Undersøgelse af badevandskvaliteten ved Sønder Ege Strand

Lise Ditte Nielsen

Afgangsprojekt

7. semester Vand og Miljø

AALBORG UNIVERSITET

STUDENTERRAPPORT

Institut for Byggeri, By & Miljø
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Øst
https://www.byggeri.aau.dk/

Titel:

Undersøgelse af badevandskvaliteten ved Sønder Ege Strand

Periode:

November 2021 - Januar 2022

Forfatter:

Lise Ditte Nielsen

Vejleder:

Søren Liedtke Thorndahl

Antal sider: 71
Afsluttet: 10/01/2022

Synopsis:

I Danmark forefindes høj badevandskvalitet, dog er der risikofaktorer, der truer menneskers sundhed. Denne rapport tager afsæt i problemer, der kan påvirke badevandskvaliteten på badeområdet Sønder Ege Strand beliggende ved Knudsø i Skanderborg Kommune. Herunder er det især punktforureningskilder som overløb, der har stor indflydelse på badevandskvalitet, idet forekomsten af disse kan forårsage fækal forurening.

Projektet undersøger korrelationen imellem nedbør og overløb samt overløb og bakteriel forekomst i 2021 med data indhentet fra Skanderborg Forsyning, Skanderborg Kommune og prøver udtaget i forbindelse med projektet. I forhold til disse diskuteres nogle af de usikkerheder, der kan forekomme ved badevandsanalyser. Ydermere belyses og diskuteres nogle af de forhold, der har indflydelse på nedbør samt forekomst og spredning af bakterier i det naturlige miljø på projektområdet. På baggrund af foregående vurderes tilstrækkeligheden af datagrundlaget, der baseres på Skanderborg Kommunes kontrolovervågning, i forhold til at fastsætte badevandskvaliteten.

Endelig præsenteres forskellige løsninger til blandt andet at forudsige bakteriekoncentrationen samt nedbringe forureningers udbredelse fra overløbsbygværket ved badeområdet.

Forord

Afgangsprojektet er udarbejdet af Lise Ditte Nielsen i perioden november 2021 til januar 2022, og udgør det afsluttende forløb på uddannelsen som diplomingeniør indenfor Vand og Miljø på institut for Byggeri, By og Miljø ved Aalborg Universitet.

Rapporten tager udgangspunkt i projektlokaliteten Sønder Ege Strand ved Knudsø i Skanderborg Kommune. Den har til formål at undersøge sammenhænge mellem nedbør, overløb og bakteriekoncentrationer, samt vurdere om den kontrollerende myndigheds datagrundlag er tilstrækkeligt for at kunne bestemme badevandskvaliteten.

Der skal rettes en stor tak til vejleder på projektet Søren Liedtke Thorndahl for rigtig god og hensigtsmæssig sparring samt konstruktiv feedback. Ydermere skal der rettes en tak til Sara Elsborg Starcke og Thomas Marius Nielsen ved NIRAS A/S, der har hjulpet med prøvetagning af badevandskvaliteten ved Knudsø og information omkring projektet Sikkert Søbad ||.

Læsevejledning

Referencer angives i afgangsprojektet efter Harvard-metoden. Der refereres i rapporten til tabeller og figurer efter nummerering. Kortillustrationerne er udarbejdet i software-programmet QGIS med baggrundskort fra Kortforsyningen. Der er elektronisk bilag, der henfører til rapporten.

Forsidebilledet er fra Skanderborg Forsynings hjemmeside [Skanderborg Forsyning, 2021a].

Indhold

1 Indledning **1**

1.1 Badevand i DK . . . 1

1.1.1 Blå Flag mærkning . . . 4

1.2 Badevandskvalitet . . . 6

1.2.1 Badevandsprofil . . . 6

1.3 Sikkerhedsfaktorer . . . 7

1.3.1 Indikatorbakterier . . . 7

1.3.2 Blågrønalger . . . 8

1.4 Knudsø . . . 8

1.5 Sikkert Søbad || . . . 10

1.5.1 Verdensmål . . . 12

1.6 Problemanalyse . . . 13

1.7 Problemformulering . . . 14

1.7.1 Afgrænsning . . . 14

2 Indsamling af data **15**

2.1 Vandprøver i Knudsø . . . 15

2.1.1 Analyse af vandprøver . . . 16

2.2 Skanderborg Kommunes målinger . . . 20

2.3 Data fra Skanderborg Forsyning . . . 21

2.3.1 Flow og nedbør . . . 21

2.3.2 Bakteriologiske målinger . . . 23

3 Databehandling **25**

3.1 Overløbshændelser . . . 25

3.1.1 Årsvariation . . . 25

3.1.2 Årstidsvariation . . . 27

3.2 Vandprøver den 10. november 2021 . . . 31

3.3 Behandling af data fra Skanderborg Forsyning . . . 33

3.3.1 Prøvetagning den 5. maj 2021 . . . 34

3.3.2 Prøvetagning den 25. maj 2021 . . . 36

3.3.3 Prøvetagning den 20. juni 2021 . . . 37

3.3.4 Prøvetagning den 5. Juli 2021 . . . 38

3.4 Behandling af data fra Skanderborg Kommune . . . 44

3.5 Opsummering af databehandling . . . 48

4 Diskussion **52**

4.1 Usikkerhed ved bakteriologiske målinger 52
4.2 Data fra Skanderborg Kommune 52
4.3 Data fra Skanderborg Forsyning 53
4.4 Forhold der har indflydelse på forekomsten af bakterier i naturligt miljø . . 54
4.5 Forhold der har indflydelse på spredning af bakterier 55
4.6 Forhold der har indflydelse på nedbør 56
4.7 Betydning af afgrænsende projektområde og tidsinterval 57

5 Løsninger **58**
5.1 Løsninger til at undgå forurening 58
5.1.1 Separatkloakering 58
5.1.2 Ny udløbsledning længere ude i søen 59
5.1.3 Desinfektion 59
5.2 Løsninger til at forudsige koncentrationen 60
5.2.1 Sikkert Søbad || 60

6 Konklusion **61**

Litteratur **63**

1 Indledning

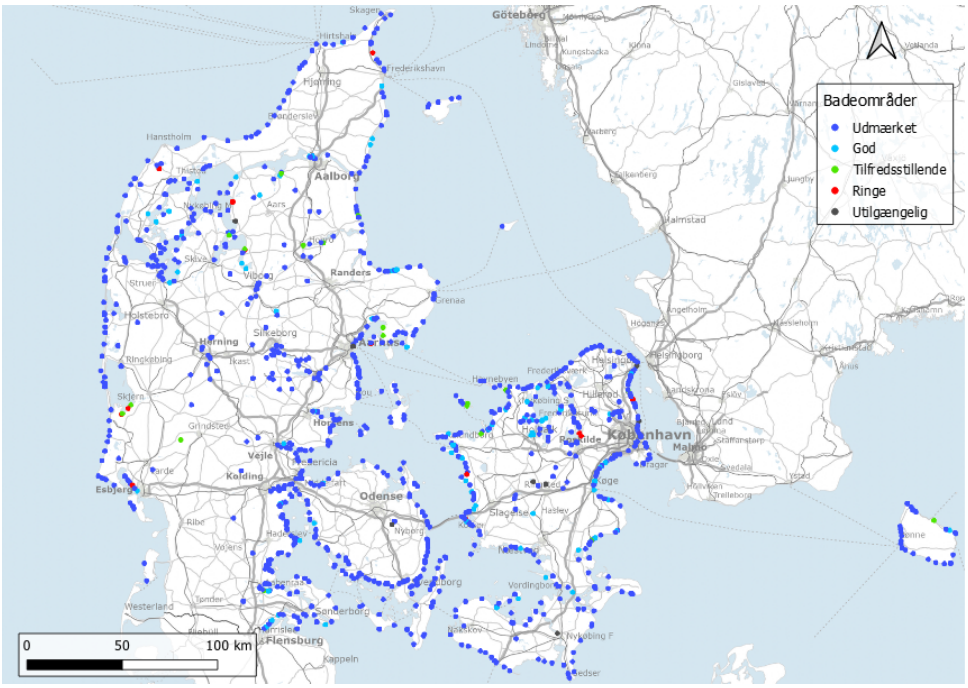
Indledningsvist vil badevandet i Danmark redegøres, herunder badeområderne og deres kvalitetsklassifikation også sammenlignet med andre Europæiske lande. Derudover vil det redegøres, hvordan kvalitetsklassifikationen fastsættes og ud fra hvilke kriterier. Ydermere præsenteres lokaliteten Knudsø og det projekt, Sikkert Søbad ||, der uafhængigt af denne rapport udføres ved denne lokalitet.

1.1 Badevand i DK

I 2006 udarbejdede Europaparlamentet og Rådet for den Europæiske Union et direktiv om forvaltning af badevandskvalitet på baggrund af specifikke betragtninger, som bæredygtig udvikling på områderne naturressourcer og folkesundhed. Hensigten med direktivet var at fremme kvaliteten af miljøet og dermed hindre yderligere forringelse, samt at beskytte befolkningens sundhed. Direktivet anvendes på arealer, hvor der forekommer overfladevand, og hvor tilsynsmyndigheden har en formodning om et omfattende antal badende gæster, samt hvor der ikke permanent frarådes eller forbydes badning. Derfor er det også befolkningens adfærd der har indflydelse på, hvor der etableres badeområder, der skal kontrolleres af tilsynsmyndighederne. [Europa-Parlamentet og Rådet for den Europæiske union, 2006]

Danmark skal efterleve dette direktiv, hvorfor der er udstedt et forskrift, badevandsbekendtgørelsen, der gennemfører dette. Her defineres badevand som "Ferskvand og havvand, som kommunalbestyrelsen forventer i almindelighed anvendes til badning, og som ikke er omfattet af et af kommunalbestyrelsen udstedt permanent badeforbud eller badning frarådes"[Miljøministeriet, 2012]. Badeområder kan klassificeres som arealer der, ifølge kommuneplanen, er bestemt til badeformål samt andre arealer, hvor der ligeledes forefindes badevand. [Miljøministeriet, 2012]

Repræsentationen af badeområder i år 2019 er illustreret på figur 1.1, hvor de er inddelt efter badeområdernes kvalitetsklassifikation. I Danmark var der i år 2020 1026 badeområder i Danmark og ud af disse er 906 af disse placeret ved kysterne og 120 badeområder har placering ved ferskvandsmiljøer. [European Environment Agency, 2021a]



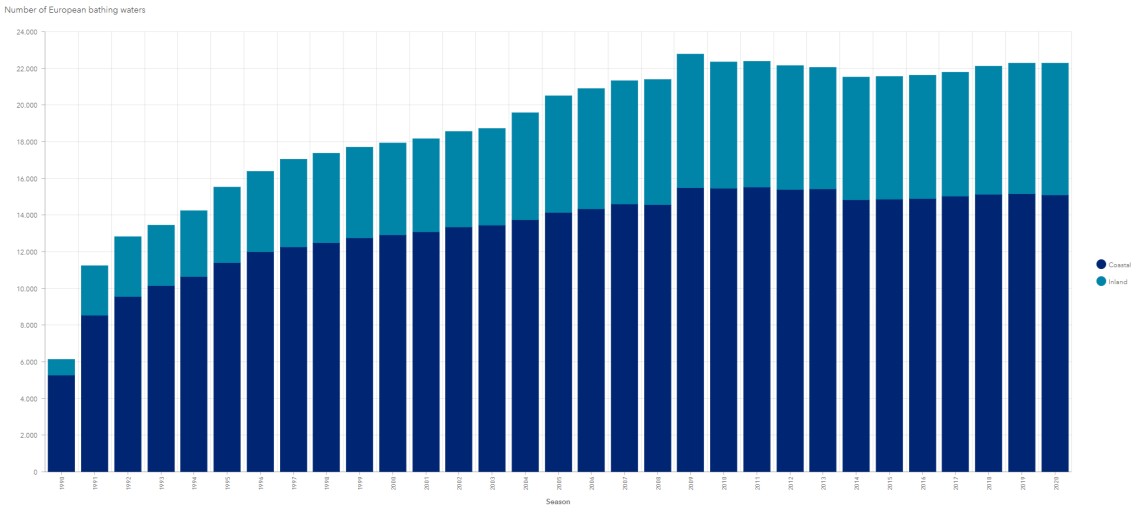
Figur 1.1.Badeområder i Danmark inddelt efter kvalitetstilstand. [Miljøstyrelsen, 2021b]

Af de 1026 badeområder er 90,7 % af disse klassificeret som badeområder med *udmærket kvalitet*. 98,3 % af badeområderne er inden for den tilladelige grænse af badevandskvalitet, *tilfredsstillende kvalitet*. 0,6 % af badeområderne er af *ringe kvalitet*, hvorfor der udstedes påbud mod badning. 1,1 % af badeområderne har utilstrækkeligt datagrundlag for at kunne fastsætte badevandskvaliteten. Fordelingen af badeområderne efter deres kvalitetstilstand i sæson 2020 kan ses af tabel 1.1. [European Environment Agency, 2021a]

Badevandskvalitet	**Antal** [-]	**Procent** [%]
Udmærket	931	90,7
God	64	6,2
Tilfredsstillende	14	1,4
Ringe	6	0,6
Utilgængelig	11	1,1

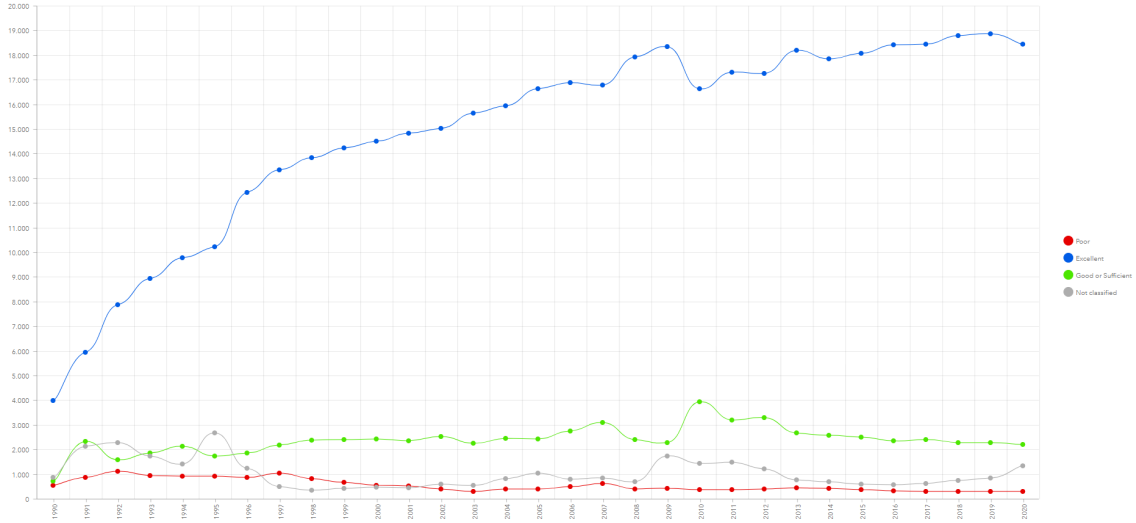
Tabel 1.1.Badevandskvaliteten i sæson 2020 [European Environment Agency, 2021a].

Igennem flere år har antallet af badeområder i Europa været støt stigende, hvilket kan ses af figur 1.2. Antallet af badeområder i år 2020 blev registreret til 22 276. Danmark har en andel af badeområder ud af dette på 4,61 %, hvilket er relativt højt i forhold til landets størrelse sammenlignet med eksempelvis Storbritannien der har 640 badeområder, hvorfor deres andel kun udgør 2,87 % af det samlede antal badeområder i Europa. [European Environment Agency, 2021b]



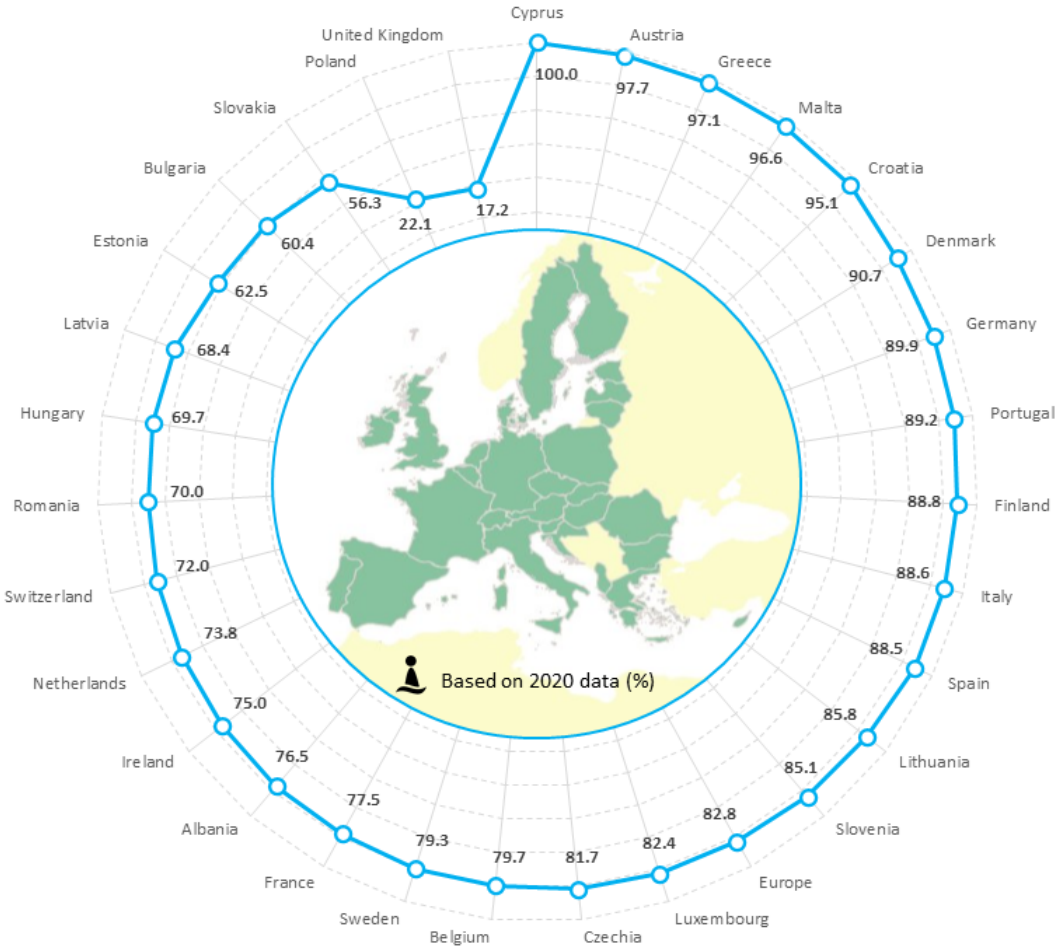
Figur 1.2.Udviklingen i antal badeområder i Europa fra 1990 til 2020. [European Environment Agency, 2021b]

Ligesom antallet af badeområder har badevandskvaliteten også undergået en positiv udvikling, hvilket kan ses af figur 1.3. Her fremgår det tydeligt af den blå kurve, at antallet af badeområder med *udmærket kvalitet* er steget støt siden 1990, og at denne andel er størst i Europa. Det fremgår også af den røde kurve, at antallet af badeområder med *ringe kvalitet* er faldet. [European Environment Agency, 2021b]



Figur 1.3.Udvikling i badevandskvaliteten på badeområderne i Europa fra 1990 til 2020. [European Environment Agency, 2021b]

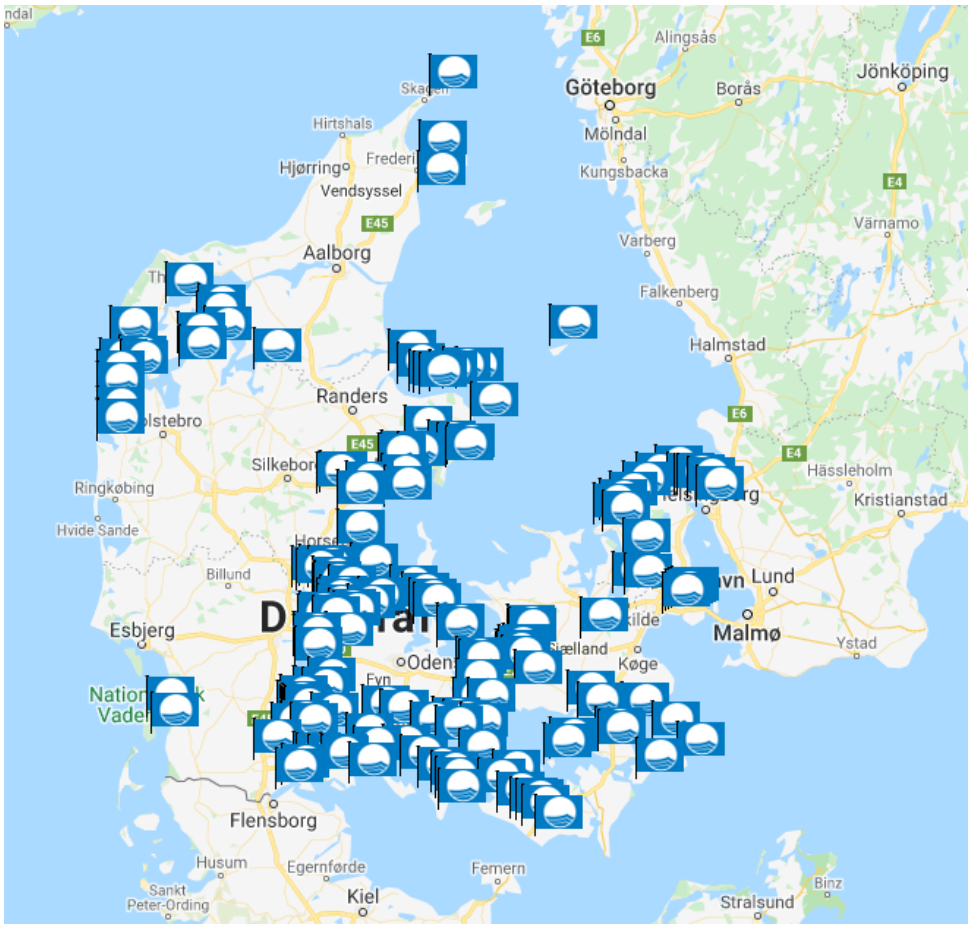
Danmark sammenlignet med andre lande i Europa har en meget høj badevandskvalitet, hvilket kan ses af figur 1.4. Her fremgår det, at det er lande som Cypern, Østrig og Grækenland der har den bedste badevandskvalitet. Hvorimod lande som Storbritannien og Polen har den dårligste badevandskvalitet i Europa. Danmark har den 6. bedste badevandskvalitet i Europa. [European Environment Agency, 2021b]



Figur 1.4.Udmærket badevandskvalitet i lande i Europa holdt op imod hinanden. [European Environment Agency, 2021b]

1.1.1 Blå Flag mærkning

Badeområderne i Danmark kan søge om og opnå miljømærkeordningen *Blå Flag*. Dette er en international ordning, der er med til at beskytte miljø og natur. I Danmark er der 167 Blå Flag-strande. Fordelingen af disse kan ses på figur 1.5. [Friluftsrådet, 2021]



Figur 1.5.Blå Flag strande i Danmark. [Friluftsrådet, 2021]

På en Blå Flag-strand skal der ifølge Friluftsrådet [2021] være

- Ren og høj badevandskvalitet
- Livreddende udstyr og enkelte områder også livreddere
- Nødtelefon eller mobildækning i nødstilfælde
- Formidlingsaktiviteter om natur og miljø
- Information om omkringliggende miljø og natur
- Toiletforhold
- Affaldsfaciliteter samt sorteringsmuligheder
- Informationstavle

I løbet af badesæsonen vil der både være aftalte og uanmeldte kontrolbesøg af konsulenter i organisationen. Derudover udtages i løbet af badesæsonen minimum 10 prøver af badevandskvaliteten og kontrolleres på indikatorbakterier, og dette er gældende i Danmark. Organisationen kræver for strande der har opnået Blå Flag-mærkning, at der minimum udtages 5 prøver i løbet af sæsonen [Foundation for Environmental Education, 2018]. Den aktuelle badevandskvalitet oplyses på informationstavlerne opsat på stranden. [Friluftsrådet, 2021]

1.2 Badevandskvalitet

Som før nævnt efterlever Danmark det europæiske direktiv ud fra badevandsbekendtgørelsen. Dette gøres på de omtalte badeområder, hvor der føres tilsyn på badevandet igennem undersøgelser der er med til at bestemme badevandskvaliteten og sikre, at der ikke er forureningsmæssig påvirkning. Informationen om bakteriekoncentrationer i badevand er nødvendig for at fastlægge de mulige risici ved forurening. Derfor er der opstillet nogle kvalitetskrav der kan ses af tabel 1.2, og gældende i både EU og Danmark. Her fremgår kvalitetskravene for henholdsvis ferskvand og kyst- samt overgangsvande. [Miljøministeriet, 2012]

Kvalitetskrav for ferskvand			
Parameter	**Udmærket kvalitet**	**God kvalitet**	**Tilfredsstillende kvalitet**
Intestinale enterokokker [cfu/100 mL]	200*	400*	330**
Escherichia Coli [cfu/100 mL]	500*	1000*	900**
Kvalitetskrav for kystvande og overgangsvande			
Parameter	**Udmærket kvalitet**	**God kvalitet**	**Tilfredsstillende kvalitet**
Intestinale enterokokker [cfu/100 mL]	100*	200*	185**
Escherichia Coli [cfu/100 mL]	250*	500*	500**

Tabel 1.2.Kvalitetskrav for ferskvand, kystvande og overgangsvande. [Miljøministeriet, 2012]
* Ud fra en vurdering af 95- percentilen
** Ud fra en vurdering af 90- percentilen

Badevandskvaliteten kontrolleres på baggrund af mængden af indikatorbakterier i prøverne, herunder *E. coli* og enterokokker. De måles på enheden cfu/100mL, hvor cfu er en forkortelse af Colony Forming Units, og der måles derfor på hvor mange koloniformende enheder der må være per 100 mL.

Badevand i Danmark bliver under hele badesæsonen kontrolleret, for at sikre at der ikke er forureningsforekomst. Perioden 1. juni til 1. september definerer badesæsonen, men kan udvides til 15. september ved forvarsling inden badesæsonens start. [Miljøministeriet, 2012]

Kvaliteten af badevandet bedømmes på baggrund af data fra seneste 4-års sammenhængende periode med minimum 16 prøver. Indholdet af indikatorbakterierne, *E. coli* og enterokokker, bedømmes statistisk ud fra henholdsvis 90- og 95 percentiler som beskrevet i tabel 1.2. På baggrund af denne vurdering kan søen klassificeres inden for fire kategorier som er henholdsvis udmærket, god, tilfredsstillende og ringe kvalitet. Så for at opnå betegnelsen *udmærket kvalitet* skal 95 % af indholdet af *E. coli* og Enterokokker i 16 prøver være under 500 cfu/100mL og 200 cfu/100mL. [Miljøministeriet, 2012]

1.2.1 Badevandsprofil

Alle badesteder har en badevandsprofil, der beskriver badeområdernes omgivelser, faktorer der udgør en sundhedsrisiko og forvaltningsforanstaltninger. Denne er med

til at understøtte den ansvarlige myndigheds administration af badestedet herunder ved blandt andet at opnå kendskab til forureningskilder og håndteringen af disse. Badevandsprofilen er tilgængelig for offentligheden og vil, hvis der sker en forringelse af badevandskvaliteten, opdateres jævnligt. Badevandsprofiler kan omfatte enkelte badesteder eller sammenhængende badevande. [Miljøstyrelsen, 2021a]

I badevandsbekendtgørelsens bilag 3 forelægger en redegørelse for opbygningen af en badevandsprofil. Den skal beskrive fysiske, geografiske og hydrologiske egenskaber for badestedet, mulige forureningskilder, vurdering af risiko for algeopblomstring, foranstaltninger ved forureninger og beliggenheden af kontrolovervågningsstedet. [Miljøministeriet, 2012]

1.3 Sikkerhedsfaktorer

Ifølge badevandsbekendtgørelsen er der forurening i vandet når der ikke kan opnås en tilfredsstillende kvalitet, eller at der eksempelvis er algeforekomst, mikrobiologisk kontamination, kemisk stoffer eller affald, der påvirker kvaliteten af badevandet. Nogle af disse sikkerhedsfaktorer har relevans for dette projekt, hvorfor der i det følgende vil forekomme en mindre redegørelse for disse.

1.3.1 Indikatorbakterier

Badevandsbekendtgørelsen arbejder med to hygiejneparametre, der har indflydelse på vurderingen af badevandskvaliteten. Det er indikatorbakterierne *Escherichia coli*(*E. coli*) og intestinale enterokokker. Indikatororganismer anvendes for at undersøge tilstedeværelsen af sygdomsfremkaldende bakterier. E. coli og intestinale enterokokker findes normaltvis i tarmen på varmblodede mennesker og dyr, og de er sjælendt sygdomsfremkaldende i sig selv, men indikerer forurening af fækal karakter fra blandt andet urenset spildevand ved overløb, hvor der kan være tilstedeværelse af eksempelvis salmonella eller campylobacter, som er sygdomsfremkaldende bakterier. [Erichsen et al., 2006]

Badeområderne udsættes for indikatorbakterierne fra forskellige forureningskilder, herunder punkt- eller diffuse kilder. Hvor punktkilder kan opspores og lokaliseres, er dette imidlertid ikke tilfældet ved diffuse forureningskilder. Forurening via punktkilder skyldes ofte overløb ved større regnhændelser fra fælleskloakerede områder, eller at der udledes fra spredt bebyggelse, der ikke er en del af kloakoplandet. Diffuse kilder kan omfatte regnhændelser der utilsigtet udvasker næringsstoffer til badevand. [Erichsen et al., 2006]

Som før nævnt opholder indikatorbakterierne sig vanligt i tarmen på mennesker og dyr, og er derfor tilpasset livet her, hvorfor overlevelse i miljøer udenfor disse er af stor interesse. Det er almindeligt kendt, at indikatorbakterierne ikke overlever længe i hverken ferskvands- eller havmiljøer. De vigtigste årsager til bakteriernes henfald er vurderet til at være temperatur, prædation, salinitet og i særdeleshed sollys. Sidstnævnte har blandt andet påvist, at bakterierne lever længere i sediment fremfor vand. Ydermere har iltforhold indflydelse på overlevelsen af bakterierne. [Erichsen et al., 2006]

1.3.2 Blågrønalger

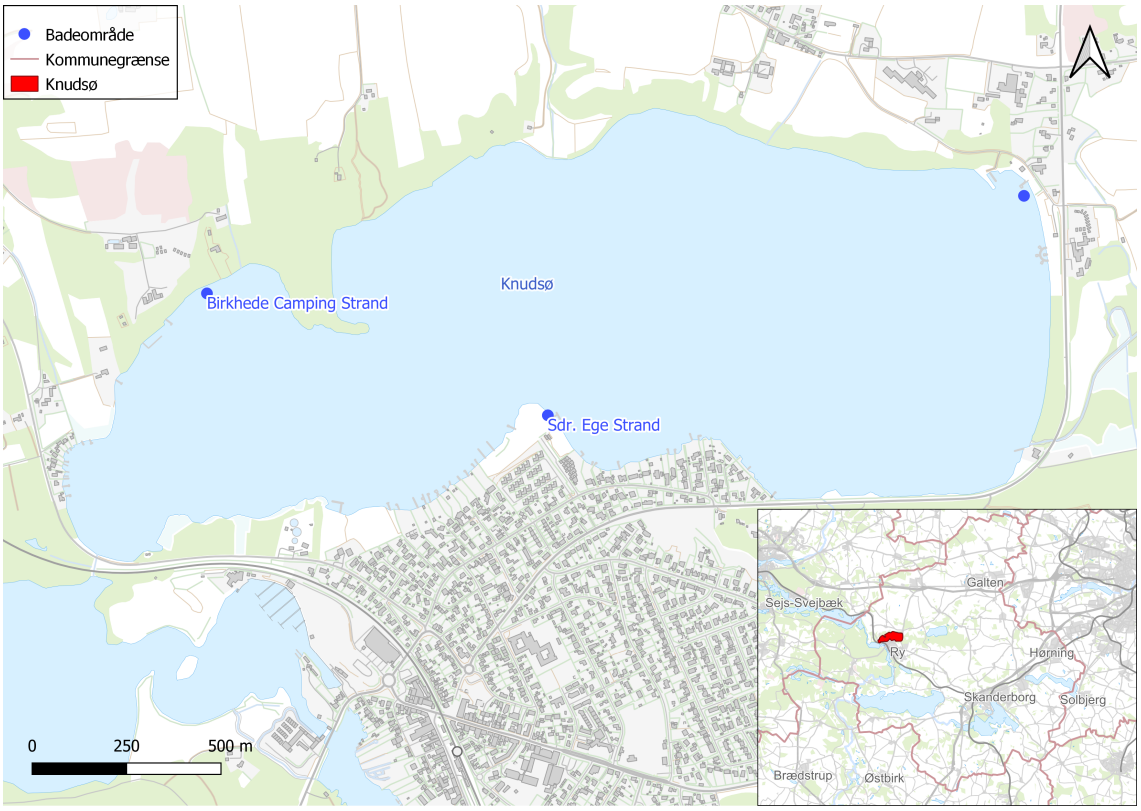
Blågrønalger, også kaldet cyanobakterier, bliver et stadig større problem, hvorfor det også anses som en væsentlig sikkerhedsfaktor for badende gæster. De kan være meget skadelige, hvis de indtages og kan også forårsage hudirritationer. Når der sker stor opblomstring vil de lægge sig som en film på vandet, og vandets klarhed mindskes. Opblomstringen kan også optræde som skum. Selvom navnet indikerer algernes farve, kan de også forekomme som grønne, gullige og røde alger. Figur 1.6 viser et eksempel på forekomsten af cyanobakterier. [Miljøstyrelsen, 2021a]

Figur 1.6.Forekomst af cyanobakterier. [European Environment Agency, 2020]

De bedste betingelser for akkumulering af cyanobakterier er ved høje temperaturer og meget sollys, samt stille vejrforhold. Derudover forekommer de oftest i ferskvandssøer eller brakvandssøer, idet der her oftest er mest næring i vandet. Opblomstringen kan opstå meget pludseligt når de bedste levebetingelser gør sig gældende. Dette er oftest tilfældet i sommermånederne juli og august, som også er badesæsonen. [European Environment Agency, 2020]

1.4 Knudsø

Dette projekt tager udgangspunkt i Knudsø ved Ry i Skanderborg Kommune. Placeringen samt søens badeområder kan ses af figur 1.7. Der er tre badeområder ved Knudsø, Birkhede Camping Strand, Knudhule Strand og Sønder Ege Strand(Sdr. Ege Strand). For både Knudehule strand og Sdr. Ege strand gælder det, at de er Blå Flag strande.



Figur 1.7.Badeområder ved Knudsø og dennes placering i Skanderborg Kommune. [Miljøstyrelsen, 2021b]

Knudsø er en del af Gudenå systemet og er placeret i Randers Fjords hovedvandsopland. Søen er en naturtype, som er beskyttet af naturbeskyttelseslovens §3. Den er ca 2 km^2 stor, og har en middeldybde på 13,4 m. Søens maksimale dybde er målt til 29 m, og er dermed en af Danmarks dybeste søer.

For alle tre badeområder er der udarbejdet en badevandsprofil, men de har mange fælles elementer som vil præsenteres i det følgende.

De forureningskilder der er af betydning for badeområderne er præsenteret i Skanderborg Kommune og ALETICA A/S [2012] og oplistet herunder

Punktkilder

- Overløbshændelser fra fælleskloakerede områder
- Udledning fra spredt bebyggelse
- Udløb fra renseanlæg grundet driftssvigt
- Utilsigtede nødoverløb
- Gylleudslip
- Tømning af toilettanke fra både

Diffuse kilder

- Udvaskning af næringsstoffer fra oplandet
- Udvaskning af pesticider fra oplandet

Andre kilder

- Algeopblomstring
- Blågrønalger

Ud fra disse forureningskilder er det vurderet, at overløb ved større nedbørshændelser, udledning fra spredt bebyggelse samt algeopblomstring er de væsentligste kilder til forurening. I Knudsø er der fire aktive udløb. De er angivet og illustreret på figur 1.8. [Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, 2016a]

Figur 1.8.Aktive udløb fra overløbsbygværker og deres placering i forhold til badeområderne. [Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, 2016a]

Det fremgår af figuren at placeringen af tre udløb, U6, U7 og U9, ligger tæt på badeområderne Sdr. Ege strand og Knudhule strand. Det vil derfor være interessant at undersøge betydningen af dette i rapporten.

I den seneste vurderingsperiode er alle badeområdernes badevandskvalitet vurderet til at være *udmærket kvalitet*. Det er derfor vurderet, at badeområderne ikke udsættes for fækal forurening af betydning. Dette har været uændret siden badevandsprofilerne blev udarbejdet. [Skanderborg Kommune, 2021b]

1.5 Sikkert Søbad ||

I perioden 2016 til 2018 kørte et projekt ved Skanderborg Sø, Sikkert Søbad. Her blev der på baggrund af afløbsmodellering, strømningsmodel og meteorologiske data udviklet et varslingssystem, der kunne bidrage til realtidsovervågning og beskyttelse af de badende

gæster mod patogene bakterier, der i forbindelse med regnbetingede udløb kan forekomme. Resultatet af projektet kan ses af figur 1.9. [Miljøstyrelsen, 2018]

Figur 1.9.Produktet af Sikkert Søbad ved Skanderborg Sø - varslingstavle der advarer badende gæster ved forringet badekvalitet. [Miljøstyrelsen, 2018]

I januar 2020 blev et lignende projekt igangsat som bygger på erfaringerne herfra. Projekt Sikkert Søbad || tager afsæt i Knudsø ved Ry beliggende i Skanderborg Kommune, og skal efter planen forløbe frem til december 2021. De udfordringer der blev erfaret ved Skanderborg Sø var, at der kan opstå opblomstring af giftige blågrønalger, der kan forårsage stor risiko af sikkerheden for badende. [Teknologisk Institut, 2020]

Knudsø har et aktuelt potentiale for dette projekt, idet der findes tre badesteder hvoraf to af disse er Blå Flag strande. Derudover forekommer der jævnligt aflastning til søen i form af overløb fra de fælleskloakerede systemer, hvoraf et af udløbene fra overløbsbygværk er kritisk tæt placeret på en Blå Flag strand (Sdr. Ege Strand), hvilket er illustreret på figur 1.8 på forrige side. Yderligere er der påvist bekymrende opblomstring af blågrønalger [Troelsen, 2014].

Projekt Sikkert Søbad || ved Knudsø har til formål at udforme et effektivt og avanceret system, der overvåger badevandskvaliteten, renser overløbsvandet og ved realtid varsler badende gæster. [Teknologisk Institut, 2020]

Der vil under projekt Sikkert Søbad || udføres forsøg med at rense overløbsvandet med pereddikesyre. Derudover vil projektet arbejde med sensorbaseret overvågning i form af en miljøbøje i vandoverfladen, der skal drive rundt i søen og måle på relevante parametre med sensorer. Miljøbøjen skal indgå i varslingssystemt. Yderligere skal projektet forsøge at bekæmpe blågrønalger med bakteriofager, som er nogle naturligt forekommende viruspartikler der kan bekæmpe bestemte bakterier. [Teknologisk Institut, 2020]

Projektet er et samarbejde mellem Skanderborg Forsyning A/S, Teknologisk Institut, NIRAS A/S, Aalborg Universitet, Norlex Systems og Aquasense. [Teknologisk Institut, 2020]

1.5.1 Verdensmål

Projektet arbejder for nogle vigtige verdensmål af FN's 17 verdensmål. Det er henholdsvis mål nummer 3 og 6 som kan ses af figur 1.10 og 1.11.

Figur 1.10. Verdensmål nummer 3 [Lindholm, 2021]

Figur 1.11. Verdensmål nummer 6 [Lindholm, 2021]

For verdensmål nummer 3, Sundhed og trivsel, er det formentlig undermål 3.d som indfries som ifølge United Nations Development Programme et al. [2021b] beretter at

"*Alle lande, og især udviklingslandene, skal styrke deres kapacitet for tidlig varsling, risikoreduktion og håndtering af nationale og globale sundhedsrisici*"

For verdensmål nummer 6, Rent vand og sanitet, er det formentlig undermål 6.3 som indfries som ifølge United Nations Development Programme et al. [2021a] beretter at

"*Inden 2030 skal vandkvaliteten forbedres ved at reducere forurening, afskaffe affaldsdumping og minimere udslip af farlige kemikalier og materialer, og halvere andelen af ubehandlet spildevand og væsentligt øge genanvendelse og sikker genbrug globalt*"

1.6 Problemanalyse

Danmark har generelt en meget høj badevandskvalitet, men der er risikofaktorer, der har indflydelse og påvirker fremtidens badevand. Den usynlige sundhedsrisiko der har stor indflydelse er udledningen af urenset spildevand til recipienter, der anvendes til badeområder, hvilket forårsager fækal forurening. Det udledes fra overløbsbygværker, når der forekommer kraftige nedbørshændelser. Derudover bidrager disse nedbørshændelser også til udvaskning af næringsstoffer og pesticider til recipienter. Det, at det anses for at være problemer i fremtiden er forbundet med de klimaforandringer, der forventes. Der vil i fremtiden forekomme mere nedbør på årsbasis og i særdeleshed vil nedbørshændelserne i sommerperioden forventes at blive kraftigere, ligesom der forventes mere nedbør ved alle andre årstider [Danmarks Meteorologiske Institut, 2021b]. Dette vil formentlig bidrage til flere overløbshændelser og mere udvaskning. Yderligere er algeopblomstring, herunder specielt blågrønalger, et stigende problem, idet der er sundhedsmæssige risici forbundet med badning under tilstedeværelsen af disse.

Det er kommunernes ansvar at føre tilsyn med badevandet på badeområderne i de pågældende kommuner, herunder også at administrere sikkerhedsforanstaltninger ved forurening og holde gæsterne oplyst om væsentlige informationer. Kommunen foretager derfor badevandsanalyser i løbet af badesæsonen efter planlagt kontrolovervågning. Disse analyser indgår i det datagrundlag, der ligger til grund for badevandets kvalitetsklassifikation og derfor også i statistikken for Danmarks badevand. De problemer der er forbundet med kommunernes tilsyn af badevandet er, at der på nuværende tidspunkt forekommer sikkerhedsforanstaltninger på badeområder baseret på forhold der er forud for det aktuelle tidspunkt. Det er ikke sigende om den aktuelle badevandskvalitet, men derimod kun sigende om den datidige badevandskvalitet på prøvetagningstidspunktet, hvor gæster ikke informeres rettidig ved eventuel forurening. Dette håndteres ved at rette anvisninger til de badende gæster omkring faktorer ved badevandet, de skal være opmærksomme på.

I dette projekt fokuseres på Knudsø beliggende ved Ry i Skanderborg Kommune. Lokaliteten er ideel, idet flere af de nævnte problemer er gældende netop her. Der udledes urenset spildevand ud i søen ved overløbshændelser i forbindelse med kraftig nedbør, og der forekommer algeopblomstring i søen. Flere udløb er ydermere placeret kritisk tæt på to badeområder i søen, hvoraf data for overløb fra U6, nær Sdr. Ege Strand, er tilgængelig, hvilket ikke er tilfældet med U7 og U9. Knudsø er dog klassificeret som en sø med udemærket badevandskvalitet, hvorfor det er interessant at undersøge.

1.7 Problemformulering

Med afsæt i de introducerede problemer vil projektet undersøge, om der er sammenhæng imellem bakteriel forekomst og overløbshændelser i Knudsø, og yderligere vurdere om badevandsanalyserne foretaget af Skanderborg Kommune er et repræsentativt datagrundlag til at bestemme badevandskvaliteten. Idet der i fremtiden forventes flere overløbshændelser grundet intensiverende og mere nedbør, vil sammenhængen imellem disse i Knudsø ligeledes undersøges.

1.7.1 Afgrænsning

I projektet anvendes bakteriologiske målinger udført af Skanderborg Forsyning A/S, og disse er foretaget i år 2021, hvorfor projektets undersøgelse baserer sig inden for denne tidsramme.

Der fokuseres i projektet på lokaliteten ved udløb U6 og Sdr. Ege Strand, idet udløbet er kritisk tæt placeret på badeområde, og der er indhentet målinger på vandføring og nedbør hos Aalborg Universitet for denne lokalitet, og det er bekendt, at der her forekommer betydende overløb.

Det blev præsenteret, at blågrønalger udgør en stor sundhedsrisiko, og der ved projekt Sikkert Søbad || undersøges for denne faktor i søen. Dog afgrænser projektet sig fra at undersøge blågrønalgers forekomst i Knudsø, idet der ikke er nok data.

2 Indsamling af data

I det følgende kapitel vil det beskrives, hvorledes data anvendt i projektet indsamles, herunder metoder og systemer til at opsamle disse. Data der er indhentet er bakteriologiske målinger samt målinger for vandføring og nedbør.

2.1 Vandprøver i Knudsø

I forbindelse med projektet blev der indsamlet vandprøver for at måle på koncentrationen af indikatorbakterierne i Knudsø. Dette arbejde blev udført i samarbejde med NIRAS A/S. Vandprøverne blev udtaget den 10. november 2021 i tidsrummet 08:57 til 09:36. Der blev udtaget fire vandprøver i og omkring U6. Det var bekendt, at der i forbindelse med prøveudtagning ikke havde været overløb. Prøvetagningslokaliteterne kan ses på figur 2.1.

Figur 2.1.Oversigt over hvor vandprøverne den 10-11-2021 blev udtaget.

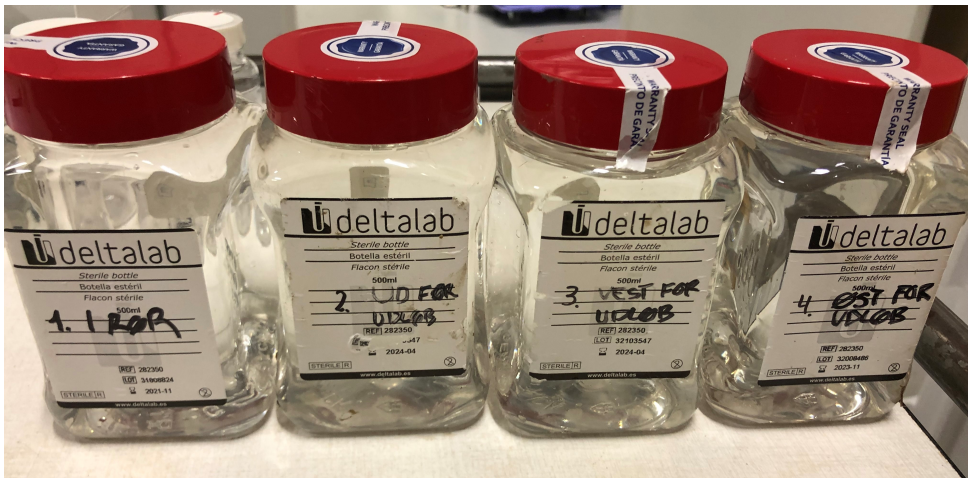
Lokaliteten af vandprøverne er bestemt med henblik på at kunne se hvorledes en eventuel

spredning af forurening vil fremkomme. Lokaliteten af prøve nummer 2, 3 og 4 gjorde at prøveudtagningen blev foretaget i båd. Dette fremgår af figur 2.2 og 2.3.

Figur 2.2. Oppustning af båd

Figur 2.3. Udsejling til vandprøvetagning

Alle fire vandprøver blev udtaget lige under vandoverfladen med en plastikbeholder. Vandprøverne blev navngivet ud fra lokaliteten af prøveudtagningen og fremgår af figur 2.4.



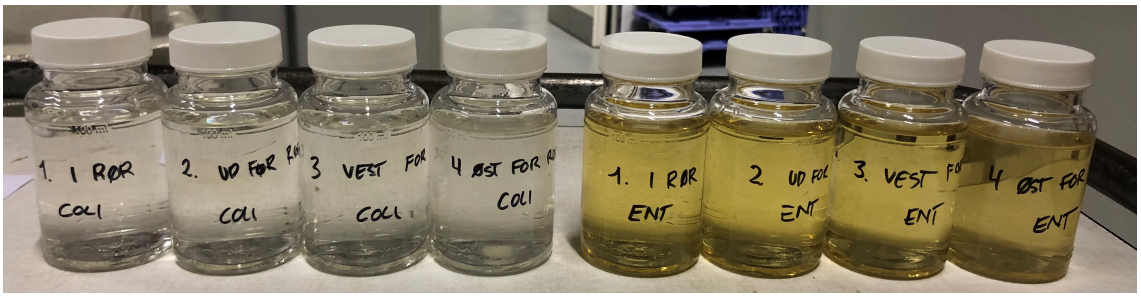
Figur 2.4. De fire indhentede vandprøver i plastbeholdere angivet efter prøveudtagningslokalitet.

2.1.1 Analyse af vandprøver

Koncentrationen af indikatorbakterierne, *E. coli* og enterokokker, kan bestemmes ved brug af et system udarbejdet af IDEXX Laboratories. Det fungerer ved at de bakterier der undersøges for, reagerer med et medium der tilsættes vandprøven. De medier der benyttes under denne analyse er *Colilert* og *Enterolert*. Colilert medium kan benyttes til at detektere coliforme bakterier og *E. coli*. Enterolert kan benyttes til at detektere *Enterococci*. Disse medier kan ses af figur 2.5

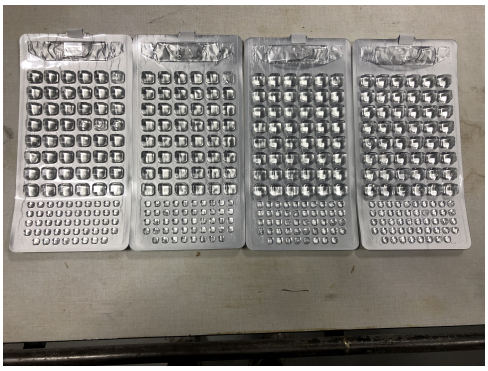
Figur 2.5. Anvendte medier, Colilert og Enterolert, til bestemmelse af koncentration af *E. coli* og enterokokker.

Inden mediet tilsættes vandprøverne, bliver de fortyndet 10 gange med rent vand, således der udtages 10 mL af vandprøven og dette opblandes med 90 mL rent postevand. Herefter tilsættes mediet for hver prøve og omrystes forsigtigt. Bakterierne udnytter specifikke enzymer i disse medier til at omdanne en kemisk forbindelse, hvorved *E. coli* og enterokokker danner fluorescens. Coliforme bakterier der også kan detekteres danner et stof, som farver prøven gul. På figur 2.6 fremgår de fortyndede prøver i 100 mL glas efter tilsætning af medier og omrystning.

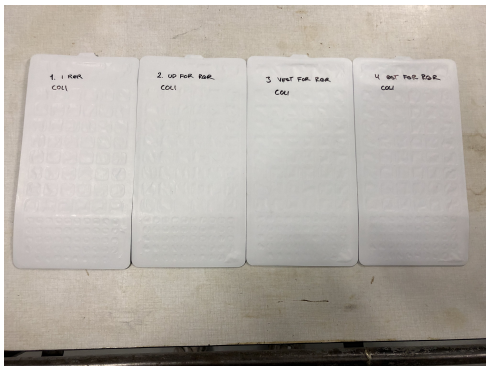


Figur 2.6. De fire vandprøver efter de er fortyndet 10 gange og tilsat medierne Colilert og Enterolert.

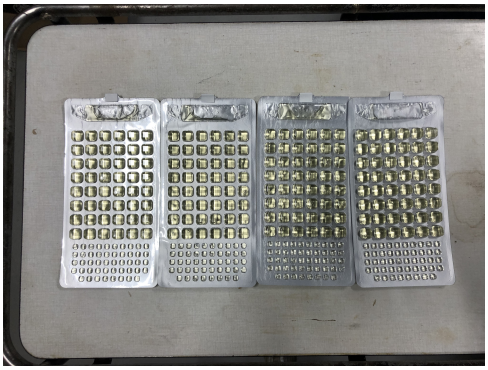
De fortyndede vandprøver hældes på Quanti-Tray/2000-prøvebakker, som forsegles i en maskine. Prøvebakkerne har 97 rum, hvoraf 49 af disse er store rum og 48 rum er mindre rum. Vandprøverne i prøverbakkerne efter forsegling kan ses af figur 2.7.



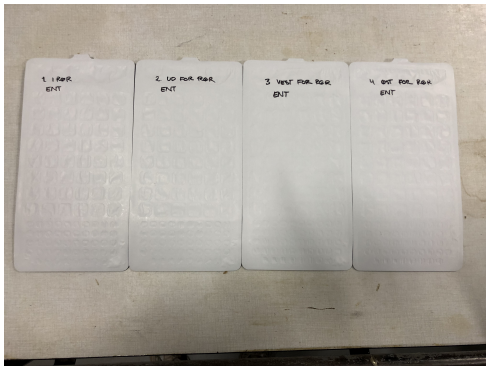
(a) Forside af prøvebakke med Colilert



(b) Bagside af prøvebakke med Colilert



(c) Forside af prøvebakke med Enterolert



(d) Bagside af prøvebakke med Enterolert

Figur 2.7.Forseglede Quanti-Tray/2000-bakker med de fortyndede vandprøver indholdende henholdsvis Colilert og Enterolert.

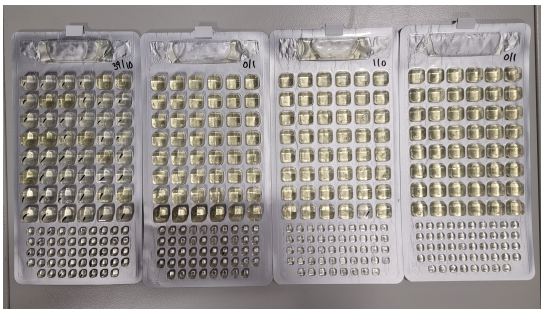
Vandprøverne skulle herefter inkuberes i 24 timer. Prøverne hvori der skulle detekteres *E. coli* blev inkuberet ved 37 °C, og prøverne hvori der skulle detekteres enterokokker blev inkuberet ved 41 °C. Vandprøverne i inkubationsskabene er illustreret på figur 2.8 og 2.9.

Figur 2.8.Inkubationsskab med vandprøverne med Colilert

Figur 2.9.Inkubationsskab med vandprøverne med Enterolert

Efter inkubation blev rum med gul farve og fluorescerende effekt optalt. På figur 2.10 fremgår resultatet af analysen på vandprøven med mediet Colilert. Det er tydeligt hvilke rum der er blevet farvet gule. For de rum der, under ultraviolet lys, var fluorescerende er der sat en streg ved, og det er ligeledes antal flourescerende rum tallene øverst på prøvebakkerne oplyser om. Figur 2.11 viser resultatet af analysen med vandprøven indeholdende Enterolert medie. Her er der også sat streg over og angivet med tal øverst på prøvebakker, hvilke rum der er flourescerende.

Figur 2.10. Optalte rum med colilert



Figur 2.11. Optalte rum med enterolert

På baggrund af de optalte antal rum kan bakteriekoncentrationen bestemmes ud fra metoden MPN(most probable number). IDEXX Laboratories har udviklet en generator til bestemmelse af MPN. Af tabel 2.1 fremgår resultatet af vandprøveanalyserne. MPN beskriver dermed badevandskvaliteten.

Vandprøve	**Lokation**	**Store rum** Ud af 49	**Små rum** Ud af 48	**Nedre konfidens grænse** cfu/100mL	**Øvre konfidens grænse** cfu/100mL	**MPN** cfu/100mL
			Coliforme bakterier			
1	I rør	49	25	2927	6879	4611
2	Ud for udløb	1	2	6	73	30
3	Vest for udløb	1	0	1	55	10
4	Øst for udløb	6	0	29	137	63
			***E. coli* bakterier**			
1	I rør	46	9	1013	1968	1421
2	Ud for udløb	0	0	0	37	<10
3	Vest for udløb	0	0	0	37	<10
4	Øst for udløb	1	0	1	55	10
			Enterokokker			
1	I rør	39	10	684	1242	934
2	Ud for udløb	0	1	0	37	10
3	Vest for udløb	1	0	1	55	10
4	Øst for udløb	0	0	0	37	<10

Tabel 2.1. Bakteriekoncentrationen i vandprøverne.

Resultaterne af vandprøverne viser høje tællinger af indikatorbakterierne *E. coli* og enterokokker i vandprøven udtaget ved U6 i rørudmundingen. Vandprøvens resultater overstiger kravene for minimumsstandarden *tilfredsstillende kvalitet* i badevandsbekendtgørelsen for begge indikatorbakterier på henholdsvis 900 cfu/100mL for *E. coli* og 330 cfu/100mL. Resultatet af vandprøverne viser også, at der på de resterende prøvetagningslokaliteter ikke er for høje tællinger af indikatorbakterierne, da det er inden for kravet om *udemærket kvalitet*. Dog kan en klassifikation af badevandskvaliteten ikke bestemmes ud fra en badevandsanalyse, men kun indikere om der er forurening. Der havde forinden prøveudtagningen ikke været en overløbshændelse, hvorfor de høje tællinger af indikatorbakterier i rørudmundingen er interessante.

Grundet der ikke havde været en overløbshændelse inden prøveudtagningen vil dataene fra disse vandprøver fungere som reference i forhold til badevandsanalyser foretaget omkring en overløbshændelse.

2.2 Skanderborg Kommunes målinger

Miljøstyrelsen samler efter hver badesæson den nødvendige information om badevandskvaliteten, som hver kommune har ansvaret for at forvalte. Herved sikres tilgængeligheden for offentligheden, og miljøstyrelsen rapporterer informationerne om badevandskvaliteten videre til det Europæiske Miljøagentur. I alt er der 88 kommuner i Danmark som miljøstyrelsen indsamler badevandsdata fra. [Miljøstyrelsen, 2021c]

Det er altså kommunerne der indsamler data og undersøger badevandskvaliteten. Kommunalbestyrelsen skal inden badesæsonens påbegyndelse udarbejde en tidsplan for kontrolovervågningen for hvert badeområde. Der skal foretages minimum fire prøver hver badesæson ud fra badevandsbekendtgørelsens bestemmelser, hvoraf den første skal forelægge før badesæsonens begyndelse. For badeområder med forlænget badesæson skal der foretages minimum fem prøver. En prøve skal foretages højest fire dage efter den angivne dato i tidsplanen, og den første prøve skal forelægge 5-10 dage inden badesæsonens påbegyndelse. Datoerne for prøveudtagning fordeles jævnt over badesæsonens periode, men der må ikke forekomme intervaller på mere end 30 dage imellem hver kontrol. Hvis der forekommer kortvarige forureninger på badeområder foretages en yderligere prøveudtagning, som ikke skal indgå i betragtningen af badevandskvaliteten. [Miljøministeriet, 2012]

Det er en medarbejder fra Højvang Laboratorier A/S, der senest har foretaget kontrolovervågning ved Sdr. Ege Strand. Der foretages prøver ud fra metoderne DS/EN 19458 og miljøstyrelsens vejledning nr. 2 [DS/EN ISO, 2006] [Miljøstyrelsen, 1985]. Prøveudtagningen undersøger parametrene opstillet i tabel 2.2.

Parameter	**Metode**
Antal badende gæster	Observation
Nedbør	Observation
Skydække	Observation
Vindstyrke	Observation
Vindretning	Observation
Strømretning	Observation
Strandkvalitet	Observation
Vandkvalitet	Observation
Vanddybde v. måling	Observation
Sigtdybde	Observation
Temperatur, vand	SM 2550:2005, Felt
E. coli	DS/EN 9308-3:1999 + MM0004
Enterokokker	DS/EN ISO 7899-1:1999
pH	DS/EN ISO 10523:2012

Tabel 2.2.Parametre der undersøges ved en prøveudtagning og de anvendte metoder. [Højvang Laboratorier A/S, 2021]

Prøverne skal ifølge Skanderborg Kommune og ALETICA A/S [2012] udtages ved badebroen, hvilket kan vurderes til at være en god prøvetagningslokalitet i forhold til badevandsbekendtgørelsens anvisning om, at et kontroloverv̊agningssted skal placeres, hvor der forventes at være et højt antal badende gæster. Vandsøjlen fra hvor prøverne udtages skal være minimum 1 m og udtages 30 cm under vandoverfladen [Miljøstyrelsen, 2021a].

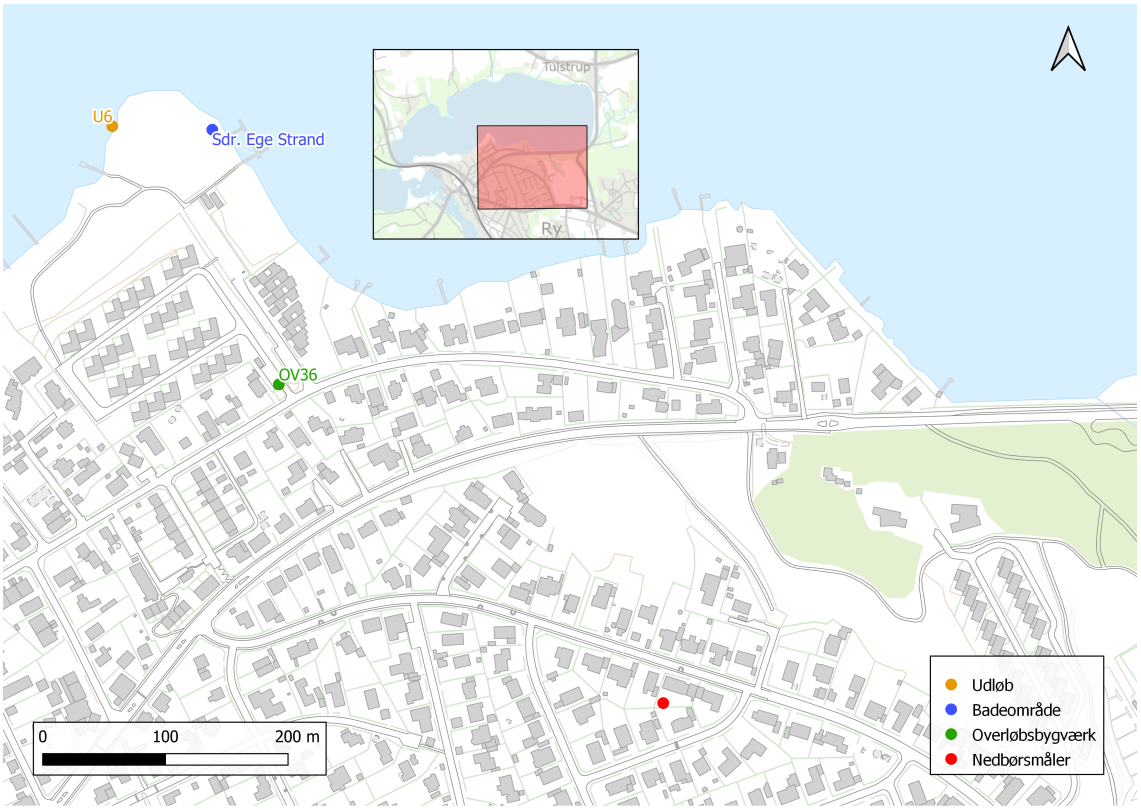
Der foreligger data indsamlet af Skanderborg Kommune for Sdr. Ege Strand fra 1991 til 2021, og er samlet i et elektronisk bilag. De præsenteres i det næste kapitel.

2.3 Data fra Skanderborg Forsyning

Der er indhentet data for nedbør, overløb og bakteriologiske målinger i forbindelse med overløb fra Aalborg Universitet, idet de er samarbejdspartnere på projekt Sikker Søbad ||. Det er Skanderborg Forsyning, der har indsamlet disse data.

2.3.1 Flow og nedbør

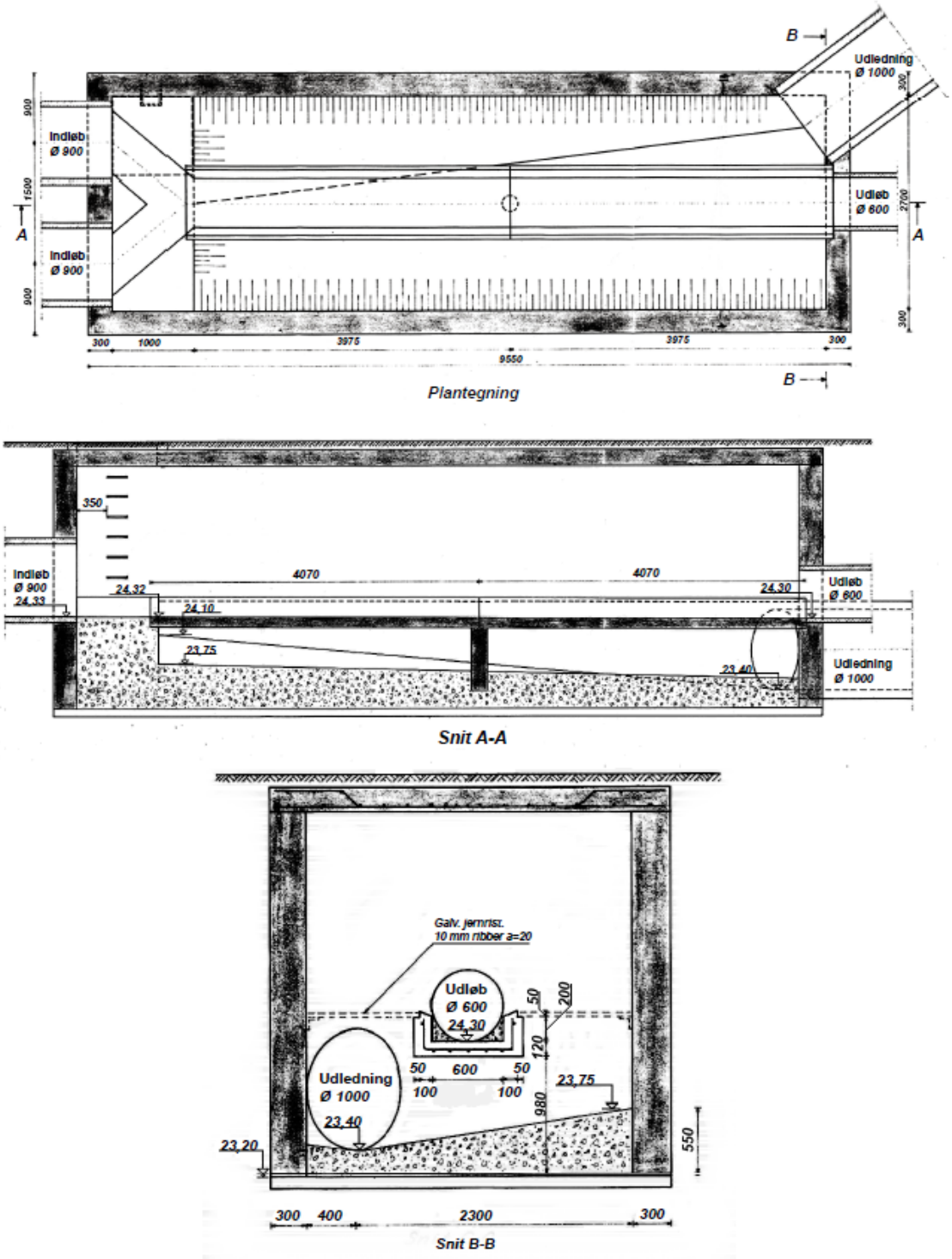
Skanderborg Forsyning anvender systemer udviklet af DANOVA Aps (Danova) til at måle nedbør og flow fra overløbsbygværket. Flowmåleren er placeret ved overløbsbygværket. Placeringen af overløbsbygværket og nedbørsmåleren fremgår af figur 2.12.



Figur 2.12. Overblik over placering af nedbørsmåleren, overløbsbygværket, udløbet og Sdr. Ege Strand.

Overløbsbygværket, OV36, er opbygget som vist på figur 2.13. Plantegningen er modificeret af Skaarup og Wahlberg [2019], som har fået udleveret materialet af Skanderborg Forsyning.

Overløbsbygværket har to indløb og et udløb der sender vandet til Ry Renseanlæg [Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, 2016a]. Derudover sker der overløb på hver side og vandet sendes til udløb U6 og recipienten Knudsø [Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, 2016a]. Der sker en filtrering af de største elementer i vandet via ristene.



Figur 2.13. Modificeret teknisk plantegning af overløbsbygværket OV36. Derudover tværsnit A-A og B-B. [mm] [Skaarup og Wahlberg, 2019]

Af figur 2.14 og 2.15 fremgår den visuelle udformning af overløbsbygværket OV36.

Figur 2.14. Udformning af overløbsbygværk OV36 [Skaarup og Wahlberg, 2019]

Figur 2.15. Indløb til overløbsbygværk OV36 [Skaarup og Wahlberg, 2019]

Af figur 2.16 ses udløb U6, og af figur 2.17 ses udløbet, mens der forekommer en overløbshændelse.

Figur 2.16. Udløb U6.

Figur 2.17. Udløb U6 ved overløb.

Der er indhentet flow- og nedbørsmålinger fra overløbsbygværk OV36 og nedbørsmåleren i årene 2020 og 2021. De fremgår af de elektroniske bilag.

2.3.2 Bakteriologiske målinger

Der er foretaget bakteriologiske målinger af Skanderborg Forsyning under og efter overløb fra OV36. Systemerne udviklet af Danova gør det muligt for samarbejdspartnerne at kontrollere og overvåge hvornår der sker overløb, og derfor også at foretage prøver under og omkring tidspunktet for overløb.

Der er indhentet data fra fire prøver i forbindelse med overløbshændelser. Hvornår disse prøvetagninger er udført i forhold til overløbshændelser, samt antal af vandprøver udtaget

fremgår af tabel 2.3.

Prøvetagningsdato	Overløbshændelse	Antal vandprøver	Prøvetagningstidspunkt
05-05-2021	04-05-2021 14:56 - 15:17 05-05-2021 12:58 - 13:11	8	12:25 - 12:33 12:56 - 13:06
25-05-2021	25-05-2021 06:42 - 07:19	3	07:27 - 07:34
20-06-2021	20-06-2021 10:21 - 11:47	12	10:36 - 12:49
05-07-2021 06-07-2021	05-07-2021 13:29 - 13:43 05-07-2021 14:09 - 14:50 05-07-2021 17:09 - 17:11	28	05-07-2021 13:53 - 22:47 06-07-2021 06:48 - 06:54

Tabel 2.3.Fire prøver foretaget af Skanderborg Forsyning herunder hvornår prøvetagning fandt sted i forhold til overløbshændelser og hvor mange vandprøver der blev udtaget.

Der er udtaget flere prøver over et tidsrum for at afdække om der sker spredning af fækal forurening. Eksempel på en prøve er vist i tabel 2.4 hvor det fremgår, at der er udtaget tre vandprøver af to omgange og at der yderligere er udtaget en duplikat prøve ved rørudmundingen i hver omgang. Vandprøvernes nummer er ikke opstillet i rækkefølge, idet der er fjernet vandprøver fra tabellen udtaget ved Knudhule, som projektet afgrænser sig fra.

Prøvetagning den 5. maj 2021				
Nummer	Sted	Tid	E. coli cfu/100 mL	Coliforme cfu/100 mL
I	U6	12:25:10	144 000	81 000
II	U6	12:27:20	87 000	95 000
III	Bro tv U6	12:29:45	0	0
IV	Sdr. Ege badebro	12:33:20	0	0
VI	U6	12:56:20	103 000	93 000
VII	U6	12:59:50	96 000	110 000
VIII	Bro tv U6	13:02:40	0	0
IX	Sdr. Ege badebro	13:06:40	0	0

Tabel 2.4.Prøve udtaget den 5. maj 2021 der viser tællinger af *E. coli* og Coliforme bakterier i de udtagne vandprøver på forskellige prøvetagningslokaliteter ved Sdr. Ege Strand.

Prøven viser, at ved rørudmundingen på alle fire tidspunkter er tællingerne af *E. coli* langt over kravet for *tilfredsstillende kvalitet* på 900 cfu/100mL, hvilket indikerer fækal forurening på denne prøvetagningslokalitet. Der er ved henholdsvis broen til venstre for U6 og badebroen ved Sdr. Ege Strand ingen tællinger med *E. coli* og coliforme bakterier.

Alle fire prøver angivet i tabel 2.3 vil i næste kapitel præsenteres.

3 Databehandling

I det foregående kapitel blev det præsenteret, hvilke data der er indhentet i forbindelse med projektet, hvorfor der i det følgende vil analyseres på det. Fokusområdet vil være ved badeområdet Sdr. Ege Strand, hvor det kritisk tætplaceret udløb U6 er. Der undersøges hvornår og hvor store overløbshændelser, der har været i år 2020 og 2021. Derudover undersøges det, om der er en specifik sammenhæng mellem overløbshændelserne og badevandsanalyserne foretaget af henholdsvis Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning.

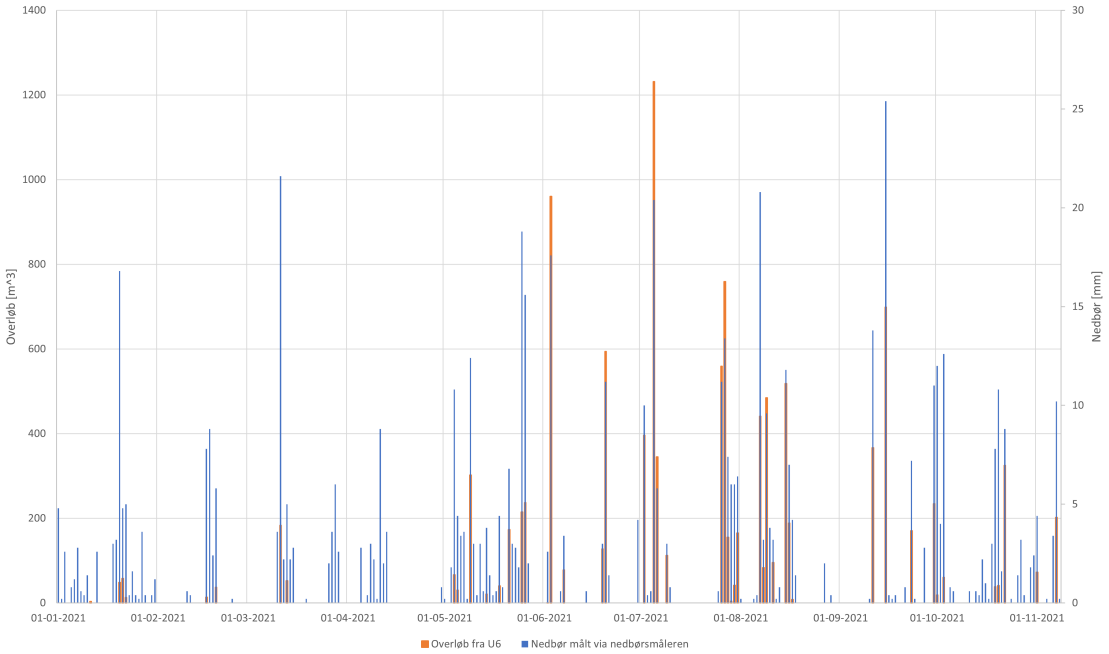
3.1 Overløbshændelser

I det følgende vil overløbshændelser undersøges for sammenhæng med nedbørshændelser i henholdsvis år 2020 og 2021. Derudover undersøges variationen af nedbør og overløb for årstiderne i 2021.

3.1.1 Årsvariation

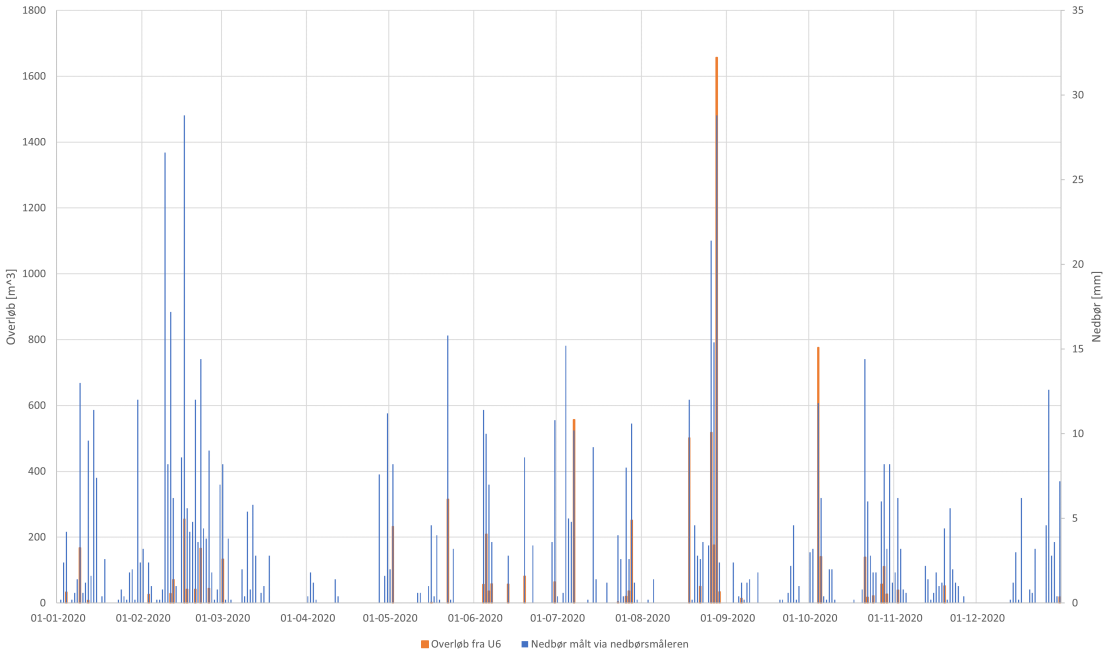
Overløbshændelser forekommer afhængig af mængden af nedbør, hvilket i det følgende præsenteres. På årsbasis undersøges for henholdsvis år 2020 og 2021 sammenhængen mellem mængden af nedbør og udledning ved overløb i udløb U6.

I år 2021 faldt der i perioden 1. januar til 8. november 629 mm nedbør målt på nedbørsmåleren vist på figur 2.12 på side 21 i afsnit 2.3 og der blev udledt 11 066 m^3 i U6 i samme periode. Fordelingen af nedbør og overløb ses af figur 3.1.



Figur 3.1.Overløbsmængden fra U6 overfor nedbørsmængden i perioden 1. januar 2021 til 8. november 2021.

For år 2020 var den totale mængde nedbør der faldt over hele året 774,8 mm, hvilket ligeledes blev målt via nedbørsmåleren. Udledningsmængden ved overløb fra U6 var 7346 m^3. Denne fordeling over året fremgår af figur 3.2.



Figur 3.2.Overløbsmængden fra U6 overfor nedbørsmængden i perioden 1. januar til 31. december 2020.

For at sammenligne disse to år ser vi på perioden 1. januar til 8. november i 2020, hvor der

faldt 705 mm nedbør og udledt 7276 m^3. Dette indikerer, at nedbørshændelser har været kraftigere og mere intense i 2021 i forhold til 2020, idet der faldt mindre nedbør i perioden i 2021 sammenlignet med 2020 og der blev udledt 3790 m^3 mere i 2021.

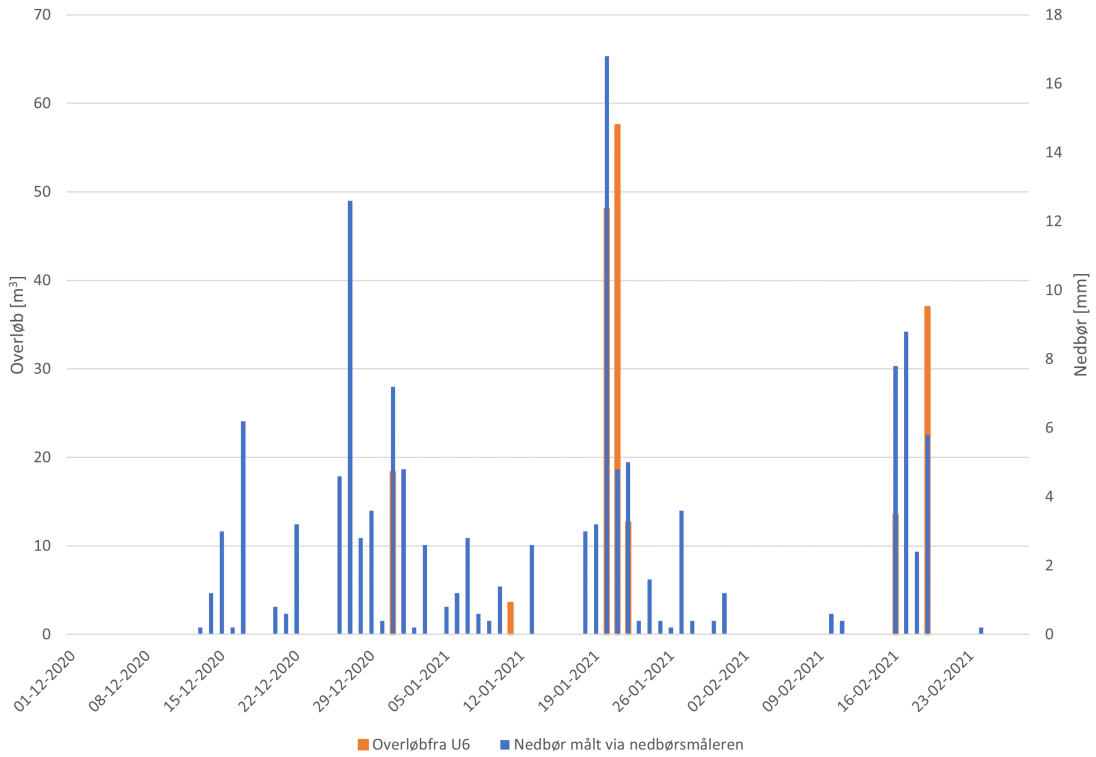
For at tydeliggøre sammenhængen mellem nedbør og overløb vil der i det følgende fokuseres på årstidsvariationerne.

3.1.2 Årstidsvariation

Vinteren 20/21 ligger uden for badesæsonen, men det er interessant at undersøge om der er sammenhæng mellem nedbørs- og overløbshændelser. Nedenfor er beskrevet nogle af overløbshændelserne der forekom i denne periode. Hændelserne er illustreret af figur 3.3 på næste side.

Den 11. januar 2021 forekom en overløbshændelse på 3,56 m^3, selvom der ikke er registreret nedbør på måleren. Det kan muligvis forklares ved, at der i dagene op til den 11. januar var en middeltemperatur omkring frysepunktet, og den 11. januar blev der målt temperaturer op til 6 °C i Skanderborg [Danmarks Meteorologiske Institut, 2021d]. Der faldt nedbør i dagene før den 11. januar, der muligvis har ansamlet sig på jordoverfladen og frosset, hvorfor det den 11. januar er optøet og ledt mod overløbsbygværket.

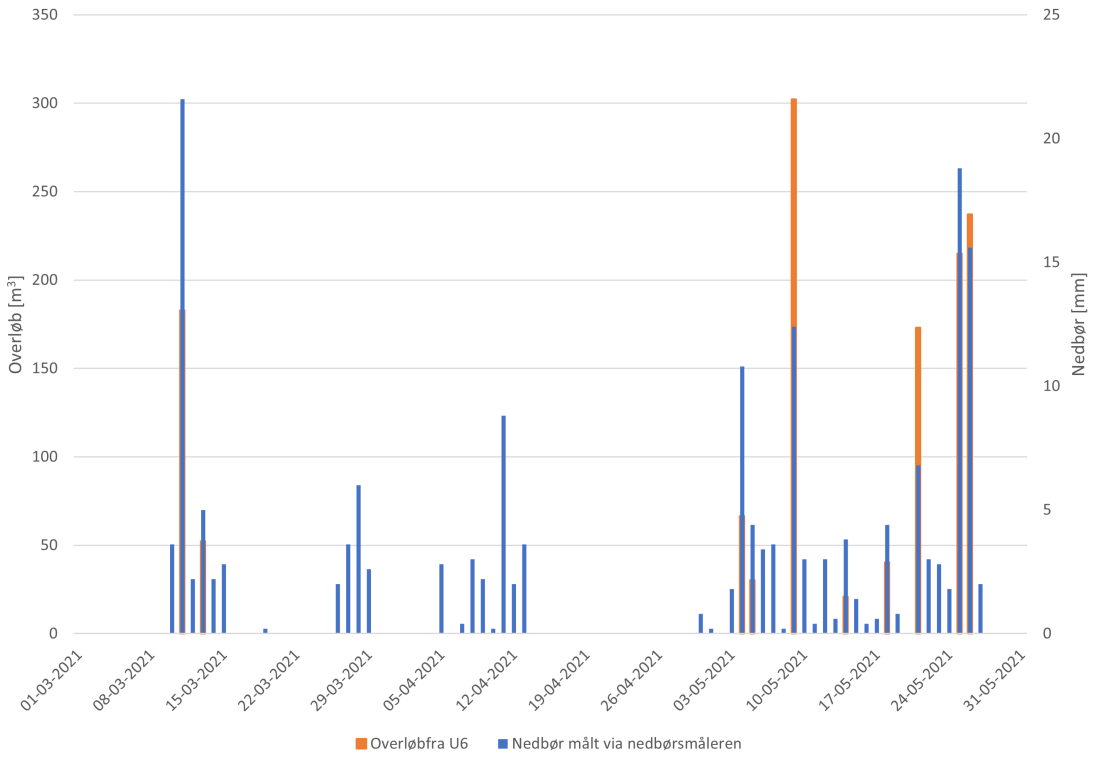
Henholdsvis den 20. og 21. januar 2021 forekom der to overløbshændelser i U6 på 48,1 m^3 og 57,55 m^3. Samme dage var der nedbørsmængder på 16,8 mm og 4,8 mm. Overløbshændelsen den 20. januar fandt sted i tidsrummet 06:00 til 08:00, og overløbshændelsen den 21. januar fandt sted i tidsrummet 17:00 til 19:00. Hændelserne forekom derfor med over 24 timers interval, hvorfor de betragtes som separate hændelser, og selvom der er stor forskel mellem nedbørsmængderne må der for begge tilfælde være høj intensitet i de respektive tidsrum [Hørsholm Kommune, 2021].



Figur 3.3. Overløbsmængden fra U6 overfor nedbørsmængden i perioden 1. december 2020 til 28. februar 2021.

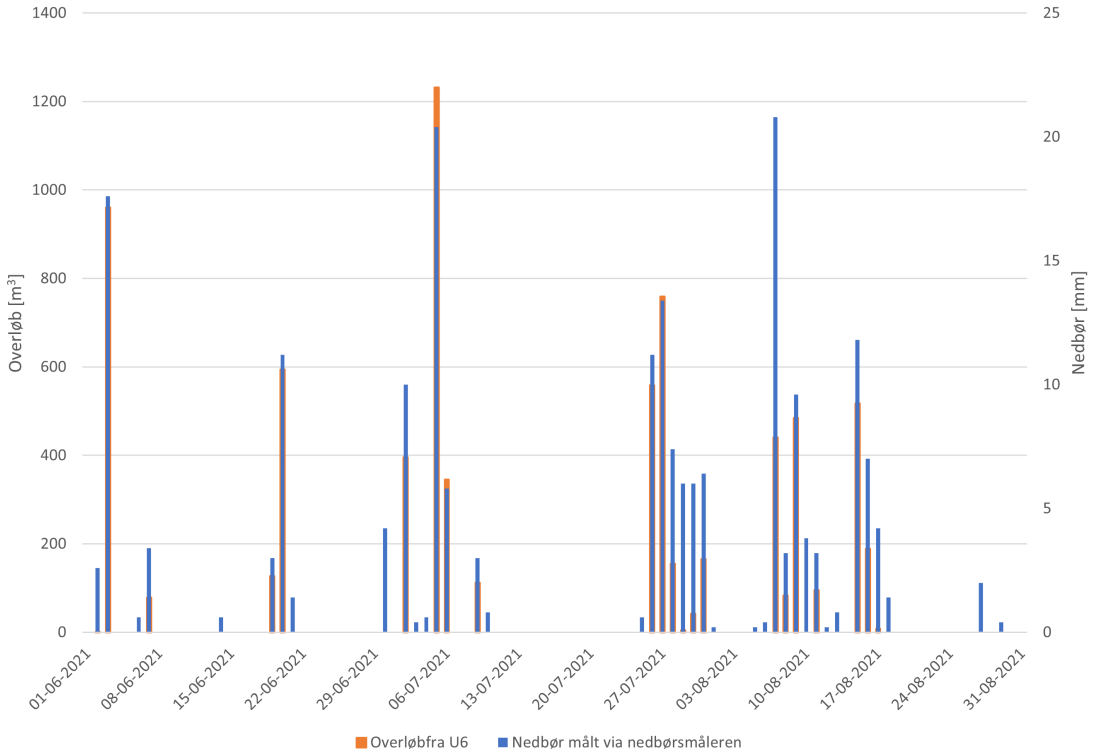
Af figur 3.4 fremgår udlednings- og nedbørsmængden i foråret 2021. I perioden 10. til 15. marts 2021 faldt der 37,4 mm nedbør, og specifikt den 11. marts 2021 faldt 21,6 mm af mængden. Dette resulterede i en overløbsmængde den 11. marts svarende til 182,9 m^3.

Maj måned 2021 blev registreret som den anden mest våde maj måned i Danmark generelt [Damsbo, 2021]. Det er også tydeligt af figuren at se, at der faldt meget nedbør på lokaliteten over hele måneden. I hele maj måned blev der via nedbørsmåleren målt 106 mm. Det er næsten 17 % af den samlede målte nedbør fra januar til 8. november 2021. Det resulterede i, at der i maj måned 2021 blev udledt fra U6 til Knudsø 1085 m^3 på grund af overløb. Den 9. maj 2021 faldt der 12,4 mm nedbør og dette bidrog til den største overløbshændelse i U6 i maj måned på 302 m^3. Derudover var der store overløbshændelser henholdsvis den 21., 25. og 26. maj 2021. Nedbørsmængderne den 25. og 26. maj var større end den 9. maj, hvilket kan skyldes, at nedbørshændelsen den 9. maj var kraftigere og mere intens over kortere tid end nedbørshændelserne henholdsvis den 25. og 26. maj.



Figur 3.4.Overløbsmængden fra U6 overfor nedbørsmængden i perioden 1. marts til 31. maj 2021.

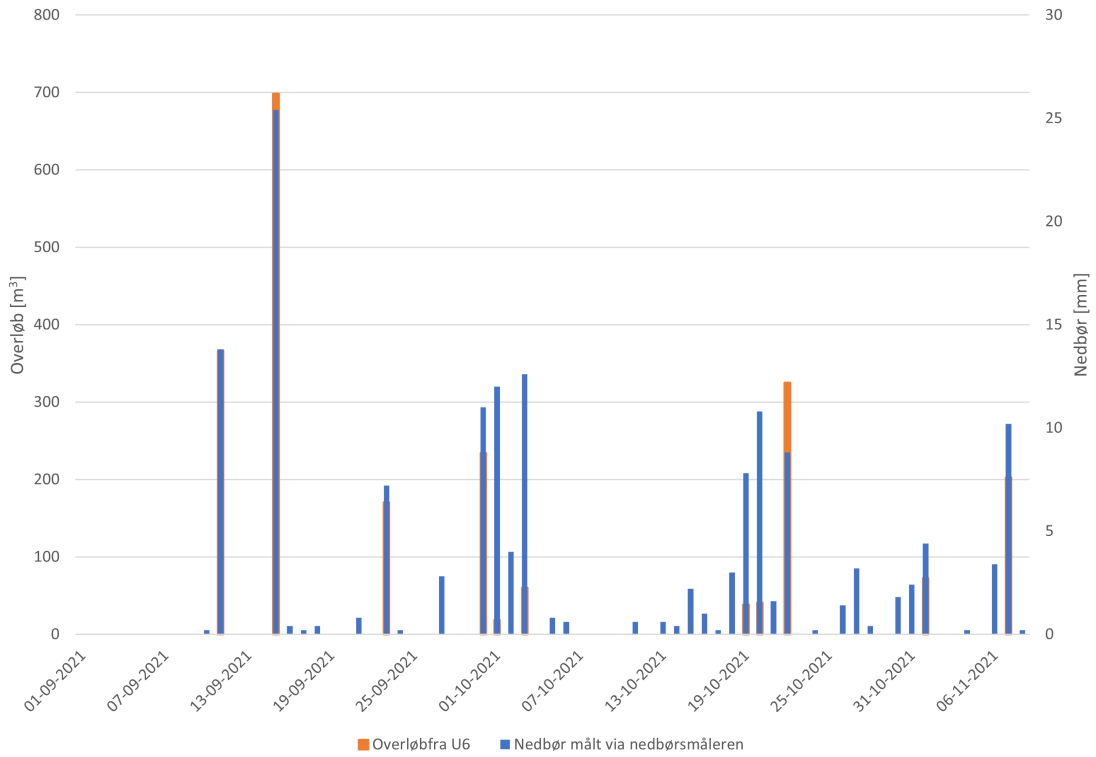
Sammenhængen mellem nedbørs- og overløbshændelser i sommerperioden fra 1. juni til 31. august 2021 er illustreret af figur 3.5. Sammenlignet med foråret er der i sommerperioden større overløbshændelser. Den første større overløbshændelse blev registreret den 3. juni 2021, hvor der forekom en udledning på 961 m^3 som følge af en en nedbørsmængde samme dag på 17,6 mm. Henholdsvis den 19. og 20. juni forekom der overløb på 127 m^3 og 594 m^3 grundet nedbørsmængder disse dage på 3 mm og 11,2 mm. Den største overløbshændelse i sommerperioden, og dermed også i badesæsonen, forløb den 5. juli 2021, hvor der blev udledt 1231 m^3 til Knudsø via U6, og der faldt denne dag 20,4 mm nedbør. Den 7. august var generelt en regnfyldt dag i store dele af landet, hvor der nogle steder blev registreret dobbelt skybrud [Danmarks Meteorologiske Institut, 2021c]. Der blev denne dag via nedbørsmåleren registreret en nedbørsmængde på 20,8 mm, hvilket medførte en overløbsmængde på 441 m^3. Dette indikerer, at der ikke var lige så stor belastning på systemet, som hændelsen den 5. juli 2021.



Figur 3.5.Overløbsmængden fra U6 overfor nedbørsmængden i perioden 1. juni til 31. august 2021.

Efterårsperioden 1. september til 8. november 2021 ligger også uden for badesæsonen. Overløbs- og nedbørshændelser indenfor dette tidsinterval er præsenteret på figur 3.6.

Den største regnbetingede udledning i denne periode forekom den 15. september 2021 og var 698,26 m^3. Det var også denne dag, hvor der forekom den største nedbørsmængde målt til 25,4 mm. Det er ca 1/3 af den samlede udledte overløbsmængde i denne periode, som udgør 2227 m^3.



Figur 3.6.Overløbsmængden fra U6 overfor nedbørsmængden i perioden 1. september til 8. november 2021.

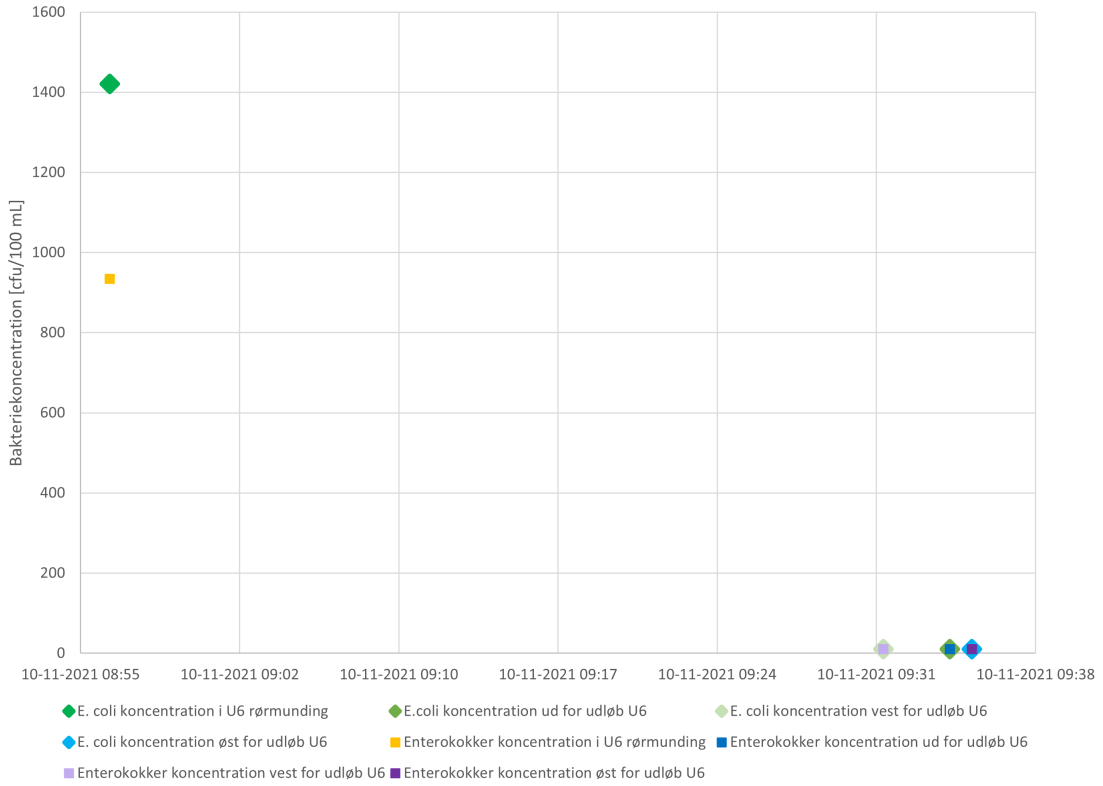
Opsummeret på årstidsvariationen har sommeren 2021 været den periode med størst regnbetingede udledning i U6, og det var ligeledes i denne periode, hvor de største overløbshændelser forekom. I sommeren blev der udledt 7346 m^3, hvorimod der i forår og efterår blev udledt 1320 m^3 og 2227 m^3. I vinteren blev der kun udledt 191 m^3. Dette indikerer, at der i sommerperioden har været større og mere intense nedbørshændelser, der har forårsaget regnbetingede udledning i U6. Sommerperioden danner også ramme for badesæsonen, hvor der udtages badevandsanalyser efter badevandsbekendtgørelsen [Erichsen et al., 2006]. Som det blev nævnt i afsnit 2.2 og 2.3 er der indhentet data fra badevandsanalyser udført af henholdsvis Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, derfor vil det være interessant at undersøge det præsenterede overløbshændelser for sammenhæng med bakteriekoncentrationer. Dette vil ligeledes undersøges for de prøver der er foretaget i forbindelse med projektet den 10. november 2021.

3.2 Vandprøver den 10. november 2021

Den 10. november blev der i forbindelse med projektet udtaget vandprøver ved og omkring udløb U6 ved Sdr. Ege Strand. Metoden for hvordan og hvor prøverne er udtaget samt analyseret er beskrevet i afsnit 2.1 på side 15. Prøverne blev udtaget i tidsrummet 08:57 til 09:36 den 10. november 2021. Der blev analyseret for koncentrationer af indikatorbakterierne *E. coli* og intestinale enterokokkker i vandprøverne.

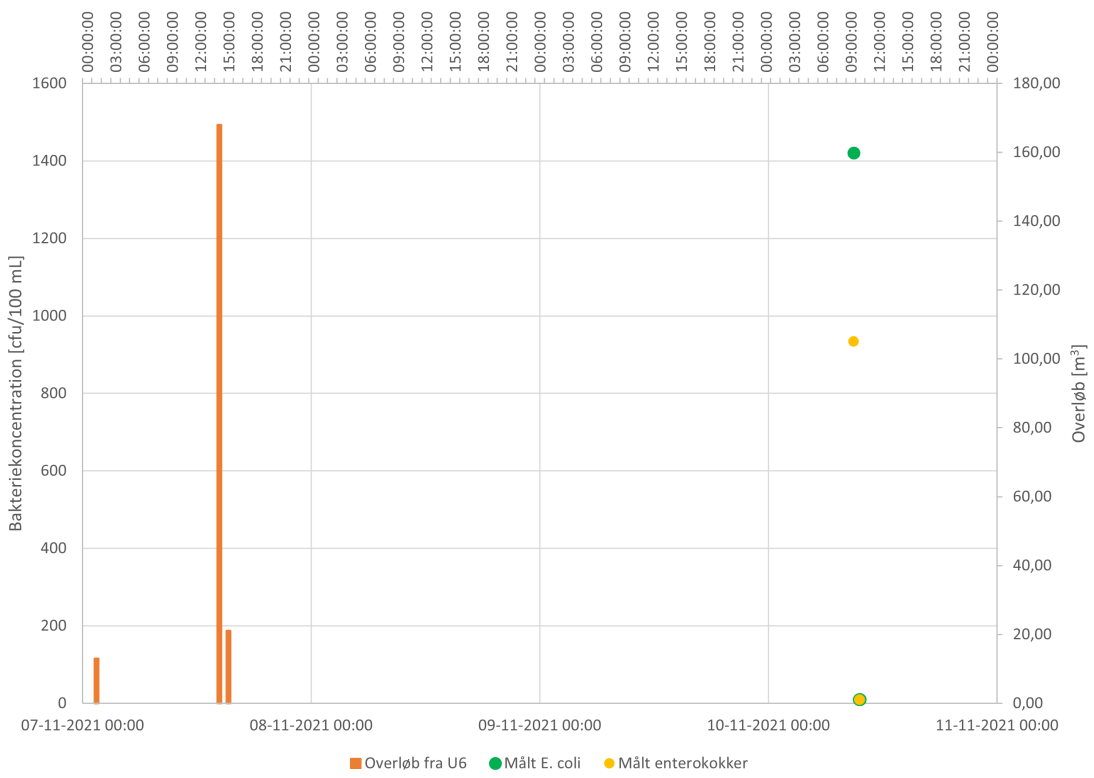
Af figur 3.7 fremgår bakteriekoncentrationerne af de analyserede vandprøver taget henholdsvis i rørmundingen i udløb U6, et stykke ud for udløb, vest for udløbet og øst

for udløbet. Placeringen af prøvelokaliteten fremgår ligeledes i afsnit 2.1 på side 15. Det fremgår, at målingerne i rørmundingen i udløb U6 viste koncentrationer af *E. coli* og enterokokker på 1421 cfu/100mL og 934 cfu/100mL. De resterende vandprøver var næsten ikke detekterbare og målte mindre end eller 10 cfu/100mL for begge indikatorbakterier. *E. coli*- og enterokokker koncentrationen målt ved rørmundingen i udløb U6 var begge forhøjede koncentrationer i forhold til bestemmelserne for minimumsstandarden *tilfredsstillende badevandskvalitet*.



Figur 3.7. Bakteriekoncentrationer af begge indikatorbakterier for prøverne udtaget den 10. november foretaget på 4 forskellige prøvelokaliteter "U6 rørmunding", "ud for udløb U6", "vest for udløb U6"og "øst for udløb U6".

Det var bekendt, at der ikke havde være en regnbetinget udledning umiddelbart op til prøvetagningen. Det er dog interessant at undersøge, hvornår den seneste overløbshændelse forekom før prøvetagningen. Det skete tre dage før den 7. november 2021, hvor overløbsmængden var 202 m^3. Dette er illustreret på figur 3.8. På denne figur udtrykkes bakteriemålingerne ikke efter prøvelokaliteter men blot målt *E. coli* og målt enterokokker, idet det er svært at skelne målingerne for prøvelokaliteterne ud for udløb, vest for udløb og øst for udløb. Der er lang tid imellem overløbshændelsen forekom til prøverne blev udtaget, hvorfor det antages, at de forhøjede koncentrationer af *E. coli* og enterokokker i rørmundingen i udløb U6 ikke er en effekt af overløbshændelsen den 07. november.



Figur 3.8. Bakteriekoncentrationer af begge indikatorbakterier for prøverne udtaget den 10. november holdt op mod overløbshændelser.

Da prøverne udtaget den 10. november ikke blev udtaget i forbindelse med regnbetingede udledninger, er det interessant at undersøge Skanderborg Forsynings prøver, som blev udtaget i forbindelse med overløbshændelser. Disse vil undersøges i det følgende afsnit.

3.3 Behandling af data fra Skanderborg Forsyning

Skanderborg Forsyning har i løbet af 2021 udtaget prøver af badevandskvaliteten i Knudsø i forbindelse med registrerede overløb. Det har de på fire forskellige dage. Det er henholdsvis den 5. og 25. maj, 20. juni og 5. juli 2021. Disse badevandsanalyser vil i det følgende præsenteres overfor de registrerede overløbshændelser.

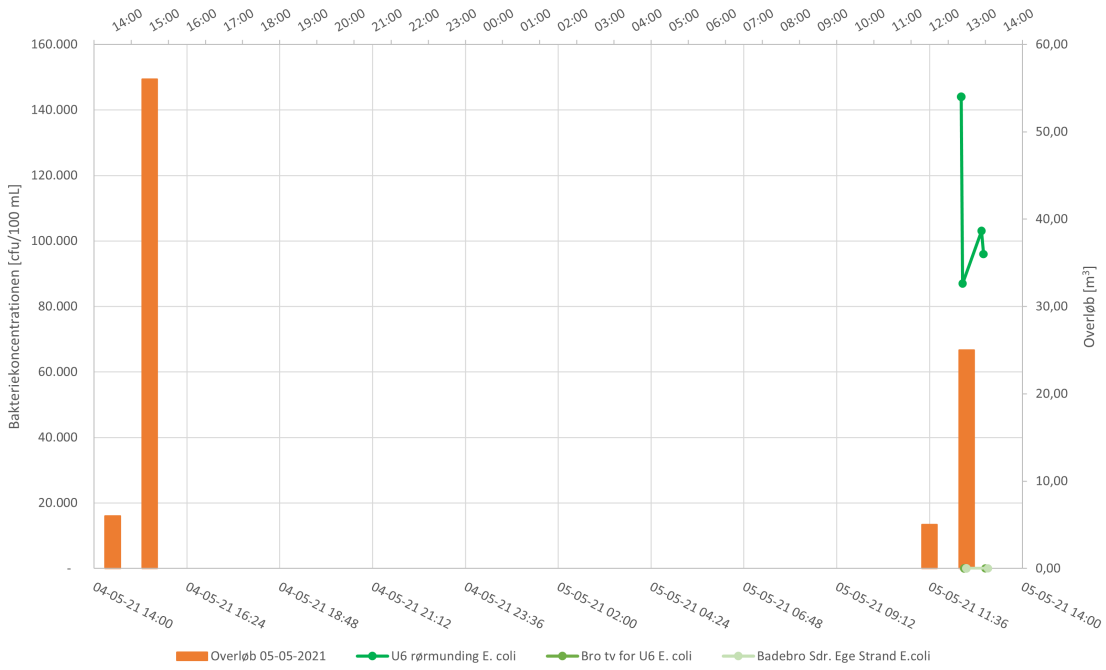
Badevandsanalyserne blev foretaget på tre forskellige lokaliteter, som er illustreret på figur 3.9. Prøvelokaliteterne er de samme på alle prøvetagningsdatoer.

For prøvetagningen den 5. og 25. maj samt 20. juni blev der kun analyseret for *E. coli* koncentrationen i de udtagne vandprøver. Den 5. juli blev der ligeledes undersøgt for enterokokker koncentration i vandprøverne.

Figur 3.9. Lokaliteter for prøvetagning udført af Skanderborg Forsyning.

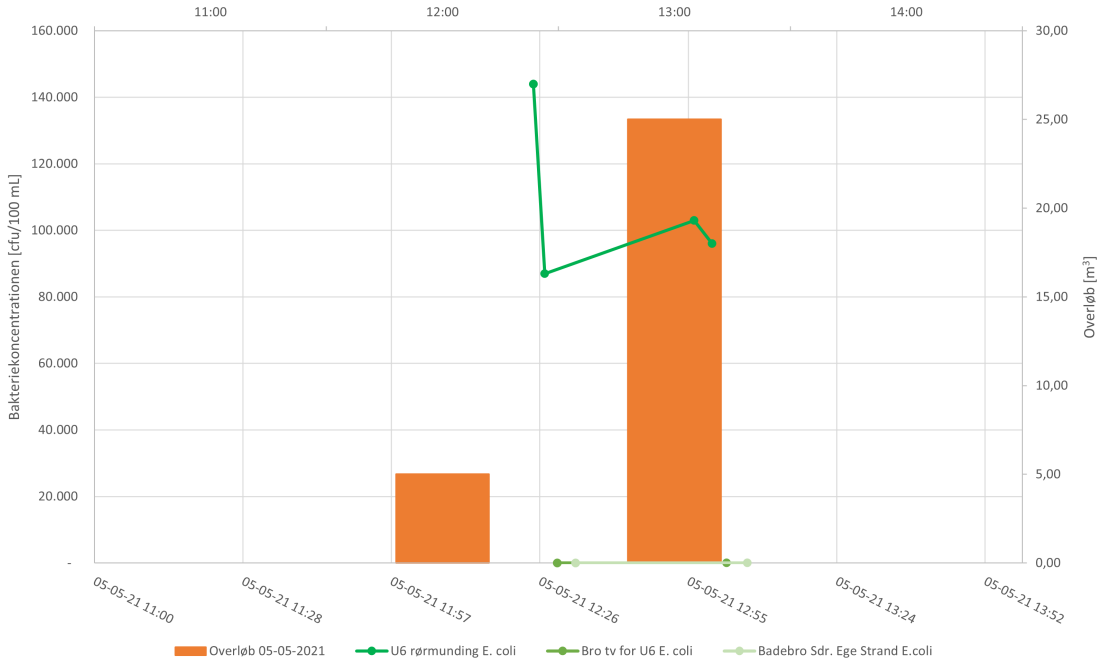
3.3.1 Prøvetagning den 5. maj 2021

Den 5. maj 2021 udtog Skanderborg Forsyning 8 vandprøver på prøvelokaliteterne i forbindelse med overløb den 4. og 5. maj. Bakteriekoncentrationen af disse prøver er holdt op mod overløbshændelserne og vist på figur 3.10. Ifølge Skanderborg Forsynings udlægning af prøverne forekom der overløbshændelse indenfor tidsrummet 14:00 til 16:00 den 4. maj 2021 og igen indenfor 12:00 til 14:00 den 5. maj. De første fire prøver blev udtaget før overløbshændelsen den 5. maj, og var derfor en effekt af overløbshændelsen den 4. maj. Analysen af prøverne viste, at der kun blev detekteret en bakteriekoncentration i rørmundingen af udløb U6.



Figur 3.10.Bakteriekoncentrationen for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. maj 2021 holdt op mod overløbshændelser den 4. og 5. maj 2021.

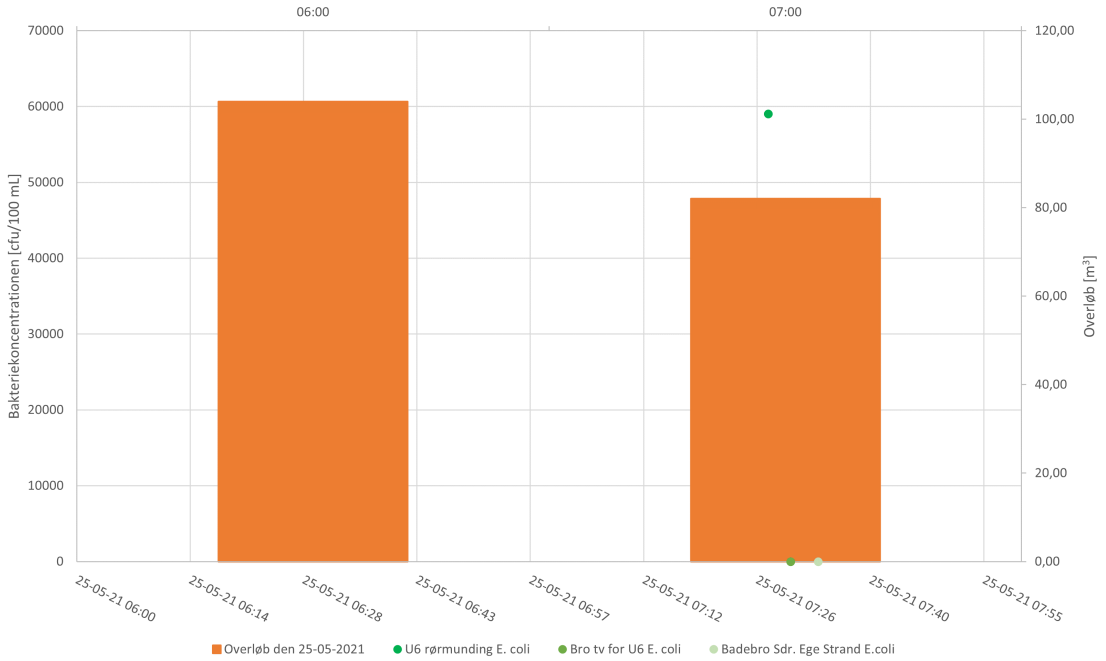
Af figur 3.11 kan variationen af bakteriekoncentrationen fundet ved prøvetagningen den 5. maj 2021 ses tydeligere. Bakteriekoncentrationen for prøverne ved broen til venstre for udløb U6 og badebroen ved Sdr. Ege Strand er ikke detekterbare. Bakteriekoncentrationen for vandprøverne udtaget ved rørmundingen i udløb U6 viser forhøjede koncentrationer i forhold til badevandsbekendtgørelsens bestemmelser for minimumsstandarden *tilfredsstillende kvalitet*, hvorfor det kan konstateres, at der på tidspunktet for prøveudtagningen ved rørmundingen i U6 var fækal forurening. Første vandprøve viste, at der var en forhøjet koncentration af *E. coli* på 144 000 cfu/100mL, hvorefter den faldt, men steg igen som følge af overløbshændelsen den 5. maj, hvor der blev målt en koncentration på 103 000 cfu/100mL.



Figur 3.11.Bakteriekoncentrationen for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. maj 2021 holdt op mod overløbshændelse den 5. maj 2021.

3.3.2 Prøvetagning den 25. maj 2021

Den 25. maj 2021 udtog Skanderborg Forsyning tre vandprøver på prøvelokaliteterne i forbindelse med en overløbshændelse den 25. maj indenfor tidsrummet 06:00 til 08:00. Bakteriekoncentrationer holdt op mod overløbshændelsen er illustreret på figur 3.12. Vandprøven i rørmundingen af U6 viste forhøjet koncentration af *E. coli* på 59 000 cfu/100mL, som er over grænsen for *tilfredsstillende badevandskvalitet*, hvorfor der kan konstateres fækal forurening på prøvetagningstidspunktet. Der kunne ikke detekteres en bakteriekoncentrationen på de resterende prøvelokaliteter.

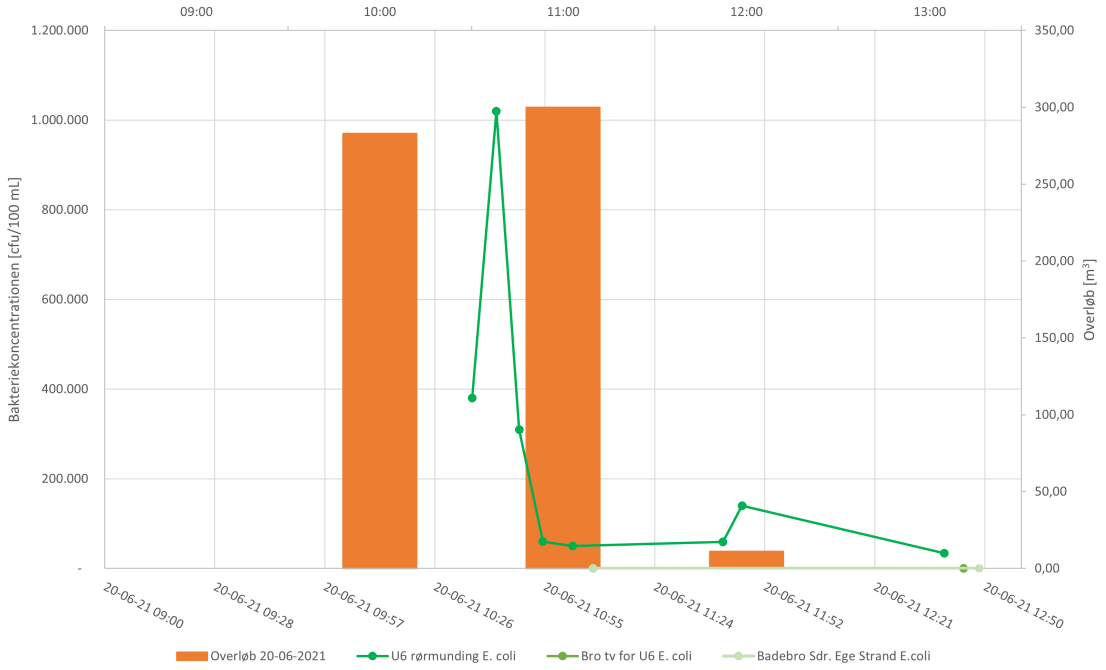


Figur 3.12.Bakteriekoncentrationen for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 25. maj 2021 holdt op mod overløbshændelse den 25. maj 2021.

3.3.3 Prøvetagning den 20. juni 2021

Skanderborg Forsyning udtog den 20. juni 2021 12 prøver af badevandskvaliteten på prøvelokaliteterne. Der forekom en overløbshændelse samme dag indenfor tidsrummet fra 10:00 til 13:00, og de 12 prøver blev udtaget både mens der forekom overløb og efter overløbshændelsen. Bakteriekoncentrationen af vandprøverne overfor overløbshændelsen er vist på figur 3.13.

Af de 12 vandprøver blev 8 af prøverne udtaget i rørmundingen i U6, hvoraf de sidste fire blev udtaget på de resterende prøvelokaliteter. Der blev i disse fire prøver ikke detekteret en bakteriekoncentration. I de 8 vandprøver i rørmundingen i U6 sker der en variation i bakteriekoncentrationen. Den første prøve blev udtaget kort tid efter overløbshændelsens påbegyndelse, hvor den blev målt til 380 000 cfu/100mL. Den anden prøve der blev udtaget målte bakteriekoncentration 1 020 000 cfu/100mL. Herefter blev der i de yderligere udtagne vandprøver målt lavere bakteriekoncentrationer, og i den sidste prøve blev der målt en bakteriekoncentration på 34 000 cfu/100mL. I alle 8 vandprøver udtaget i rørmundingen i U6 var bakteriekoncentrationen forhøjet, hvorfor der ved denne overløbshændelse kan konstateres, at der forekom en fækal forurening på prøvelokationen ved prøvetidspunkterne.



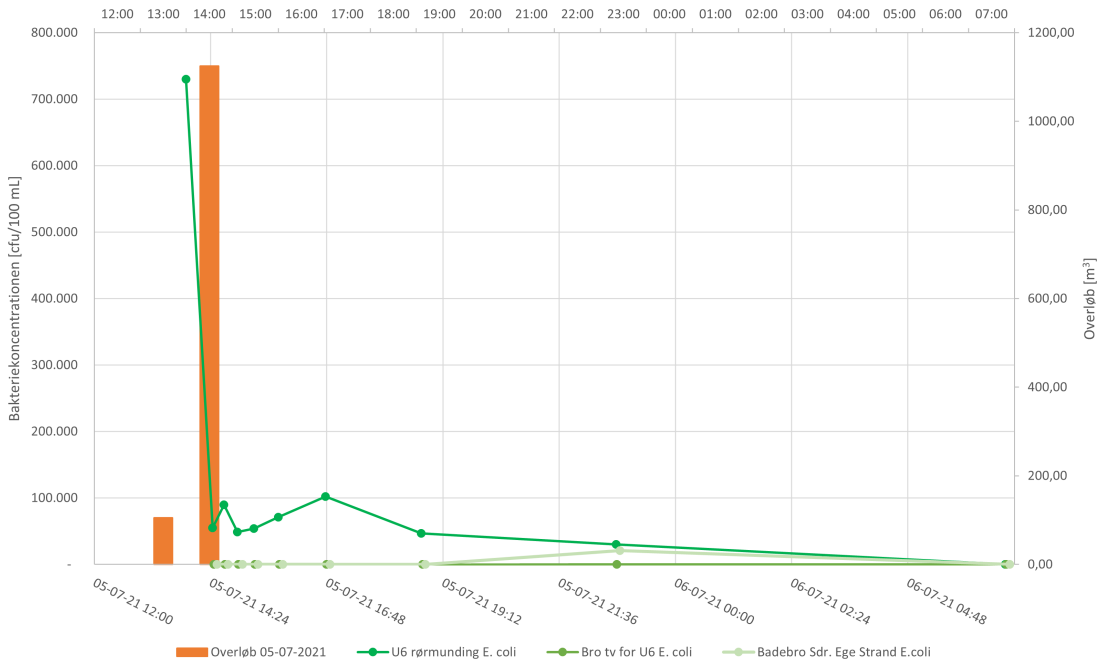
Figur 3.13.Bakteriekoncentrationen for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 20. juni 2021 holdt op mod overløbshændelse den 20. juni 2021.

3.3.4 Prøvetagning den 5. Juli 2021

Under afsnit 3.1.2 på side 27 blev det redegjort, at årets største overløbshændelse var den 5. Juli 2021 hvor 1231 m^3 blev udledt fra U6. Det er registreret, at der forekom overløb indenfor tidsrummet 13:00 til 15:00. Skanderborg Forsyning udtog vandprøver under og efter overløbshændelsen. De udtog 28 vandprøver på forskellige tidspunkter løbende fra 13:53 den 5. juli til 06:54 den 6. juli. Som den eneste af de udførte prøver af Skanderborg Forsyning af de indhentede, blev der under denne analyse også undersøgt for enterokokker. I de andre prøver er der kun undersøgt for indikatorbakterien *E. coli*. 10 ud af de 28 vandprøver er udtaget ved rørmundingen i U6. 9 ud af de 28 prøver er udtaget ved broen til venstre for udløb U6 og de sidste 9 prøver er udtaget ved badebroen ved Sdr. Ege strand.

E. coli prøver

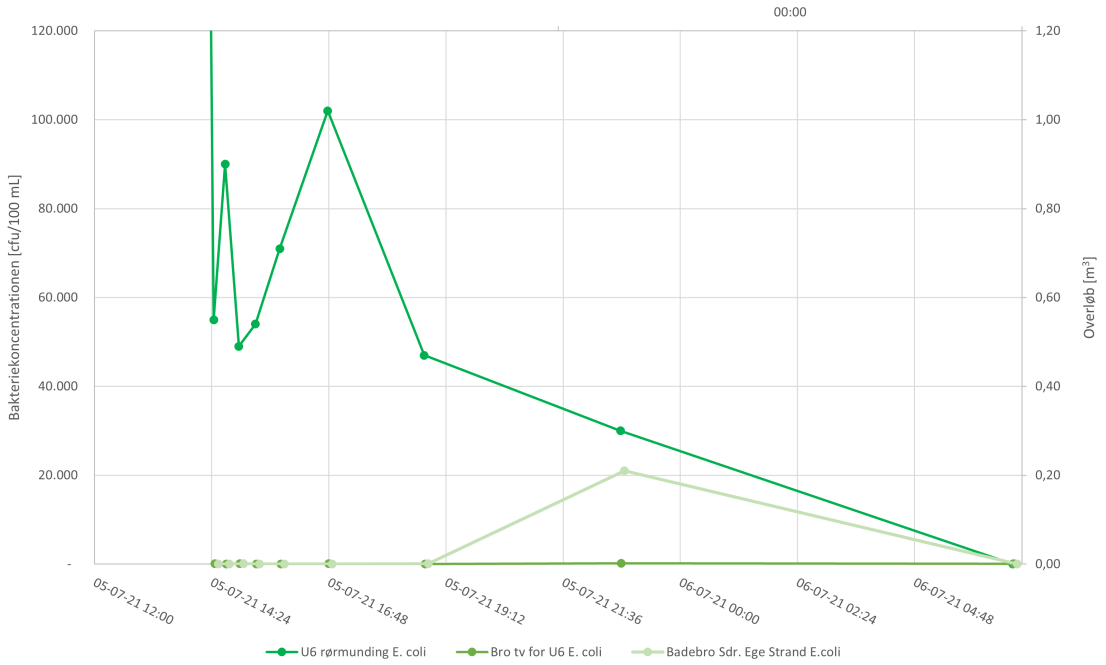
På figur 3.14 fremgår bakteriekoncentrationen af *E. coli* fra alle 28 prøver udtaget. Disse er holdt op mod den regnbetingede udledning der forekom 5. juli 2021. Første prøve i rørmundingen af udløb U6 er foretaget lige efter overløbshændelsens start, og den målte koncentration af *E. coli* var 730 000 cfu/100mL. Herefter falder koncentrationen af *E. coli* i de resterende 9 prøver udtaget i rørmundingen i udløb U6.



Figur 3.14. Bakteriekoncentrationen af *E. coli* for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021 holdt op mod overløbshændelse den 5. juli 2021.

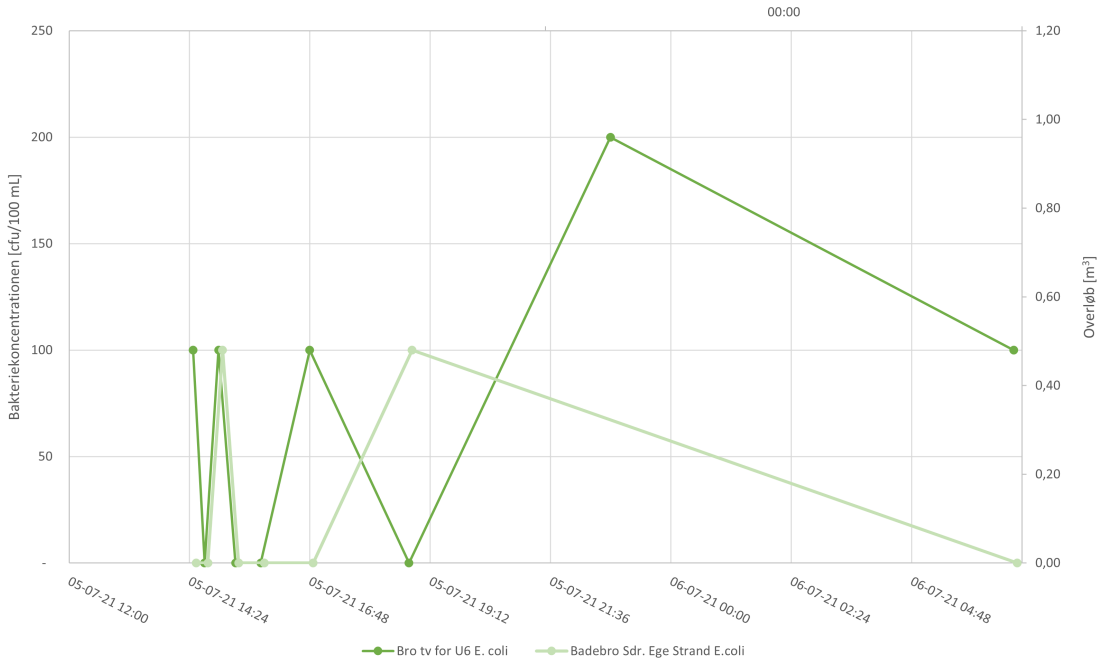
Idet den første prøve målte mange gange højere på *E. coli* koncentration end de resterende udtaget prøver, fokuseres på figur 3.15 netop på de 9 prøver i rørmundingen i udløb U6 udtaget efter første prøve. Her fremgår det, at efter første prøve falder og stiger *E. coli* koncentrationen to gange til sit sidste lokale maksimum på 102 000 cfu/100mL, hvorefter koncentrationen falder til den ikke er detekterbar i sidste prøve.

Prøverne udtaget på de andre prøvelokaliteter er af figur 3.15 svære at aflæse variationen af, hvorfor der i det følgende vil fokuseres udelukkende på *E. coli* koncentrationen på disse prøvelokaliteter. Dog kan det af figur 3.15 ses, at der er målt en *E. coli* koncentration på prøvelokaliteten ved badebroen på Sdr. Ege Strand på 21 000 cfu/100mL. Dette udstikker meget af den ellers målte koncentration på denne lokalitet, hvorfor denne udtages midlertidig ved fokusering af de andre prøver på denne lokalitet, men noteres at være en forhøjet koncentration af *E. coli*. Billeder taget af Skanderborg Forsyning konfirmerer desuden, at denne prøve er udtaget ved badebroen ved Sdr. Ege Strand, idet der kunne være formodning om fejl ved ombytning af prøver.



Figur 3.15.Bakteriekoncentrationen af *E. coli* for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021 med indskrænket fokusområdet.

Der fokuseres på de resterende prøver udtaget på prøvelokaliteterne "Bro tv for U6"og "Badebro Sdr. Ege Strand"af figur 3.16. Koncentrationen af *E. coli* varierer så meget fra prøve til prøve, at den næsten ikke er detekterbar idet der ved tælling i petriskåle varieres mellem tællinger på 0 og 1 cfu/mL udover 1 prøve ved lokaliteten "Bro tv for U6"hvor der tælles 2 cfu/mL. Der kan derfor være stor usikkerhed forbundet med koncentrationen af *E. coli* i de udtaget prøver. Dog gælder det, for de viste prøver på figur 3.16, at de ikke overstiger bestemmelserne for *udmærket kvalitet*.



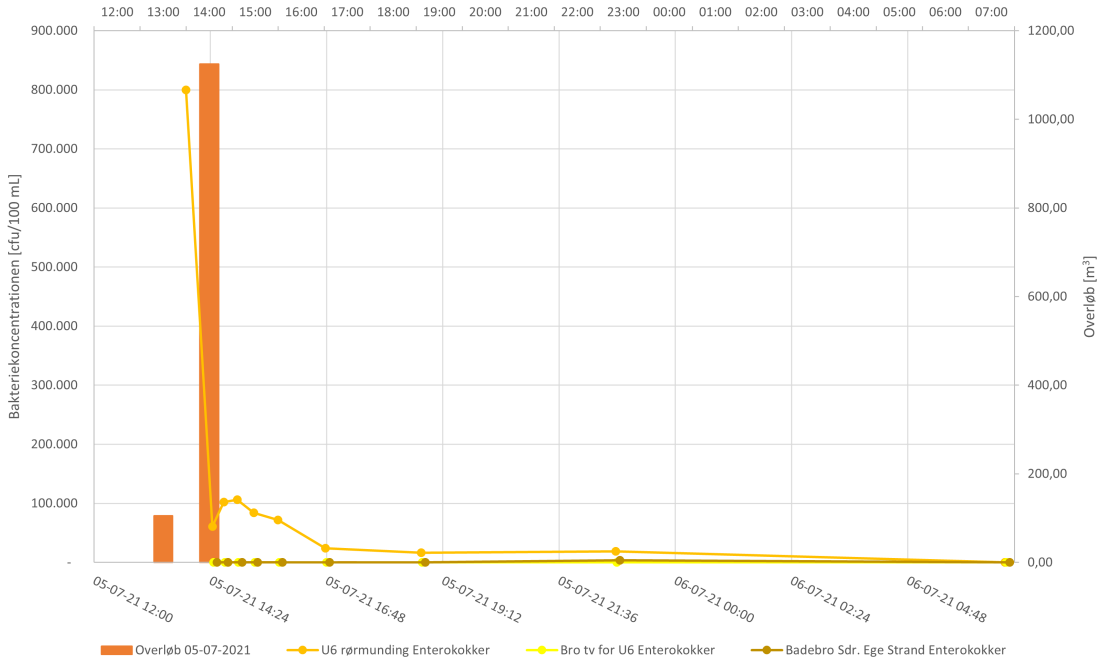
Figur 3.16.Bakteriekoncentrationen af *E. coli* for prøver udtaget ved 2 af prøvelokaliteterne udført af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021.

Prøverne viste forhøjede koncentrationer af *E. coli* i 9 ud af 10 prøver udtaget ved rørmundingen i udløb U6, hvor af den sidste prøve ikke var detekterbar. Derfor opfyldte badevandskvaliteten ikke minimumsstandarden *tilfredsstillende kvalitet* på prøvetidspunktet for de 9 første vandprøver, og der var derfor fækal forurening. Såfremt der ikke er fejl forbundet med prøven udtaget på prøvelokaliteten "Badebro Sdr. Ege Strand"der målte en *E. coli* koncentration på 21 000 cfu/100mL, er dette også en forhøjet koncentration i forhold til minimumsstandarden *tilfredsstillende badevandskvalitet.*

Enterokokker prøver

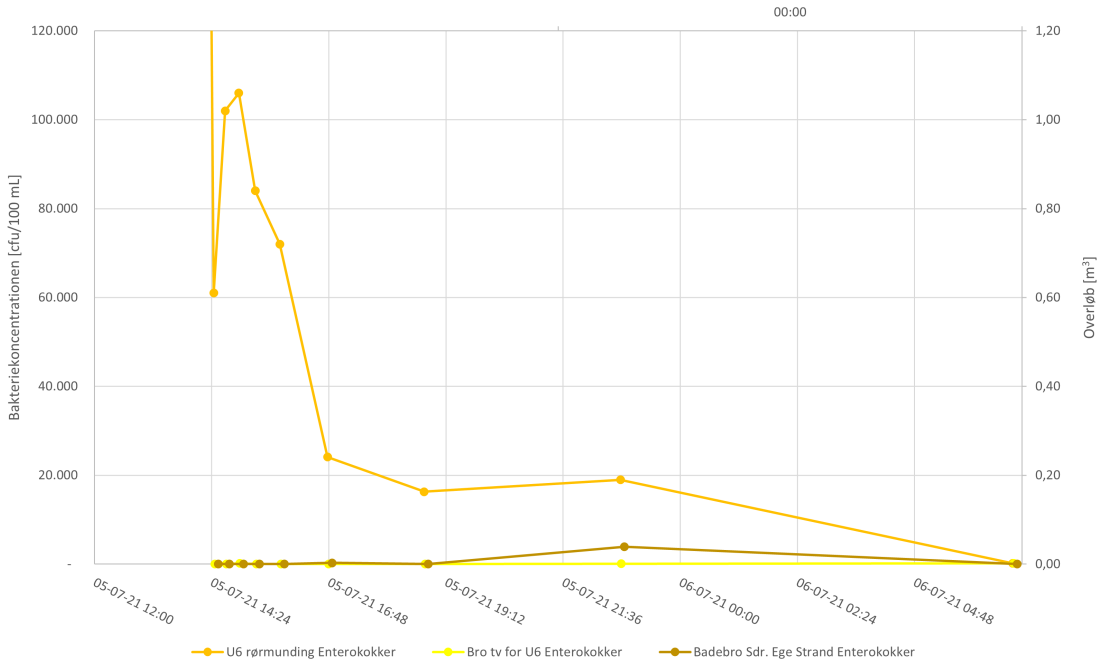
De samme prøver der blev undersøgt for *E. coli* koncentration blev ligeledes undersøgt for enterokokker, der også er indikatorbakterier.

Ligesom for *E.coli* viste undersøgelsen for enterokokker også en meget høj måling af enterkokker i første prøve på 800 000 cfu/100mL, hvilket fremgår af figur 3.17. Herefter falder koncentrationen drastisk i de resterende prøver, og der vil derfor i det følgende fokuseres på variationen i disse.



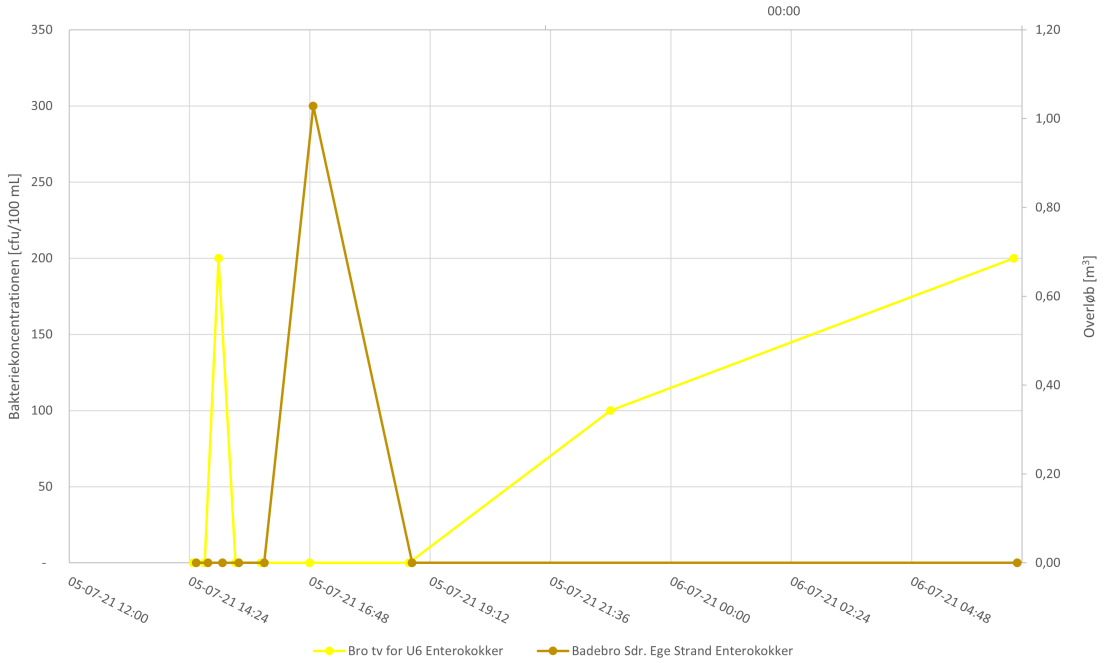
Figur 3.17. Bakteriekoncentrationen af enterokokker for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021 holdt op mod overløbshændelse den 5. juli 2021.

Figur 3.18 viser tydeligere variationen i enterokokker koncentrationen på prøvelokaliteten ved rørmundingen i udløb U6. Efter første prøve falder koncentrationen, hvorefter den stiger til det sidste lokale maksimum på 106 000 cfu/100mL. Derefter falder koncentrationen til der i den sidste prøve blev målt 200 cfu/100mL. Det er af figur 3.18 svært at analysere variationen på de andre prøvelokaliteter, hvorfor disse lokaliteter undersøges eksklusivt.



Figur 3.18. Bakteriekoncentrationen af enterokokker for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021 med indskrænket fokusområde.

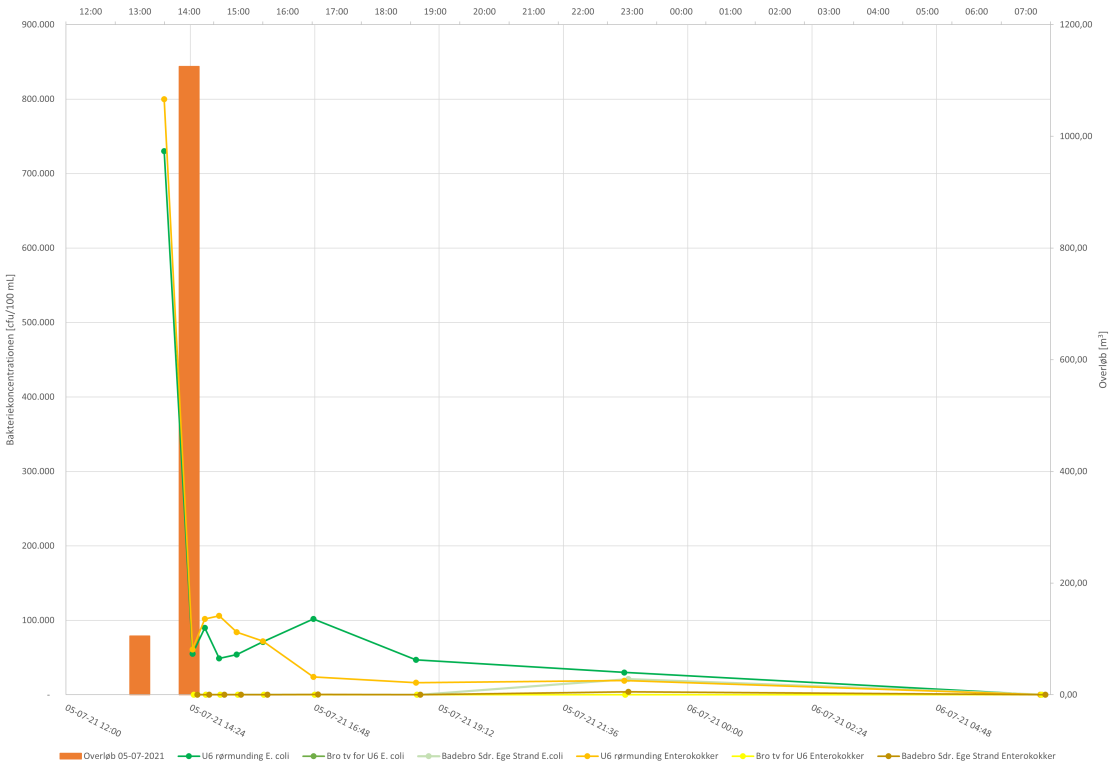
På figur 3.19 er prøverne for lokaliteterne "Bro tv for U6"og "Badebro Sdr. Ege Strand"vist. Ligesom for *E. coli* koncentrationen på disse lokaliteter, er der for enterokokker også store spring imellem de målte koncentrationer. Der hæftes den samme usikkerhed ved disse, hvor tællingerne i petriskåle springer mellem 0, 1, 2 og 3 cfu/mL. Den 6. prøve udtaget viste en måling af enterokokker på 300 cfu/100mL, hvilket er forhøjet i forhold til bestemmelserne for *udmærket kvalitet* på 200 cfu/100mL, men under bestemmelserne for god badevandskvalitet på 400 cfu/100mL.



Figur 3.19.Bakteriekoncentrationen af enterokokker for prøver udtaget ved 2 af prøvelokaliteterne udført af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021.

Prøverne for intestinale enterokokker viste på prøvelokaliteten i rørmundingen i udløb U6 forhøjede koncentrationer i forhold til minimumsstandarden *tilfredsstillende badevandskvalitet* i 9 ud af 10 prøver, hvorfor der kan konstateres fækal forurening på prøvetidspunktet i disse vandprøver. Ligeledes var der forhøjet koncentration af enterokokker ved badebroen Sdr. Ege Strand i forhold til bestemmelserne for *udmærket badevandskvalitet.*

På figur 3.20 er prøverne for både *E. coli* og enterokokker den 5. juli 2021 opstillet, for at se korrelationen imellem dem. Det er kun muligt af figuren at tyde korrelationen imellem dem på prøvelokaliteten ved udløb U6. Prøverne viser, at spredningen eller henfaldet af bakterierne følger hinanden tilnærmelsesvist, idet der for begge indikatorbakterier i overløbshændelsens start blev målt meget høje koncentrationer, og de på de efterfølgende prøvetidspunkter blev målt signifikant lavere koncentrationer.



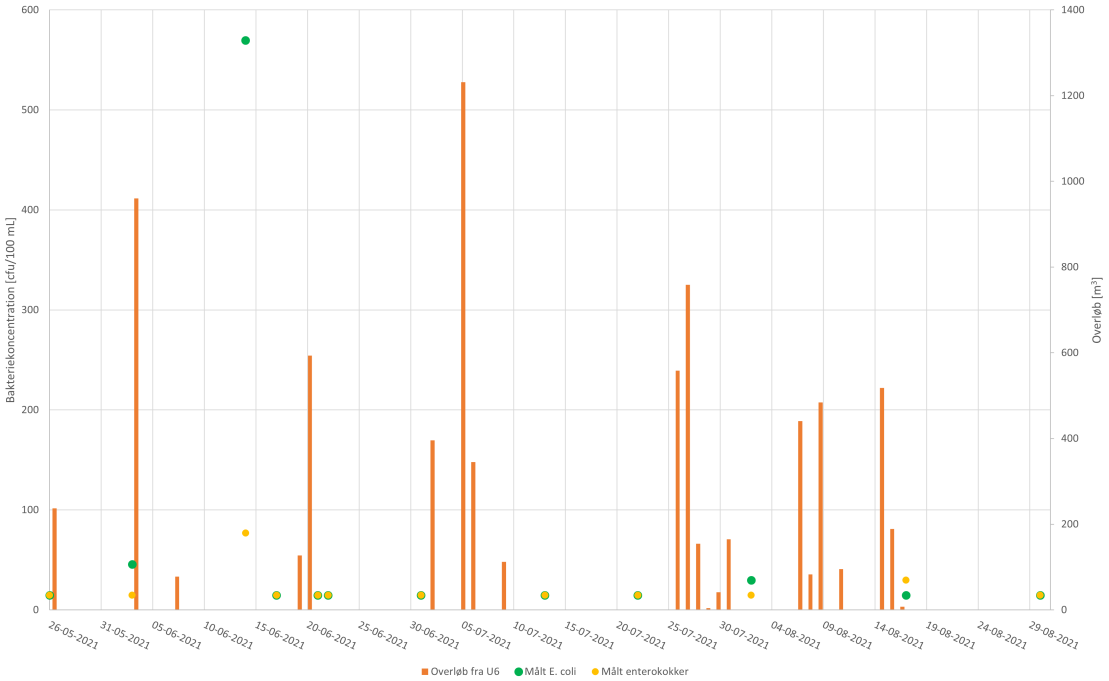
Figur 3.20. Bakteriekoncentrationen af både *E. coli* og enterokokker for prøver udtaget af Skanderborg Forsyning den 5. juli 2021 holdt op mod overløbshændelse den 5. juli 2021.

3.4 Behandling af data fra Skanderborg Kommune

Skanderborg Kommune er forpligtet til i forhold til badevandsbekendtgørelsen og Blå Flag-ordningen at kontrollere badevandskvaliteten ved Sdr. Ege Strand i badesæsonen. Ifølge Blå Flag-ordningen skal der udtages 10 prøver, og i følge badevandsbekendtgørelsen skal der udtages minimum 4 prøver hver badesæsonen. I badesæsonen 2021 ved Sdr. Ege Strand har kommunen udtaget 12 prøver. De vil i det følgende præsenteres.

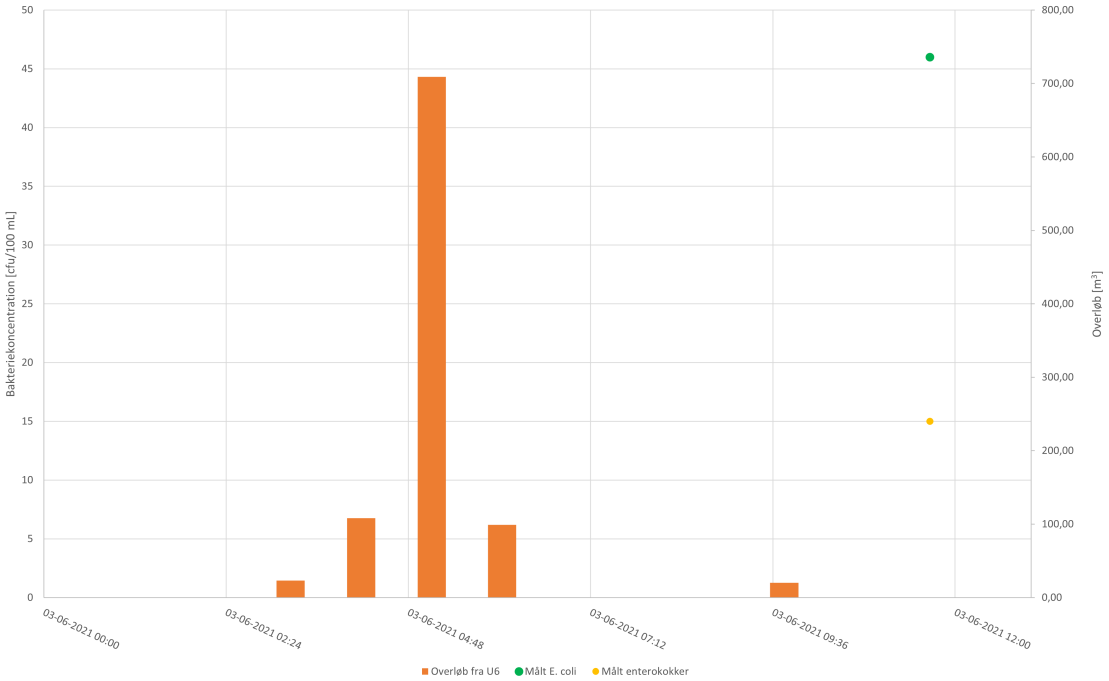
Skanderborg Kommune akkrediterer undersøgelsen til ekstern part, og det er Højvang Laboratorier A/S, der har udtaget og analyseret prøver ved Sdr. Ege Strand i badesæsonen 2021. Kontrolovervågningsstedet hvor prøverne er udtaget er ved badebroen ved Sdr. Ege Strand, og dette er gjort i overensstemmelse med badevandsprofilen for Sdr. Ege Strand [Skanderborg Kommune og ALETICA A/S, 2012]. Prøverne er udtaget efter kontrolovervågningsplanen, som er udarbejdet af Skanderborg Kommune og indsendt til Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning [Miljøministeriet, 2012]. Alle prøverne er analyseret for indikatorbakterierne *E. coli* og intestinale enterokokker.

Figur 3.21 viser alle målinger for henholdsvis *E. coli* og enterokokker foretaget efter kontrolovervågningsplanen, hvilket vil sige at det er målinger lige før, henover og lige efter badesæsonen. Målingerne holdes op mod regnbetingede udledninger i denne periode. Prøverne er udtaget med nogenlunde samme interval imellem hver. Det der er relevant at undersøge er, om der er udtaget prøver i forbindelse med eller tæt på overløbshændelser. I den forbindelse vil der fokuseres på målinger i primo og medio juni 2021, samt medio august 2021.



Figur 3.21. Bakteriekoncentrationen af begge indikatorbakterier *E. coli* og enterokokker fra prøver udtaget af Højvang Laboratorier for Skanderborg Kommune lige før, over og lige efter badesæsonen 2021 holdt op mod overløbshændelserne i samme periode.

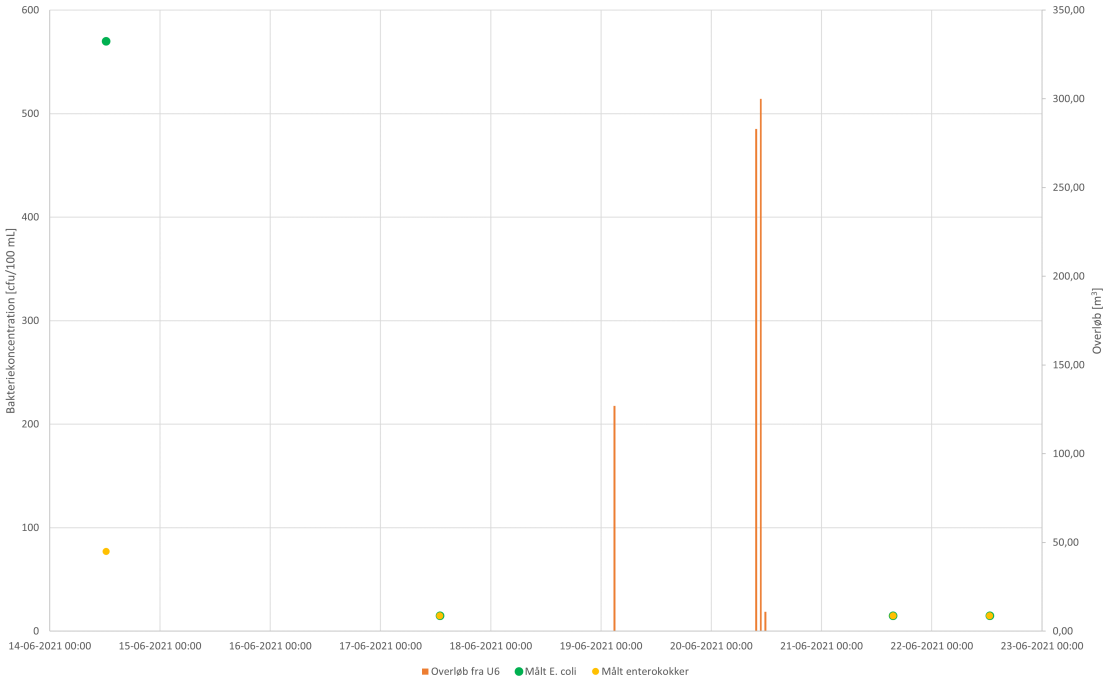
Der blev den 3. juni kl 11:40 udtaget prøver, og der var forekommet overløbshændelse indenfor tidsrummet 03:00 til 07:00 den 3. juni, og igen inden for tidsrummet 10:00 til 11:00. Fra 03:00 til 07:00 blev der registreret en overløbsmængde på 939 m^3 og fra 10:00 til 11:00 en overløbsmængde på 20 m^3. Kl 11:40 blev der målt en koncentration af henholdsvis *E. coli* og intestinale enterokokker på 46 cfu/100mL og <15 cfu/100mL.



Figur 3.22.Bakteriekoncentrationen af begge indikatorbakterier *E. coli* og enterokokker fra prøver udtaget den 3. juni 2021 af Højvang Laboratorier for Skanderborg Kommune holdt op mod overløbshændelserne udmiddelbart op til prøvetagningen.

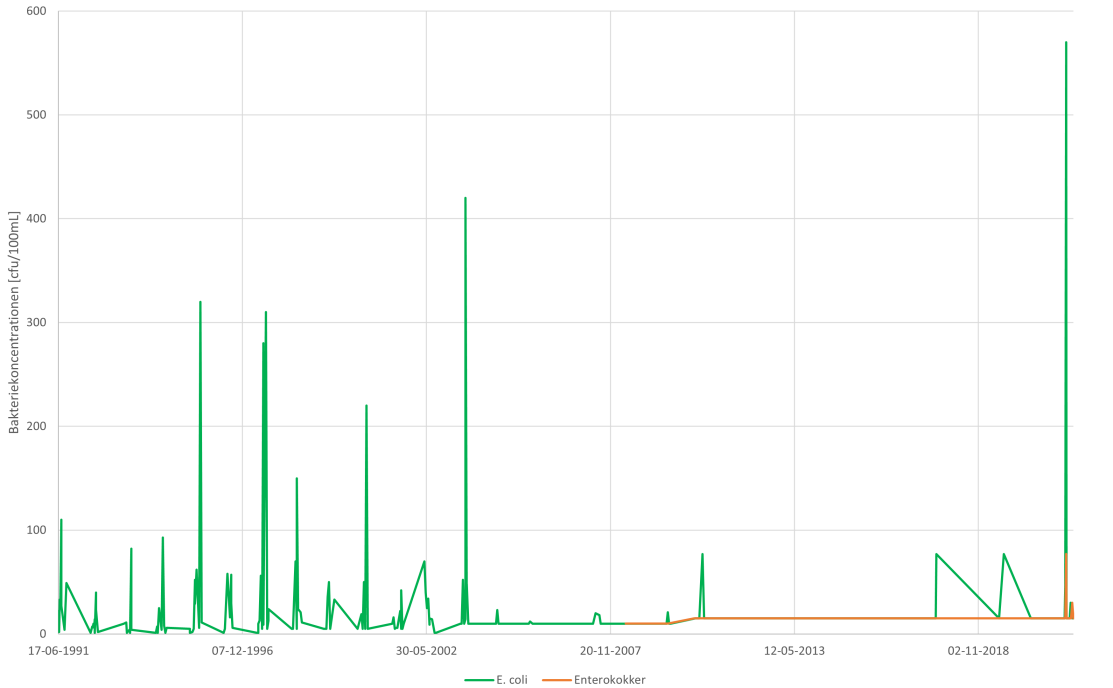
Den 14. juni udtog Højvang Laboratorier en prøve ved badebroen ved Sdr. Ege Strand der målte 570 cfu/100mL på *E. coli* koncentration og 77 cfu/100mL på enterokokker koncentration. Kommunen anså *E. coli* koncentrationen som indikation for fækal forurening og der blev den 17. juni udtaget en supplerende prøve for at undersøge om forureningen var kortvarig, og om den var ophørt. Den 17. juni blev der målt <15 cfu/100mL på *E. coli* koncentration og <15 cfu/100mL på enterokokker koncentration. Det er ikke bekendt hvad årsagen var til den kortvarige forurening ud fra de data der indhentet. Der var således ikke regnbetingede udledninger før eller under prøvetidspunktet for målingen den 14. juni 2021. Det kan formentlig skyldes andre punkt- eller diffuse kilder, såsom spredt bebyggelse.

Der blev også udtaget prøver henholdsvis den 21. og 22. juni, og der forekom som før nævnt overløbshændelse den 20. juni. Målingerne den 21. og 22. juni viste ikke koncentrationer på henholdsvis *E. coli* og enterokokker over 15 cfu/100mL.



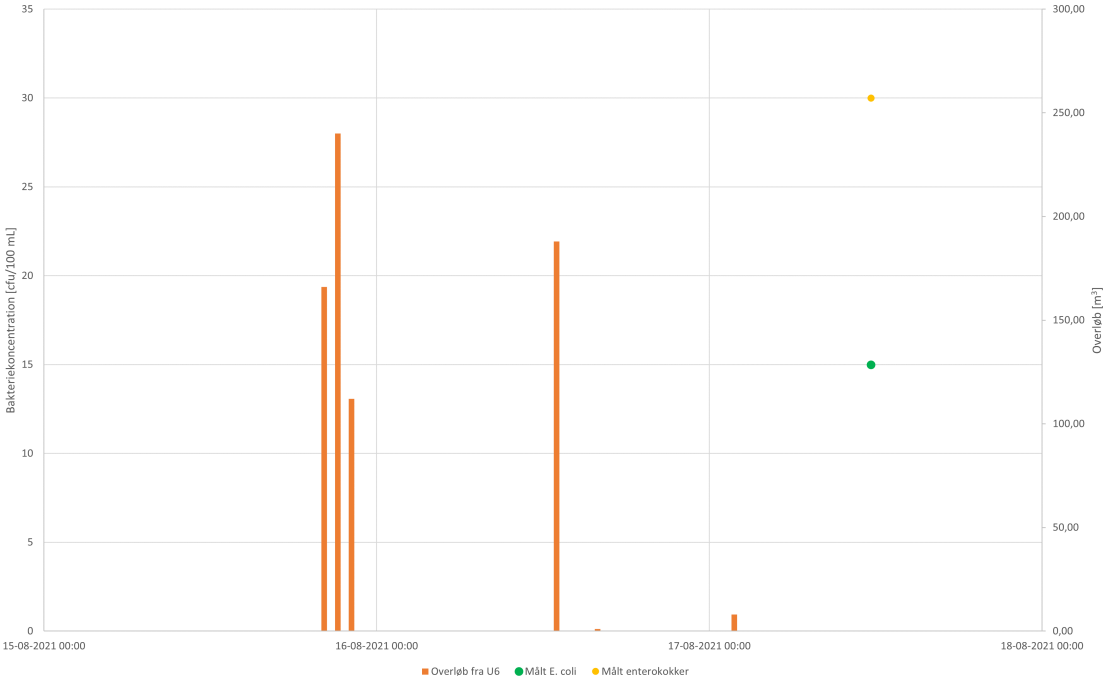
Figur 3.23.Bakteriekoncentrationen af begge indikatorbakterier *E. coli* og enterokokker fra prøver udtaget i medio juni 2021 af Højvang Laboratorier for Skanderborg Kommune holdt op mod overløbshændelserne i samme periode.

Historisk er *E. coli* koncentrationen den 14. juni 2021 også den højest målte koncentration siden 1991, hvilket illustreres på figur 3.24.



Figur 3.24.Bakteriekoncentrationen af begge indikatorbakterier *E. coli* og enterokokker fra prøver udtaget i perioden 1991 til 2021 for *E.coli* og 2008 til 2021 for enterokokker.

Den 15., 16. og 17. august 2021 forekom der overløbshændelser, og prøver af badevandskvalitet blev udtaget den 17. august. Overløbsmængderne den 15., 16. og 17. august var 518 m^3, 189 m^3 og 8 m^3. Målingerne af badevandskvaliteten viste koncentrationer af *E. coli* og enterokokker på <15 cfu/100mL og 30 cfu/100mL.

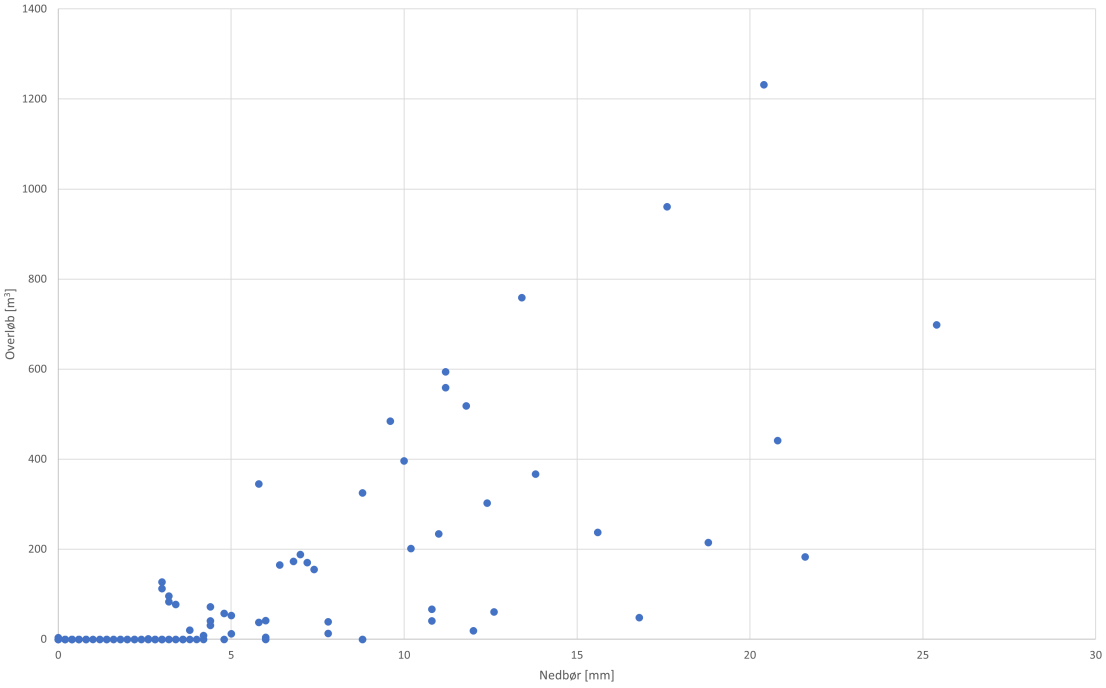


Figur 3.25. Bakteriekoncentrationen af begge indikatorbakterier *E. coli* og enterokokker fra prøver udtaget den 17. august 2021 af Højvang Laboratorier for Skanderborg Kommune holdt op mod overløbshændelserne udmiddelbart op til prøvetagningen.

Udover én prøve af de 12 udtagne viste målingerne ikke forhøjede koncentrationer af indikatorbakterierne i forhold til badevandsbekendtgørelsens bestemmelser. Den ene prøve den 14. juni 2021 der viste forhøjet koncentration af *E. coli* var i forhold til bestemmelserne for *udmærket badevandskvalitet*. Herefter blev der udtaget en supplerende prøve tre dage efter, der ikke viste forhøjet koncentration af *E. coli*. Årsagen til forureningen er ukendt, men kan være eksempelvis spredt bebyggelse. Der er nogle få prøver der udtages samme dag eller dagen efter overløbshændelser, men ved disse prøver blev der ikke målt forhøjede koncentration af indikatorbakterierne.

3.5 Opsummering af databehandling

Generelt kunne der ses en sammenhæng imellem den målte vandføring i udløb U6 og nedbør målt via nedbørsmåleren placeret i nærområdet. Det fremgår også af figur 3.26, hvor nedbør og overløb målt i år 2021 er plottet. Omkring 4-5 mm målt nedbør i døgnet blev der typisk registreret små overløb. Samtidig er nogle af de dage, hvor det har regnet mest også disse dage med de største overløbshændelser. Tidligere blev det også præsenteret, at der var tydelig variation i årstiderne, hvor sommerperioden, og dermed badesæsonen, oplevede størst og flest overløbshændelser som følge af intense og store nedbørshændelser. Der var dog mange og store overløbshændelser i de andre årstider.

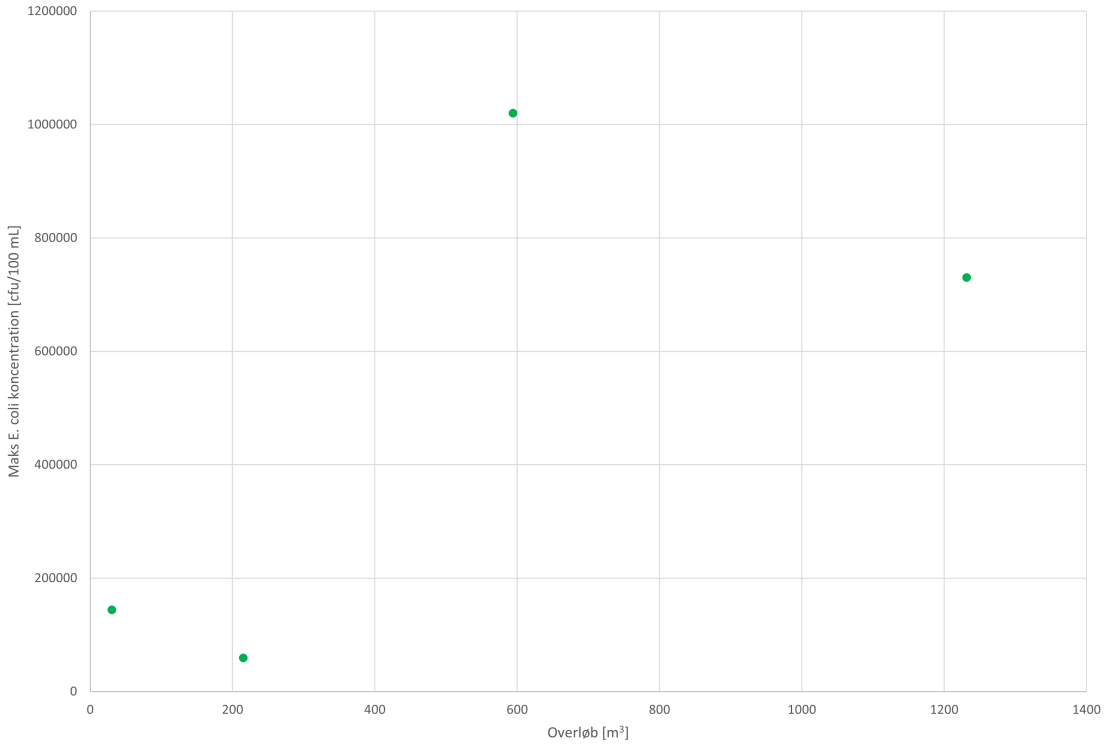


Figur 3.26. Målt nedbør plottet mod målt overløb over døgn i 2021.

Overløbshændselserne blev holdt op mod prøver, der detekterede bakteriekoncentrationen.

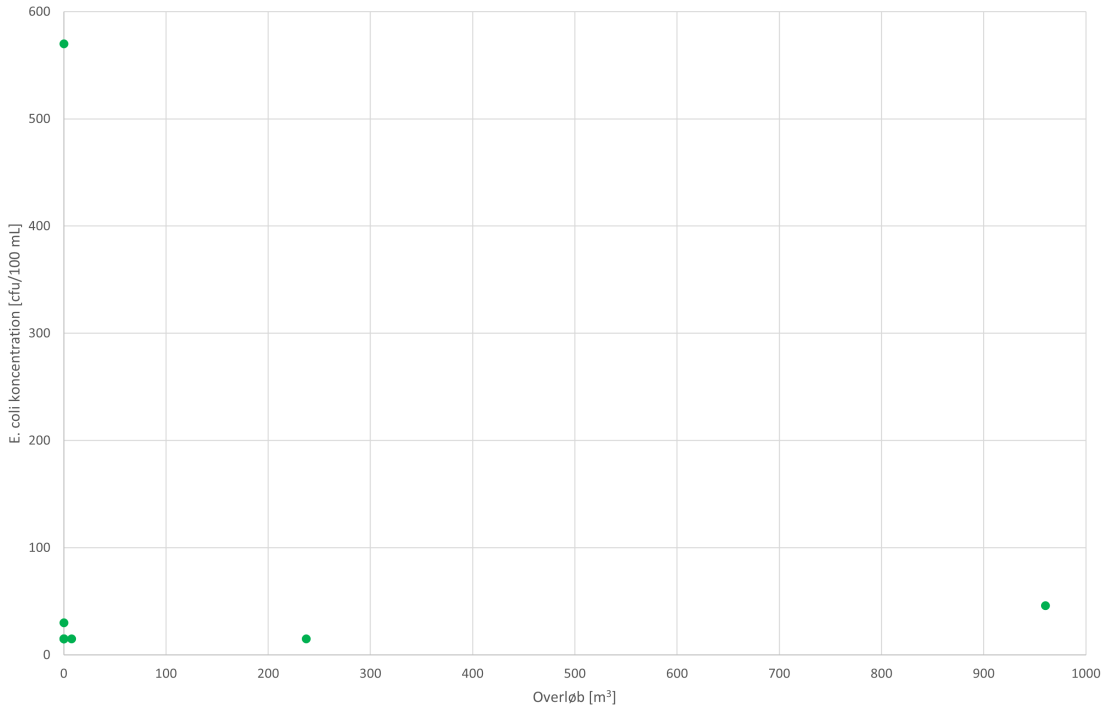
Den 10. november 2021 blev der i forbindelse med projektet udtaget prøver der blev analyseret for indikatorbakterierne *E. coli* og intestinale enterokokker. Prøverne viste, at der var forhøjede koncentrationer af begge indikatorbakterier i rørmundingen i udløb U6. Dette var ikke en effekt af en overløbshændelse, idet der ikke blev registreret overløb umiddelbart op til prøvetagningen.

Skanderborg Forsyning har i år 2021 udtaget og analyseret prøver af badevandskvaliteten i forbindelse med regnbetingede udledninger. Det er gjort på fire forskellige dage. Prøverne blev udtaget umiddelbart under og efter overløbshændelserne. Målingerne udtaget i rørmundingen i udløb U6 viste ved alle prøvetagningerne forhøjede koncentrationer af indikatorbakterier. Specifikke og interessante målinger viste, at der den 5. juli 2021 blev målt forhøjede koncentrationer af *E.coli* ved badebroen placeret ved Sdr. Ege Strand i forhold til bestemmelserne for minimumsstandarden *tilfredsstillende badevandskvalitet* samt forhøjede koncentrationer af enterokokker ved badebroen placeret ved Sdr. Ege Strand i forhold til bestemmelserne for *udmærket badevandskvalitet*. Sammenhængen imellem de maksimale målte koncentrationer af *E. coli* og overløb over døgn i 2021 præsenteres på figur 3.27, hvor det ved disse specifikke hændelser er klart, at der er en sammenhæng imellem høje koncentrationer af *E. coli* og store overløbsmængder. Formentlig kunne grunden til, at der blev målt højere koncentrationer af *E. coli* ved en overløbsmængden på cirka 600 m^3 overfor en overløbsmængde på cirka 1200 m^3, være en kombination af større intensitet af nedbør og dermed overløb, hvilket ligeledes kan have revet biofilm indvendig i kloakrøret frit, samt mængden af urenset spildevand i kloakken på dette tidspunkt har været større.



Figur 3.27. Målte døgnoverløbsmængder plottet overfor maksimalt målte *E. coli* koncentrationer over døgn fra prøver udtaget af Skanderborg Forsyning i 2021.

Skanderborg Kommune har, som følge af forpligtelsen til badevandsbekendtgørelsen og Blå Flag-ordningen, udtaget prøver efter kontrolovervågningsplanen. Der blev registreret forhøjede koncentrationer af *E. coli* den 14. juni 2021 i forhold til bestemmelserne for *udmærket badevandskvalitet*. Det antages ikke at være en effekt af regnbetinget udledning i udløb U6. Dette fremgår af figur 3.28, hvor overløbsmængderne er plottet mod *E. coli* koncentrationen. Det kan ses, at der ikke forekom overløb, da der blev målt en historisk høj *E. coli* koncentration på 570 cfu/100mL af Skanderborg Kommune. Mulige årsager og usikkerheder omkring disse målinger diskuteres i næste kapitel, men resultaterne kan indikere, at der forekommer tilfældigheder ved prøveudtagningen, og at det skaber variabilitet i målingerne.



Figur 3.28. Målte døgnoverløbsmængder plottet overfor målte *E. coli* koncentrationer over døgn fra prøver udtaget af Skanderborg Kommune i 2021.

I det følgende kapitel vil nogle af præsenterede hændelser og målinger diskuteres og vurderes i henhold til usikkerheder og andre forhold, der har indflydelse.

4 Diskussion

Under dette kapitel vil det diskuteres hvilke usikkerheder der er forbundet med bakteriologiske målinger, herunder også de udtaget af henholdsvis Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning. Derudover vil det diskuteres, hvilke forhold der har indvirkning på forekomsten og spredningen af bakterier samt indflydelse på nedbøren. Ydermere vil betydningen af afgrænsningen i dette projekt diskuteres.

4.1 Usikkerhed ved bakteriologiske målinger

Der er usikkerheder forbundet med bakteriologiske målinger. Det kan der både være under prøveudtagningen samt håndteringen af analysen af bakterier [Dufour et al., 1981].

Usikkerheden forbundet med prøveudtagningen kan minimeres ved at udtage duplikater på prøvelokaliteterne [Dufour et al., 1981]. Skanderborg Kommune udtager kun enkeltprøver, når de foretager prøveudtagningen ifølge kontrolovervågningsplanen. Skanderborg Forsyning har, på nogle af prøvetagningsdatoerne, udtaget flere duplikater på de pågældende prøvelokaliteter, hvilket har været med til at sikre et mere retvisende resultat af bakteriekoncentrationen.

Usikkerheden ved analyse af bakteriekoncentrationen mindskes ved at være særlig omhyggelig under udførelsen af analysen. Det er blandt andet omhyggelighed ved pipettering, fortynding, opblanding af medium, omrystning, udstrygning på medium i petriskåle og tællingen af koloniformende enheder, der er væsentlige [Dufour et al., 1981]. Flere af de steps, og dermed usikkerheden forbundet i disse, kan nedbringes en smule ved brug af metoden udarbejdet af IDEXX Laboratories, hvor medierne kommer i færdige formularer, og skal tilsættes fortyndingen [IDEXX Laboratories, 2021]. Tællingen gøres derfor også mere præcis, idet egenskaber i medierne får vandet til at skifte farve eller lyse op under ultraviolet lys. Det er imidlertid ikke metoden udarbejdet af IDEXX Laboratories, som Skanderborg Kommune benytter til analyse af bakterologisk målinger, og det er heller ikke tilfældet ved Skanderborg Forsyning.

4.2 Data fra Skanderborg Kommune

Skanderborg Kommune har udtaget prøver af badevandskvaliteten efter kontrolovervågningsplanen udarbejdet og planlagt før badesæsonens start, hvorfor der ikke som udgangspunkt tages højde for specifikke overløbshændelser. Der skal være et bestemt tidsinterval imellem prøveudtagningerne, og de fordeles således der ikke forekommer intervaller på mere end 30 dage imellem, hvilket sikrer at prøvetagningerne spredes udover hele badesæsonen.

Desuden skal prøven forelægger senest 4 dage efter det i kontrolovervågningsplanens angivne tidspunkt. Dette kan dog medføre, at der ikke ikke tages højde for mulige forureningskilder som eksempelvis overløb ved kraftige nedbørshændelser, hvorfor de muligvis ikke ikke opdages og gæsterne dermed ikke advares. Efter gennemgang af Skanderborg Kommunes prøver udtaget i badesæsonen 2021 er det registreret, at der blev udtaget én prøve samme dag, som der forekom en overløbshændelse. Det skete den 3. juni 2021. Prøverne målte ikke forhøjede koncentrationer i forhold til bestemmelserne i badevandsbekendtgørelsen, men prøven på *E. coli* målte 46 cfu/100mL, hvorfor der derfor blev detekteret en lille forekomst af *E. coli*. En usikkerhed forbundet med prøvetagningen udført af Skanderborg Kommune er yderligere, at der udtages enkeltprøver, og som det er beskrevet tidligere sikrer dette muligvis ikke et retvisende resultat af badevandskvaliteten, da et sådan resultat opnås ved at foretage måleserier, og derfor flere duplikater af badevandet. En enkeltprøve viser derfor kun et kortvarigt indtryk af badevandskvaliteten, hvilket både kan have positive og negative konsekvenser. Der blev eksempelvis udtaget en prøve den 14. juni 2021 der målte en *E. coli* koncentration på 570 cfu/100mL, som er det historisk højest målte på dette sted. Prøven kunne ikke umiddelbart registreres som en effekt af et overløb, hvorfor forureningskilden er diffus. Det kan eksempelvis være, at der har været hvirvlet sediment op fra jordbunden med en større koncentration af *E. coli*. Det kunne også være en særlig tilfældighed såsom afføring fra fugle umiddelbart før prøveudtagningen lige ved prøveudtagningsstedet, men det kan også skyldes manglende data på spredt bebyggelse eller nødoverløb fra pumper via udledninger i nærheden. Her kunne der muligvis være opnået større information om forureningen med en måleserie.

4.3 Data fra Skanderborg Forsyning

Skanderborg Forsyning har foretaget prøvetagningerne af badevandskvaliteten så tæt omkring tidspunkter for overløbshændelser. Dette undersøger fækal forurening via overløb, hvilket modsat Skanderborg Kommune's målinger giver et tydeligere billede af forurening ved disse hændelser. Det kunne være interessant, hvis Skanderborg Forsyning, som en del af samarbejdet på Sikkert Søbad ||, spredte prøvetagning ud over hele badesæsonen, inklusiv under overløbshændelser, for at opnå et klarere billede af den generelle badevandskvalitet, herunder om der forekommer andre betydelige forureningskilder, som burde undersøges, såsom spredt bebyggelse eller sedimentet. De to sidste prøvetagningerne udført den 20. juni og 5. juli gav et betydeligt bedre resultat af koncentrationen af bakterier under overløbshændelserne over tid i forhold til de to første prøvetagninger den 5. og 25. maj, idet der blev udtaget flere duplikater, og målingerne den 20. juni og 5. juli viste at koncentrationen af bakterierne faldt over tid efter overløbshændelsen, hvilket understøtter betydningen af en måleserie.

Prøvetagningerne ved specielt lokaliteterne "Bro tv for U6"og "Badebro Sdr. Ege Strand"viste, at prøver kan være meget varierende, hvilket kan skyldes usikkerheder forbundet med metoden til at bestemme de koloniformende enheder, som også er nævnt tidligere. Ideelt ville MPN-metoden(Most Probable Number) som der benyttes ved systemerne udarbejdet af IDEXX Laboratories nedbringe usikkerheden ved tællingerne. I forhold til hvor betydelig ændring det ville få er ikke klart, og der er flere andre faktorer der gør sig gældende i en sådan situation. Det er meget sandsynligt, at variationen i

prøverne også skyldes tilfældigheder ved prøvetagningen.

4.4 Forhold der har indflydelse på forekomsten af bakterier i naturligt miljø

Det blev beskrevet i indledningen under afsnit 1.3.1 på side 7 omhandlende indikatorbakterierne, at det er almindeligt kendt at bakterierne ikke overlever længe i ferskvandsmiljøer. Der er flere forhold, der har indflydelse på bakteriernes henfald, og specielt lys er en vigtig faktor. Et studie udført af Reed [1997], undersøger inaktivering af henholdsvis *E. coli* og *Enterococcus faecalis* under påvirkning af lys og oxygen. Studiet viste, at bakterierne henfaldte under påvirkning af lys, og i højere grad under aerobe forhold. Der var større tilbøjelighed til bakteriernes overlevelse og vækst uden påvirkning af lys både under aerobe og anaerobe forhold. Vand kan filtrere sollys, hvorfor de henfald af bakterier i den øverste del af vandsøjlen vil være størst, og overlevelsen vil være højst i den dybere del af vandsøjlen og i sediment [Jang et al., 2017]. Det gør interessen for at undersøge bakteriernes vækst i sediment større, idet der her ikke er den samme påvirkning af lys, som i vandmiljøet.

Studier af Jang et al. [2017] antyder, at tilstedeværelsen af *E. coli* i miljø udenfor værtsorganismer er velkendt, selvom de har oprindelsen i dem. Det kan skyldes, at der er ascendente stammer der oprindeligt var miljøbakterier, hvis primære levested var sediment. De faktorer der har indflydelse på forekomsten af *E. coli* i det naturlige miljø er temperatur, pH, som før nævnt solstråling og tilgængeligheden af vand og næringsstoffer. Derudover er det også en vigtig faktor, om der er tilstedeværelse af andre mikroorganismer i forhold til at konkurrere om næring og danne biofilm.

Specielt temperatur har en afgørende betydning ifølge Jang et al. [2017]. I tarmen på værtsorganismer er temperaturen omkring 36-40 °C, men *E. coli* har en højere dødelighedsfrekvens ved temperaturer over 30 °C end under 15 °C, hvilket indikerer at *E. coli* kan overleve temperaturer i det naturlige miljø der typisk ligger under 30 °C for Danmark der ligger i det tempererede klimabælte. Studiet viste også, at tilgængeligheden af vand gør vækstbetingelserne for *E. coli* vanskelige, hvilket indikerer at tilbøjeligheden for henfald af *E. coli* i ferskvandsmiljø er stor. [Jang et al., 2017]

Skulle dette projektet fortsætte ville det have været interessant at udtage sedimentprøver fra Knudsø, og undersøge disse, samt udtagne vandprøver, i forhold til nogle af de nævnte faktorer, der har indflydelse på vækst og overlevelse af *E. coli* og enterokokker. Det ville være interessant, idet badeområdet ved Sdr. Ege Strand kan være eksponeret for fækal forurening ved ophvirvling af bakterier fra sediment, når badende gæster betræder søbunden. Dog har Sdr. Ege strand en badebro, som det fremgår af figur 4.1, og hvis denne er oftere benyttet, har jordbundsprøver måske mindre betydning netop på denne lokation.

Figur 4.1.Badeområdet ved Sdr. Ege strand. [Skanderborg Kommune og ALETICA A/S, 2012]

4.5 Forhold der har indflydelse på spredning af bakterier

De udtagne prøver i forbindelse med projektet, samt de udtaget af Skanderborg Forsyning og Skanderborg Kommune på prøvelokaliteter andre steder end i udløb U6 målte sjælendt forhøjede koncentrationer af indikatorbakterierne. Det er et interessant spørgsmål, om bakterierne overhovedet spredes til badeområdet ved Sdr. Ege Strand, selvom det er tæt placeret ved udløb U6. Årsagerne til bakteriernes spredning er derfor interessant at belyse og diskutere.

Naturligt vil en udledning af spildevand til et vandområde som Knudsø opblandes med vandmiljøet i recipienten, hvorfor spildevandet fortyndes. Desuden falder koncentrationen af forureningskilderne des længere væk fra udledningspunktet er. Det er der specifikke faktorer der har afgørende betydning for, herunder dybde- og bundforholdene, vindforhold, lokaliteten af udledningen, temperaturgradienter og forekomst af vegetation. [Jensen og Madsen, 2015]

I Knudsø ved udløb U6 er det formentlig af betydning at udløbet er placeret ved bredden i overfladen af søen, og ikke længere ude i søen i et dybere vandlag. Strømningsforholdene i søen påvirkes i høj grad af vindstyrke og -retninger, og det er ligeledes strømningsforholdene der har betydning for fortynding og spredning af bakterier. De lokale vind- og strømforhold anvendes også i mange projekter til at udarbejde modeller, herunder eksempelvis Sikkert Søbad ||, for at simulere spredningen af forureningskilder. Strømningsforholdene er i forskellige situationer også opdelt, idet der i dybe søer, som Knudsø er, kan ske en lagdeling om sommeren hvor temperatur påvirker vandmasserne. Vandmasserne i dybden kan have højere densitet og forekomme køligere end over lagdelingen hvor vandet er lettere og varmere. Fortynding og omrøring af vandmasserne i dybden er svære, og det kan diskuteres,

hvorvidt det har betydning i dette tilfælde. Dog konstaterer det, at fortyndingen er større i det øverste vandlag, hvor der forekommer kraftigere strømningsforhold. Ved udløb U6 er der en del vegetation, og dette kan have indflydelse på spredningen af bakterier. Det er afbildet på figur 4.2. Vegetationen kan medvirke til, at der sker filtrering af spildevandet og bakterierne derfor i lavere grad spredes til andre steder i søen. Til gengæld kan det resultere i, at der ophobes koncentrationer af bakterier omkring vegetationen.

Figur 4.2. Vegetation ved og omkring udløb U6.

4.6 Forhold der har indflydelse på nedbør

Klimaforandringerne er uundgåelige, og betyder kraftigere nedbør i sommerperioden [Danmarks Meteorologiske Institut, 2021b]. I Skanderborg Kommune vil der ske en ændring på 22 % i antal skybrudshændelser i starten af dette århundrede (2011-2040). Dette er bestemt ud fra en reference på 0,34 hændelser/år i 1981-2010. Det er en ændring der sker

over tid, og løbende i dette århundrede vil ændringen blive større, og der vil forekomme flere skybrudshændelser i Skanderborg Kommune. Der er usikkerheder forbundet med de beregninger, og derfor er ændringen heller ikke nøjagtig. Men det er det forventelige, og det må derfor også være en indikation for, at der vil forekomme flere og større overløbshændelser i fremtiden. [Danmarks Meteorologiske Institut, 2021a]

Det er dog angivet i Skanderborg Kommune's spildevandsplan, at der skal separatkloakeres for at standse overløbshændelser i kommunen [Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, 2016b]. Det er dog en lang og omkostelig proces at separatkloakere på alle de fælleskloakerede oplande, hvorfor det må forventes, at klimaforandringerne antages at være af væsentlig interesse for netop problemet med udledning af urenset spildevand flere steder i kommunen. Dog skulle der efter planen udføres separatkloakering i området nær Sdr. Ege Strand, hvorfor det ikke har en væsentlig betydning for netop projektområdet. Separatkloakeringen vil beskrives nærmere i næste kapitel.

Der er i dataene ikke taget hensyn til oplandsarealet for målingen af nedbør i forhold til kloakoplandet, hvorfor der kan være nogle afvigelser i de medtagne nedbørsmængder i projektet, i forhold til de reelle nedbørsmængder i kloakken med udløb i U6.

4.7 Betydning af afgrænsende projektområde og tidsinterval

De usikkerheder og forhold der er præsenteret og diskuteret tager afsæt i data der er afgrænset til området omkring Sdr. Ege Strand og udløb U6, ligesom data om koncentrationer af indikatorbakterier udelukkende omfatter data i år 2021. Dette kan give nogle specifikke indikationer om netop dette badeområde, og derfor ikke sige så meget om de andre badesteder i Knudsø eller resten af Danmark. Dog kan denne baggrundsviden godt bruges til at bidrage til anbefalinger for myndigheder med kontrol over andre badesteder, idet blandt andet sedimentprøver, mere detaljerede måleserier og overvågning af overløb kunne være gavnlige for flere badeområder, hvor lignende betingelser gør sig gældende. Det giver et større og bedre indblik i badevandskvaliteten. Dog er der formentlig et omfattende parameter, økonomi, der gør, at flere myndigheder ikke kan pådrage sig ansvar for at udføre disse undersøgelser. Uden større kendskab til myndighedernes økonomiske midler, er dette dog kun gisninger. Det er desuden heller ikke betingelser i forhold til badevandsbekendtgørelsen, hvorfor det også formodes at være grund til, at disse undersøgelser ikke pågår.

5 Løsninger

Data har vist, at der forekom fækal forurening i forbindelse med overløbshændelser i 2021. Flere målinger viste forhøjede koncentrationer af indikatorbakterierne *E. coli* og enterokokker. Andre målinger viste koncentrationer af indikatorbakterier, hvor kvalitetskravet for "udmærket badevandskvalitet"stadig var opfyldt, men hvor der stadig blev detekteret en forekomst af indikatorbakterierne. Dette er ikke ensbetydende med at der ikke var fækal forurening, blot at det ikke overgik bestemmelserne. Derfor vil der i det følgende undersøges hvilke løsninger, der kan udføres for standse eller varsle fækal forurening.

5.1 Løsninger til at undgå forurening

5.1.1 Separatkloakering

En af løsningerne til at begrænse fækal forurening ved overløb er separatkloakering. Skanderborg Kommune har sat et mål om, at de fælleskloakerede arealer skal separatkloakeres, for at standse mængden af urenset spildevand, der udledes ved overløb. En af de kommende projekter med separatkloakering i Skanderborg Kommune vil få væsentlig betydning for netop overløbsbygværk OV36 og udløb U6, idet noget af det fælleskloakerede opland med udledning hertil skal separatkloakeres. Det fremgår af figur 5.1, hvor der skal udføres separatkloakering. Det er på henholdsvis Agnetevej og Kildebakken. [Skanderborg Kommune, 2021a] Det er Skanderborg Forsyning, der står for at udføre projektet. Anlægsarbejdet skal udføres i perioden marts 2022 til 2025. [Skanderborg Forsyning, 2021a]

Figur 5.1. Strækninger hvor der skal udføres separatkloakering i forhold til badeområdet Sdr. Ege Strand. Ydermere ses overløbsbygværket OV36 og udløb U6 på kortet.

5.1.2 Ny udløbsledning længere ude i søen

En anden løsning der kan begrænse den fækale forurening ved badeområdet Sdr. Ege Strand, er at anlægge en ny udløbsledning længere ude i søen. Det er gjort på andre projekter før, og det mindsker risikoen for fækal forurening ved badeområdet. Der er andre vækst- og overlevelsesforhold for indikatorbakterierne her, og spredning vil ligeledes påvirkes af andre forhold.

5.1.3 Desinfektion

Desinfektion af overløbsvandet er en yderligere løsning til at nedbringe den fækale forurening i Knudsø. De overordnede metoder til desinfektion er UV-belysning, kemisk desinfektion med pereddikesyre og elektrokemisk desinfektion. Alle metoderne er undersøget af Sundmark et al. [2012]. Der forekommer en effektiv desinfektion ved UV-belysning, dog skal der forud for metoden ske filtrering. Det vurderes, at anlægget med UV-belysning er dyr i omkostninger, og metoden er derfor ikke særlig attraktiv. Pereddikesyre er også en effektiv desinfektion, men er også dyr i drift i forhold omkostninger af kemikaliet, idet det kræver store doseringer, og kemikaliet i sig selv er relativt dyrt at anskaffe. Elektrokemisk desinfektion er ligeledes en effektiv behandling, men kræver også filtrering forud for desinfektionsmetoden. Anlæggets effekt kan opnås ved meget kort opholdstid på få sekunder. Driftsomkostninger til denne metode antages ikke at være så store, ved beskedne mængder overløbsvand. Der er ved alle metoderne omkostninger forbundet med

etablering og drift, og den bedste løsning i forhold til omkostninger vil formentlig være elektrokemisk desinfektion.

5.2 Løsninger til at forudsige koncentrationen

5.2.1 Sikkert Søbad ||

Sikkert Søbad || er beskrevet i tidligere afsnit. Det er et samarbejde mellem mange partnere som bygger på erfaring fra et tidligere projekt, Sikkert Søbad, og dækker hele Knudsø. Der skal udarbejdes et varslingsystem der i realtid overvåger forureningssituationer og varsler de badende gæster. [Teknologisk Institut, 2020]

Varslingsystemet udvikles på baggrund af realtidsmodeller, herunder en hydraulisk belastningsmodel, en strømningsmodel og en stofsprednings- og vandkvalitetsmodel. Den hydrauliske belastningsmodel anvender data på vandføring og nedbør. Strømningsmodellen anvender Knudsø's geometri og dybdeforhold, samt forskellige vindretninger og -hastigheder. Stofspredningsmodellen anvender data om spildevandsmængder og fortyndingen af disse, og kalibreres i forhold til de udtagne prøver. Vandkvalitetsmodellen anvender strømningsmodellen samt stofspreningsmodellen. [Miljøstyrelsen, 2018]

Kontrollen af badevandskvalitet udføres ved brug af en miljøbøje. Denne får input fra modellerne som beskrevet før samt data fra satellit. På bøjen er påsat sensorer, der måler væsentlige parametre i vandet, som blandt er mængden af blågrønalger. [Skanderborg Forsyning, 2021b]

6 Konklusion

Der er i projektet undersøgt flere sammenhænge, herunder sammenhængen imellem nedbør og overløbshændelser samt imellem overløbshændelser og målte koncentrationer af indikatorbakterier. Disse sammenhænge er undersøgt for at afdække, om der er en reel korrelation. Dertil om der er betydende faktorer, der har indflydelse på eller negligeres i forhold til datagrundlaget.

På baggrund af data indsamlet af Skanderborg Forsyning på målte nedbørs- og overløbsmængder i 2020 og 2021, kan der synes en sammenhæng imellem disse. Der skulle i 2021 i udløb U6 cirka en døgnnedbør på 4-5 mm til før der typisk blev registreret overløb. Derudover blev der også målt de største overløbsmængder på nogle af de dage, hvor der faldt mest nedbør. Mængden af overløb afhænger dog meget af intensiteten af nedbør, hvor kraftig nedbør over kortvarige perioder bidrager til større overløbsmængder.

Overløbshændelser i udløb U6 blev holdt op imod bakteriologiske målinger udført af henholdsvis Skanderborg Forsyning og Skanderborg Kommune. Skanderborg Forsyning udtog prøver af badevandskvaliteten i forbindelse med forskellige overløbshændelser i 2021, og gjorde det på tre forskellige prøvelokaliteter i området ved Sdr. Ege Strand. Under to overløbshændelser blev der udført måleserier. Der blev under alle overløbshændelserne detekteret forhøjede koncentrationer af indikatorbakterierne i udløb U6, og én gang detekteret forhøjede koncentrationer af *E. coli* på prøvelokaliteten ved badebroen på Sdr. Ege Strand. Disse forhøjede koncentrationer var flere gange højere end kravet for "tilfredsstillende badevandskvalitet", som er minimumsstandarden, og størst i starten af overløbshændelserne. Der blev ydermere én gang detekteret forhøjede koncentrationer af intestinale enterokokker i forhold til bestemmelserne for "udmærket badevandskvalitet". I mange af de andre prøver blev der målt koncentrationer af indikatorbakterierne, der kunne indikere fækal forurening, selvom koncentrationerne levede op til kravet om "udmærket badevandskvalitet". Målingerne indikerer, at der er en sammenhæng imellem overløbshændelserne og fækal forurening. Dog indikerede målingerne, at der forekom henfald af bakterierne, idet de ikke blev spredt til de andre prøvelokaliteter i særlig grad.

Badevandsanalyserne udført af Skanderborg Kommune fulgte i 2021 kontrolovervågningsplanen der udarbejdes i forhold til bestemmelserne i badevandsbekendtgørelsen. Derfor er prøverne også spredt ud over badevandssæsonen. Målingerne i badesæsonen 2021 viste én gang koncentration af *E. coli*, der overskred kravet til "udmærket badevandskvalitet", og de resterende målinger i perioden var langt under dette krav. I forhold til at målingerne, udført af Skanderborg Forsyning, viste svag indikation af, at bakterierne ikke spredes til badevandsområdet ved Sdr. Ege Strand, kan datagrundlaget for at bestemme badevandskvali-

teten formentlig anses for repræsentativ, og lever samtidig op til badevandsbekendtgørelsen og Blå Flag-ordningen. Det ville dog være en ide at udvide badevandskontrollen, og overvåge de forureningskilder der er mulige, herunder udløbsledningen U6 hvor der forekommer overløb, samt foretage måleserier for at nedbringe de usikkerheder og tilfældigheder, der er forbundet med prøvetagningen. Ydermere ville det være en ide at udtage sedimentprøver af søbunden, idet der kan forekomme koncentrationer af indikatorbakterierne her, som ikke vises i vandprøver, der indikerer fækal forurening.

Der er løsninger, der bidrager til, at det nuværende datagrundlag kan forblive repræsentativt, og der er flere af disse præsenteret i projektet. De mest væsentlige, der ligeledes bliver realiseret, er et varslingsystem og separatkloakering. Et varslingsystem udarbejdes i forbindelse med projekt Sikkert Søbad ||, som er et samarbejde imellem flere partnere, der skal informere badende gæster på lokationen om potentielle forureningssituationer. Separatkloakering udføres på de fælleskloakerede oplande, og et af disse er planlagt i 2022, og skal standse udledningen af urenset spildevand, hvorfor koncentrationerne af indikatorbakterierne naturligvis nedbringes, og fækal forurening fra denne kilde afværges.

Litteratur

Damsbo, 2021. Jonas Damsbo. *Regn 26 maj-dage i træk - og det fortsætter*, 2021. URL https://vejr.tv2.dk/2021-05-26-regn-26-maj-dage-i-traek-og-det-fortsaetter.

Danmarks Meteorologiske Institut, 2021a. Danmarks Meteorologiske Institut. *Data i klimaatlas*, 2021a. URL https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klimaatlas/.

Danmarks Meteorologiske Institut, 2021b. Danmarks Meteorologiske Institut. *Klimaatlas*, 2021b. URL https://www.dmi.dk/klimaatlas/.

Danmarks Meteorologiske Institut, 2021c. Danmarks Meteorologiske Institut. *Sammendrag af august 2021*, Danmarks Meteorologiske Institut, 2021c. URL https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Afrapportering/Maanedssammendrag/Sammendrag_2021_august.pdf.

Danmarks Meteorologiske Institut, 2021d. Danmarks Meteorologiske Institut. *Vejrarkiv*, 2021d. URL https://www.dmi.dk/vejrarkiv/.

DS/EN ISO, 2006. DS/EN ISO. *ISO 19458:2006 Vandundersøgelse – Prøvetagning til mikrobiologisk analyse*. Dansk Standard, 2006.

Dufour et al., 1981. Alfred P. Dufour, Edley R. Strickland og Victor J. Cabelli. *Membrane filter method for enumerating Escherichia coli*. Applied and Environmental Microbiology, 41(5), 1152–1158, 1981. URL https://journals.asm.org/doi/epdf/10.1128/aem.41.5.1152-1158.1981.

Erichsen et al., 2006. Anders Christian Erichsen, Hanne Kaas, Jesper Dannisøe, Ole Mark og Claus Jørgensen. *Etablering af badevandsprofiler og varslingssystemer i henhold til EU 's nye badevandsdirektiv*. DHI - Institut for Vand og Miljø, 2006.

Europa-Parlamentet og Rådet for den Europæiske union, 2006. Europa-Parlamentet og Rådet for den Europæiske union. *Direktiv om forvaltning af badevandskvalitet og om ophævelse af direktiv 76/160/EØF*, Europæisk Union, 2006.

European Environment Agency, 2020. European Environment Agency. *Bathing water management in Europe: successes and challenges*. 11. European Environment Agency, 2020. ISBN 978-92-9480-261-3.

European Environment Agency, 2021a. European Environment Agency. *Danish bathing water quality in 2020*. European Environment Agency, (June), 2021a.

European Environment Agency, **2021b**. European Environment Agency. *European Bathing Water Quality in 2020*, 2021b. URL https://discomap.eea.europa.eu/bathingwaterstory/.

Foundation for Environmental Education, **2018**. Foundation for Environmental Education. *Blue Flag Marina Criteria and Explanatory Notes*. Foundation for Environmental Education, 2018. URL https://static1.squarespace.com/static/55371ebde4b0e49a1e2ee9f6/t/5899e04286e6c0878c74b495/1486479427145/Marina+Criteria+and+explanatory+notes.pdf.

Friluftsrådet, **2021**. Friluftsrådet. *Blå Flag-strande*, 2021. URL https://friluftsraadet.dk/oplev-blaa-flag/blaa-flag-strande.

Højvang Laboratorier A/S, **2021**. Højvang Laboratorier A/S. *Analyserapport: Rute S1 - 30. august 2021*, Skanderborg Kommune, 2021.

Hørsholm Kommune, **2021**. Hørsholm Kommune. *Serviceniveau og dimensionering*, 2021. URL https://spildevandsplan.horsholm.dk/5-administrative-forhold/59-serviceniveau-og-dimensionering.

IDEXX Laboratories, **2021**. IDEXX Laboratories. *Colilert*, 2021. URL https://www.idexx.com/en/water/water-products-services/colilert/.

Jang et al., **2017**. J. Jang, H.-G. Hur, M. J. Sadowsky, M. N. Byappanahalli, T. Yan og S. Ishii. *Environmental Escherichia coli: ecology and public health implications — a review*. Journal of Applied Microbiology, 123(3), 570–581, 2017. ISSN 13652672. doi: 10.1111/jam.13468.

Jensen og Madsen, **2015**. Jørgen Krogsgaard Jensen og Mads N. Madsen. *Jordforureningers påvirkning af overfladevand - fortynding i fjorde og søer, delprojekt 5*. Miljøministeriet, 5(1725), 2015.

Lindholm, **2021**. Julie Lindholm. *FN's verdensmål - for bæredygtig udvikling*, 2021. URL www.verdensmaalene.dk/.

Miljøministeriet, **2012**. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse om badevand og badeområder - retsinformation.dk*. Miljø- og Fødevaremin., Naturstyrelsen, 2012(939), 1–18, 2012. URL https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=143189#Bil1.

Miljøstyrelsen, **1985**. Miljøstyrelsen. *Kontrol med badevand (Vejledning nr. 2)*. Miljø- og Fødevareministeret, 1985.

Miljøstyrelsen, **2018**. Miljøstyrelsen. *Sikkert søbad - Overvågning , rensning og varsling af regnvandsbetingede overløb*. Miljø- og Fødevareministeret, 2018.

Miljøstyrelsen, **2021a**. Miljøstyrelsen. *Badevand*, 2021a. URL https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/badevand/.

Miljøstyrelsen, **2021b**. Miljøstyrelsen. *MiljøGIS*, 2021b. URL https://mst.dk/service/miljoegis/.

Miljøstyrelsen, **2021c**. Miljøstyrelsen. *Nem adgang til alle kommuners information om badevand*, 2021c. URL https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/badevand/nem-adgang-til-alle-kommuners-information-om-badevand/.

Reed, **1997**. R. H. Reed. *Solar inactivation of faecal bacteria in water: The critical role of oxygen*. Letters in Applied Microbiology, 24(4), 276–280, 1997. ISSN 02668254. doi: 10.1046/j.1472-765X.1997.00130.x.

Skaarup og Wahlberg, **2019**. Steffen Skaarup og Pernille Wahlberg. *System til varsling af badevandskvalitet i Knudsø*, Aalborg Universitet, 2019.

Skanderborg Forsyning, **2021a**. Skanderborg Forsyning. *Klimatilpasning af Agnetevej og Kildebakken*, 2021a. URL https://storymaps.arcgis.com/stories/a546c858493849e8897bc66e5b29144f.

Skanderborg Forsyning, **2021b**. Skanderborg Forsyning. *Sikkert Søbad // - Knudsø*, 2021b. URL https://storymaps.arcgis.com/stories/036494a35dcc4db9b9d9a77db4237b5a.

Skanderborg Kommune, **2021a**. Skanderborg Kommune. *Agnetevej mv., Ry, Klimaprojekt - afgørelse om ikke VVM-pligt*, 2021a. URL https://www.skanderborg.dk/aktuelle-hoeringer-og-afgoerelser/tilladelser/agnetevej-mv-ry-klimaprojekt-afgoerelse-om-ikke-vvm-pligt.

Skanderborg Kommune, **2021b**. Skanderborg Kommune. *Badevand*, 2021b. URL https://www.skanderborg.dk/borger/affald-kloak-og-miljoe/badevand.

Skanderborg Kommune og ALETICA A/S, **2012**. Skanderborg Kommune og ALETICA A/S. *Badevandsprofil for Sdr. Ege Strand, Knudsø*, Skanderborg Kommune, 2012.

Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, **2016a**. Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning. *Bilag Spildevandsplan*, Skanderborg Kommune, 2016a.

Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning, **2016b**. Skanderborg Kommune og Skanderborg Forsyning. *Spildevandsplan*, Skanderborg Kommune, 2016b.

Sundmark et al., **2012**. Kim Sundmark, Morten B. Andersen og R. Andersen, Henrik. *Forbedret rensning af spildevand og overløbsvand*. Naturstyrelsen, 2012.

Teknologisk Institut, **2020**. Teknologisk Institut. *Sikkert Søbad // - Sikring mod fækale bakterier og giftige alger i badesøer*. Teknologisk Institut, 2020. URL https://www.teknologisk.dk/projekter/sikkert-soebad-ii-og-8211-sikring-mod-faekale-bakterier-og-giftige-alger-i-badesoeer/42616.

Troelsen, **2014**. Sofie Bock Troelsen. *Alger rammer populær sø*, 2014. URL https://www.tv2ostjylland.dk/skanderborg/alger-rammer-populaer-so.

United Nations Development Programme et al., 2021a. United Nations Development Programme, Globale Gymnasier, Verdensklasse og Mellemfolkeligt Samvirke. *Mål 6: Rent vand og sanitet*, 2021a. URL https://www.verdensmaalene.dk/maal/6.

United Nations Development Programme et al., 2021b. United Nations Development Programme, Globale Gymnasier, Verdensklasse og Mellemfolkeligt Samvirke. *Mål 3: Sundhed og trivsel*, 2021b. URL https://www.verdensmaalene.dk/maal/3.