperature changes caused by the pond discharges were briefly up to 1.5°C in the summer 2019. It was observed that the temperature difference between pond and stream reduces near to and in connection with precipitation which contributed to smaller temperature changes downstream from the outlet while the pond discharged. In addition, the run-off to the semi urban stream is increased in connection with precipitation, and thus the discharge from the pond becomes less significant, relatively, compared to the water body in the stream.

In general, the conductivity in the pond was lower than in the stream. During rainfall, brief but non-critical reductions in conductivity in the stream were ascribed to discharges from the pond. From the end of March to the end of May 2020, the pond water was supersaturated with dissolved oxygen, and consequently discharges to the stream in this period did not give rise to any concern for the water quality in relation to oxygen. Because of high production of oxygen in the pond, also the pH of the pond water was higher than in the stream, and thus the reductions in pH in the receiving stream, which were observed during rainfall, similarly cannot be ascribed to discharges from the pond, but likely originated from un-delayed inputs of stormwater, which is expected to have a lower pH value.

It was assessed, that the project locality is comparable to many other wet stormwater detention ponds in Denmark why the results from the measurement programme is expected to represent other localities where wet detention ponds are established and discharging to semi urban streams. However, the fact that the pond is relatively young is expected to influence the results seen in this study. Further, it is uncertain whether the observed high oxygen production will proceed or if warm summer weather will result in low oxygen levels.

Forord

Dette projekt er udarbejdet af Louise Knudsgård Hørup og Marianne Skaarup Fink i forårssemestret 2020 som afslutning på uddannelsen til civilingeniør i Vand og miljø ved Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg Universitet. Afgangsprojektet omhandler udledninger fra våde regnvandsbassiner, hvor formålet har været at kvantificere disses effekt på vandkvaliteten i det modtagende vandløb. Udgangspunktet for undersøgelsen var målinger af udvalgte vandkvalitetsparametre i et bassin og vandløb i Voldum, Favrskov Kommune.

Projektlokaliteten er stillet til rådighed for gruppen som en del af ReLeVand-projektet ejet af Favrskov Forsyning A/S, der kører i samarbejde med Orbicon | WSP, Aalborg Universitet og Mosbaek A/S. En særlig tak til Orbicon | WSP for at stille data til rådighed for projektgruppen samt for sparring på kontoret i Viby, Aarhus.

Læsevejledning

Projektet består af en rapportdel inddelt i nummererede kapitler – dertil følger syv bilag angivet alfabetisk samt elektroniske bilag. Figurer og billeder uden referencer er fremstillet af projektgruppen. Kilder er angivet med Harvard-metoden – anvendt litteratur fremgår af litteraturlisten sidst i rapporten (inden bilag).

Alle tidsangivelser er i GMT+01:00, ligesom angivne koter er i meter efter systemet DVR90. Baggrundskort anvendt i figurer er fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering [2020b]. Meteorologisk data stammer som udgangspunkt fra DMI's vejrarkiv [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020c]. Når der i indeværende tekst står *ilt, iltindhold*, eller *koncentration af ilt* menes der *koncentrationen af opløst ilt i mg/l* medmindre andet specifikt er angivet. Ligeledes er betydningen af ordene *regnvandsbassin* og *bassin* synonym for *vådt regnvandsbassin* såfremt, der ikke specifikt er angivet noget modstridende. Ved *temperatur* forstås som udgangspunkt *vandtemperatur* – er der tale om *lufttemperatur*, vil dette være tydeligt indikeret.

Louise K. Hørup

Louise Knudsgård Hørup

Marianne Skaarup Fink

Marianne Skaarup Fink

Indhold

1 Introduktion **1**
1.1 Formål 4

2 Systemanalyse **5**
2.1 Hydraulik 7
2.2 Vandets termodynamik 8
2.3 Vandets kemi 11

3 Projektlokalitet **13**

4 Måleprogram **17**
4.1 Visuelle forsøg med rhodamin 19
4.2 Interkalibrering af loggere 20

5 Vandføringer **21**
5.1 Vandbremsekarakteristik 22
5.2 Revens Møllebæk 23

6 Temperatur: resultater og analyse **27**
6.1 Teoretiske kurver/sammenhænge 27
6.2 Vandtemperaturvariationer i Revens Møllebæk 29
6.3 Forår 2020: resultater 31
6.4 Vinter 2020: resultater 34
6.5 Sommer 2019: resultater 37
6.6 Delkonklusion: temperaturmålinger 40

7 Ilt, pH og ledningsevne: resultater og analyse **43**
7.1 Regnvandsbassin 45
7.2 Vandløb 48
7.3 Delkonklusion: ilt-, pH- og ledningsevnemålinger 50

8 Scenarieanalyser **53**
8.1 Udledning ved udspring 53
8.2 Overløb fra regnvandsbassin 55

9 Diskussion **59**

10 Konklusion **63**

Litteratur **64**

A Kortbilag **71**

B Måleprogram **77**

C Interkalibrering **85**

D Fastlæggelse af vandføring **89**

E Temperaturmålinger ved renseanlæg og drænudløb **97**

F Meteorologisk data **99**

G Dataserier **103**

H Elektroniske bilag **113**

Figurer

1.1 Vådt regnvandsbassin 2

2.1 Principielt system for afledning af regnvand i byen og på landet 5
2.2 Eksempel på hydrografer: regnvandsbassin og vandløb 7
2.3 Temperaturvariationer i idealvandløb 9
2.4 Eksempel på temperaturmålinger sommer og vinter i vådt regnvandsbassin . 10
2.5 Principskitse for koncentrationen af opløst ilt i et vandmiljø 12

3.1 Oversigtskort Voldum 14
3.2 Status udledninger til Revens Møllebæk 16

4.1 Placering af måleudstyr i og omkring regnvandsbassin 17
4.2 Montering af loggere i bassin 18
4.3 Montering af loggere i vandløb 18
4.4 Rhodamin-forsøg 6/4-2020: udledningspunkt 20
4.5 Rhodamin-forsøg 6/4-2020: nedstrøms udledningspunkt 20
4.6 Rhodamin-forsøg 17/5-2020: udledningspunkt 20
4.7 Rhodamin-forsøg 17/5-2020: nedstrøms udledningspunkt 20

5.1 Hydraulisk system omkring udløb fra regnvandsbassin i Voldum 21
5.2 Målestation regnvandsbassin 22
5.3 Målestation Revens Møllebæk opstrøms 22
5.4 Vandbremsekarakteristik 23
5.5 Vandføringsmåling med vingeinstrument 24
5.6 Qh-relationer i Revens Møllebæk 25

6.1 Teoretiske ΔT-kurver baseret på massebalance 28
6.2 Døgntemperatursvingninger ved forskellige stationer i vandløbet: april 2020 30
6.3 Temperaturmålinger og vandføring: forår 2020 32
6.4 Temperaturmålinger i to perioder, hvor vandbremsen er lukket 33
6.5 Temperaturmålinger i forskellige vanddybder i regnvandsbassin 34
6.6 Temperaturmålinger og vandføring: vinter 2020 36
6.7 Temperaturmålinger og vandføring: sommer 2019 38
6.8 Modelleret vandtemperatur 8. juli til 11. juli 2019 40

7.1 Vejrlig: forår 2020 44
7.2 Målinger i regnvandsbassin: april og maj 2020 45
7.3 Trådalger omkring loggere i bassin 47
7.4 Tilsmudsning af loggere i vandløb 47

7.5 Målinger i Revens Møllebæk: april og maj 2020 48
7.6 Sammenligning af ilt og pH i regnvandsbassin og vandløb under regn. 50
7.7 Sammenligning af ledningsevne i regnvandsbassin og vandløb under regn . . 51

8.1 Scenarieanalyse: udledningspunkt ved udspringet (st. 134) 54
8.2 Scenarieanalyse: teoretiske ΔT-kurver for kontrolleret overløb 57

Tabeller

2.1 Karakteristiske termodynamiske faktorer 9
2.2 Faktorer der påvirker iltkoncentrationen 12

3.1 Nøgletal fra udledningstilladelsen 13
3.2 Arealanvendelse i oplandet til Revens Møllebæk 15

6.1 Sæsonopdelt statistik over temperaturforskelle og vandføring under aflastning 29
6.2 Døgntemperatursvigninger: T32 og T5 – forår 2020 31
6.3 Døgntemperatursvigninger: RVB og T5 – februar 2020 35
6.4 Døgntemperatursvigninger: RVB og OS – sommer 2019 37
6.5 Maksimal temperaturforskel ΔT_{NS-OS} for undersøgte sæsoner 41

8.1 Scenarieanalyse: udledning ved vandløbets udspring (st. 134) 55
8.2 Beregnede overløbsvandføringer 56

1 Introduktion

I Danmark findes i følge Miljøstyrelsen knap 70.000 km vandløb [Miljøstyrelsen, 2020]. Selvom mange af vandløbene er små, spiller de en vigtig rolle i afledningen af regnvand, der falder både på landet og i byerne. Siden 1870'erne, hvor DMI begyndte at registrere nedbør i Danmark, er den årlige nedbør på landsplan steget med 100 mm – med klimaforandringerne forventes denne tendens at forsætte [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020b]. Generelt forventes der hyppigere og mere ekstreme regnskyl om sommeren afbrudt af længere perioder med tørke, og vintre med mildere temperaturer og mere nedbør fordelt jævnt på både mindre og større regnvejrshændelser [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2018a,b]. Med stigende mængder af nedbør, og med især hyppigere forekomster af ekstreme nedbørshændelser, kommer de danske vandløb under konstant større og større bevågenhed; senest i efteråret 2019, der med 349 mm blev det vådeste efterår siden DMI begyndte registreringen, efterfulgt af februar 2020, der slog månedsrekord med et landsgennemsnit på 135 mm [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020d]. Således skal vandløbene til stadighed afvikle mere og mere vand som følge af klimaforandringerne.

Samtidig fortsætter urbaniseringen af Danmark med flere, større befæstede og bebyggede arealer som konsekvens heraf [Statistik, 2019, fig. 12.5]. I separatkloakerede oplande, hvor regnvandet opsamles i et -fra spildevandet- særskilt system, bevirker de befæstede arealer, at den nedbør, der falder, transporteres hurtigt til vandløbet uden nævneværdig forsinkelse og med øget hydraulisk belastning til følge. For at skåne vandløbene og sikre en bedre afvikling af tranporten af nedbøren, er det i dag almindeligt udbredt, at anlægge regnvandsbassiner til forsinkelse af regnvandet fra byernes separatkloakerede områder. I følge Miljøstyrelsens seneste rapport om punktkilder findes der omkring 15.000 udledninger fra separatkloakerede områder; heraf er 25 % af udledningerne fra bassiner [Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen, 2019, tab. 5.1]. Af figur 1.1 fremgår et eksempel på et regnvandsbassin. Gennem tiden er disse bassiner blevet udviklet, flere typer er kommet og kommer fortsat til, og standarder og retningslinjer opdateres jævnligt.

I følge interesseorganisationen for drikkevands- og spildevandsselskaber, DANVA, har våde regnvandsbassiner været anvendt i Danmark til rensning af overfladevand gennem de seneste 50 år [DANVA, 2018, afs. 4]. Våde bassiner benyttes især når, der stilles krav om rensning af regnvandet inden udledning til det modtagende vandområde. Jævnfør miljøbeskyttelseslovens §28 er det kommunalbestyrelsen, der er miljømyndighed på området og derved udsteder udledningstilladelser for spildevand herunder tag- og overfladevand fra separatkloakerede områder [Miljø- og Fødevareministeriet, 2019]. Kommunalbestyrelsen skal i forbindelse med udledningstilladelsen sikre, at en række love og bekendtgørelser respekteres – herunder lov om vandplanlægning, naturbeskyttelsesloven, vandløbsloven, miljøbeskyttelsesloven og bekendtgørelse om spildevandstilladelser (i daglig tale: spildevandsbekendtgørelsen). I arbejdet med udledningstilladelser er spildevandsbekendtgørelsen under miljøbeskyttelsesloven

Figur 1.1: Et vådt regnvandsbassin i Vorrevangen, Aarhus.

central, dertil tilskrives lov om vandplanlægning en vis betydning i relation til de fastlagte miljømål implementeret i forlængelse af EUs vandrammedirektiv. Myndighedernes administrationspraksis har gennem en årrække fokuseret på den hydrauliske kapacitet i det modtagende vandløb. Dette fokus er opstået ud fra følgende tekst i spildevandsvejledningen, der til stadighed diskuteres, hvorledes skal efterleves [Miljøstyrelsen, 2018, afs. 3.2.1]:

"*Kommunalbestyrelsen sikrer, at udledninger af spildevand, herunder tag- og overfladevand til vandløb, sker på en sådan måde, at vandet kan afledes videre i vandløbet uden gener for omboende ved vandløbet eller gener for dyre- og plantelivet, dvs. at vandløbets hydrauliske kapacitet respekteres.*"

Kommunernes centrale værktøj, i relation til at skulle efterleve spildevandsvejledningens ordlyd, findes i de, i udledningstilladelsen, fremsatte vilkår.

Udledningstilladelsen

En arbejdsgrupppe under Spildevandskomiteens (SVK) Faglige Udvalg har undersøgt 37 udledningstilladelser fra mere end 20 kommuner, udstedt i perioden 2014-2018, og konstateret en varierende forvaltningspraksis kommunerne imellem. Størstedelen af de undersøgte tilladelser gives med specifikke krav til udledningens størrelse og bekræfter dermed det hydrauliske fokus i administrationspraksissen. I relation til rensning af regnvandet konstateres det, at våde regnvandsbassiner er den hyppigste anvendte rensemetode, hvilket anses for BAT (Best Available Technology), såfremt bassinerne dimensioneres efter Faktablad om dimensionering af våde regnvandsbassiner [Vollertsen et al., 2012b]. Selvom der ofte stilles krav til rensemetode, konkluderes det samtidigt, at der kun i meget få tilfælde stilles koncentrations- og/eller rensekrav dvs. specifikke krav til vandkvaliteten af det udledte vand. [Thomsen et al., 2020]

Det manglende fokus på selve vandkvaliteten af det tilbageholdte vand og efterfølgende i det modtagende vandområde fremstår påfaldende, når det sættes op imod kravet om *god økologisk tilstand* i europæiske vandløb som fastsat i EUs vandrammedirektiv. Vandramme-

direktivet er implementeret i dansk lovgivning igennem lov om vandplanlægning, der skal sikre en forbedring af vandmiljøet og i visse tilfælde stoppe en forværring af den økologiske tilstand. Kommunerne skal altså med udledningstilladelsen ikke alene sikre at vandløbenes hydrauliske kapacitet respekteres, men også at udledningen ikke på anden vis negativt påvirker recipientens økologiske tilstand.

Vandkvalitet og vandløbsøkologi

I en litteraturgennemgang af Walsh et al. [2005] fremhæves det, at vandløbsøkologi påvirkes negativt af urbanisering i takt med ændrede mønstre i udledninger til vandløbet. Hydrologien ændres, tilførslen af næringssalte og miljøfremmede stoffer til vandløbene øges, ligesom vandtemperaturen forhøjes. Der er enighed om, at temperatur er definerende for artssammensætningen i de akvatiske habitater, ligesom temperaturen påvirker vandets iltmætning såvel som biologiske og kemiske processer [Caissie, 2006; Abdi og Endreny, 2019; Gooseff et al., 2005; Pedersen og Sand-Jensen, 2005]. Høje saltkoncentrationer, foranlediget af blandt andet glatførebekæmpelse af veje, nævnes også som en biologisk stressfaktor for vandløbsøkologien [Cañedo-Argüelles et al., 2013].

Et dansk studie konstaterer en sammenhæng mellem oplandskarakteristikken og den økologiske vandløbstilstand på baggrund af DVFI (Dansk Vandløbs Fauna Indeks) og DFI (Dansk Fysisk Indeks), hvor landbrugsarealer og urbane områder har en negativ indflydelse på vandløbene som akvatisk habitat. Dertil konkluderes det, at separatkloakerede urbane oplande i mindre grad end de fælleskloakerede påvirker vandløbenes flora og fauna (målt i DFI og DVFI). [Karlsen et al., 2019] Et andet dansk studie konkluderer, at regnvandsbassiner er positive tiltag i forhold til at mindske påvirkningen i recipienten, men at biodiversiteten nedstrøms bassinudledningen dog reduceres [Koziel et al., 2019]. I et nordamerikansk studie peges der specifikt på temperaturstigninger i regnvandsbassiner som årsag til forringede levevilkår for sensitive arter med levested i recipienten [Herb et al., 2009]. DANVA beskriver ligeledes i deres seneste designguide for regnvandsbassiner, hvordan kvaliteten af regnvandet forværres i de våde regnvandsbassiner [DANVA, 2018, afs. 16.3]:

> "*Lang opholdstid i bassiner vil især i årets varme måneder betyde at vandtemperaturen stiger væsentlig med deraf følgende dårlig vandkvalitet – begge dele vil påvirke recipienten negativt.*"

Fra flere retninger peges der på, at udledninger fra regnvandsbassiner kan påvirke vandløbene negativt, men samtidig er det ikke velbelyst, hvordan denne *dårlige vandkvalitet* i regnvandsbassiner kvantitativt præger vandkvaliteten i vandløbene. I to uafhængige danske studier måles vandkvalitetsparametrene opløst ilt, pH og temperatur i regnvandsbassiner, men ikke med det formål at relatere disse målinger direkte til recipientpåvirkninger [Wium-Andersen et al., 2013; Sønderup et al., 2016]. Andre både danske og udenlandske studier undersøger faktorer, der påvirker vandtemperaturen i vandløb til skade for den eksisterende flora og fauna, men ikke specifikt effekten af udledninger fra regnvandsbassiner [Pedersen og Sand-Jensen, 2005; Gooseff et al., 2005; Abdi og Endreny, 2019].

1.1 Formål

Det må således konstateres, at der mangler viden om i hvilke situationer, med hvilken hyppighed og i hvor høj grad udledninger af overfaldevand fra våde regnvandsbassiner påvirker vandkvaliteten i de modtagende vandløb. Projektet har derfor haft til formål at undersøge en række vandkvalitetsparametre i vandløb, i relation til udledning fra våde regnvandsbassiner, med afsæt i følgende problemformulering:

Giver udledning af overfladevand fra våde regnvandsbassiner
anledning til bekymring for vandkvaliteten i det modtagende vandløb?

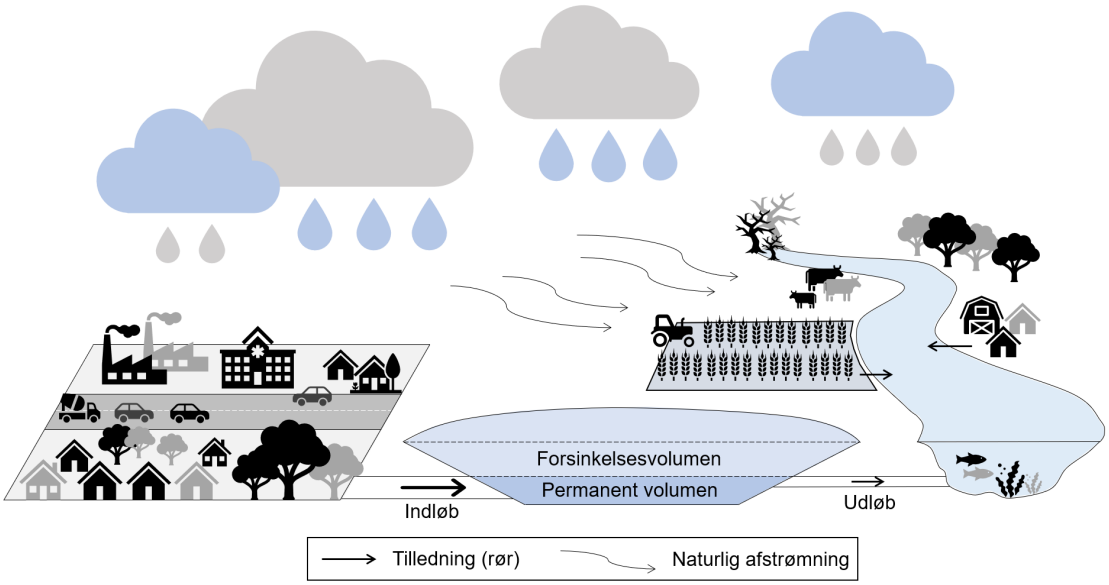
Arbejdet med problemformuleringen har været afgrænset til at omhandle monitering af vandkvalitetsparametrene temperatur, opløst ilt, pH og ledningsevne, og hvordan disse kvantitativt påvirkes i et modtagende vandløb nedstrøms et regnvandsbassins udledningspunkt. Det vil sige, at eventuelle påvirkninger i det modtagende vandløb skabt af forurenende eller miljøfremmede stoffer fra et regnvandsbassin ikke er undersøgt i dette projekt, ligesom mulige hydrauliske belastninger forårsaget af en udledning fra et vådt regnvandsbassin ikke belyses.

Udgangspunktet for arbejdet med problemformuleringen har været en projektlokalitet, hvor et vandløb modtager overfladevand fra et vådt regnvandsbassin. På projektlokaliteten er opsat et måleprogram, der, primært i løbet af projektperioden, har moniteret de omtalte vandkvalitetsparametre. På baggrund af behandling og analyse af målingerne er problemformuleringen belyst, hvor det især har været interessant i hvilke situationer og i hvilket omfang det modtagende vandløb påvirkes af udledninger fra regnvandsbassinet.

For udvalgte parametre er der foretaget massebalanceberegninger, der i samspil med resultaterne fra måleprogrammet, har været medvirkende til at kunne udpege situationer, hvor udledninger fra bassinet har indflydelse på vandkvaliteten i det modtagende vandløb. Eftersom der til projektet kun var temperaturmålinger tilgængelige for knap et år, har datagrundlaget for sin vis været begrænset. Der er derfor opsat enkelte scenarieanalyser, der henholdsvis forsøger at vurdere den temperaturmæssige betydning af et udledningspunkt tættere på vandløbets udspring samt en iscenesættelse af et overløb ved nuværende udledningspunkt.

2 Systemanalyse

Som baggrund for arbejdet med at kvantificere den formodede påvirkning udledninger fra våde regnvandsbassiner har på det modtagende vandløb, må det gøres klart, hvilket system, der betragtes; en systemanalyse kan bl.a. ligge til grund for udarbejdelsen af et måleprogram såvel som at identificere årsagssammenhænge. Overordnet set, er der tale om et hydraulisk system, hvor vandet følges på dets vej fra det falder som nedbør, til det når et eller flere vandløb – figur 2.1 viser det principielle system, der er omdrejningspunkt i dette projekt.



Figur 2.1: Principielt system for afledning af regnvand i byen og på landet. Fra byen afledes vandet gennem et regnvandsbassin med et permanent vådt volumen.

Som udgangspunkt falder den samme regn i både byen og på landet, men den videre transport af vandet er forskellig afhængig af overfladen, den falder på – havde Danmark været ubeboet og landskabet uden antropogen påvirkning, da ville regnen afstrømme naturligt i et relativt roligt tempo på jordoverfladen og igennem jordmatricen inden udløb til vandløb eller hav. Men med bebyggelse og befæstelse skabes overflader, hvor vandet ikke nedsiver, og hvor afstrømningen sker hastigt både på overflader og i det koblede kloaksystem. I den forbindelse vil der være tale om *uforsinkede* udledninger af urbant regnvand såfremt det ledes direkte fra kloakken til vandløbet. Men som beskrevet i kapitel 1 er det efterhånden almindelig praksis at anlægge våde regnvandsbassiner i forbindelse med separatkloakeringer i byer. Udover de indirekte udledninger fra våde regnvandsbassiner og direkte (uforsinkede) udledninger af urbant overfladevand modtager danske vandløb som oftest også drænvand, der tilledes fra jorder i omdrift og/eller fra den spredte bebyggelse i oplandet, som illustreret på figur 2.1. De kemiske og fysiske egenskaber overfladevandet har, når det når vandløbet

(eller en anden recipient), defineres af bl.a. de overflader, vandet har været i kontakt med, samt transporttiden. Som det fremgår af figur 2.1, er by-landskabet forskelligt fra det mere åbne land, dog må der begge steder siges at forekomme kilder til forurening, eksempelvis industri, veje/trafik, husdyrhold, gødning og sprøjtning osv.

Våde regnvandsbassiner

De våde regnvandsbassiners funktion er todelt, hvilket overordnet set kan attribueres til de to volumener, disse har: permanent volumen og forsinkelsesvolumen. Størrelsen af ind- og udløb til og fra et regnvandsbassin er forskellige for at reducere den hydrauliske belastning af recipienten. Denne opbygning med et indløb, der på sit højeste er større end udløbet til en hvilken som helst tid, er dét, der skaber en opmagasinering af vand i bassinet, hvor forsinkelsesvolumenet udnyttes – se evt. figur 2.1. Det permanent våde volumen udgør den anden del af funktionen af våde regnvandsbassiner, hvor der jf. Faktablad om dimensionering af våde regnvandsbassiner forventes mellem 70-90 % rensegrad af partikulære stoffer som eksempelvis fosfor, kvælstof, zink og kobber såfremt bassinet er dimensioneret efter forskrifterne [Vollertsen et al., 2012b, tab. 2].

Udløbet fra et vådt regnvandsbassin kan være enten frit eller dykket. Ofte stiller vandløbsmyndigheden i udledningstilladelsen krav om dykkede udløb af hensyn til at forhindre udledning af olie, der naturligt vil lægge sig i vandoverfladen. Udløbet kan derfor i princippet bestå af blot en ledning, der drosler udledningen i kraft af dens dimensioner, men ofte anlægges bassiner med udløbsbrønde, hvori der monteres en vandbremse, der styrer udledningen fra bassinet således at udledningstilladelsens afløbstal efterleves.

Generelle betragtninger

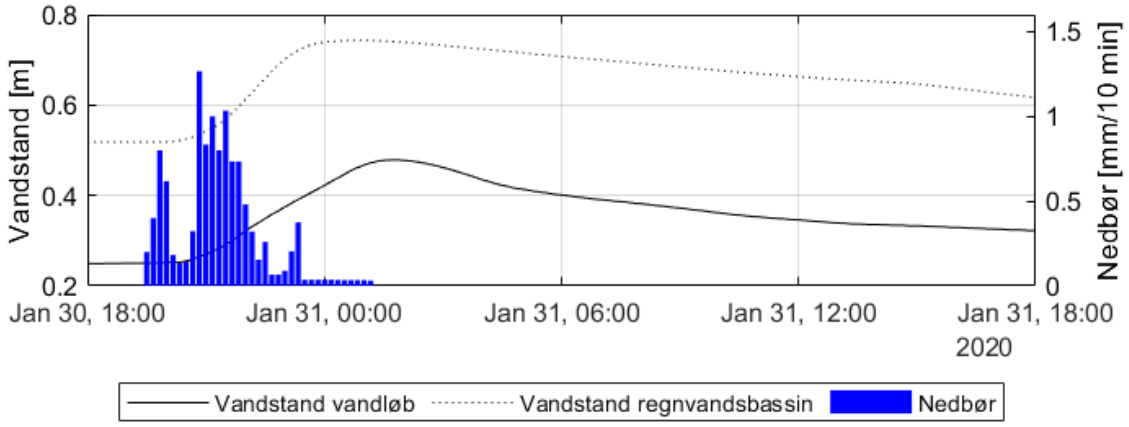
Som nævnt ovenfor danner systemforståelsen baggrund for, hvor og hvordan der skal måles for at kunne kvantificere våde regnvandsbassiners indflydelse på recipienten. Ganske grundlæggende for systemet, der betragtes i figur 2.1, gælder en antagelse om *massebevarelse* – dvs. at den vandmasse, der udledes fra regnvandsbassinet, vil -idet den sammenblandes med den opstrøms vandmasse i vandløbet- resultere i en større men massebevaret vandføring nedstrøms udledningspunktet. Det er altså denne resulterende nedstrøms vandmasse og de egenskaber og den fysisk-kemiske sammensætning, den måtte have, der er omdrejningspunktet og bekymringen i relation til de våde regnvandsbassiners udledninger.

Bekymringen er muligvis ikke ubegrundet, da der i et dansk studie fra 2019 observeres en reduceret biodiversitet nedstrøms udledningspunkter fra regnvandsbassiner som præsenteret i kapitel 1 [Koziel et al., 2019]. Som det fremgår af figur 2.1, er regnvandsbassiner og vandløb to forskellige hydrauliske systemer, der dog er forbundet ved en envejs udledning, hvor bassinet altså ifølge det omtalte studie påvirker vandløbet i en negativ retning. Grundlæggende er vandkvaliteten i både bassin og vandløb styret af og defineret af interaktionen mellem både hydrauliske og fysisk-kemiske mekanismer, som eks. termodynamik og biokemiske processer, men da de to systemers hydrauliske egenskaber, oplande, geometri og omgivelser er eller kan være forskellige, påvirkes og udvikles vandkvaliteten ikke nødvendigvis ens i de to adskilte vandmiljøer.

I det følgende fremgår betragtninger omkring hydrauliske, termodynamiske og kemiske aspekter af de to systemer: bassin og vandløb, og evt. forskelle forsøges identificeret og præsenteret. Analysen tager udgangspunkt i afgrænsningen beskrevet i afsnit 1.1, hvorfor systemet betragtes primært i relation til vandkvalitetsparametrene temperatur, opløst ilt, pH og ledningsevne.

2.1 Hydraulik

Vandløb og regnvandsbassiner er hydraulisk set forskellige. Regnvandsbassiner er anlagt som en hydraulisk forsinkelse af nedbør og en rensende foranstaltning i kraft af det permanent våde bassinvolumen. De våde regnvandsbassiner er karakteriseret ved stillestående vand og lang opholdstid, der er essentiel i relation til disses rensemetode. Figur 2.2 viser et eksempel på forskelle imellem en hydrograf fra et regnvandsbassin og et bynært vandløb under en regnhændelse. Her ses, hvordan vandstanden stiger kraftigt i regnvandsbassinet under regnhændelsen og derefter et gradvist faldende vandspejl kontrolleret af enten en vandbremse eller droslende ledning.



Figur 2.2: Eksempel på hydrografer for et regnvandsbassin og vandløb (opstrøms udledningspunktet) under en regnhændelse. Hydrograferne er vandstandsdata, der stammer fra et regnvandsbassin anlagt ved byen Voldum i Østjylland og recipienten, Revens Møllebæk. Nedbør er målt i Randers omkring 17 km nord for Voldum (SVK-målestation 5145).

Hydrografen afspejler en effektiv vandtransport i afløbssystemet efterfulgt af forsinkelse og tilbageholdelse af regnvand i bassinet. Vandløbets hydrograf responderer på nedbøren med lidt mere forsinkelse i oplandet sammenlignet med regnvandsbassinet, og vandstandens maksimum er forskudt ift. bassinets maksimale vandstand. Vandløbet er, som mange andre bynære vandløb, påvirket af uforsinkede regnvandstilløb, hvorfor nedbørshændelsen påvirker vandstanden i vandløbet relativt hurtigt. Efter regnhændelsen falder vandløbets hydrograf knæk-vist, hvilket afspejler at det modtager afstrømmende vand fra kilder med forskellig forsinkelse. Det antages, at responsen på nedbør, som den fremgår af hydrograferne i figur 2.2, er principiel for våde regnvandsbassiner med udledning til bynære vandløb.

Grundvand

Interaktionen med grundvand -eller mangel på samme- vil for både vandløb og bassin have indvirkning på opholdstiden. Våde bassiner er som udgangspunkt sikret mod nedsivning af regnvand og indsivning af grundvand gennem bassinbunden af hensyn til renseevnen, hvorfor grundvand ikke formodes at have indvirkning på opholdstiden. Modsat er der mere fri kontakt mellem vandløb og grundvand, hvilket i større eller mindre grad -afhængig af den stedsspecifikke geologi- er definerende for vandføringen og opholdstiden. Udover indvirkning på opholdstiden vil tilstrømmende grundvand også være med til at definere de fysisk-kemiske egenskaber af vandet.

Selvom vandløb, i modsætning til våde regnvandsbassiner, vil interagere frit med grundvandet, vil mange af disse være styret af nedbørsmængden, der falder i oplandet. Hvordan vandløbene responderer på nedbør afhænger i høj grad af afstrømningsmønstre i oplandet, hvor især jordbundsforhold (geologi), omfanget af dræning og punktudledninger, som f.eks. uforsinkede udledninger af overfladevand, spiller en rolle. Dog vil der i de fleste vandløb altid strømme vand, der skaber en løbende udskiftning af vandet, hvorfor opholdstiden generelt er kort set i forhold til et regnvandsbassin, hvor der principielt kun sker udskiftning af vandet i forbindelse med nedbør og perioden umiddelbart herefter.

2.2 Vandets termodynamik

Vandtemperaturen i de to hydraulisk forskellige systemer; vandløb og regnvandsbassin, er begge påvirket af temperaturen af det tilførte vand fra oplandet ligesom vejrforhold og omgivelser styrer, hvordan temperaturen ændrer sig i de to systemer. Vandet i vandløbene -fra udspring til udløb- såvel som vandet i regnvandsbassinerne indgår i en konstant varmeudveksling med omgivelserne, der er drevet af temperaturforskelle. Varme udveksles enten via varmeledning, varmekonvektion eller varmestråling. Varmen udveksles gennem vandløbs- eller bassinbunden, ved vandoverfladen, med omgivelserne -som f.eks. sten og planter- og også internt i vandet søges konstant en varmebalance. Ved vandoverfladen tilføres varme ved kortbølget indstråling fra solen, mens varme afgives ved langbølget udstråling i kolde perioder, hvorfor vandets eksponering for ind- og udstråling har betydning for temperaturudviklingen.

Temperatur i våde regnvandsbassiner

Regnvandsbassiner er typisk anlagt i åbne omgivelser og derfor fuldt eksponeret for varmeindstråling på solskinsdage og varmeudstråling i kolde perioder. Det stillestående vand i regnvandsbassinet vil akkumulere varme eller kulde, men døgnvariationer vil stadig karakterisere vandtemperaturen i bassinet, hvor der kan drages paralleller til temperaturudviklingen i småsøer [Martinsen et al., 2017]. Kontaktfladen med jordmatricen forventes at have en mindre betydning for temperaturudviklingen i regnvandsbassinerne, hvorfor vejrlig og vandvolumets størrelse og dermed evne til akkumulere varme eller kulde vil være afgørende for, hvorledes temperaturen i bassinet udvikler sig henover et døgn eller en sæson. Vandet er stillestående i bassinet, hvorfor varmeudveksling gennem konvektion forventes at være

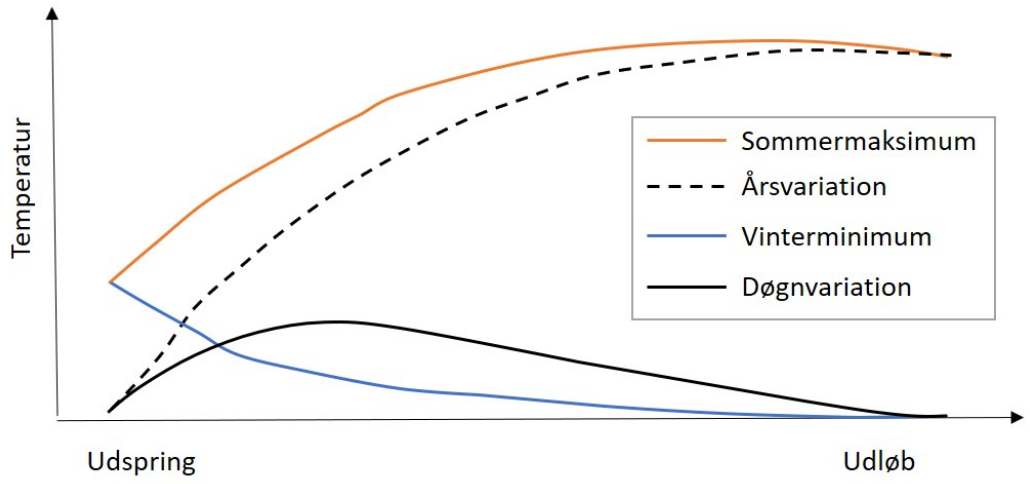
domineret af *fri* konvektion med undtagelse af perioder med megen vind, hvor det formodes, at *tvungen* konvektion ligeledes vil bidrage til varmeudvekslingen. Typiske termodynamiske faktorer for regnvandsbassiner er opsummeret i tabel 2.1.

Tabel 2.1: Typiske karakteristiske termodynamiske faktorer for hhv. våde regnvandsbassiner og vandløb.

Bassin	**Vandløb**
- Åbne omgivelser	- Variation i omgivelser
- Lang opholdstid og akkumulering af varme eller kulde i vandet	- Kort opholdstid og ingen akkumulering af varme eller kulde i vandet
- Ofte domineret af fri konvektion	- Ofte domineret af tvungen konvektion
	- Temperaturstabiliserende kontaktflade med vandløbsbund

Temperatur i vandløb

Vandløbene i sig selv er dynamiske systemer i mange henseender; også med hensyn til temperatursvingninger. Grundvandsfødte vandløb vil ved udspringet være karakteriseret ved en stabil vandtemperatur grundet tilførslen af grundvand. Nedstrøms kildeområdet vil vandtemperaturen variere henover døgnet, ligesom vandtemperaturvariationer er styret af årstiden. Temperaturvariationer fra udspring til udløb i et idealvandløb er illustreret i figur 2.3. Ved idealvandløbets udløb ses en stabil vandtemperatur på døgnbasis, der skyldes, at vandmængden her er større, hvilket har en dæmpende effekt på de daglige temperatursvigninger.



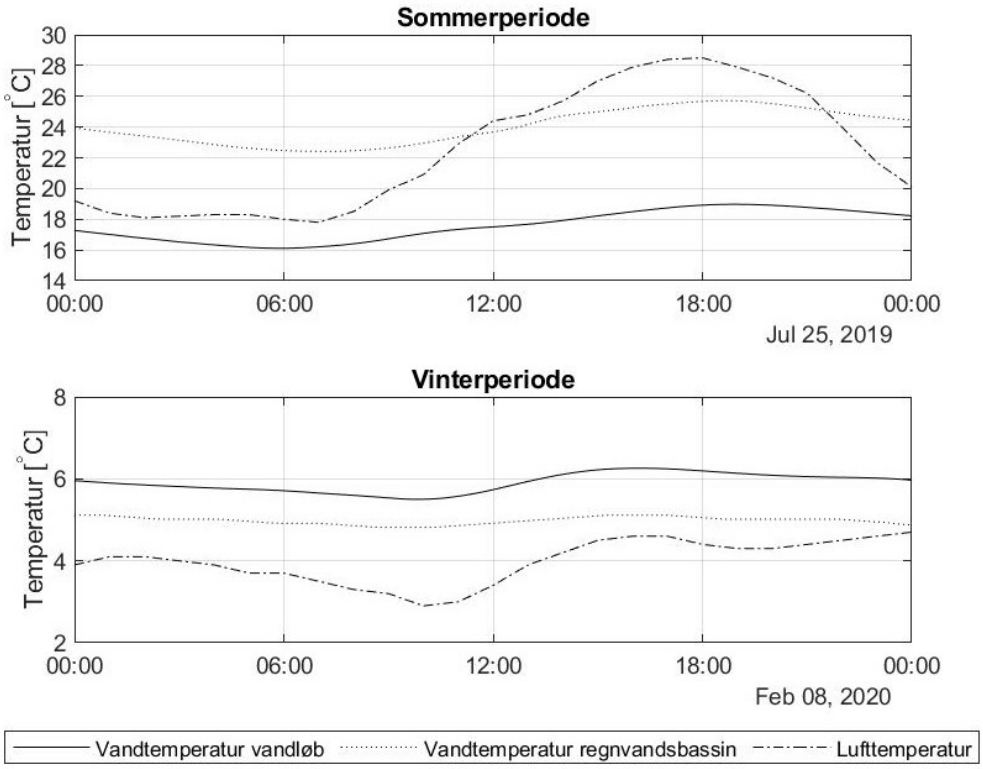
Figur 2.3: Temperaturvariationer i idealvandløb efter Sand-Jensen og Lindegaard [2004, fig. 4.12].

Vandløb er modsat regnvandsbassiner karakteriseret ved strømmende vand, der kontinuert udskiftes, hvorfor vandets opholdstid i vandløbet er betragteligt kortere. Grundet det strømmende vand, er den konvektive varmeudveksling i vandløbet overvejende *tvungen*.

Vandløbenes omgivelser er varierede, hvilket har betydning for eksponeringen for ind- og udstråling, der kan resultere i stedvise temperaturvariationer. Vandløbenes kontaktflade med jordmatricen kan i perioder have en temperaturstabiliserende effekt i forhold til varmt og koldt vejr. I vinteren betyder det, at jorden afgiver varme til vandet i vandløbet, mens jorden modsat virker kølende i sommermånederne. Typiske termodynamiske faktorer for vandløb er opsummeret i tabel 2.1.

Temperaturobservationer i regnvandsbassiner og vandløb

Jævnfør figur 2.3 svinger vandtemperaturen i vandløb i takt med årstiderne styret af de klimatiske forhold, hvor vandtemperaturen er koldest i vinterperioden og varmest i sommerperioden. Dette gør sig også gældende for regnvandsbassiner. Af hydrometri.dk fremgår temperaturmålinger foretaget i en række våde regnvandsbassiner i sammenhæng med recipienten: stationerne 27.23, 27.26, 27.24, 27.25, 32.26, 32.27, 21.157 og 21.158 [Orbicon, 2020]. Målingerne fra disse stationer viser, at vandtemperaturen i regnvandsbassiner generelt bliver højere i sommerperioden end i de modtagende vandløb, mens vandtemperaturen er mere ensartet eller lavere i regnvandsbassinerne henover vinteren sammenlignet med vandløbet. Et eksempel på disse observationer er præsenteret i figur 2.4, hvor vandtemperaturen i et regnvandsbassin og i det modtagende vandløb er vist sammen med lufttemperaturen.



Figur 2.4: Eksempel på temperaturmålinger i sommer- og vinterperiode i et vådt regnvandsbassin og modtagende vandløb. Vandtemperaturen i regnvandsbassinet er varmere i sommerperioden og koldere i vinterperioden end i det modtagende vandløb. Målingerne stammer fra et bassin i Voldum (21.158, hydrometri.dk) i Østjylland og det modtagende vandløb opstrøms udledningen.

Det ses, hvordan døgnsvigningerne i lufttemperaturen forplanter sig i vandtemperaturen, dog med dæmpninger styret af de termodynamiske faktorer, der karakteriserer hhv. et vandløb og et regnvandsbassin (som præsenteret i tabel 2.1). Vandtemperaturen varierer med større daglige amplituder i sommeren end i vinterperioden, hvilket antyder at lufttemperaturen og varmeindstrålingen er vigtige komponenter i vandets varmebalance.

2.3 Vandets kemi

Vandets kemi i henholdsvis regnvandsbassin og vandløb opstår som resultat af mange fysisk-kemiske processer, hvor de føromtalte hydrauliske og termodynamiske mekanismer sammen med bl.a. tilførsel af forurenende og miljøfremmede stoffer, organisk materiale og næringssalte fra oplandet definerer vandkvaliteten. I hvilket omfang vandløbene og regnvandsbassinerne tilføres forurenende og miljøfremmede stoffer, organisk materiale og næringssalte afhænger af, hvordan oplandet er karakteriseret, se evt. figur 2.1. Den kemiske og biokemiske påvirkning -i mange tilfælde belastning- skabt af opløste eller partikulære stoffer transporteret til vandløbene, er styret af, om oplandet f.eks. er præget af naturområder, intensiv landbrug eller bymæssig bebyggelse, hvor overløb fra fælleskloak og udledninger af bl.a. renset spildevand kan være definerende for vandkvaliteten. Oplandet til regnvandsbassinerne er typisk bymæssig bebyggelse, hvor faktorer som f.eks. trafik, industri og tætheden af bebyggelsen er afgørende for mængden og sammensætningen af stof tilført regnvandsbassinerne via de separerede kloaksystemer.

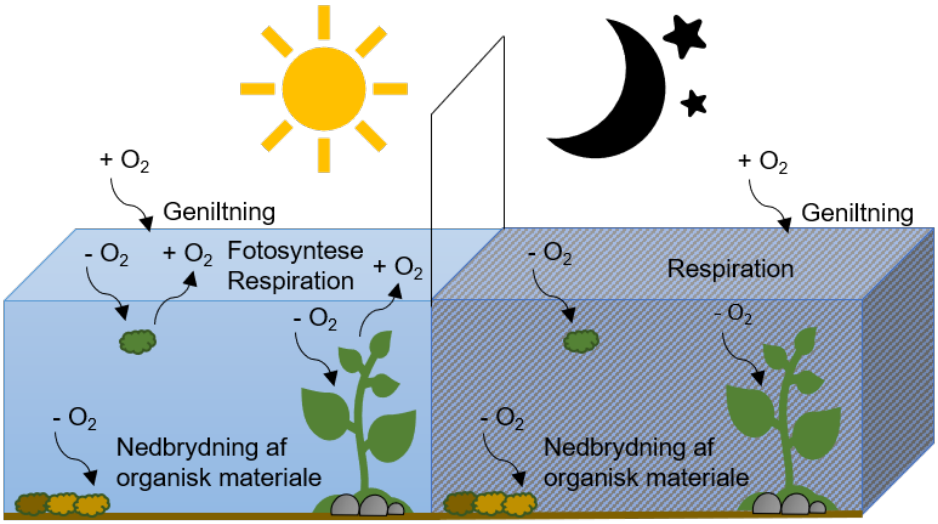
Opløste salte og ledningsevne

En måde, hvorpå mængden af opløste salte kan kvantificeres, er ved at måle vandets ledningsevne. Ferskvand i vandløb vil ideelt set have en ledningsevne i intervallet 150-500 μS/cm, hvorfor målinger med højere værdier end dette, kan være en indikation på en forurening med salte [Behar, 1996]. En forhøjet ledningsevne i både regnvandsbassin og vandløb kan således bruges til at udpege vandkvalitetsmæssige udfordringer. Uddybende undersøgelser af de specifikke salte kan derefter medvirke til at identificere konkrete årsager til forureningen som eksempelvis brug af vejsalte i forbindelse med glatførebekæmpelse i byer eller væsentlig berigelse med næringssalte fra oplandet.

Opløst ilt og pH

Koncentrationen af opløst ilt i et vandmiljø er til dels styret af vandtemperaturen, hvor koldt vand kan indeholde mere ilt end varmt – dog er iltindholdet overordnet set et produkt af de ilttilførende og iltforbrugende processer. Ilt tilføres vand via fotosyntese eller gennem geniltning ved vandoverfladen, mens forbruget af ilt sker ved både dyr, planter og algers respiration samt ved bakteriel nedbrydning af dødt organisk materiale. Koncentrationen af opløst ilt i vandet falder typisk i løbet af natten, når den fotosyntetiske aktivitet ophører, mens respiration og nedbrydning vedbliver – dette er illustreret på figur 2.5. I sunde økosystemer vil der være balance mellem iltforbrugende og ilttilførende processer, hvilket skaber gode forhold for planter, fisk og smådyr. En næringsstofberigelse af vandmiljøet resulterer

i en ubalance, hvor de iltforbrugende processer kan blive dominerende. En acceleration i produktionen af biomasse, grundet store mængder næringssalte tilført vandmiljøet, kræver ilt til respiration og senere nedbrydning af biomasse, der resulterer i lave iltkoncentrationer i vandmiljøet og i yderste konsekvens iltsvind. Af tabel 2.2 fremgår typiske forskelle mellem vandløb og regnvandsbassiner, der kan have betydning for iltkoncentrationen og dermed vandkvaliteten i de to adskilte vandmiljøer.



Figur 2.5: Principskitse for koncentration af opløst ilt dag og nat i et vandmiljø.

Tabel 2.2: Faktorer der påvirker iltkoncentrationen i henholdsvis regnvandsbassin og vandløb.

Bassin	**Vandløb**
- Stilledestående vand og begrænset geniltning	- Strømmende vand og geniltning
- Lang opholdstid, tilbageholdelse og akkumulering af næringssalte og organisk materiale	- Kort opholdstid, transport og eksport af næringssalte samt organisk materiale

Produktionen af biomasse påvirker, udover koncentrationen af opløst ilt, også vandets surhedsgrad udtrykt ved vandets pH, idet CO_2 og dermed kulsyre fjernes fra vandfasen under fotosyntese med det resultat, at surhedsgraden reduceres (pH stiger). pH-værdien er samtidig styret af vandets bufferkapacitet, dvs. vandets evne til at regulere og neutralisere forsuring vha. hydrogenkarbonat-ioner, HCO_3^-. Denne bufferkapacitet kan være meget forskellig vandløbene og regnvandsbassinerne imellem, da vandløbene kan have relativ stor tilstrømning af grundvand, der kan have en god bufferkapacitet, mens overfladevandet, der ledes til regnvandsbassinerne, som udgangspunkt ikke er bufferet [Sand-Jensen og Lindegaard, 2004, s. 26 og tab. 2.1].

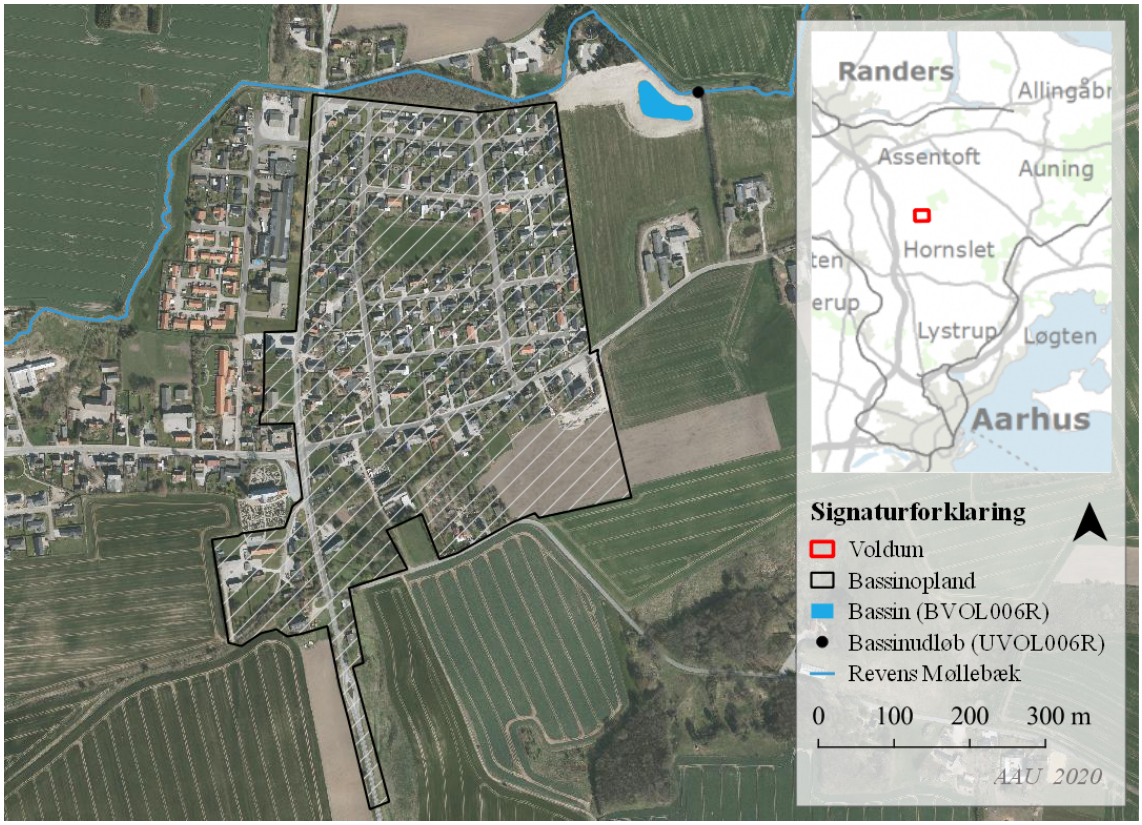
3 Projektlokalitet

I det foregående kapitel blev det principielle system for afledning af regnvand præsenteret (figur 2.1). Det omtalte system forventes i danske sammenhænge at være repræsentativt for mange byers håndtering af regnvand ligesom drænede landbrugsjorder er almindeligt udbredt i Danmark, hvor knap 60 % af landets areal er i omdrift [Levin og Normander, 2008, afs. 2.2]. For at kunne undersøge påvirkningen af vandkvaliteten i et vandløb nedstrøms udledningspunktet fra et vådt regnvandsbassin, er der i forbindelse med dette projekt moniteret en række vandkvalitetsparametre i et sådan system siden foråret 2019.

Projektlokaliteten er beliggende i Favrskov Kommune i byen Voldum, sydøst for Randers – se figur 3.1. Af figuren fremgår Voldum by og et vådt regnvandsbassin, der er placeret nordøst lige udenfor byen – bassinet blev etableret i løbet af 2018 og taget i brug i november samme år. Regnvandsbassinet har et total og reduceret opland på hhv. 25,15 og 6,3 ha samt et total magasinvolumen på 2.950 m^3. Favrskov Kommune har tilladt et maksimalt udløbsflow på 17 l/s, hvoraf de 9 l/s er givet til udledning fra eksisterende drænledninger, der i mange år har været tilkoblet kloakken. Udledningen fra det separatkloakerede opland er derved fastsat til maksimalt 8 l/s, svarende til 0,3 l/s per total ha, der på baggrund af vandføringsdata fra Alling Å (beliggende mellem Voldum og Randers, med udløb i Randers Fjord) er vurderet at svare til naturlig afstrømning i form af en års-medianmaksimum. [Favrskov Kommune, 2018] De præsenterede nøgletal fra udledningstilladelsen fremgår desuden af tabel 3.1. Drosling og udledning af det opmagasinerede regnvand sker gennem en udløbsbrønd, hvor der er monteret en centrifugalbremse fra virksomheden Mosbaek. Fra udløbsbrønden sker udledningen gennem et rør af dimension Ø250 mm.

Tabel 3.1: Nøgletal fra udledningstilladelsen for regnvandsbassin BVOL006R [Favrskov Kommune, 2018].

Parameter	**Tal**
Opland til bassin, total	25,15 ha
Opland til bassin, reduceret	6,3 ha
Afløbskoefficient, ϕ	0,25
Overfladeareal v/ maks. vandspejl	3.084 m^2 (ca. 0,3 ha)
Permanent volumen	1.300 m^3
Opmagasineringsvolumen	1.650 m^3
Udløb	0,3 l/s/ha.total
Udløbsflow, maks.	17 l/s (opland: 8 l/s + dræn: 9 l/s)



Figur 3.1: Oversigt over Voldum by inklusiv kloakopland til bassin og recipienten Revens Møllebæk. Opland efter Favrskov Kommunes spildevandsplan og udledningstilladelse [Favrskov Kommune og Favrskov Forsyning, 2013; Favrskov Kommune, 2018].

Revens Møllebæk

Det modtagende vandløb, Revens Møllebæk, er et mindre vandløb, der senest er opmålt i november 2015 til 4.327 m. Den har sit udspring vest for Voldum og løber ud i Skader Å nordøst for byen. Revens Møllebæk kan karakteriseres som et type 1-vandløb med en typisk vandspejlsbredde på omkring 1-2 m og et relativt lille opland på ca. 8,36 km^2 ved udløbet i Skader Å (7,61 km^2 ved bassinudløb), se evt. figur A.1 i bilag A hvoraf oplandene fremgår. Hældningen på vandløbet varierer fra et gennemsnitligt bundkotefald på ca. 2,9 promille mellem station 0 og 2.462 (underføring Clausholmvej) til et anseligt fald på ca. 8,7 promille for den resterende del af vandløbet (station 2.462 til 4.327) – et længdeprofil af vandløbet fra opmålingen i 2015 fremgår af figur A.2. På baggrund af afstrømningsdata fra en målestation i Alling Å (Ny Rævebro, nr. 21.52), hvis opland inkluderer Revens Møllebæk, forventes det, at vandføringen i Revens Møllebæk vil være i størrelsesordenen 7 l/s/km^2 for en årsmiddel, 2,5 l/s/km^2 for medianminimum og omkring 30 l/s/km^2 for medianmaksimum, idet det er de omtrentlige værdier observeret i Alling Å [Ovesen et al., 2000; EnviDan A/S, 2019].

Omgivelserne til Revens Møllebæk er hovedsageligt karakteriseret ved omdriftsjord; ved en simpel opgørelse af arealanvendelsen i det 8,36 km^2 store opland er det vurderet, at ca. 82 % er *landbrug*. Den resterende del af oplandet udgøres af *bebygget og befæstet areal*, *skov* og *beskyttet natur* (eng, mose, overdrev, søer og vandløb) – fordeling som angivet i tabel

3.2. I bilag A, figur A.3 er markeret de forskellige arealtyper indenfor oplandet. Oplandet i umiddelbar nærhed af vandløbet de første 1.300 m er præget af omdriftsjord, mens de næste ca. 2 km (fra st. 1.300 til 3.350) løber bynært med Voldum mod syd og omdriftsjorder mod nord. Den sidste del af Revens Møllebæk løber gennem den sydligste del af Mygind skov (st. 3.350 til 4.327).

Tabel 3.2: Arealanvendelse i oplandet til Revens Møllebæk. Anvendelse opgjort på baggrund af kortlag fra GeoDanmark (FOT) og Danmarks Miljøportal [Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering og Danske kommuner, 2020; Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2020a].

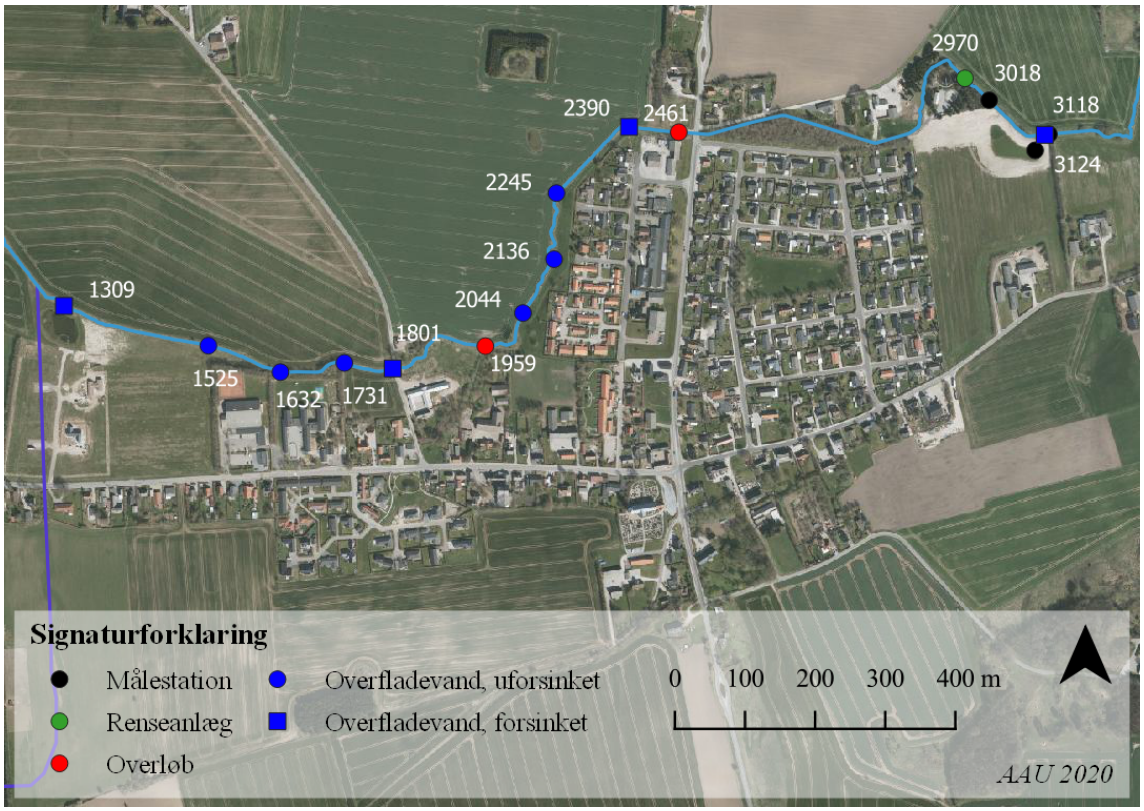
Arealtype	**Andel (%)**
Landbrug	82
Bebygget og befæstet areal	12
Skov	5
Beskyttet natur	1

På strækningen, hvor vandløbet løber bynært findes flere udledninger af både forsinket og uforsinket overfladevand til vandløbet, samtidig findes to overløbsbygværker fra den endnu fælleskloakerede del af byen samt et udløb med renset spildevand fra byens renseanlæg. Renseanlægget i Voldum er et mekanisk, biologisk og kemisk anlæg med fosforfjernelse godkendt til 2.540 PE, med en nuværende gennemsnitsbelastning på 1.600 PE [Favrskov Kommune og Favrskov Forsyning, 2013]. Figur 3.2 viser nuværende udledninger til Revens Møllebæk inkl. stationering (i bilag A figur A.4 fremgår et større kortudsnit).

Med den nylige separatkloakering i den østlige del af Voldum by (se evt. figur A.5 i bilag A hvoraf kloakoplande og udledninger fremgår) og oprettelsen af bassinet nordøst for byen (BVOL006R) nedlagdes både overløbsbygværker og flere daværende uforsinkede udledninger fra allerede separatkloakerede områder. Det har betydet, at der i dag udledes uforsinket og forsinket overfladevand fra hhv. seks og fire områder i oplandet – samtidig er antallet af overløbsbygværker reduceret fem til to. Udover udledninger fra kloakerede områder er der fra mange af de omkringliggende landbrugsjorder drænudløb til Revens Møllebæk.

Favrskov Kommune er i kraft af sit embede som vandløbsmyndighed forpligtet til at iværksætte tiltag for at sikre opfyldelsen af EUs vandrammedirektiv. Revens Møllebæk er et målsat vandløb, hvorfor der skal opnås *god økologisk tilstand* senest 22. december 2021. Vandløbet er jf. regulativet (fra 1993) fra st. 0 til 1.803 udpeget til gyde- og yngelopvækstområde for laksefisk, mens strækningen fra st. 1.803 til udløbet er målsat som karpefiskevand [Hadsten Kommune, 1993, afs. 2.1]. I arbejdet med at skabe bedre økologisk tilstand i vandløbene, er sløjfning af overløb fra fælleskloakerede områder en ofte anvendt indsats. I takt med at Voldum by separatkloakeres, nedlægges gamle overløbsbygværker, og nogle uforsinkede udløb af overfladevand fra separatkloakerede områder kobles på bassiner for at skabe forsinkelse og rensning – begge til gavn for den økologiske tilstand i Revens Møllebæk. Den samlede økologiske tilstand i vandløbet er baseret på vurderinger af tilstanden på forskellige parametre: smådyr, fisk, makrofytter, miljøfarlige forurenende stoffer (MFS), hvor det kræves, at alle parametre har opnået *god økologisk tilstand*. Status i hele Revens

Møllebæk jf. MiljøGIS er *moderat økologisk tilstand*, hvilket alene er vurderet på baggrund af parameteren *smådyr* (resterende parameter-tilstande er *ukendt*) [Miljøstyrelsen, 2016]. Udover krav om *god økologisk tilstand*, skal der ligeledes opnås *god kemisk tilstand* – status af den kemiske tilstand i Revens Møllebæk er ukendt.



Figur 3.2: Status udledninger til Revens Møllebæk fra kloakoplandet i Voldum inklusiv placering af faste målestationer. Numre angiver stationering i vandløbet. Udløb fra det omtalte bassin er i st. 3.118.

4 Måleprogram

Med udgangspunkt i systemet præsenteret i kapitel 2, figur 2.1, og projektlokaliteten i Voldum, introduceret i kapitel 3, er der foretaget kontinuerte målinger af forskellige vandkvalitetsparametre, der udgør den centrale del i kvantificeringen af regnvandsbassinets påvirkning i det modtagende vandløb, Revens Møllebæk. Data fra måleprogrammet kaster lys over hvor ofte, i hvilken grad og under hvilke omstændigheder vandkvaliteten i Revens Møllebæk påvirkes af regnvandet fra bassinet i løbet af måleperioden. På projektlokaliteten måles vandstand, vandtemperatur, vandets indhold af opløst ilt, pH og ledningsevne både i regnvandsbassinet og i vandløbet.

Måleudstyrets specifikationer, måleperiode, placering og montering er uddybet i bilag B. De fleste loggere måler med en frekvens på 10 minutter, med undtagelse af to temperatur- og vandstandsloggere, der har en målefrekvens på 1 minut. Placeringen af måleudstyret opsat i eller i umiddelbar nærhed af regnvandsbassinets udløb fremgår af figur 4.1. Loggerne er placeret med øje for, at der kan opstilles massebalancer for eksempelvis temperatur, der kan understøtte målingerne.

Figur 4.1: Placering af måleudstyr i og omkring regnvandsbassin.

Vandtemperaturen måles i projektperioden med temperaturmålere fra to forskellige producenter: OTT HydroMet og Onset HOBO. Ved de faste målestationer 100 m opstrøms og 6 m nedstrøms bassinudløbet samt i regnvandsbassinet (markeret med sort cirkel på figur 4.1), er temperaturloggeren en integreret del af de monterede OTT-vandstandsloggere. Vandstanden og temperaturen målt ved den faste målestation i regnvandsbassinet (station 21.158) og nedstrøms udledningspunktet (station 21.157) kan følges online på hydrometri.dk [Orbicon, 2020]. Udover de faste målestationer er en række loggere af typen HOBO TidbiT, der alene måler vandtemperatur, monteret ned gennem Revens Møllebæk fra omkring st. 134 til st. 4.308 kort før udløbet i Skader Å. Billeder af monterede TidbiT-loggere fremgår af figur B.2 og B.3 i bilag B. Sidstnævnte opsætning af temperaturloggere er benyttet både for at dokumentere eventuelle temperaturændringer i Revens Møllebæk skabt af regnvandsbassinet, men også for at undersøge øvrige temperaturvariationer i vandløbet.

Målinger af opløst ilt, pH og ledningsevne foretages i samme punkt både i bassinet og nedstrøms udledningspunktet i Revens Møllebæk. Det ene sæt loggere er placeret i regnvandsbassinet fastgjort til bøjer, se figur 4.2, dvs. at målinger foretages umiddelbart under vandoverfladen. Denne placering er valgt, da målinger af variationer og den formodede forringelse af vandkvaliteten i regnvandsbassinet er vigtig i kvantificeringen af den påvirkning, udledningen fra bassinet kan have på vandkvaliteten i Revens Møllebæk.

Figur 4.2: Montering af loggere i bassin. Ilt-, pH- og ledningsevnelogger på bøjer fastgjort til et tovtræk.

Figur 4.3: Montering af loggere i vandløbet. Ilt- pH- og ledningsevnelogger fastgjort til plade af plast, monteret med pløkker i vandløbsbunden og sikret med en line.

Nedstrøms udledningspunktet er det andet sæt loggere monteret på en plade og fastgjort i vandløbsbunden, se figur 4.3. Målinger herfra kan sammenlignes med målingerne i regnvandsbassinet, og understøtte kvantificeringen af påvirkningen. Dette sæt loggere er placeret både på baggrund af en betragtning af blandingszonens udbredelse, men også praktiske hensyn har været en del af vurderingen. Loggerne skal altid være dækket af vand, ligesom vandløbsbunden stedvis er meget stenet, hvor det ikke har været muligt at fastgøre måleudstyret. Denne midlertidige målestation er placeret omkring 23 meter fra udledningspunktet.

Måleprogrammet kræver løbende vedligehold, da tilsmudsning af sensorer og ophobning af grøde, grene, blade mv. kan forstyrre målingerne. Måleudstyret er i projektperioden forsøgt tilset en gang i ugen, og om muligt er kalibrering af pH-loggerne gentaget. Dataserierne, med de målte parametre: temperatur, ilt, pH og ledningsevne, er vedlagt projektet elektronisk, se bilag H.

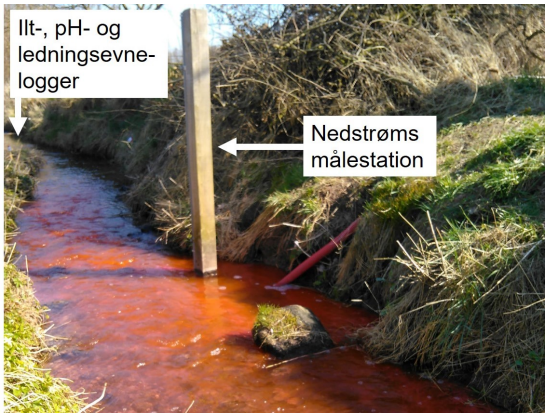
4.1 Visuelle forsøg med rhodamin

I relation til måleudstyrets placering, og ønsket om at kunne opstille massebalancer på baggrund af målte vandføringer og eksempelvis temperatur, er blandingszonens udstrækning nedstrøms udledningspunktet fra bassinet undersøgt under forskellige blandingsforhold. Ved brug af simple massebalancer antages fuld opblanding, hvorfor der i målepunktet ideelt set også skal være fuld opblanding, hvis en fuldkommen sammenligning mellem beregnede og målte værdier skal kunne foretages. Som beskrevet ovenfor er der nedstrøms udledningspunktet fra bassinet en fast målestation (6 m) og en midlertidig målestation (23 m). Til vurdering af opblandingen ved disse målestationer under forskellige blandingsforhold blev der udført to visuelle forsøg med farvestoffet rhodamin, der hældtes i udløbsbrønden henholdsvis den 6. april kl. 14:00 og 17. maj kl. 11:00, 2020.

Under forsøget den 6. april var vandføringen ud af bassinet 15 l/s, mens der samtidigt strømmede ca. 17 l/s i vandløbet opstrøms udledningen. Figur 4.4 viser opblandingen lige omkring udledningspunktet, hvor det ses, at udledningen under disse strømningsforhold nærmest momentant blandes fuldt ud med vandmassen i vandløbet. Figur 4.5 afbilder opblandingen længere nedstrøms ved den faste målestation, hvor der stadig observeres fuld opblanding men samtidig fornemmes det, at der forekommer mere stillestående vand i umiddelbar nærhed af den faste målestation. Ved den midlertidige målestation, hvor der måles ilt, pH og ledningsevne, blev det observeret, at vandmasserne var fuldt opblandede. Blandingsforholdet denne dag kan ikke karakteriseres som almindeligt forekommende, da der var tale om en fremtvunget stor udledning fra bassinet i kombination med en relativt lav vandføring i vandløbet.

I modsætning var forsøget den 17. maj under strømningsforhold, der fremstår mere naturlige. Udledningen fra bassinet var denne dag 0,3 l/s, mens der i vandløbet strømmede 16 l/s. Under disse forhold blandes vandet omkring udledningspunktet i ringe grad og bevæger sig i stedet rimeligt afgrænset langs den højre brink, se figur 4.6. Ved den faste målestation nedstrøms udledningspunktet blev det observeret, at vandet var relativt stillestående og ikke fuldt opblandet, se figur 4.7, hvorfor det formodes, at temperaturmålinger fra denne målestation i nogle tilfælde vil kunne afspejle ikke fuldt opblandede vandmasser. Længere nedstrøms ved den midlertidige målestation var vandmasserne, selv ved disse lave vandføringer, fuldt opblandede.

Figur 4.4: Rhodamin-forsøg 6/4-2020: udledningspunkt.



Figur 4.5: Rhodamin-forsøg 6/4-2020: nedstrøms udledningspunkt.

Figur 4.6: Rhodamin-forsøg 17/5-2020: udledningspunkt.

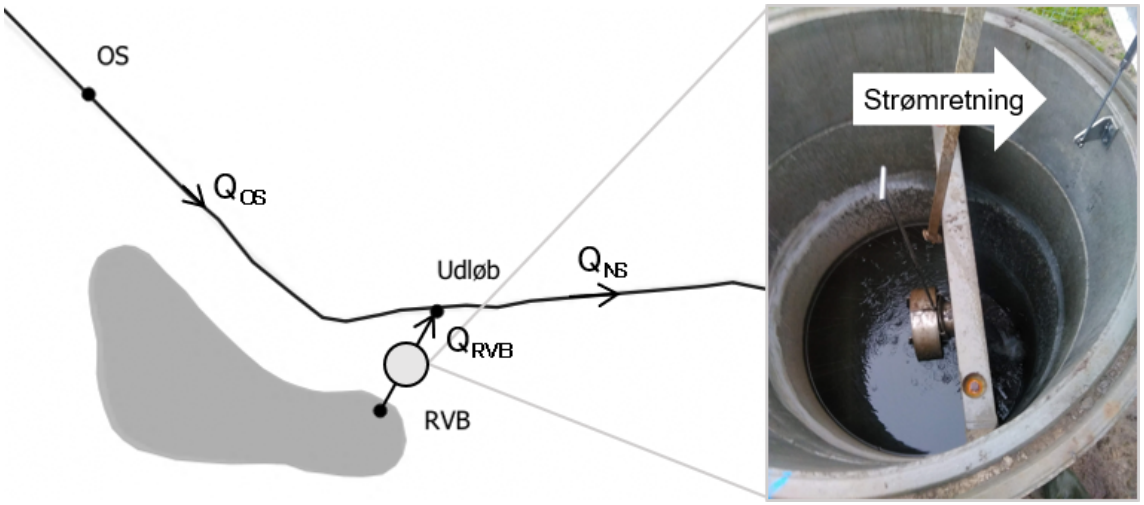
Figur 4.7: Rhodamin-forsøg 17/5-2020: nedstrøms udledningspunktet.

4.2 Interkalibrering af loggere

For at kunne sammenholde målte værdier fra forskellige loggere, er der i forbindelse med måleprogrammet foretaget interkalibreringer. Med de unøjagtigheder og usikkerheder, der arbejdes med i dette system, er det ikke essentielt, om loggerne måler den helt *sande* værdi, men det er derimod relevant, i den efterfølgende sammenligning af målte værdier, at de relativt i forhold til hinanden måler værdierne ens. Blandt temperatur-loggerne er T1 udvalgt til at måle den *sande* værdi, hvorfor de resterende TidbiT-loggere og OTT-loggerne på de faste målestationer er korrigeret op mod denne med et simpelt offset. I relation til loggerne, der måler opløst ilt, pH og ledningsevne, er det valgt, at loggerne, der er placeret i bassinet (DO1, P1, L1), måler de *sande* værdier, hvormed loggerne i vandløbet (DO2, P2, L2) er kalibreret op mod disse – ligeledes med et offset. Fremgangsmåden i interkalibreringen af beskrevet i bilag C, hvoraf de anvendte offset-værdier også fremgår.

5 Vandføringer

Den centrale del af systemet, der er omdrejningspunkt i dette projekt, befinder sig omkring udledningspunktet fra regnvandsbassinet. Som præsenteret i kapitel 3, udleder bassinet regnvand gennem en udløbsbrønd med en vandbremse til vandløbet, Revens Møllebæk – dette system, samt et billede ned i udløbsbrønden, fremgår af figur 5.1. I relation til at vurdere og kvantificere den påvirkning, udledningen fra et vådt regnvandsbassin (Q_{RVB}), måtte have på vandkvaliteten i vandløbet, er det således essentielt, at vandføringen opstrøms udledningen (Q_{OS}) samt størrelsen af udledningen (Q_{RVB}) er kendte, da sammenblandingen af disse masser samt deres fysisk-kemiske egenskaber vil være afgørende for vandføringen (Q_{NS}) og vandkvaliteten nedstrøms udledningspunktet.



Figur 5.1: Hydraulisk system omkring udløb fra regnvandsbassin i Voldum. Udløb sker gennem en udløbsbrønd, hvori der er monteret en centrifugalbremse (CEV) fra Mosbaek.

Som præsenteret i kapitel 4, foretages der målinger af vandkvalitetsparametrene opløst ilt, pH, ledningsevne og temperatur i regnvandbassinet samt nedstrøms udledningspunktet. Eventuelle udsving eller afvigelser fra normalen af målingerne nedstrøms udledningspunktet vil være oplagt at tolke som en påvirkning fra regnvandsbassinet, men for at der er årsagssammenhæng; altså at en ændring skyldes en aflastning fra bassinet, er en udledning omtrent samme tid som for den observerede påvirkning nødvendig, hvorfor viden om vandføring ud af bassinet er relevant.

Samtidigt, i forbindelse med målingerne af opløst ilt, pH og ledningsevne der foretages i bassinet samt nedstrøms udledningen, kan den samlede viden om vandføringen; altså opstrøms vandføring (Q_{OS}) og vandføring ud af bassinet (Q_{RVB}), i kombination med massebalancer være medvirkende til at vurdere, hvor stor en del af en eventuel påvirkning i vandløbet, der reelt kan tilskrives udledningen fra det undersøgte regnvandsbassin.

Den mest gængse metode til at anskaffe sig viden om vandføring er ved etablere såkaldte Qh-relationer, der beskriver sammenhængen mellem netop vandføringen, Q, og den målte vandstand, h. På projektlokaliteten i Voldum er der siden maj 2019 kontinuert målt vandstand i henholdsvis bassinet og opstrøms udledningen, RVB og OS i figur 5.1. Vandstandene er, ved brug af trykloggere placeret i rør, fastmonteret til en pæl, målt hvert eller hvert tiende minut – målestationen i henholdsvis regnvandsbassin og i vandløbet opstrøms udledningen fremgår af figur 5.2 og 5.3. Disse vandstande, korrigeret for *drift*, er sammen med etablerede Qh-relationer anvendt til beregning af vandføringer ud af bassinet og i vandløbet. Dataserier med vandstande, for såvel bassin som vandløb, er vedlagt projektet elektronisk, se bilag H.

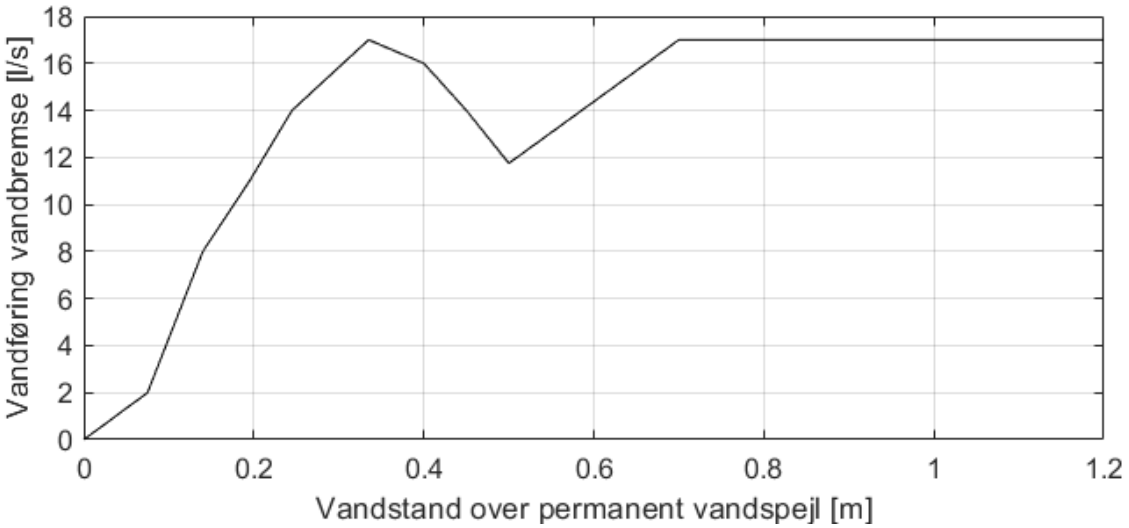
Figur 5.2: Målestation i regnvandsbassin placeret umiddelbart ved udløb fra bassinet. Vandstanden logges af en trykmåler i røret monteret bag på pælen. Vandstanden kan samtidigt aflæses manuelt på skalapælen til løbende korrigering af *drift*.

Figur 5.3: Målestation i Revens Møllebæk 100 m opstrøms udledningspunkt fra bassin. Vandstanden logges af en trykmåler monteret i røret. Vandstanden kan samtidigt aflæses manuelt på røret til løbende korrigering af *drift*.

5.1 Vandbremsekarakteristik

Qh-relationen for vandføring ud af bassinet gennem udløbsbrønden og vandbremsen kaldes også en vandbremsekarakteristik. Den anvendte karakteristik fremgår af figur 5.4. Vandbremsekarakteristikkens forløb er defineret af den fysiske udformning af vandbremsen. Ved lave vandstande, på figur 5.4 fra 0 til ca. 0,33 m, strømmer vandet uhindret gennem vand-

bremsen. Ved vandstande højere end 0,33 m når trykhøjden et niveau, der i samspil med vandbremsens design skaber hydraulisk modstand og bremser vandføringen. Den maksimale vandføring er 17 l/s svarende til det tilladte afløbstal. Vandbremsekarakteristikken antages gældende for både stigende og faldende vandstande i bassinet.



Figur 5.4: Vandbremsekarakteristik for Mosbaek centrifugalbremse (CEV). Qh-relation for vandføringen ud af bassinet i Voldum som funktion af vandstand over permanent vandspejl. Det permanente vandspejl i kote 23,9 svarer til en logget vandstand på 0,5 m. Efter materiale udleveret af specialevejleder [Thomsen, 2020].

På projektlokaliteten i Voldum er det permanente vandspejl i bassinet i kote 23,9, hvilket i loggede vandstande svarer til 0,5 m. Overløb i udløbsbrønden er i kote 25,1, hvilket betyder, at vandstanden i denne situation er 1,2 m over permanent vandspejl – over denne vandstand er vandbremsekarakteristikken ikke længere gældende: udløbet vil herefter i stedet være defineret af dimension, hældning og ruhed af udløbsrøret.

5.2 Revens Møllebæk

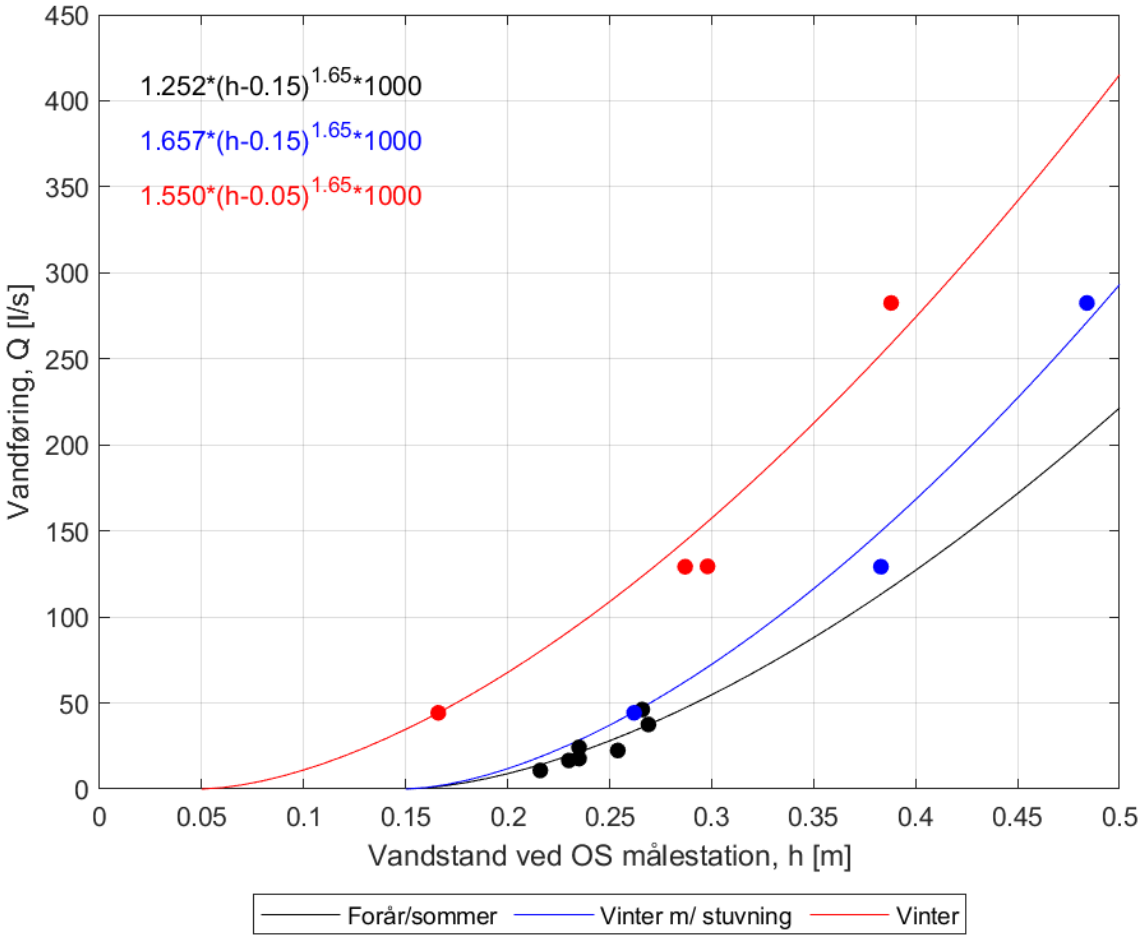
Qh-relationer i vandløb følger formlen for grundkurven som præsenteret i formel (5.1) [Ovesen og Poulsen, 2016, afs. 2.1]. Konstanterne A, N og h_0 bestemmes ved et tilstrækkeligt antal samhørende værdier af målt vandføring og vandstand i vandløbet. Projektgruppen har i den forbindelse, i løbet af februar, marts og april 2020, gennemført en række målinger af vandføringen i vandløbet opstrøms udledningspunktet, som eksemplet i figur 5.5. Yderligere var tre målinger af vandføring fra maj 2019 tilgængelige til etablering af Qh-relationer for vandløbet [Jensen og Nørgaard, 2019, bilag D]. Vandføringsmålingerne er udført ved brug af et vingemålingsinstrument fra OTT – måleprocedure og målinger fremgår af bilag D.

$$Q = A \cdot (h - h_0)^N \cdot 1000 \tag{5.1}$$

Q	Vandføring	[l/s]
A	Empirisk konstant	[-]
h	Vandstand	[m]
h_0	Beregningsmæssig vandløbsbund (vandstand ved Q = 0)	[m]
N	Empirisk konstant (tværsnitsafhængig)	[-]

Figur 5.5: Vandføringsmåling med vingeinstrument. Fra vandføringsmåling i Revens Møllebæk den 16. februar 2020. Vandføringen blev på dette tidspunkt målt til ca. 280 l/s.

Da modstanden i vandløb som oftest er særdeles årstidsafhængig vil Qh-relationen også være det, og de empiriske konstanter i grundformlen, formel (5.1), vil variere. Derfor er der til brug i dette projekt forsøgt opstillet tre Qh-relationer, der sammen med de udførte vandføringsmålinger fremgår af figur 5.6. Qh-relationen baseret på målinger i foråret (sort) forventes at kunne beskrive vandføringen som funktion af vandstanden i en forår/sommer-situation med et Manningtal på omkring 10 $m^{1/3}/s$, mens vandføringen i Revens Møllebæk i en vinter-situation med et Manningtal på ca. 20 $m^{1/3}/s$ antages at kunne beskrives med kurverne baseret på målingerne i februar 2020. Da det på projektlokaliteten blev observeret, at nedfaldne grene skabte en stuvningspåvirkning ved den opstrøms målestation, blev disse d. 16. februar fjernet – derfor anvendes til beregning af vandføring i perioden 4. februar til 16. februar 2020 den stuvningspåvirkede Qh-relation (blå), mens der for andre vinter-situationer anvendes kurven uden stuvning (rød).



Figur 5.6: Qh-relationer i Revens Møllebæk opstrøms udledningspunkt fra regnvandsbassin. Vandstanden er målt ved den faste opstrøms målestation i Revens Møllebæk i station 3.018. Punkter er vandføringsmålinger foretaget i maj 2019 og februar-april 2020. Formler for de etablerede kurver fremgår i øverste venstre hjørne.

6 Temperatur: resultater og analyse

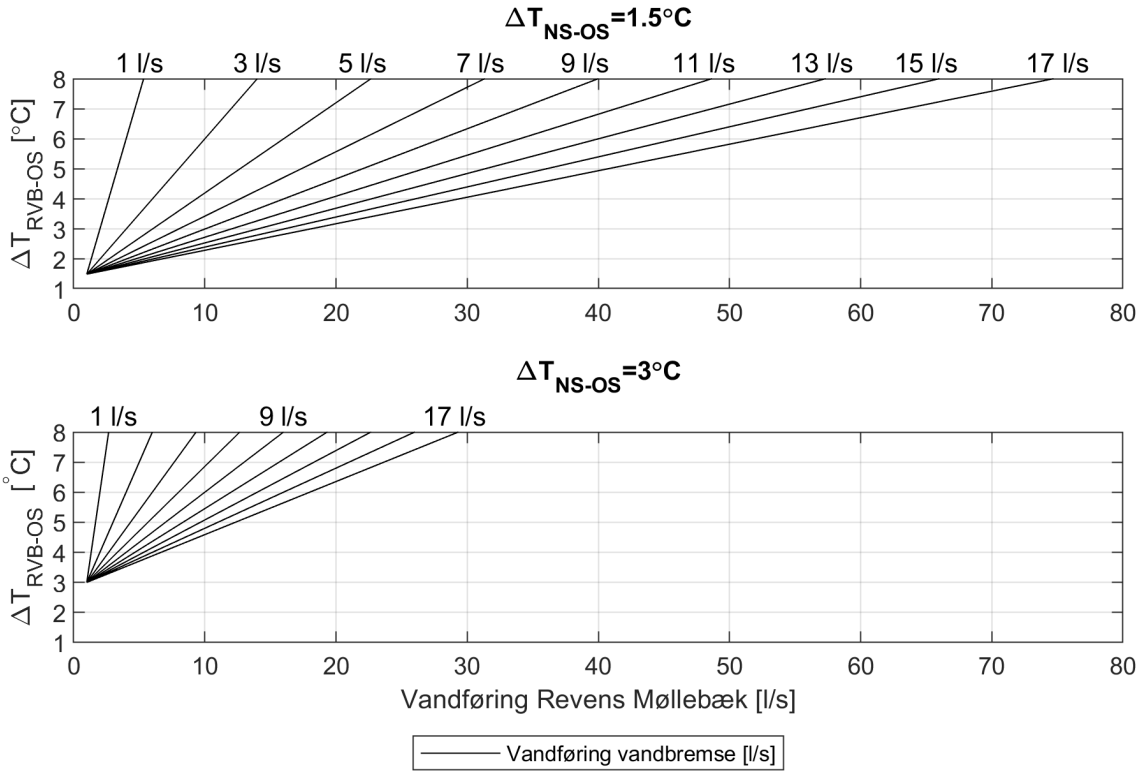
I dette kapitel præsenteres og analyseres resultaterne af de temperaturmålinger, der er foretaget på projektlokaliteten. Kapitlet indledes med en teoretisk analyse, der relaterer temperaturforskelle mellem regnvandsbassin og vandløb med mængdeforholdet af de to vandmasser, der blandes umiddelbart efter udledningspunktet. Analysen beror på en massebalance, der forudsætter fuld opblanding, hvorigennem størrelsesordenen af mulige temperaturændringer i det modtagende vandløb belyses. Dernæst følger resultaterne af temperaturmålingerne foretaget ned igennem Revens Møllebæk, der belyser i hvilken grad vandløbstemperaturen varierer fra udspring til udløb. Derefter præsenteres temperaturmålingerne umiddelbart omkring udledningspunktet, der er grundlaget for kvantificeringen af hvor hyppigt, i hvilken grad og i hvilke situationer regnvandsudledningen fra bassinet påvirker vandtemperaturen i Revens Møllebæk. Analysen er opdelt i tre perioder: forår 2020, vinter 2020 og sommer 2019. Den generelle forventning er høje vandtemperaturer i regnvandsbassinet i de varme måneder, der under udledning af vand vil hæve vandtemperaturen i det modtagende vandløb. Modsat forventes bassinet i løbet af vinteren at have en kølende effekt på vandet i vandløbet i forbindelse med aflastninger.

6.1 Teoretiske kurver/sammenhænge

Vandtemperaturen i det modtagende vandløb ændres, hvis vandet fra regnvandsbassinet har en koldere eller varmere temperatur sammenholdt med vandløbets. I hvilket omfang vandtemperaturen påvirkes, afhænger af temperaturforskellens størrelse men også af blandingsforholdet af vandmasserne fra henholdsvis bassin og vandløb. Det er klart, at en stor temperaturforskel mellem de to adskilte systemer, kombineret med høj vandføring ud af bassinet og lav vandføring i vandløbet, vil resultere i de største temperaturændringer i vandløbet nedstrøms udledningspunktet. På baggrund af massebalanceberegninger, er det undersøgt i hvilke situationer en 1,5°C og 3°C temperaturændring i det modtagende vandløb er forventelig – disse værdier er angivet som maksimal temperaturændring ved udledning for henholdsvis karpe- og laksefiskevand i vandplanerne gældende fra 2009 til 2015, hvis *god økologisk tilstand* skal indfries (maksimal temperaturændring ved udledning indgår som én ud af flere kravværdier for vandløbsvand) [Miljøministeriet, 2011, bilag 7]. Massebalanceberegningen -forudsat fuld opblanding- følger formel (6.1) og resultatet er præsenteret i figur 6.1.

$$Q_{RVB} \cdot T_{RVB} + Q_{OS} \cdot T_{OS} = (Q_{RVB} + Q_{OS}) \cdot (T_{OS} + \Delta T_{NS-OS}) \tag{6.1}$$
$$\Delta T_{RVB-OS} = (T_{RVB} - T_{OS}) = \Delta T_{NS-OS} \cdot \frac{Q_{RVB} + Q_{OS}}{Q_{RVB}}$$

Q_{RVB}	Vandføring fra regnvandsbassin	[l/s]
T_{RVB}	Vandtemperatur regnvandsbassin	[°C]
Q_{OS}	Vandføring opstrøms udledningspunkt	[l/s]
T_{OS}	Vandtemperatur opstrøms udledningspunkt	[°C]
ΔT_{RVB-OS}	Temperaturforskel regnvandsbassin og opstrøms udledningspunkt	[°C]
ΔT_{NS-OS}	Temperaturforskel opstrøms og nedstrøms udledningspunkt	[°C]



Figur 6.1: Teoretiske ΔT-kurver baseret på massebalance efter formel (6.1), forudsat fuld opblanding.

Sammenholdes kurverne i figur 6.1 med data fra projektlokaliteten i perioderne forår 2020, vinter 2020 og sommer 2019, forventes der kun beskedne temperaturændringer skabt af udledningen fra regnvandsbassinet – enten fordi temperaturforskellen, ΔT_{RVB-OS}, er for lille eller fordi udledningen fra regnvandsbassinet er ubetydelig i forhold til vandføringen i Revens Møllebæk. Tabel 6.1 viser målte temperaturforskelle og vandføringsdata fra perioderne forår 2020, vinter 2020 og sommer 2019. Forudsætningen for værdierne er at regnvandsbassinet aflaster, dvs. udledning $Q_{RVB} > 0$ l/s. Dette sker det meste af tiden, da der er koblet et dræn på regnvandsbassinet. Vandføringsdata præsenteret i tabellen er baseret på vandstandsmålinger fra perioden og Qh-relationerne præsenteret i kapitel 5.

Tabel 6.1: Temperaturforskelle bassin og vandløb opdelt på sæson inkl. vandføring i vandløbet. Statistik baseret på målinger, hvor der er aflastning fra bassinet ($Q_{RVB} > 0$ l/s).

	Forår 2020 1/3-17/5 2020	**Vinter 2020** 4/2-29/2 2020	**Sommer 2019** 4/7-31/8 2019
ΔT_{RVB-OS} middel	2,0	-0,5	3,9
ΔT_{RVB-OS} maks*	7,2	-2,1	6,9
Q_{OS} min	12	36	13
Q_{OS} middel	25	164	36
Q_{OS} maks	108	345	145

* *Værdier er absolutte maksima*

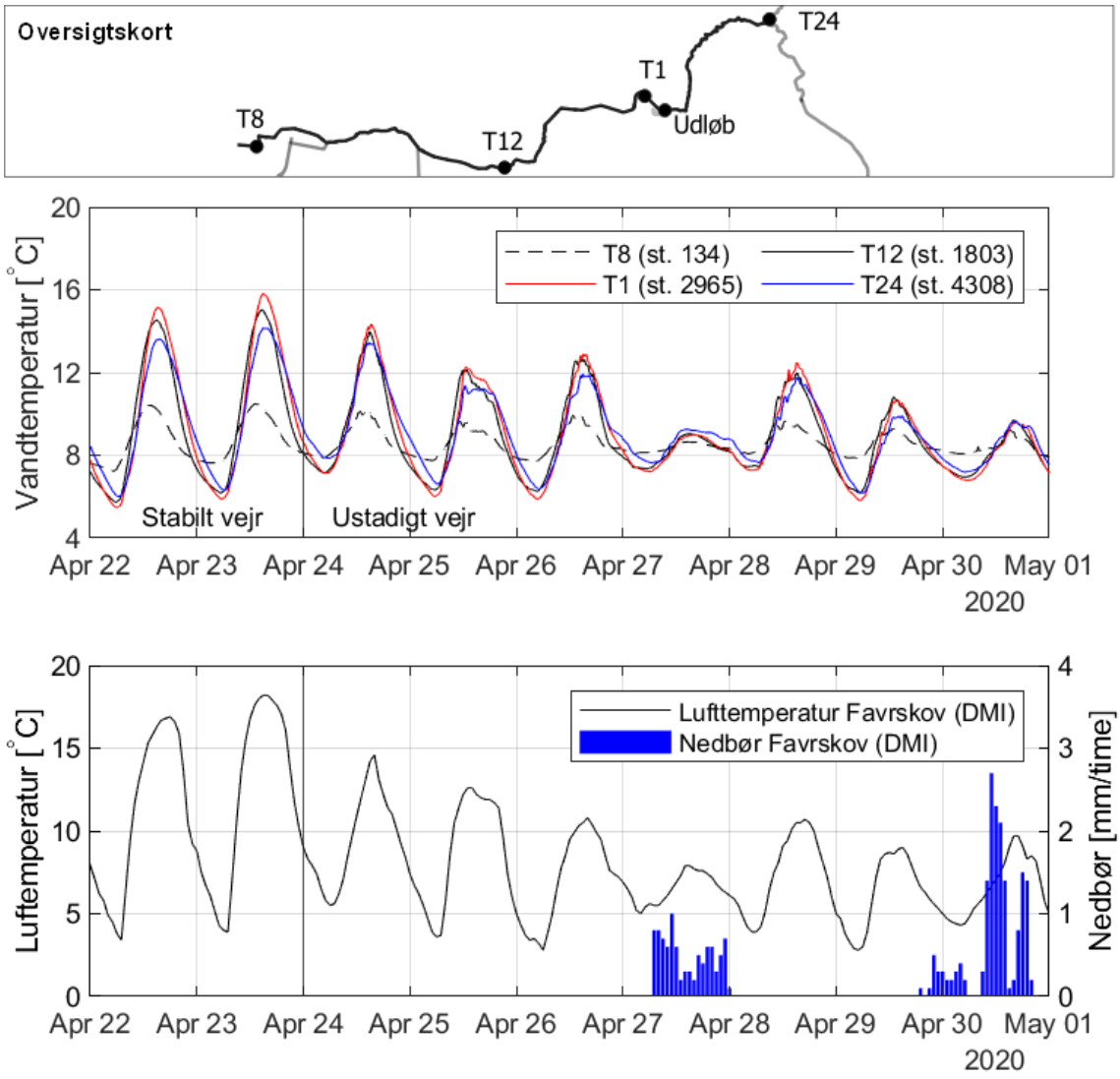
På baggrund af de teoretiske ΔT-kurver, præsenteret i figur 6.1, og data fra tabel 6.1 forventes det ikke, at vandløbstemperaturen, i den undersøgte vinterperiode, ændres nævneværdigt som konsekvens af udledningen fra regnvandsbassinet. I de to undersøgte perioder forår 2020 og sommer 2019 kan en kortvarig temperaturændring i Revens Møllebæk nedstrøms udledningspunktet formentlig godt i nogle situationer tilskrives udløbet fra regnvandsbassinet, men de største temperaturændringer forventes i intervallet fra 1°C til 2°C, det vil sige omkring det leje, hvor temperaturændringer kan påvirke laksefiskene jf. vandplanerne gældende fra 2009 til 2015 [Miljøministeriet, 2011, bilag 7]. Det vurderes, at temperaturændringer på over 3°C, hvor karpefiskene livsvilkår påvirkes negativt af udledningen, sjældent vil forekomme i Revens Møllebæk.

6.2 Vandtemperaturvariationer i Revens Møllebæk

Vandtemperaturen i Revens Møllebæk er i projektperioden målt i en række punkter fra øverste del af bækken st. 134 til st. 4.308 nær udløbet. Målingerne viser, at der på døgnbasis er en tydelig temperaturforskel mellem øverste del af vandløbet tæt ved udspringet og nederste del nær udløbet, mens de største temperatursvigninger over et døgn ses på den midterste del af vandløbet. Disse observerede døgnsvingninger følger til dels den principielle temperaturvariation i et idealvandløb vist i figur 2.3 i kapitel 2. Et eksempel på ovenstående er vist på figur 6.2, der viser data fra perioden 22. april 2020 til 1. maj 2020.

Vandtemperaturen ændres væsentligt på strækningen fra udspringet til vandløbets midterste del, mens ændringen herfra og til udløbet ikke er lige så udtalt. At de daglige temperaturudsving ved udløbet (st. 4.308) dæmpes en anelse i sammenligning med den midterste del af vandløbet (st. 1.803), tilskrives effekten af skoven langs vandløbets sidste strækning (ca. 1 km) og ikke som for idealvandløbet effekten af større vandmasser. Figur 6.2 viser temperaturmålinger fra en periode, der er præget af stabilt vejr efterfulgt af en ustadig overgangsperiode med lavere lufttemperaturer, vekslende skydække, der den 27. og 30. april udvikler sig til nedbør. Det stabile vejr betyder harmoniske døgnsvingninger af vandets temperatur både på den øverste, mellemste og nederste del af vandløbet. Den efterfølgende

periode med ustadigt vejr bryder de harmoniske temperatursvigninger; systematikken ved det enkelte målepunkt, men også indbyrdes målepunkterne, ændres og temperaturvariationerne bliver mere uforudsigelige. Under nedbørshændelserne i den ustadige periode ses, hvordan vandtemperaturen fra vandløbets udspring til udløb bliver mere ens sammenlignet med perioden med stabilt vejr, ligesom døgnvariationerne dæmpes.



Figur 6.2: Sammenligning af døgntemperatursvingninger ved forskellige stationer i vandløbet: april 2020.

Bassinet udleder vand i st. 3.118, hvor vandtemperaturen i vandløbet allerede i høj grad opvarmes og nedkøles i relation til vejrforholdene jf. målingerne præsenteret i figur 6.2. Dette har betydning i vurderingen af, i hvilket omfang regnvandsbassinet påvirker recipienten, idet den aktuelle placering af regnvandsbassin og udløb til vandløb antyder, at begge termodynamiske systemer er kraftigt påvirket af vejret. Der er ikke noget, der indikerer, at punktudledningerne fra renseanlægget og fra dræn fra omdriftsjorder skaber nævneværdige temperaturændringer i vandløbet – målinger, der understøtter dette, er præsenteret i bilag E. Mængden, temperaturen -eller en kombination af begge- af renset spildevand eller drænvand er ikke stor nok til at skabe en kraftig ændring af temperaturen i Revens Møllebæk.

6.3 Forår 2020: resultater

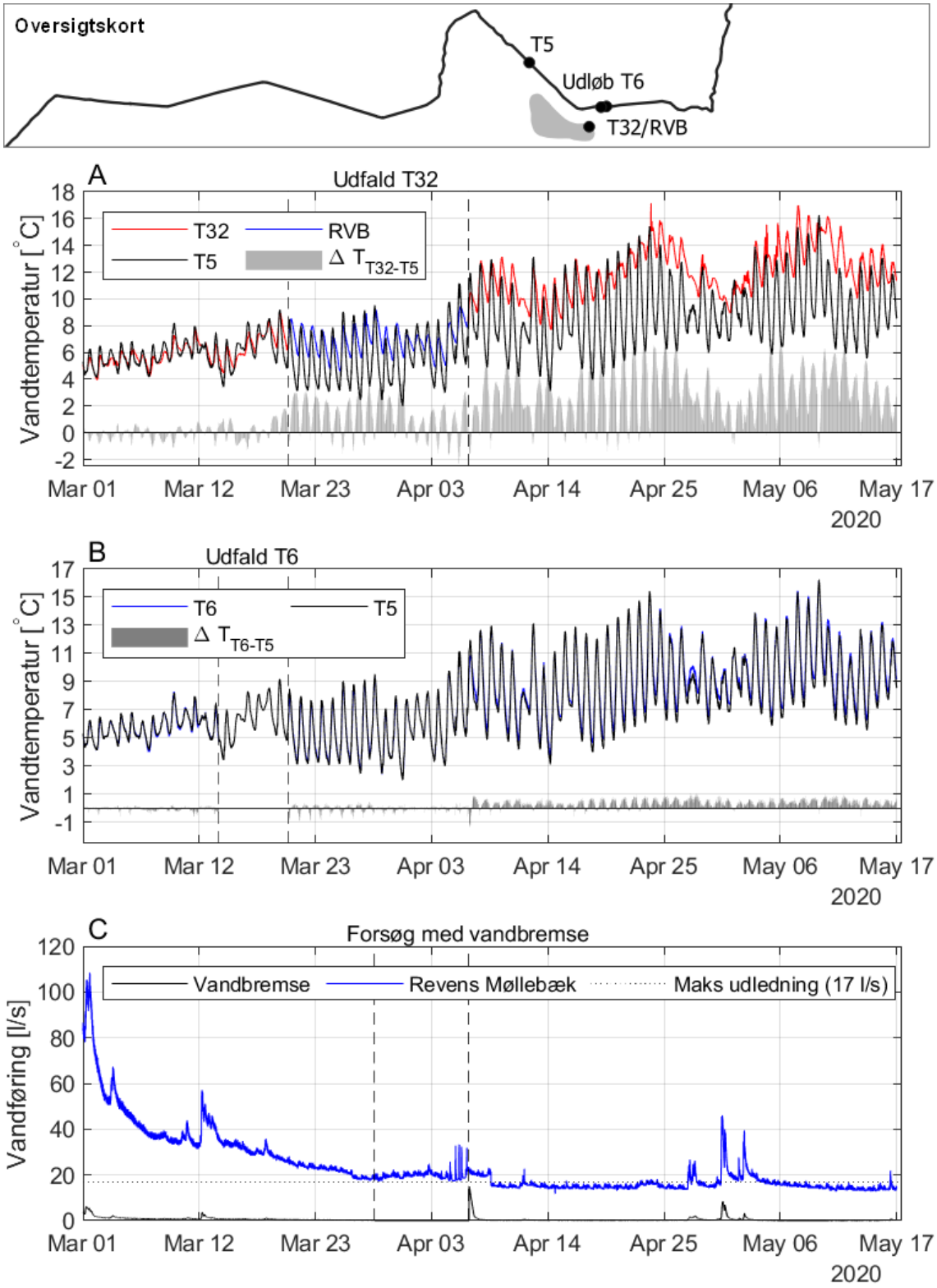
I foråret 2020, perioden 1. marts til 26. maj, svingede lufttemperaturen (jf. DMI, Favrskov Kommune) mellem ca. -4 og 18°C. De laveste daglige temperaturer var gennemsnitligt ca. 3°C, mens de højeste daglige temperaturer målt i gennemsnit lå omkring 10°C. Henover perioden på 87 dage kom der ca. 94 mm regn, hvilket gennemsnitligt svarer til 1,1 mm/dag. Vejrdata fra perioden fremgår af figur F.3 og F.4 i bilag F. DMIs klimanormaler for Danmark, baseret på perioden 1981-2010, er til sammenligning en middel minimumtemperatur om foråret på 3,3°C og en middel maksimumtemperatur på 10,6°C. Den gennemsnitlige nedbørssum henover foråret er ifølge DMI 137,4 mm svarende til ca. 1,5 mm/dag. [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020a]. Den omtalte periode i foråret 2020 var derfor relativt tør med begrænset skydække i længere perioder, hvilket også afspejler sig i de lidt lavere temperaturer, der blev målt i denne periode.

I løbet af foråret, fra 1. marts til 17. maj 2020, er det undersøgt, hvordan vandtemperaturen op- og nedstrøms bassinudløbet samt i bassinet udvikler sig. Vandtemperaturmålingerne i bassinet og ved den opstrøms målestation er vist på figur 6.3 A. Henover den viste forårsperiode observeres der overordnet set en stigende temperatur i både bassin og vandløb, dog udvikler temperaturen i bassinet sig til generelt at være højere på daglig basis end i vandløbet. Som foråret skrider frem, ses der samtidigt en større forskel i amplituden af døgnsvingningerne vandløb og bassin imellem, hvor det især er bemærkelsesværdigt, at døgntemperatursvigningerne i vandløbet (T5) i udtalt grad er større end i regnvandsbassinet. Det er især i løbet af nætterne, hvor vandtemperaturen falder, at temperaturforskellen mellem bassin og vandløb bliver stor. Tabel 6.2 viser statistik over de observerede døgntemperatursvigninger i regnvandsbassinet i perioden fra 1. marts til 17. maj 2020.

Tabel 6.2: Statistik over døgntemperatursvigninger: målinger fra regnvandsbassin T32 og T5 monteret på den opstrøms målestation fra 1. marts til 17. maj 2020. Dato for observationer af de maksimale og minimale døgntemperatursvigninger er angivet i parentes.

Døgnsvingning	**RVB**		**OS**	
Maks [°C]	4,97	(4/5)	9,35	(23/4)
Min [°C]	0,60	(3/3, 10/3)	1,31	(6/3)
Middel [°C]	2,40		5,10	

Der ses store temperaturforskelle mellem bassinet og vandløbet især i løbet af natten, men på grund af lidt nedbør i perioden, påvirkes temperaturen i vandløbet i ringe grad af bassinudledningen. Figur 6.3 B viser de målte temperaturer op- og nedstrøms udledningspunktet, hvor der ses daglige systematiske forskelle på vandtemperaturen op- og nedstrøms bassinudløbet. Størstedelen af målingerne viser, at der nedstrøms bassinudløbet er varmere end opstrøms. Det bemærkelsesværdige er, at de største forskelle systematisk observeres sidst på natten, hvor temperaturen nedstrøms typisk er op mod 1°C varmere. Dette kan have sin sammenhæng med den udledning, drænvandet tilkoblet bassinet skaber, hvor den beskedne vandmængde fra bassinet ikke er fuldt opblandet med vandet i vandløbet ved den nedstrøms målestation (T6), som observeret ifm. rhodamin-forsøg (se evt. figur 4.6 og 4.7 i kapitel 4).

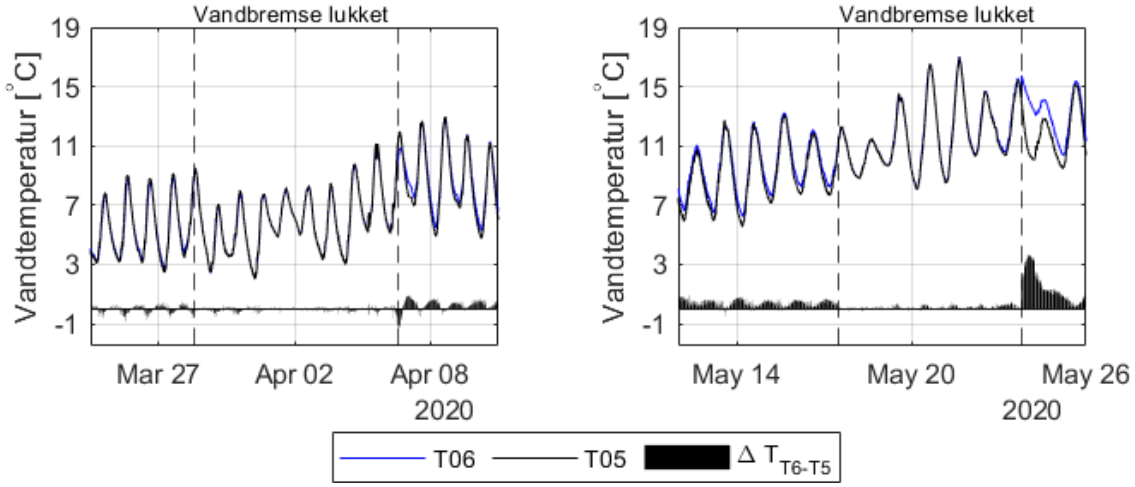


Figur 6.3: Temperaturmålinger og vandføring i perioden fra 1. marts til 17. maj 2020. Data fra temperaturloggerne: T32 placeret ved udløbsbygværket i bassinet, T5 i st. 3.018 og T6 i st. 3.124. Udløb er i st. 3.118.

Den 30. april kommer der nedbør, som skaber en aflastning fra bassinet, der på sit højeste er godt 8 l/s, dette fremgår af figur 6.3 C. I løbet af denne hændelse er temperaturforskellen op- og nedstrøms bassinudløbet mellem 0,5-1°C, men samme temperaturforskel mellem T5 og T6 er systematisk set i store dele af april måned. Det er i denne periode ikke muligt, at tilskrive regnvandsbassinet årsag til alvorlige temperaturændringer nedstrøms udledningspunktet, både forbi temperaturændringerne trods alt er små, men også grundet det faktum, at meget tyder på, at vandet i mange strømningsscenarier ikke er fuldt opblandet ved den nedstrøms målestation.

Temperaturmålinger i vandløbet ved lukket vandbremse

I foråret 2020 er vandbremsen i regnvandsbassinets udløbsbrønd lukket i to perioder: først fra 28. marts til 6. april og igen fra 17. maj til 23. maj. I disse perioder ses, hvordan temperaturændringerne op- og nedstrøms ændres og bliver mindre, som vist på figur 6.4. Disse perioder, hvor der ikke er udledning fra bassinet, bekræfter strømningsmønstrene og den delvise opblanding ved den nedstrøms målestation under udledning af drænvand alene, som visuelt blev observeret under rhodamin-forsøgene omtalt i kapitel 4.



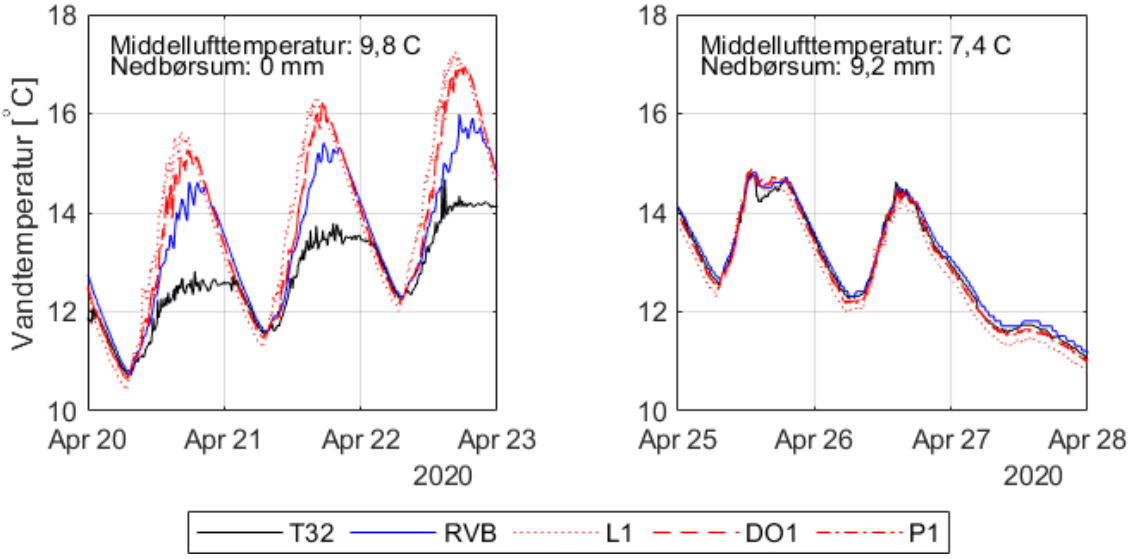
Figur 6.4: Temperaturmålinger i to perioder, hvor vandbremsen er lukket. Vandbremsen blev manuelt lukket og åbnet hhv. den 28. marts og 6. april og igen den 17. maj og 23. april.

Dog ses der stadig temperaturændringer mellem T5 og T6 i perioderne, hvor vandbremsen er lukket. Tendensen er at vandtemperaturen nedstrøms udlendingspunktet er op mod 0,5°C varmere eller koldere end opstrøms udledningspunktet, vist på figur 6.4, hvilket indikerer at også vandløbets omgivelser påvirker vandtemperaturen. Ved den nedstrøms målestation og TidbiT T6 er vandløbet mere eksponereret for ind- og udstråling, hvilket betyder temperaturforskelle ift. den opstrøms målestation og TidbiT T5, der er placeret på en strækning med træer.

Temperaturmålinger i regnvandsbassin

En anden nævneværdig observation gjort i perioden 1. marts til 17. maj er temperaturmålinger i forskellige dybder af vandsøjlen i regnvandsbassinet. Tæt ved vandoverfladen måles temperaturen af de loggere, der samtidigt måler opløst ilt, pH og ledningsevne. Den faste målestation måler vandtemperaturen 0,5 m under permanent vandspejl, mens TidBit T32 hænger i en snor ved udløbet omkring 0,7 meter under det permanente vandspejl. Ilt-, pH- og ledningsevneloggernes temperaturmålere er ikke interkalibreret med TidBit T32 og den faste målestation.

I stabilt vejr med kraftig solindstråling og ingen nedbør, ses en gradvis ændring af vandtemperaturen ned gennem vandsøjlen i løbet af dagen, hvilket fremgår af figur 6.5 til venstre. Modsat ses der i perioder præget af ustabilt vejr med nedbør ikke samme temperaturforskel – her er vandtemperaturen ensartet fra bunden af vandsøjlen til vandoverfladen hele døgnet, se figur 6.5 til højre. Dette indikerer, at vandtemperaturen ned gennem vandsøjlen i regnvandsbassinet kan variere op til flere grader, hvorfor vanddybden hvor temperaturloggeren er placeret spiller en rolle i den endelige analyse af temperaturændringerne i regnvandsbassinet. Dog antyder det viste data også, at temperaturvariationerne ned gennem vandsøjlen udjævnes ved ustadigt vejr og nedbør, dvs. i de perioder, hvor der er aflastning fra bassinet.



Figur 6.5: Temperaturmålinger i forskellige vanddybder i regnvandsbassin. TidBit T32 er placeret omkring 0,7 m under permanent vandspejl, RVB sidder 0,5 m under permanent vandspejl, mens L1, DO1 og P1 måler temperaturen omkring 10 cm under vandspejlet.

6.4 Vinter 2020: resultater

I vinteren 2020, perioden 4. til 29. februar, svingede lufttemperaturen (jf. DMI, Favrskov Kommune) mellem ca. -3 og 11°C. De laveste daglige temperaturer var gennemsnitligt ca. 2°C, mens de højeste daglige temperaturer målt i gennemsnit lå omkring 6°C. Henover perioden på 26 dage kom der ca. 143 mm regn, hvilket gennemsnitligt svarer til 5,5 mm/dag. Vejrdata fra perioden fremgår af figur F.2 i bilag F. DMIs klimanormaler for Danmark, base-

ret på perioden 1991-2020, er til sammenligning en middel minimumtemperatur om vinteren på -0,5°C og en middel maksimumtemperatur på 3,9°C. Den gennemsnitlige nedbørssum henover vinteren er ifølge DMI 186,2 mm svarende til ca. 2,1 mm/dag. [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020a] Den omtalte periode i vinteren 2020 var derfor særdeles mere regnfuld end normalt, hvilket også resulterede i generelt højere lufttemperaturer.

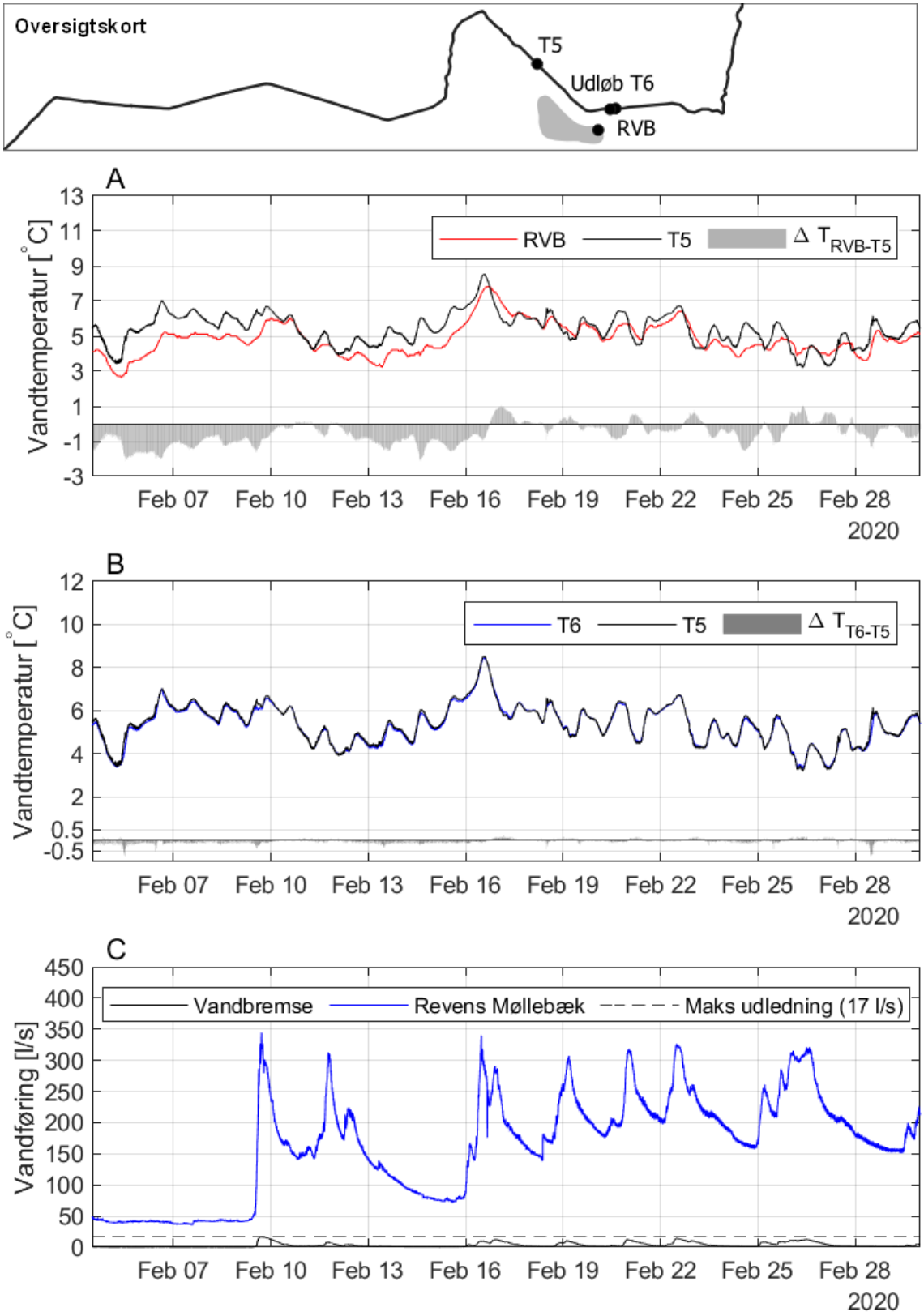
I løbet af februar 2020 (4. februar til og med 29. februar) viser temperaturmålingerne, at vandtemperaturen i regnvandsbassinet generelt er koldere end vandtemperaturen opstrøms udledningspunktet. Temperaturmålingerne fra regnvandsbassin og opstrøms udledningspunktet er vist på figur 6.6 A. Tabel 6.3 viser statistik over de observerede temperatursvigninger i regnvandsbassinet i perioden fra 4. februar til og med 29. februar 2020. Vandtemperaturen varierer på døgnbasis mere i vandløbet opstrøms udledningspunktet end i regnvandsbassinet, hvilket følger observationerne i foråret 2020 præsenteret i tabel 6.2.

Tabel 6.3: Statistik over døgntemperatursvigninger: målinger fra regnvandsbassin (RVB) og T5 monteret på den opstrøms målestation fra 4. februar til 29. februar 2020. Dato for observationer af de maksimale og minimale døgntemperatursvigninger er angivet i parentes.

Døgnsvingning	**RVB**		**OS**	
Maks [°C]	2,10	(16/2)	2,10	(22/2)
Min [°C]	0,30	(7/2, 8/2)	0,69	(7/2)
Middel [°C]	0,97		1,50	

Vandtemperaturen er i vid udstrækning mellem 3 og 7°C i både bassin og vandløb. Mens vandet i bassinet i den første del af februar nærmest konsekvent er koldere end vandløbet, ses der fra midt til slut februar flere variationer, hvor vandløbstemperaturen i kortere perioder er koldere end bassintemperaturen (positive ΔT_{RVB-T5}). Temperaturmålingerne fremgår af figur 6.6 A, hvor bassinet maksimalt observeres at være 2°C koldere end vandløbet opstrøms.

Figur 6.6 B viser vandtemperaturen opstrøms (T5) og nedstrøms (T6) udledningspunktet i februar 2020. De beregnede temperaturforskelle ΔT_{T6-T5} viser, at der er en tendens til at vandet er varmere opstrøms end nedstrøms udledningspunktet, men forskellen er ikke markant – den største forskel er -0,77°C (28. februar). De få perioder, hvor temperaturforskellen ΔT_{T6-T5} kortvarigt er større end 0,5°C, er der ikke nævneværdig udledning fra regnvandsbassinet, hvilket fremgår ved sammenligning af figur 6.6 B og 6.6 C. Dog kan det ikke udelukkes, at nogle af disse temperaturændringer kan relateres til regnvandsbassinet, såfremt der forekommer en mindre udledning grundet drænvand, og vandmasserne derved ikke er fuldt opblandede ved den nedstrøms målestation (T6). Temperaturloggernes placering i forhold til blandingszonen og forskelligartede omgivelser ved den opstrøms og nedstrøms målestation forventes at bidrage til de små temperaturforskelle, som det også er tilfældet, når varmere perioder betragtes.



Figur 6.6: Temperaturmålinger og vandføring i perioden fra 4. februar til og med 29. februar 2020. Data fra temperaturloggerne: RVB, T5 (st. 3.018) og T6 (st. 3.124). Udløb er i st. 3.118.

Figur 6.6 C viser også, at der i løbet af februar er en høj vandføring i Revens Møllebæk og flere regnhændelser, der skaber maksimal eller tæt på maksimal udledning fra regnvandsbassinet. Der er dog ikke noget, der tyder på, at udledningen fra regnvandsbassinet ændrer temperaturen i en sådan grad, at det er bekymrende for recipienten. Vejret var meget mildt i februar 2020, hvilket formentlig har betydet, at temperaturforskellene mellem regnvandsbassin og vandløb ikke har været udtalte. Det forventes, at hård vinterfrost vil ændre temperaturen markant i bassinet, dog tyder det på, at vandløbet på den midterste strækning også i høj grad påvirkes af vejrforholdene -herunder også koldt vejr- hvorfor forskellen nødvendigvis ikke ændres drastisk. Om en kold vinter og nedkøling af vandet i bassinet vil resultere i en større temperaturændring nedstrøms udledningspunktet afhænger i høj grad også af mængdeforholdet mellem vandføringen igennem vandbremsen og vandføringen i Revens Møllebæk.

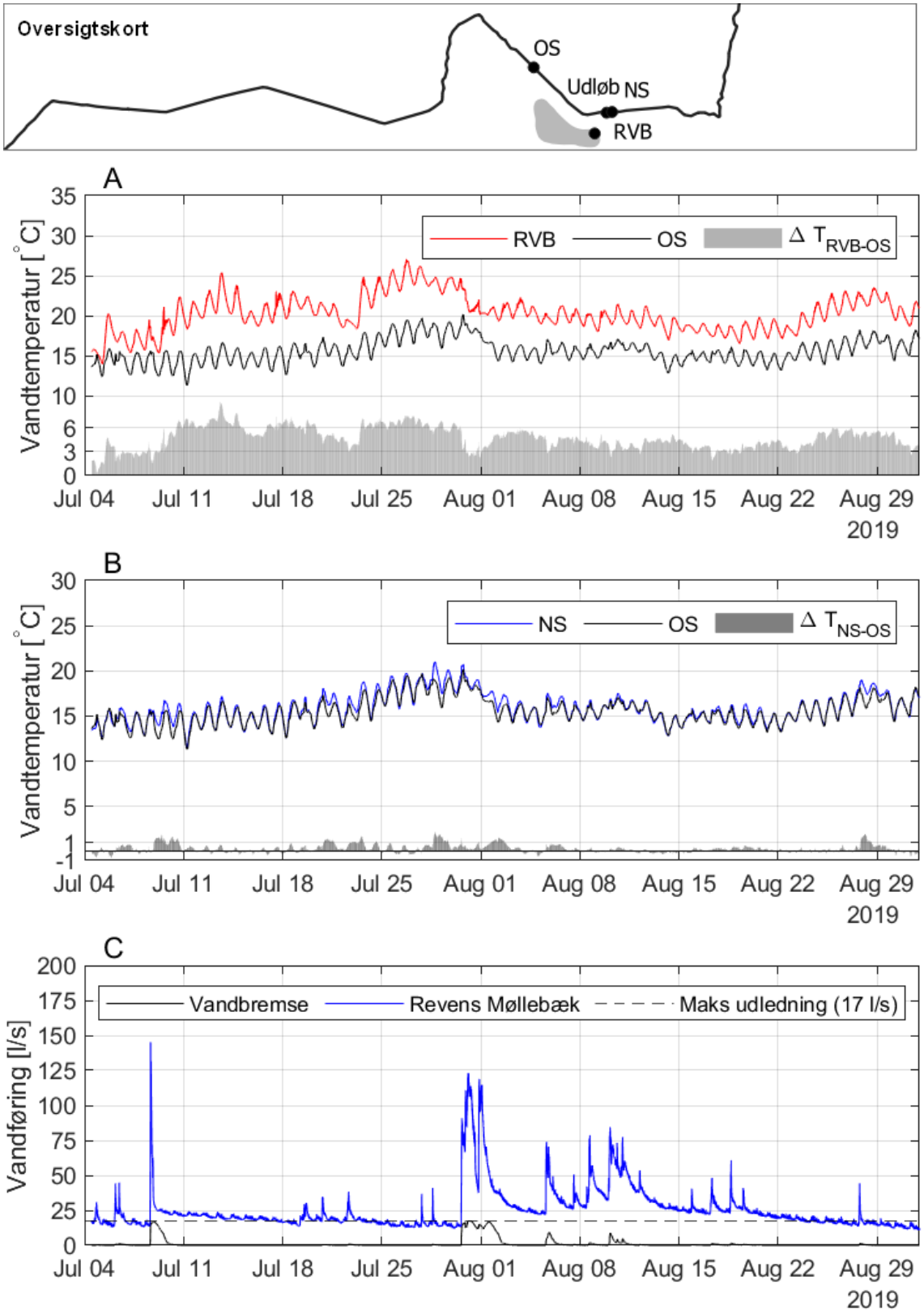
6.5 Sommer 2019: resultater

I sommeren 2019, perioden 4. juli til 31. august, svingede lufttemperaturen (jf. DMI, Favrskov Kommune) mellem ca. 7 og 29°C. De laveste daglige temperaturer var gennemsnitligt ca. 13°C, mens de højeste daglige temperaturer målt i gennemsnit lå omkring 21°C. Henover perioden på 59 dage kom der ca. 161 mm regn, hvilket gennemsnitligt svarer til 2,7 mm/dag. Vejrdata fra perioden fremgår af figur F.1 i bilag F. DMIs klimanormaler for Danmark, baseret på perioden 1981-2010, er til sammenligning en middel minimumtemperatur om sommeren på 11,7°C og en middel maksimumtemperatur på 19,9°C. Den gennemsnitlige nedbørssum henover sommeren er ifølge DMI 200,8 mm svarende til ca. 2,2 mm/dag. [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020a] Den omtalte periode i sommeren 2019 var derfor en umiddelbart anelse vådere og varmere sommer end normalen, dog nogenlunde typisk.

I løbet af sommeren 2019 (4. juli til og med 31. august) er vandtemperaturen i regnvandsbassinet højere end i Revens Møllebæk, hvilket fremgår af figur 6.7 A. Temperatursvingningernes amplitude henover døgnet i regnvandsbassinet er omkring lige så store og enkelte gange større end temperatursvingningerne i Revens Møllebæk. Tabel 6.4 viser statistik over døgntemperatursvingningerne i sommeren 2019.

Tabel 6.4: Statistik over døgntemperatursvingninger: målinger fra regnvandsbassin (RVB) og opstrøms målestation (OS) fra den 4. juli til og med den 31. august 2019. Dato for observationer af de maksimale og minimale døgntemperatursvingninger er angivet i parentes.

Døgnsvingning	**RVB**		**OS**	
Maks [°C]	6,55	(23/7)	4,04	(18/7)
Min [°C]	0,80	(15/8)	1,00	(11/8)
Middel [°C]	2,67		2,44	



Figur 6.7: Temperaturmålinger og vandføring i perioden fra 4. juli til og med 31. august 2019. Data fra faste målestationer: RVB, OS (st. 3.018) og NS (st. 3.124). Udløb er i st. 3.118.

Den relativt store mængde vand magasineret i bassinet synes ikke at dæmpe temperatursvigningerne, altså er både ind- og udstrålingen fra bassinet betydelig. Figur 6.7 A viser ligeledes temperaturforskellen mellem regnvandsbassin og vandløb, ΔT_{RVB-OS}, hvor middelforskellen er 4,7°C og den maksimale forskel er målt til 9,2°C (13. juli, ikke målt i forbindelse med nedbør).

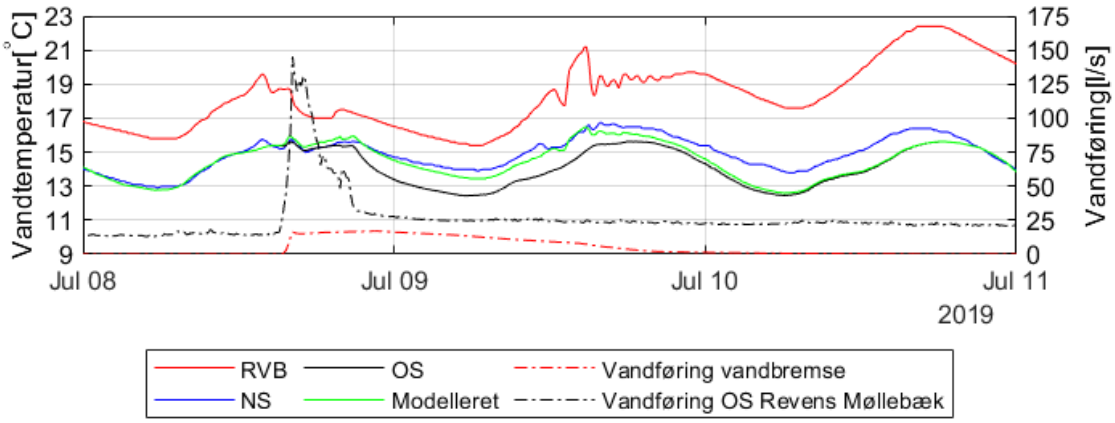
I vandløbet ses der også temperaturforskelle op- og nedstrøms regnvandsbassinets udledningspunkt, omend markant mindre end forskellene mellem bassin (RVB) og vandløb (OS). Af figur 6.7 B fremgår det, at vandtemperaturen har en tendens til at være højere nedstrøms udledningspunktet sammenlignet med temperaturen målt opstrøms. I den undersøgte periode i sommeren 2019 er den største målte forskel 2,2°C (28. juli), mens den gennemsnitlige temperaturforskel er 0,38°C. Det er systematisk henover perioden vist i figur 6.7 B, at vandtemperaturen ved den nedstrøms målestation har en højere top på daglig basis sammenlignet med temperaturen målt ved den opstrøms målestation. Dette kan forklares med forskelligartede omgivelser, der påvirker temperaturudviklingen, som konstateret i afsnit 6.3 og illustreret i figur 6.4 på baggrund af forårsmålingerne. Som beskrevet i kapitel 4 blev det i forbindelse med et rhodamin-forsøg den 17. maj 2020 konstateret, at en beskeden udledning fra bassinet -i kombination med lav vandføring i vandløbet- vil strømme langs den højre brink ned til målestationen uden at opblandes fuldt. Denne form for strømningsmønster kan derved være medvirkende til de højere temperaturer nedstrøms, der observeres ved lave vandføringer eksempelvis i perioden 11. til 18. juli 2019.

Modellering af temperatur under regnhændelse

I løbet af sommeren 2019 er der perioder uden regn og dermed intet nævneværdigt udløb fra regnvandsbassinet, dette fremgår af figur 6.7 C. I den viste sommerperiode er der to regnhændelser, der skaber maksimal udledning fra regnvandsbassinet på 17 l/s. Figur 6.7 C viser også, at responsen på nedbøren i hhv. regnvandsbassin og vandløb sker næsten samtidigt, hvilket betyder, at de højeste vandføringer ud af regnvandsbassinet ikke er sammenfaldende med de laveste vandføringer i Revens Møllebæk. Det vurderes, at temperaturforskellene observeret omkring den 8. til 10. juli og igen 1. til 2. august kan relateres til et større udløb fra regnvandsbassinet skabt af en eller flere regnhændelser.

Temperaturerne i regnvandsbassinet og op- og nedstrøms udledningspunktet er under en aflastning fra bassinet, i perioden 8. til 10. juli 2019, vist på figur 6.8. Her ses, hvordan vandtemperaturen inden regnhændelsen op- og nedstrøms udledningspunktet er nærmest sammenfaldende – det samme gør sig gældende under hændelsen mens vandføringen i vandløbet er høj. Efter at vandføringen i Revens Møllebæk aftager, ses hvordan vandtemperaturen nedstrøms udledningspunktet stiger. Den målte temperaturforskel op- og nedstrøms udløbet er maksimal 1,9°C den 9. juli kl. 11:10. Dette forløb er forsøgt modelleret med en massebalance efter (6.1) omskrevet til formel (6.2).

$$T_{OS} + \Delta T_{NS-OS} = T_{NS} = \frac{Q_{RVB} \cdot T_{RVB} + Q_{OS} \cdot T_{OS}}{Q_{RVB} + Q_{OS}} \tag{6.2}$$



Figur 6.8: Modelleret vandtemperatur 8. juli til 11. juli 2019. Modellering på baggrund af formel (6.2).

Fra den 8. juli kl. 15:10, hvor bassinet begynder at aflaste, til den 9. juli kl. 15:10 beskriver massebalancen, der forudsætter fuld opblanding, vandtemperaturen nedstrøms udledningspunktet med god tilnærmelse med en RMSE på 0,34°C. I denne periode er aflastningen fra bassinet mellem 7 og 17 l/s. Dernæst, frem til d. 10. juli kl. 14:00 hvor aflastningen fra bassinet ophører, og hvor udledningen over perioden er mellem 0,2 og 7 l/s, er overensstemmelsen mellem modelleringen og de målte værdier dårlig, hvilket også kommer til udtryk i den beregnede RMSE på 0,97°C. Idet der i den sidste periode er tale om mindre vandføringer ud af bassinet, formodes det, at vandmasserne ikke er fuldt opblandede ved den nedstrøms målestation, som det har vist sig at kunne være tilfældet ved lave vandføringer (jf. forsøg med rhodamin den 17. maj 2020). Den maksimale modellerede temperaturforskel op- og nedstrøms udledningspunktet er 1,5°C den 9. juli kl. 14:10, mens den maksimale målte temperaturforskel er 1,9°C den 9. juli kl. 11:10. Begge observationer forekommer indenfor den periode, hvor modelleringen har den mindste fejl ift. de målte værdier – uoverensstemmelserne relaterer sig til føromtalte opblanding og omgivelser samt usikkerheder på vandføringen i især vandløbet.

6.6 Delkonklusion: temperaturmålinger

Med afsæt i måleprogrammet opsat på projektlokaliteten, er det forsøgt at kvantificere, i hvilket omfang det modtagende vandløb påvirkes -i relation til temperatur- af udledningen fra det våde regnvandsbassin. En del af denne kvantificering indebærer temperaturvariationerne, der naturligt forekommer i Revens Møllebæk. Der er konstateret en temperaturændring fra vandløbets udspring til udløb, med de største døgntemperatursvigninger på vandløbets midterste del. Også lige omkring bassinudløbet er der observeret betragtelige temperatursvigninger, med en maksimal døgnsvingning -i de analyserede perioder- opstrøms udledningspunktet på 9,35°C den 23. april 2020, præsenteret i tabel 6.2. Det kan altså konstateres, at der på strækningen, hvor bassinets udløb er placeret sker kraftige temperatursvingninger på døgnbasis.

Vandtemperaturen i vandløb såvel som i regnvandsbassin er påvirket af vejret, hvilket betyder, at ustadigt vejr og nedbør ændrer vandtemperaturen både i bassin og vandløb. Under en regnhændelse den 27. april og igen den 30. april 2020, vist på figur 6.2, bliver vandtemperaturen fra udspringet til udløbet ensartet og variationer i vandløbets længderetning udglattet. Målinger fra regnvandsbassinet (figur 6.3 A) viser, hvordan vandtemperaturen i bassinet i samme periode (27. april til 30. april) er reduceret i forhold til perioden umiddelbart før, der er præget af stabilt vejr og høje vandtemperaturer i dagstimerne. Vandtemperaturmålingerne sammenholdt med meteorologiske observationer antyder altså, at der ikke er sammenfald mellem de højest målte vandtemperaturer i regnvandsbassinet og nævneværdige udledninger fra bassinet som følge af nedbør – det forventes altså ikke, at vandløbet påvirkes af de højeste vandtemperaturer observeret i regnvandsbassinet. Vejrets indvirkning på vandtemperaturen i både bassin og vandløb i forbindelse med nedbør, som observeret bl.a. i perioden 27. til 30. april 2020, forventes også at forekomme i de andre sæsoner: sommer, efterår og vinter, hvorfor temperaturmæssige påvirkninger i vandløbet som konsekvens af udledninger fra bassiner generelt forventes at være små.

Observerede temperaturændringer under aflastning fra regnvandsbasssin

Der er i de tre undersøgte perioder: forår 2020, vinter 2020 og sommer 2019, konstateret temperaturforskelle op- og nedstrøms udledningspunktet under aflastning fra bassinet. Tabel 6.5 viser de største temperaturforskelle observeret op- og nedstrøms udledningspunktet forudsat en udledning fra regnvandsbassinet større end 1 l/s. Dertil er den observerede temperaturforskel ΔT_{NS-OS} forsøgt beregnet ud fra formel (6.1) omskrevet til formel (6.3).

$$\Delta T_{NS-OS} = \Delta T_{RVB-OS} \cdot \frac{Q_{RVB}}{Q_{RVB} + Q_{OS}} \tag{6.3}$$

Tabel 6.5: Maksimal temperaturforskel ΔT_{NS-OS}: forår 2020, februar 2020 og sommer 2019 forudsat aflastning fra bassin $>$ 1 l/s. Derudover er den beregnede temperaturforskel ΔT_{NS-OS} efter formel (6.3) præsenteret.

	Forår 2020 27/4 2020 kl. 12.30	**Vinter 2020** 28/2 2020 kl. 11.30	**Sommer 2019** 9/7 2019 kl 11.10
ΔT_{NS-OS} [°C]	1,06	-0,77	1,88
ΔT_{RVB-OS} [°C]	2,80	-1,38	4,05
Q_{RVB} [l/s]	1,4	1,4	9,7
Q_{OS} [l/s]	19	168	25
ΔT_{NS-OS} [°C] efter formel (6.3)	0,19	-0,01	1,13

Ved brug af de teoretiske kurver (præsenteret i afsnit 6.1) og observeret temperatur- og vandføringsdata blev det allerede tidligt i analysen konstateret, at der ikke kunne forventes temperaturændringer markant større end 1-2°C som følge af en udledning fra bassinet. Jævnfør tabel 6.5 konstateres det, at selv de maksimale observerede temperaturændringer,

der kan tilskrives bassinet på baggrund af massebalancen, er små. Dertil bemærkes det, at de målte temperaturforskelle ikke kan modelleres med en massebalance, der forudsætter fuld opblanding. Dette vurderes at være et udtryk for, at der kun er delvis opblanding ved den nedstrøms målestation i mange strømningssituationer, hvilket underbygges af forsøgene med rhodamin – dertil tilskrives målestationernes omgivelserne også en betydning ift. eksponering for ind- og udstråling, hvor den nedstrøms målestation står i åbne omgivelser sammenlignet med den opstrøms målestation, som vist i figur 6.4. Resultatet af den delvise opblanding ved den faste målestation og TidbiT T6, nedstrøms udledningspunktet, er større temperaturændringer end ved den fulde opblanding, der ses længere nedstrøms, hvilket igen understreger, at de målte temperaturændringer som følge af udledningen fra regnvandsbassinet er små.

På baggrund af temperaturmålingerne ses der både i vandløbet og regnvandsbassinet, at loggernes placering har betydning for måleresultaterne: både i forhold til eksponering for ind- og udstråling af varme såvel som placering i relation til blandingszonen i vandløbet. Dertil indikerer målinger i bassinet fra foråret 2020, at der i perioder med stabilt vejr dannes en temperaturgradient, hvor temperaturen er faldende ned gennem vandsøjlen, hvilket er vist i figur 6.5. Temperaturgradienten udlignes i ustadigt vejr med faldende lufttemperaturer og nedbør, altså i de perioder, hvor en nævneværdig aflastning fra bassinet forventes. Temperaturmålingerne foretaget både ved den faste målestation i regnvandsbassinet og med TidbiT T32 forventes derfor at være retvisende og repræsentative for vandtemperaturen i bassinet i perioder med nedbør og den efterfølgende aflastning til Revens Møllebæk. Overordnet ændrer målepunkternes placering dog ikke på, at det på baggrund af målingerne foretaget i 2019 og 2020 konkluderes, at udledninger fra regnvandsbassinet kun i ringe grad påvirker vandtemperaturen i Revens Møllebæk – formentlig både fordi temperaturforskellen mellem bassin og vandløb falder under ustadigt vejr og nedbør, men også fordi aflastning fra regnvandsbassinet i vid udstrækning sker sammenfaldende med høj vandføring i Revens Møllebæk.

7 Ilt, pH og ledningsevne: resultater og analyse

I forlængelse af målingerne af temperatur i regnvandsbassinet i Voldum og det modtagende vandløb, Revens Møllebæk, er der, som præsenteret i kapitel 4, i perioden slut marts til slut maj 2020 foretaget målinger af opløst ilt, pH og ledningsevne hhv. i toppen af vandsøjlen i bassinet nær udløbsbygværket og ca. 23 m nedstrøms udledningspunktet i vandløbet. Målingerne er foretaget med formålet at sætte tal på den forventede negative påvirkning, udledningen fra regnvandsbassinet vil have på vandkvaliteten i Revens Møllebæk. Interesseorganisationen DANVA angiver, som nævnt i kapitel 1, i deres seneste designguide for regnvandsbassiner fra 2018, at de lange opholdstider i våde bassiner i varme perioder vil føre til en forringet vandkvalitet.

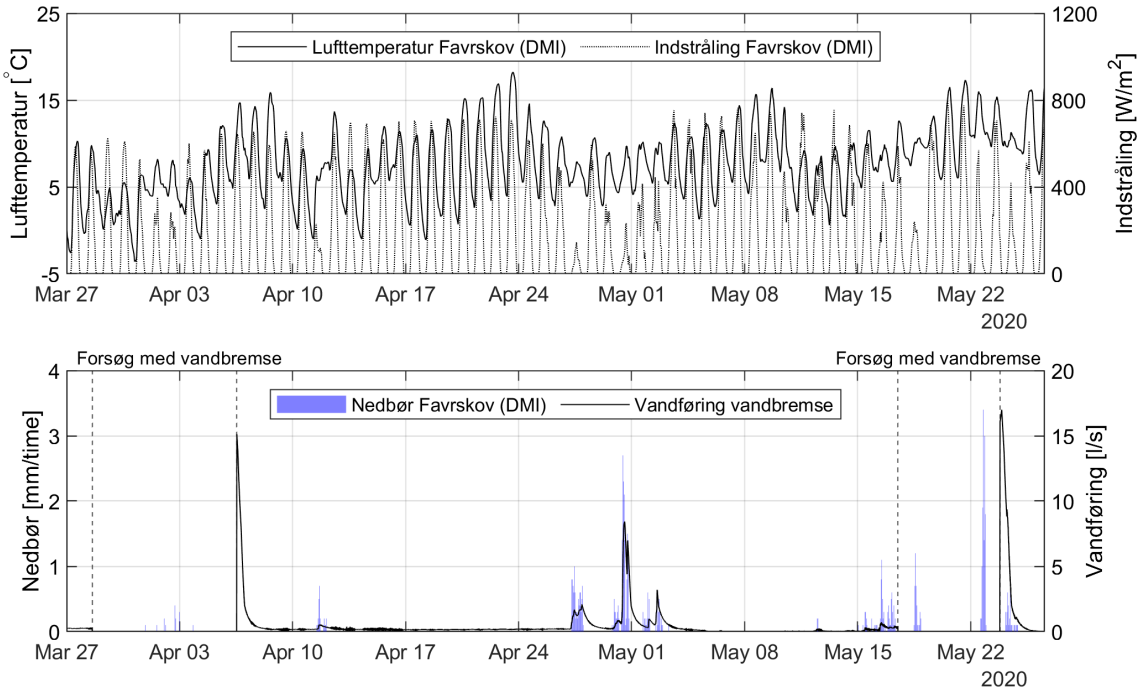
I relation til opløst ilt var det derfor hypotesen, at vandet i bassinet med stigende vandtemperaturer, der kan nærme sig 25-30°C om sommeren [Vollertsen et al., 2012a, afs. 7.5], vil indeholde mindre og mindre opløst ilt, der under udledning i forbindelse med nedbørshændelser vil kunne forringe vandkvaliteten i vandløbet. Som beskrevet i systemanalysen i kapitel 2 vil indholdet af opløst ilt i et vandmiljø, herunder både bassin og vandløb, naturligt variere på døgnbasis som følge af de mønstre, der er i fotosyntese og respiration. At koncentrationen af opløst ilt falder er derfor ikke partout kritisk, men falder koncentrationen til mindre end 4 mg/l, kategoriseres det som moderat iltsvind, hvor faunaen i vandmiljøet begynder at påvirkes negativt – kraftigt iltsvind ses, når koncentrationen er mindre end 2 mg/l [Aarhus Universitet Institut for Bioscience, 2020].

Ferskvands pH-værdi kan variere bredt og påvirkes, som beskrevet i kapitel 2, især på døgnbasis af produktionen af ilt ved fotosyntese i forbindelse med optag af kuldioxid, CO_2, hvor der sker en alkalinisering (pH stiger). pH-værdien vil som nævnt også afhænge af bufferkapaciteten i det pågældende vandmiljø, hvor koncentrationen af karbonationer, HCO_3^-, er afgørende og primært styret af geologiske forhold. Danske vandløb har generelt gode bufferkapaciteter, især i den østlige del af landet [Sand-Jensen et al., 2006, s. 35]. På baggrund af pH-målinger foretaget i perioden 1989 til 1998 i nærliggende oplande til Revens Møllebæk, forventes pH omkring 7-8 [Sand-Jensen et al., 2006, fig. 2.8]. Af hensyn til trivslen af de organismer, der findes i ferske vandmiljøer, bør ekstreme pH-værdier undgås – i praksis betyder det, at pH i vandløbet gerne skal være i intervallet 5-9 [Allan og Castillo, 2007, afs. 4.5].

I vandløb varierer ledningsevnen også afhængigt af geologien og interaktionen med grundvandet, ligesom afstrømmende overfladevand herunder drænvand kan føre forskellige opløste salte med sig til vandløbet. Regnvand i sig selv er relativt ion-fattigt sammenlignet med ferskvand i vandløb og søer, der påvirkes af bl.a. fordampning og derved opkoncentreres

[Allan og Castillo, 2007, s. 60]. Ledningsevnen i vandløb ligger typisk mellem 50 og 1.500 μS/cm, og skal i ferskvand ideelt være i intervallet 150 til 500 μS/cm for at kunne understøtte et forskelligt og rigt plante- og dyreliv [Behar, 1996].

Perioden slut marts til slut maj 2020, hvor der i regnvandsbassinet i Voldum og vandløbet Revens Møllebæk er målt opløst ilt, pH og ledningsevne, var præget af små mængder af nedbør – se figur 7.1. Over perioden var lufttemperaturen generelt stigende, og ofte var der skyfrit med god indstråling. Figur 7.1 viser ligeledes vandføringen ud af bassinet over perioden, hvor den maksimale vandføring, skabt af en nedbørshændelse, var godt 8 l/s den 30. april.

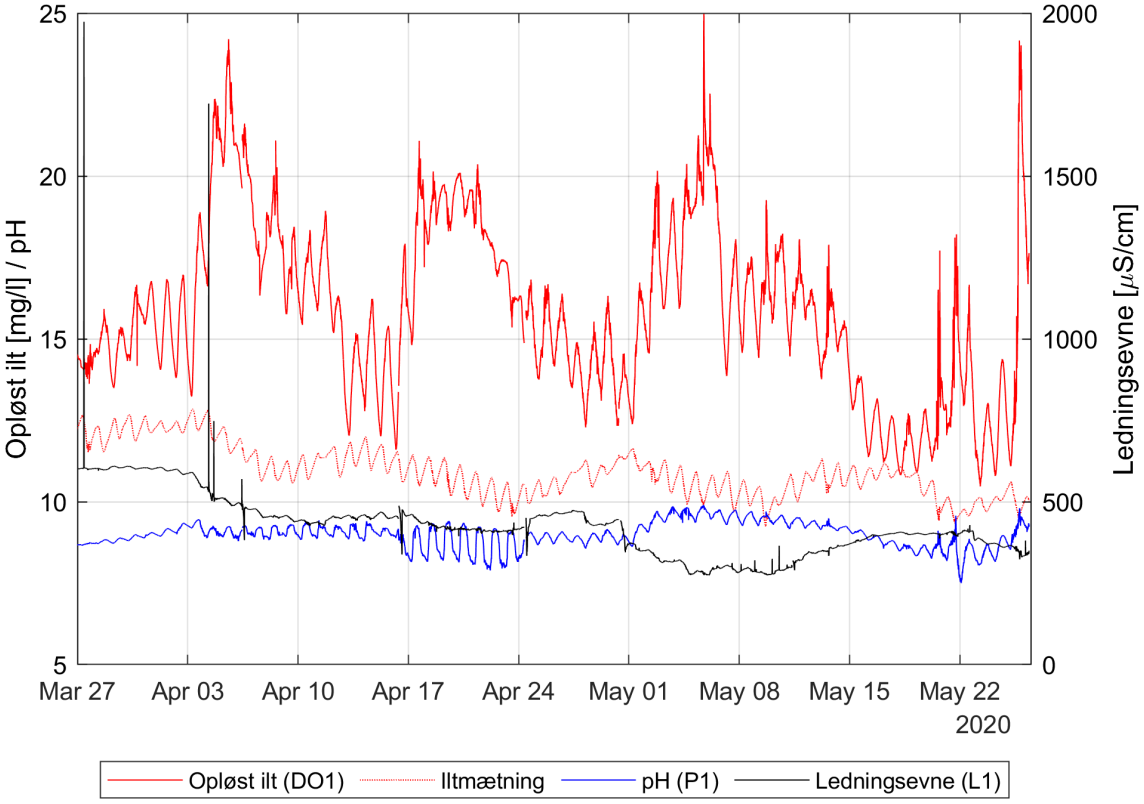


Figur 7.1: Vejrlig i perioden 27. marts til 26. maj i Favrskov Kommune inkl. vandføringsdata for vandbremsen i bassinet. Vejrdata fra DMI. Den høje vandføring d. 6. april og 23. maj sker som følge af et forsøg med vandbremsen og afspejler ikke reelle hændelser.

I det forestående kapitel analyseres og præsenteres målingerne af opløst ilt, pH og ledningsevne fra henholdsvis bassin og vandløb (nedstrøms udledningspunkt). Først analyseres de observerede målinger individuelt: regnvandsbassin og vandløb, hvorefter der i en delkonklusion sammenholdes målinger for udvalgte perioder i relation til at vurdere og kvantificere påvirkningen bassinudledningen potentielt har på vandkvaliteten i vandløbet. I det følgende henvises der til figurer i bilag G, der fremstiller de fuldstændige dataserier for målingerne af ilt, pH og ledningsevne i bassin og vandløb – herunder tidspunkter for aflæsning og vedligehold, kalibrering af pH-loggere samt meteorologisk data.

7.1 Regnvandsbassin

I perioden fra 27. marts til 26. maj er vandets koncentration af opløst ilt, pH og ledningsevne målt i regnvandsbassinet hvert 10. minut, målernes placering er vist på figur 4.1 i kapitel 4. Loggerne har været fastgjort til et tovtræk monteret på bøjer ved vandoverfladen, som vist i figur 4.2 i kapitel 4. Målingerne af koncentration af opløst ilt, pH og ledningsevne i regnvandsbassinet er vist i figur 7.2 og resultaterne er kommenteret i det følgende.



Figur 7.2: Målinger af opløst ilt, pH og ledningsevne i regnvandsbassinet i Voldum i perioden 27. marts til 26. maj. Iltmætning er den beregnede mætning ved den givne vandtemperatur og elevation (27 m) [Bowie et al., 1985, tab. 3-1, eq. 3-6]. Ledningsevne er temperaturkorrigeret efter EN 27888 til 25°C – ukorrigeret ledningsevne er vist i bilag G.

Ilt

Målingerne af opløst ilt foretaget i løbet af projektperioden følger de forventede døgnvariationer, hvor der i dagtimerne med lys tilføres ilt til vandet gennem fotosyntese, mens den manglende produktion i kombination med fortsat respiration i løbet af natten sænker iltkoncentrationen, som præsenteret i figur 2.5. De målte iltkoncentrationer i måleperioden er vist på figur 7.2, hvor iltkoncentrationen maksimalt er 25,0 mg/l, mens den mindste observerede koncentration er 10,5 mg/l. I bilag G figur G.1 og G.2 er iltmålingerne vist sammen med en række meteorologiske observationer, der understøtter sammenhængen mellem indstråling og iltkoncentrationens døgnsvingninger styret af fotosyntese og respiration.

Af figur 7.2 fremgår det, at vandet i regnvandsbassinet er overmættet med ilt både dag og nat, på nær fem timer om natten d. 18. maj, hvor mætningsgraden teoretisk når ned lige under 100 %. Regnvandsbassinet er særdeles produktivt, og målingerne viser en anselig iltproduktion ved fotosyntese, hvilket betyder flere tilfælde, hvor mætningsgraden er over 200 %. Afledt heraf konstateres det, at vandets iltindhold i denne periode ikke er styret af temperaturen, men snarere de kemiske processer i bassinvandet. Overmætning med ilt er observeret i to andre danske regnvandsbassiner i Odense og Aarhus i maj måned, hvor der på lokaliteten i Aarhus dog ses faldende iltkoncentrationer i slutningen af maj med tilfælde, hvor iltindholdet er svarende til iltsvind [Wium-Andersen et al., 2013]. Der ses lave iltkoncentrationer både i bassinet i Odense og i Aarhus i løbet sommerperioden, hvorfor det ikke kan afvises, at indholdet af opløst ilt i regnvandsbassinet i Voldum, vil falde i løbet af den kommende sommer.

Det vurderes, at den observerede overmætning af ilt blandt andet hænger sammen med de trådalger, der er observeret flere steder i regnvandsbassinet. Trådalgerne fanges blandt andet af tovtrækket, hvorpå loggerne er monteret, dette fremgår af figur 7.3. Disse trådalger tæt på iltloggeren kan resultere i høje iltkoncentrationer, der ikke nødvendigvis repræsenterer iltforholdene andre steder i bassinet, herunder ved det dykkede udløb i bassinet, hvorfra vandet udledes til Revens Møllebæk. Desuden viser temperaturmålinger i bassinet, at en temperaturgradient kan formes i stabilt vejr (se evt. figur 6.5). Det er derfor nærliggende at formode, at en iltgradient også vil kunne opstå. Dog forventes en iltgradient ikke at forekomme i forbindelse med nedbør og dermed aflastning fra bassinet, idet det er observeret, at bl.a. temperaturgradienten udjævnes i denne situation, jævnfør figur 6.5. Det er derudover konstateret, på baggrund af målinger fra de to føromtalte regnvandsbassiner i Odense og Aarhus, at vandet i disse bassiner i forbindelse med nedbørshændelser er fuldt opblandet i løbet af 0,5-2 timer [Wium-Andersen et al., 2013]. En eventuel iltgradient forventes desuden udjævnet ved en vindpåvirkning, der skaber opblanding af vandsøjlen.

I forbindelse med nedbør og ustadigt vejr, som fremgår af figur G.1 og G.2 i bilag G, ses hvordan koncentrationen af opløst ilt falder – dog er vandet stadig overmættet, hvorfor udledning fra bassinet i denne periode ikke giver anledning til bekymring for recipienten (eksempelvis den 27. og 30. april). De faldende iltkoncentrationer kan både hænge sammen med større opblanding af vandsøjlen i ustadigt vejr og under nedbør, hvor iltforskelle mellem top og bund udlignes. Derudover reducerer skydække indstrålingens intensitet, der påvirker fotosyntesen og iltproduktionen.

pH

Målinger af vandets pH-værdi i regnvandsbassinet er vist i figur 7.2. pH er i måleperioden imellem 7,5 og 9,9 og følger -ligesom iltindholdet- døgnsvingninger, der er styret af lysmængde og fotosyntetisk aktivitet. Den højeste pH-værdi på 9,9 og det maksimale iltindhold er observeret indenfor den samme halve time den 5. maj 2020 sidst på eftermiddagen. En pH-værdi på omkring 10 kan være problematisk for recipienten, dog viser figur G.2 i bilag G, at der den 5. maj ikke er en nævneværdig udledning fra bassinet. Det formodes desuden, at de høje pH-værdier målt i vandoverfladen er resultatet af iltproducerende trådalger, der er observeret i tovtrækket, hvortil bøje og pH-logger er fastgjort (se evt. figur 7.3).

Det er på baggrund af målingerne svært at identificere om pH i regnvandsbassinet påvirkes af nedbør. I måleperioden er der få, mindre regnhændelser, der umiddelbart ikke ændrer vandets surhedsgrad i regnvandsbassinet, hvilket fremgår af figur G.1 og G.2 i bilag G, hvor de målte pH-værdier er præsenteret sammen med observeret nedbør.

Figur 7.3: Trådalger omkring loggerne i bassinet. Billede fra 17. maj 2020.

Figur 7.4: Tilsmudsning af og omkring loggerne i vandløbet. Billede fra 16. april 2020

Ledningsevne

Ledningsevnen af vandet i regnvandsbassinet er generelt faldende henover måleperioden, dette er vist på figur 7.2. I måleperiodens begyndelse er ledningsevnen stabilt omkring 600 μS/cm, mens ledningsevnen mod måleperiodens slutning er omkring 350 μS/cm, fra den 5. maj til den 10. maj er ledningsevnen på sit laveste mellem 275 og 300 μS/cm. I løbet af perioden ses en række af enkelte målinger med markant højere eller lavere værdier end de øvrige målinger, dette formodes at hænge sammen med momentan påvirkning af sensoren og tolkes ikke som den aktuelle ledningsevne af vandet.

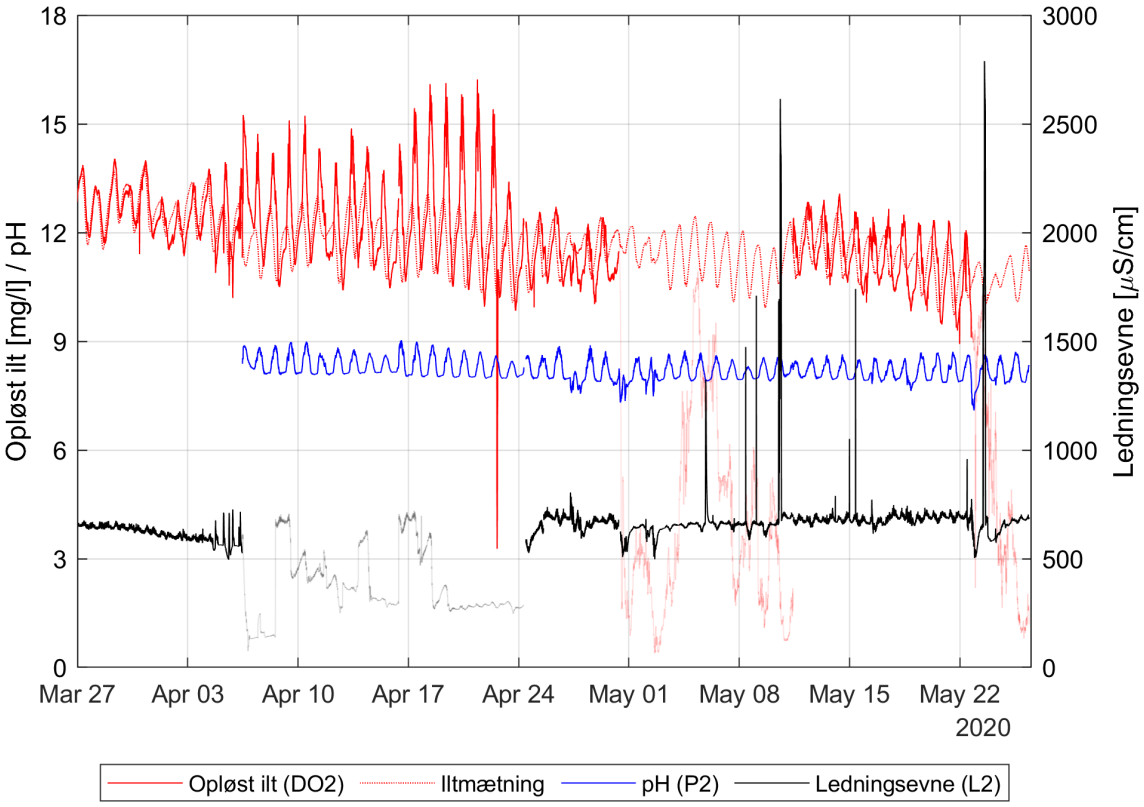
Ledningsevnen er generelt faldende indtil start maj, hvilket er et udtryk for et reduceret indhold af opløste salte -herunder næringssalte- i vandet. Næringsstofferne optages og indgår i opbygningen af biomasse, hvilket både hænger godt sammen med den høje iltproduktion, der måles i bassinet, og den opblomstring af planter og især trådalger, der er observeret i bassinet i løbet af måleperioden. Fra start maj ses gradvise ændringer af ledningsevnen, variationer der kan stamme fra udvaskede næringssalte, der tilføres bassinet fra det tilkoblede dræn. Dertil påvirkes ledningsevnen, når nedbrydning af dødt organisk materiale, forårsager en frigivelse af næringstoffer, som derefter kan indgå i opbygning af ny biomasse. Som for ilt- og pH-målingerne, kan loggerens placering i tovtrækket, som samler trådalger, ikke afvises at påvirke ledningsevnemålingerne, hvor forventningen er at algernes tilstedeværelse omkring ledningsevneloggeren resulterer i en lav måling af ledningsevne.

Ledningsevnen falder i tydelige knæk ifm. den 27. og 30. april (se evt. bilag G figur G.3 og G.4), hvor ledningsevnen i løbet af regnhændelsen falder hhv. omkring 30 og 100 μS/cm. Målingerne antyder, at regnvandets koncentration af salte herunder næringssalte fra kloakoplandets overflader, er lavere end koncentrationen af opløste salte i bassinet, hvorfor

ledningsevnen reduceres ifm. regnhændelsen og tilførslen af ionfattigt regnvand til bassinet. Dog ses også regnhændelser, omend de er små, hvor det ikke observeres, at nedbøren i løbet af hændelsen ændrer ledningsevnen i bassinet (f.eks. 11. april og 16. maj 2020).

7.2 Vandløb

I samme periode hvor ilt, pH og ledningsevne er målt i regnvandsbassinet er samme parametre målt hvert 10. minut ca. 23 m nedstrøms udledningspunktet, hvor loggerene har været fastgjort til vandløbsbunden som vist på figur 4.3 i kapitel 4. Loggernes placering er vist i figur 4.1. Loggerne skal være dækket af vand, hvorfor de er placeret på en strækning med lidt dybere vand, hvilket betyder, at strømningshastigheden her er reduceret. Den reducerede hastighed resulterer i, at der let ophobes små grene og blade rundt om loggerne, ligesom fint materiale sedimenterer og lægger sig på loggerne, se figur 7.4. Dette har bevirket, at målingerne i vandløbet i større omfang er blevet forstyrret, end hvad der var tilfældet i bassinet. Målingerne af koncentration af opløst ilt, pH og ledningsevne er vist i figur 7.5, og resultaterne er kommenteret i det følgende.



Figur 7.5: Målinger af opløst ilt, pH og ledningsevne i Revens Møllebæk i Voldum i perioden 27. marts til 26. maj. Iltmætning er den beregnede mætning ved den givne vandtemperatur og elevation (27 m) [Bowie et al., 1985, tab. 3-1, eq. 3-6]. Ledningsevne er temperaturkorrigeret efter EN 27888 til 25°C – ukorrigeret ledningsevne er vist i bilag G. pH-loggeren havde indtil d. 6. april et udfald. Svagt markerede perioder i ilt- og ledningsevneserien er udtryk for målinger, der ikke kan anses for sande.

Ilt

Iltkoncentrationen i vandløbet følger, som iltindholdet i bassinet, døgnsvingningerne styret af fotosyntese og respiration. Af figur 7.5, fremgår det, at iltkoncentrationen i vandløbet typisk er mellem 10 og 15 mg/l, hvilket er omkring eller over mætningsgraden. Den 22. april ses et moderat iltsvind, der ikke kan kædes sammen med regnvandsbassinet og nedbør, men derimod er forårsaget af en anden kilde eksempelvis udledningen fra renseanlægget.

I forbindelse med regnhændelsen den 30. april 2020 falder koncentrationen af opløst ilt, og derefter måles iltindholdet lavt i en længere periode frem til den 11. maj, hvor loggerne aflæses og vedligeholdes. Det formodes, at regnhændelsen -med forøget vandføring i vandløbet til følge- skaber resuspendering af fint organisk materiale med omgivende iltfrit vand fra vandløbsbunden, der momentant sænker iltindholdet. Resuspendering af det organiske materiale kan endvidere påvirke pH-værdien, da det iltfrie organiske materiale er karakteriseret ved en lavere pH. Den længerevarende indflydelse på iltkoncentrationen efter denne regnhændelse, tilskrives tilsmudsning af den optiske iltsensor, hvilket understøttes af de målte pH-værdier, der efter regnhændelsen vender tilbage til det stabile leje mellem 8 og 9, der er observeret i tørvejrssituationer. Det formodes altså, at iltmålingerne efter hændelsen den 30. april til 11. maj, såvel som fra d. 22. maj, er forstyrret af denne tilsmudsning af sensoren, hvorfor det vurderes, at den reelle koncentration af opløst ilt i denne periode er højere, som det er set både før den 30. april og mellem den 11. og 22 maj. På baggrund af disse målinger kan det altså konstateres, at det er svært at undgå tilsmudsning af iltsensoren med den pågældende placering og montering. Dette kan i perioder påvirke måleresultaterne, der derfor skal analyseres og behandles med det for øje, at målingerne kan være forstyrret.

pH

De målte pH-værdier er vist i figur 7.5, hvor det fremgår, at pH typisk har et stabilt leje omkring 8 til 9 med døgnsvingninger styret af balancen mellem fotosyntese og respiration. Det bemærkes, at vandløbet har tendens til at være i den høje ende i forhold til den ideelle pH for vandløb mellem 5 og 9 [Allan og Castillo, 2007]. I forbindelse med nedbør ses en reduktion i pH ned til omkring 7-7,5, hvor de laveste værdier er sammenfaldende med nedbørspeak, hvilket er vist på figur G.5 og G.6 i bilag G. Som førnævnt kan et fald i pH tilskrives resuspendering af organisk materiale, der akkumuleres på vandløbsbunden i tørvejr og gradvist udvikler en lavere pH, og som følge af højere vandføring i vandløbet resuspenderes og derved sænker vandets surhedsgrad. Et studie af den kemiske sammensætning af regnvand over Midtjylland fandt, at pH var 4,3 [Sand-Jensen og Lindegaard, 2004, tab. 2.1], hvilket indikerer, at regnvandet i sig selv vil kunne forårsage en lavere pH i vandløbet. Efter nedbørshændelserne finder pH-værdien tilbage til det stabile leje omkring 8 til 9.

Ledningsevne

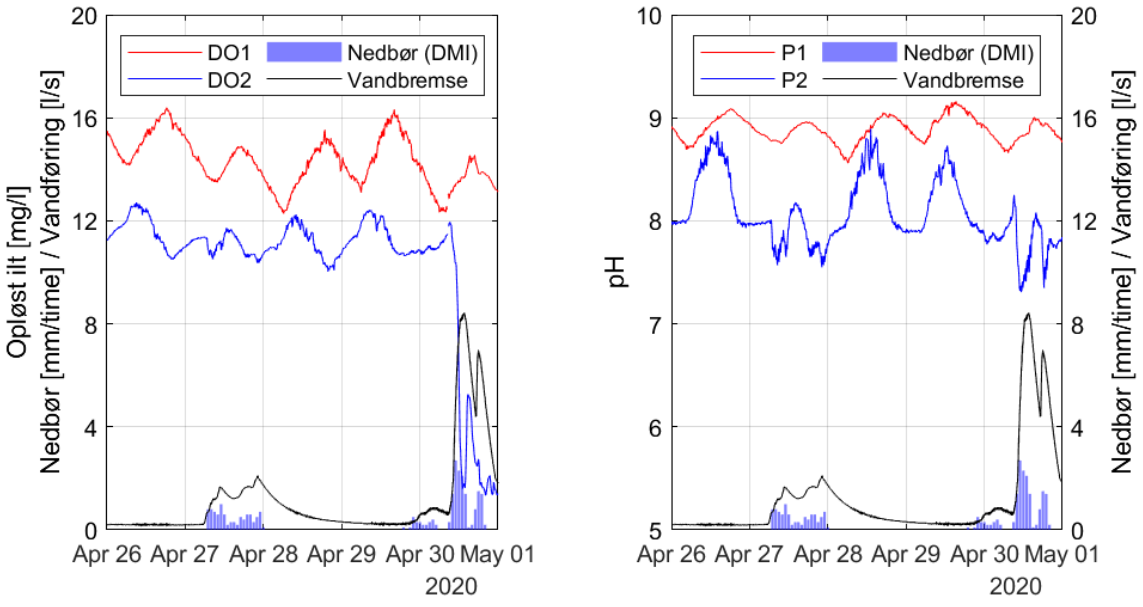
Vandet i vandløbet har en stabil ledningsevne omkring 600 til 700 μS/cm, hvilket er over den ideelle værdi mellem 150 og 500 μS/cm. De målte værdier af ledningsevne fremgår af figur 7.5, hvor flere perioder er karakteriseret ved ustabile og usystematiske målinger. Især er målingerne i perioden fra 6. til 24. april vurderet at være resultatet af en tilsmudset sensor, der tydeligvis påvirkes af fint partikulært materiale, grene eller lignende, der lejlig-

hedsvis samler sig omkring loggeren. Igen kan det konstateres, at loggernes placering på vandløbsbunden forårsager en række udfordringer med hensyn til retvisende og pålidelig indsamling af data.

I de perioder, hvor ledningsevneloggeren måler stabilt, observeres mere variation i vandløbet end bassinet, hvilket vurderes sandsynligt, idet vandløbet er mere dynamisk og løbende modtager vand fra forskellige kilder som f.eks. dræn, grundvand og renseanlæg. I forbindelse med nedbør ses tydelige fald i ledningsevnen i vandløbet, hvor ledningsevnen reduceres til omkring 500 μS/cm den 30. april og 2. maj, dog stiger ledningsevnen igen efter regnhændelserne til lejet mellem 600 og 700 μS/cm, hvilket fremgår af figur G.7 og G.8 i bilag G. Det markante fald i ledningsevne d. 23. maj sker som følge af en større men fremprovokeret udledning fra bassinet, hvorfor denne hændelse ikke afspejler en reel situation.

7.3 Delkonklusion: ilt-, pH- og ledningsevnemålinger

Der er på baggrund af resultaterne fra måleprogrammet, opsat på projektlokaliteten, konstateret en konstant overmætning med ilt i bassinet i måleperioden, hvilket fremgår af figur 7.2, hvorfor vandet fra bassinet har gode iltforhold, der i forbindelse med en aflastning fra bassinet -under nuværende forhold- ikke vil påvirke vandkvaliteten i Revens Møllebæk negativt. De iltsvind, der observeres den 22. april og igen den 30. april til 11. maj samt 22. til 26. maj i Revens Møllebæk, præsenteret på figur 7.5, kan ligeledes ikke kædes til regnvandsbassinet. De målte iltkoncentrationer i bassin og vandløb fra 26. til og med 30. april er vist på figur 7.6, hvor det tydeliggøres, at iltkoncentrationen er højere i bassinet end i vandløbet. I forbindelse med regn og dermed aflastning fra bassinet, er faldende pH-værdier i vandløbet observeret, hvilket er vist i figur 7.6. Denne ændring af pH skyldes ikke regnvandsbassinet, idet pH i denne periode generelt er højere i bassinet end i vandløbet.

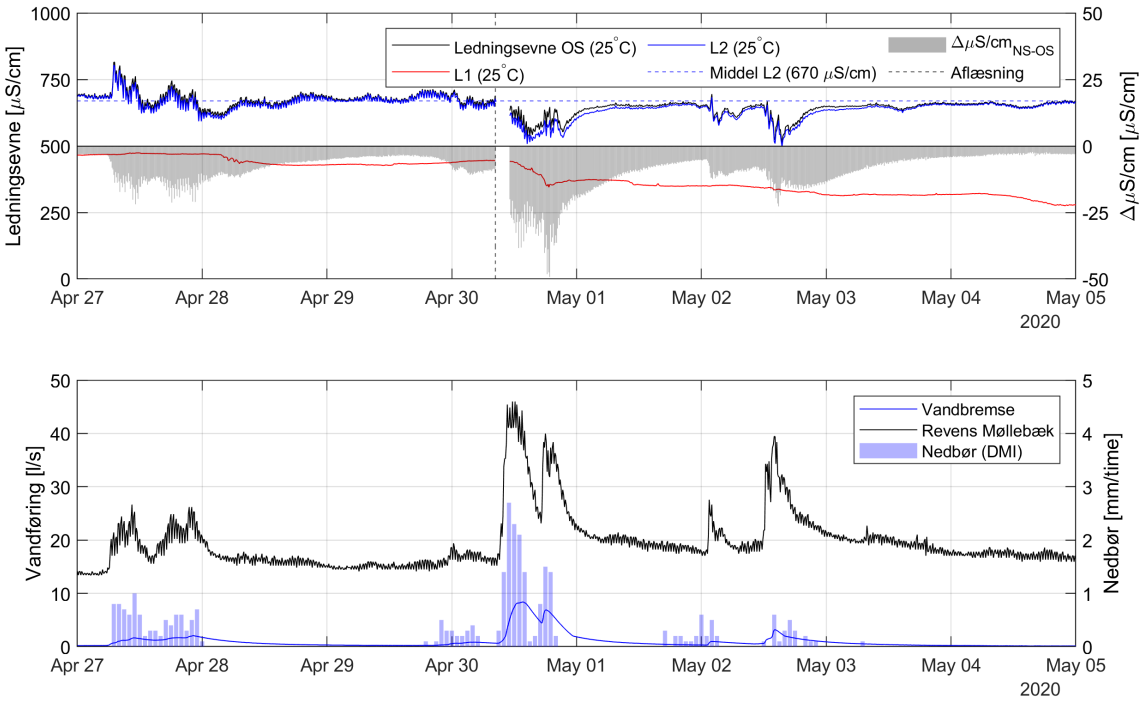


Figur 7.6: Sammenligning af ilt og pH i regnvandsbassin og vandløb under regn. Ilt- og pH-logger DO1 og P1 måler i bassinet, mens DO2 og P2 måler i vandløbet.

I betragtningen af vandets ledningsevne ses et fald i vandløbet under regnhændelserne den 27. april til 4. maj, se figur 7.7. I denne periode ligger ledningsevnen i bassinet i intervallet 250-500 μS/cm (faldende fra 500). Samtidigt er middelledningsevnen i vandløbet omkring 670 μS/cm. Ledningsevnen er konstateret generelt lavere i bassinet (se evt. figur 7.2 og 7.5), hvorfor aflastning herfra kan være medvirkende til at ledningsevnen i vandløbet falder. Dog må det også formodes, at regnvandet -der ledes til vandløbet via f.eks. uforsinkede udledninger- også sænker vandets ledningsevne. På baggrund af en simpel massebalance med fuld opblanding, formel (7.1), beregnes den opstrøms ledningsevne, C_{OS} – denne, samt forskellen i ledningsevne op- og nedstrøms bassinudløbet, fremgår af figur 7.7.

$$Q_{RVB} \cdot C_{RVB} + Q_{OS} \cdot C_{OS} = (Q_{RVB} + Q_{OS}) \cdot C_{NS} \tag{7.1}$$
$$C_{OS} = \frac{(Q_{RVB} + Q_{OS}) \cdot C_{NS} - Q_{RVB} \cdot C_{RVB}}{Q_{OS}}$$

Q_{RVB}	Vandføring ud af regnvandsbassin	[l/s]
Q_{OS}	Vandføring opstrøms udledningspunkt fra bassin	[l/s]
C_{RVB}	Ledningsevne i regnvandsbassin (målt)	[μS/cm]
C_{OS}	Ledningsevne opstrøms udledningspunkt fra bassin (beregnet)	[μS/cm]
C_{NS}	Ledningsevne nedstrøms udledningspunkt fra bassin (målt)	[μS/cm]



Figur 7.7: Sammenligning af ledningsevne i regnvandsbassin og vandløb under regn. Ledningsevnelogger L1 måler i bassinet, mens L2 måler i vandløbet. Derudover fremgår beregnet opstrøms ledningsevne, Ledningsevne OS (beregnet vha. massebalancen angivet i formel (7.1)), middel ledningsevne for den anskuede periode (Middel L2) samt beregnet forskel i ledningsevne op- og nedstrøms udledningspunktet ($\Delta\mu$S/cm$_{\text{NS-OS}}$).

Det ses, at et fald i ledningsevne på op mod 50 μS/cm kan tilskrives udledningen fra regnvandsbassinet den 30. april, hvor det dog bemærkes, at ledningsevnen opstrøms udledningspunktet (ned til 500 μS/cm) også er afvigende fra midlen omkring de 670 μS/cm. I dette tilfælde vil ca. 30 % af ændringen i ledningsevne således kunne tilskrives udledningen fra regnvandsbassinet. Yderligere ses det, at udledningen fra regnvandsbassinet den 2. maj sænker ledningsevnen i vandløbet med omkring 15 μS/cm, der i denne situation udgør knap 10 % af det samlede fald fra midlen på de ca. 670 μS/cm. Faldet i ledningsevne i Revens Møllebæk, som konsekvens af udledningen fra regnvandsbassinet, vurderes dog ikke at være til skade for vandløbet idet idealniveauet er i intervallet 150-500 μS/cm.

Det kan -på baggrund af måleprogrammet- konstateres, at udledningen fra regnvandsbassinet ikke har en negativ påvirkning på iltindhold, pH eller ledningsevne nedstrøms bassinudløb. Dette står i modsætning til forventningen om, at våde regnvandsbassiner forringer førnævnte parametre med skade på dyre- og plantelivet i det modtagende vandløb til følge. Denne konklusion bygges på målinger fra slut marts til slut maj 2020, hvorfor det endnu er uvist, hvordan parametrene vil udvikle sig henover sommeren eller når bassinet har været i funktion i en længere årrække. Et dansk studie har vist, at eksempelvis iltkoncentrationen i to regnvandsbassiner falder i sommerperioden, hvor det dog skal nævnes, at det i studiet er identificeret, at begge bassiner modtager fejlkoblet spildevand [Wium-Andersen et al., 2013].

I forbindelse med tilsyn af måleudstyret på projektlokaliteten, er det konstateret, at loggernes placering og montering i perioder kan være årsag til væsentlig forstyrrelse af måleresultaterne. Dette afspejler sig også i dataserierne, hvor især målingerne i vandløbet synes at være påvirket af f.eks. tilsmudsning af sensorer og ophobning af kviste, blade og lignende omkring loggerne, der skyldes den valgte placering og montering af loggerne på vandløbsbunden (se evt. figur 7.4). I bassinet formodes trådalger omkring loggerne, som vist på figur 7.3, at påvirke målingerne. Disse observationer understreger blot vigtigheden af jævnlige tilsyn med rengøring og vedligehold af måleudstyret, samt en forbeholden tolkning af data.

8 Scenarieanalyser

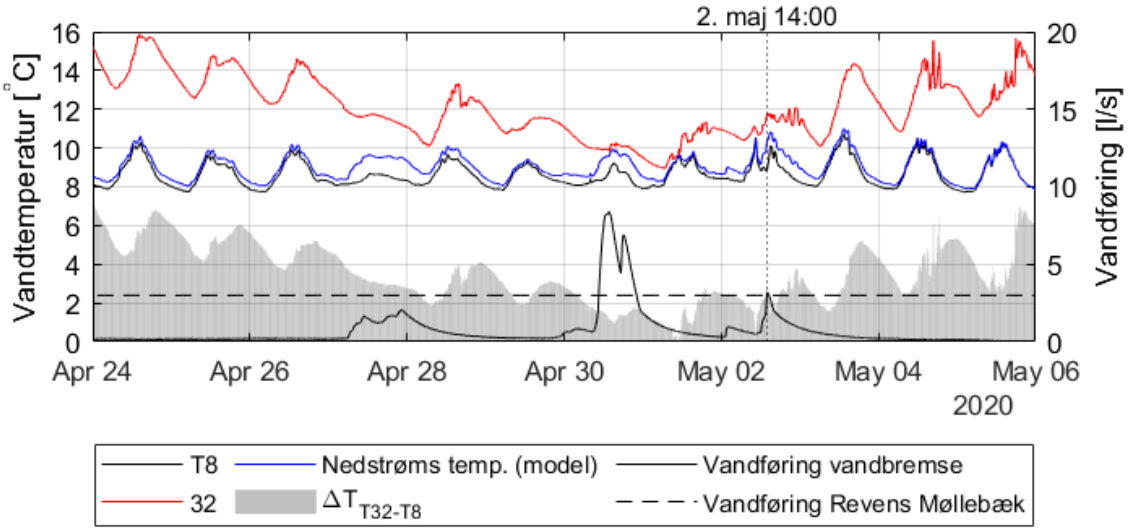
Det blev i kapitel 6 på baggrund af data fra 2019 og 2020 konstateret, at bassinet i disse perioder har ringe indvirkning på vandtemperaturen nedstrøms udledningspunktet i Revens Møllebæk. I indeværende kapitel undersøges to scenarier, der belyser om en væsentlig temperaturændring kan ske, hvis bassinet var placeret tæt på udspringet af Revens Møllebæk eller i en situation, hvor der sker et kontrolleret overløb fra regnvandsbassinet ved den nuværende placering i forbindelse med ekstreme eller koblede regnhændelser.

8.1 Udledning ved udspring

Temperaturmålingerne ned gennem Revens Møllebæk (præsenteret i afsnit 6.2) har vist markante temperaturvariationer fra udspring til udløb, se evt. figur 6.2. Det vurderes derfor, at vandløbet omkring udspringet er lettere påvirkeligt i forhold til temperaturændringer end ved den nuværende placering af udledning i st. 3.118, idet vandtemperaturen ved udspringet generelt er lavere. Dertil er vandføringen tæt på vandløbets udspring mindre. Det undersøges derfor med udgangspunkt i en observeret hændelse, hvorledes vandløbet påvirkes, hvis udledningen fra bassinet var placeret i st. 134 tæt på udspringet. Der er fra 16. april 2020 målt vandtemperatur ved st. 134 (T8) i Revens Møllebæk, hvor der i den følgende periode fra 27. april til 5. maj observeres aflastninger fra bassinet som følge af nedbør. Temperaturmålingerne fra bassinet (T32) og fra st. 134 (T8) er anvendt sammen med vandføringen igennem vandbremsen og i vandløbet, i massebalancen præsenteret i formel (6.2), til beregning af den resulterende nedstrøms temperatur, når masserne er fuldt opblandede. Den målte bassintemperatur (T32) antages ikke at blive ændret som følge af placeringen nær vandløbets udspring.

Vandføringen i Revens Møllebæk er ved udspringet mindre end ved bassinets udledningspunkt i st. 3.118. Ved st. 134 er vandløbsoplandet 1,57 km^2, mens oplandet ved bassinet er 7,61 km^2, se evt. figur A.1 i bilag A hvoraf oplandene fremgår. Forholdet mellem oplandenes størrelse er ca. 0,2, hvilket anvendes til skalering af den vandføring, der er fastlagt umiddelbart opstrøms bassinudløbet. Derudover er oplandet ved udspringet anderledes karakteriseret, hvorfor vandføringen i vandløbet her bl.a. ikke er præget af uforsinkede udledninger og kraftige variationer i vandføring. Det forudsættes derfor i dette scenarie, at vandføringen i vandløbet nær udspringet i betydeligt mindre grad påvirkes af nedbør, hvorfor vandføringen, lige inden regnhændelserne den 27. og 30. april, på 15 l/s ved st. 3.118 skaleres ned til 3 l/s ved st. 134, baseret på oplandsforholdet på 0,2.

Af figur 8.1 fremgår modelleringen af den nedstrøms vandtemperatur, hvor også vandføringen igennem vandbremsen og den antagede vandføring i vandløbet er vist. Den maksimale udledning fra bassinet er under regnhændelsen på godt 8 l/s. Inden og efter regnhændelserne ses, hvordan temperaturforskellen mellem regnvandsbassin og vandløb, ΔT_{T32-T8}, nærmer sig 7°C, dog reduceres temperaturforskellene i forbindelse med regn 27. og 30. april, hvor der især den 30. april observeres relativt lave vandtemperaturer i bassinet. Det kan på baggrund af resultaterne vist i figur 8.1 konstateres, at en aflastning -som observeret i slutningen af april 2020- skaber en systemetisk forhøjelse af vandtemperaturen ved st. 134, forudsat antagelsen om en konstant vandføring ved udspringet på 3 l/s. Den maksimale temperaturstigning er 1,5°C (2. maj kl 14.00). Det er temperaturændringer på over 1,5°C, der jf. vandplanerne 2009-2015, er det maksimale laksefisk kan tolerere, inden de påvirkes negativt [Miljøministeriet, 2011]. For den øverste del af Revens Møllebæk er målsætningen *gyde- og opvækstområde for laksefisk* jævnfør vandløbsregulativet [Hadsten Kommune, 1993, afs. 2.1].



Figur 8.1: Scenarieanalyse: udledningspunkt ved udspringet (st. 134). Temperaturmålinger fra bassin (T32) og st. 134 (T8) er sammen med de viste vandføringer anvendt til modellering af den nedstrøms temperatur baseret på formel (6.2).

At der ikke ses større temperaturændringer nedstrøms udledningspunktet i den undersøgte situation, tilskrives blandt andet, at vandtemperaturen falder i bassinet i forbindelse med ustadigt vejr og nedbør, som konstateret i kapitel 6. Dertil forventes de maksimale vandtemperaturer i regnvandsbassinet i løbet at de varmeste sommermåneder at stige til over 25°C, mens udviklingen i vandtemperaturen ved st. 134 ikke forventes at indebære ligeså markante stigninger. Det vil under aflastning i løbet af sommeren skabe større temperaturændringer, end der ses under hændelsen i dette scenarie – dog formodes det, at vandtemperaturen i bassinet i de fleste tilfælde, også i sommerperioden, vil falde drastisk i forbindelse med ustadigt vejr og nedbør.

Øget udledning og bassintemperatur

Det er på baggrund af observerede data og den antagede vandføring i Revens Møllebæk undersøgt, hvad henholdsvis en fordobling af vandføringen igennem vandbremsen og en øgning af vandtemperaturen i regnvandsbassinet vil betyde for den nedstrøms vandtemperatur ved vandløbets udspring på tidspunktet for den maksimalt modellerede temperaturforskel (2. maj kl. 14:00). En fordobling af vandføringen igennem vandbremsen betyder en vandføring på godt 6 l/s den 2. maj kl. 14:00, mens en forøgelse af vandtemperaturen i bassinet med 50 % betyder en stigning fra 11,8 til 17,7°C den 2. maj kl. 14:00. Afstrømningen på 3 l/s og den målte vandtemperatur i vandløbet ændres ikke. Begge ændringer betyder en højere vandtemperaturer nedstrøms udledningspunktet, dog bemærkes det ikke uventet, at ændringen af temperaturen i bassinet har den største betydning i dette scenarie, hvilket fremgår af tabel 8.1.

Tabel 8.1: Scenarieanalyse: udledning ved vandløbets udspring (st. 134). Ændring af hhv. vandføringen igennem vandbremse og vandtemperatur i regnvandsbassin efterfulgt af beregnet temperaturændring nedstrøms udledningspunktet i st. 134 den 2. maj kl. 14:00 . Base er scenariet vist i figur 8.1.

	Base	**+100 % Q_{RVB}**	**+50 % T_{T32}**
ΔT_{T32-T8} [°C]	2,9	2,9	8,8
Q_{RVB} [l/s]	3,1	6,3	3,1
ΔT_{NS-OS} [°C]	1,5	1,9	4,5

Generelt betyder de større temperaturforskelle mellem bassin og vandløb ved bassinudløbet samt den reducerede og ændrede vandføring i vandløbet ved st. 134, at vandtemperaturen vurderes påvirket af regnvandsbassinet i højere grad ved vandløbets udspring end ved den aktuelle placering af bassinudløbet i st. 3.118. I de undersøgte scenarier, der vurderes sandsynlige, ses temperaturændringer i vandløbet op mod 4,5°C. Hyppigheden af sammenfaldet mellem høje temperaturforskelle og blandingsforhold domineret af vandføringen fra regnvandsbassiner, er dog svær at vurdere på baggrund af det indsamlede data, der lægges til grund for denne scenarieanalyse. Det er også tvivlsomt, om en udledning på op mod 17 l/s tillades så tæt på vandløbets udspring, da udledningen fra bassinet er relativt stor ift. den naturlige vandføring i vandløbet. Store udledninger af regnvand fra våde bassiner vil nær udspringet både belaste vandløbet hydraulisk og i relation til vandkvaliteten herunder temperatur.

8.2 Overløb fra regnvandsbassin

Regnvandsbassinet er dimensioneret således, at overløb sker maksimalt hvert 5. år [Favrskov Kommune, 2018]. Overløb fra bassinet skal minimeres, da vandføringen i recipienten øges væsentligt i disse situationer, der medfører skade på vandløbets økologi og kan forårsage oversvømmelse af nedstrøms arealer, ligesom store mængder af vand af potentielt ringere kvalitet vil kunne få direkte negativ indflydelse på vandkvaliteten i vandløbet.

I Voldum sker overløb fra regnvandsbassinet først kontrolleret igennem udløbsbrønden, men skulle det ske, at der kommer mere vand til bassinet, end udløbsledningen kan føre, strømmer vandet ukontrolleret over bassinets kronekant. Det er undersøgt, hvordan et overløb kan påvirke vandtemperaturen nedstrøms udledningspunktet med udgangspunkt i et kontrolleret overløb gennem udløbsledningen med dimension Ø250 (PE). Manningformlen, præsenteret i formel (8.1), er anvendt til at beregne den maksimale vandføring gennem udløbsrøret, der dermed definerer vandføringens størrelse under et kontrolleret overløb. I tabel 8.2 er overløbsvandføringen beregnet baseret på to forskellige Manningtal.

$$Q_{RVB} = M \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \tag{8.1}$$

Q_{RVB}	Vandføring fra regnvandsbassin	[l/s]
M	Manningtal	[$m^{1/3}$/s]
A	Strømningsareal	[m^2]
R	Hydraulisk radius	[m]
I	Energilinjegradient	[m/m]

Tabel 8.2: Beregnede overløbsvandføringer igennem udløbsledningen af dimension Ø250 mm. D er indvendig diameter.

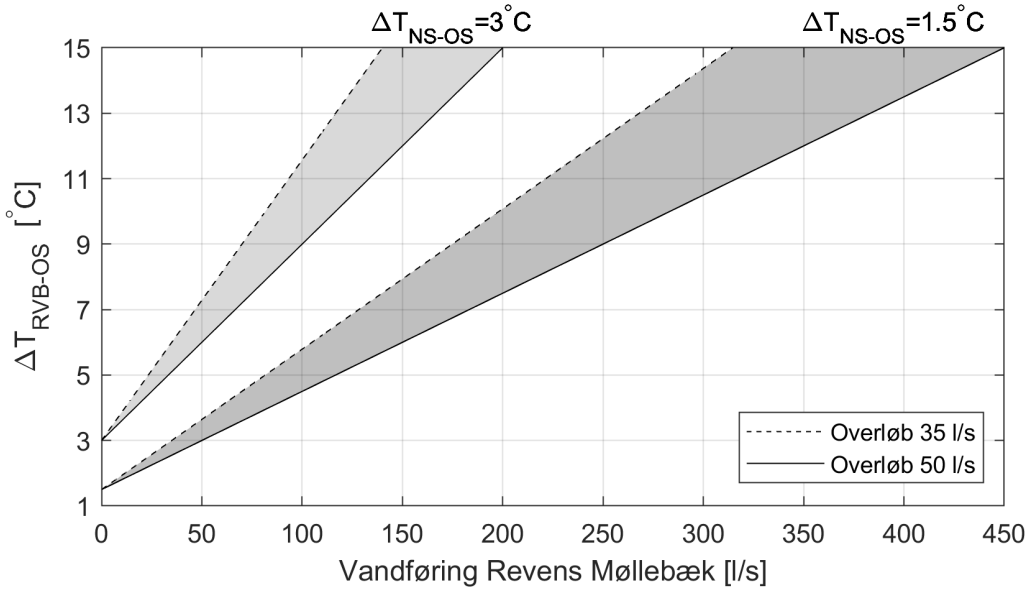
D [m]	**A [m^2]**	**R [m]**	**I* [m/m]**	**M [$m^{1/3}$/s]**	**Q_{RVB} [l/s]**
0,22	0,04	0,06	0,006	80	36
				110	49

* *Forudsætning: fuldtløbende rør dvs. energilinjegradienten (I) er lig rørledningens bundhældning*

Teoretiske ΔT-kurver baseret på formel (6.1) er beregnet på baggrund af en overløbsvandføring på hhv. 35 og 50 l/s. Kurverne er baseret på temperaturændringer svarende til 1,5°C og 3°C som følge af en udledning, der i vandplanerne 2009-2015 er angivet som maksimal temperaturændringer i relation til opfyldelse af målet om *god økologisk tilstand* blandt andre kravværdier for vandløbsvand. 1,5°C og 3°C relaterer sig til vandløb med målsætning om henholdsvis laksefisk og karpefisk, hvilket gør sig gældende for Revens Møllebæk. Figur 8.2 viser overløbsvandføringerne med vandføringen i Revens Møllebæk og vandtemperaturforskellen mellem bassin og vandløb, ΔT_{RVB-OS}.

På baggrund af figur 8.2 kan det konstateres, at et overløb skaber en temperaturændring på 1,5 eller 3°C, hvis vandføringen i Revens Møllebæk er lav eller temperaturforskellen er stor. Den maksimale målte temperaturforskel mellem bassin og vandløb, ΔT_{RVB-OS}, var i sommeren 2019 9,2°C. En temperaturforskel mellem bassin og vandløb på 9°C kombineret med en overløbsvandføring på 50 l/s og en vandføring i Revens Møllebæk på 100 l/s vil give andledning til en temperaturændring på 3°C nedstrøms udledningspunktet, hvilket visuelt fremgår af figur 8.2. Vandføringer under 100 l/s i Revens Møllebæk vil resultere i en temperaturændring større end 3°C. Et overløb med en vandføring på 50 l/s og en

temperaturforskel på 9°C kombineret med en vandføring i Revens Møllebæk på 250 l/s, vil resultere i en temperaturændring nedstrøms udledningspunktet på 1,5°C, se evt. figur 8.2.



Figur 8.2: Scenarieanalyse: teoretiske ΔT-kurver for kontrolleret overløb fra regnvandsbassin.

Ved bassinudløbet øges vandføringen i Revens Møllebæk under nedbør, og er som et typisk bynært vandløb påvirket af uforsinkede udledninger, der observeres som hurtige vandstandsstigninger ifm. nedbør, som vist i figur 2.2. Et overløb forekommer enten under en ekstrem regnhændelse, eller som konsekvens af koblede regnhændelser, hvor både regnvandsbassinet og vandløbet er påvirket af øget tilstrømning. Ved overløb er sandsynligheden for lav vandføring i Revens Møllebæk derfor lille. Dertil forventes vandtemperaturen i forbindelse med nedbør at falde, hvorfor en temperaturforskel på 9°C anses for sjælden i tilfælde af overløb.

Det er svært -både på grund af de store forventede vandføringer i Revens Møllebæk under et overløb og temperaturforkellenes størrelse- at forestille sig, at et overløb termisk vil påvirke vandløbet med de angivne maksimale temperaturændringer skabt af en udledning som oplyst i vandplanerne 2009-2015 [Miljøministeriet, Naturstyrelsen, 2011]. Hvis flere uforsinkede udledninger fra Voldum til Revens Møllebæk med tiden sløjfes, vil vandføringen i vandløbet under nedbør ændres ift. den nuværende situation. Med et skift fra uforsinkede til forsinkede udledninger til vandløbet må det forventes, at de forsinkede udledninger fra regnvandsbassiner i fremtiden vil kunne få relativt større betydning og indvirkning på vandføringen i vandløbet. Herved forstås, at vandføringen fra bassinerne vil kunne udgøre en større del af den samlede vandføring i vandløbet, hvilket må forventes især at kunne påvirke recipienten negativt i en situation med overløb.

9 Diskussion

Forud for projektet var forventningen, at udledningen fra det våde regnvandsbassin i Voldum ville have en negativ effekt på det modtagende vandløb, Revens Møllebæk, i relation til de undersøgte parametre: temperatur, koncentration af opløst ilt, pH og ledningsevne. Målingerne foretaget på projektlokaliteten viser dog kun mindre ændringer af temperatur og ledningsevne i vandløbet nedstrøms bassinudledningen. De observerede temperaturændringer er maksimalt 1,5°C den 9. juli 2019, mens ledningsevnen, under en regnhændelse i slutningen af april 2020, reduceres med maksimalt 50 μS/cm. Begge ændringer er vha. massebalanceberegninger tilskrevet udledningen fra regnvandsbassinet. Observerede fald i koncentrationen af opløst ilt og pH nedstrøms udledningspunktet har ikke sammenhæng med udledningen fra bassinet, idet det er konstateret, at der generelt er højere iltkoncentrationer og pH-værdier i bassinet end i vandløbet. Det er overraskende, at regnvandsbassinet ikke påvirker det modtagende vandløb i højere grad. I det følgende belyses derfor en række faktorer, der kan have indflydelse på dette resultat.

Sæson og vejrlig

Resultaterne præsenteret i dette projekt er baseret på observationer fra en begrænset måleperiode, hvilket naturligt vil påvirke projektets konklusioner og i nogle tilfælde potentielt afvige markant fra normalen. Vandtemperatur er målt i regnvandsbassinet og i vandløbet i en længere periode end ilt, pH og ledningsevne. Konklusionerne ift. til bassinets indvirkning på vandtemperaturen nedstrøms er derfor baseret på et større datagrundlag, der også repræsenterer forskellige sæsoner. Målingerne af ilt, pH og ledningsevne er foretaget fra slut marts til slut maj 2020, hvorfor målingerne af disse parametre kun repræsenterer én sæson.

Det er på baggrund af temperaturmålinger i projektperioden konstateret, at vandtemperaturen i vandløb såvel som bassin påvirkes markant af vejrforholdene. Derfor er de målte temperaturforskelle værd at diskutere i relation til vejret i de undersøgte perioder. I vinterperioder er det forventningen, at bassinet vil have en kølende effekt på vandet i Revens Møllebæk, hvilket dog ikke kan konkluderes på baggrund af målingerne fra februar 2020. Februar 2020 var vejrmæssigt en usædvanlig vintermåned med relativt høje lufttemperaturer og meget nedbør, hvorfor målingerne i denne periode ikke vurderes at repræsentere typiske vandtemperaturer i hverken bassin eller vandløb. Der er derfor endnu ikke målt, hvor store temperaturændringer bassinet kan skabe i vinterperioden under mere typiske vejrforhold. Det generelle billede er dog, at temperaturforskellene mellem bassin og vandløb udlignes op til og under nedbør, ligesom bassinets udledning i forbindelse med regn har lille vægt i blandingen med vandet i Revens Møllebæk. Disse tendenser forventes også at forekomme i koldere perioder, hvorfor temperaturændringer nedstrøms udledningen sandsynligvis ikke vil være væsentlige.

I foråret 2020 var vejret lidt tørrere og koldere, mens vejret i sommeren 2019 var lidt vådere og varmere, end normalen for sæsonerne jf. tabel F.1 i bilag F. Derfor vurderes vandtemperaturmålingerne og de observerede temperaturforskelle mellem bassin og vandløb, fra foråret 2020 og sommeren 2019, at være nogenlunde repræsentative for sæsonen. Disse målinger viser, at vandtemperaturen påvirkes tydeligt af vejret. I forbindelse med overgange fra stabilt til ustadigt vejr, eller omvendt, ændres vandtemperaturen i bassinet, såvel som vandløbet, hurtigt i takt med vejrskiftet. Denne sammenhæng er konkluderet på baggrund af de relativt få regnhændelser, der blev observeret i foråret 2020 og sommeren 2019. Længere dataserier vil afsløre, hvor udbredt denne sammenhæng er. Hvis temperaturen altid falder lige inden og under nedbør, vil temperaturforskellen mellem vandløb og bassin, når bassinet aflaster, ikke være så voldsom som først antaget.

Med hensyn til koncentrationen af opløst ilt, pH og ledningsevne konstateres det, at der ikke ses nogen negativ påvirkning i vandløbet skabt af regnvandsbassinet i måleperioden fra slut marts til slut maj 2020. Især er det bemærkelsesværdigt, at vandet i bassinet er overmættet med ilt både nat og dag i hele perioden. I løbet af årets kolde måneder, forventes det ikke, at iltkoncentrationen i bassinet vil blive kritisk lav. Modsat er det interessant, om der fortsat vil observeres mættede forhold dag og nat i bassinet om sommeren, eller om nedbrydning af dødt organisk materiale på et tidspunkt vil blive dominerende i det stillestående vand med lavere iltkoncentationer til følge. Samtidig vil ledningsevnemålinger i løbet af en kold vinter kunne belyse, i hvilket omfang glatførebekæmpelse i kloakoplandet påvirker det modtagende vandløb med afstrømmende vejsalt.

Projektlokalitet

Forsinkelse og rensning af regnvand fra separatkloakerede oplande i våde regnvandsbassiner er en udbredt anvendt foranstaltning, hvorfor målingerne og analysen af recipienteffekterne i dette projekt har relevans for en række andre lokaliteter, hvor våde regnvandsbassiner er anlagt eller skal anlægges. I vurderingen af dette projekts resultater diskuteres det derfor, hvorvidt projektlokaliteten er repræsentativ for våde regnvandsbassiner generelt.

Kloakoplandet til regnvandsbassinet i Voldum er meget lig det typiske opland til våde bassiner med bymæssig bebyggelse. Dertil er bassinet dimensioneret efter BAT, hvilket også er normalt for nyligt anlagte bassiner. Til bassinet er dog koblet et omkring 9 ha stort drænopland, hvilket ikke anses for typisk. Drænet tilfører bassinet vand, også i tørvejr, hvilket bevirker, at der oftest er en lille udledning fra bassinet (< 1 l/s). Oplandet omkring Voldum er overvejende landbrugsjord, hvorfor det forventes, at drænet afvander dyrkede arealer. Derfor er det sandsynligt, at drænet tilfører bassinet vand af en anderledes kvalitet end afstrømningen fra de befæstede arealer i byen. Drænvand, indeholdende udvaskede næringssalte fra jordmatricen, kan påvirke produktionen af biomasse i bassinet og dermed vandkvaliteten ift. de tre undersøgte parametre: ilt, pH og ledningsevne.

Bassinet er anlagt i løbet af 2018 og taget i brug november samme år. Bassinet er derfor relativt nyt i perioden, hvor projektets måleprogram er opsat. Det faktum, at bassinet er nyt, tænkes at have indflydelse på de målte vandkvalitetsparametre: ilt, pH og ledningsevne. Det er i et dansk studie, baseret på undersøgelser af 66 overvejende våde regnvandsbassiner i

Aabenraa Kommune, dokumenteret, at rensegraden i de undersøgte bassiner reduceres med alderen blandt andet på grund af akkumuleringen af organisk materiale og næringstoffer på bassinbunden [Sønderup et al., 2016]. Denne akkumulering af organisk materiale og næringstoffer i gamle bassiner forventes at øge respirationen i bundsedimentet med et stort iltforbrug til følge. Derudover forventes resuspendering af sedimenteret materiale at udvikle sig til et stigende problem ved ældre bassiner med negativ indvirkning på vandets kvalitet. Vedligehold af bassinerne er dokumenteret afgørende for rensegraden i det føromtalte studie [Sønderup et al., 2016], og det er derfor også interessant, hvor markant en sammenhæng der er mellem bassinernes alder og vandkvalitetsparametrene undersøgt i dette projekt.

Bassinudledningen er placeret omkring 3.100 m nedstrøms udspringet af Revens Møllebæk: en strækning hvor vandløbet modtager drænvand, uforsinkede udledninger af overfladevand og renset spildevand. At det modtagende vandløb påvirkes af både dræn og hurtigt afstrømmende overfladevand fra bymæssig bebyggelse, som set ved Voldum, vurderes at afspejle mange danske vandløb. Dette afstrømningsmønster bevirker, at vandføringen i vandløbet stiger i forbindelse med nedbør. Derfor udgør udledningen fra bassinet ikke en ret stor del af den samlede vandføring nedstrøms udledningspunktet, når det regner. Dette betyder også, at den anderledes vandkvalitet i bassinet, i de fleste tilfælde, kun i mindre grad ændrer vandkvaliteten nedstrøms udledningen. En placering af bassinet tættere på udspringet, som i scenariet behandlet i kapitel 8, eller i et vandløb med mere hydraulisk forsinkelse i oplandet, vil betyde større vægt til vandkvaliteten fra bassinet i blandingen med vandet i vandløbet, hvorfor vandløbet i disse situationer vil være mere sårbart.

Opstrøms bassinets udløbspunkt udledes renset spildevand. Denne udledning påvirker vandkvaliteten i vandløbet og kan således sløre effekterne af udløbet fra regnvandsbassinet. Det er ikke unormalt, at et bynært vandløb modtager renset spildevand. Helt generelt vurderes bassinet i Voldum og Revens Møllebæk, der har været omdrejningspunktet i dette projekt, at være sammenlignelige med flere bassiner og modtagende vandløb. Derfor kan resultaterne med stor sandsynlighed overføres til lignende lokaliteter.

Måleprogram

Måleprogrammet opsat på projektlokaliteten har været omdrejningspunktet i kvantificeringen af regnvandsbassinets indvirkning på vandkvaliteten i det modtagende vandløb. Målingerne, der fremkommer som resultat af et måleprogram, kan, alt efter hvorledes måleprogrammet er sammensat, være særdeles repræsentative og være udtryk for sande og faktiske værdier, ligesom det modsatte kan være tilfældet. Med formålet at kvantificere eventuelle negative effekter, udledninger fra bassiner måtte have på vandkvaliteten i vandløbet, er netop dét, at indsamle troværdige og repræsentative målinger, essentielt. Dette var allerede tydeligt ved projektets start, hvorfor faktorer som målefrekvens, målenøjagtighed, målerplacering, adgangsforhold og vedligehold blev overvejet forud for opsætningen af målerne på projektlokaliteten.

På trods af overvejelser omkring udformningen af måleprogrammet, samt at udstyret under måleperioden blev tilset og vedligeholdt omtrent en gang i ugen, måtte det konstateres, at måleresultaterne i perioder forstyrres. Især loggerne i vandløbet var relativt påvirkelige

af resuspenderet fint partikulært materiale samt små grene og kviste, der satte sig på og omkring loggernes sensorer, hvorfor målingerne blev præget af udfald eller perioder, hvor de målte værdier ikke anses for sande. Udfordringer med loggerne i bassinet indebar bl.a. tilsmudsning med æg fra formodentlig snegle og insekter, samt snegle der bevæger sig henover sensorerne, hvilket vurderes også, at kunne have bevirket målinger af tvivlsom rigtighed. I forhold til temperaturmålingerne er det konstateret, at der ved den nedstrøms målestation i mange strømningssituationer kun sker delvis opblanding, hvilket også illustrerer, at måleudstyrets placering kan påvirke resultatet. Ideelt set var parametrene ilt, pH og ledningsevne målt både op- og nedstrøms udledningen såvel som i bassinet, som det har været tilfældet med temperatur. Målinger fra alle tre punkter, der indgår i massebalancen, ville have været medvirkende til at minimere usikkerhederne, der relaterer sig til bl.a. vandføring og forstyrrede målinger som følge af tilsmudsning.

På baggrund af resultaterne fra måleprogrammet er det konstateret, at det, med det anvendte måleudstyr og den valgte montering, kan være svært at opretholde kontinuert repræsentative og pålidelige målinger: udfordringer og usikkerheder, der ikke er unikke for dette projekt, men er nærmest et grundvilkår i arbejdet med målinger. Overvejelserne og erfaringerne gjort i arbejdet med måleprogrammet, ændrer dog ikke på de overordnede konklusioner.

Potentielle negative effekter af udledninger

Resultaterne fra dette projekt viser en meget lille ændring af vandkvaliteten nedstrøms udledningspunktet. Samtidig vurderes bassinet og vandløbet i Voldum sammenlignelige med mange andre våde bassiner og vandløb. Set i lyset af dette, er det nærliggende at diskutere, hvorfor Koziel et al. [2019] konstaterer en reduceret biodiversitet nedstrøms udløb fra våde regnvandsbassiner.

En reduktion i biodiversitet nedstrøms bassinudløb kan skyldes mange faktorer: eksempelvis forhøjet vandføring skabt af bassinet og derved en hydraulisk belastning af det modtagende vandløb, der med øget sedimenttransport og drift af smådyr påvirker vandløbsøkologien. Aflejring af sedimenter kan dertil betyde forringelse af fisk og smådyrs levesteder. Derudover er vandrensningen i bassinerne ikke komplet, hvorfor vandløbene -trods bassinernebelastes med forurenende stoffer fra kloakoplandet. I forlængelse af dette forventes nogle regnhændelser at skabe stor resuspendering af bundfældet materiale og udledning af vand fra bassinet med ringe vandkvalitet, hvilket medfører en skadelig effekt i det modtagende vandløb. Det vurderes sandsynligt, at én skadelig hændelse, med udledning af f.eks. iltfattigt vand eller med forhøjet koncentration af forurenende stoffer, kan påvirke vandløbet og biodiversiteten af smådyr i en lang periode efterfølgende.

Et dansk studie konstaterede, at våde bassiners rensegrad, og dermed vandkvaliteten i relation til en række forurenende stoffer, afhænger af vedligehold og oprensning [Sønderup et al., 2016]. Vandet udledt fra ældre bassiner forventes derfor generelt at være af ringere kvalitet, herunder også lavere iltindhold, end fra nyanlagte eller vedligeholdte bassiner. Af studiet, der konstaterer en reduceret biodiversitet nedstrøms bassinudløb, fremgår det ikke, om og hvordan de seks undersøgte bassiner vedligeholdes [Koziel et al., 2019]. Det vurderes dog sandsynligt, at der er en sammenhæng mellem bassinernes vedligehold og den negative indvirkning på det modtagende vandløb og afledt deraf en reduceret biodiversitet.

10 Konklusion

Formålet med projektet var at undersøge, om udledning af overfladevand fra våde regnvandsbassiner giver anledning til bekymring for vandkvaliteten i det modtagende vandløb. Projektet har været afgrænset til at omhandle den kvantitative effekt i det modtagende vandløb, Revens Møllebæk, i forhold til temperatur, opløst ilt, pH og ledningsevne. Forventningen var, at vand i våde regnvandsbassiner vil være af en dårligere kvalitet end det i recipienten, hvormed en udledning vil forringe vandkvaliteten nedstrøms udløbspunktet.

Det har med afsæt i måleprogrammet på projektlokaliteten og resultaterne derfra, ikke været muligt at tilskrive bassinets udledninger væsentlige ændringer af vandkvaliteten i det modtagende vandløb. Mest overraskende er det, at vandet i bassinet er overmættet med opløst ilt både dag og nat i måleperioden fra slut marts til slut maj 2020. Reduktion af ledningsevnen nedstrøms bassinudløbet kan i forbindelse med regn delvist tilskrives bassinet. Dog er de observerede fald ikke til skade for vandløbet. Det er vigtigt at pointere, at målingerne af opløst ilt, pH og ledningsevne er foretaget over to forårsmåneder i et relativt nyanlagt bassin. Resultaterne foreligger altså ikke for den varmeste del af året, ligesom vandkvaliteten forventes at udvikle sig anderledes i ældre bassiner, hvor akkumuleringen af sediment og organisk materiale med tiden f.eks. vil skabe et større iltforbrug.

Konklusionerne ift. temperatur er draget på baggrund af målinger fra sommer 2019 samt februar til maj 2020. Helt generelt er det set, at regnvandsbassinet kun bevirker små ændringer af temperaturen nedstrøms. De største temperaturændringer skabt af bassinet er kortvarigt op mod 1,5°C i sommeren 2019. Det er den klare vurdering, at de små temperaturændringer ikke er tilfældige resultater. Dette begrundes både med den observation, at temperaturforskellen mellem bassin og vandløb reduceres op til og under nedbør, ligesom vandmængden udledt fra bassinet har begrænset betydning i blandingsforholdet med vandmassen i vandløbet. Vandføringen i det modtagende vandløb er præget af hurtig afstrømning i oplandet, hvorfor det konstateres, at vandføringen er høj i de situationer, hvor bassinet aflaster. At temperaturforskellene er små og blandingsforholdet er domineret af vandmassen i vandløbet betyder, at ændringer nedstrøms udledningspunktet -ved den aktuelle placering på den nederste del af vandløbet- er små. Dette er sandsynligvis ikke tilfældet, hvis bassinet placeres ved vandløbets udspring, hvor temperaturen er stabileret af tilstrømmende grundvand og vandføringen er mindre.

Selvom det undersøgte våde regnvandsbassin og modtagende vandløb vurderes at repræsentere et bredt udsnit af danske bassiner og vandløb, er det ikke afdækket, om projektets resultater kan overføres til andre lokaliteter, da især to faktorer forventes at være afgørende for vandkvaliteten nedstrøms bassinernes udledningspunkt: vedligehold af bassinerne og blandingsforholdet mellem vand fra henholdsvis bassin og vandløb.

Litteratur

Aarhus Universitet Institut for Bioscience, **2020**. Aarhus Universitet Institut for Bioscience. *Information om iltsvind*. `https://bios.au.dk/forskningraadgivning/temasider/iltsvind/information-om-iltsvind/`, 2020. Besøgt: 21-05-2020.

Abdi og Endreny, **2019**. Reza Abdi og Theodore Endreny. *A river temperature model assist managers in identifying thermal pollution causes and solutions*. Water, Vol. 11 Issue 5/2019, 2019.

Aisopou et al., **2014**. Angelina Aisopou, Anne Th. Sonne, Poul L. Bjerg og Philip J. Binning. *Jordforureningers påvirkning af overfladevand, delprojekt 4*. ISBN: 978-87-93178-50-2, Miljøprojekt nr. 1572. Miljøstyrelsen, 2014.

Allan og Castillo, **2007**. J. Dabvid Allan og María M. Castillo. *Stream Ecology - Structure and function of running waters*. ISBN: 978-1-4020-5582-9, Second Edition. Springer, 2007.

Behar, **1996**. Sharon Behar. *Testing the waters: chemical and physical vital signs of a river*. ISBN: 0787234923, . River Watch Network, 1996.

Bowie et al., **1985**. George L. Bowie, William B. Mills, Donald B. Porcella, Carrie L. Campbell, James R. Pagenkopf, Gretchen L. Rupp, Kay M. Johnson, Peter W.H. Chan, Steven A. Gherini og Charles E. Chamberlin. *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modelling (Second Edition)*, Environmental Research Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1985.

Caissie, **2006**. D. Caissie. *The thermal regime of rivers: a review*. Freshwater Biology, Vol. 51 Issue 8/2006, s. 1389–1406, 2006.

Cañedo-Argüelles et al., **2013**. Miguel Cañedo-Argüelles, Ben J. Kefford, Christophe Piscart, Narcís Prat, Ralf B. Schäfer og Claus-Jürgen Schulz. *Salinisation of rivers: An urgent ecological issue*. Environmental Pollution, Vol. 173 /2013, 157–167, 2013.

DANVA, **2018**. DANVA. *Designguide for regnvandsbassiner*. ISBN: 978–87–92651–24–2, DANVA vejledning nr. 102. DANVA, 2018.

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, **2018a**. DMI - Danmarks Meteorologiske Institut. *Fremtidens klima*. `https://www.dmi.dk/klima/temaforside-fremtidens-klima`, 2018. Tilgået: 21-04-2020.

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, **2018b**. DMI - Danmarks Meteorologiske Institut. *Klimaforandringer påvirker ikke sommer og vinter ens.* https://www.dmi.dk/klima/temaforside-fremtidens-klima/klimaforandringer-paavirker-ikke-sommer-og-vinter-ens/, 2018. Tilgået: 21-04-2020.

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, **2020a**. DMI - Danmarks Meteorologiske Institut. *Klimanormaler for Danmark.* https://www.dmi.dk/vejrarkiv/normaler-danmark/, 2020. Tilgået: 28-05-2020.

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, **2020b**. DMI - Danmarks Meteorologiske Institut. *Nedbør og Sol i Danmark.* https://www.dmi.dk/klima/temaforside-klimaet-frem-til-i-dag/nedboer-og-sol-i-danmark/, 2020. Tilgået: 21-04-2020.

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, **2020c**. DMI - Danmarks Meteorologiske Institut. *Vejrarkiv.* https://www.dmi.dk/vejrarkiv/, 2020. Tilgået: 26-05-2020.

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, **2020d**. DMI - Danmarks Meteorologiske Institut. *Vejrekstremer i Danmark.* https://www.dmi.dk/vejrarkiv/vejrekstremer-danmark/, 2020. Tilgået: 21-04-2020.

EnviDan A/S, **2019**. EnviDan A/S. *Vådområdeprojekt Øster Alling Vådenge - Detailprojektering*, Norddjurs Kommune, 2019.

Favrskov Kommune, **2020**. Favrskov Kommune. *Favrskov Kommunes Webkort.* https://webkort.favrskov.dk/spatialmap?, 2020. Tilgået: 05-03-2020.

Favrskov Kommune, **2018**. Favrskov Kommune. *Tilladelse til udledning af overfladevand fra opland VOL02, VOL03, VOL05 (øst), VOL06, VOL19 og VOL24 i Voldum via nyt udløb UVOL006R til Revens Møllebæk*, 2018. 30. april 2018.

Favrskov Kommune og Favrskov Forsyning, **2013**. Favrskov Kommune og Favrskov Forsyning. *Spildevandsplan 2013 for Favrskov Kommune.* https://favrskov.viewer.dkplan.niras.dk/plan/13#/1375, 2013. Tilgået: 02-03-2020.

Gooseff et al., **2005**. Michael N. Gooseff, Kenneth Strzepek og Steven C. Chapra. *Modeling the potential effects of climate change on water temperature downstream of a shallow reservoir, lower Madison River, MT.* Climatic Change, Vol. 68 Issue 3/2005, 331–353, 2005.

Hadsten Kommune, **1993**. Hadsten Kommune. *Regulativ for Revens Møllebæk*, Favrskov Kommune, 1993.

Herb et al., **2009**. William R. Herb, Omid Mohseni og Heinz G. Stefan. *Simulation of temperature mitigation by a stormwater detention pond.* American Water Resources Association, Vol. 45 no. 5/2009, 1164–1178, 2009.

Jensen og Nørgaard, **2019**. Anne Godiksen Jensen og Line Bønnelycke Nørgaard. *Styring af udledning fra regnvandsbassiner*. Aalborg Universitet, 2019. Kandidatspeciale ved Institut for Byggeri og Anlæg, Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet.

Karlsen et al., **2019**. Claudia S. Karlsen, Mogens R. Flindt, Melanie J. Sønderup, Martin H. Madsen og Sara Egemose. *Impact of land use and runoff on stream quality.* Sustainability, Vol. 11/2019, 2019.

Koziel et al., **2019**. Lukasz Koziel, Mette Juhl og Sara Egemose. *Effects on biodiversity, physical conditions and sediment in streams receiving stormwater discharge treated and delayed in wet ponds.* Limnologica, Vol. 75/2019, 11–18, 2019.

Levin og Normander, **2008**. Gregor Levin og Bo Normander. *Arealanvendelse i Danmark siden slutningen af 1800-tallet.* ISBN: 978-87-7073-059-4, Faglig rapport fra DMU, nr. 682. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 2008.

Martinsen et al., **2017**. Kenneth Thorø Martinsen, Mikkel René Andersen, Theis Kragh og Kaj Sand-Jensen. *Temperaturdynamik i små søer - daglig lagdeling og opblanding.* Vand og Jord, Journal 4/2017, s. 137–140, 2017.

Miljø- og Fødevareministeriet, **2019**. Miljø- og Fødevareministeriet. *Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse (Miljøbeskyttelsesloven), LBK nr 1218 af 25/11/2019*, 2019.

Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen, **2019**. Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen. *Punktkilder 2018.* ISBN: 978-87-7038-132-1, NOVANA - Punktkilder. Miljøstyrelsen, 2019.

Miljøministeriet, **2011**. Naturstyrelsen Miljøministeriet. *Vandplan 2009-2015. Randers Fjord. Hovedvandopland 1.5 Vanddistrikt: Jylland og Fyn.* ISBN: 978-87-7091-651-6, Vandplan 2009-2015. Miljøministeriet, Naturstyrelsen, 2011.

Miljøministeriet, Naturstyrelsen, **2011**. Miljøministeriet, Naturstyrelsen. *Vandplan 2009-2015. Århus Bugt. Hovedvandopland 1.7 - Vanddistrikt: Jylland og Fyn.* ISBN: 978-87-7279-346-7, Vandplan 2010-2015. Miljøministeriet, Naturstyrelsen, 2011.

Miljøstyrelsen, **2016**. Miljøstyrelsen. *MiljøGIS for Vandområdeplanerne 2015-2021.* `http://miljoegis.mim.dk/cbkort?&profile=vandrammedirektiv2-bek-2019`, 2016. Tilgået: 27-03-2020.

Miljøstyrelsen, **2018**. Miljøstyrelsen. *Spildevandsvejledningen til bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4.* ISBN: 978-87-93710-38-2, Vejledning nr. 28. Miljøstyrelsen, 2018.

Miljøstyrelsen, **2020**. Miljøstyrelsen. *Søer og vandløb.* `https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/soeer-og-vandloeb/`, 2020. Tilgået: 20-04-2020.

Orbicon, **2020**. Orbicon. *Vandløbssiden Hydrometri i Danmark.* `http://www.hydrometri.dk/hyd/`, 2020. Besøgt: 06-03-2020.

Ovesen et al., **2000**. Niels B. Ovesen, Hans Legard Iversen, Søren E. Larsen, Dirk-Ingmar Müller-Wohlfeil, Lars M. Svendsen, Anne Steensen Blicher og Per Møller Jensen. *Afstrømningsforhold i danske vandløb*. ISBN: 87-7772-587-5, Faglig rapport fra DMU, nr. 340. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, 2000.

Ovesen, **2019**. Niels Bering Ovesen. *Teknisk Anvisning BO3 Vandføringsmåling med vingeinstrument*, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 2019.

Ovesen og Poulsen, **2016**. Niels Bering Ovesen og Jane Rosenstand Poulsen. *Teknisk Anvisning BO5 Hydrometriske stationer, databehandling og beregninger, QH-station*, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 2016.

Pedersen og Sand-Jensen, **2005**. Niels Lagergaard Pedersen og Kaj Sand-Jensen. *Temperaturen i vandløb: empiri og modeller*. Vand og Jord, Journal 2/2005, s. 48–53, 2005.

Sand-Jensen og Lindegaard, **2004**. Kaj Sand-Jensen og Claus Lindegaard. *Ferskvandsøkologi*. ISBN: 978-87-02-02921-5, 2. udgave, 3. oplag. Gyldendal, 2004.

Sand-Jensen et al., **2006**. Kaj Sand-Jensen, Nikolai Friberg og John Murphy. *Running Waters - Historical development and restoration of lowland Danish Streams*. ISBN: 978-87-7772-929-4, National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment - Denmark. Schultz Grafisk, 2006.

Statistik, **2019**. Danmarks Statistik. *Befolkningens udvikling 2018*. ISBN: 978-87-501-2341-5, Befolkningens udvikling. Danmarks Statistik, 2019.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, **2020a**. Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering. *Danmarks Miljøportal - Arealinformation*. `https://arealinformation.miljoeportal.dk/`, 2020. Tilgået: 11-03-2020. Indeholder data, som benyttes i henhold til vilkår for brug af danske offentlige data.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, **2020b**. Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering. *Kortforsyningen*. `download.kortforsyningen.dk`, 2020. Tilgået: 07-02-2020.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering og Danske kommuner, **2020**. Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering og Danske kommuner. *GeoDanmark-data*. `download.kortforsyningen.dk/content/geodanmark`, 2020. Tilgået: 11-03-2020.

Sønderup et al., **2016**. Melanie J. Sønderup, Sara Egemose, Anders S. Hansen, Anna Grudinina, Martin H. Madsen og Mogens R. Flindt. *Factors affecting retention of nutrients and organic matter in storwater ponds*. Ecohydrology, Vol. 9/2016, s. 796–806, 2016.

Thomsen, **2020**. Anja Thrane Hejselbæk Thomsen. *Udleveret materiale og data*. Ikke publiceret, 2020.

Thomsen et al., **2020**. Anja Thrane Hejselbæk Thomsen, Ditte M. Reinholdt Jensen, Sara Egemose og Torben Larsen. *Byernes regnbetingede udløb til vandløb: Hvad tillader*

vi? Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA, Journal 1/2020, s. 18–26, 2020.

Villarraga-Gómez, **2016**. Herminso Villarraga-Gómez. *X-ray Computed Tomography for Dimensional Measurements*. The American Society for Nondestructive Testing, Inc, pages s. 44–57, 2016.

Vollertsen et al., **2012a**. Jes Vollertsen, Thorkild Hvidtved-Jacobsen, Asbjørn Haaning Nielsen og Søren Gabriel. *Våde bassiner til rensning af separat regnvand*, Aalborg Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Teknologisk Institut, Orbicon A/S, 2012a.

Vollertsen et al., **2012b**. Jes Vollertsen, Thorkild Hvitved-Jacobsen og Asbjørn Haaning Nielsen. *Faktablad om dimensionering af våde regnvandsbassiner*. Aalborg Universitet, 2012.

Walsh et al., **2005**. Christopher J. Walsh, Allison H. Roy, Peter D. Cottingham Jack W. Feminella, Peter M. Groffman og Raymond P. Morgan II. *The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure*. Journal of the North American Benthological Society, Vol. 24 No. 3/2005, s. 706–723, 2005.

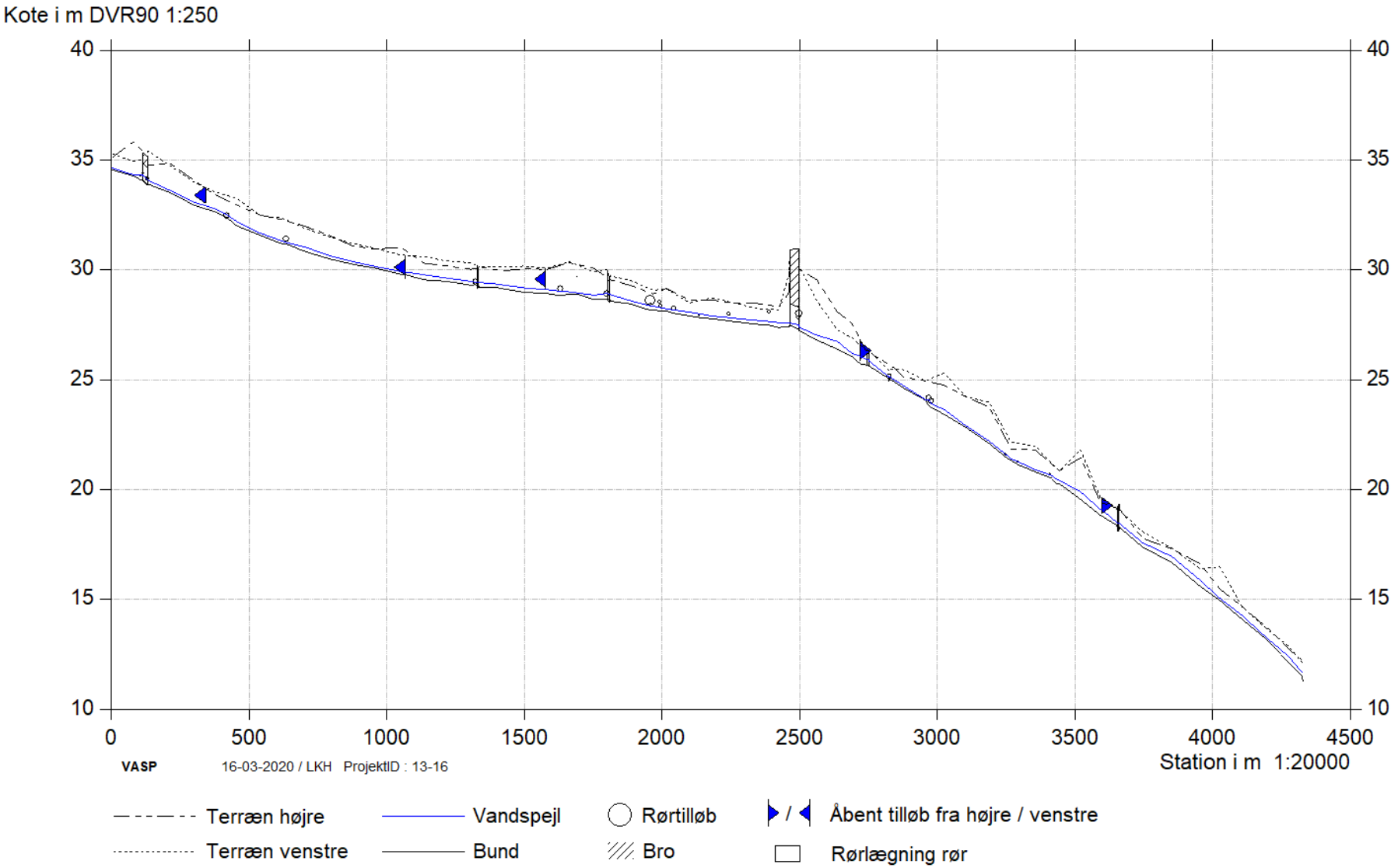
Wium-Andersen et al., **2013**. Tove Wium-Andersen, Asbjørn H. Nielsen, Thorkild Hvitved-Jacobsen, Hans Brix, Carlos A. Arias og Jes Vollertsen. *Modeling the eutrophication of two mature planted stormwater ponds for runoff control*. Ecological Engineering, Vol. 61/2013, s. 601–613, 2013.

A Kortbilag

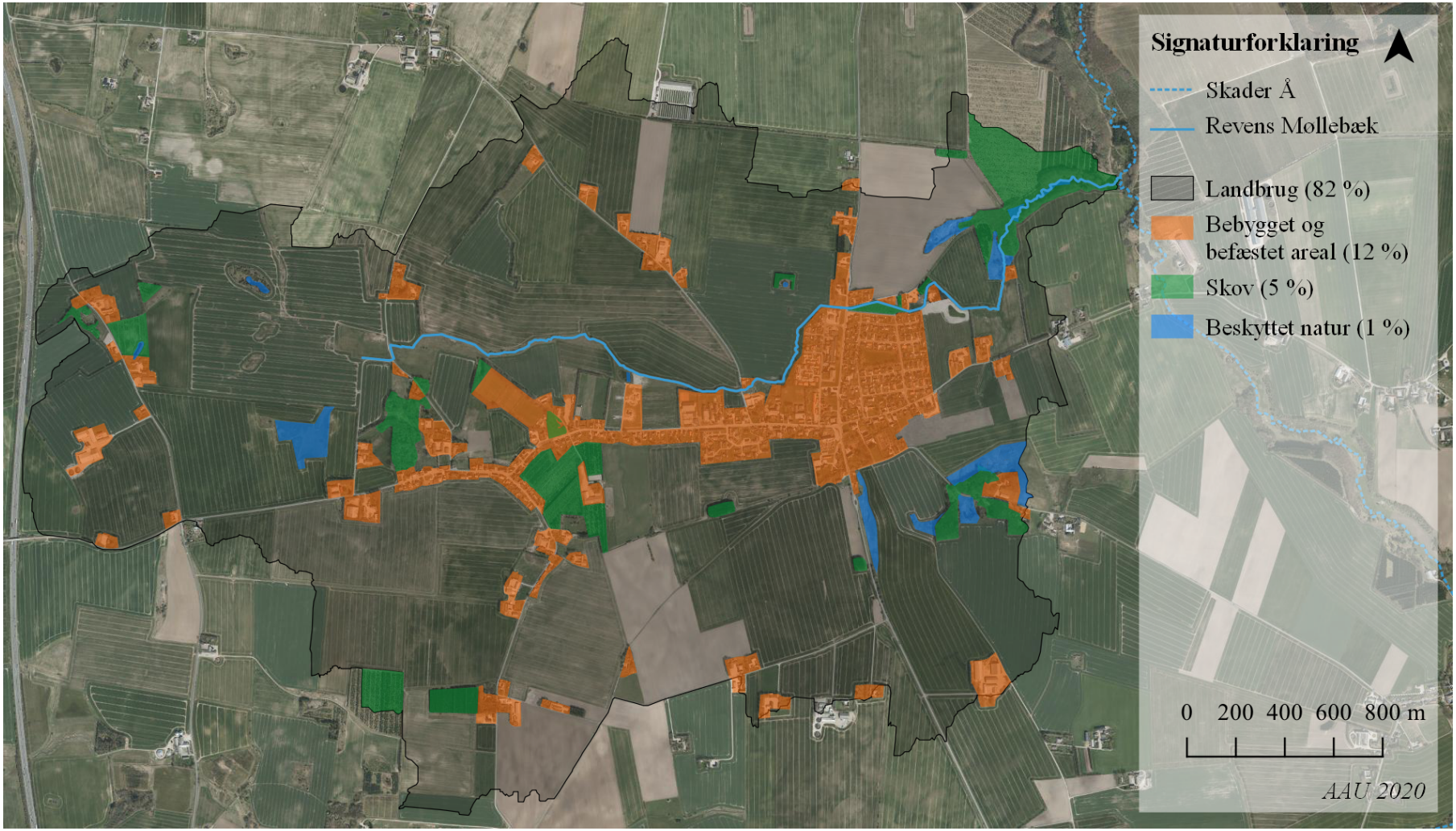
Dette bilag indeholder forskellige oversigtskort. Kortene indeholdt i dette bilag er:

- **Figur A.1**: Oplande til Revens Møllebæk
- **Figur A.2**: Længdeprofil Revens Møllebæk
- **Figur A.3**: Arealanvendelse i oplandet til Revens Møllebæk
- **Figur A.4**: Stationering i Revens Møllebæk
- **Figur A.5**: Status spildevandsplan, Voldum

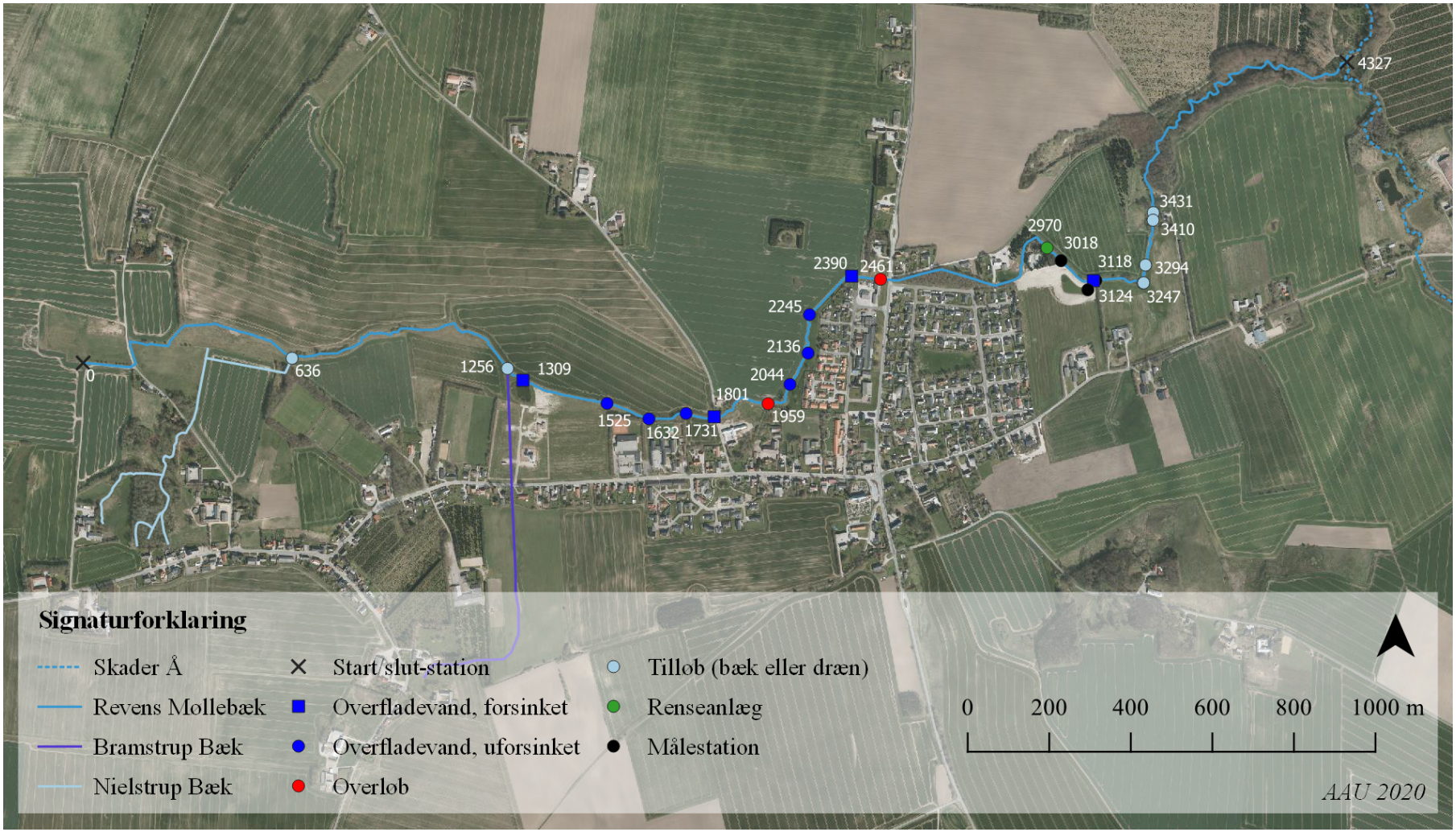
Figur A.1: Oplande til Revens Møllebæk.



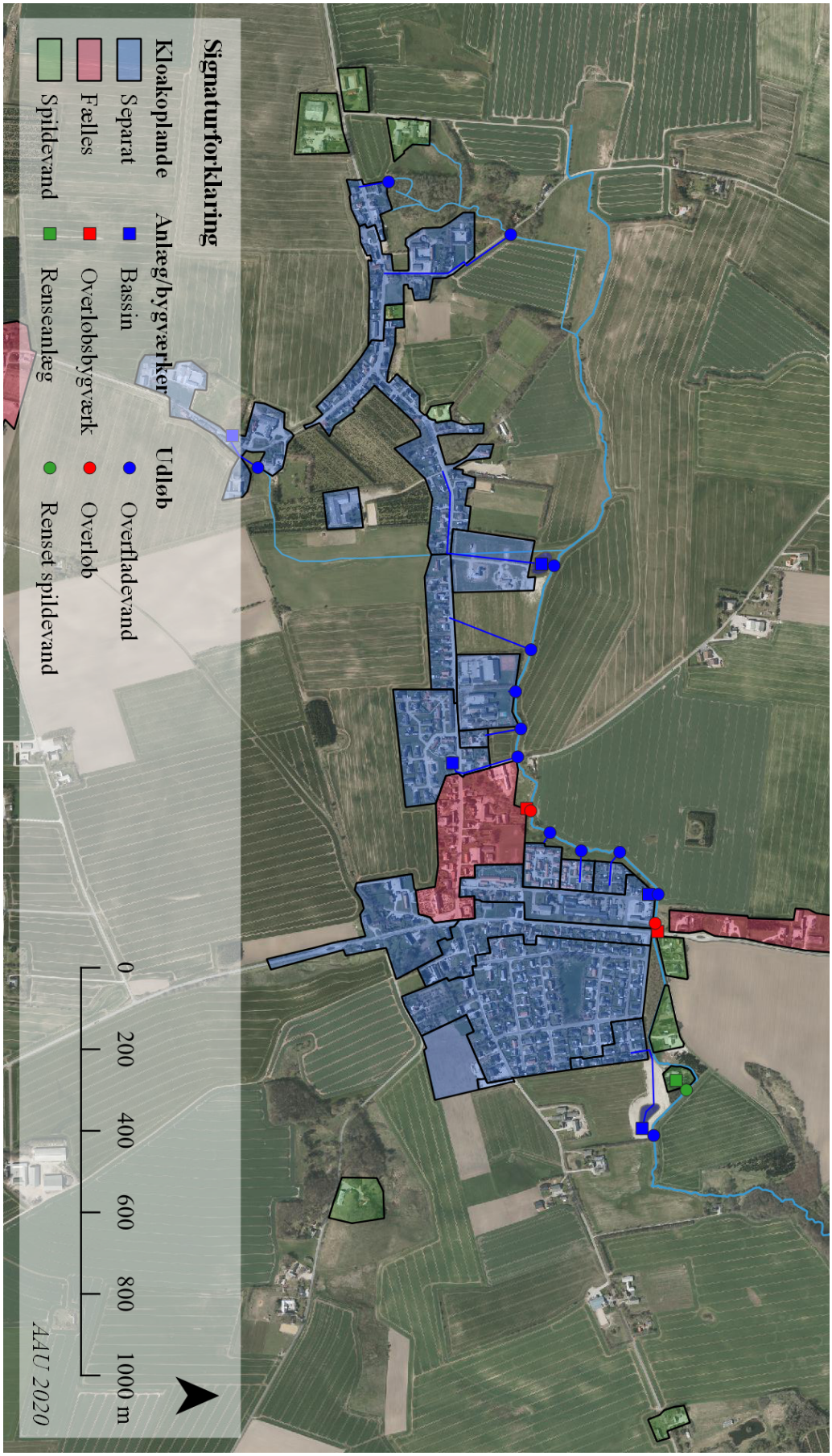
Figur A.2: Længdeprofil Revens Møllebæk. Fra opmåling af vandløb i november 2015 [Thomsen, 2020].



Figur A.3: Arealanvendelse i oplandet til Revens Møllebæk. Anvendelse opgjort på baggrund af kortlag fra GeoDanmark (FOT) og Danmarks Miljøportal [Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering og Danske kommuner, 2020; Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2020a].



Figur A.4: Stationering i Revens Møllebæk.



Figur A.5: Status spildevandsplan, Voldum. Efter Favrskov Kommune og Favrskov Forsyning [2013] og Favrskov Kommune [2020].

B Måleprogram

Dette bilag indeholder en uddybende beskrivelse af det opsatte måleudstyr på projektlokaliteten i Voldum. Måleprogrammet har indbefattet en række forskellige loggere, der med en fast frekvens har målt vandtemperatur, iltindhold, pH, ledningsevne og vandstand – i den følgende tekst beskrives det anvendte måleudstyr, dets placering og måleperiode m.m. Måleprogrammet har været et vigtigt led i kvantificeringen af påvirkningen fra regnvandsbassinet i Voldum i relation til det modtagende vandløb, Revens Møllebæk.

Måleudstyret er beskrevet med en række specifikationer af producenterne, hvor især *nøjagtighed* er interessant. Ud fra *sandhed* og *præcision* defineres måleudstyrets nøjagtighed. En høj grad af sandhed opnås ved eliminering af systematiske fejl, mens øget præcision sker ved reduktion af tilfældige fejl – begge dele forbedrer nøjagtigheden [Villarraga-Gómez, 2016]. Nøjagtigheden kan være defineret i intervaller og udtrykkes f.eks. for temperatur som ± x°C.

B.1 Temperaturmålinger

Vandtemperaturen er målt med tre forskellige typer af temperaturloggere: OTT Ecolog 500, OTT PLS og TidbiT v2 Temp, der er karakteriseret ved forskellige specifikationer. En OTT Ecolog 500 og to OTT PLS-loggere har målt vandtemperaturen lige omkring udledningspunktet, dvs. opstrøms og nedstrøms udledningspunktet samt i regnvandsbassinet ved dets udløb. Dertil har i alt 18 TidbiT-loggere været opsat i projektperioden: en håndfuld har målt vandtemperaturen omkring udledningspunktet, og derudover har vandtemperaturen med disse loggere, på en længere strækning af Revens Møllebæk, været målt for at undersøge, i hvilken grad vandtemperaturen varierer i vandløbet. Samtidig er det undersøgt, om det med denne opsætning af temperaturloggere er muligt at måle, hvordan eventuelle temperaturændringer forårsaget af regnvandsbassinet forplanter sig ned igennem vandløbet

Loggere på faste målestationer

Vandtemperaturen i regnvandsbassinet (RVB) og nedstrøms (NS) udledningspunktet måles med en OTT PLS koblet til en Campbell Logger, mens temperaturen ved den opstrøms målestation (OS) måles med en OTT Ecolog 500. Disse målinger er startet i foråret/sommeren 2019. Temperaturmålingerne foretaget med disse loggere strækker sig over en periode på ca. et år, hvilket er en fordel i belysningen af recipienteffekterne i f.eks. sommerperioden, hvor vandet i regnvandsbassinet formodes at blive opvarmet i højere grad end vandet, der strømmer i vandløbet. Placeringen af loggerne muliggør en vurdering af den kvantitative effekt af udledningen. Loggernes placering er vist på figur B.1. Den opstrøms målestation

er placeret 100 meter fra udledningspunktet, mens den nedstrøms målestation er placeret 6 meter fra udledningspunktet. I bassinet er loggeren monteret på en pæl umiddelbart ved udløbsbygværket. Disse loggere er ikke opsat af projektgruppen. Loggernes specifikationer, målefrekvens, måleperiode og eventuelle perioder med udfald i målingerne fremgår af tabel B.1.

Figur B.1: Placering af faste målestationer, hvor der siden forår/sommer 2019 er målt temperatur og vandstand.

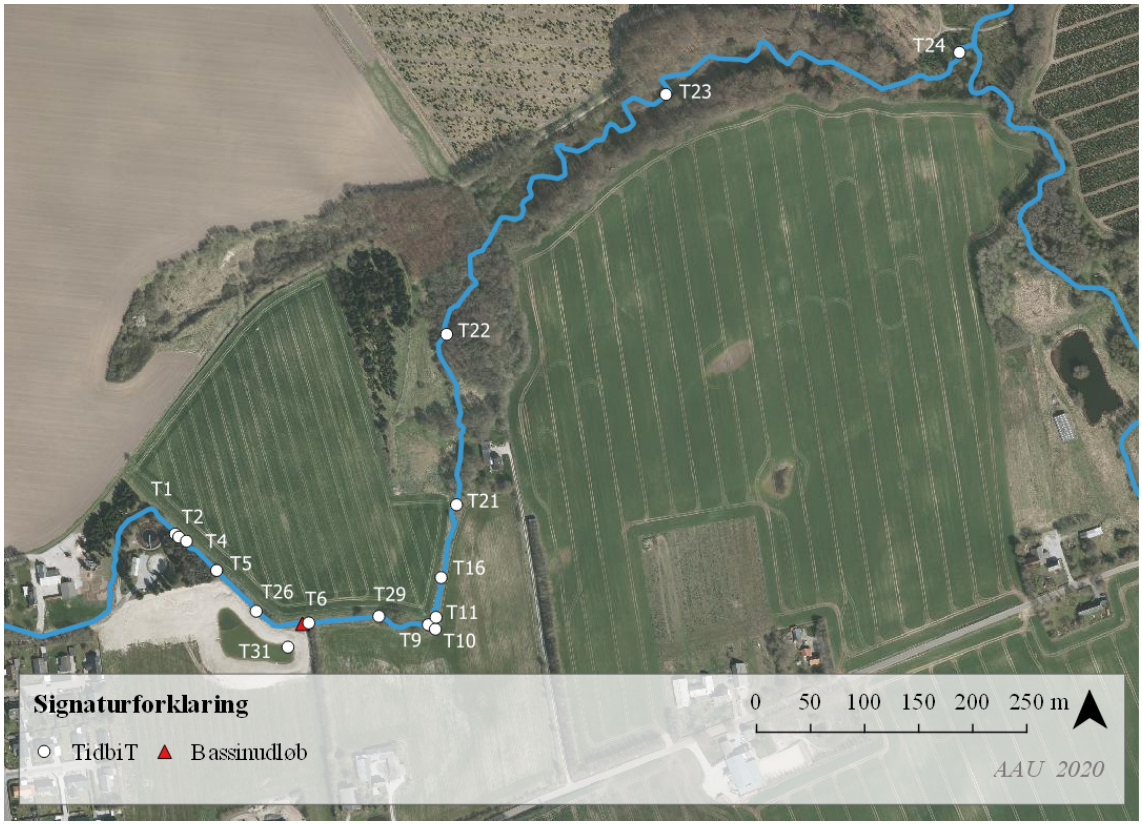
Tabel B.1: Temperaturloggere på de faste målestationer: specifikationer, målefrekvens, måleperiode og eventuelle perioder med udfald.

	OS målestation	**NS målestation**	**Bassin**
Loggertype	*OTT Ecolog* 500	*OTT PLS*	*OTT PLS*
Nøjagtighed	±0,5°C	±0,5°C	±0,5°C
Opløsning	0,1°C	0,1°C	0,1°C
Målefrekvens	10 min	1 min	1 min
Opstartsdato	1.5.19	4.7.19	20.5.19
Udfaldsperioder	21.5.20-	23.9.19-22.11.19 29.11.19-4.12.19	29.11.19-4.12.19

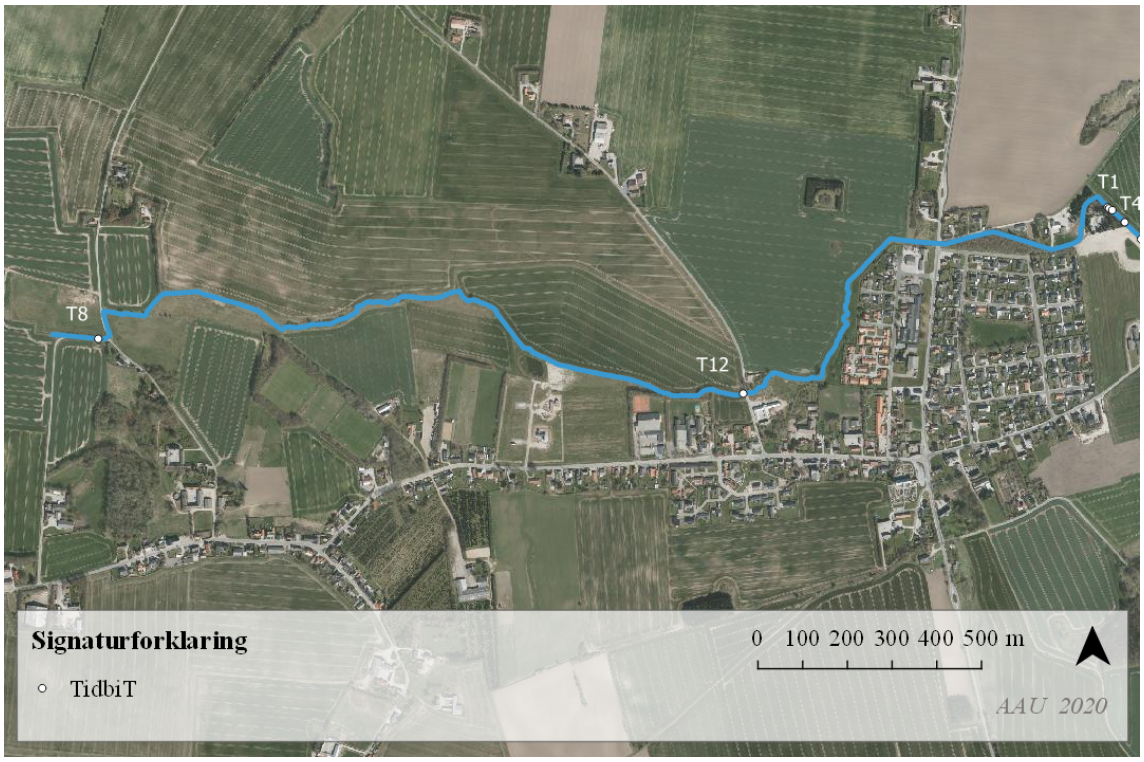
TidbiT-loggere

TidbiT-loggerne blev ved projektets start opsat på projektlokaliteten fra opstrøms renseanlægget til udløbet i Skader Å (ca. st. 2.970 til st. 4.308, se evt. figur A.4 i bilag A). De fleste målinger startede den 27. januar 2020, mens et par ekstra loggere blev opsat efterfølgende i løbet at februar måned. Den 16. april blev yderligere to TidbiT sat op i st. 134 og st. 1.803. Disse temperaturloggere har målt vandtemperaturen hvert tiende minut med en nøjagtighed på ±0,21°C (i intervallet 0°C til 50°C) og en opløsning på 0,02°C (ved 25°C). Dertil er det oplyst, at der kan forventes et skred på 0,1°C per år. Figur B.2 viser placeringen af de 18 TidbiT-loggere på strækningen fra ca. st. 2.970 til st. 4.308, mens placeringen af de to loggere i st. 134 og st. 1.803 fremgår af figur B.3. Loggerne har været fastgjort til en tentor-hegnspæl monteret i vandløbsbunden, se evt. figur B.4 og figur B.5.

Loggerne har primært været placeret omkring punktudledninger til vandløbet, dvs. udledning fra Voldum renseanlæg, udledningspunkt fra regnvandsbassinet samt drænudløb – derindimellem har et par ekstra loggere været placeret på andre strækninger for at have en jævn fordeling af målepunkterne. Tabel B.2 indeholder en kortfattet beskrivelse af placeringen af de enkelte loggere.



Figur B.2: Placering af TidbiT-loggere på den nederste del af Revens Møllebæk (ca. st. 2.970 til st. 4.308). De fleste loggere blev sat ud den 27. januar 2020, mens enkelte blev opsat efterfølgende.



Figur B.3: Placering af TidbiT-logger T8 og T12 i hhv. st. 134 og st. 1.803, dvs. på den øverste og midterste del af Revens Møllebæk. Tidbit T8 og T12 blev sat ud den 16. april 2020.

Figur B.4: TidbiT T24 fastgjort til en tentor pæl monteret i vandløbsbunden.

Figur B.5: TidbiT T23 monteret på tentorpæl i vandløbet.

Tabel B.2: Beskrivelse af placering af TidbiT-loggere herunder bundforhold og omgivelser.

Logger	Placering	Bund	Omgivelser
T8	St. 134 ca. 3 km fra bassinudløb	Sand med grus	Nær læbælte mod syd
T12	St. 1.803 ca. 1,3 km fra bassinudløb	Sand med grus	Ved buskads dog generelt åbent
T01	5 m opstrøms renseanlæg	Stenet	Træer på højre brink (sydøst)
T02	Udløb renseanlæg (30–40 cm fra rør)	-	Træer på højre brink (sydøst)
T04	8,5 m nedstrøms renseanlæg	Stenet	Træer på højre brink (sydøst), men mere åbent
T05	Opstrøms målestation	Sandet og blød	Slutning af hegn ved højre brink. Høje og stejle brinker
T26	Opstrøms bassinudløb	Sand med grus	Åbent, dog høje brinker
T06	6 m nedstrøms bassinudløb	Stenet	Læbælte syd for, åbent og høje brinker
T29	Nedstrøms bassinudløb	Sandet med grus	Lige inden levende hegn, men åbent, høje brinker
T09	8 m opstrøms Ø150 drænudløb	Sandet med grus	Åbent og lave brinker
T10	Ø150 drænudløb	Sandet med grus	Åbent og lave brinker. Ø90 dræn 1,5 m opstrøms
T11	11 m nedstrøms Ø150 drænudløb	Sandet med grus	Åbent og lave brinker
T16	4 m nedstrøms Ø120 drænudløb	Sandet, få sten	Åbent og lave brinker
T21	4 m opstrøms skoven	Overvejende stenet	Åbent, begyndende skov
T22	160 m inde i skoven	Sandet	Skov, meget lukket
T23	540 m inde i skoven	Sandet	Skov, meget lukket
T24	890 m inde i skoven 20 m fra Skader Å	Sandet	Skov, meget lukket
T32	Udløbsbygværk hængende i en snor		Åbne omgivelser omkring bassin

B.2 Ilt-, pH- og ledningsevnemålinger

Der har til projektet været to iltloggere, to pH-loggere og to ledningsevneloggere til rådighed. Loggerne har været placeret i to sæt hhv. i regnvandsbassinet og nedstrøms udledningspunktet fra regnvandsbassinet, se placeringen på figur B.6.

Figur B.6: Placering af ilt-, pH- og ledningsevneloggere. Disse parametre er målt i perioden 26. marts til 26. maj 2020.

Navne og specifikationer på de anvendte ilt-, pH- og ledningsevneloggere fremgår af tabel B.3. Alle seks loggere har målt hvert tiende minut. Målingerne blev startet den 26. marts 2020 og afsluttet 26. maj 2020.

Tabel B.3: Specifikationer for ilt-, pH- og ledningsevneloggere.

	Ilt	**pH**	**Ledningsevne**
Loggernavn	Dissolved oxygen (U26-001)	MX pH and temperature (MX2501)	U24 conductivity (U24-001)
Nøjagtighed	±0,2 mg/l (0-8 mg/l) ±0,5 mg/l (8-20 mg/l)	±0,10 pH	3 % af aflæsning
Opløsning	0,02 mg/l	0,01 pH	1 µS/cm
Måleområde	0-30 mg/l	2,00-12,00 pH	0-1.000 µS/cm 0-10.000 µS/cm

Ilt- og pH-loggerne blev kalibreret inden opsætning og udstyret med en *anti fouling guard* for at reducere tilsmudsning af sensorerne. Udover iltindhold, pH og ledningsevne har alle tre typer af loggere også målt vandtemperatur.

Det blev vurderet at alle tre typer af loggere skulle placeres sammen for at undersøge sammenhænge mellem iltindhold, pH, ledningsevne og temperatur. I bassinet har loggerne været fastgjort til bøjer og et tovtræk, som vist på figur B.7. I vandløbet har loggerne været fastgjort til en plade, monteret i vandløbsbunden med pløkker og sikret med en line fastgjort til en tentorpæl, se figur B.8. Måleudstyret, der blev monteret i Revens Møllebæk har været placeret således at vandet fra hhv. regnvandsbassinet og vandløbet er fuldt opblandet i målepunktet. Derudover blev det sikret, at loggernes sensorer altid var dækket af vand, og at pladen var forsvarligt fastgjort til vandløbsbunden. Miljøstyrelsen har en *administrativ definition af blandingszone* i forbindelse med jordforureningers påvirkning af overfladevand. Her svarer blandingszonens længde til 10 gange vandløbets bredde, det nævnes samtidigt, at blandingszonen kan være længere for små og mellemstore vandløb [Aisopou et al., 2014, kap. 5]. Ved seneste opmåling er vandløbet ved udledningspunktet omkring 120 cm bredt, hvilket betyder, at loggerne skal placeres minimum 12 meter fra udledningspunktet i følge Miljøstyrelsens definition. På baggrund af overvejelser om blandingszonens udbredelse og afvejning af de praktiske hensyn i forhold til placeringen af måleudstyret, blev loggerne placeret omkring 23 meter fra udledningspunktet. Placeringen blev den 6. april og 17. maj 2020 verificeret med et visuelt forsøg med rhodamin. Ved hjælp af rhodamin blev vandet og fanen fra regnvandsbassinet observeret, og de to vandmasser var fuldt opblandede, da vandet farvet med rhodamin strømmede forbi måleudstyret.

Figur B.7: Montering af loggere i bassin. Ilt-, pH- og ledningsevnelogger på bøjer fastgjort til et tovtræk.

Figur B.8: Montering af loggere i vandløbet. Ilt- pH- og ledningsevnelogger fastgjort til plade af plast, monteret med pløkker i vandløbsbunden og sikret med en line.

De omtalte placeringer af ilt-, pH- og ledningsevneloggerne blev valgt, da det er vurderet, at denne opstilling giver de bedste muligheder for at beskrive vandkvaliteten i regnvandsbassinet og efterfølgende nedstrøms udledningspunktet. Ideelt set ville en opstilling med tre loggere omkring udledningspunktet have været bedst.

B.3 Vandstandsmålinger

Vandstanden er i regnvandsbassinet og nedstrøms udledningspunktet målt med en OTT PLS koblet til en Campbell Logger, mens vandstanden ved den opstrøms målestation er målt med en OTT Ecolog 500. Målinger blev startet i maj måned 2019. Placeringen af loggerne fremgår af figur B.1. Loggernes specifikationer, målefrekvens og måleperiode fremgår af tabel B.4.

Tabel B.4: Specifikationer for vandstandsloggere inkl. målefrekvens og -periode.

	OS målestation	**NS målestation**	**Bassin**
Loggertype	*OTT Ecolog* 500	*OTT PLS*	*OTT PLS*
Nøjagtighed	±0,05 % FS	±0,05 % FS	±0,05 % FS
Opløsning	±0,01 % FS	0,001 m	0,001 m
Målefrekvens	10 min	1 min	1 min
Opstartsdato	1.5.19	16.5.19	16.5.19
Udfaldsperioder	21.5.20-	23.9.19-22.11.19 29.11.19-4.12.19	29.11.19-4.12.19

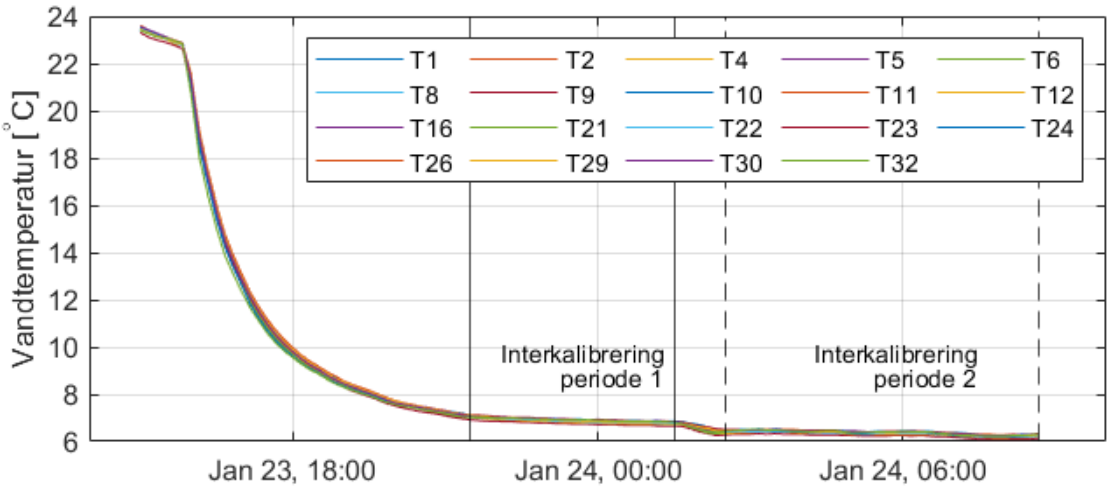
Den målte vandstand i regnvandsbassinet er benyttet til fastlæggelse af vandføringen igennem vandbremsen installeret i udløbsbrønden. Den målte vandstand ved den opstrøms målestation er ved hjælp af en Qh-relation for vandløbet omregnet til en vandføring, hvilket er beskrevet i bilag D. Disse relationer mellem vandstand og vandføring er vigtige, da kvantificeringen af udledningens effekter til dels beror på massebalanceberegninger.

C Interkalibrering

De anvendte temperatur-, ilt-, pH- og ledningsevneloggere er interkalibreret således, at data fra loggerne indbyrdes kan sammenlignes. Interkalibreringen er foretaget som et offset, hvor én af hver type af logger er udvalgt til at måle den *sande* værdi.

Interkalibrering af TidbiT-loggere

TidbiT-loggerne, anvendt i projektet, målte vandtemperaturen i en spand med vand fra den 23. januar kl. 15:00 til 24. januar 2020 kl. 08:40. Loggerne lå på bunden, og der var ikke omrøring af vandet. Figur C.1 viser de målte vandtemperaturer, dertil er der vist to perioder, hvorfra data er anvendt til interkalibrering.

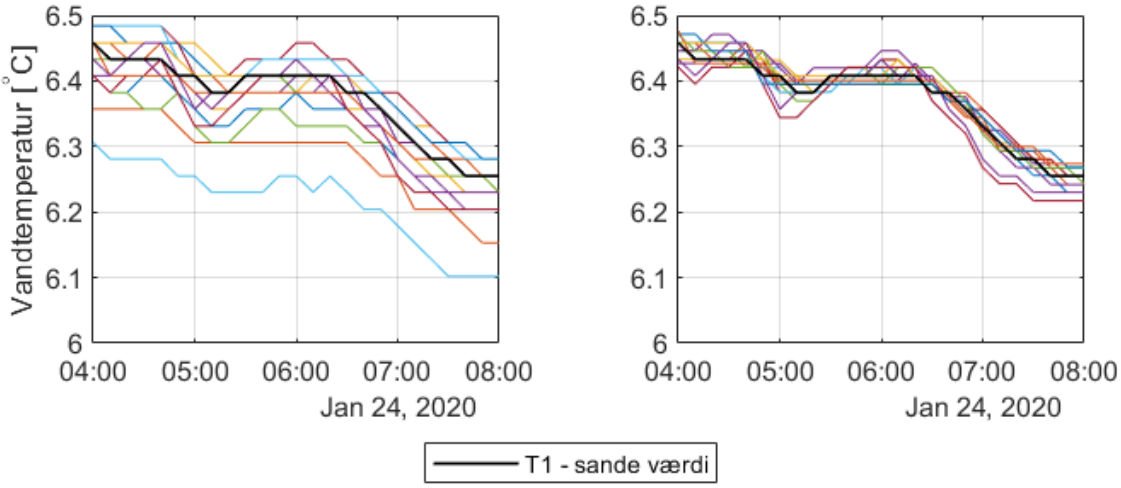


Figur C.1: Rådata: interkalibrering af TidbiT-loggere. Temperaturmålingerne er foretaget fra den 23. januar 2020 kl 15:00 til 24. januar 2020 kl 08:40.

Interkalibreringen er baseret på målinger, hvor temperaturen i en periode ikke ændres markant. Logger T1 er udvalgt til at måle den *sande* værdi, hvilket betyder, at der for de øvrige TidbiT-loggere findes et offset i forhold til T1. Dette offset er baseret på en median af forskellen mellem T1 og hver af de øvrige loggere, eks. T1-T2, T1-T4 osv. De to perioder, vist i figur C.1, giver hvert et offset baseret på medianen. Det endelige offset er gennemsnittet af de to medianer. De anvendte offset-værdier er vist i tabel C.1 og et udsnit af resultatet er vist i figur C.2.

Tabel C.1: TidbiT interkalibrering: offset-værdier.

TidbiT	Offset [°C]	TidbiT	Offset [°C]	TidbiT	Offset [°C]
T2	-0,025	T10	-0,026	T23	-0,025
T4	0	T11	0,165	T24	0,013
T5	-0,026	T12	0,089	T26	-0,013
T6	0,019	T16	0,025	T29	0,019
T8	0,013	T21	0,038	T30	0
T9	0,165	T22	0,064	T32	0



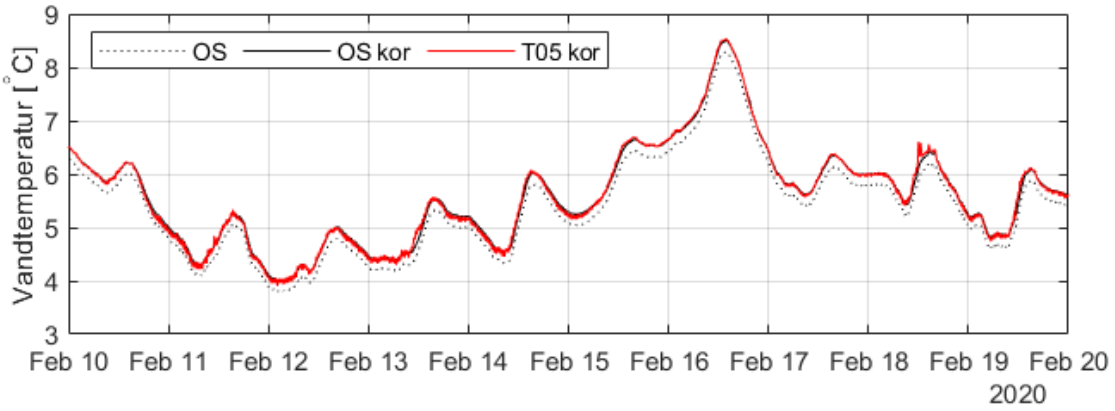
Figur C.2: Resultat af interkalibrering af TidbiT-loggere. Venstre: temperaturmålinger før korrigering. Højre: temperaturmålinger efter korrigering.

Interkalibrering af faste målestationer

I projektperioden har TidbiT T5 og TidbiT T6 været sat fast til henholdsvis den opstrøms og nedstrøms målestation. Temperaturmålinger fra perioden imellem den 4. februar 2020 og den 4. marts 2020, er anvendt til beregning af et offset for temperaturloggeren på den opstrøms (OS) og den nedstrøms (NS) målestation, mens data fra perioden imellem den 26. februar og den 20. marts 2020 er anvendt til korrigering af målestationen i regnvandsbassinet i relation til TidbiT T32, der er placeret ved bassinudløbet. Det anvendte offset er medianen af temperaturforskellen på hhv. T5-OS, T6-NS og T32-RVB. Det beregnede offset er præsenteret i tabel C.2, mens figur C.3 viser korrigeringen af den opstrøms målestation som et eksempel.

Tabel C.2: Offset-værdier for temperaturmålinger ved opstrøms målestation (OS), nedstrøms målestation (NS) og målestation i regnvandsbassin (RVB).

Målestation	OS	NS	RVB
Offset [°C]	0,2015	-0,2104	-0,0855



Figur C.3: Eksempel: resultat af offset af temperaturmålinger ved opstrøms målestation. OS er den ikke-korrigerede temperatur fra den opstrøms målestation.

Interkalibrering af ilt-, pH- og ledningsevneloggere

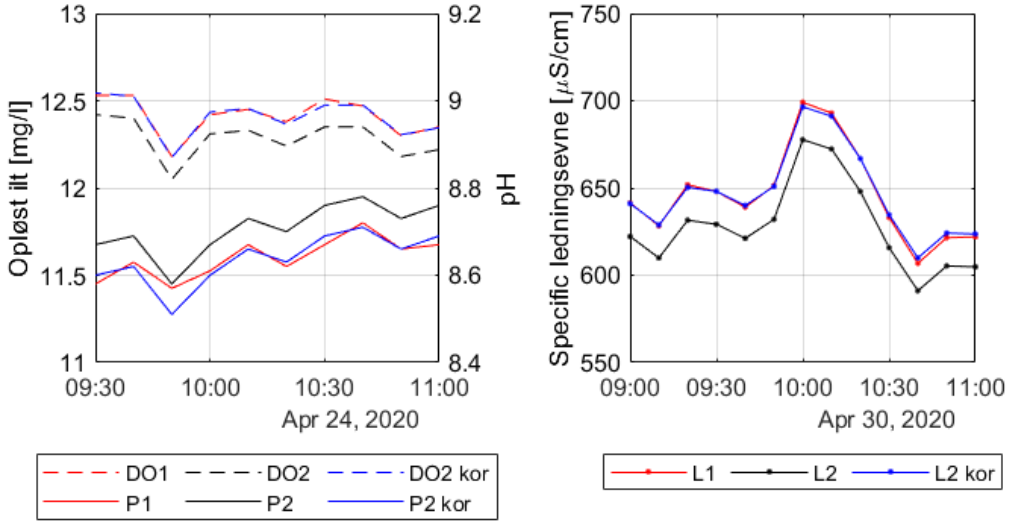
Ilt-, pH- og ledningsevneloggerne placeret i hhv. regnvandsbassin og i vandløbet nedstrøms udledningspunktet er interkalibreret på baggrund af data, hvor loggerne var placeret i vandløbet. Figur C.4 viser alle seks loggere i vandløbet den 24. april 2020. Interkalibreringen af de to ledningsevneloggere lykkedes ikke denne dag, hvorfor disse blev placeret i vandløbet sammen igen den 30. april 2020.

Figur C.4: Placering af ilt-, pH- og ledningsevneloggerne sammen i vandløbet den 24. april 2020 i forbindelse med interkalibrering.

Ilt-, pH- og ledningsevneloggeren placeret i bassinet, hhv. DO1, P1 og L1, er udvalgt til at måle den *sande* værdi. Det vil sige, at der for loggerne i vandløbet (DO2, P2 og L2) beregnes et offset. Dette offset er medianen af forskellen på målingerne logget af hhv. DO1 og DO2, P1 og P2 samt L1 og L2. Tabel C.3 viser de anvendte offset, mens figur C.5 viser resultatet af interkalibreringen.

Tabel C.3: Offset-værdier for iltloggeren (DO2), pH-loggeren (P2) og ledningsevneloggeren (L2), der alle er placeret i vandløbet.

Logger	DO2	P2	L2
Offset	0,125 mg/l	-0,07 pH	18,85 µS/cm



Figur C.5: Interkalibrering: resultat af offset af iltlogger DO2, pH-logger P2 og ledningsevnelogger L2, der alle er placeret i vandløbet.

D Fastlæggelse af vandføring

Dette bilag indeholder en beskrivelse af vandføringsmålingerne foretaget på projektlokaliteten, behandling af måledata og resultater. Da undersøgelsen af ændringer i vandkvalitet i høj grad forventes styret af blandingsforhold mellem vandmasserne og forskelle i koncentrationer/værdier, er pålidelig vandføringsdata essentielt.

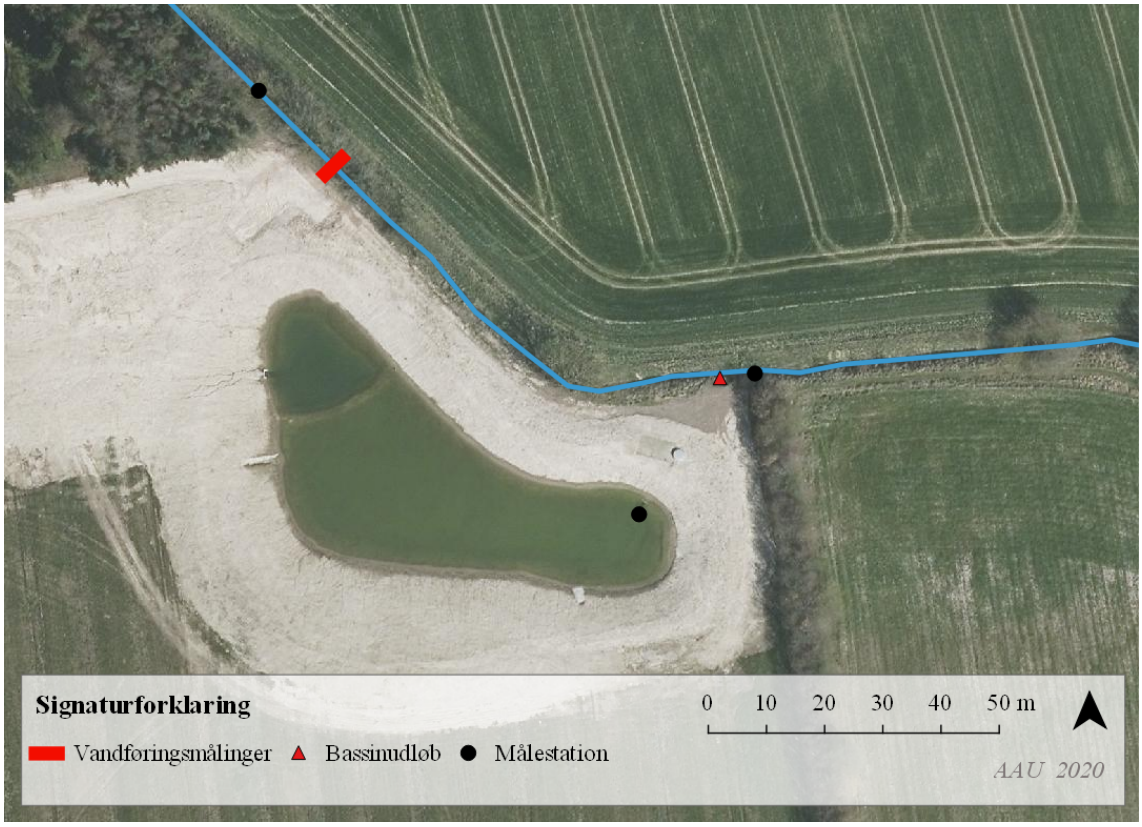
Vandstanden i Revens Møllebæk er målt kontinuert op- og nedstrøms regnvandsbassinets udledningspunkt siden maj 2019. Ved brug af en Qh-relation omregnes målte vandstande til vandføring. Relationen mellem vandføring (Q) og vandstand (h) afhænger i høj grad af strømningsmodstanden i vandløbet. Strømningsmodstanden, udtrykt ved Manningtallet (M), er en dynamisk variabel, der ændrer sig som funktion af grødemængden/årstiden, men også som funktion af vandføring. Af denne grund er der i dette projekt fastlagt flere Qh-kurver til brug i forskellige årstider ergo forskellig strømningsmodstand.

D.1 Propelmålinger

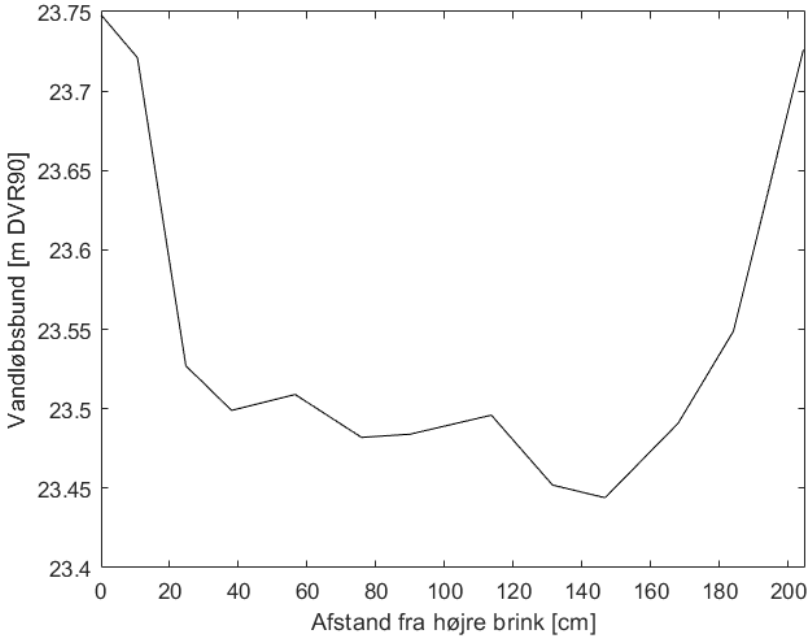
Propelmålinger er foretaget med *OTT small Current Meter C2* i et tværsnit, der opfylder kriterierne anført i Teknisk anvisning B03 Vandføringsmåling med vingeinstrument [Ovesen, 2019, afs. 2.1.1]. Vandløbstværsnittet, hvor målingerne er udført, er placeret opstrøms udledningspunktet, som vist på figur D.1. Tværsnitsprofilet, hvor vandføringsmålingerne er udført, er opmålt med GPS den 4. februar 2020 og er vist på figur D.2. Der er foretaget flere vandføringsmålinger ved dette tværsnitsprofil under forskellige afstrømningsforhold for at beskrive sammenhængen mellem vandføringen og vandstanden i et så bredt interval som muligt. Før og efter hver vandføringsmåling noteres tid og vandstand ved den opstrøms målestation, da vandføringen og vandstanden kan ændre sig i løbet af målingen. Vandløbets bredde inddeles i vertikaler per 10 cm, hvor vandhastigheden måles i ét til tre målepunkter afhængigt af vanddybden jævnfør tabel D.1 [Ovesen, 2019, afs. 2.3.4]. Det sikres med denne procedure og anvendelse af en propel med passende dimension, at målingerne ikke overlapper hinanden.

Tabel D.1: Antal målepunkter ved forskellige vertikaldybder i forbindelse med vandføringsmålinger. d er vanddybden. Efter Ovesen [2019, afs. 2.3.4].

Vanddybde i vertikal	**Antal målepunkter**	**Placering af målepunkter under vandoverfladen**
$<$ 7 cm	1	0,6·d
7 - $<$ 10 cm	2	0,2·d , 0,8·d
10 - $<$45 cm	3	0,2·d , 0,6·d , 0,8·d



Figur D.1: Placering af tværsnit til vandføringsmålinger ca. 18 m nedstrøms den faste opstrøms målestation. Målingerne er foretaget i det samme tværsnitsprofil (st. 3.036) opstrøms udledningspunktet fra bassinet.



Figur D.2: Opmålt tværsnitsprofil til vandføringsmålinger. Tværsnittet er opmålt med GPS den 4. februar 2020.

I løbet af hver enkelt måling tælles propellens omdrejninger i et tidsinterval på 30 eller 60 sekunder, hvorefter antallet af rotationer kan omregnes til en hastighed baseret på en kalibreringstabel. Følgende to propeltyper har været til rådighed til de udførte målinger: type 3 (D=50 mm) og type 5 (D=30 mm). Type 3-propellen (164310) er kalibreret med hus C2 154142, hvortil følgende omregning fra omdrejninger til hastighed gælder, formel (D.1):

$$\begin{aligned} n &\leq 0,76 & v &= 0,2416 \cdot n + 0,015 \\ 0,76 &\leq n \leq 9,61 & v &= 0,2573 \cdot n + 0,003 \end{aligned} \tag{D.1}$$

n	Rotationer per sekund	[rps]
v	Strømningshastighed	[m/s]

Type 5-propellen (35360) er ikke kalibreret med et specifikt hus. Omregningen fra omdrejninger til hastighed er beregnet med formel (D.2), der er kalibreringen fra en propel af samme type.

$$\begin{aligned} n &\leq 6,06 & v &= 0,0588 \cdot n + 0,029 \\ n &> 6,06 & v &= 0,0555 \cdot n + 0,049 \end{aligned} \tag{D.2}$$

Vandføringen i tværsnittet bestemmes ved, at de målte hastigheder integreres over vertikaldybderne og dernæst over vandløbsbredden jf. formel (D.3):

$$Q = \int_0^b \int_0^d v(y)\, dy\, dx \tag{D.3}$$

Q	Vandføring	[m^3/s]
b	Vandspejlsbredde	[m]
d	Vertikal vanddybde	[m]
v(y)	Strømningshastighed som funktion af vanddybden	[m/s]

Der antages linearitet mellem de målte punkter, der beskriver vandløbsbunden, hvormed tværsnittets areal, våde perimeter og middel vanddybde kan fastlægges. Manningtallet, der beskriver strømningsmodstanden i vandløbet, beregnes ud fra Manning-formlen, formel (D.4). Baseret på antagelsen om laminær ensformig strømning, sættes energilinjegradienten, I, lig vandløbets bundhældning, I_0. Beregningerne af Manningtallet baseres på I = 8,75 ‰, der svarer til den gennemsnitlige bundhældning på strækningen omkring tværsnitsprofilet, hvor der måles vandføring.

$$M = \frac{Q}{R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot A} \tag{D.4}$$

M	Manningtal	[$m^{1/3}/s$]
R	Hydraulisk radius	[m]
I	Energilinjegradient	[-]
A	Tværsnitsareal	[m^2]

D.2 Resultater

I forbindelse med dette projekt er der foretaget målinger af vandføringen, i det i figur D.2 angivne tværsnit, i februar, marts og april 2020. Yderligere er der i maj 2019 foretaget tre målinger af vandføringen [Jensen og Nørgaard, 2019, bilag D]. Resultaterne af de omtalte vandføringsmålinger fremgår af tabel D.2, D.3 og D.4, mens beregninger kan ses i bilag H.

Tabel D.2: Resultater fra vandføringsmålinger i maj 2019. [Jensen og Nørgaard, 2019, bilag D]. VST er vandstande fra den opstrøms målestation [Thomsen, 2020].

Dato		**3.5.19**	**9.5.19**	**22.5.19**
Tid		12:50-17:00	07:00-17:00	07:00-17:00
Vandføring	[l/s]	10,8	22,4	37,5
VST: middel	[m]	0,216	0,254	0,269
VST: min-maks	[m]	0,212-0,225	0,227-0,316	0,251-0,300
Tværsnitsareal	[m^2]	0,088	0,134	0,172
Våd perimeter	[m]	1,189	1,256	1,310
Middelhastighed	[m/s]	0,123	0,167	0,218
Manningtal	[$m^{1/3}/s$]	8,6	9,6	11,3

Tabel D.3: Resultater fra vandføringsmålinger i februar 2020. VST er vandstande fra den opstrøms målestation [Thomsen, 2020].

Dato		**4.2.20**	**11.2.20**	**16.2.20**	**18.2.20**
Tid		13:30-15:10	08:30-09:30	14:50-15:50	08:30-09:40
Vandføring	[l/s]	44,3	129,2	282,5	129,4
VST: middel	[m]	0,262	0,383	0,484 (0,378)*	0,298
VST: min-maks	[m]	0,260-0,264	0,375-0,394	0,474-0,492	0,281-0,323
Tværsnitsareal	[m^2]	0,144	0,258	0,415	0,272
Våd perimeter	[m]	1,854	1,967	2,171	1,984
Middelhastighed	[m/s]	0,308	0,502	0,680	0,477
Manningtal	[$m^{1/3}/s$]	18,1	20,8	21,9	19,2

* *Værdi i parentes er vandstand (VST) efter fjernelse af stuvningsskabende grene i vandløbet.*

Tabel D.4: Resultater fra vandføringsmålinger i foråret 2020. VST er vandstande fra den opstrøms målestation [Thomsen, 2020].

Dato		**26.3.20**	**6.4.20**	**8.4.20**	**30.4.20**
Tid		10:30-11:20	14:30-15.20	14:20-15:00	10:00-10:50
Vandføring	[l/s]	24,2	17,7	16,6	46,2
VST: middel	[m]	0,235	0,235	0,230 (0,219)*	0,266
VST: min-maks	[m]	0,234-0,237	0,233-0,237	0,219-0,235	0,242-0,284
Tværsnitsareal	[m^2]	0,161	0,152	0,152	0,195
Våd perimeter	[m]	1,763	1,777	1,740	1,901
Middelhastighed	[m/s]	0,151	0,117	0,109	0,238
Manningtal	[$m^{1/3}$/s]	8,0	6,4	5,9	11,6

* *Værdi i parentes er vandstand (VST) efter fjernelse af stuvningsskabende grene i vandløbet.*

Generelt om vandføringsmålinger foretaget med vingeinstrument gælder, at den resulterende beregnede vandføring er forbundet med væsentlig usikkerhed. Usikkerhederne relaterer sig både til selve metoden; beregningerne/integreringen og hvorvidt målepunkterne formår at dække det givne tværsnitsareal, ligesåvel som det anvendte udstyr og de aktuelle forhold under målingerne er bestemmende for usikkerheden. I den tekniske anvisning for måling med vingeinstrument angives det, at usikkerheden for disse vandføringsmålinger er omkring 5 % – dog generelt større i små vandløb; op til 25 % [Ovesen, 2019]. Vingeinstrumentet anvendt til vandføringsmålingerne i forbindelse med dette projekt lever ikke op til kravet i *spintesten* som beskrevet i den tekniske anvisning [Ovesen, 2019], ligesom det ikke vides, hvornår udstyret sidst er kalibreret, hvilket bidrager til usikkerheden på målingerne.

Vedligehold og stuvning

For at sikre en funktionsdygtig og mere pålidelig vandføringsserie indebærer opsætning af en målestation, der kontinuert logger vandstand, også vedligehold – det betyder bl.a. at stationen og vandløbet umiddelbart nedstrøms stationen tilses med jævne mellemrum. Eventuelle stuvningsskabende genstande, der måtte være endt i vandløbet, kan have indvirkning på de loggede vandstande, hvorfor beregningen af vandføringen på baggrund af Qh-relationen bliver mere usikker. I Revens Møllebæk er der på et tidspunkt i starten af 2020 nedfaldet en stor mængde grene, der efterfølgende har samlet flere grene, blade etc. og føjet til stuvningen. Placeringen af disse stuvningsskabende grene og blade var få meter nedstrøms målestationen og således mellem målestationen og tværsnittet anvendt til vandføringsmålingerne – se evt. figur D.3. Den 16. februar 2020 kl. 16:00 til 16:15 blev de opstuvende grene fjernet, hvilket resulterede i et fald i vandstand ved målestationen på 8-10 cm. Vandstande målt ved den opstrøms målestation til og med den 16. februar 2020 kl. 16:15 er således påvirket af stuvningen, mens vandstande fra efter dette tidspunkt ikke er stuvningspåvirkede; heri ligger et problem, hvis vandføringen ønskes kendt med rimelig præcision af hensyn til massebalanceberegninger. De loggede vandstande, der er registreret i forbindelse med de udførte vandføringsmålinger, forsøges derfor korrigeret for stuvning i forbindelse med fastlæggelsen af Qh-kurverne. Yderligere blev der d. 8. april 2020 kl. 14:50

til 15:00 fjernet en mindre mængde grene, der skabte stuvning mellem målestationen og tværsnittet for vandføringsmålingerne – her var der tale om en stuvning på ca. 1 cm, som der ikke direkte tages højde for i de loggede målinger, da denne er vurderet uvæsentlig af størrelse.

Figur D.3: Stuvning i Revens Møllebæk omkring st. 3.000. Samlingen af grene og blade, der gav anledning til stuvning, mellem den opstrøms målestation og tværprofilet, hvor vandføringen måles. Fjernet den 16. februar 2020, kl. 16:00-16:15.

D.3 Fastlæggelse af Qh-kurver

Som beskrevet i den tekniske anvisning fra DCE, er det den kontinuerte registrering af vandstanden ved en målestation i sammenhæng med gentagne målinger af vandføringen, der danner grundlaget for beregningen af vandføringsserien (hydrografen) for den givne station/vandløb [Ovesen og Poulsen, 2016, kap. 2]. Qh-kurven/relationen, der beskriver sammenhængen mellem målte vandstande og vandføringen, Q, anvendes således til beregningen af hydrografen, hvorfor denne er af stor betydning for den resulterende vandføring. Den generelle grundformel for en Qh-kurve fremgår af formel (D.5). Det gælder, at konstanterne A og N bestemmes empirisk ud fra de sammenhængende værdier af Q og h. Disse to konstanter er i praksis *ikke konstante* i naturlige vandløb, ligesom h_0 også kan ændre værdi. Erfaringsmæssigt oplyses det dog i vejledningen, at N i naturlige vandløb ligger mellem 1,5 og 2,0, hvor 1,5 er gældende for et rektangulært tværsnit, mens en værdi på 2,5 anvendes i vandløb med trekantet tværsnit. [Ovesen og Poulsen, 2016, kap. 2]

$$Q = A \cdot (h - h_0)^N \cdot 1000 \tag{D.5}$$

Q	Vandføring	[l/s]
A	Empirisk konstant	[-]
h	Vandstand	[m]
h_0	Beregningsmæssig vandløbsbund (vandstand ved Q = 0)	[m]
N	Empirisk konstant (tværsnitsafhængig)	[-]

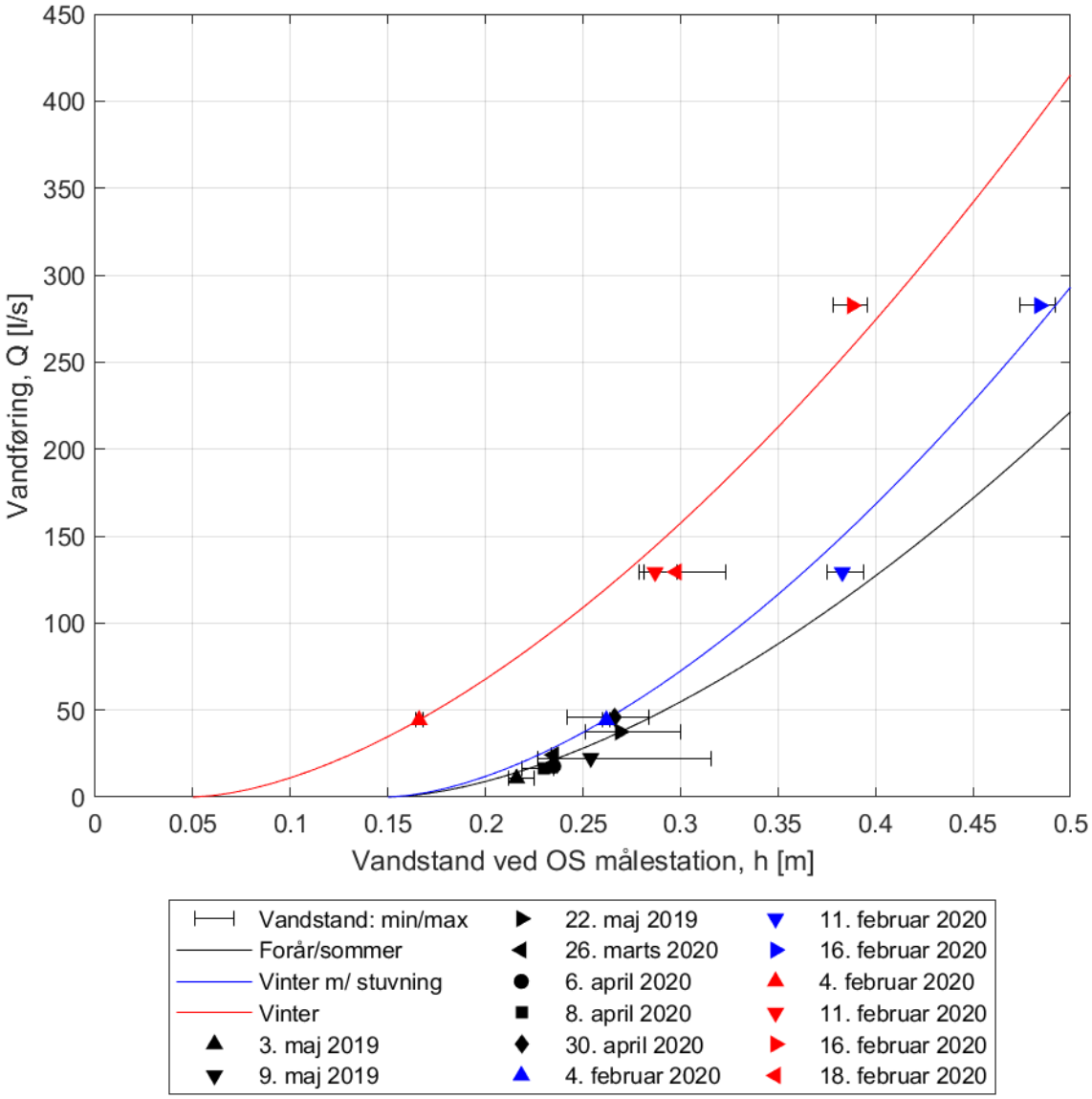
Som beskrevet ovenfor i afsnit D.2, blev der på projektlokaliteten konstateret og senere fjernet opstuvende materiale i vandløbet få meter nedstrøms den målestation, der anvendes til etableringen af Qh-kurven for Revens Møllebæk. Grundet denne påvirkning af de loggede vandstande i perioden januar 2020 til 16. februar 2020, er der etableret en Qh-kurve gældende for denne periode, der er beskrevet ved formel (D.7) (på baggrund af besøg på projektlokaliteten, er det vurderet, at opstuvningen er sket tidligst fra den 1. januar 2020). Yderligere er der etableret en ikke-stuvningspåvirket Qh-relation: formel (D.8), der vurderes gældende for en vintersituation (M $\approx$ 20) i Revens Møllebæk. De to omtalte Qh-relationer er baseret på 3-4 målinger af vandføring og vandstand i Revens Møllebæk i februar 2020, som præsenteret i tabel D.3 i foregående afsnit. Målingerne af vandstand den 4. og 11. februar er ifm. fastlæggelsen af den stuvningskorrigerede kurve fratrukket 9,6 cm, hvilket svarer til det fald i vandstand, der blev registreret d. 16. februar, da opstuvningen blev fjernet.

Yderligere er der for målingerne af vandføring og vandstand foretaget i maj 2019 og marts-april 2020 etableret en Qh-relation, der vurderes, at kunne anvendes til beregning af vandføring i Revens Møllebæk i en forår-/sommersituation (M $\approx$ 10), se formel (D.6). En visuel sammenligning af de tre etablerede Qh-kurver fremgår af figur D.4, hvoraf de anvendte Qh-punkter også fremgår.

$$Q = 1,252 \cdot (h - 0,15)^{1,65} \cdot 1000 \tag{D.6}$$

$$Q = 1,657 \cdot (h - 0,15)^{1,65} \cdot 1000 \tag{D.7}$$

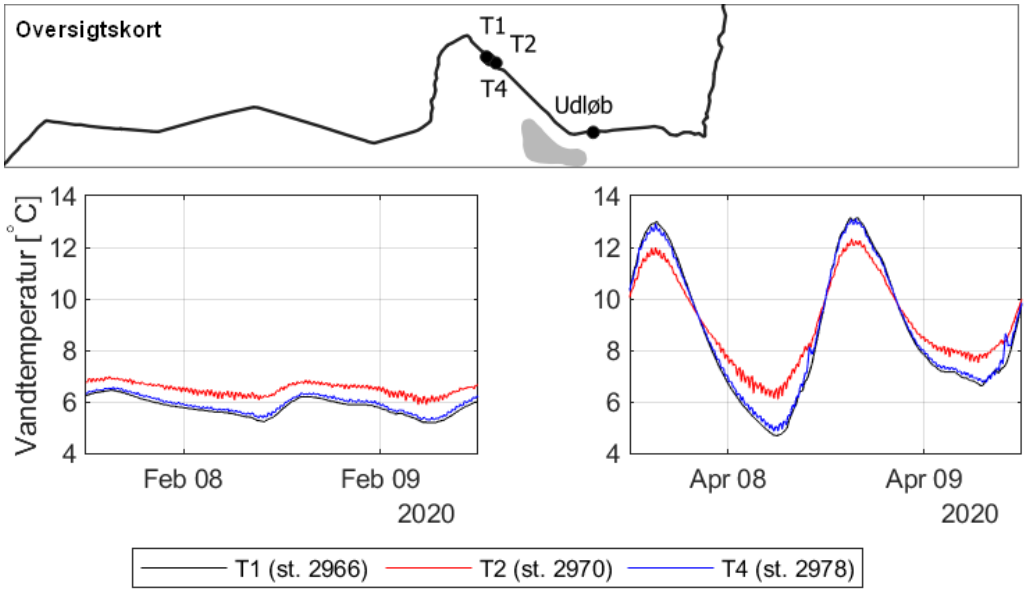
$$Q = 1,550 \cdot (h - 0,05)^{1,65} \cdot 1000 \tag{D.8}$$



Figur D.4: Qh-relationer i Revens Møllebæk.

E Temperaturmålinger ved renseanlæg og drænudløb

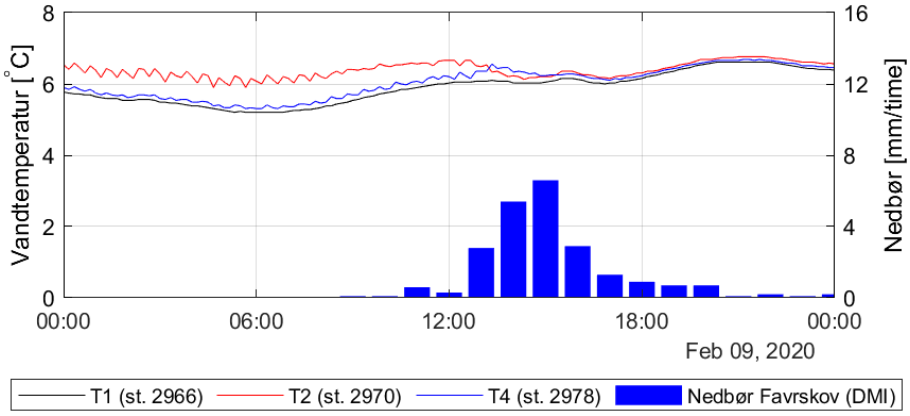
Revens Møllebæk modtager, som nævnt i kapitel 3, ikke alene overfladevand fra regnvandsbassinet, men også bl.a. renset spildevand fra Voldum Renseanlæg. Det rensede spildevand fra renseanlægget formodes at være af en anden sammensætning -også mht. temperatur- end vandet i vandløbet. Figur E.1 viser vandtemperaturer i vandløbet op- og nedstrøms samt umiddelbart ved udledningspunktet fra renseanlægget i to forskellige perioder. Selvom temperaturen af det udledte vand er forskellig fra vandløbets, forårsages der kun små ændringer ca. 8 m nedstrøms udledningen, der hvor vandmasserne formodes fuldt opblandede (T4). Det er observeret, at vandet fra renseanlægget i vinterperioden hæver vandtemperaturen beskedent (figur E.1 til venstre), mens det rensede spildevand i mild grad dæmper vandtemperaturens døgnsvigninger i foråret (figur E.1 til højre).



Figur E.1: Temperaturmålinger ved udløb fra renseanlæg under tørvejr. T1 er 5 m opstrøms udløbet, T2 er placeret 30 cm fra rørudløbet, mens T4 står omkring 8 m nedstrøms renseanlæggets udledningspunkt.

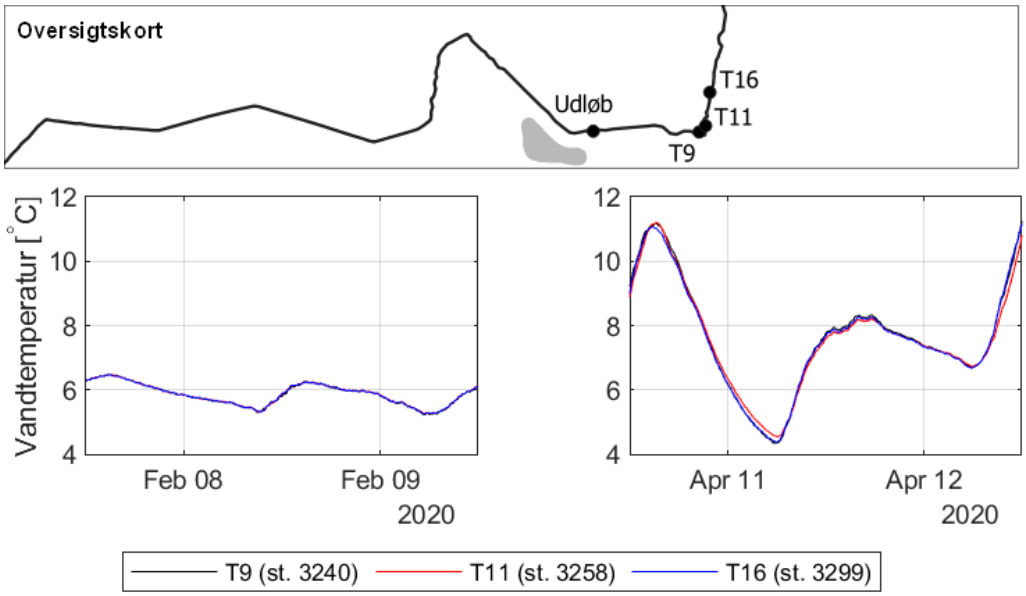
Trods den begrænsede temperaturændring udledningen fra renseanlægget forårsager, viser målingerne, at temperatursvigninger skabt af renseanlægget forplanter sig nedstrøms i vandløbet. Vandtemperaturen opstrøms renseanlægget (T1) varierer mere glidende sammenholdt med temperaturmålinger nedstrøms udledningen (T4), hvilket fremgår af figur E.2. En anden observation gjort på baggrund af figur E.2 er, at nedbørshændelsen udglatter de tydelige fluktuationer observeret i tørvejrssituationer, hvilket indikerer at renseanlægget

fortsat modtager regnvand fra fælleskloak i oplandet, hvilket bekræftes af observationer på projektlokaliteten under nedbør, hvor udløbet fra renseanlægget forøges.



Figur E.2: Temperaturmålinger ved udløb fra renseanlæg under regnhændelse. T1 er 5 m opstrøms udløbet, T2 er placeret 30 cm fra rørudløbet, mens T4 står omkring 8 m nedstrøms renseanlæggets udledningspunkt.

Ligesom det formodedes, at udledninger fra renseanlæg kan bevirke temperaturændringer i vandløbet, må det overvejes om drænudledninger kan have en lignende effekt. På strækningen fra omkring st. 3.240 til st. 3.300, findes fire drænstilløb til Revens Møllebæk. Temperaturmålingerne i løbet af projektperioden viser, at der ikke sker nævneværdige temperaturændringer, der kan tilskrives drænene, eksempler på dette er vist i figur E.3. Dog bemærkes det, at små fluktuationer i vandtemperaturen observeres, hvilket formodes at have sin oprindelse fra udledningen af renset spildevand.



Figur E.3: Temperaturmålinger på strækning med fire drænudløb i en tørvejrssituation: vinter og forår. T9 er placeret opstrøms drænene, T11 efter de første to dræn og T16 efter de sidste to drænudløb. Se evt. bilag B figur B.2.

F Meteorologisk data

Indeværende bilag indeholder figurer, der præsenterer meteorologisk data: lufttemperatur, indstråling og nedbør fra DMI, Favrskov Kommune, for de i kapitel 6 og 7 omtalte og undersøgte perioder. Yderligere er vandføring ud gennem vandbremsen fra bassinet vist. Følgende figurer er indeholdt på de efterfølgende sider i dette bilag:

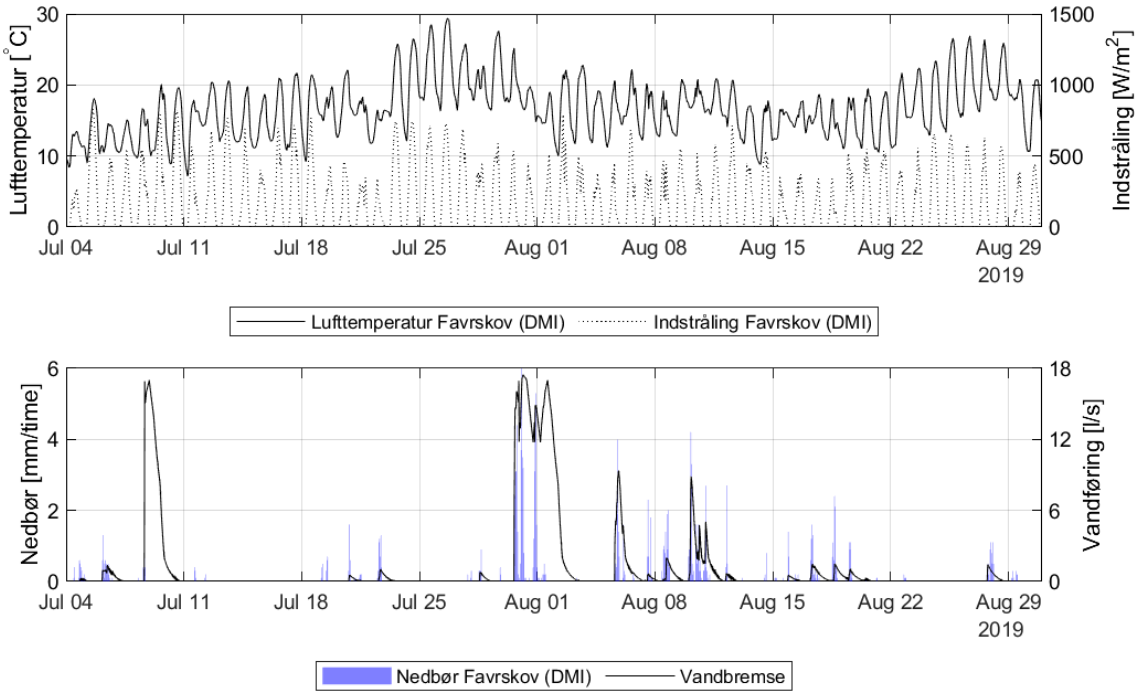
- **Figur F.1**: Vejrlig juli-august 2019
- **Figur F.2**: Vejrlig februar 2020
- **Figur F.3**: Vejrlig marts-april 2020
- **Figur F.4**: Vejrlig april-maj 2020

I tabel F.1 herunder er desuden angivet middelværdier for temperatur og nedbør i Favrskov Kommune for de i projektet undersøgte perioder i 2019 og 2020. Til sammenligning er i samme tabel vist DMIs oplyste klimanormaler for tilsvarende sæsoner hhv. sommer, vinter og forår.

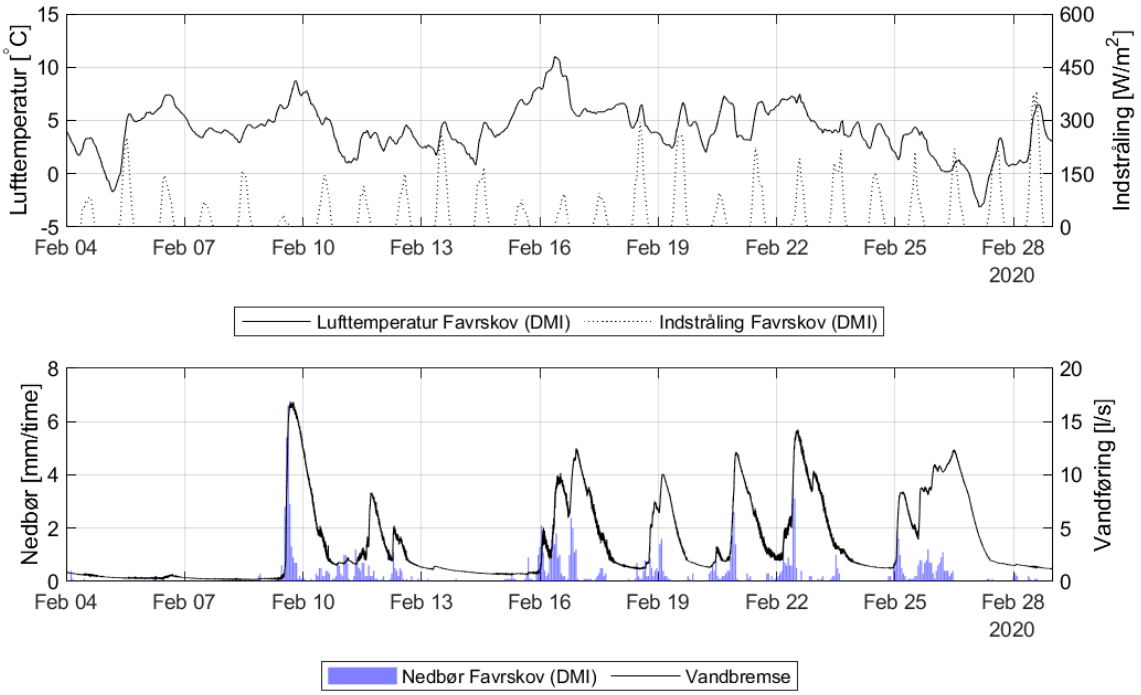
Tabel F.1: Sammenligning af temperatur- og nedbørsmidler for de i projektet undersøgte perioder i 2019 og 2020 (data fra DMI, Favrskov Kommune) med klimanormaler for Danmark fordelt på sæson. [DMI - Danmarks Meteorologiske Institut, 2020a]

	Temperatur			**Nedbør**
Sæson	**Middel** [°C]	**Middel af maks.** [°C]	**Middel af min.** [°C]	**Middel** [mm/dag]
Juli-august 2019	16,6	21,0	12,8	2,7
Sommernormal	15,7	19,9	11,7	2,2
Februar 2020	4,2	6,0	2,3	5,5
Vinternormal*	2,0	3,9	-0,5	2,1
Marts-maj 2020	6,6	10,3	2,9	1,1
Forårnormal	6,9	10,6	3,3	1,5

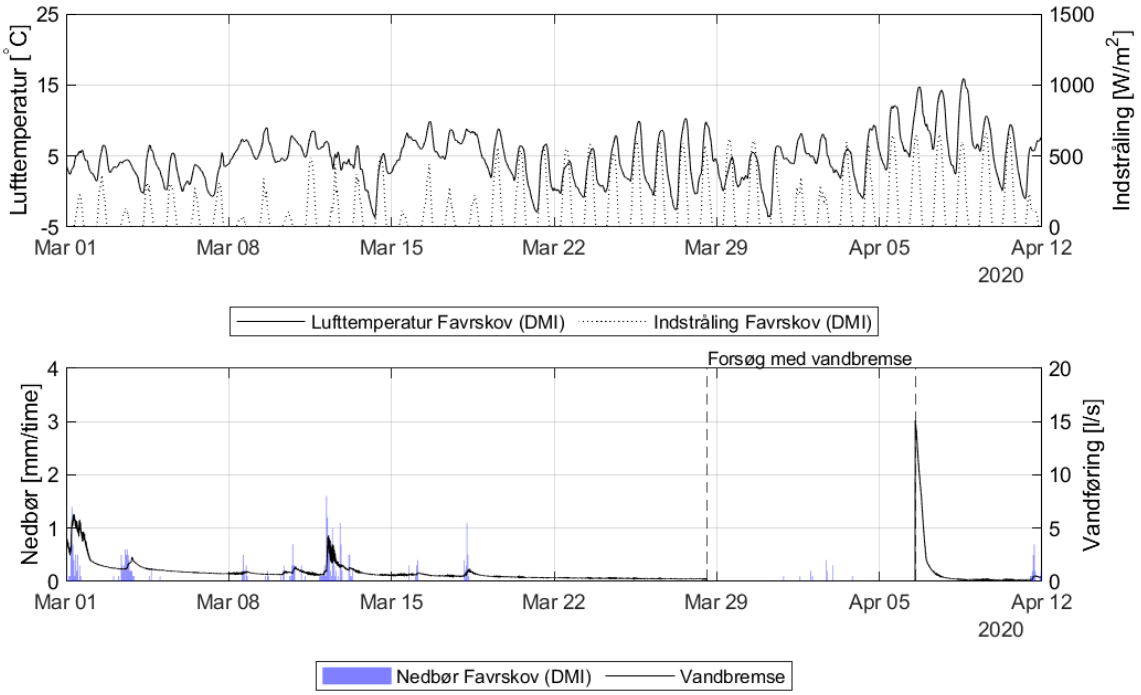
* *Klimanormaler for sommer og forår er baseret på perioden 1981-2010, mens vinter er nyeste normal for perioden 1991-2020.*



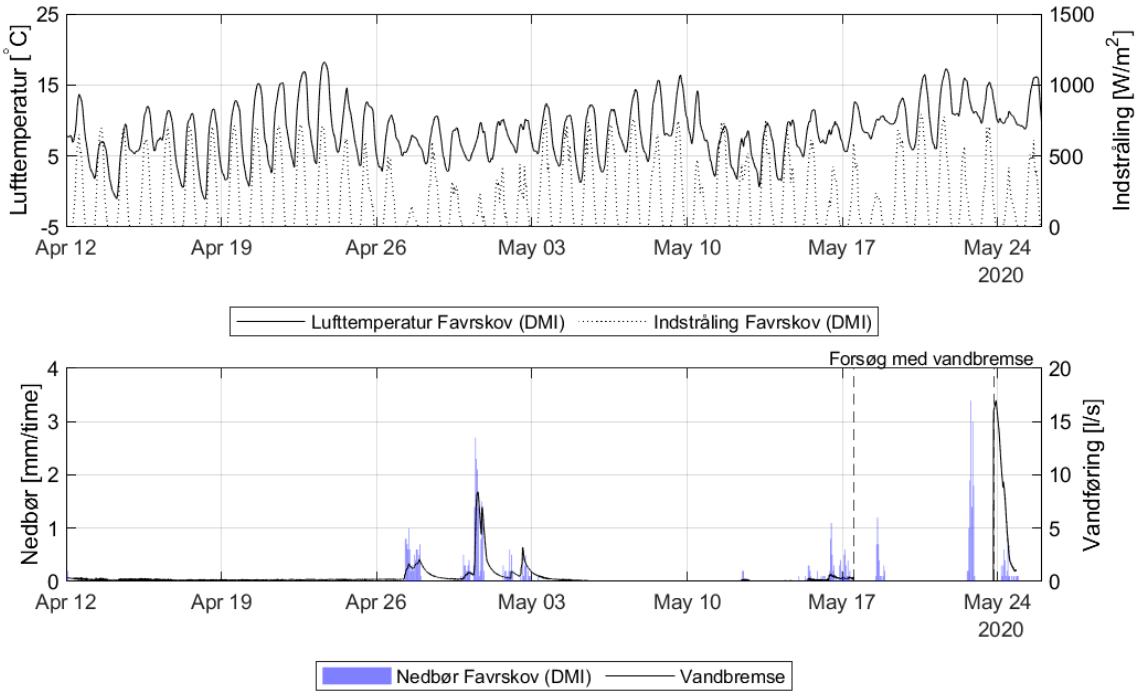
Figur F.1: Vejrlig i perioden 4. juli til 31. august 2019 i Favrskov Kommune inkl. vandføringsdata for vandbremsen i bassinet. Vejrdata fra DMI.



Figur F.2: Vejrlig i perioden 4. til 29. februar 2020 i Favrskov Kommune inkl. vandføringsdata for vandbremsen i bassinet. Vejrdata fra DMI.



Figur F.3: Vejrlig i perioden 1. marts til og med 11. april i Favrskov Kommune inkl. vandføringsdata for vandbremsen i bassinet. Vejrdata fra DMI. Den høje vandføring d. 6. april sker som følge af et forsøg med vandbremsen og afspejler ikke en reel hændelse.



Figur F.4: Vejrlig i perioden 12. april til 26. maj i Favrskov Kommune inkl. vandføringsdata for vandbremsen i bassinet. Vejrdata fra DMI. Den høje vandføring d. 23. maj sker som følge af et forsøg med vandbremsen og afspejler ikke en reel hændelse.

G Dataserier

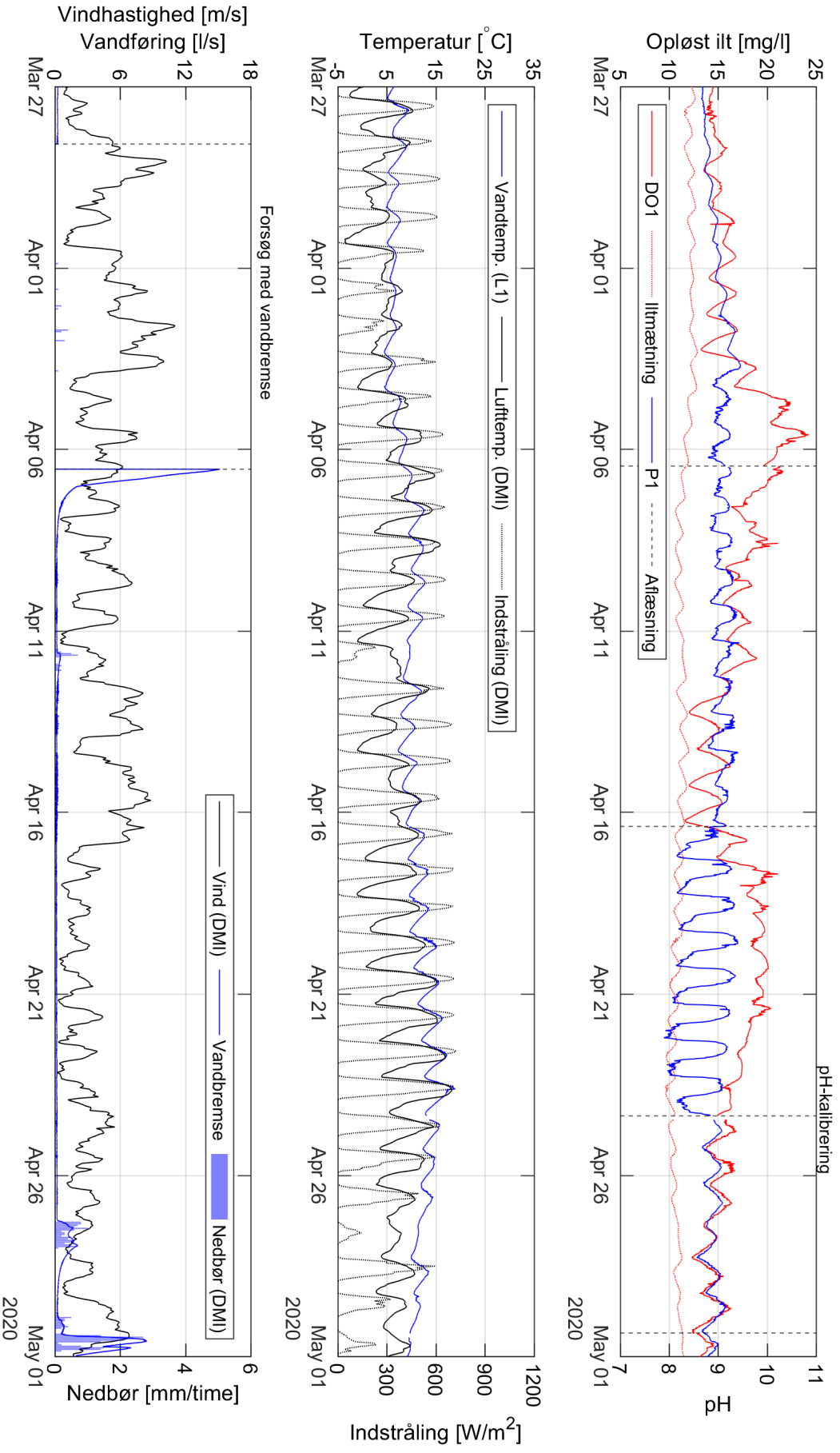
Dette bilag indeholder dataserier for regnvandsbassinet i Voldum samt for det modtagende vandløb, Revens Møllebæk, nedstrøms udledningspunktet. Dataserierne er af de på projektlokaliteten målte parametre: opløst ilt, pH og ledningsevne samt vandtemperatur. Yderligere er der til sammenligning vist vejrdata fra DMI fra Favrskov Kommune. Dataserierne er opdelt på regnvandsbassinet og vandløbet samt for april måned (inkl. et par dage i marts) og maj måned. Figurerne indeholdt i dette bilag er:

- **Figur G.1**: Regnvandsbassin: opløst ilt og pH – april 2020
- **Figur G.2**: Regnvandsbassin: opløst ilt og pH – maj 2020
- **Figur G.3**: Regnvandsbassin: ledningsevne – april 2020
- **Figur G.4**: Regnvandsbassin: ledningsevne – maj 2020
- **Figur G.5**: Revens Møllebæk: opløst ilt og pH – april 2020
- **Figur G.6**: Revens Møllebæk: opløst ilt og pH – maj 2020
- **Figur G.7**: Revens Møllebæk: ledningsevne – april 2020
- **Figur G.8**: Revens Møllebæk: ledningsevne – maj 2020

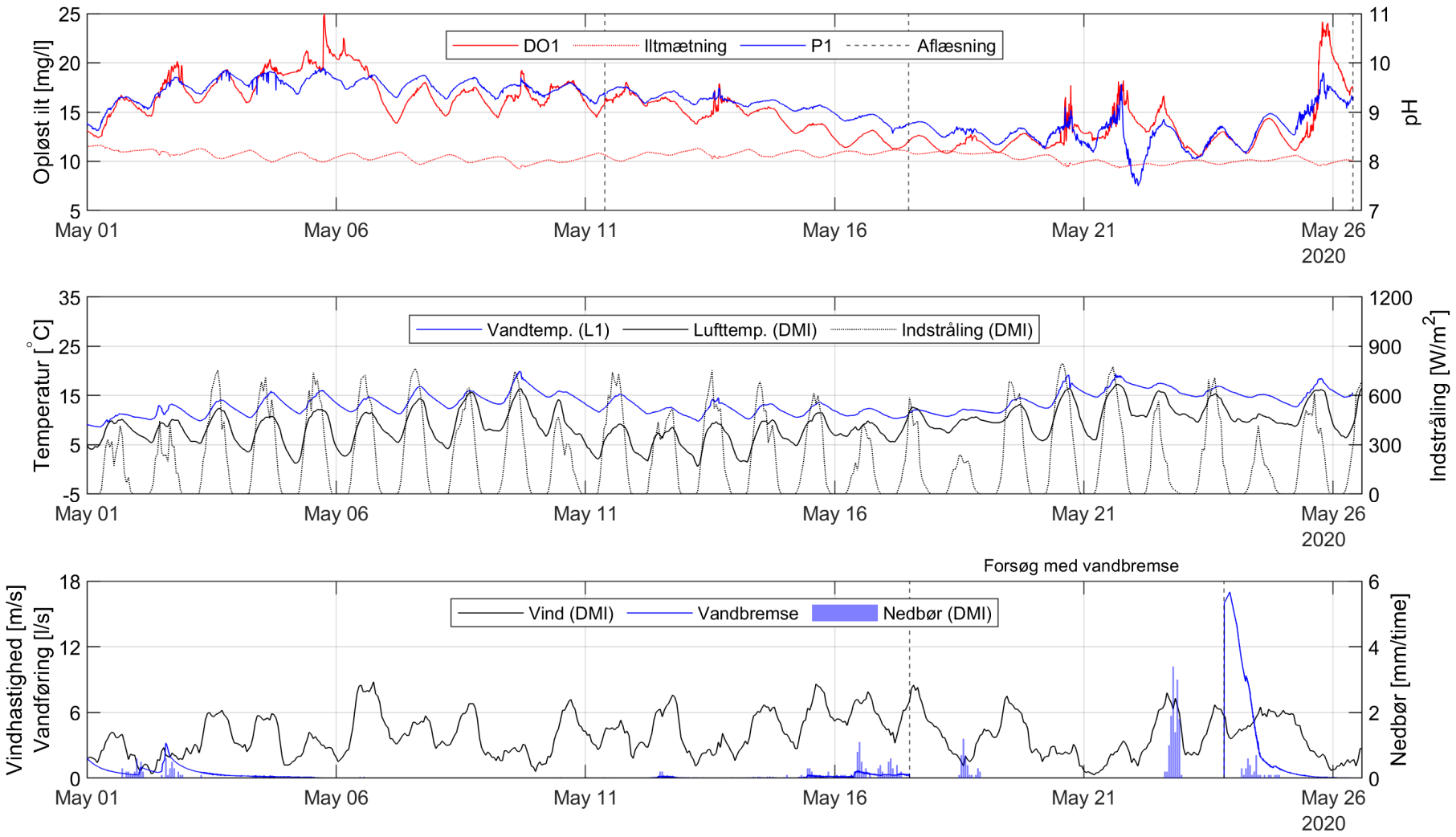
Bemærk at ledningsevneloggerne anvendt på projektlokaliteten måler i to intervaller: 0-1.000 µS/cm, *low range*, og 0-10.000 µS/cm, *full range*, som præsenteret i bilag B. Da ledningsevnen i både bassin og vandløb i flere tilfælde måles over 1.000 µS/cm, er serierne præsenteret i dette bilag *full range*. Af figurerne med ledningsevne fremgår dog to serier: den ene er den *ukorrigerede*, dvs. faktisk målte, mens den anden er den målte ledningsevne temperaturkorrigeret til 25°C efter EN 27888. I figurerne, der viser de målte værdier af opløst ilt, fremgår desuden serien *iltmætning* – dette er den beregnede mætning ved den givne vandtemperatur og elevation (27 m). Iltmætning er beregnet efter formel (G.1) [Bowie et al., 1985, tab. 3-1, eq. 3-6].

$$(14,62 - (0,3898 \cdot T) + (0,006969 \cdot T^2) - (5,897 \cdot 10^{-5} \cdot T^3)) \\ [1,0 - (6,97 \cdot 10^{-6} \cdot E)]^{5,167} \tag{G.1}$$

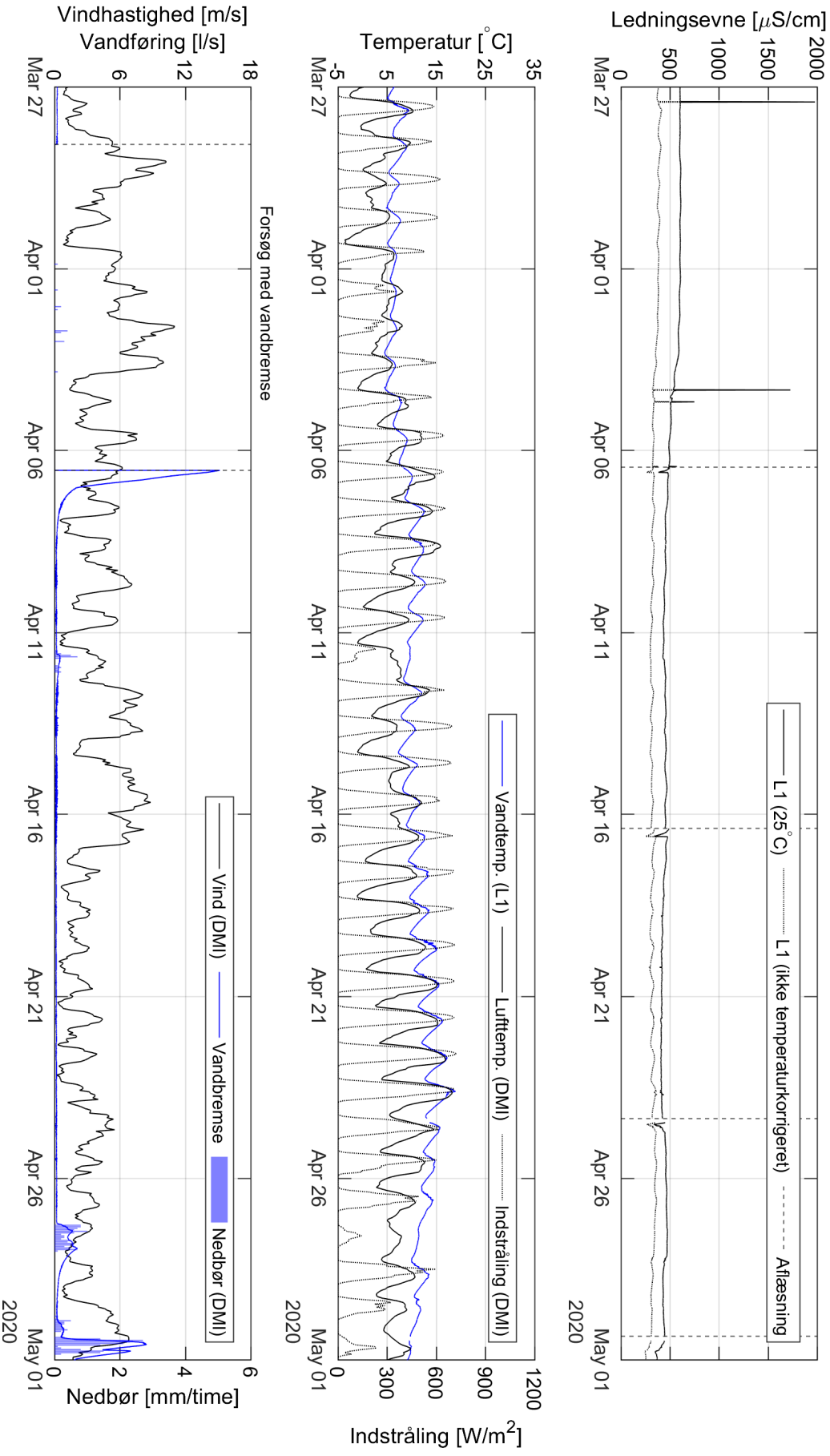
T	Temperatur	[°C]
E	Elevation (højdemeter)	[ft]



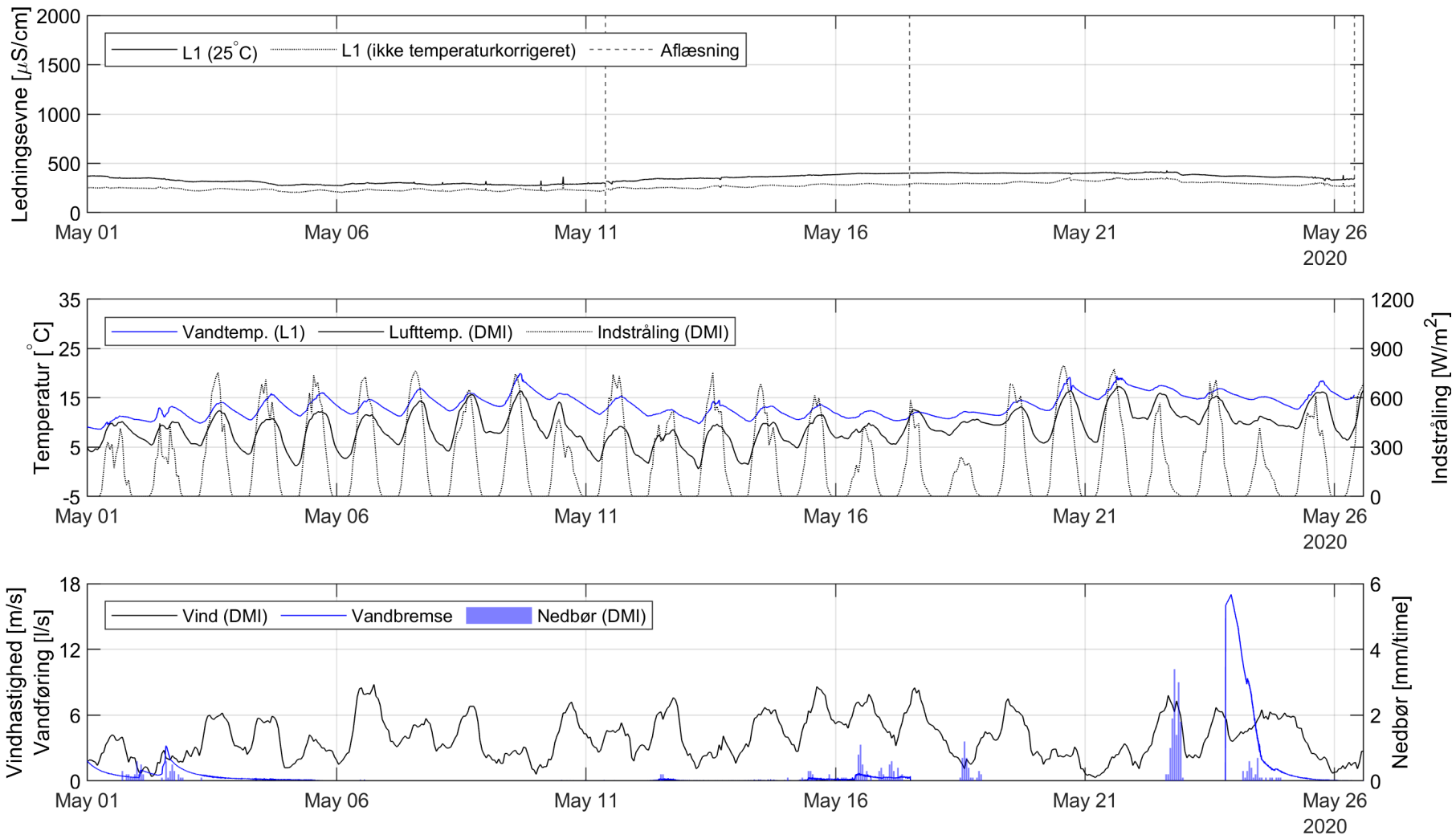
Figur G.1: Regnvandsbassin: opløst ilt (DO1) og pH (P1) inkl. vejrdata og vandføring ud af bassinet – april 2020.



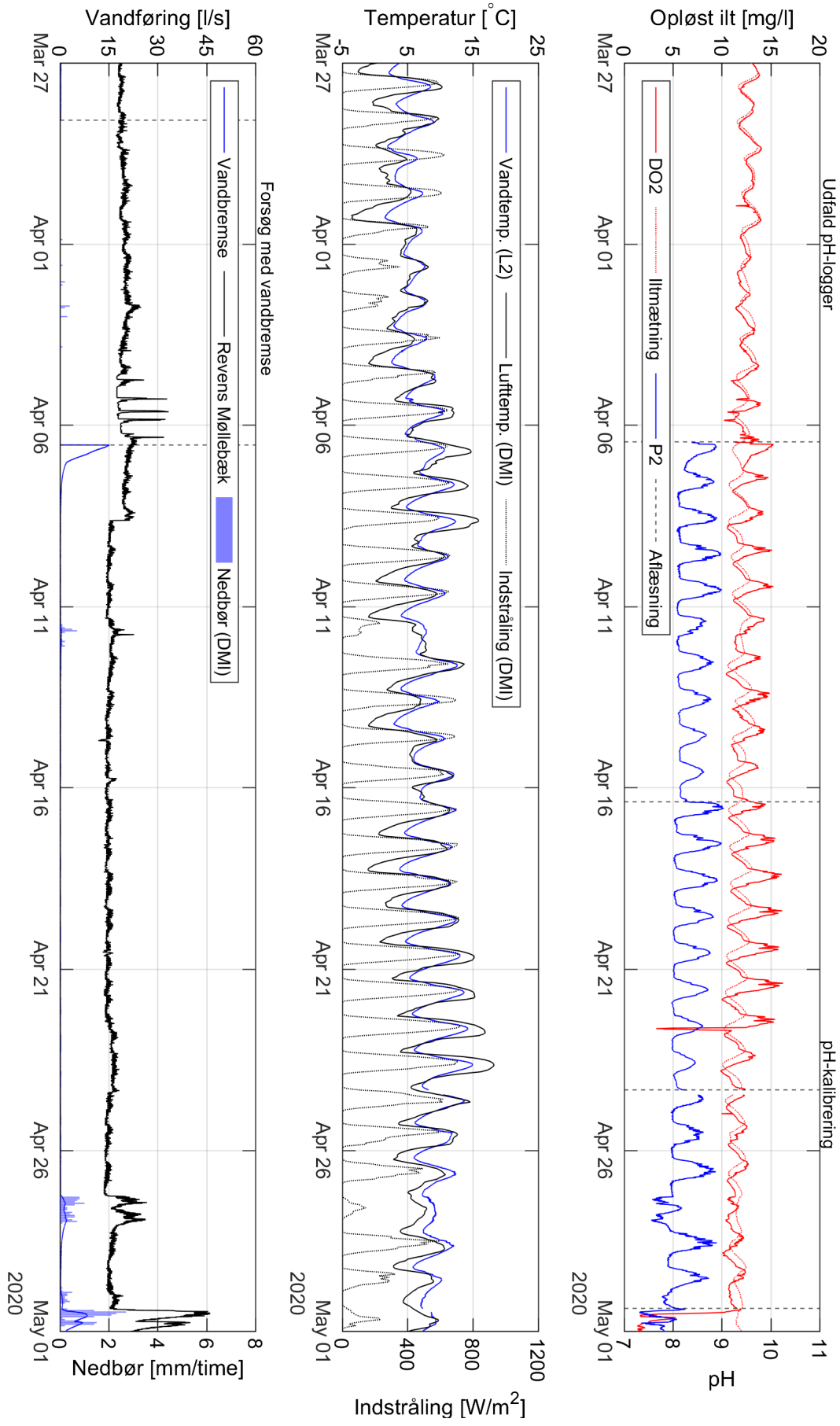
Figur G.2: Regnvandsbassin: opløst ilt (DO1) og pH (P1) inkl. vejrdata og vandføring ud af bassinet – maj 2020.



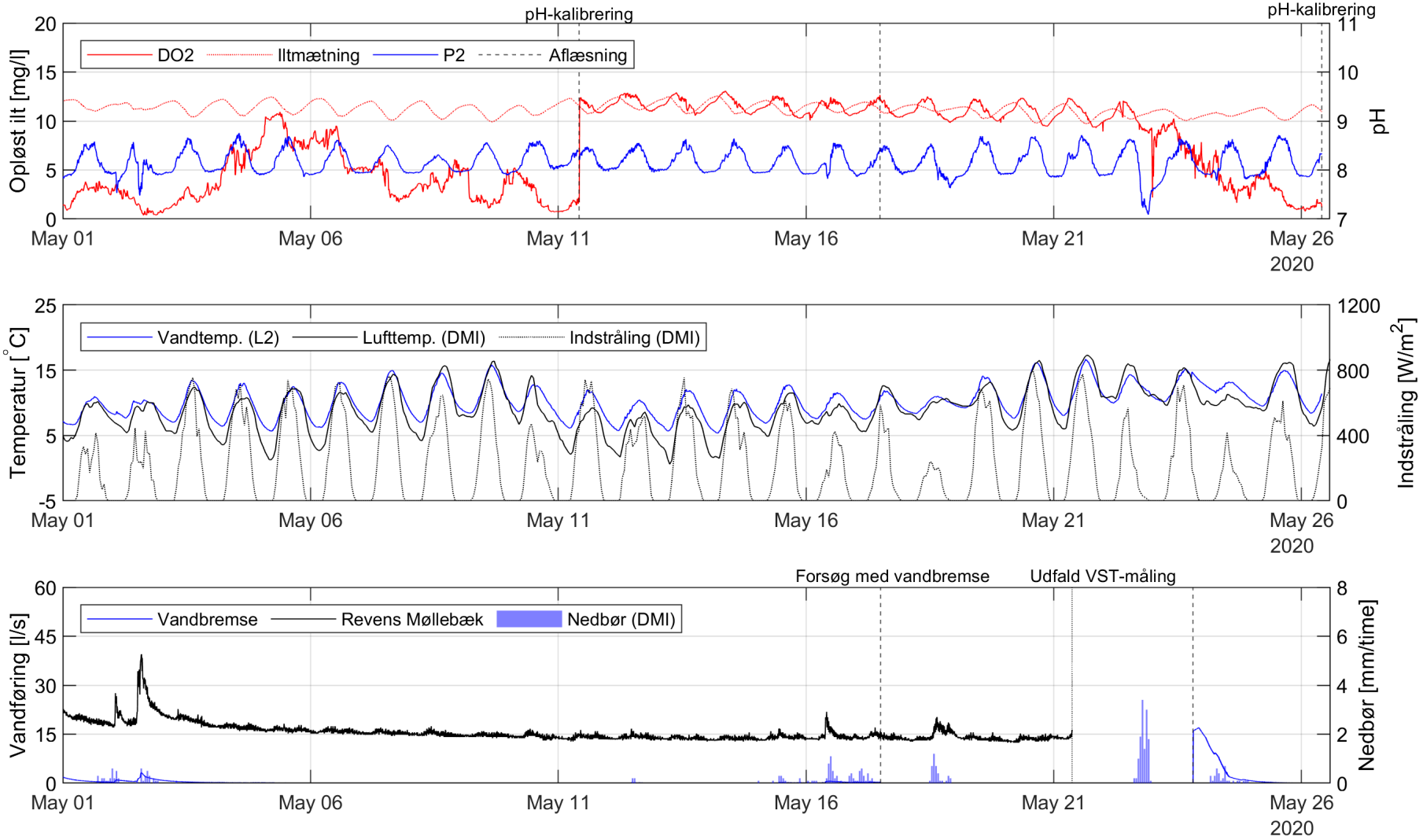
Figur G.3: Regnvandsbassin: ledningsevne (L1) korrigeret til 25°C og ukorrigeret inkl. vejrdata og vandføring – april 2020.



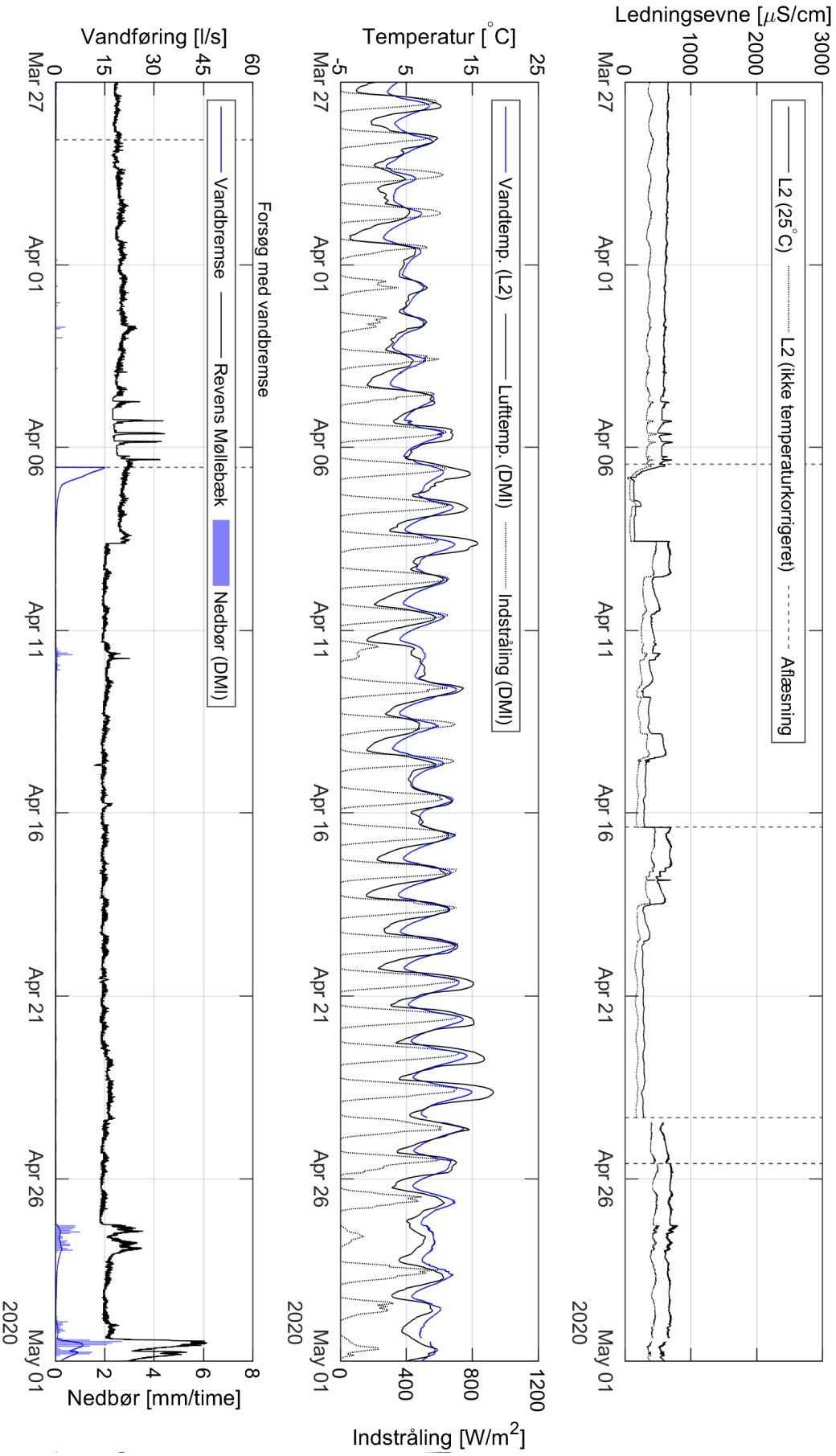
Figur G.4: Regnvandsbassin: ledningsevne (L1) korrigeret til 25°C og ukorrigeret inkl. vejrdata og vandføring – maj 2020.



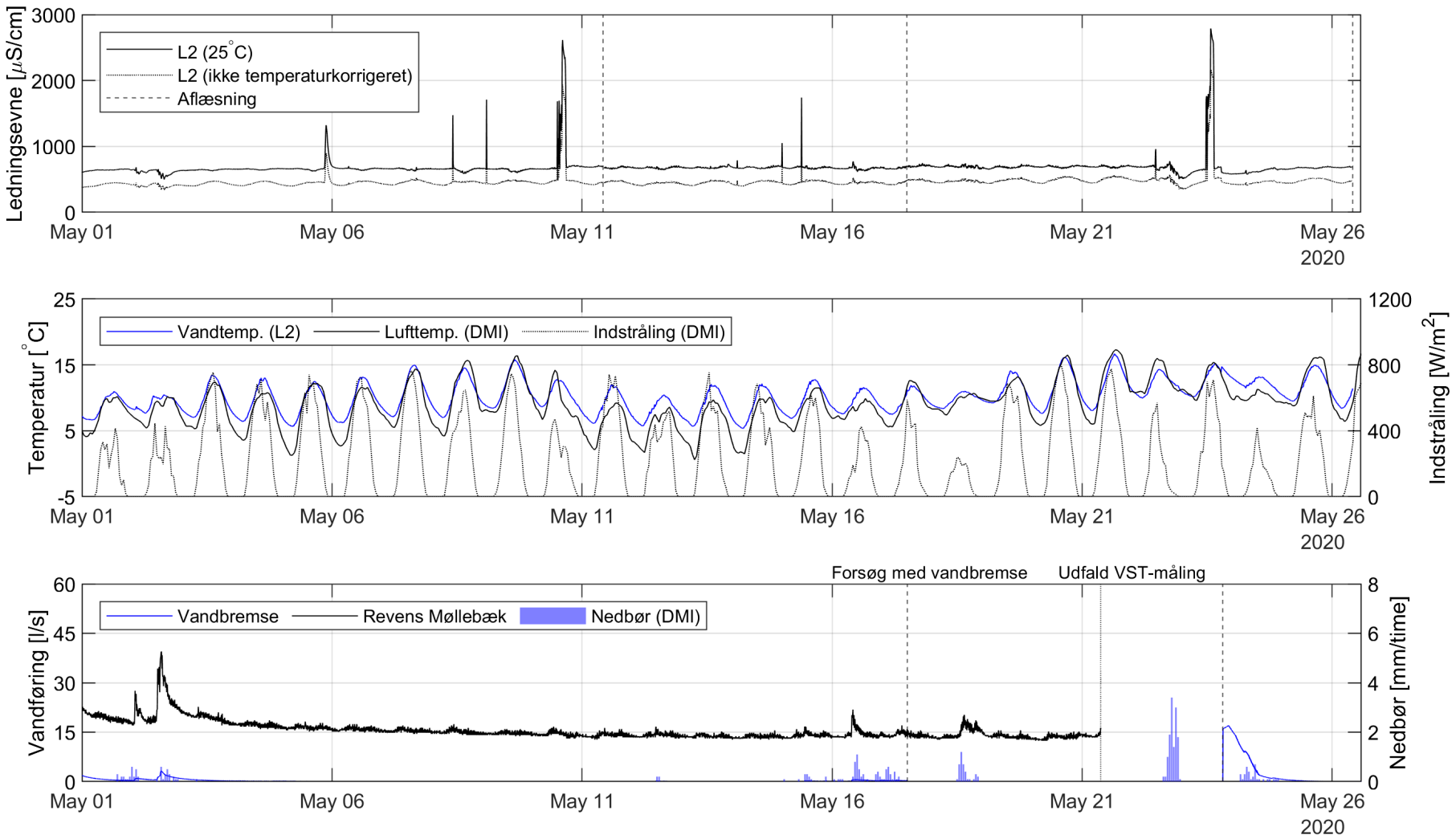
Figur G.5: Revens Møllebæk: opløst ilt (DO2) og pH (P2) inkl. vejrdata og vandføring – april 2020.



Figur G.6: Revens Møllebæk: opløst ilt (DO2) og pH (P2) inkl. vejrdata og vandføring – maj 2020.



Figur G.7: Revens Møllebæk: ledningsevne (L2) korrigeret til 25°C og ukorrigeret inkl. vejrdata og vandføring – april 2020.



Figur G.8: Revens Møllebæk: ledningsevne (L2) korrigeret til 25°C og ukorrigeret inkl. vejrdata og vandføring – maj 2020.

H Elektroniske bilag

Elektroniske bilag i relation til dette projekt udgør dataserier for de målte vandkvalitetsparametre: temperatur, ilt, pH og ledningsevne. Dertil indeholder de elektroniske bilag resultater fra vandføringsmålingerne, omtalt i kapitel 5 og bilag D, såvel som loggede vandstande ved målestationerne og beregnede vandføringer. I dataserierne er alle tider i GMT+01:00. De nævnte elektroniske bilag findes i følgende vedlagte mapper:

- 01 Temperatur målestationer
- 02 Temperatur TidbiT
- 03 Ilt, pH og ledningsevne
- 04 Vandføringsmålinger
- 05 Vandstand og vandføring