



SEKUNDAVAND

(Højtstående grundvand)

– fra problem til ressource 2023

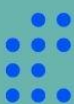
Klimatorium, CLEAN, Lemvig Vand, Skovgaard Energy, VIA University College, Århus Universitet, Københavns Universitet, Mariager Fjord Vand, Vestforsyning, Ringsted Forsyning, Kalundborg Forsyning, Krüger Veolia, SEGES innovation, GEO, Holstebro kommune, Lemvig Kommune

Erhvervsfyrtårn for Vandteknologi - RegionMidt

28-10-2023



ERHVERVSFYRTÅRN
VANDTEKNOLOGI



Danmarks
Erhvervsfremmebestyrelse

DEN EUROPÆISKE UNION
Den Europæiske Socialfond



DEN EUROPÆISKE UNION
Den Europæiske Fond
for Regionaludvikling



Finansieret som et led i EU's reaktion
på COVID-19-pandemien

Vi investerer i din fremtid

Forord

Klimaforandringerne er her! Det er nødvendigt at gøre noget. Her er vand centralt, hvad enten det drejer sig om klimatilpasning eller det handler om forebyggelse af klimaforandringer.

Klimaforandringerne betyder at vi allerede ser et forandret klima. Mængden af vand på kloden er konstant. Der kommer hverken mere eller mindre. Men klimaforandringer betyder endog store forskydninger i vandbalancen. Mere tørke, flere stormfloder. Men udfordringer giver også nye muligheder.

Power-to-X (PtX) giver muligheden for at transformere grøn energi til anden energiform og lagre den. At anvende grøn energi, gør det muligt at reducere emissioner fra drivhusgasser, og forebygge klimaforandringer. Men PtX betyder også at ny grøn energi frembringes ved at spalte vand. Det er meget store mængder vand der skal anvendes. Hvis vandet er klimabetinget vand, er her muligheden for at klimapasse, samtidigt med at man forebygger klimaforandringer!

I Danmark hentes vand fra undergrunden, og i princippet defineres vand som drikkevand. Det hentes fra borer fra magasiner i jorden. Klimaforandringerne har i Danmark haft den betydning at det højtstående grundvand i dag er et stort problem. Over de seneste 40 år står det højtstående grundvand i dag 1 meter højere. Højtstående grundvand giver mange udfordringer for byer, veje, landbrug m.m. Et potentiale med vand til PtX vil være at anvende det klimabetingede "problemvand" eller sekundavand, som det også defineres, fremfor "drikkevand" fra de dybere magasiner.

Klimatorium er sammen med Water Valley Denmark, platform i erhvervsfyrtårnet for vandteknologi. Erhvervsfyrtårnet har til formål, med hjælp fra REACT-midler, at skabe flere arbejdspladser. Klimatorium-plattformen har fokus på klimabetinget vand for at åbne nye markeder/områder, hvor der mangler udvikling. At anvende klimabetinget vand til PtX vil kræve meget udvikling og modning af et nyt marked. Denne rapport samler op på vandkvaliteter, fra forskellige sekundavandtyper, lovgivning, kortlægning af behov og de bedste cases. Formålet er at motivere erhvervsvirksomheder til at gribe dette oplagte nye erhvervsområde, og være med til både at klimatilpasse og forebygge klimaforandringer. Materialet er blevet sat sammen, tværsektorielt, af forsyninger, universiteter, myndigheder og virksomheder.

Der skal lyde en kæmpe tak til dette arbejde. Særlig tak til Pernille Weiland, der har været projektleder på projektet.

Grib muligheden og vær med til at redde verden.

*Lars Nørgård Holmegaard,
adm. Direktør, Klimatorium*

Projekt ID: 4.2

Kategori: Anbefaling 4 - Grøn omstilling

Udgiver: Klimatorium

Udarbejdet af:

Klimatorium (Pernille Weiland) i samarbejde med
Århus Universitet (Lucas Jensen,
Lonas Lund og Hugo Macedo)
Krüger (John Borgbjerg Møller)
VIA University College (Lone Tang og Majbritt Lund)

SEGES Innovation (Rikke Krogshave Laursen)
Lemvig Vand (Stefan Nielsen og Laura Kamstrup)
Lemvig Kommune (Morten Corneliusen)

Finansiering:

Projektet er finansieret gennem
Erhvervsfremmestyrelsen med midler fra EU-
regionalfonden fra EU REACT

Samarbejdspartnere:

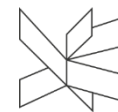
Lemvig Vand A/S, Havnen 8, 7620 Lemvig (Albert Jensen, Stefan Nielsen, Anette Andersen og Laura Kamstrup)
Mariager Fjord Forsyning A/S, (Anne-Marie Truelsen)
Kalundborg Forsyning, (Preben Thisgaard)
Ringsted Forsyning A/S, (Lasse Skjold Petersen)
Vestforsyningen (Jette Christensen og Alan Lunde)
Skovgaard Energy (Pat A Han og Merete Løvschall)
Krüger (John Borgbjerg Møller)
Aarhus Universitet (Hugo Macedo, Lucas Jensen, Jonas Lund)
VIA University College, Horsens (Majbritt Lund og Lone Tang)
GEO (Jesper Lind og Flemming Damgaard Christensen)
SEGES Innovation (Rikke Krogshave Laursen)
Holstebro Kommune (Helene Kiærskou og Karin-Merete Mose)
Københavns Universitet (Edea Kosanovic-Marin, hydrologistuderende og Søren Jessen)
CLEAN
Lemvig Kommune (Morten Corneliusen)

Klimatorium



Finansieret som et led i EU's reaktion på COVID-19-pandemien

Vi investerer i din fremtid



VIA University College



Finansieret som et led i EU's reaktion på COVID-19-pandemien

Vi investerer i din fremtid



Sekundavand – fra problem til ressource

Indhold

Forord.....	2
1 Sammenfatning.....	6
2 English Summary.....	8
3 Introduktion.....	11
4 Projektets betydning for vandbranchen.....	12
5 Projektet.....	13
5.1 Formål, metode og måltal.....	13
5.2 Projektresultater.....	14
5.2.1 Kortlægning af vandbehov i Power-to-X industrien.....	14
5.2.2 Sekundavandkilder Lemvig kommune.....	18
5.2.3 Vandkvalitetsanalyse af sekundavand som vandressource til PtX.....	26
5.2.4 Rensning af sekundavand til ultrarent vand.....	45
5.2.5 Overordnet evaluering af vandkvaliteten af sekundavandkilder i Lemvig Kommune i forhold til rensning til ultrarent vand, og i forhold til håndtering af rejektvandet fra rensprocessen.....	55
5.2.6 Forsyningsikkerhed.....	58
5.2.7 Omkostninger ved at flytte vand.....	62
5.2.8 Lovgivning.....	65
5.2.9 Hvad er den bedste case?.....	67
5.2.10 Erhvervspotentiale.....	70
5.2.11 Konklusion.....	74
5.3 Formidling.....	74
6 Videre arbejde.....	75
7 Referencer.....	78
8 Bilag.....	80

1 Sammenfatning

Power-to-X (PtX)-industrien er essentiel for den grønne omstilling og den danske regering har en ambition om at opnå en national elektrolysekapacitet på 4-6 GW inden 2030. Mange anlæg er allerede planlagt rundt om i landet, og flere er under konstruktion. De er planlagt ud fra hvor den grønne elektricitet er tilgængelig. Byggestenen til produktion af brint er dog vand. Ultrarent vand – i store mængder. Dette er ofte ikke blevet taget i betragtning i planlægningsprocessen, da adgangen til vand er taget som en selvfølge. Projektet sætter fokus på muligheder for bæredygtigt at kunne forsyne denne nye industri med vand, med særligt fokus på nye cirkulære løsninger i relation til at nedbørsmængden i Danmark er stigende, og at flere kommuner og især landmænd kæmper med for meget vand i de våde måneder, som der allerede bruges adskillelige ressourcer på at håndtere. Projektet kortlægger mulighederne for at bruge sekundavand til PtX i brintproduktion, med udgangspunkt i en specifik test-case. Både for at afhjælpe problemer med for meget vand, gøre dette overskydende vand til en ressource, samt at beskytte grundvandsressourcen.

Det var ønsket med projektet at skabe rum til at tænke innovativt, cirkulært, tværsektorielt og holistisk, for at imødekomme udfordringer på flere fronter indenfor klima og energi, samt undersøge muligheden for at et nyt marked indenfor vandhåndtering. Det var vigtigt at relevante partnere blev repræsenteret, og der blev samlet en bred partnergruppe på tværs af sektorer. Projektet kortlagde kravene til vand – både mængde og kvalitet – i forhold til at det kan bruges til PtX. Derefter blev Lemvig kommune, hvor der planlægges et 500 MW PtX-anlæg, valgt som test-case. Mulige sekundavandkilder blev kortlagt i kommunen, i forhold til volumen og vandkvalitet. Disse data blev da sammenholdt i forhold til at bedømme hvilke vandkilder der ville kunne bruges til PtX. I den forbindelse blev det analyseret hvordan de

forskellige vandkvaliteter ville kunne renses til ultrarent vand, og hvilke stofmængder man ville stå tilbage med efter vandrensprocesserne. Alle data blev samlet i en model, der så kan beregne behov for reservoir i forhold til forsyningsikkerhed alt efter hvilken kilde man bruger. Sideløbende har der været dialog i forhold til muligheder for cirkulære løsninger i samarbejde med landbruget. Her blev der lavet et litteraturstudie af SEGES Innovation omkring drænvandskvalitet, for at bedre kunne afgøre om drænvand fra marker ville være en potentiel kilde. Der har også været kontakt til lokale kommuner som har kortlagt hvilke lovgivningsmæssige udfordringer der måtte være ved at skulle bruge sekundavand til PtX.

Resultater og perspektiver: Projektet viste, at hvis PtX-industrien udvikler sig som planlagt er der mulighed for at grundvandsindvindingen i Danmark øges med 5-10 % frem mod 2030, og lokalt kan forsyninger stå over for mere end en to- til tredobling af efterspørgsel på drikkevand.

Test-casen i Lemvig Kommune viste mulighed for at bruge sekundavand som alternativ til grundvand til PtX, både i forhold til vandkvalitet, forsyningsikkerhed og håndtering af spildevandet fra renseprocessen til ultrarent vand, da det både er teknisk muligt, samt at der er volumen nok blot i de sekundavand-mængder der allerede bruges ressourcer på at håndtere. Selvom rensed spildevand er den mest stabile kilde, er der to andre oplagte kilder der vil kunne skabe synergi i forhold til klimatilpasning ved en fælles løsningsmodel i samarbejde med landbruget til at håndtere terrænnært grundvand/drænvand/overfladevand, da især landmænd i større grad kæmper med for meget vand på marker som følge af klimaforandringerne. Ved brug af sekundavand, vil der ske en opkoncentrering af stoffer i spildevandet fra vandrensningen til ultrarent vand. Casen i Lemvig Kommune viste, at rejeckt vand fra renseprocessen til

ultrarent vand til elektrolyse ville kunne håndteres på renseanlæg selvom der bruges sekundavandkilder, hvis der ikke kan skabes en løsning hvor rejeftvandet ledes tilbage til naturen.

Der er desuden potentialer i det opkoncentrerede spildevand, i forhold til at recirkulere næringsstoffer tilbage til landbruget eller oprense miljøfremmede stoffer fra en forurenede vandkilde. Projektet har vist at der er fundament for at gå videre med at bruge Ferring sø som kilde til PtX, eller vand fra Høvsøre pumpelag som alternativ. Disse kilder ligger forholdsvis tæt på PtX-lokationen, samt vil afhjælpe problemer med vand på marker for de lokale landmænd. For at komme i mål med at bruge sekundavand til PtX, er der brug for et tæt samarbejde med myndigheder om lovgivning, forståelse af den bedste businesscase i tværsektorielle samarbejder og detaljerede hydrauliske modeller for at lave løsninger der er i harmoni med miljø og natur. Med tværsektorielle løsninger for både miljø og mennesker vil der kunne skabes nye arbejdspladser i vandbranchen, især i

forhold til planlægning og håndtering af et nyt vandkredsløb mellem industri, landbrug og natur.

Det er tydeligt at der er et behov for at revidere den nuværende vand-infrastruktur i Danmark og skærpe opmærksomheden på hvilken type vand der bruges til hvilket formål. Projektet har vist potentiale for at arbejde med energi, vand og fødevarerproduktion i en samlet løsning med omtanke for miljøet. Dog er der stadig behov for yderligere analyser for at føre projektet ud i praksis. Der skal søges specifikke dispensationstilladelser til at udnytte sekundavand, og der skal i den forbindelse være overblik over vandbalancen i det område hvor der søges om at udnytte vandkilden. Dette både for at afgøre behov for og størrelse af evt. reservoir til opbevaring af vand i tørre perioder samt for at sikre at vandmiljøet ikke bliver forringet af at indvinde vandet. Der skal desuden udarbejdes mulige business-cases for denne nye tværsektorielle vandhåndtering.

Projektet er løbende blevet formidlet på både nationale og internationale platforme.

2 English Summary

A new industry is taking hold in Denmark – the power-to-X (PtX) industry. It is the Danish government’s ambition to reach a national electrolysis capacity of 4-6 GW by 2030, and many plants have already been planned across the country. These have been planned according to where green electricity is available as the PtX industry converts green electricity into hydrogen, which can then be stored. The building block for producing hydrogen is however water. Ultrapure water - in big amounts. This has not been taken into account in the planning process as it has been seen as a matter of course. Using valuable drinking water to supply this new industry might be a questionable long-term solution in terms of sustainability. Especially considering that Denmark is receiving increasing amounts of precipitation and municipalities (and especially farmers) are already taking measures and spending resources to manage this surplus water. It was the aim of this project to map out possibilities and challenges in using excess “problematic” water to feed the PtX industry as an alternative to using ground water reserves. This holistic approach to a new solution would try to both mitigate the effects of climate change, turn surplus water into a resource, and help preserve ground water reserves.

It was the purpose of the project to create space for innovative, circular, cross-sectorial and holistic solutions, to meet challenges on multiple fronts within climate and energy, and to investigate opportunities for a new market within water management. For this to succeed, it was important to have as many relevant partners as possible represented, so a broad partner group across sectors was put together. The project first mapped out the need for water in the PtX-industry – both in terms of volume and quality. Lemvig municipality was then chosen as a test-case, where a 500 MW PtX-plant is in the planning. A search for potential alternative water sources was then carried out within the municipality. These were mapped in terms of

location, volume, and quality, including variations over the year. These data were then compared to the PtX needs to determine which sources could be used to supply a 500 MW PtX-plant. In relation to this, it was analyzed if and how the different sources could be purified for PtX use, and what amounts of substances would be left in the wastewater from ultrapure water purification. These data were used by Aarhus University to create a model that can calculate the need for reservoir size, dependent on what source is used, to be able to prove water security. Parallel with these investigations and analyses, there has been an ongoing dialogue in terms of opportunities for circular solutions in collaboration with the agricultural sector. SEGES Innovation conducted a literature review of the quality of drain water from agricultural fields, to investigate if this could be a potential water source. Simultaneously, there has been an ongoing dialogue with local municipalities concerning considerations for the environment and legislative challenges that need to be addressed if using surplus water to PtX.

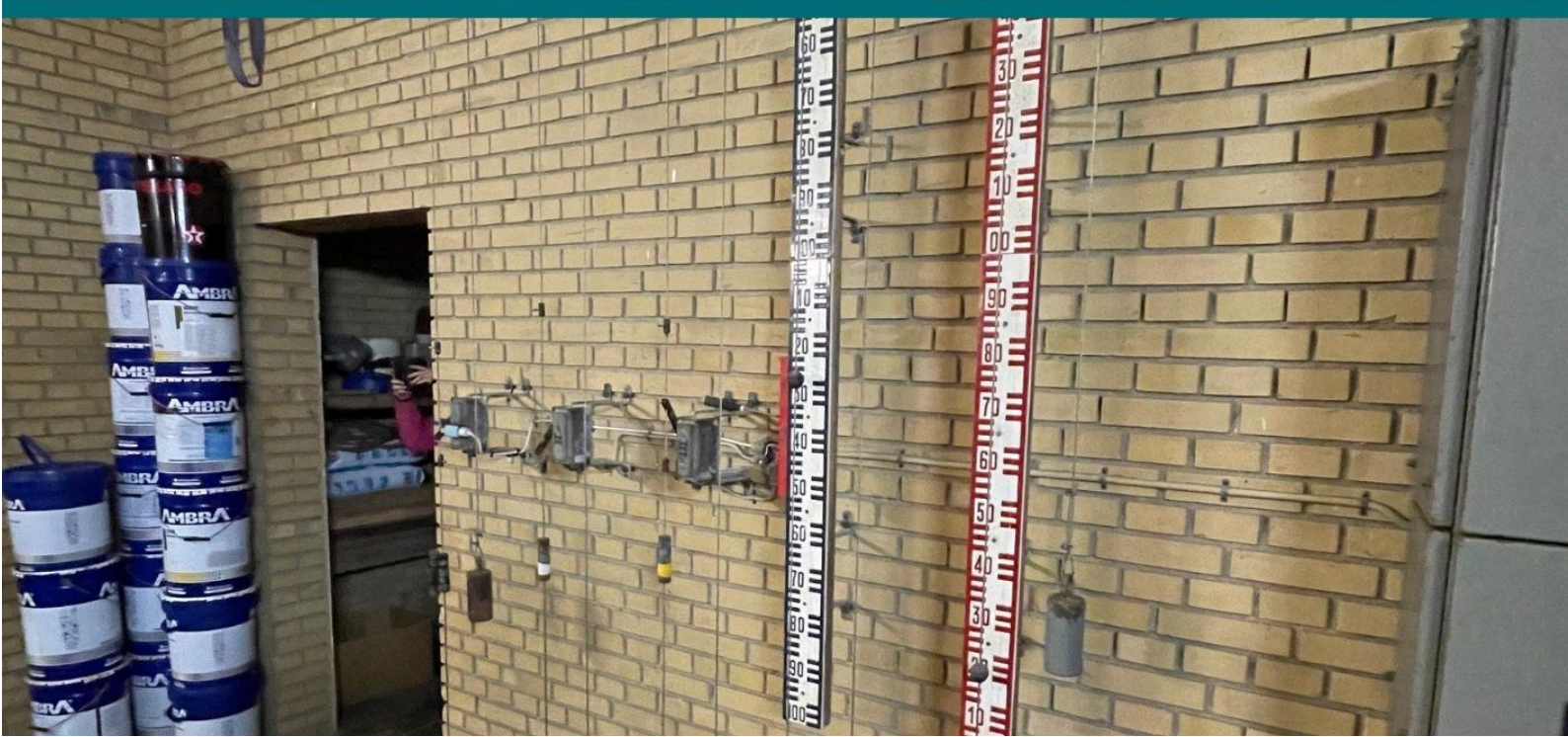
Results and Perspectives: The project showed that if the PtX industry develops as planned, groundwater extraction in Denmark will likely increase by 5-10% by 2030, if groundwater will be used to supply this growing industry. Locally, water utilities may face more than a two- to three-fold increase in demand for drinking water.

The test case in Lemvig Municipality demonstrated the possibility of using reclaimed water as an alternative to groundwater for PtX, both in terms of water quality, supply security, and the handling of wastewater from the purification process to ultrapure water. This is technically feasible, and there is sufficient volume in the water sources that are already being artificially drained or handled in some way. Although purified wastewater is the most reliable water source, there are two other water sources that would make good candidates for supplying a 500 MW PtX-facility. Using one or both of

these, could create synergies and joint solutions in collaboration with agriculture, particularly in relation to managing surface-near groundwater/drainage water/surface water, as farmers are increasingly dealing with excessive amounts of water on their fields due to climate change. Regardless of the water source, there will be a concentration of substances in the wastewater from the water purification processes when making ultra-pure water. The case study in Lemvig Municipality showed that the reject water from the purification process to ultra-pure water for electrolysis could be managed at the wastewater treatment plant, even when using reclaimed water sources, if a solution cannot be found to discharge the reject water back into nature. Additionally, there is potential for additional benefits by recycling nutrients from the concentrated wastewater back to agriculture or by creating circular solutions where environmental pollutants can be cleansed from a contaminated water source. The project has shown that there is a foundation for further use of Ferring Lake as a source for PtX, or water from the Høvsøre pumping station as an alternative. These sources are relatively close to the PtX location and would alleviate water issues for local farmers. To succeed in using reclaimed water for PtX, close collaboration with authorities is needed concerning legislation, understanding the best business case in cross-sectoral collaborations, and

detailed hydraulic models to create solutions that are in harmony with the environment and nature. With cross-sectoral solutions for both the environment and people, new jobs can be created in the Danish water sector, especially in terms of planning and managing a new water cycle between industry, agriculture, and nature. It is clear, that there is a need to revise the current water infrastructure in Denmark and focus on different types of water being used for specific purposes, as opposed to using potable water for all purposes. The project has shown how to work with energy, water, and food production in an integrated solution with consideration for the environment. However, further analysis is still needed for implementing the project. Specific dispensation permits are required to utilize reclaimed water, and there needs to be an overview of the water balance in the area where a water source will be utilized. This is to determine the need for, and size of, a reservoir for storing water for dry periods, as well as to ensure that the water environment is not deteriorated by manipulating the water cycle in a natural environment. Additionally, potential business cases for this new cross-sectoral water management need to be developed.

The project has continuously been shared and communicated throughout the project period on both national and international platforms.



3 Introduktion

Projektet er støttet af midler fra EU REACT, som er øremærket som støtte til erhvervslivet efter Covid-19-pandemien.

Det er en del af Erhvervsfyrårnet for vandteknologi i regionMidt, hvor CLEAN sammen med Klimatorium i Vest Jylland og Water Valley Denmark i Øst Jylland arbejder sammen om 28 projekter, der komplimenterer hinanden. Det overordnede formål for dem alle, er at skabe vækst og flere

arbejdspladser indenfor vandteknologi, samt at øge eksporten af vandteknologi til udlandet.

I nærværende projekt undersøges muligheder for at skabe vækst gennem nye løsningsmodeller og synergier imellem vandforbrugende industrier som PtX som har brug for store mængder teknisk vand, og klimaforandringer der gør at vi får stigende nedbørsmængder i Danmark der skal håndteres og som bl.a. belaster ledningsnettet.

4 Projektets betydning for vandbranchen

Først og fremmest har projektet introduceret en ny tankegang i vandbranchen. For et år siden kunne man nemt forestille sig at mange forsyninger blot ville øge grundvandsindvindingen, hvis de fik en forespørgsel fra et PtX-anlæg om levering af mange kubikmeter vand til en ny industri. Med dette projekt er der blevet sat fokus på om det er bæredygtigt i at bruge dyrebart drikkevand til industri, i stedet for at afsøge andre muligheder først. Især med tanke på at kommuner og forsyninger i stigende grad skal håndtere ikke kun drikkevand og spildevand, men også regnvand, terrænnært grundvand samt grundigere rensning af forurenede vand.

Projektet har dermed introduceret en ny tankegang i vandbranchen, ved at sætte fokus på nye løsningsmuligheder. Disse løsninger er tværsektorielle og cirkulære, og er ikke så "ligetil" som den konventionelle praksis - både planlægningsmæssigt og lovgivningsmæssigt. Men i lyset af ikke blot klimaforandringer og ændrede vandkredsløb, men også af energikrisen, biodiversitetskrisen og den kraftige globale

befolkningsstigning, er der brug for at tænke nye og mere holistiske løsninger der løser flere problemstillinger på samme tid – og der er brug for at passe ekstra godt på det rene drikkevand.

Med denne nye tankegang, åbnes vandbranchen op for nye løsningsmuligheder og nye business-cases der skaber nye jobs. At lave bæredygtig vandinfrastruktur og vandhåndtering til PtX kommer til at kræve en massiv planlægning, vandbalancemodeller, tværsektorielle samarbejder, ny vandteknologi, ny sammensætning af eksisterende vandteknologi, nye naturbaserede løsninger, nye digitaliseringssystemer m.m.

Forsyninger kommer til at ansætte folk fra andre faggrupper end normalt og der skal udarbejdes nye forretningsmodeller for tværsektorielle samarbejder. Projektet vil dermed bidrage til både en fornyelse af tankegangen og kompetencerne i vandbranchen i forhold til at forsyne industri og håndtere klimavand, samt skabe et nyt marked i vandbranchen.

5 Projektet

5.1 Formål, metode og måltal

Overordnet formål

At gøre problemvand til en ny ressource i industrien, således mitigere klimaforandringer og styrke den grønne omstilling.

Projektets specifikke formål:

At undersøge hvordan sekundavand kan bruges som 'produktionsvand' til store industrier, f.eks. nye power-to-x-anlæg. Dette vil aflaste det eksisterende ledningsnet, samtidig vil det spare på mange vandressourcer. Projektet vil dermed bidrage til den grønne omstilling både i vandbranchen og vandforbrugende industri.

Metode:

I ansøgningsmaterialet står følgende:

Aktiviteter:

- Kortlægning af krav til vandforbrugende virksomheder særligt energiproduktionen som Power-to-X.
- Nærmere undersøgelse af mulighederne for terrænnært grundvand som ressource.
- Identifikation af områder med problemvand.
- Pilotprojekt på en use-case, hvor vi bruger forudgående undersøgelser i praksis – virksomhed + område.

Output:

- Kvalificeret markedsundersøgelse og use-case der viser potentiale og metode for at bruge terrænnært grundvand som produktionsvand.

Outcome:

- Partnerskaber, der arbejder efter en ny og mere cirkulær tankegang.
- Vandforsyninger sparer penge, ved at sammentænke mangel af grundvand med overskud af 'problemvand', og bruge vandet til en direkte ressource

Effekt:

- Lavere vandforbrug i industrien og dermed positiv effekt økonomisk og miljømæssig bæredygtighed
- Øget eksport af vandteknologiske løsninger fra midtjyske virksomheder som nedbringer global miljøpåvirkning

Måltal:

- Antal virksomheder som modtager støtte: 14
- Antal forundersøgelser: 2

Der kortlægges krav til vandforbrugende virksomheder – primært typer af power-to-x-anlæg – ved undersøgelser af mængde- og kvalitetsbehov af vandet.

Muligheder for sekundavand som ressource undersøges nærmere. Der skal laves tests igennem en use-case, for at vise muligheden i at isolere en tredje vandtype (sekundavand) til produktionsvand. Derudover skal projektet sikre en bred og holistisk formidling, så sekundavand kan ibrugtages bredt i vandbranchen, og blive en logisk løsning i den cirkulære økonomi, samt vendt fra en udfordring til en ressource

5.2 Projektresultater

5.2.1 Kortlægning af vandbehov i Power-to-X industrien

Efter opstartsmøde i partnergruppen, var der enighed om at fokusere på at afsøge krav til vandforsyning specifikt i PtX-industrien.

Vandkvalitet

På de planlagte PtX-anlæg i DK produceres brint ved at bruge grøn energi til at spalte et vandmolekyle til ilt og brint ved brug af elektrolyse. Vandet der bruges i elektrolysen, skal være ultrarent for at beskytte elektrolysekomponenterne. Det vil sige at lige meget hvilken vandkilde der bruges, skal den igennem en omfattende renseproces. Generelt skal konduktiviteten ned til $< 1,0 \mu\text{S/cm}$ ved alkalisk

Man ville både afdække behovet ud fra en specifik test-case samt fra et landsdækkende perspektiv. Nedenfor er resultaterne beskrevet.

elektrolyse og ved PEM-elektrolyse helt ned til $< 0,1 \mu\text{S/cm}$. Vandet skal dermed renses med omvendt osmoteknologi, samt at det efterfølgende skal gennem ét til flere "polishing steps", alt efter hvilken vandkilde der bruges. I tabel 1 ses et eksempel på krav til vandkvalitet der skal bruges til alkalisk elektrolyse fra NEL som skal installeres på et PtX-anlæg nær Ramme i Lemvig Kommune.

Tabel 1: specifikationer for vandkvalitet til elektrolyse på et demonstrations- PtX-anlæg i Ramme. Kilde: Skovgaard Energy

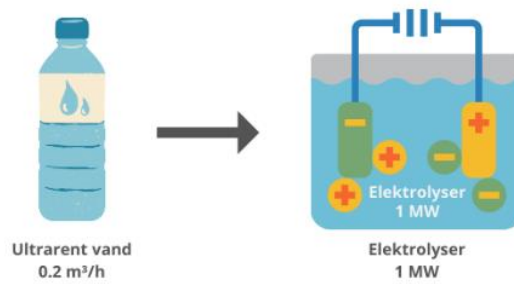
Residual conductivity at 20 °C	< 3	$\mu\text{S/cm}$
Total hardness as CaCO_3	< 3	mg/L
Total anions as CaCO_3	< 7	mg/L
Iron (total)	< 0,01	mg/L
Manganese	< 0,01	mg/L
Free chlorine	NIL	mg/L
Free CO_2	NIL	mg/L
Chloride concentration	< 1	mg/L
COD (organic)	< 10	mg(KMnO_4)/L
Hydrocarbons and oil	NIL	mg/L
Turbidity	< 0,5	NTU

Volumen

PtX-anlæggene, der bygges i Danmark, bliver dynamiske, sådan at produktionen kan tilpasses strømprisen. Dette vil betyde at vandforbruget sandsynligvis ikke bliver jævnt fordelt hen over året. Ifølge Skovgaard Energy, kan det antages at et anlæg vil køre med en kapacitetsfaktor på 66% i gennemsnit hen over et år.

Det blev overvejet i projektgruppen, om man kunne forudsige variationer af vandforbruget over året ved

at se på tidligere års strømpriser og vindmøllestrøms-produktion. Der blev dog enighed om at det var for uforudsigeligt, da det ikke kun er vindmølle strøm, men også strøm fra sol der vinder frem i DK, og derfor blev det besluttet at forsætte ud fra antagelsen om en årlig gennemsnitlig kapacitetsfaktor på 66%, og at der på alle tider af året er sandsynlighed for at der skal køres med 100% kapacitet. Vandforsyningen skal derfor være til rådighed.

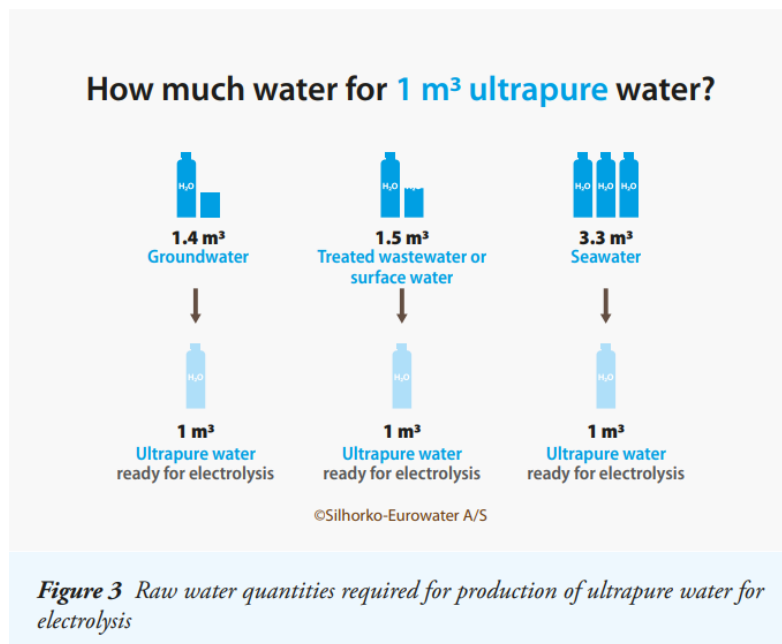


Klimatorium - Danmarks internationale klimacenter

Figur 2: Tommelfingerregel for forbrug af ultrarent vand per MW elektrolysekapacitet

I forhold til hvilke volumener af vand, der skal bruges til brintproduktion, er det en tommelfingerregel i industrien, at der skal bruges 0,2 m³ ultrarent vand i timen per MW elektrolyse kapacitet (figur 2). Hvor meget råvand der skal bruges til at producere det ultrarene vand, afhænger af vandkilden. Generelt

kan man antage at hvis det er grundvand, skal der bruges ca. 1,4 m³ råvand til at producere 1 m³ ultrarent vand. Bruger man overfladevand er det en smule mere, og bruger man saltvand skal man bruge hele 3,3 m³ for at få 1 m³ ultrarent vand som illustreret på figur 3 (Eurowater, 2022).



Nationalt perspektiv

For at sætte ovenstående resultater i et nationalt perspektiv, blev der via Skovgaard Energy indhentet information fra brintbranchen om planlagte anlæg i Danmark per 3/10 – 2022 (se bilag 1).

Der var på det tidspunkt annonceret 28 anlæg i Danmark på land samt brint-øen i Nordsøen. Elektrolysekapaciteten for alle planlagte anlæg blev

sammenlagt med udgangspunkt i de største ambitioner for hvert anlæg. Derudfra blev vandbehovet udregnet, med antagelsen at det var grundvand der skulle bruges som råvand. Her vil ca. 30% blive rensset fra i rensprocessen til ultrarent vand. Det blev ligeledes antaget at anlæggene ville køre med en gennemsnitlig årlig

produktionskapacitet på 66%. Herved kunne da udregnes det samlede vandbehov til PtX hvis alle planlagte anlæg blev ført ud i livet (tabel 2). Det er et groft overslag, men er baseret på tal fra branchen og eksperter med erfaring med PtX-anlæg. I beregningen er evt. vand til køling *ikke* medtaget.

For at gøre det samlede vandbehov mere håndgribeligt, blev det sammenlignet med samlede solgte vandmængder fra Danmarks vandværker i 2021¹, baseret på data fra DANVAs "Vand i tal" (DANVA, 2021). Resultatet ses nedenfor i tabel 2.

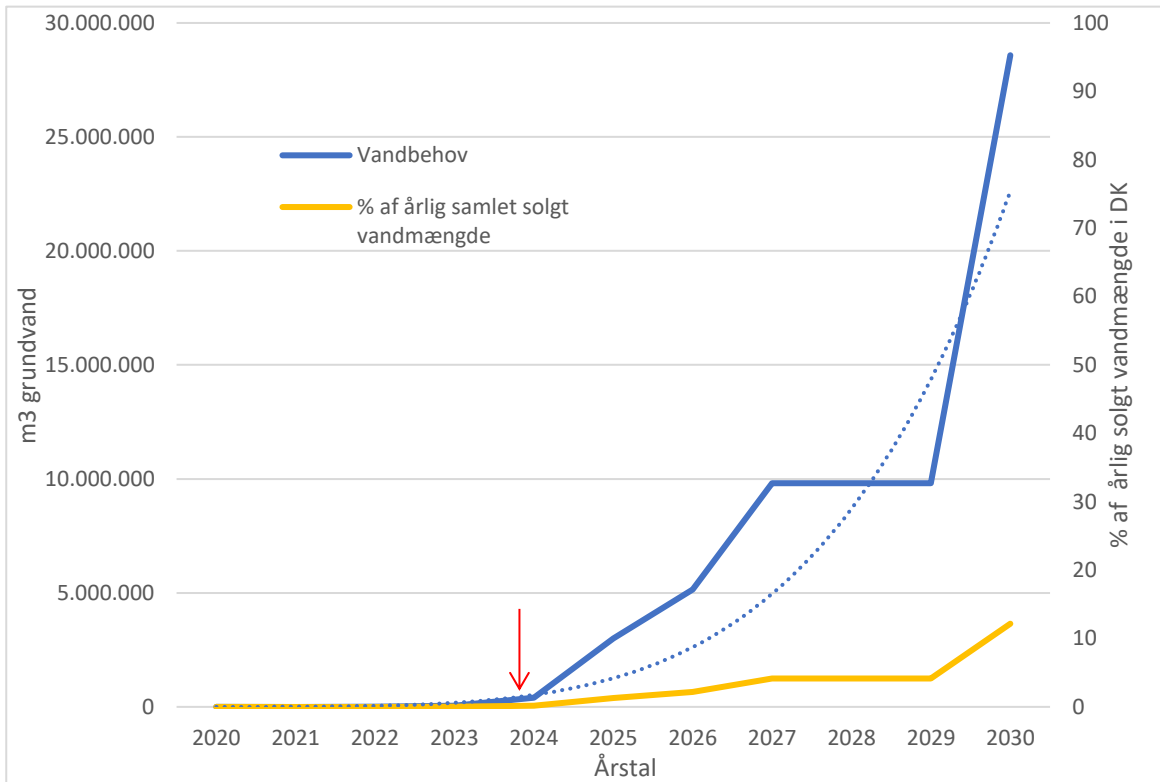
Tabel 2: Samlet vandforbrug hvis alle planlagte PtX anlæg per 3/10-2022 skulle forsynes med grundvand

Vandforbrug i DK til planlagte PtX-projekter	Elektrolysekapacitet	Vandforbrug – ultrarent vand (m3/år)	Årligt vandforbrug - råvand (m3/år)	Relativt forbrug sammenlignet med solgte vandmængder i Danmark i 2021
Samlet for alle planlagte anlæg, eksklusiv brint-ø	6,4 GW	7,7 millioner	10,4 millioner	4,4 %
Samlet for alle planlagte anlæg, inklusiv brint-ø	16,4 GW	18,8 millioner	26,8 millioner	11,3%

Ifølge energistyrelsen er der på skrivende tidspunkt nu annonceret 35 anlæg (Energistyrelsen, 2023). Ud fra Brintbranchens udgivelse "brint i tal" med overblik over planlagte anlæg frem til 2030, understøttes ovenstående tabel, se figur 4. Blot i Holstebro kommune har de på skrivende tidspunkt forespørgsler på at bygge anlæg med 6 GW elektrolyse kapacitet tilsammen. Det kan være svært at forudsige udviklingen indenfor PtX, men ud fra

ovenstående beregninger, er det sandsynligt at grundvandsindvindingen de næste år vil øges med 5-10% til kommende PtX-anlæg. Dette er uden at medregne evt. vand til køling. DANVA har meldt ud at de tror det bliver mere i størrelsesordenen 20-30% forøgelse. På landsplan kan det synes overkommeligt, men på det lokale plan kan det have store konsekvenser for en forsyning og dets forsyningsområde.

¹ Samlet solgte vandmængder hos forsyninger i DK 2021 var 237.735.699 m3. (DANVA, 2021)



Figur 4: Ud fra brintbranchens udgivelse "brint i tal" (Brintbranchen, 2023), er vandbehovet til planlagte PtX-anlæg i DK frem mod 2030 angivet. Den blå graf illustrerer antal kubikmeter årligt, hvis der skulle bruges grundvand (aflæses på venstre y-akse). Den gule graf illustrerer hvor stor en andel dette vandbehov udgør i forhold til hvor meget vandforsyninger leverer årligt på landsplan (baseret på DANVAs Vand i tal 2022 og 2023), (aflæses på højre y-akse)

Lokalt perspektiv - Case

For at have fokus på det lokale perspektiv, og lave håndgribelige beregninger ud fra virkeligheden, bidrog Lemvig Vand og Skovgaard Energy med en case til projektet: Skovgaard Energy er lige nu ved at færdigbygge et demonstrations- PtX- anlæg nær Ramme i Lemvig kommune i samarbejde med EUDP, Vestas og Haldor Topsøe. Anlægget kommer til at have en elektrolysekapacitet på 10 MW som fremtidigt forventes opskaleret til 500 MW. Anlægget skal producere brint der skal bruges til at producere grøn ammoniak. Det forventes, at demonstrationsanlægget vil være i drift i 2024.

Det blev i partnergruppen besluttet at bruge Lemvig kommune, og dermed det planlagte 500 MW anlæg som en test-case i projektet. Baseret på ovenstående data og antagelser om vandforbrug til PtX, kunne det derved estimeres at et anlæg på den størrelse ville

forbruge ca. 830.000 m³ grundvand årligt (kølevand ej medregnet). Dette ene anlæg vil dermed forbruge en vandmængde der udgør ca. 40% af den lokale vandforsynings nuværende vandforsyning til hele kommunen.

Der er flere andre eksempler på lokale cases hvor den lokale vandforsyning bliver presset på grundvand i forhold til at skulle levere vand til PtX. Som eksempel kan igen nævnes Holstebro kommune. Hvis de skulle huse de ønskede PtX-anlæg med 6 MW elektrolysekapacitet, ville de skulle finde 8-9 millioner m³ vand årligt til denne industri, blot til produktionsvand. Det svarer til 250% af hvad Vestforsyningen i dag leverer til hele Holstebro kommune (Vestforsyningen, 2023). Lignende cases ses hos bl.a. ARWOS og Fredericia forsyning.

5.2.2 Sekundavandkilder Lemvig kommune

Identifikation af områder med problemvand

Mens der blev indhentet information om vandbehov til PtX, gik afsøgningen i gang i forhold til at finde sekundavandkilder i Lemvig kommune.

Sekundavand bruges her om vand af anden kvalitet end drikkevand, der kan erstatte eller på anden vis kompensere for anvendelsen af drikkevand (Martin Ryggard, 2013). Selvom der er meget saltvand tilgængeligt, da Lemvig ligger både ved hav og fjord, blev det besluttet ikke at inkludere denne mulighed i projektet. Det var hele idéen bag projektet at undersøge om det var muligt at bruge noget af det vand samfundet har for meget af, eller i overskud, der skaber problemer og koster ressourcer, i stedet for at tage en ny ressource i brug.

Lemvig Vand oplever tiltagende problemer med stigende terrænnært grundvand pga. øget nedbør, samt problemer med at håndtere store skybrud på renseanlæggene. På trods af at hele ledningsnettet i kommunen er separatkloakeret, løber omtrent 1 million m³ uvedkommende vand årligt ind på renseanlægget. Dette skyldes at det terrænnære grundvand stiger og løber ind i utætheder i spildevandsledningsnettet, hvor det føres til renseanlægget.

Omkostningen ved at rense det terrænnære grundvand på anlægget er betydelig for en kommune med blot 20.000 indbyggere og unødvendig. For at rette op på problemet, arbejdes der fokuseret på at lokalisere og udbedre utætheder – dette gøres bl.a. med tv-inspektion og strømpeforing. Konsekvensen er at det terrænnære grundvand blot stiger yderligere, når det ikke indirekte drænes væk ved at løbe ind ved utæthederne. Dette skaber problemer for borgere der bor hvor det terrænnære grundvand står højt. De oplever at vand trænger ind i kældrene og i haven.

Derudover oplever forsyningen stigende problemer med risiko for slamflugt i de våde og kolde måneder, hvis der sker skybrud. Disse skybrud sker hyppigere og hyppigere.

Ud over hos forsyningen, giver de øgede vandmængder også udfordringer for landmænd og lavtliggende sommerhusområder i kommunen, der derfor har valgt at dræne arealer for at undgå oversvømmelser. I Danmark generelt, er cirka halvdelen af landbrugsarealet drænet, hvilket svarer til cirka 1,34 mio. ha. Dette er fordelt således, at det er cirka 40 procent af landbrugsarealerne i Jylland, som er dræned, mens cirka 80 procent af øernes landbrugsarealer er dræned (Nielsen J., 2015). Håndtering af drænvand i Lemvig kommune varetages typisk af grundejerforeninger og områdeforeninger igennem lokale pumpelag for at sikre de dræned områders tiltænkte arealanvendelse gennem afvandingssystemer af kanaler og/eller pumpeinstallationer. Det er dog en større udgift for både private borgere og landmænd at pumpe de større og større vandmængder. Under sidste vinters energikrise, blev pumpelag nødsaget til at gå på kompromis med at holde arealerne tørre, da det blev for dyrt at holde pumperne i gang.

Alt i alt kan det konstateres at Danmark modtager mere og mere nedbør – den årlige nedbør er steget med ca. 100 mm over de seneste 100 år ifølge DMI. Denne udvikling forsætter pga. menneskeskabte klimaforandringer. DMI forudsiger at der på tværs af landet vil falde mere regn om foråret, om efteråret og særligt om vinteren. Derudover vil skybrud og kraftige regnhændelser blive endnu kraftigere og forekomme hyppigere frem mod år 2100. (Miljøministeriet/Miljøstyrelsen, 2023)

Nedenfor ses fakta om fremtidens klima, taget fra DMI, baseret på klimaatlas. Værdierne er lavet ud fra det høje udledningsscenario.

”Udvalgte prognoser om fremtidens danske klima i år 2100*:

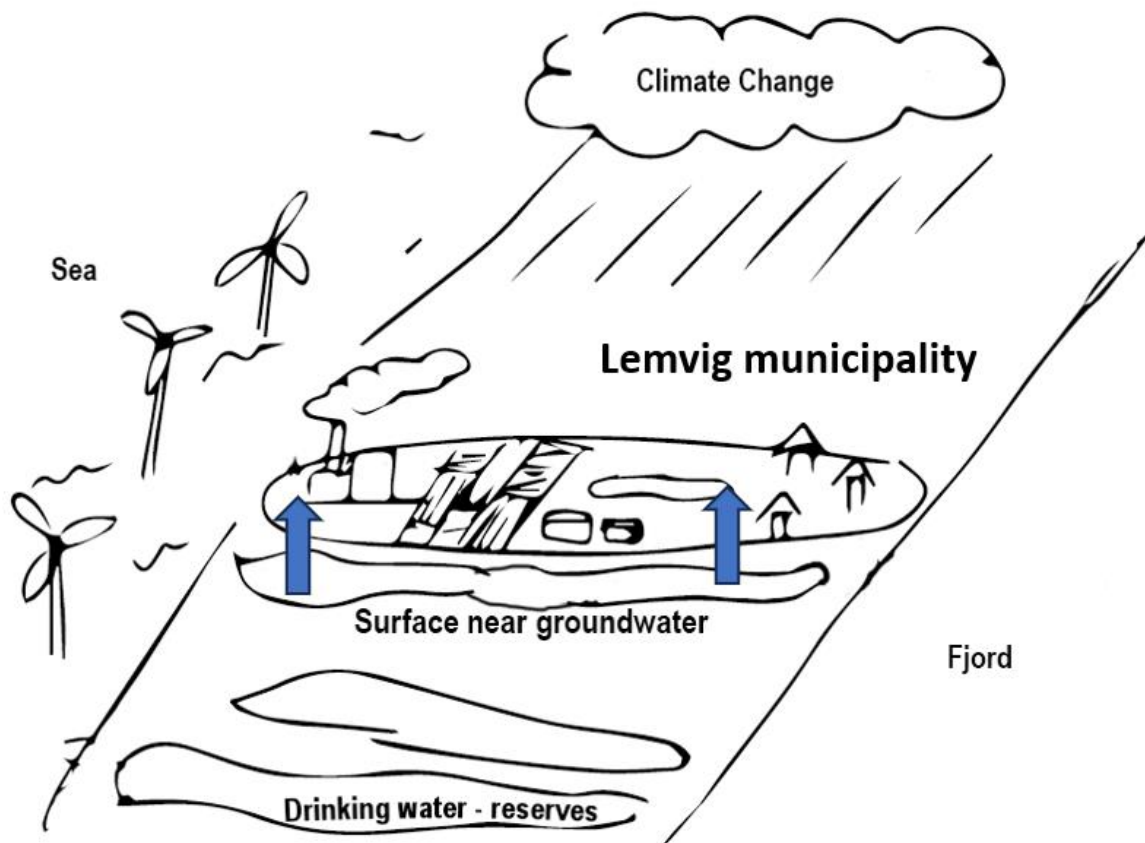
- Den årlige gennemsnitstemperatur stiger med ca. 3,4 °C over hele landet. Der vil ikke være store regionale forskelle.
- Om vinteren vokser mængden af nedbør med knap 25 %. Da temperaturen samtidig er stigende, vil relativt meget af denne nedbør falde som regn.
- Om sommeren falder omtrent samme mængde nedbør som i dag – men nedbøren bliver oftere fra kraftige byger.”

(Miljøministeriet/Miljøstyrelsen, 2023)

Med andre ord, vil dette ”problemvand” der allerede håndteres mange steder i kommunen blive en større og større udfordring. Det undersøges derfor om vandet kan bruges som en ressource i stedet for blot at pumpe det til hav eller fjord.

Der er hovedsageligt 5 kategorier af denne type vand i kommunen:

1. Terrænnært grundvand - drænet fra byområder
2. Terrænnært grundvand - drænet fra markområder
3. Overfladevand – søer og åer
4. Renset spildevand
5. Regnvand



Figur 5: Illustration af Lemvig Kommune der er presset af vand fra alle retninger. Især øget nedbør presser det terrænnære grundvand op på terræn, hvor det skaber problemer for samfundet.

Mulige sekundavand kilder

Klimatorium og Lemvig Vand foretog screeningen i Lemvig Kommune, i forhold til hvor der allerede i dag håndteres sekundavand. Der blev fundet 8 potentielle kilder, som beskrives i det følgende, og derefter illustreret på kort nedenfor (Figur 9).

1. I Thyborøn bliver store dele af byen drænet og vandet pumpes ud i Limfjorden, for at mindske generne fra det højtstående grundvandsspejl. Alligevel opleves der lokalt vand på terræn ved ½-års regnhændelser. Det varierer fra år til år hvor meget der pumpes, og der er i denne rapport taget udgangspunkt i målinger fra 2021 hvor der blev pumpet 1,3 mio. m³ drænvand væk fra Thyborøn by.
2. På Lemvig Havn er der installeret en kontraklap (højt vandsmur) ved udløbet fra Lemvig Sø og å-ledningen, således at tilbageløb fra Limfjorden forhindres til sø og å-ledning. Vandtilførslen til Lemvig Sø sker gennem Skødbækkens nedbørsopland og fremadrettet vil vandvolumen i Lemvig Sø ligeledes kunne blive udfordret på baggrund af kloak-saneringer i Lemvig by, hvorved uvedkommende vand ikke længere ledes væk gennem kloakken. Der er etableret en pumpe i afløbet fra å-ledningen, så der kan afledes vand fra Lemvig sø og å-ledningen under højt vandshændelser i Limfjorden (Lemvig Kommune, 2023). Vandtilførslen sker primært gennem nedbørsoplandet, selve søen udgør et ecosystem og et potentielt reservoir og medtaget i screeningen. Det årlige gennemløb fra Lemvig Sø til fjorden er i gennemsnit på 3 mio. m³ (Orbicon, 2013).
3. Et klimatilpasningsprojekt omkring Ballevad Grøft sikrer at der opsamles og tilbageholdes regnvand og næringstoffer, blandt andet for at beskytte Lemvig Sø og Horn Sø mod fosfor (Lemvig Kommune, 2023). Det største regnvandsbetingede udløb ved Ballevad grøft giver gennemsnitligt 475.00 m³ årligt (Lemvig Kommune og Lemvig Vand A/S, 2023), og er dermed meget lille i forhold til at skulle dække vandbehov fra PtX. Kilden er medtaget i

screeningen for at have en sekundavandkilde med regnvand som primær vandkilde.

I forhold til drænvand fra mark- og sommerhusområder indgår Harboøre Pumpelag, Plet Enge Pumpelag og Høvsøre Pumpelag i screeningen.

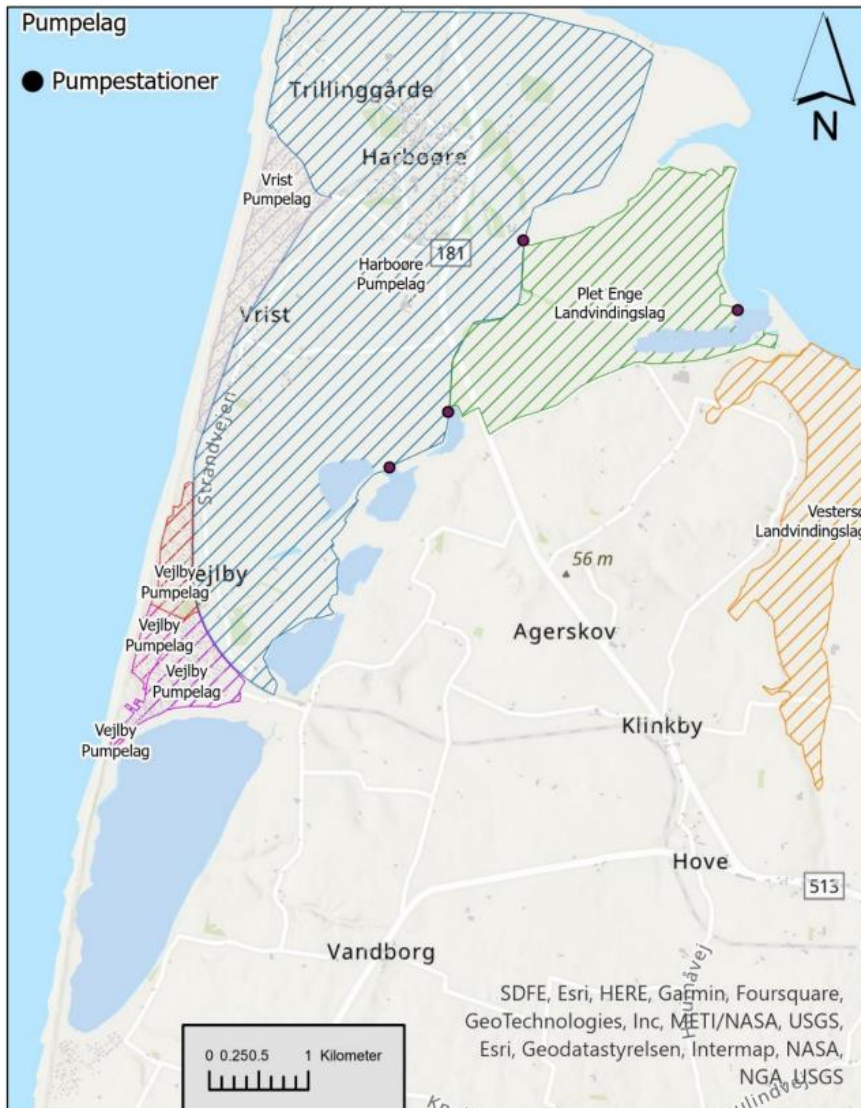
5. Harboøre pumpelag omfatter et areal på ca. 1416 ha, hvorpå der er en blanding af landbrug, bysamfund, fritidsområder og rekreative områder. Pumpelaget har tre pumpestationer, Bruns Nor Pumpestation, Sandholm pumpestation og Normark pumpestation (se figur 9). Der findes i området også mindre markpumper. Harboøre pumpelag håndterer ca. 11 mio. m³ vand årligt, og indgår i screeningen med den største vandvolumen.
6. Plet Enge pumpelag sikrer et lavtliggende fladt område mod oversvømmelser i tilknytning til Hygum Nor med afvanding mod Nissum Bredning. Vandstanden i området sikres af højvandslukkerne i slusen ved Hygum Nor, mod indtrængning af vand fra Limfjorden ved højvande i Nissum Bredning (se figur 6). Plet Enge pumpelag håndterer årligt omkring 1,5 mio. m³ vand.
7. Høvsøre Pumpelag sikrer, at arealer i afvandingsoplandet til Ramme Å kan drænes ud i åen, hvor der i 1968 blev etableret et pumpeværk og vandstanden i åen er sænket, så dræning fra afvandingsoplandet blev muligt. Vandstanden i åen er ca. 1,2 m under, hvad den ville have været (se figur 7). Tre pumper sikrer, at vandstanden i Ramme Å ikke stiger, så dræning af området fortsat er muligt og så åen ikke løber over sine breder. Vandet pumpes ud i Bøvling Fjord, der er den mest lavvandede del af Nissum Fjord. Høvsøre Pumpelag håndterer årligt ca. 3 mio. m³ vand. Tidligere analyser af vand-sammensætningen for afvandings-systemernes håndterede vand viser, at vandet består af ca. 50% nedbørsafvanding og 50% dræningsafvanding (Lemvig Kommune, 2023).

4.

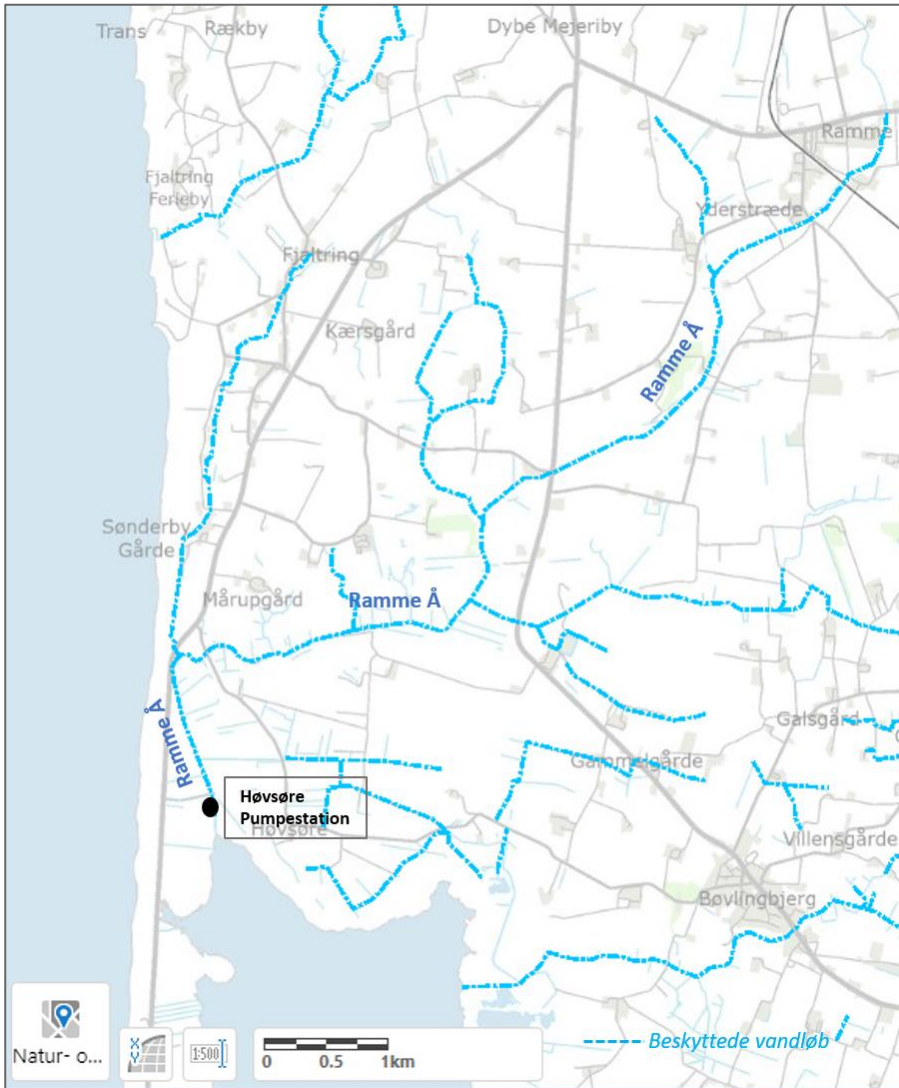
8. Ferring Sø indgår ligeledes i screeningen for problemvand som sekundavandkilder. Ferring Sø indgår i et større sammenhængende vandsystem af lavvandede brakvandssøer, der alle leder vand ud til Limfjorden gennem en landkanal, der går fra Ferring Sø til Hygum Nor. Ferring Sø er den største sø i det sammenhængende vandsystem på ca. 314 ha. Ud over Ferring Sø, indgår også Søndervese, Mellemsø, Smedshavevese og Nørrevese i vandoplandet, der samlet afvander ca. 3480 ha. Oplandet består primært af landbrugsjord og enge. Vandstanden i Hygum Nor kontrolleres som nævnt ovenfor af en sluse (højt vandlukke) og kan sikre at vandstanden holdes lavt ved højvande i Nissum Bredning, dog påvirkes vandstanden af det tilstrømmende vand fra det sammenhængende system af brakvandssøer fra Ferring Sø ved store nedbørsmængder. Screeningen inkluderer Ferring Sø som kilde og

muligt vandreservoir. Volumen af Ferring sø er ca. 4,5 mio. m³, og der tilføres ca. 13,2 millioner m³ vand årligt (Ringkøbing Amt, 2001).

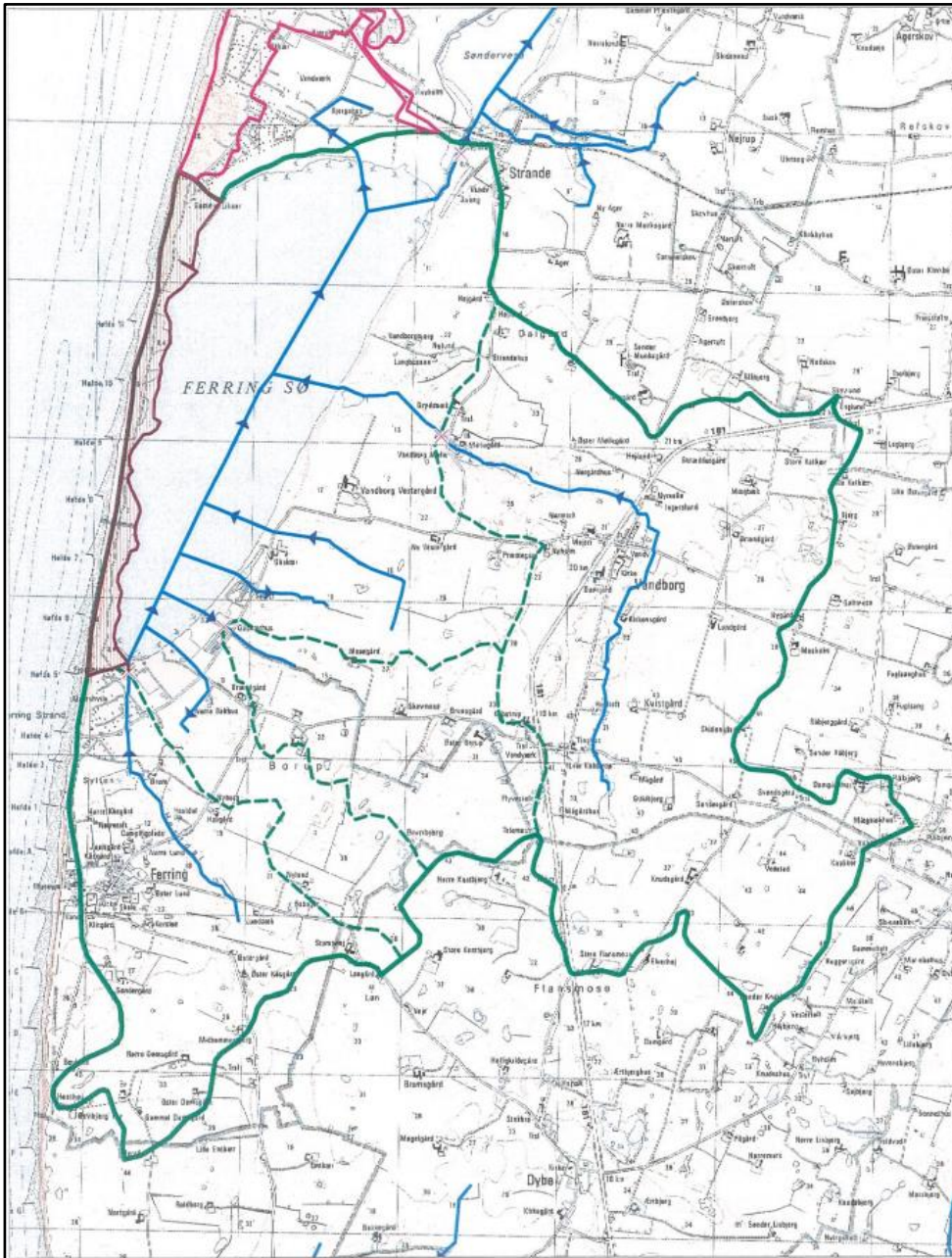
9. Herudover indgår rensede spildevand fra Harboøre renseanlæg i screeningen. Harboøre renseanlæg kommer fremadrettet til at fungere som centralt renseanlæg i Lemvig Vand, hvorved spildevandsudledningen fra det udvidede renseanlæg vil ændre udledningerne fra anlægget til afvandingskanalen ved Sandholm Nor og Nissum Bredning og kan medføre øget antal dage med delvis oversvømmelse af strandengen i Plet Enge (WSP for Lemvig Vand, 2022). Baseret på nutidige tal, ville der ved sammenlægning af Lemvig og Harboøre renseanlæg årligt pumpes 2,4 mio. m³ rensede spildevand fra Harboøre renseanlæg ud i afvandingskanalen ved Sandholm Nor i Plet Enge.



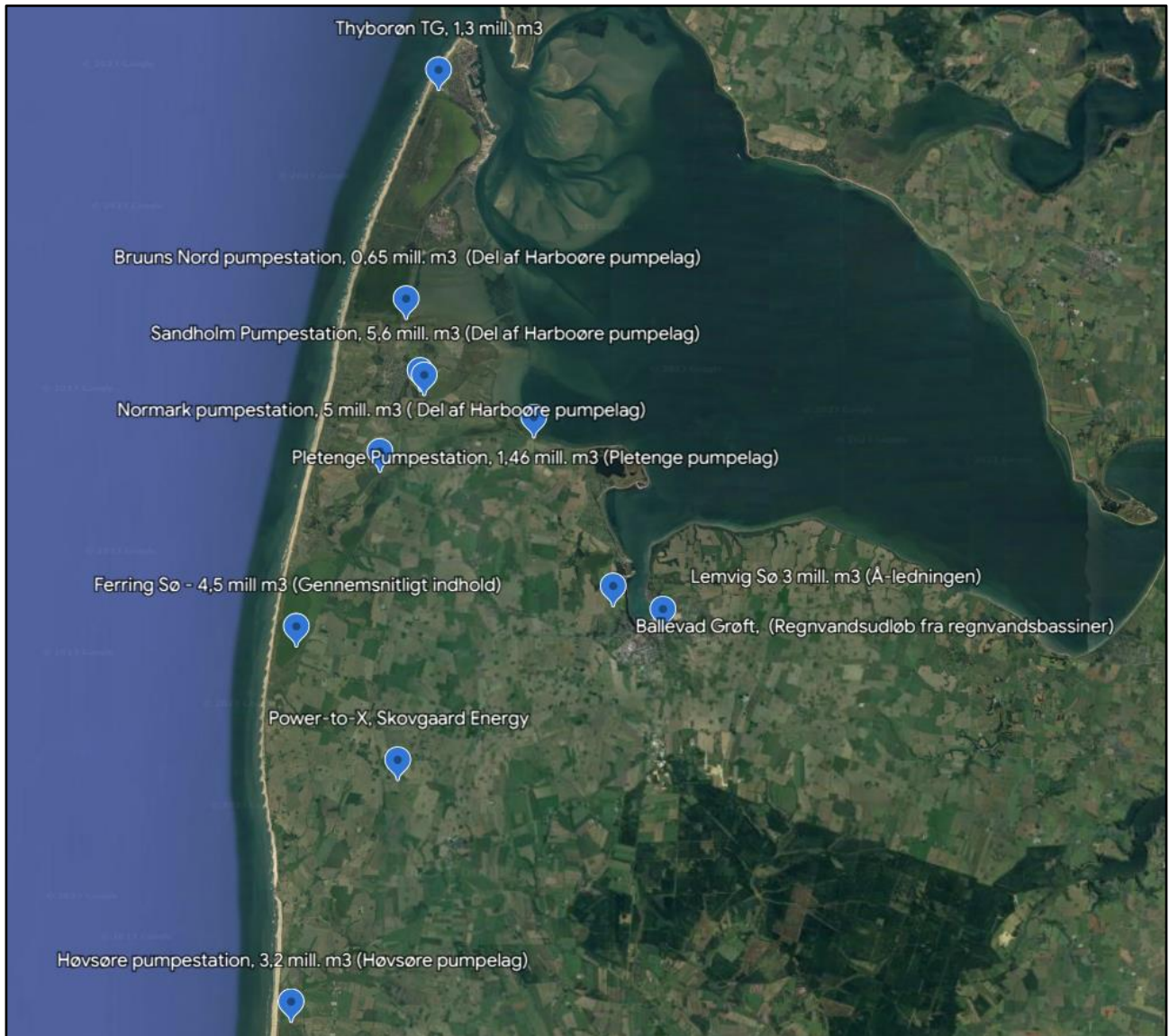
Figur 6: Oversigt over pumpelag og pumpestationer i Harboøreland fra Klimatilpasningsplan 2023, Lemvig. Med angivelse af pumpelagens afvandingsarealer og pumpestationer (Lemvig Kommune, 2023).



Figur 7: Kortudsnit for Ramme Å, Høvsøre pumpestation og udløb til Nissum Fjord nederst i billedet. Med lys-blå er beskyttede vandløb markeret. Kortudsnit er modificeret fra arealinfo.dk.



Figur 8: Kort over vandopland til Ferring sø (Ringkøbing Amt, 2001)



Figur 9: Overblik over sekundavandkilder i Lemvig kommune i forhold til lokation og årlig vandmængde. Lokation for test-case PtX- anlæg er også afbildet.

Tabel 3: Samlet oversigt over udvalgte vandressourcer, der indgår i områdescreeningen for sekundavandkilder, "problemvand". Listen sammenfatter vandtype-sammensætningen og de vurderede/beregnedede årligt håndterede vandmængder.

Udvalgt ressource	Vandtype	Håndterede m ³ årligt/ Reservoir størrelse
Thyborøn	Drænvand, urbant område	1,3 mio. m ³
Lemvig Sø	Ferskvand, nedbørsafvanding og drænvand	3 mio. m ³
Ballevad Grøft	Regnvand, nedbørsafvanding	470.000 m ³
Harboøre Pumpelag	Drænvand / nedbørsafvanding 50-50	11 mio. m ³
Plet Enge Pumpelag (Plet Enge Landvindingslag)	Drænvand / nedbørsafvanding med islæt af vand fra Limfjorden	1,46 mio. m ³
Høvsøre Pumpelag	Drænvand / nedbørsafvanding 50-50	3,2 mio. m ³
Ferring Sø	Ferskvand, nedbørsafvanding og drænvand	4,5 mio. m ³
Harboøre Rensningsanlæg	Renset spildevand	2,4 mio. m ³

5.2.3 Vandkvalitetsanalyse af sekundavand som vandressource til PtX

I det følgende sammenfattes arbejdet med skitseringen og vurderingen af *vandkvaliteten* for de undersøgte sekundavandkilder i projektet.

Projektet arbejder med følgende typer af kilder til sekundavand:

- Overfladevand, ferskvand fra søer og åer
- Drænvand fra marker
- Terrænnært grundvand
- Renset spildevand
- Regnvand fra RBO

Vandkvaliteten er evalueret på baggrund af ønsket om at rense vandet til ultrarent vand

til brug i Power-to-X produktionen, som tidligere nævnt.

Ultrarent vand kan anvendes i selve elektrolysen i PtX produktionen. Vandkvaliteten "ultrarent vand", anvendes også i farmaceutisk produktion, kedelvand til kraftværker og i elektronik- og halvlederindustrien. Vandkvaliteten kan for eksempel defineres ud fra ASTM D1169, der definerer fire vandkvalitetstyper, hvoraf Type I, anvendes som "ultrarent vand" (American Society for Testing and Materials, 2018). Til sammenligning har dansk drikkevand typisk værdier for konduktivitet mellem 300 µS/cm og 2500 µS/cm.

Tabel 4: Vandkvalitetsparameter for Type I vand i ASTM D1169, der kan anvendes som "ultrarent vand".

Parameter (ASTM D1193)	Konduktivitet ($\mu\text{S/cm}$), 25°C	Resistivitet ($\text{M}\Omega\text{-cm}$)	pH	TOC ($\mu\text{g/l}$)	Natrium ($\mu\text{g/l}$)	Silica ($\mu\text{g/l}$)	Klorid ($\mu\text{g/l}$)
Type I "ultrarent vand"	< 0,056	> 18,0	-	< 50	< 1	< 3	< 1

Som tidligere nævnt, vil forskellige typer elektrolyseanlæg have forskellige specifikke krav til vandkvaliteten af vandet anvendt til elektrolysen. Anvendes alkalisk elektrolyse (AWE), vil det være meget vigtigt helt at fjerne ioner, der kan lave udfældninger ved reaktion med den tilsatte elektrolyt (fx. 20-30 vægt% kaliumhydroxid opløsning), kravene til konduktiviteten af vandet anvendt til alkalisk elektrolyse kan variere mellem 0,056 $\mu\text{m/cm}$ og 5 $\mu\text{m/cm}$. Anvendes i stedet et elektrolyseanlæg med en polymer elektrolyt membran (PEM), er både elektroderne og den protontransporterende membran meget følsomme overfor vandkvaliteten. Derfor vil vandkvalitetskravene til denne type elektrolyseanlæg typisk kræve en konduktivitet på max 0,1 $\mu\text{S/cm}$ (Madsen, 2023). Anvendes Solid Oxide elektrolyseanlæg (SOEC) vil kvalitetskravene til konduktiviteten i det ultrarene vand være 1 $\mu\text{S/cm}$ (Klitgaard, 2022).

For at vurdere sekundavandkilder i Lemvig Kommune var det nødvendigt at afgøre hvilke parametre der skulle kigges på i forhold til vandkvalitet. Teknisk Chef for Skovgaard Energy Pat A Han har ofte sagt: "Vi kan bruge alt slags vand – vi skal bare vide hvad der er i det". I projektets case er det Skovgaard Energy selv der vil stå for vandrensningen til ultrarent vand, og har derfor brug for at vide hvilken vandkvalitet de kan regne med når de skal designe vandrenseanlæg. I forlængelse af det, blev de adspurgt hvilke parametre de gerne ville vide noget om. Her kom Krüger på banen i forhold til deres viden om vandrenseteknologier.

Tabel 5 viser de parametre for vandkvalitet, som blev efterspurgt af Krüger i forhold til at designe vandrensningsprocesser for rensning af vandet til ultrarent vand til brug for Power-to-X produktion i dette projekt.

Tabel 5: Parametre, der ønskes viden om i forhold til design og teknologivalg for vandrensning til Power-to-X anlæg fra Krüger som en del af dette projekt.

Parametre ift. vandrensning til ultrarent vand (Krüger, 2022)			
Feed water pH	Potassium	Manganese	Nitrate
Feed water temperature	H+	Strontium	Hydroxide
Feed water free chlorine	Boron	Colour	Silica
Feed water total chlorine	Copper	Turbidity	Fluoride
Feed water SDI	Zinc	TDS (Gravimetric)	Ammonia
Feed water conductivity	Aluminium (III)	Bicarbonate	Phosphate
Calcium	Ammonium	Carbonate	TOC
Magnesium	Barium	Sulphate	Organics
Sodium	Iron (II)	Chloride	

I forlængelse af ovenstående parametre, vise tabel 6 en oversigt over forskellige vandkvalitetsparametre, der kan have indflydelse på valg af renseteknologi samt eventuelle udfordringer i forhold til vandrensningen.

Tabellen er ikke udtømmende, men baseres på hyppigt anvendte parametre i miljø- og kvalitetsanalyser af ferskvand og grundvand.

For de forskellige parametre er der noteret korte kommentarer for betydningen for vandkvaliteten

samt i kolonnerne (1), (2) og (3) nogle eksempler på udfordringer og mulige renseteknologier i relation til parameteren. Første kolonne (1) omhandler primært den første vandbehandling, forbehandling af vandet med klassiske sandfiltrerings- og koagulerings- og fældningsprocesser. Den anden kolonne (2) refererer til eventuelle ekstra rensetrin af mere avancerede vandbehandlingsteknologier. Den tredje kolonne (3) angiver opmærksomhedspunkter i forhold til poleringen af vandet til ultrarent vand. Kolonnen længst til højre angiver kravværdier i forhold til ultrarent vand.

Tabel 6: Vandkvalitetsparametre i relation til vandkvalitet og renseprocesser for produktion af ultrarent vand. Første kolonne (1) omhandler primært den første vandbehandling, forbehandling af vandet med klassiske sandfiltrerings- og koagulerings- og fældningsprocesser. Den anden kolonne (2) refererer til eventuelle ekstra rensetrin af mere avancerede vandbehandlingsteknologier. Den tredje kolonne (3) angiver opmærksomhedspunkter i forhold til poleringen af vandet til ultrarent vand. Kolonnen længst til højre angiver kravværdier i forhold til ultrarent vand. Tabellen er ikke udtømmende men baseres på hyppigt anvendte parametre i miljø- og kvalitetsanalyser af ferskvand og grundvand.

	Kvalitets-parameter	Enhed	Forbehandling (1), udfordringer eksempler	Vandrensning (2), udfordringer eksempler	Polering til ultrarent vand (3), udfordringer eksempler	Ultrarent vand, kravværdier
			Sandfiltrering / Koagulering- Flokkulering – sedimentering	Aktiv kulfiltrering / blødgøring / Nano-ultra filtrering	Revers osmose (RO), Elektrodeionization (EDI) / mixed bed filter	
Basis parametre	pH					
	Turbiditet	NTU	Skyldes partikulære urenheder i vandet. Overfladevand kan forventes et højere indhold end drænvand og renset spildevand. Kræver fysisk filtrering og eventuelt en fældningsproces.	Efterbehandling med ekstra filtrering kan være nødvendigt.	Betydende for mængden af retentat fra RO Ønskes max 0,5 NTU i RO feed	
	Suspenderet stof	mg/l		Efterbehandling med ekstra filtrering kan være nødvendigt.	Indhold kan give udfordringer med fouling	
	NVOC	mg/l	Overfladevand indeholder typisk mere ikke flygtigt organisk kulstof (NVOC) end grundvand. Kræver typisk en fældningsproces.	Efterbehandling med ekstra filtrering kan være nødvendigt.	Indhold kan give udfordring med fouling	
	Farvetalet	mg Pt/l	Kræver typisk en koaguleringsproces.	Efterbehandling med ekstra filtrering kan være nødvendigt.	Indhold kan give udfordring med fouling	
	Konduktivitet	mS/m	Opløste ioner giver konduktivitet. Mange metalioner kan fjernes ved sandfiltrering.	Efterbehandling med ekstra kulfiltrering, blødgøring og/eller nanofiltrering.		≤ 0,5
Me tall	Jern	mg/l	Opløste redox-aktive metaller som jern og mangan kan give udfordringer med		Indhold kan give udfordring med scale / udfældning	

	Kvalitets-parameter	Enhed	Forbehandling (1), udfordringer eksempler	Vandrensning (2), udfordringer eksempler	Polering til ultratent vand (3), udfordringer eksempler	Ultrarent vand, kravværdier
	Mangan	mg/l	udfældninger i poleringsprocessen. Fjernes effektivt af traditionel sandfiltrering		max 0,05 mg/l i RO feed Indhold kan give udfordring med scale / udfældning	
	Aluminium	µg/l				≤ 0,7
	Zink	µg/l				
	Kobber	µg/l				
	Bor	µg/l	Forekommer som i havvand i relativt høje koncentrationer, primært som borsyre. Opløst i vand opfører bor sig lidt som Silica.	På ionform fjernes bor ved ionbytning eller kulfiltrering, kan kræve pH justering	Borsyre er et lille ikke polært molekyle, der kan være vanskelig at fjerne i RO	
	Silicium	mg/l	Kan evt. fjernes ved koagulering	Blødgøring, ionbytning, aktivt kul og nanofiltrering.	Colloidal silica giver udfordringer med scaling	≤ 1
	Calcium	mg/l	Forekommer i forbindelse med hårdhed af vandet. Fjernes delvist ved sandfiltrering. Indholdet afgør om efterbehandling med blødgøring er nødvendigt.	Blødgøring, aktivt kul kan bidrage til fjernelse.	Indhold kan give udfordring med scaling.	
	Magnesium	mg/l			Indhold kan give udfordring med scaling.	
	Barium	µg/l			max 0,05 mg/l i RO feed Indhold kan give udfordring med scaling	
	Strontium	µg/l			Indhold kan give udfordring med scaling	
	Hydrogencarbonat	mg/l				HCO ₃ ⁻ indhold bestemmer om der skal tilsættes NaOH/ anvendes afgangning af CO ₂ i polering til ultrarent vand

	Kvalitets-parameter	Enhed	Forbehandling (1), udfordringer eksempler	Vandrensning (2), udfordringer eksempler	Polering til ultratent vand (3), udfordringer eksempler	Ultrarent vand, kravværdier
	Carbonat	mg/l			CO ₃ ²⁻ kan udfælde med Ca, Mg, Ba, St, Fe, Mn-ioner, indhold kan derfor give udfordringer med scaling	≤ 2
	Flourid	mg/l			kan være vanskelig at fjerne i RO (ca. 80-99% fjernelse afhængig af RO membran). Indhold kan give udfordring med scaling ved lav pH.	
	Chlorid	mg/l				≤ 0,01
	Sulfat	mg/l			Indhold kan give scaling	
Næringsstof	Ammonium-N	mg/l	Forekommer særligt i overfladevand i landbrugsområder. Kan fjernes med biofiltrering.		Kan give udfordringer med eftervækst / fouling	
	Nitrat-N	mg/l				
	Total N	mg/l	Forekommer særligt i overfladevand i landbrugsområder. Kan fjernes med biofiltrering.		Kan give udfordringer med eftervækst / fouling / scaling	
	Orthophosphate-P	mg/l				
	Total P	mg/l				
Miljøfremmede	Pesticider (total)		Pesticider er en stor stofgruppe Teknologien til fjernelse afhænger af det specifikke stof	Aktivt kul, nanofiltrering, avancerede oxidationsprocesser	Indhold koncentrerer i retentat og kan give udfordringer i spildevandet	
	PFAS (total)		PFAS er en stor stofgruppe Teknologien til fjernelse afhænger af det specifikke stof	Aktivt kul, ionbytning, nanofiltrering, skumfraktionering	Indhold koncentrerer i retentat og kan give udfordringer i spildevandet	
	PAH'er			Aktivt kul, nanofiltrering	Indhold koncentrerer i retentat og kan give udfordringer i spildevandet	

For at vurdere sekundavandkilder i Lemvig Kommune i forhold til ovenstående parametre, skulle der indsamles data om kvaliteten. Der blev samlet data ad 4 veje; via historiske data tilgængelig på miljøportalen.dk, ved brug af data fra SEGES innovation, ved brug af historiske data fra Lemvig

Vand og endelig ved at tage vandprøve af kilderne for de ønskede parametre.

Tabel 7 viser en oversigt over de data, der var tilgængelige for de forskellige typer sekundavand, og dermed hvilke data kvalitetsanalyserne for hver kilde er baseret på.

Tabel 7: Oversigt over hvilke data der er blevet brugt til at estimere vandkvaliteten af sekundavandkilder i Lemvig Kommune

Data om vandkvalitet på forskellige sekundavandkilder	Vandprøve	Historiske data fra miljøportal	Historiske data fra SEGES litteraturstudie	Historiske data fra Lemvig Vand
Overfladevand, ferskvand fra søer og åer	X	X		
Drænvand fra marker	X	X	X	
Terrænnært grundvand	X			
Renset spildevand	X			X
Regnvand fra RBU	X			

Vandkvaliteten af drænvand

Som partner i nærværende projekt, har SEGES Innovation, på baggrund af et litteraturstudie, samlet viden om drænvands vandkvalitet samt faktorer af betydning for kvalitetsvariation. Litteraturstudiet er hovedsageligt baseret på resultater af landbrugets drænvandsundersøgelse, som er den hidtil største

landsdækkende undersøgelse af drænvandskvalitet gennemført i 2011 – 2014. Yderligere er resultater fra andre danske drænvandsundersøgelser inkluderet. Litteraturstudiet er inkluderet i nærværende rapport som bilag 2, hvor parametre og konklusion er medtaget her:

Parametre

Skal drænvand anvendes som vandkilde til et PtX-anlæg, er det vigtigt at vide det opsamlede vands kvalitet i forhold til vandrensningen, som gengivet tidligere i tabel 5. Mange af de listede parametre er dog ikke målt i forbindelse med undersøgelser af

drænvandsprøver, da fokus har været på næringsstoffer. De parametre, som indgår i det efterfølgende litteraturstudie, er total-N, nitrat-N, ortho-P, total-P, pH, salte og pesticider.

Konklusion

Drænvands vandkvalitet varierer betydeligt både i tid og sted. Det er via et litteraturstudie undersøgt, hvordan drænvandets indhold af total-N, nitrat-N, ortho-P, total-P, pH, salte og pesticider varierer.

Formålet har været at få en forståelse for hvilke koncentrationsniveauer, der kan forventes i drænvand, som eventuelt skulle forsyne et PtX-anlæg.

Landbrugets drænundersøgelse, som var en landsdækkende undersøgelse gennemført i perioden 2011 – 2014, giver et godt indblik i hvilke koncentrationsniveauer, der kan forventes for hhv. total-N og nitrat-N. Koncentrationen af total-N var i gennemsnit over de tre målesæsoner 7,6 mg pr. liter, mens den for nitrat-N var 6,5 mg pr. liter. Resultaterne viser dog, at der er en geografisk og tidslig variation i koncentrationsniveauerne, som er påvirkede af lokale faktorer som bl.a. landskabstypen, afgrøden på arealet, jordtypen, underliggende geologi, sammensætningen af drænvand samt nedbørsmønster og mængde (Piil & Knudsen, 2014). Dette ses bl.a. i (Birkmose, et al., 2009) og (Pedersen, 1982), hvor den gennemsnitlige nitrat-N koncentration af 4.000 drænvandsprøver taget over 6 år på 15 lokationer med lerjord var noget højere (19 mg nitrat-N pr. liter) end målt ifm. landbrugets drænundersøgelse.

I forhold til drænvands indhold af ortho-P, viste landbrugets drænundersøgelse, at koncentrationerne af ortho-P i størstedelen af drænvandsprøverne var lave (over alle tre målesæsoner var medianen 0,03 mg ortho-P pr. liter og gennemsnittet 0,07 mg ortho-P pr. liter), bortset fra en mindre gruppe på 13 – 15 % med høje koncentrationer på over 0,1 mg ortho-P pr. liter (Piil & Knudsen, 2014). Lignende resultater blev fundet i (Andersen, et al., 2006), som i drænvandsprøver fra 45 dræn fandt, at koncentrationen af ortho-P var omkring eller under 0,05 mg ortho-P pr. liter. Dog var der en andel på 10 – 20% af drænene, hvis drænvand indeholdt høje koncentrationer af ortho-P (Andersen, et al., 2006). Variationen i ortho-P koncentrationerne mellem prøvestederne skyldtes de lokale geologiske forhold og landskabstypen. Landbrugspraksis på arealet påvirker i mindre grad drænvandets koncentration af ortho-P (Piil & Knudsen, 2014).

Drænvandets koncentrationsniveau for total-P er baseret på en mindre undersøgelse omfattende 45 dræn fordelt rundt omkring i landet, og biased ift. at drænene var udvalgt, så de lå på husdyrbrug eller tidligere husdyrbrug. Resultaterne viste, at mediankoncentrationen af total-P i drænvand varierede meget. Dette både fra dræn til dræn men

også drænvandsprøver fra samme dræn kunne have en stor variationsbredden mellem målt minimums- og maksimumsværdi. I hovedparten af drænene (36 stk.) var mediankoncentration af total-P mindre end 0,1 mg total-P pr. L (Andersen, et al., 2006) Dette blev også fundet i (Birkmose, et al., 2009) og (Pedersen, 1982) hvor den gennemsnitlige fosforkoncentration af 4.000 drænvandsprøver taget over 6 år på 15 lokationer med lerjord var 0,04 mg P pr. L (Birkmose, et al., 2009) og (Pedersen, 1982).

I samme studie blev den gennemsnitlige pH i drænvand målt til 7,1. De 4.000 drænvandsprøvers gennemsnitlige indhold af ammoniumkvælstof var 0,06 mg NH₄-N pr. liter, natrium var 13 mg Na pr. liter, kalium 1 mg K pr. liter, magnesium 6 mg Mg pr. liter, calcium 107 mg Ca pr. liter, sulfatsvovl 24 mg SO₄-S pr. liter, klor 43 Cl pr. liter og hydrogencarbonat 159 mg HCO₃ pr. liter (Birkmose, et al., 2009), (Pedersen, 1982).

Resultaterne fra (Boutrup, et al., 2006), (Kjær, Ullum, Lindhardt, Olsen, & Jørgensen, 2002) og (Christensen, et al., 2013) viser eksempler på, at der findes pesticider i drænvand. Hvilke pesticider og koncentrationer drænvand indeholder kendes ikke generelt. Dette afhænger af de lokale forhold og hvilke stoffer, der er anvendt på marken eller i oplandet, afhængig af hvilken oprindelse og sammensætning drænvandet har. I (Boutrup, et al., 2006) er det vist, at der fra fire forskellige drænarealer blev fundet mellem 3 – 8 forskellige pesticider i drænvandet. De fundne koncentrationer af pesticider i drænvandet var med enkelte undtagelser lavere end grænseværdien for pesticider i drikkevand, som for enkeltstoffer er på 0,1 µg/l (Boutrup, et al., 2006). Variationen er dog stor, og afhænger også af, hvor lang tid efter udbringning målingen er taget, hvilket (Kjær, Ullum, Lindhardt, Olsen, & Jørgensen, 2002) og [8] viste med både gennemsnitlige og maksimale koncentrationer for hhv. glyphosat, AMPA og bentazon langt over 0,1 µg/l.

Litteraturstudiet viser således, at kvaliteten af drænvand er varierende, i forhold til hvilke stoffer det indeholder og i hvilke koncentrationer. De lokale forhold og flere andre faktorer har indflydelse på

vandkvaliteten, samtidig med at den også kan ændre sig tidsligt. Dette skal der således tages forbehold for, hvis drænvand anvendes som en alternativ vandkilde til at forsyne et PtX-anlæg.

Yderligere skal det nævnes, at drænvand vil indeholde opløst sediment i varierende omfang. Ligesom okker kan være til stede i drænvand nogle steder.

Historiske data for vandkvalitet, hentet fra Miljøportalen

På baggrund af screeningen for mulige kilder, undersøges hvilke historiske miljødata, der findes for vandkvaliteten i området. Tilgængelige data fra Danmarks Miljøportal indgår i dette afsnit fra målestationer og målepunkter, der betragtes som relevante for de udvalgte ressourcer. Tilgængelige

data stammer primært fra perioden efter 1978. Der ses stor forskel i prøvfrekvens og analyseparametre i de tilgængelige data.

Der er udtrukket tilgængelige data, der dækkes af de parametre, der fremgår af tabel 8.

Tabel 8: Typer af historiske tilgængelige data på vandkvalitet trukket ud ad miljøportalen i forbindelse med screeningen.

Data type	Angivet vandtype	Type af parametre
Vandkemi	Ferskvand, sø, vandløb	Forskellige parametre alt efter formål med miljømålingen.
Feltmålinger	Ferskvand, sø, vandløb	Salt, ilt, temperatur, pH
Miljøfremmede stoffer i vand	Vandløb	Forskellige parametre alt efter formål med miljømålingen

Tabel 9 giver et overblik over hvordan de forskellige tilgængelige dataserier har en relation til de udvalgte ressourcer, der er beskrevet i forrige afsnit. Det ses

at der ikke findes dækkende data for alle de udvalgte vandressourcer listet i tabel 3.

Tabel 9: Sammenkædning af målepunkter, hvor der findes historiske miljødata for vandkvalitet og de udvalgte ressourcer i screeningen

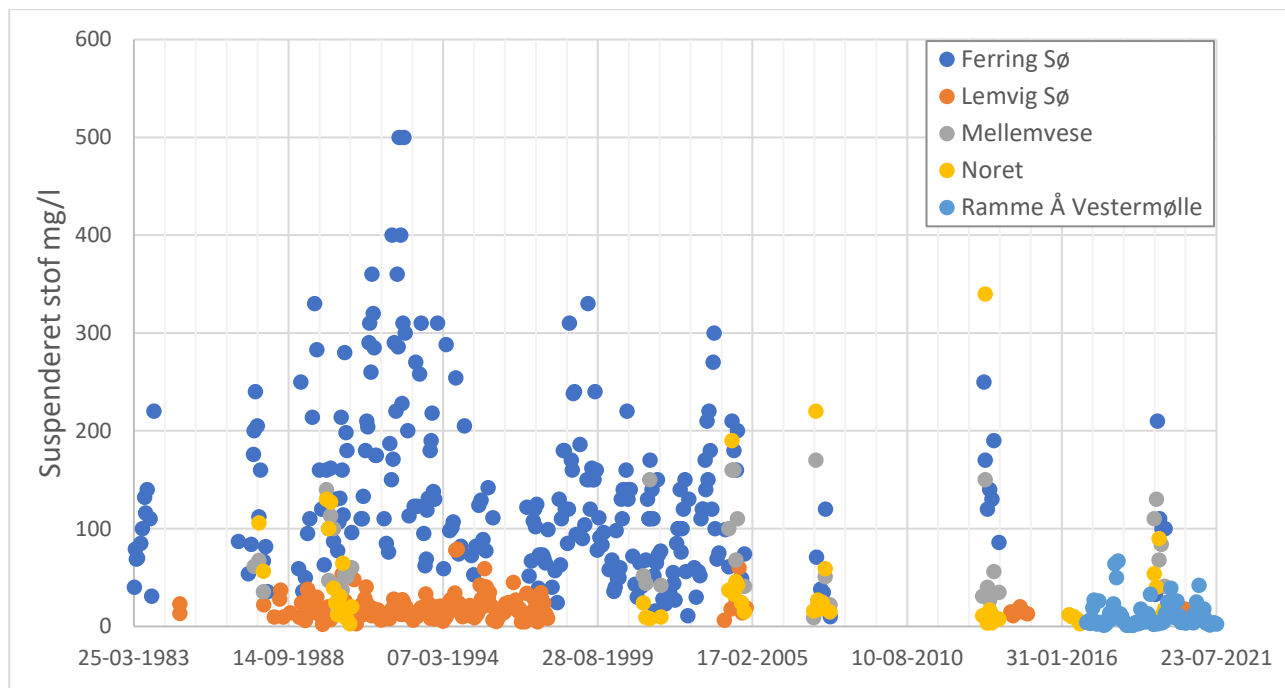
Historisk data, målepunkt (Navn)	Relation til udvalgt ressource i screeningen	Type af historiske data
Thyborøn	Thyborøn, bortpumpet urbant drænvand	Miljøfremmede stoffer i vand, 2022
Lemvig Sø, Åledningen	Afvandingen fra Lemvig Sø gennem Åledningen mod Lemvig Havn	Vandkemi 1978 - 2020, feltmålinger 1978 - 2020
Mellemvase	Harboøre pumpelag, en del af områdeafvandingen der ledes til kanal mellem Ferring Sø og Hygum Nor	Vandkemi 1980 - 2019, feltmålinger 1987 - 2019
Noret	Harboøre pumpelag, en del af områdeafvandingen der ledes til kanal mellem Ferring Sø og Hygum Nor	Vandkemi 1980 - 2019
Ramme Å Mellemmølle	Fører vand til Høvsøre pumpelag	Vandkemi, 2004 - 2018

Ramme Å Vestermølle	Fører vand til Høvsøre pumpelag	Vandkemi, Feltmålinger og Miljøfremmede stoffer i vand 2021-2022
Ramme Å Rensningsanlæg	Et nu nedlagt rensningsanlæg, der havde udløb i Ramme Å, der fører vand til Høvsøre pumpelag	Vandkemi 2020, Miljøfremmede stoffer i vand, 2020
Ferring Sø	Ferring sø	Vandkemi 1978 - 2019

Gennemgang af de eksisterende data er sket i forhold til at se på hvordan de forskellige kilder adskiller sig fra hinanden i vandkvaliteten, samt at se på hvordan vandkvaliteten for de forskellige kilder varierer over tid. Der er udvalgt nogle enkelte parametre herunder.

I figur 10 ses de tilgængelige data for vandets indhold af suspenderet stof. Indhold af suspenderet stof er et mål for det totale indhold af partikulært materiale i vandet (uopløste forbindelser), dette kan skyldes både uorganiske partikler opløst i vandet og organiske stoffer, for eksempel humus stoffer. Det suspenderede stof vil give ophav til turbiditet i vandet, men der er ikke altid en entydig

sammenhæng. Den organiske andel af det suspenderede stof kan findes ved at lave kemisk oxidations analyser (COD) eller glødetabs analyser. Farvetallet for vandprøverne kan også være målt og anses ofte som indikator for humusindhold og jernindhold i vandprøven. Det suspenderede stof i vandprøverne udviser sæsonvariation, hvor det i analyserne fra Noret ses størst koncentration i foråret (maj), for Mellemsø er der en måleserie fra maj til september 2019, hvor den laveste koncentration er målt i september. Ramme Å Vestermølle ses de største koncentrationer i vintermånederne (marts og december) og de laveste koncentrationer i sommermånederne.



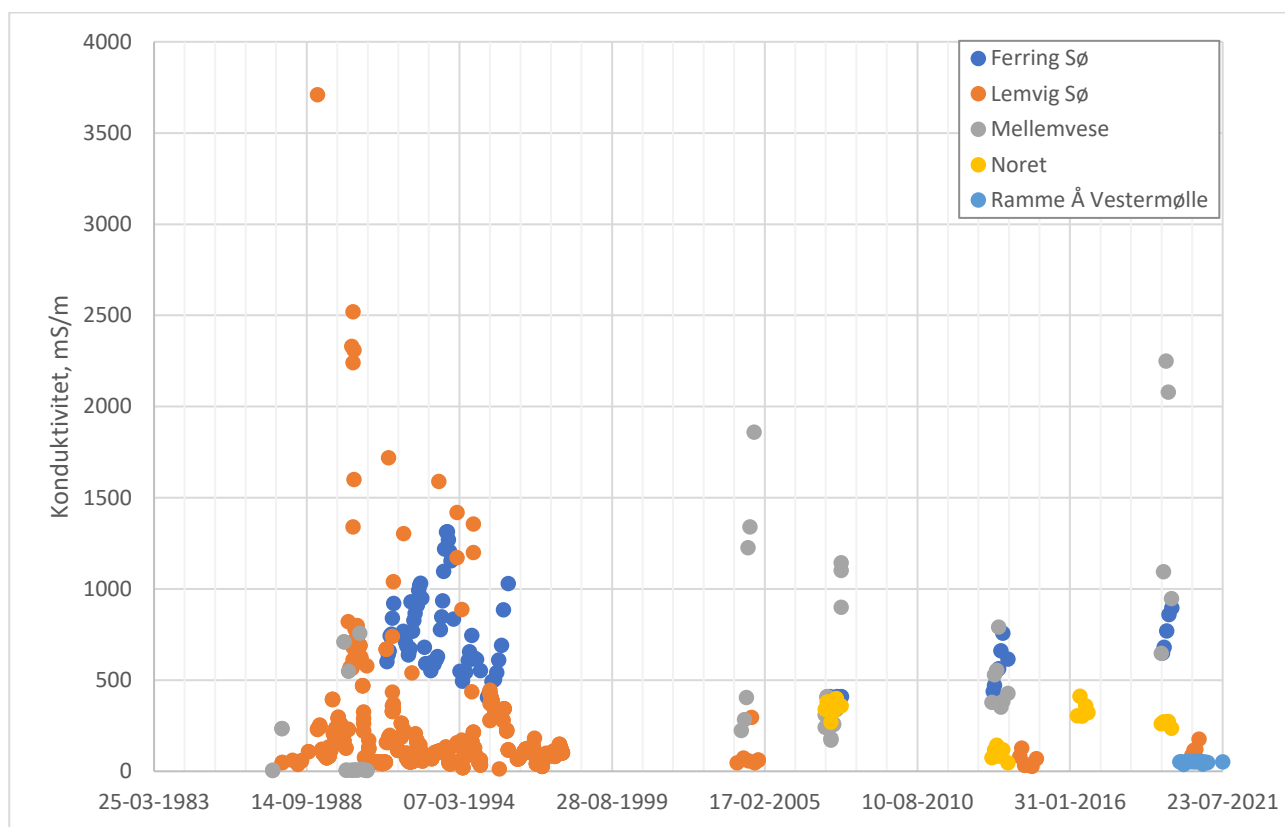
Figur 10: Variationer i målte værdier for suspenderet stof i miljøvandprøver fra de forskellige kilder over tid. Data er trukket ud fra Miljøportalen og gengivet her.

Figur 11 viser de tilgængelige data for vandprøvernes konduktivitet. Konduktiviteten er et mål for hvor mange opløste ioner, der er i vandet. Salinitet vil øge konduktiviteten væsentlig, hvorfor påvirkning fra saltvandskilder vil få stort udslag i konduktivitetsmålingen, men også udvaskning af mineraler og næringsstoffer påvirker konduktiviteten af vandet.

Målingen tages typisk som en feltparameter ved udtagning af vandprøven til analyse. Ramme Å Vestermølle udviser de laveste værdier med den mindste sæsonvariation. I de nyere data (efter 2003)

ses også lave værdier i Lemvig Sø, hvor der dog ses en øgning i konduktiviteten fra forår gennem sommer til efterår (fra 115 – 176 mS/cm), der er ingen data fra vinterhalvåret. Denne udvikling gennem forår-sommer-efterår ses ligeledes i data fra Ferring Sø, her øges værdierne fra ca. 650 – 900 mS/cm.

Data fra Mellemvase viser den største sæsonvariation, med de højeste værdier målt i sommermånederne (juli-august 2019: > 2000 mS/cm).



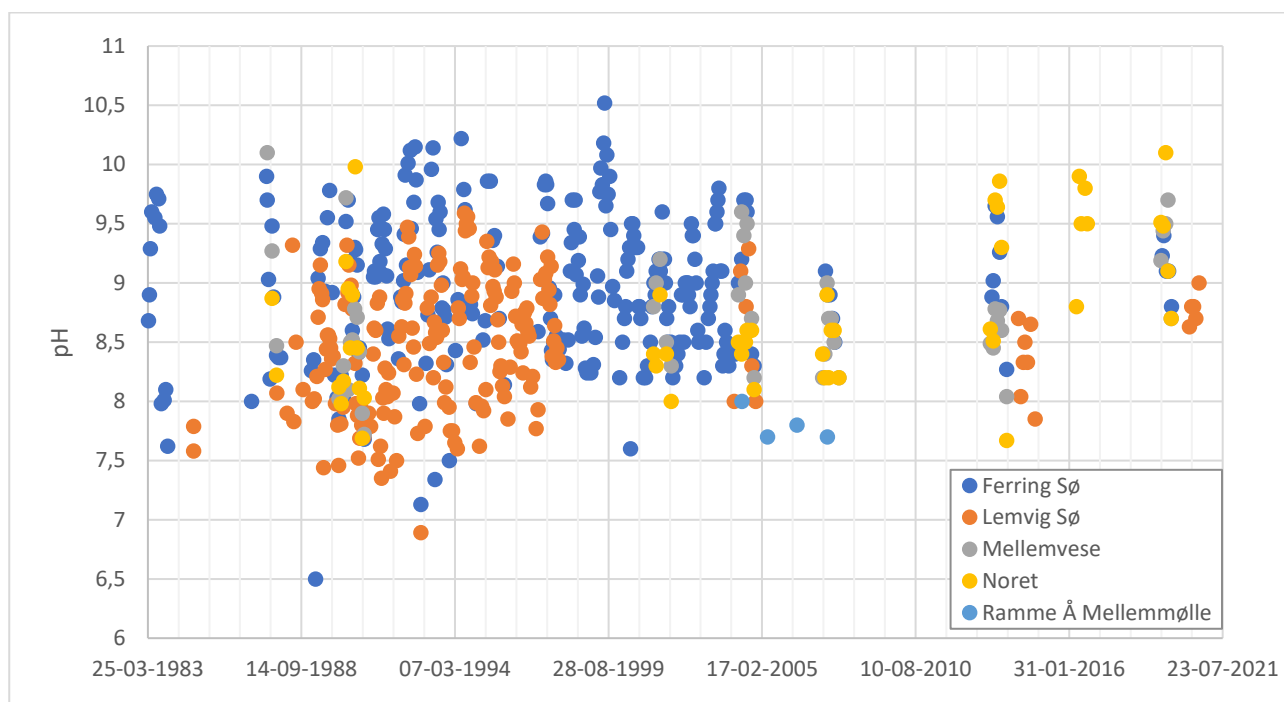
Figur 11: Variationer i målte værdier for konduktivitet i miljøvandprøver fra de forskellige kilder over tid. Data er trukket ud fra Miljøportalen og gengivet her.

Vandets pH er et udtryk for hvor surt ($\text{pH} < 7$), neutralt ($\text{pH} 7$) eller basisk ($\text{pH} > 7$) vandet er. Variationer stammer fra geologien og arealanvendelsen i vandplanderne samt hvilken omsætning af organiske stoffer og næringsstoffer, der er sket.

Regnvand vil typisk være lettere surt. For fersk og overfladevand kan $\text{pH} 7 - 9,5$ betragtes som neutral. pH -værdien ændres med indholdet af bikarbonat (HCO_3^-), men også andre stoffer påvirker vandets pH . Data ses at udvise variationer over året, men

primært beliggende indenfor intervallet mellem $\text{pH} 7$ og $\text{pH} 9,5$.

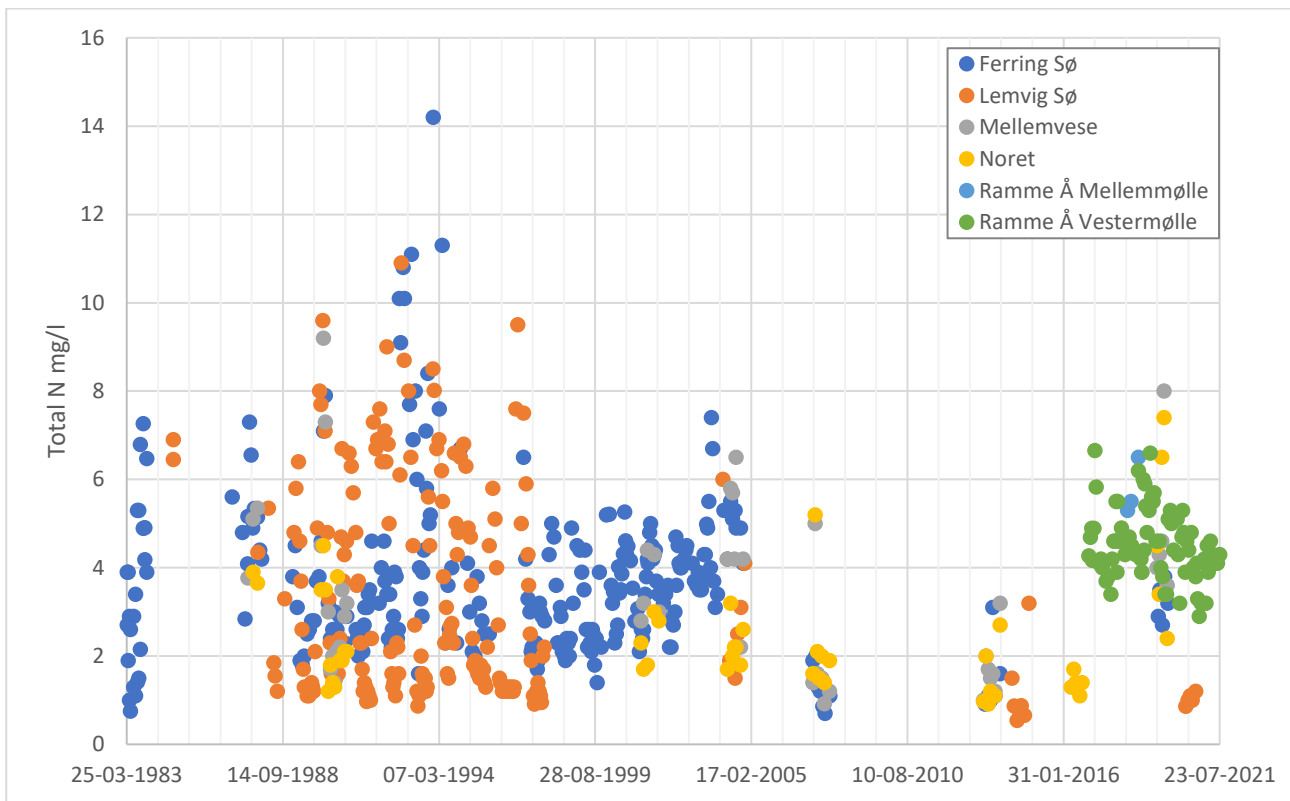
Umiddelbart ser sæsonvariationerne ud til at være blevet mindre over tid. I de seneste målinger ses de højeste værdier for de forskellige målestationer i sensommeren (august-september), hvor Noret og Mellemvese udviser værdier over 9,5 i september 2019. I notatet om vandkvalitet af drænvand (SEGES Innovation, 2023) angives gennemsnitsværdien for pH i drænvand i 4.000 vandprøver til $\text{pH} 7,1$, men dette dækker over variationer både i tid og sted for prøvetagningen.



Figur 12: Variationer i målte værdier for vandets pH i miljøvandprøver fra de forskellige kilder over tid. Data er trukket ud fra Miljøportalen og gengivet her.

Nærringstoffer som fosfor og kvælstof findes i forskellige kemiske forbindelser. Kvælstof (N) optræder i forskellige kemiske forbindelser i kvælstofkredsløbet. Organisk bundet kvælstof findes i levende dyr og planter og uorganisk kvælstof findes i næringsalte i jord og vand. Planter kan kun optage uorganisk kvælstof. Vandets indhold kan analyseres for alt kvælstof (Total-N) eller delmængder af dette, for eksempel nitrat-N eller ammoniak-ammonium-N. Figur 13 viser total-N for vandprøverne udtaget i de angivne målepunkter over tid. I notatet om vandkvalitet af drænvand (SEGES Innovation, 2023) viser data fra hele landet at koncentrationerne af både total-N og nitrat-N viser stor variation, både i niveau og variation gennem året

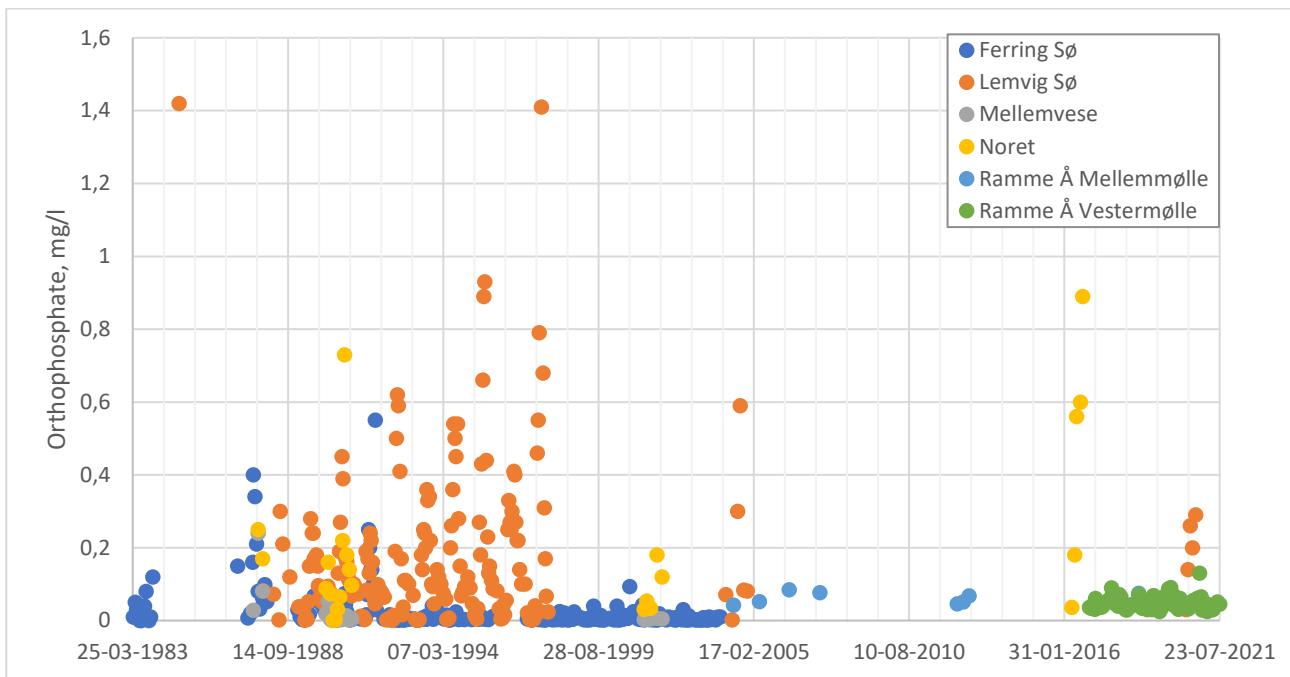
(drænmålinger er udtaget i vintermånederne) og viser de højeste værdier i januar. Desuden ses en tendens til at kvælstofkoncentrationerne falder med en øget grundvandsandel i drænvandet. Drænvandsprøver fra Vestjylland viser i notatet gennemsnitskoncentrationer af total-N på 6,5 mg/l i årene 2012/2013 og 2013/2014. I disse år ses væsentlig lavere total-N målt i de udpegede ressourcer i dette projekt. Årsvariationen ses og viser de største koncentrationer om vinteren (november). De nyeste målinger viser lave og stabile værdier i Lemvig Sø (omkring 1 mg/l) og Ferring Sø (omkring 3 mg/l). Der er lidt større spredning i værdierne for vandløb og vaser, dog ses de fleste værdier under gennemsnittet fra Vestjylland på 6,5 mg/l. De største værdier i Noret og Mellemvese november 2019 (hvh. 7,4 mg/l og 8 mg/l).



Figur 13: Variationer i målte værdier for vandets indhold af total N (kvælstof) i miljøvandprøver fra de forskellige kilder over tid. Data er trukket ud fra Miljøportalen og gengivet her

Fosfor findes i vandmiljøet som organiske og uorganiske forbindelser. Orthophosphate er den fosforforbindelse der er tilgængelig for planter til vækst. Landbrugsafgrøder gødes med fosfatrig gødning, hvis afgrøderne ikke optager al gødningen, adsorberes fosfat typisk til jern på overfladen af jordpartikler, der kan udvaskes til vandløb og søer ved jorderosion. Orthophosphate koncentrationer i vandet stammer fra udvasket opløst uorganisk fosfat fra oplandet, dels ved forvitring af fosforholdige jorde og mineraler. I notatet om vandkvalitet af drænvand (SEGES Innovation, 2023) konkluderes at

koncentrationerne af orthophosphate i drænvand fra marker i gennemsnit ikke varierer med sæson. Der sås heller ikke nogen signifikant effekt af afgrødetypen og dermed landbrugspraksis i forhold til orthophosphate koncentrationerne. I de historiske data fra søer og vandløb i Lemvig ses højere koncentrationer af orthophosphate end de gennemsnitlige værdier fra undersøgelser af drænvand på landsplan (fx 0,07-0,08 mg/l, 2013/2014) (SEGES Innovation, 2023). Der ses ligeledes en variation i koncentrationerne over året, se figur 14.



Figur 14: Variationer i målte værdier for vandets indhold af ortho-phosphate i miljøvandprøver fra de forskellige kilder over tid. Data er trukket ud fra Miljøportalen og gengivet her.

Eksemplerne i figurerne herover viser, at der må forventes variationer i vandkvaliteten af sekundavand hen over året. Forskellige vandkvalitetsparametre vil variere forskelligt med årstid, nedbør og arealanvendelsen.

Analysen af miljøfremmede stoffer findes på nogle af ressourcerne, Tabel 10 viser resultater fra Thyborøn,

hvor der er udtaget 25 vandprøver til analyse for PFAS i april 2022. Vandprøverne viser overskridelser for både Sum-4 PFAS og Sum-22 PFAS i samtlige udtagne prøver. Resultaterne viser samtidig stor variation i salt og sulfatindholdet i overfladevandet ved Thyborøn.

Tabel 10: Udtræk af analyseresultater for miljøfremmede stoffer fra Thyborøn Hellegård/Vium mølleå. BDL = below detection limit.

Thyborøn, prøve fra vandløb til sø ved Thyborøn	Total antal prøver	BDL	Prøver med fund	gns i prøver med fund	mindste	største	detektions grænse	enhed
Chlorid	25			6056,8	450	13000		mg/L
Natrium	25			3440	290	7400		mg/L
Sulfat	25			752,24	18	1700		mg/L
	Total antal prøver	BDL	Prøver med fund	gns i prøver med fund	mindste	største	detektions grænse	enhed
1H, 1H,2H,2H- Perfluorooctansulfonsyre	25	25	0				0,3	ng/L
Perfluorbutansulfonsyre	25	0	25	0,7376	0,4	1,5		ng/L
Perfluorbutansyre	25	0	25	7,936	2,8	26		ng/L
Perfluordecansulfonsyre	25	25	0				0,3	ng/L
Perfluordodecansulfonsyre	25	25	0				1	ng/L
Perfluordodecansyre	25	25	0				0,3	ng/L
Perfluorheptansulfonat	25	0	25	1,2532	0,39	3,6		ng/L
Perfluorheptansyre	25	0	25	8,504	3,6	25		ng/L
Perfluorhexansulfonsyre	25	0	25	19,332	7,2	59		ng/L
Perfluorhexansyre	25	0	25	3,844	1,7	8,4		ng/L
Perfluoronansulfonsyre	25	25	0				0,3	ng/L
Perfluorodecansyre	25	20	5	0,626	0,33	1,2	0,3	ng/L
Perfluoroktansulfonamid	25	8	17	0,8947	0,35	1,4	0,3	ng/L
Perfluoroktansulfonsyre	25	0	25	44,464	8,6	160		ng/L
Perfluoroktansyre	25	0	25	95	39	310		ng/L
Perfluorononansyre	25	0	25	4,168	1,1	16		ng/L
Perfluoropentansulfonsyre	25	9	16	0,70375	0,47	1,2	0,3	ng/L
Perfluoroundecansyre	25	25	0				0,3	ng/L
Perfluorpentansyre	25	0	25	2,2152	0,98	5,7		ng/L
Perfluortridecansulfonsyre	25	25	0				1	ng/L
Perfluortridecansyre	25	25	0				1	ng/L
Perfluorundecansulfonsyre	25	25	0				1	ng/L
PFAS (sum af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS)	25	0	25	172,36	59	530		ng/L
Sum af PFAS, 22 stoffer	25	0	25	197,16	69	580		ng/L

Vandkvalitet historiske data vs. ønsker i forhold til vandrensning

Bilag 3 viser en sammenligning af de vandkvalitetsparametre, der findes data for i de historisk tilgængelige miljødata og den liste med parametre, der ønskes viden om i forhold til vandrensning til Power-To-X fra Krüger. Når der tages vandprøver ud til miljøanalyser, har disse prøvetagninger et andet formål en at kortlægge den komplette vandkvalitet. Derfor ses der også af tabellen at de forskellige parametre er repræsenteret forskelligt i de historiske data.

For eksempel analyseres der ikke for frit klor (Feed Water Free Chlorine, Feed Water Total Chlorine) i miljøvandprøver eller drikkevandsprøver, da der ikke anvendes klor til desinfektion i de danske drikkevandsbehandlinger. Silt densitet indekset (Feed Water SDI) er et teknisk mål for fouling-potentialet af det suspenderede stof i vandprøven. Dette skal analyseres specifikt, når den / de endelige potentielle kilder er udpeget.

For at få et mere dækkende indtryk af de faktiske vandkvaliteter på de udvalgte ressource-kilder besluttes det at udvælge 7 af de potentielle kilder og få lavet en indledende vandkvalitetsanalyse på disse. Sammensætningen af valgte analyseparametre er et udvalg

af parametrene i Tabel 5 og Tabel 6. De miljøfremmede stoffer analyseres ikke i denne indledende screening, ligesom den specifikt tekniske måling på silt index heller ikke medtages i denne indledende screening.

Vandkvalitet analyserede prøver fra februar 2023

Der blev udtaget vandprøver til analyse ved 7 potentielle sekundavandskilder. Prøvetagningsstederne er valgt i forhold til at få flest mulige forskellige sekundavandskilder

repræsenteret fra de potentielle typer af kilder. Prøvestederne er her listet med angivelse af hvilken type vandkilde vandprøven repræsenterer:

Tabel 11: De udvalgte 7 prøvetagningssteder listet sammen med typen af sekundavandkilde vandprøven repræsenterer.

Prøvetagningssted	Vandtype
Thyborøn	Drænvand, urbant område
Lemvig Sø	Ferskvand, nedbørsafvanding og drænvand
Ballevad Grøft	Regnvand, nedbørsafvanding
Harboøre Pumpelag	Drænvand / nedbørsafvanding 50-50
Høvsøre Pumpelag	Drænvand / nedbørsafvanding 50-50
Ferring Sø	Ferskvand, nedbørsafvanding og drænvand
Harboøre Rensningsanlæg	Renset spildevand



Figur 15: Besigtigelse af sekundavandkildernes muligheder for udtagning af vandprøver til analyser for vandkvalitet, december 2022.

Vandprøverne til analyser er udtaget af personale fra Lemvig Vand d. 14/2- 2023. Prøverne er udtaget med prøveflaske på teleskopstang, således at vandprøven er taget i ca. 0,5m vanddybde, med afstand til kanter/bredder på prøvetagningsstedet. Thyborøn RT1 er udtaget i pumpebrønd RT1. Prøverne er sendt til analyse hos Højvang Laboratorier efter et aftalt analyseprogram, sammensat af tilgængelige analyser for ferskvand og overfladevand.

Analyseprogrammet er sammensat på baggrund af et bredt screeningsbillede af de udvalgte potentielle kilder. Der er ikke medtaget analyser af miljøfremmede stoffer, eller tekniske analyser specifikt i forhold til avancerede vandrensningstrin

(polering med RO, EDI, MBF, fx Silt densitet Index), da de analyserede vandkilder skal gennemgå en forrensning, før disse trin, hvorfor resultater af denne type analyser ikke bør laves af råvandet direkte fra kilderne, men bør indgå i en senere mere detaljeret analysering af specifikke udvalgte sekundavandkilder. Ikke alle analyser er udført akkrediteret.

Tabel 12 viser analyseresultater for vandprøver fra de forskellige sekundavandkilder. Der gøres opmærksom på at dette er resultaterne af en enkelt stikprøve udtaget i februar 2023 med det formål at lave en indledende screening af kilderne, og resultaterne skal evalueres herefter.

Tabel 12: Analyseresultater fra 7 udvalgte sekundavandkilder i en screening af vandkvalitet i relation til vandbehandling til brug for Power-To-X produktion med alternative vandkilder. DV-krav = drikkevandskvalitetskrav

Parameter/Sted	Ferring Sø	Ballevad	Noret	Lemvig Sø	Thyborøn R1T	Høvsøre	Renset spildevand	DV-krav
Chlor, frit (mg/L)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	
Chlor, total (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
pH	8,1	7,8	7,9	8	7,3	7,2	7,1	7-8,5
Konduktivitet (mS/m)	440	55	240	46	270	58	110	
Farvetal (mg/L)	39	25	120	44	94	51	35	15
Turbiditet (FNU)	19	4,8	16	17	5,2	8,4	1,5	1
Tørstof, TS (mg/L)	2600	310	1400	290	1600	380	550	
Inddampningsrest (mg/L)	2600	310	1400	290	1600	380	550	
Glødetab, total (mg/L)	<20	<20	<20	22	<20	24	<20	
ret stoffers tørstof (mg/L)	7,6	3,4	12	2,4	<2	4,4	24	
iak+ammonium-N (mg/L)	0,59	0,01	0,37	0,035	1,4	0,11	7,6	0,05
Nitrat-N (mg/L)	0,84	1,1	0,93	1,6	0,42	3,8	1,8	50
Orthophosphat-P (mg/L)	0,007	0,012	0,19	0,081	0,9	0,034	0,071	
Silicium (kiselsyre) (mg/L)	5,8	3	8,6	4,1	8,3	6,4	5,7	
Fluorid (mg/L)	0,045	0,089	0,13	0,12	0,077	0,089	0,084	1,5
Chlorid (mg/L)	1100	84	530	53	680	78	210	250
Sulfat (mg/L)	160	12	76	24	70	43	32	250
hydrogencarbonat (mg/L)	180	130	220	130	250	110	170	
TOC (mg/L)	25	16	35	16	28	18	18	
luminium, Filtreret (µg/L)	110	16	37	220	47	81	56	200
Zink, Filtreret (µg/L)	8,6	32	3,4	4,3	20	15	9,5	3000
Strontium, Filtreret (µg/L)	590	140	410	140	227	180	190	10000
Kobber, Filtreret (µg/L)	1,7	2,6	1,5	3	2,7	2,7	0,24	2000
Bor, Filtreret (µg/L)	320	29	180	29	452	45	85	1000
Barium, Filtreret (µg/L)	30	18	28	19	13	45	1,7	700
Mangan, Filtreret (mg/L)	0,027	0,043	0,22	0,013	1,1	0,11	0,043	0,05
Jern, Filtreret (mg/L)	0,19	0,2	0,85	0,26	0,16	0,48	0,026	0,2
mgnesium, Filtreret (mg/L)	89	5,2	40	6,4	380	8,9	13	50
Calcium, Filtreret (mg/L)	73	41	66	44	16	45	31	
Kalium, Filtreret (mg/L)	24	2,5	17	3,8	72	5,5	12	10
Natrium, Filtreret (mg/L)	660	53	340	35	47	49	140	175

Evaluering af vandkvalitet i de analyserede prøver fra februar 2023

Helt overordnet ligner vandkvaliteterne i de forskellige sekundavandkilder meget hinanden. Alle prøverne af sekundavand er langt fra drikkevandskvalitetskravene, men der er ikke nogen kritiske parametre i de analyserede vandkvaliteter.

Alle vandkvaliteterne vil kunne renses med kendte vandbehandlingsteknologier, som uddybes i afsnit 5.2.4.

Det der er vigtigt at huske på, at der her er tale om en enkelt vandprøve udtaget på en dag i februar 2023, disse resultater giver ikke korrekt billede af eventuelle tidlige eller lokalitetsbestemte variationer for de forskellige ressourcer.

Nogle af parametrene kan sammenlignes direkte med de historiske data. For eksempel viser

konduktiviteten i prøverne nogenlunde samme tendens som i de historiske data (se figur 11), hvor Ramme Å i tilløbet til Høvsøre pumpelag har omkring 50 mS/cm ligesom Lemvig Sø viser lave værdier. Ferring Sø viser både her i den aktuelle vandprøve og i de historiske data de højeste værdier for konduktivitet, hvilket følges med høje værdier for chlorid og bor. I forhold til orthophosphate viser Noret både i de historiske data og den aktuelle vandprøve højeste værdier, se Figur 14.

Der kan dog godt laves en grov opdeling i fire kategorier, baseret på analyseresultaterne og med henblik på valg af renseteknologier for de valgte kilder. De fire kategorier er regnvand, terrænnært grundvand, rensat spildevand og ferskvand/drænvand, se tabel 13.

Den vandkvalitet, der ligger tættest på drikkevandskravene er regnvandet fra Ballevad grøft, umiddelbart vil denne vandkvalitet kræve den simpleste vandrensning. Vandkvaliteten af denne vandtype vil derfor være meget egnet til videre vandrensning i forhold til endnu bedre vandkvalitet. Da der i dette projekt ikke vil blive arbejdet videre med anvendelsen af opsamlet regnvand, på grund af små kvantiteter placeret geografisk langt væk fra brugeren af det ultrarene vand, udgår Ballevad grøft i det videre arbejde med sammensætning forslag til renseteknologier.

Prøven af det rensede spildevand viser positiv vandkvalitet i forhold til yderligere rensning på baggrund af de valgte vandkvalitetsanalyser. Indhold af uønskede stoffer, såsom pesticidrester og

nedbrydningsprodukter herfra samt PFAS-forbindelser indgår ikke i evalueringen og disse kan få betydning for retentat-vandkvalitet i den videre vandbehandling.

De prøver med de højeste organiske stoffers indhold og inddampningsrest er ferskvand/drænvand. Disse vandkvaliteter vil kræve forbehandling, hvor de organiske stoffer fjernes. Teknologierne hertil er kendte, såsom flokkulering og sedimentering eller membranfiltrering.

Tabel 13 giver en grov oversigt over de analyserede vandtyper, samt en overordnet rangering af de fire vandtypers vandkvalitet i forhold til videre vandbehandling udelukkende på baggrund af resultaterne givet i tabel 12.

Tabel 13: Vandprøverne opdelt i fire kategorier af vandtype på baggrund af analyseresultaterne samt rangering af vandtyper i forhold til den videre rensning. 1. vil umiddelbart være simplest at behandle og 4. vil være mere omfattende. Dog kan alle vandkvaliteter renses med kendte renseteknologier

Kategori vandtype	Prøvetagningssted	Vandkvalitet i relation til rensning.
Regnvand	Ballevad Grøft	1.
Terrænnært grundvand	Thyborøn	4.
Renset spildevand	Harbøre rensningsanlæg	2.
Ferskvand/drænvand	Harbøre Pumpelag, Høvsøre pumpelag, Ferring Sø, Lemvig Sø	3.

5.2.4 Rensning af sekundavand til ultrarent vand

Generelt om vandrensning af en sekundavandkilde til ultrarent vand kan siges at det skal ske i flere trin. Vandrensning skal tilrettelægges i trin, der afhænger af de forskellige parametre i vandkvaliteten af sekundavandet. Hvilke renseteknologier, der skal anvendes, afhænger af vandkvaliteten af kilden. De første rensetrin udvælges på baggrund af kildens vandkvalitetsparametre.

Den eller de første rensetrin skal rense vandet til en kvalitet, der muliggør robust og hensigtsmæssig drift af den efterfølgende mere avancerede vandrensning / polering af vandkvaliteten. Organiske stoffer, opløste og suspenderede stoffer samt redox-aktive

metal ioner, som jern og mangan ønskes fjernet bedst muligt i de første rensetrin, der kan bestå af klassiske filtrerings- og/eller koagulering og fældningsprocesser.

Der kan være stoffer i vandet, der kræver specifikke og/eller mere avancerede renseteknologier, så som vandets hårdhed (indhold af calcium og magnesium) samt karbonat (CO_3^{2-}), der kan håndteres ved forskellige typer af blødgøringsteknologier. Nogle ioner samt miljøfremmede stoffer kan kræve at særlige renseteknologier anvendes som en del af processen, for eksempel aktiv kulfiltrering, ultra-og/eller nanofiltrering.

De(t) sidste trin i denne proces vil typisk bestå af en polering af vandet gennem Revers Osmose (RO) teknologier eventuelt suppleret med

Elektrodeionisering (EDI) eller Mixed Bed Filtration (MBF).

Rensning af sekundavand i Lemvig Kommune til ultrarent vand

Med udgangspunkt i casen i Lemvig Kommune, og på baggrund af ovenstående prøveresultater fra de forskellige vandkilder, blev partner Krüger Veolia forespurgt at komme med deres bud på hvordan disse vandkilder vil kunne renses til ultrarent vand, samt bedt om at komme med en vurdering af om spildevandet fra renseprocesserne ville kunne håndteres på renseanlæg.

Projektpartner Krüger har udarbejdet et notat hvori valg og sammensætning af renseteknologier er

beskrevet for de givne vandkvaliteters rensning til ultrarent vand, som er inkluderet i nærværende rapport som bilag 4. I det følgende hives relevante dele af notatet ind i rapporten.

De seks vandkilder der blev taget prøve af (regnvand ej medtaget af grunde tidligere nævnt) blev opdelt i fire kategorier i forhold til rensning: drænvand fra marker, ferskvand fra søer og åer, grundvand og rensset spildevand. Kategorisering af hver vandkilde kan ses i tabel 14.

Tabel 14: Kategorisering af de 6 analyserede vandkilder

Prøvested/Type af vandkilde	Drænvand fra marker	Ferskvand fra søer og åer	Grundvand (terrænnært)	Renset spildevand
Ferring sø		X		
Noret	X	X		
Lemvig Sø		X		
Thyborøn R1T			X	
Hovsøre	X			
Renset spildevand fra Harboøre renseanlæg				X

Renseprocessen blev tilrettelagt efter forventningen om at kravene til det ultrarene vand vil være de parametre beskrevet i tabel 15.

Tabel 15: Forventet indhold i ultrarent vand

Parameter	Enhed	Ultrarent vand
Flow	m ³ /h	100
Konduktivitet (ledningsevne)	mS/m	≤ 0,5
Klorid (Cl ⁻)	mg/l	≤ 0,01
Hydrogencarbonat	mg/l	≤ 0,8
Carbonat (CO ₃ ²⁻)	mg/l	≤ 2
CO ₂	mg/l	≤ 1
Siliciumdioxid (SiO ₂)	mg/l	≤ 1
Aluminium ioner (Al ³⁺)	mg/l	≤ 0,0007

Procesbeskrivelse for rensning af sekundavand

Figur 16 viser et overordnet proces flowdiagram for hhv. terrænnært grundvand, rensset spildevand og ferskvand/drænvand. Recovery for de forskellige processer beskriver andelen af vandet, som kommer igennem processen. Fra flere af enhedsoperationerne vil der være periodiske spildstrømme, som er markeret med magneta på figur 16.

Frekvens, mængde og indhold af spildstrømmene afhænger af den enkelte enhedsoperation og dimensioneringen herfra. Fælles for alle vandkilderne (blå pile) er, at vandet skal filtreres med omvendt osmose (RO) før det sendes til den sidste polering i continuous electrodeionization (CEDI).

- *Terrænnært grundvand*

Grundvandsrensningen er baseret på analyserne af Thyborøn R1T. Grundvandet sendes gennem et sandfilter for at fjerne partikler, hvorefter vandet sendes gennem aktivt kul for at reducere det organiske materiale i vandet. Sandfilter og aktivt kul filter skylles jævnligt for at sikre, at materialerne ikke pakker i filtrene og dermed opretholdes høj effektivitet. Ydermere forventes det, at kulfilteret skal udskiftes når effektiviteten bliver lav. Fra kulfilteret ledes vandet gennem en blødgøring, for at reducere eventuel hårdhed, idet grundvand fra området har en hårdhedsgrad mellem 8-12°dH (<https://www.dingeo.dk/kort/vandhaardhed/>). Dog er grundvandet fra Thyborøn R1T terrænnært og hårdhedsgraden er ukendt. Fra blødgøringen vil vandet kunne passere igennem RO og CEDI.

- *Renset spildevand*

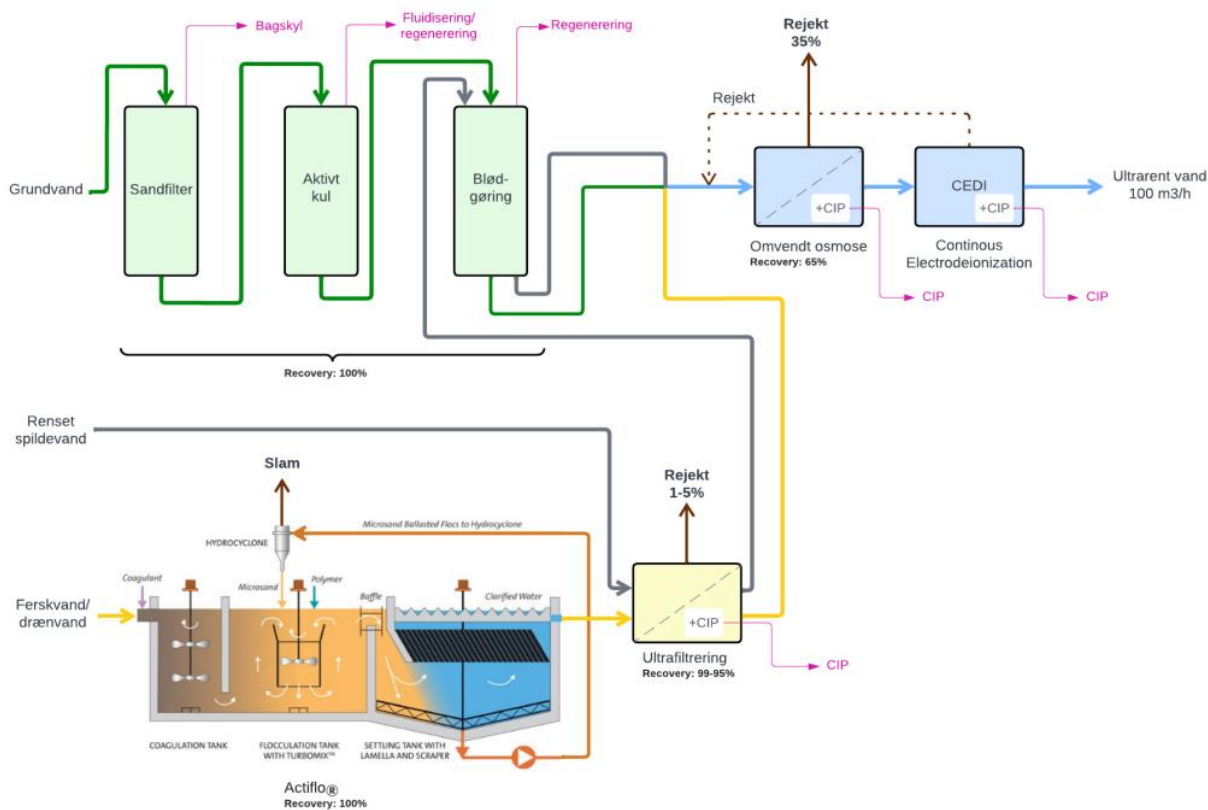
Teknologierne til at håndtere rensset spildevand er baseret på en enkelt analyse fra Harboøre Renseanlæg. Spildevandet skal først filtreres gennem ultrafiltrering (UF) for at fjerne partikler, det kan være nødvendigt at tilføje et koaguleringsmiddel før UF for at opnå tilstrækkelig partikelfjernelse. Fra UF vil der være en rejektstrøm, som skal sendes tilbage til renseanlægget. Derudover vil der være en periodevis CIP. Permeatet (filtreret vand) fra UF sendes til blødgøring, idet vandet forventes at have en hårdhedsgrad mellem 8-12°dH. Regenerering heraf vil give en periodisk spildstrøm. Herefter vil vandet kunne passere igennem RO og CEDI.

- *Ferskvand og drænvand*

Rensningen af ferskvand og drænvand er baseret på analyserne af Ferring Sø, Lemvig Sø, Noret og Hovsøre. Rensningen af ferskvand og drænvand er ens, idet indholdet i prøverne minder om hinanden. Foruden analyserne forventes det, at vandet vil indeholde en del bakterier/alger og mængden af partikler vil variere over året, hvilket kræver en robust proces til at fjerne partikler og organisk stof. Dette kan opnås gennem Actiflo® processen, hvor der tilsættes koagulant, polymer og mikrosand som får partiklerne til at bundfælde sammen med mikrosandet. Slammet separeres kontinuert i en hydrocyklon således, at mikrosandet recirkuleres, mens slammet skal håndteres på det nærliggende renseanlæg. Vandet fra Actiflo® filtreres i UF for at sikre, at der er en høj partikelfjernelse før vandet ledes til RO og CEDI. Analyserne indikerer ikke om der er meget opløst organisk stof eller har en høj hårdhed og dermed kan det ikke udelukkes, at det vil være nødvendigt med både aktivt kul og blødgøring før RO.

Efter CEDI er vandet ultrarent og indholdet i vandet forventes at være som beskrevet i tabel 15. Fra begge processer er der periodvis CIP (clean-in-place), hvor kemikalier tilsættes for at fjerne fouling, hvilket typisk er dagligt for RO og ugentlig for CEDI. Fra både RO og CEDI er der rejektvand, hvor ionerne er opkoncentreret, dog forventes det, at rejekt fra CEDI kan recirkuleres, som figur 16 viser, mens rejekt fra RO skal håndteres af et renseanlæg.

Afhængig af bicarbonat niveauet i vandet, kan det være nødvendigt at dosere NaOH i RO processen og/eller inkludere en membrane degasser mellem RO og CEDI, hvor CO₂ kan afgasses.



Figur 16: Krügers oplæg til sammensætning af renseteknologier for de tre overordnede sekundavandkilder: Terrænnært grundvand (grønne flow pile), Renset spildevand (grå flow pile) og ferskvand/drænvand (gule flow pile). Periodiske spildstrømme er markeret i flowdiagrammet med magenta flow pile (Nielsen L. H., April 2023). Større version af figur kan findes i bilag 4.

Rejektvandshåndtering på renseanlæg

Som det fremgår af figur 16, er der flere rejektstrømme (fra UF og RO) og en slamfraktion (fra Actiflo®), der skal håndteres på det nærliggende renseanlæg.

Rejektstrømmen fra UF vil primært indeholde partikler, mens rejekt fra RO primært vil indeholde opløste salte og andet opløst stof. Slammet fra Actiflo® vil primært indeholde partikler og kolloid organisk stof samt koaguleringsmidlet og polymer.

Derudover vil der også være løbende bagskyl af sandfilter, fluidisering af aktivt kul, regenerering af blødgøring samt CIP af UF og RO. Disse spildstrømme udgør en mindre mængde end de kontinuerede rejektstrømme fra Actiflo®, UF og RO.

I den foreslåede vandrensning beskrevet på figur 16 forventes det, at al forurening samt størstedelen af ionerne vil være i rejektet, som sendes til det nærliggende renseanlæg (rejektstrøm fra RO og UF samt slam fra Actiflo®). Figur 16 beskriver den forventede recovery fra de forskellige processer. Som det fremgår her forventes UF at operere med en recovery på hhv. 99% og 95% for ferskvand/drænvand, som har været igennem Actiflo® og tilsvarende recovery på rensed spildevand. RO forventes at opnå en recovery på 65%. Råvands- og rejektvandsmængder for de tre typer af vand kan ses i tabel 3. Tabel 4 beskriver den belastning, som forventes at være i rejektet under antagelse af, at 100% af indholdet i råvandet ender i rejektet. Belastningen er udelukkende baseret på analyseresultaterne fra tabel 12.

Det skal noteres, at der ikke er data for PFAS-koncentration i kilderne ud over Thyborøn, og det kan dermed ikke vides, om belastningen fra de andre kilder vil være større eller mindre. PFAS vil dog fjernes i rensningen illustreret på figur 16, således at det ultrarene vand er uden PFAS. Når PFAS fjernes med aktivt kul som det er tilfældet for Thyborøn R1T, vil en stor del PFAS forblive i kulfilteret og vil kræve udskiftning af kulfilteret når det er mættet, da en regenerering ikke kan fjerne PFAS.

De røde felter markeret i tabel 17 viser de parametre, som kan være problematiske for det nærliggende renseanlæg, der modtager rejektvandet. Den øvrige belastning er enten meget lav eller uden betydning for renseanlægget.

Kvælstof-, fosfor- og kulstofbelastningen har betydning for, om renseanlægget har kapacitet til at modtage rejektvandet. Den største belastning er fra

kvælstof og kulstof på hhv. 3300 PE (total-N) fra rensset spildevand og 2700 PE (kulstof) fra grundvand, dog med det forbehold, at disse belastninger er beregnet på baggrund af én analyse. Det anbefales, at belastningen fra rejektvandet baseres på flere analyser henover forskellige sæsoner for at have bedre kendskab til, hvor stor en belastning der vil være i rejektvandet som det nærliggende renseanlæg skal håndtere.

Den fjerde parameter markeret med rød i tabel 17 er chlorid belastningen, idet denne er relativt høj fra specielt grundvand. Chlorid belastningen påvirker slammets bundfældningsegenskaber på renseanlægget, specielt hvis variationen er stor, hvilket ikke kan udelukkes. Dette skal dog ses i sammenhæng med den variation i chlorid-belastning som det pågældende renseanlæg ellers modtager.

Øvrige spildstrømme

I figur 16 er de periodiske spildstrømme markeret med pink. Disse spildstrømme fremkommer ved periodisk rensning af den enkelte enhedsoperation og er dermed ikke kontinuer. Alle spildstrømmene forventes at indeholde en mindre del af den

belastning som fjernes. Spildstrømmene fra UF, RO CEDI vil bestå af CIP, hvor håndteringen heraf vil afhænge af den pågældende leverandørs anvisninger herfor.

Tabel 16: Oversigt over forventet råvandsmængder og rejektvandsmængder i anlæg med forbrug af ultrarent vand på 100 m³/h

	Enhed	Grundvand	Renset spildevand	Ferskvand/drænvand
Råvandsmængde	m ³ /h	167	176	169
Rejekt fra forbehandling	m ³ /h	0	9	2
Rejekt fra RO	m ³ /h	67	67	67
Total rejecktængde	m ³ /h	67	76	69

Tabel 17: Forventet belastning til renseanlæg under forudsætning af 100% af indholdet i råvandet ender i rejektvandet. Belastningen i rejektvandet fra ferskvand/drænvand er baseret på det gennemsnitlige indhold i råvandet fra Ferring Sø, Noret, Lemvig Sø og Hovsøre, mens det for terrænnært grundvand og rensset spildevand er baseret på én analyse. *PE-belastning beregnet under antagelse af, at Total-N udgøres af ammoniak+ammonium-N og Nitrat-N **PE-belastning beregnet under antagelse af, at orthophosphat-P udgør Total-P ***PE belastning beregnet under antagelse af, at COD = 3*TOC

Parameter	Enhed	Grundvand	Renset Spildevand	Ferskvand/drænvand
Tørstof	kg/d	6425	2325	4735
Inddampningsrest	kg/d	6425	2325	4735
Glødetab	kg/d	-	-	93
Suspenderet stoffers tørstof	kg/d	-	101	27
Ammoniak + Ammonium-N	kg/d	5,6	32	1,1
Nitat-N	kg/d	1,7	7,6	7,3
Total-N(beregnet)*	kg/d	7,3 (600 PE)	40 (3300 PE)	8,4 (700 PE)
Orthophosphat-P**	kg/d	3,6 (1800 PE)	0,3 (150 PE)	0,3 (150 PE)
Silicium (kiselsyre)	kg/d	33	24	25
Fluorid	kg/d	0,3	0,4	0,4
Chlorid	kg/d	2731	888	1786
Sulfat	kg/d	281	135	307
Hydrogencarbonat	kg/d	1004	719	649
TOC***	kg/d	112(2700PE)	76 (1800 PE)	95 (2300 PE)
Aluminium, Filtreret	kg/d	0,2	0,2	0,5
Zink	kg/d	0,08	0,04	0,03
Strontium	kg/d	0,9	0,8	1,3
Kobber	kg/d	0,01	0,001	0,009
Bor	kg/d	1,8	0,4	0,6
Barium	kg/d	0,05	0,007	0,1
Mangan	kg/d	4,4	0,2	0,4
Jern	kg/d	0,6	0,1	1,8
Magnesium	kg/d	1526	55	146
Calcium	kg/d	64	131	231
Kalium	kg/d	289	51	51
Natrium	kg/d	189	592	1099
Sum 4 PFAS	g/d	0,7	Ikke målt	Ikke målt
Sum 22PFAS	g/d	0,8	Ikke målt	Ikke målt

Opsummering

Det er muligt at rense alle vandkilderne til ultrarent vand ved at benytte kendte teknologier. Dog er det nødvendigt at variere renseteknologierne afhængig af kilden, for ikke at have overflødige rensesettrin. For at opnå ultrarent vand skal vandet efter forbehandling poleres med RO og CEDI. Hvis der tages udgangspunkt i, at alt rejktvand sendes til behandling på renseanlæg skal opmærksomheden rettes mod belastningen fra total-N, total-P og COD, idet der skal vurderes om renseanlægget kan håndtere den ekstra belastning fra rejktvandet. Derudover skal der også rettes opmærksomhed mod belastningen fra chlorid, da denne kan variere over året og har en negativ effekt på bundfældningsegenskaberne af slammet i renseanlægget, dog skal det vurderes mod den normale variation i chlorid som renseanlægget i forvejen modtager. Det er ikke undersøgt om det er muligt at lede nogle rejktstrømme direkte til recipient.

En eventuel PFAS forurening i råvandet vil fjernes i rensning af råvandet. Hvis PFAS fjernes vha. aktivt kul, som er tilfældet for den rensning, der er opstillet for grundvand fra Thyborøn R1T, forventes PFAS forureningen at være i kulfilteret og ikke ende på renseanlægget. Hvis der er PFAS i de andre typer af råvand, kan det forventes at PFAS bliver ledt til det nærliggende renseanlæg med rejktvandet. På et

traditionelt biologisk kemisk renseanlæg sker der kun en minimal fjernelse af PFAS og belastningen vil med stor sandsynlighed ende i recipienten, da PFAS ikke nedbrydes biologisk i renseanlægget, og kun i ringe grad optages i spildevandsslammet.

Med udgangspunkt i analyseresultater fra vandprøver og notatet fra Krüger, fremkommer nedenstående tabeller. Tabel 18 fortæller hvor meget råvand der vil skulle bruges til casen i Lemvig kommune, alt efter hvilken kilde, og hvor meget rejktvand der ligeledes ville skulle håndteres.

Tabel 19 viser stofmængdekonzentrationerne i råvand og i rejktvand samt de totale stofmængder per dag og per år. Der er i den inkluderede tabel medtaget terrænnært grundvand fra Thyborøn, rensed spildevand fra Harboøre renseanlæg og et gennemsnit for drænvand/overfladevand, baseret på Noret, Ferring sø, Lemvig sø og Høvsøre pumpestation. Dog er der en del forskel mellem disse kilder, så de samme beregninger for hver enkelt kilde er vist henholdsvis på bilag 5, og i tabel 20 for Ferring sø og Høvsøre. Disse er medtaget for at illustrere forskellen på de to kilder, samt at det er disse kilder der ligger tættest på lokationen for PtX-anlægget.

Tabel 18: Oversigt over vandstrømme ind og ud af vandrenseanlæg til et 500 mW power-to-X anlæg, alt efter hvilken vandkilde der bruges.

Anlæg	Skovgaard Energy, Ramme, Grøn Ammoniak		
	Renset spildevand	Gennemsnit drænvand/overfladevand	Terrænnært grundvand
Vandkilde			
Rensemetode	UF, RO, CEDI	Actiflow, UF, RO, CEDI	Sandfilter, Aktivt kul, Blødgøring, RO, CEDI
% rejektstrøm udgør	43%	41 %	40%
Elektrolysekapacitet (MW)	500	500	500
Kapacitetsfaktor (årligt gennemsnit)	66%	66%	66%
Maximum ultrarent vandbehov (m ³ /h)	100	100	100
Maximum råvand-behov (m ³ /h)	175,44	169,49	166,67
Årligt forbrug af ultrarent vand (m ³)	578160,00	578160,00	578160,00
Årligt forbrug af råvand (m ³)	1014315,79	979932,20	963600,00
Maximum rejekt fra forbehandling (UF) (m ³ /h)	8,97	2,01	-
Maximum rejekt fra RO (m ³ /h)	66,79	67,19	66,87
Maximum total rejehtmængde(m ³ /h)	75,76	69,20	66,87
Estimeret total årlig rejehtmængde (m ³)	438022,13	400086,72	386596,32

Tabel 19: Overblik over koncentrationer og stofmængder i rejektvand, alt efter hvilken vandkilder der bruges. For rensset spildevand og terrænnært grundvand, er der i de to første kolonner angivet henholdsvis en koncentration i råvandet, baseret på analyse fra februar, samt den forventede koncentration i rejektvand, efter rensning til ultrarent vand. De næste 2 kolonner for hver kilde, angiver hvor stor en stofmængde der samlet set ville skulle håndteres i henholdsvis kilo per dag og kilo per år.

Kilde	Renset spildevand				Terrænnært grundvand (Thyborøn drænvand)			
	Konc. råvand	Konc. rejektvand	kg/dag	kg/år	Konc. råvand	Konc. rejektvand	kg/døgn	kg/år
Indhold i rejektstrøm:								
[Tørstof, TS (mg/L)]	550	1279	2325	560093	1600	4000	6425	1547782
[Inddampningsrest (mg/L)]	550	1279	2325	560093	1600	4000	6425	1547782
[Glødetab, total (mg/L)]	<20		0	0	<20			0,00
[Suspenderet stoffers tørstof (mg/L)]	24	55,8	101	24331	<2			0,00
[Ammoniak+ammonium-N (mg/L)]	7,6	17,7	32	7708	1,4	3,5	5,6	1349
[Nitrat-N (mg/L)]	1,8	4,19	7,6	1831	0,42	1,05	1,7	410
Total N (beregnet)	9,4	21,9	40 (3300 PE)	9636	1,8	4,6	7,3 (600 PE)	1759
[Orthophosphat-P (mg/L)]	0,071	0,17	0,3 (150 PE)	72,27	0,9	2,25	3,6 (1800 PE)	867
[Silicium (kiselsyre) (mg/L)]	5,7	13,3	24	5781,6	8,3	20,75	33	7950
[Fluorid (mg/L)]	0,084	0,2	0,4	96,36	0,077	0,1925	0,3	72
[Chlorid (mg/L)]	210	488	888	213919	680	1700	2731	657898
[Sulfat (mg/L)]	32	74	135	32522	70	175	281	67693
[Hydrogencarbonat (mg/L)]	170	395	719	173207	250	625	1004	241864
[TOC (mg/L)]	18	41,9	76 (1800 PE)	18308	28	70	112 (2700 PE)	26981
[Aluminium, Filtreret (µg/L)]	56	130	0,2	48	47	117,5	0,2	48
[Zink, Filtreret (µg/L)]	9,5	22	0,04	9,6	20	50	0,08	19,3
[Strontium, Filtreret (µg/L)]	190	442	0,8	193	227	567,5	0,9	216,8

	Renset Spildevand				Terrænnært Grundvand (Thyborøn drænvand)			
			Kg/dag	Kg/år			Kg/dag	Kg/år
[Kobber, Filtreret (µg/L)]	0,24	0,56	0,001	0,24	2,7	6,75	0,01	2,41
[Bor, Filtreret (µg/L)]	85	198	0,4	96	452	1130	1,8	434
[Barium, Filtreret (µg/L)]	1,7	4	0,007	1,7	13	32,5	0,05	12
[Mangan, Filtreret (mg/L)]	0,043	0,10	0,2	48,2	1,1	2,75	4,4	1060
[Jern, Filtreret (mg/L)]	0,026	0,06	0,1	24	0,16	0,4	0,6	145
[Magnesium, Filtreret (mg/L)]	13	30	55	13250	380	950	1526	367613
[Calcium, Filtreret (mg/L)]	31	72	131	31558	16	40	64	15418
[Kalium, Filtreret (mg/L)]	12	28	51	12286	72	180	289	69620
[Natrium, Filtreret (mg/L)]	140	326	592	142613	47	117	189	45530
PFAS Sum 4							0,0007	0,17
PFAS sum 22							0,0008	0,19
Konduktivitet (mS/m)	110	256			270	675		

Indhold i rejektvand:	Ferring Sø				Høvsøre			
	Konc. råvand	Konc. rejektvand	kg/døgn	kg/år	konc. råvand	Konc. rejektvand	kg/døgn	kg/år
[Tørstof, TS (mg/L)]	2600	6341	10546	2540435	380	927	1541	371294
[Inddampningsrest (mg/L)]	2600	6341	10546	2540435	380	927	1541	371294
[Glødetab, total (mg/L)]	<20				24	59	97,34	23450
[Suspenderet stoffers tørstof (mg/L)]	7,6	18,5	31	7420	4,4	10,73	17,85	4300
[Ammoniak+ammonium-N (mg/L)]	0,59	1,44	2,4	578	0,11	0,27	0,45	108
[Nitrat-N (mg/L)]	0,84	2,05	3,4	819	3,8	9,27	15,4	3710
Total N (beregnet)	1,43	3,49	5,8	1397	3,9	9,5	15,9	3830
[Orthophosphat-P (mg/L)]	0,007	0,02	0,03	7,2	0,03	0,08	0,14	33,7
[Silicium (kiselsyre) (mg/L)]	5,8	14,2	23,5	5661	6,4	15,6	26	6263
[Fluorid (mg/L)]	0,045	0,11	0,18	43,4	0,09	0,22	0,36	87
[Chlorid (mg/L)]	1100	2683	4462	1074895	78	190	316	76221
[Sulfat (mg/L)]	160	390	649	156344	43	105	174	42013
[Hydrogencarbonat (mg/L)]	180	439	730	175857	110	268	446	107441
[TOC (mg/L)]	25	61	101,4	24427	18	43,90	73	17586
[Aluminium, Filtreret (µg/L)]	110	268	0,45	108,4	81	198	0,33	79
[Zink, Filtreret (µg/L)]	8,6	21	0,03	7,2	15	36,6	0,00014	0,03
[Strontium, Filtreret (µg/L)]	590	1439	2,4	578	180	439	0,73	176
[Kobber, Filtreret (µg/L)]	1,7	4,15	0,007	1,69	2,7	6,59	0,000028	0,0067
[Bor, Filtreret (µg/L)]	320	780	1,3	313	45	110	0,18	43
[Barium, Filtreret (µg/L)]	30	73	0,12	29	45	110	0,0005	0,12
[Mangan, Filtreret (mg/L)]	0,027	0,07	0,1	24	0,11	0,27	0,45	108
[Jern, Filtreret (mg/L)]	0,19	0,46	0,77	185	0,48	1,17	1,95	470
[Magnesium, Filtreret (mg/L)]	89	217	361	86965	8,9	21,7	36	8697
[Calcium, Filtreret (mg/L)]	73	178	296	71306	45	110	183	43969
[Kalium, Filtreret (mg/L)]	24	58,5	97	23367	5,5	13,4	22,3	5372
[Natrium, Filtreret (mg/L)]	660	1610	2677	644889	49	120	199	47876
Konduktivitet (mS/m)	440	1073			58	141		

Tabel 20: Overblik over stofmængdekonzentrationer i rejektvand og råvand hvis vand fra Høvsøre eller Ferring sø bruges. Disse ses i første og anden kolonne under hver kilde. Ligeledes overblik over totale stofmængder der vil skulle håndteres på renseanlæg per dag og per år, hvilket er angivet i tredje og fjerde kolonne under hver kilde.

5.2.5 Overordnet evaluering af vandkvaliteten af sekundavandkilder i Lemvig Kommune i forhold til rensning til ultrarent vand, og i forhold til håndtering af rejektvandet fra renseprocessen

Ovenstående analyser har vist at alle undersøgte sekundavand-kvaliteter i Lemvig Kommune ville kunne renses til ultrarent vand ved hjælp af renseteknikker afbildet i figur 16, og ifølge Krügers vurdering ville et renseanlæg kunne modtage

rejektvandet fra renseprocesserne, uanset kilde. Dog er det vigtigt at bemærke, som allerede nævnt, at de estimerede stofmængdekonzentrationer og totale stofmængder i rejektvandet er baseret på analyseresultaterne fra en enkelt vandprøve, og

gengiver derfor ikke variationer der givetvis er for disse kilder, hvilket kunne give et misvisende billede. Men ser man på de stoffer der vurderes at kunne udgøre et problem for renseanlægget i forhold til at kunne modtage rejeckt vandet, nævnes kvælstof, fosfor, Chlorid og TOC (total organic carbon). Den forventede variation af disse stoffer er indgående analyseret i notatet fra SEGES innovation om drænvandskvalitet (SEGES Innovation, 2023) samt belyst med de historiske data fra miljøportalen under afsnit 5.2.3. Ved at supplere med disse data,

dannes der et fyldestgørende billede af vandkvaliteten for kilderne i forhold til indhold der skal tages hensyn til i forhold til håndtering af rejeckt vand. Derudover er Krügers analyse også baseret på et gennemsnit for alle drænvand/overfladevand-vandprøver, hvor disse kilder varierer meget i forhold til hinanden på nogle af parametrene. Derfor er det relevant også at kigge på hver enkelt kilde i forhold til de "problematisk stoffer", og ikke kun på gennemsnittet.

Kvælstof

Tages for eksempel total-N (kvælstof) i vandprøven fra Ferring sø og Høvsøre pumpestation, er beregnet total-N (summen af ammoniak+ammonium-N og nitrat-N) henholdsvis 1, 4 mg/l og 3,9 mg/l (tabel 20) i et øjebliksbillede fra februar 2023.

Ser man på SEGES drænvandskvalitetsanalyse er gennemsnittet for total-N koncentration i drænvand landet over ligger på omtrent 7,6 mg/l (tabel 3, bilag 2), hvor den største målte værdi var 39 mg/l og den lavest målte værdi var 0,4 mg/ liter. Dog ses generelt lavere kvælstofindhold i drænvand i Nord- og Vestjylland (gennemsnit på 6,5 mg/l (SEGES Innovation, 2023), både pga. sandet jord, og derfor større vandgennemstrømning, og større fortynding af kvælstof, men også grundet at nedbøren er større i det vestlige Danmark generelt. Kigger man på de historiske data for Ferring sø på miljøportalen (figur 13), ses det at kvælstofkoncentrationer målt gennem årene varierer mellem 0,7 mg/l og 14,2 mg/l, men at størstedelen af målinger ligger under 6 mg/l, og målinger fra de senere år ligger stabilt omkring 3 mg/l, uden store variationer (figur 13). De historiske data for Ramme å, som fører meget af det drænvand der løber til Høvsøre pumpelag, viser total-N

koncentrationer omkring 4 mg/l, med den laveste på 2,8 mg/l og den højeste målte værdi 6,7 mg/l (figur 13). Derudover ses en årlig tendens i variationen af kvælstof-koncentrationen i drænvand både i de historiske data og i SEGES data om drænvand, ved at koncentrationen generelt er størst i vintermånederne. Det kan derfor konkluderes at kvælstofkoncentrationen i vand fra enten Ferring Sø eller Høvsøre pumpelag vil variere fra år til år, afhængig af nedbør, type afgrøde der dyrkes på omkringliggende arealer og hvor stor en andel af drænvandet der er grundvand. Det er også sandsynligt at koncentrationen er størst om vinteren, og at den for Ferring sø oftest vil lægge under 6mg/l, sandsynligvis omkring 3 mg/l og for Høvsøre vil koncentrationen ligge under 7mg/l og generelt omkring 4-5mg/l. Analysen fra februar viser beregnet total-N på 9,4 mg/ liter på Harboøre renseanlæg, men historiske data fra Lemvig Vand viser at denne måling er usædvanlig høj. Total- N fra udløbet i Harboøre varierer som regel mellem 1mg/l og 7 mg/l, med en gennemsnitskoncentration på 3 mg/l. Der er derfor ikke den store forskel i kvælstofbelastning på renseanlægget imellem de 3 kilder, se tabel 21.

Tabel 21: Forventet gennemsnitlig kvælstofbelastning på renseanlægget ved brug for henholdsvis Ferring sø, Høvsøre (Ramme Å) og renset spildevand fra Harboøre renseanlæg

Sammenligning af belastning for renseanlæg ifht. kvælstof (total-N)	konc. råvand mg/l	Konc. rejeckt vand mg/l	total stof-mængde kg/d	total stof-mængde kg/år	*PE-equivalent
Ferring sø	3	7	12	2930	670
Høvsøre	5	12	20	4900	1100
Renset spildevand fra Harboøre	3	7	13	3050	690

Fosfor

Hvis vi ser på ortho-phosphat, er indholdet i Ferring sø og Høvsøre henholdsvis på 0,007 mg/l og 0,034 mg/l i vandprøven fra februar 2023. Hvis vi ser på SEGES drænvandsanalyse, er dette lavere end gennemsnittet i Danmark for drænvand, der ligger på 0,07 mg/l, men stemmer dog bedre overens med medianen fra samme studie der er på 0,03 mg/l (SEGES Innovation, 2023). Litteraturstudiet viser desuden at ortho-phosphat ikke varierer betydeligt i forhold til sæsonerne. Ses på de historiske data fra miljøportalen ligger ortho-phosphat-målingerne fra Ferring sø og varierer mellem 0,001 mg/l og 0,55 mg/l, men hvor størstedelen af prøverne er under 0,03 mg/l (83%) (Figur 14). Hvis vi ser på de historiske data fra Ramme Å, der løber til Høvsøre pumpelag, ses større værdier for ortho-phosphat der varierer mellem laveste måling på 0,025 mg/l og største på

0,13 mg/l, hvor medianen er på 0,043 mg/l og gennemsnittet på 0,05 mg/l (figur 14). Sammenlignet med ortho-phosphat i rensset spildevand fra Harboøre renseanlæg, hvor analyseresultatet fra februar var på 0,071 mg/l, og den gennemsnitlige koncentration, regnet fra målinger på udløbet fra renseanlægget foretaget af Lemvig Vand, viser en gennemsnitlig koncentration for total P på 0,3 mg/l, vil rensset spildevand have den højeste koncentration (se tabel 22). Dog findes der også historiske data for total-P for Ferring sø og Ramme Å. Hvis gennemsnittet tages af disse historiske målinger, ligger total-P-koncentrationen i Ferring sø gennemsnitligt på samme niveau som spildevandet fra Harboøre renseanlæg. Indholdet i Ramme å er gennemsnitligt på 0,12 mg/l. Se tabel 22.

Tabel 22: Sammenligning af spildevand fra renseproces til ultrarent vand, på baggrund af hvilken kilde der bruges. Beregninger er lavet ud fra den forventede gennemsnitlige koncentration af totalfosfor. For Ferring sø og Høvsøre er de baseret på de historiske tal fra miljøportalen (afsnit 5.2.3), og for rensset spildevand er den baseret på Lemvig Vands egen målinger på udløb fra Harboøre renseanlæg, der rapporteres til miljøstyrelsen hver måned

Sammenligning af belastning for renseanlæg ifht. fosfor (total-P)	konc. råvand mg/l	Konc. rejektivand mg/l	total stofmængde kg/d	total stofmængde kg/år	*PE-equivalent
Ferring sø	0,3	0,7	1,2	300	410
Høvsøre	0,12	0,3	0,5	120	160
Renset spildevand fra Harboøre	0,3	0,7	1,3	300	420

Chlorid

Desuden er der stor forskel på saltindhold og ledningsevne i de forskellige sekundavandkilder. Som nævnt kan chlorid-koncentrationer i rejektivand give problemer på renseanlæg i store og varierende koncentrationer. Ser man på Ferring Sø og Høvsøre er chlorid-koncentrationen fra vandprøven i februar henholdsvis 1100 mg/l og 78 mg/l. Ferring sø er en brakvandssø der har forbindelse til Vesterhavet gennem den sandede undergrund. Kigger man på de historiske data, varierer saltindholdet meget, men der er ikke et oplagt mønster i variation i forhold til sæson eller nedbør. I sommerhusområdet Vrist og Vejlbj, som ligger tæt på Ferring sø og på samme kyststrækning, er der placeret en grundvandstandsmåler. Man kan se at når der er kraftig vind fra vestlig retning, stiger grundvandet. Det ville være sandsynligt at der sker en større saltvandsindtrængning til søen når det blæser

kraftigt fra vest. Chlorid-koncentrationen i de historiske data varierer mellem 120 mg/l som den laveste måling, til 8880 mg/l som den absolut højeste. Gennemsnittet på målingerne er ca. 1900 mg/l og medianen er 1700 mg/l. Målingen fra februar ligger derfor i den lave ende, og man skal sandsynligvis forvente større saltindhold generelt, hvis der bruges vand fra Ferring sø. Baseret på de historiske data, vil man modtage rejektivand på renseanlægget med chlorid-koncentrationer varierende fra 280mg/l til 10300 mg/l, med en daglig total tilførsel varierende fra 490 kg chlorid/døgn til 17927 kg chlorid/døgn, med et gennemsnit på ca. 7700 kg chlorid/døgn. Til sammenligning viste vandprøven fra februar fra Høvsøre en chlorid-koncentration på 78mg/l (tabel 12), hvilket, hvis man ser på en række målinger fra miljøportalen, taget hen over året i 2020 i Ramme Å, er en højere

koncentration end gennemsnittet som ligger på omtrent 50mg/l med lille spredning. Hvis der bruges vand fra Høvsøre, skulle der sandsynligvis håndteres rejektivand med en maksimal chlorid-koncentration på 180 mg/l, og en maksimal tilførsel af chlorid på 320 kg/døgn, med et gennemsnit på ca. 200 kg/døgn. Hvis der sammenlignes med værdier for rensset

spildevand, ville man skulle forvente en koncentration i rejektivand på 490 mg/l og en tilførsel til rensesanlæg af chlorid på 890 kg/døgn. Dette er dog kun baseret på den ene måling fra februar, da Lemvig Vand ikke har historiske data på chlorid-indholdet i hverken tilløb eller afløb fra Harboøre rensesanlæg.

Tabel 23: Sammenligning af gennemsnitlig belastning på rensesanlæg fra spildevand fra rensesproces til ultrarent vand, i forhold til chlorid-indhold, på baggrund af hvilken kilde der bruges. For Ferring sø og Høvsøre er gennemsnittet baseret på de historiske tal miljøportalen (afsnit 5.2.3), og for rensset spildevand er den baseret på en enkelt måling fra februar (Tabel 12).

Sammenligning af belastning for rensesanlæg ifht. chlorid (Cl)	konc. råvand mg/l	Konc rejektivand mg/l	total stofmængde kg/d	total stofmængde kg/år
Ferring sø	1900	4400	7700	1,8 mill.
Høvsøre (Ramme Å)	50	120	200	50000
Renset spildevand fra Harboøre	210	490	890	215000

TOC

I analyseresultaterne fra vandprøven taget i februar, er der ikke stor forskel i TOC-koncentration for henholdsvis, Ferring sø, Høvsøre og rensset spildevand fra Harboøre rensesanlæg. Hvis man kigger i de historiske data, findes der målinger på COD for Ferring sø. Disse varierer meget, fra 20mg/l til 320 mg/l, med et gennemsnit på 104 mg/l og median på 70 mg/l. Ligeledes ses stor variation af suspenderet stof i de historiske data fra miljøportalen for Ferring sø (figur 10). Det kan derfor forventes at der vil være en stor variation af COD i rejektivand/slam fra rensesprocessen som skal håndteres på rensesanlæg, hvis Ferring Sø bruges som kilde. Man vil kunne forvente en variation i belastning fra 1352 PE til 21632 PE, med et gennemsnit på 6760 PE, baseret på de historiske data².

Der findes ikke data for BOD/COD/TOC indhold i drænvand/ Ramme Å i nærværende projekt, og en forståelse af variationen af TOC for Høvsøre må da bero på variationer i suspenderet stof (figur 10) fra de historiske data fra miljøportalen for Ramme Å. Her ses ikke nær så stor variation som i Ferring sø, samt et generelt lavere niveau.

Dette kunne tyde på at belastningen på rensesanlæg i forhold til TOC vil være mindre ved brug af vand fra Høvsøre, sammenlignet med Ferring sø. Ifølge data fra Lemvig Vand, er der i det rensede spildevand fra anlægget ikke stor variation af BOD/COD, men et stabilt COD niveau varierende mellem 15-30 mg/l, med gennemsnit på 22 mg/l COD.

5.2.6 Forsyningssikkerhed

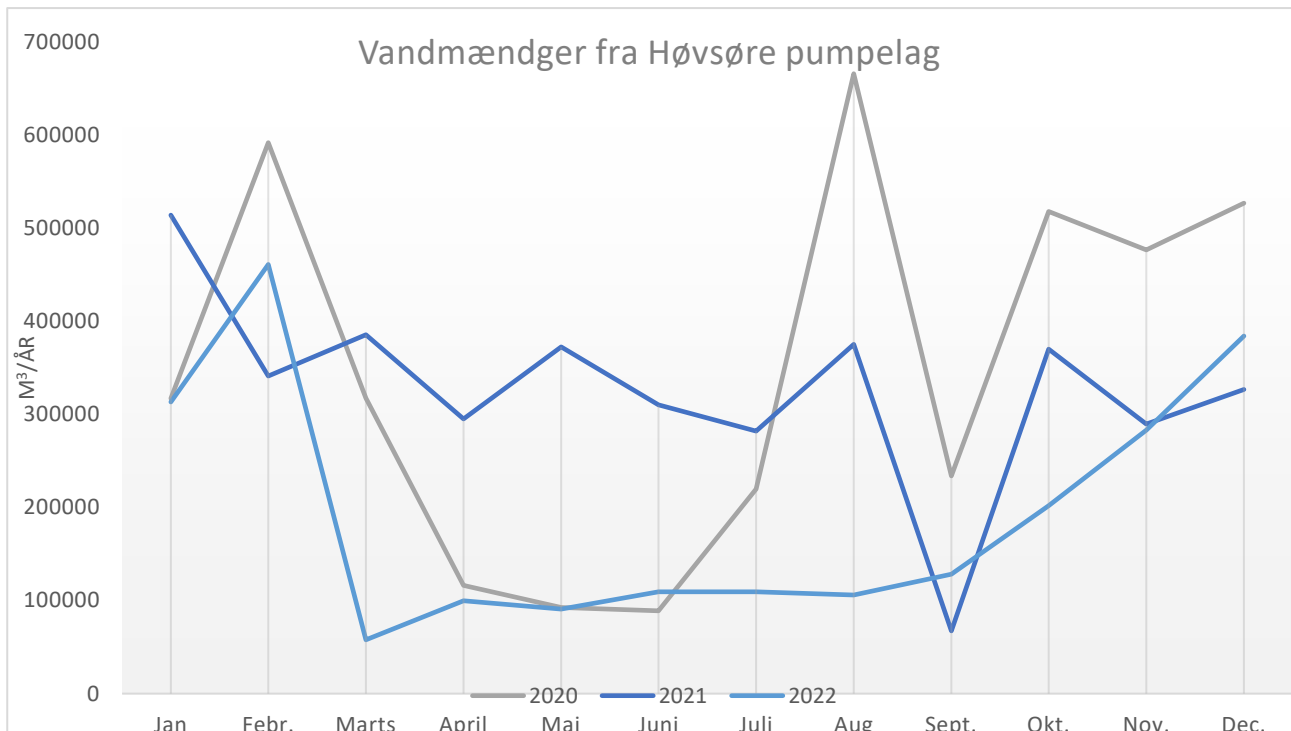
Forsyningssikkerhed er helt essentielt, og da mange af de kortlagte kilder er nedbørsafhængige og dermed varierer meget over året, og fra år til år

(eksempel i figur 17), har det været nødvendigt at analysere forsyningssikkerheden ved brug af de forskellige kilder. Til dette formål har Århus

² PE-belastning beregnet ud fra COD=BOD, og 21,9 kg BOD/år =1 PE

Universitet været med i projektet, og har lavet en model der på baggrund af indhentede data om vandmængder fra kilderne, kan fortælle om der er brug for reservoir, og i så fald, hvilken størrelse der ville være behov for. Modellen lægger tilgængelig online på <https://github.com/jolnd/SP2X-web> . Ud

over at fortælle om forsyningssikkerhed og behov for reservoir, fortæller den ligeledes om hvilke stofmængder man skal håndtere i rejekt strømmen fra renseprocessen til ultrarent vand, alt efter hvilken kilde man bruger.



Figur 17: Eksempel på hvor meget de nedbørsafhængige kilder kan variere i volumen fra år til år. Her afbildet årlige variationer af hvor meget vand der blev pumpet gennem Høvsøre pumpelag per måned i 2020, 2021 og 2023.

Jonas Lund og Lucas Jensen fra AU fortæller:

”Formålet med modellen er at estimere reservoirstørrelse som konsekvens af valgt(e) vandkilde(r), således, at der leveres en tilstrækkelig mængde vand, som tilfredsstiller vandbehovet for det fremlagte PtX anlæg. Dette kan bruges til at vurdere, hvorvidt det er muligt at opretholde et stabilt Sekundavand- Power-to-X (SPtX) system ud fra de forskellige vandkilder. Modellen kan bruges til at argumentere for projektets gennemførlighed, da den viser, hvordan at en betydelig andel af systemkonfigurationerne resulterer i et stabilt SP2X system.

Mangel på data var en udfordring. Det var kun muligt at indhente data per måned fra pumpestationer i

pumpelag, mens der var data per dag for rensed spildevand fra Harboøre renselanlæg og fra drænvandspumper i Thyborøn. De månedlige data var dog nok til at give et generelt overblik over SP2X systemet, men analysen ville afvige fra realiteten i sådan en grad, at det ville være vanskeligt at bruge analysen til at argumentere for projektets gennemførlighed, altså hvorvidt der var nok vand til at kunne opretholde et SP2X system.

På baggrund af ovennævnte, blev der udviklet en præprocesseringsalgoritme, der er i stand til at forhøje detaljegraden af data for vandkilderne. Algoritmen er lavet på baggrund af en sammenhæng mellem den pumpede vandmængde, og nedbør i Lemvig kommune, for vandkilder med daglige datapunkter. Denne sammenhæng, kombineret med

det månedlige observerede vandoutput, bruges dernæst til at forudsige den daglige tilgængelige vandvolumen fra pumpelagene.

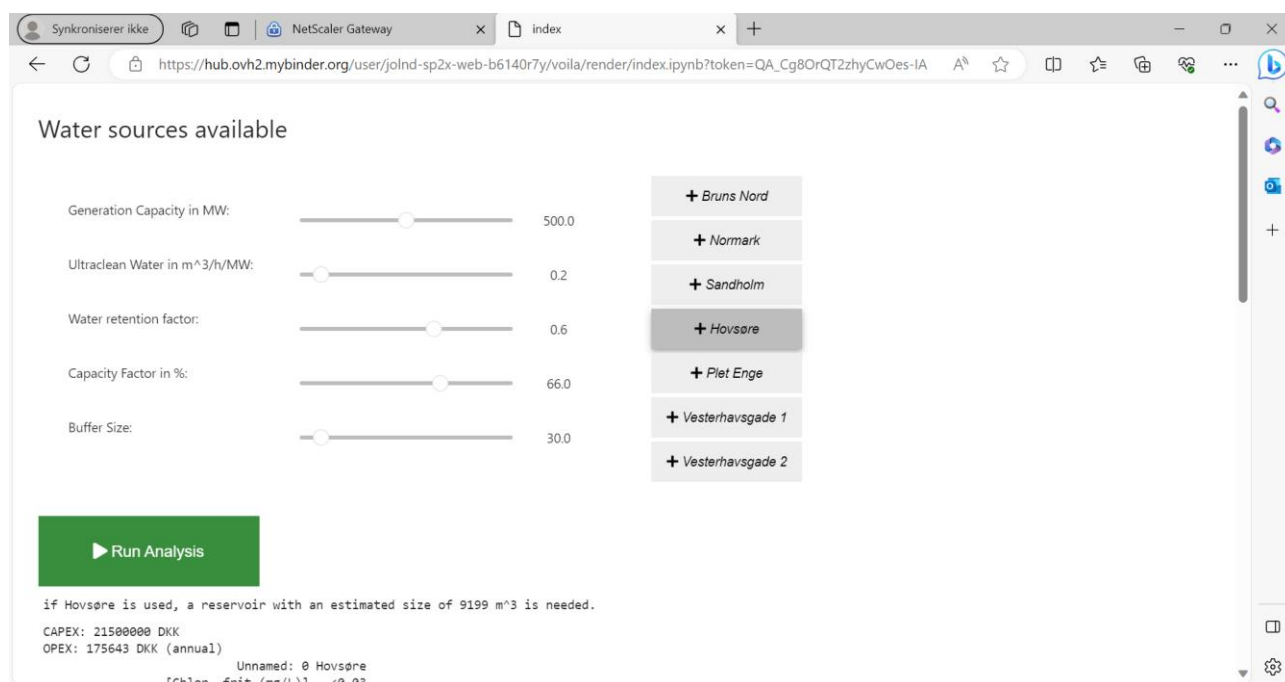
Modellen er udviklet til at evaluere, om en region har tilstrækkelige mængder af vand, fra udvalgte vandkilder, til at forsyne et P2X-anlægs krav om vandressourcer. Modellen viser, at der er tilstrækkelige mængder vand, i Lemvig kommune, til at kunne understøtte et 500 mW P2X anlæg, da nødvendige reservoir størrelse for mange vandkilder samt kombinationer af vandkilder er estimeret til at være realistisk.

Præprocesseringsalgoritmen muliggør denne analyse, selv for vandkilder hvor data ikke har været tilgængelig på daglig basis og over flere år, og modellens web-interface muliggør en bred

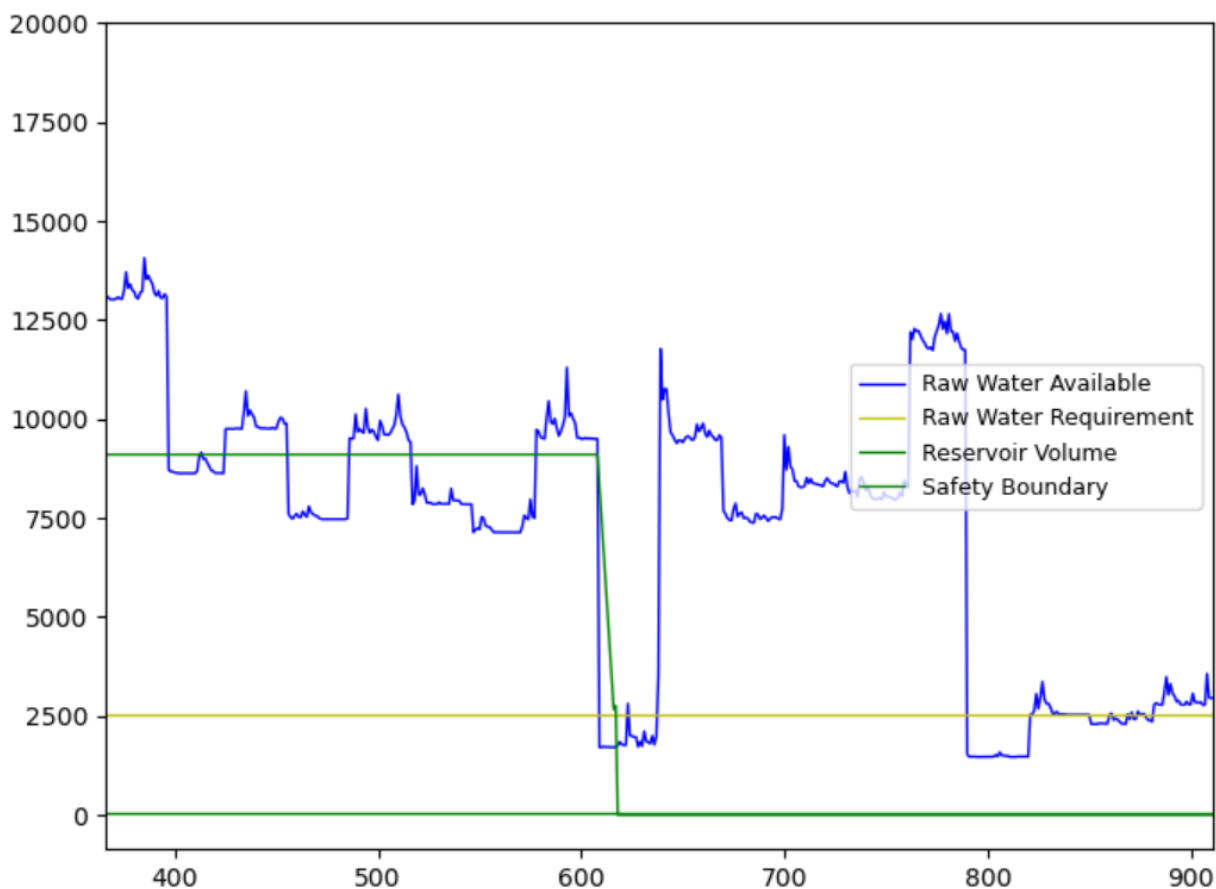
formidling til både befolkningen og beslutningstagere. ”

Nedenfor er modellen brugt til at køre et scenarie hvor Høvsøre er valgt som vandkilde, ud fra de parametre som ses i figur 18. Simuleringen viser, at bruges Høvsøre som vandkilde, og under antagelse af at det er muligt at bruge alt vand fra denne kilde, ville der være behov for et reservoir på ca. 9000 m³ for at sikre forsyningssikkerhed med en bufferkapacitet på 30% (det er den minimum acceptable mængde vand i reservoir. Dvs. at vandstanden i reservoiret aldrig kommer under 30%).

Et reservoir på denne størrelse svarer til ca. 1% af den mængde råvand anlægget vil skulle bruge på årsbasis. Denne simulering er baseret på data fra Høvsøre pumpelag for de sidste 3 år.



Figur 18: Parametre der kan justeres på i model for forsyningssikkerhed, udarbejdet af AU



Figur 19: Forhold mellem tilgængelige vandmængder per dag, behov hos PtX, sikkerheds-buffer og reservoirbehov. X-aksen er antal dage og y-aksen er m³ råvand.

I figur 19 er afbildet analysen over tid (3 år), hvor x-aksen er antal dage og y-aksen er m³ råvand. Her ses at der flere dage i træk og på forskellige tidspunkter af året er mindre vand tilgængeligt end der er behov for hos PtX-anlægget.

Derfor er der behov for reservoir. Dog er et 9000 m³ reservoir tilstrækkeligt. Det vil fx svare til et reservoir med dimensionerne 50m x 45m x 4m. Det ses tillige at der langt de fleste dage er mere end nok vand tilgængeligt for at dække behov hos PtX-anlæg.

Lemvig sø og Ferring sø er ikke medtaget i modellen som kilder, da der ville skulle andre analyser til for at estimere hvor meget vand der er tilgængeligt per dag for disse kilder. Hvis der for eksempel skulle indvindes vand fra Ferring sø til formålet, ville det

være nødvendigt med en vandbalancemodel for Ferring sø.

Denne model er en hydrologi-studerende (Edea) fra Københavns Universitet i gang med at lave i samarbejde med Klimatorium, Lemvig Vand og GEO. Arbejdet blev igangsat under nærværende projekt, som en del af Edea's speciale, men det var desværre ikke muligt at afslutte arbejdet i fase 1. Resultaterne medtages derfor i fase 2 af projekter under Erhvervsfyrår for vandteknologi.

5.2.7 Omkostninger ved at flytte vand

I forhold til businesscasen i at bruge vand fra sekundavandkilder til PtX, blev omkostninger ved at levere vandet til PtX fra de forskellige kilde-lokationer

groft estimeret. Resultaterne ses herunder i tabel 24 og figur 20.

Tabel 24: Estimat for CAPEX og OPEX ved at etablere og drive vandforsyning fra sekundavandkilde til PtX-anlæg i Ramme, Lemvig. Udarbejdet af John Borgbjerg Møller for Krüger Veolia

Lemvig - Sekundavand - CAPEX/OPEX for pumpestationer

JBM / Krüger

Dato: 16.05.2023

CAPEX

Fra lokation	Afstand fugleflugt/l angs veje	Kapaci tet	Rørdimen sion	Rørpris lagt	Pris for rør	Pris for pumpestation **	Samlet investering (CAPEX)
	km	l/s	mm	DKK/me ter	DKK	DKK	DKK
Thyborøn TG	24	50	ø315 PN10	2000	48.000. 000	3.500.000	51.500.000
Bruuns Nord (Harbøre pumpelag)	17	50	ø315 PN10	2000	34.000. 000	3.500.000	37.500.000
Harbøre renseanlæg	15	50	ø315 PN10	2000	30.000. 000	3.500.000	33.500.000
Pletenge Pumpestation	14	50	ø315 PN10	2000	28.000. 000	3.500.000	31.500.000
Lemvig Sø (Å-ledningen)	12	50	ø315 PN10	2000	24.000. 000	3.500.000	27.500.000
Normark (Harbøre pumpelag)	15	50	ø315 PN10	2000	30.000. 000	3.500.000	33.500.000
Ferring Sø	8	50	ø315 PN10	2000	16.000. 000	3.500.000	19.500.000
Høvsøre pumpestation	9	50	ø315 PN10	2000	18.000. 000	3.500.000	21.500.000

OPEX

Fra lokation	Års- mængde	Kapacitet i l/s	Hgeo + Hman	Pum- pe	Energi- forbrug	Driftsud- gift *	Samlet driftudgift (OPEX) ***
	m3/år	l/s	mvs ****	kW	kWh/år	DKK / år *	DKK
Thyborøn TG	830.000	50	56	61	281.441	281.441	331.441
Bruuns Nord (Harbøre pumpelag)	830.000	50	42	46	211.081	211.081	261.081
Harbøre renseanlæg	830.000	50	37	40	185.952	185.952	235.952
Pletenge Pumpestation	830.000	50	35	38	175.901	175.901	225.901
Lemvig Sø (Å-ledningen)	830.000	50	31	34	155.798	155.798	205.798
Normark (Harbøre pumpelag)	830.000	50	37	40	185.952	185.952	235.952
Ferring Sø	830.000	50	22	24	110.566	110.566	160.566
Høvsøre pumpestation	830.000	50	25	27	125.643	125.643	175.643

* pris strøm: 1 kWh = 1 DKK

** Der tillægges ca. 500.000 DKK pr. pumpestation til anlæg for at hente vandet til pumpestationen

*** Service og vedligehold på ca. 50.000 DKK/år

**** Der tillægges 5 mws for geometrisk løft

Eksempel på beregning for Thyborøn terrænnært grundvand:

English

Input parameters

Calculate

Gravity pipe
 Pressure pipe

Pressure loss and velocity ▾

Pipe data

Outer diameter Du [mm] SDR [-]
 Inner diameter Di 280 [mm]

Roughness μ 0.1 [mm] [Advice](#)

Pipeline length L 24000 [m]

Water temperature 20 [°C]

Flow data

Desired flow rate Q 50 [l/s]

Calculated values

Results

Flow velocity	V	0.812	[m/s]
Pressure loss	ΔP	51.3	mVs ▾

Figur 20: eksempel på parametre til udregning af tabel 24.

Det ses, at der er meget økonomi at spare ved at vælge kilder tæt på PtX-lokationen. Derfor er der i

nærværende rapport specielt fokuseret på Ferring Sø og Høvsøre som gode kandidater.

5.2.8 Lovgivning

Der var gennem projektet løbende dialog om de lovmæssige og miljømæssige aspekter i at bruge sekundavand til PtX. Ringsted forsyning var især meget opmærksom på hvordan det kunne være muligt at udnytte drænvand/overfladevand i harmoni med naturen, og Vestforsyning og Holstebro Kommune har erfaringer med store, nærmest uoverkommelige, udfordringer når der skal ændres ved naturlige vandkredsløb (Klimasikringsprojekt for Storåen) i forhold til lovgivning. Ved forsøg på at få overblik over

lovgivningen, blev det hurtigt uoverskueligt, så i stedet blev det besluttet at se på lovgivningen ud fra en mere specifik case, som der kunne skabes en mere konkret dialog omkring.

Lemvig Kommune har bidraget med nedenstående notat, der giver et godt overblik over hvad man skal være opmærksom på i forhold til lovgivning og brug af sekundavandkilder, med fokus på Ferring Sø som mulig kandidat. Notat er gengivet i sin fulde længde.

Notat vedr. miljømæssige aspekter i forbindelse med projekt om anvendelse af vand fra Ferring Sø til Power-to-X projekt

Efter forespørgsel fra Klimatorium om drøftelse af miljø og naturaspekter i forbindelse med et kommende Power-to-X projekt i nærheden af Ferring Sø, har der d. 27. juni 2023 været afholdt møde mellem Klimatorium ved Pernille Weiland og Lemvig Kommunes Natur og Miljøafdeling.

Mødets formål var at identificere hvilke muligheder, der er for udnyttelse af en vandressource fra en eksisterende sø til Power-to-X anlægget, hvor søvandet efter rensning skal anvendes til spaltning i en elektrolyseproces, hvorved dele af vandet overgår til gasform og resten ledes tilbage til søen. Klimatorium arbejder ud fra en case om, at der skal bygges et 500 MW elektrolyse- anlæg til at producere brint til grøn ammoniak produktion i Lemvig kommune. Til dette formål skal der ifølge Klimatorium skulle anvendes ca. 1.000.000 m³ "råvand" årligt, dvs. inden det renses til ultrarent vand.

Grunden til at Ferring Sø og vand fra Høvsøre pumpelag er valgt som mulige kilder til denne vandforsyning, skyldes beliggenheden tæt på det kommende Power-to-X anlæg samt at vandsystemet Ferring Sø, Vesperne og kanalerne i området er et system, som er kunstigt påvirket af pumpeaktivitet og dræning.

Af de 1.000.000 m³ vand vil ca. 40% være tilbage som "restvand". Dvs. der vil skulle håndteres ca. 400.000 m³ restvand med forholdsvis høje stof koncentrationer.

Der er foretaget analyser af vandet for at vurdere på stofindholdet i vandet. Nedenstående er et udtryk for opmærksomhedspunkter og er ikke nødvendigvis uddybende for hverken denne case eller andre cases med særskilte natur- og miljøforhold. Lemvig Kommune 1. august 2023

Vandbalanceanalyse og stoftransport

For arbejdet med miljøvurdering af et projekt af denne karakter, skal der først udarbejdes en analyse af hele det hydrologiske system, med tilførslerne fra oplandet, i Ferring Sø og Vesperne. Eksisterende forhold skal kortlægges og beskrives og den ønskede ændring af hydrologien beskrives med de afledte hydrologiske effekter. Hvis de hydrologiske analyser viser, at indvinding af overfladevandet vil give ændringer i vandstanden, skal der gives tilladelse til regulering efter vandløbsloven.

Vandstandsændringer og påvirkning herfra på bredejerens arealer skal vurderes. Efter vandløbsloven har enhver der lider tab ved forandringen af vandstanden i en sø, ret til erstatning. Ved ansøgning om tilladelse efter vandløbsloven, skal myndigheden vurdere projektet i forhold til vandløbslovens formålsparagraf om at sikre afledningen af vand under hensyntagen til de miljømæssige krav til vandløbskvaliteten. Projektet må med andre ord ikke forringe mulighederne for at vandløbet (inkl. søen) kan leve op til sin målsætning om god økologisk tilstand for alle biologiske og kemiske parametre. De biologiske parametre i søer er: planteplankton, andre alger, undervandsplanter, bunddyr og fisk. Det skal desuden vurderes, om der i

det konkrete projekt er flere elementer i vandløbsloven, der skal søges tilladelse efter.

Vandindvinding

For at kunne fjerne overfladevand fra en sø skal der gives en vandindvindingstilladelse. Det overfladenære grundvandspejl kan påvirkes af en eventuel ændring af vandspejlet i det åbne vandspejl. Vandindvindingstilladelsen skal gives i henhold til vandforsyningsloven.

I forbindelse med vurderingen af ansøgningen om vandindvindingstilladelse vil aspekter som f.eks. risiko for saltindtrængning blive vurderet. Der vil desuden blive vurderet på den akkumulerede effekt på grundvandsressourcen som følge af fjernelse af vand fra søen, sammenholdt med de øvrige indvindingstilladelser der findes i området. Ved den akkumulerede effekt tænkes der på en vurdering på påvirkningen af vandspejl i vandløb og våde områder som følge af en eventuel fuld udnyttelse af eksisterende tilladte oppumpningsmængder.

Naturpåvirkning

For at kunne fjerne overfladevand fra en sø som er omfattet af §3 (over 100 m² vandoverflade) skal der gives en dispensation i henhold til Naturbeskyttelsesloven. I forbindelse med vurderingen af ansøgning om dispensation vurderes der på om fjernelse af vandet har en væsentlig betydning for søens økologi. I den sammenhæng vil vandbalanceanalysen være væsentlig for blandt andet vurdering af tilstrømningshastigheden af vandet til søen. Stoftransporten som følge af en eventuel opkoncentrering af stoffer i de 40% restvand vil skulle vurderes. Det er væsentligt at der ikke sker en samlet forøgelse af stoffer i søen. Det handler ikke kun om næringsstoffer, men også om øvrige stoffer som f.eks. metaller og kulstof. Lemvig Kommune 1. august 2023. Desuden skal det vurderes, hvad ændret hydrologi i tilstødende beskyttet natur hele vejen rundt om søen betyder. Dette skal også have en dispensation. Evt. dispensation kan gives, hvis projektet har et positivt naturaftryk! I ansøgningen skal det fremgå om der i projektområdet findes Bilag 4 arter herunder hvilke arter der findes og i hvilket omfang de bliver berørt af ændringerne. Det er desuden væsentligt at der beskrives foranstaltninger som i tilstrækkelig grad sikrer mod at dyr suges ind i pumper m.m.

Spildevandsudledning

Der skal meddeles en tilladelse til direkte udledning fra anlægget til Ferring sø, såfremt det resterende søvand efter elektrolyseprocessen skal ledes tilbage til Ferring Sø. Søvandet vil efter forbehandling og efter elektrolyseprocessen være at betragte som processpildevand. I et sådant projekt skal opmærksomheden henledes på at udledning af processpildevand fra miljøgodkendelsespligtige virksomheder ligeledes er reguleret jf. kap. 5 i miljøbeskyttelsesloven.

Det kan være meget vanskeligt at opnå en tilladelse til direkte udledning af processpildevand, hvis der afledes stoffer tilbage til en recipient, hvor recipientens målsætning ikke er opfyldt jf. Vandområdeplanens målsætning. Jf. bekendtgørelsen om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter vurderes det, at Miljøstyrelsen skal inddrages i sagen. Der vil være mange vilkår, der skal overholdes i en evt. tilladelse til direkte udledning af processpildevand til Ferring Sø, hvis en sådan vurderes at kunne gives herunder bl.a. vandmængde, stofkoncentrationer, miljøfremmede stoffer, temperatur m.v.

VVM Proces - Fuld VVM eller Screening

En lang række forskellige anlæg er altid omfattet af reglerne om miljøvurdering og kræver derfor, at den pågældende myndighed tager stilling hertil, inden anlægsfasen kan påbegyndes. Af miljøvurderingslovens Bilag 1, fremgår de anlæg, der altid er omfattet af krav om miljøvurdering. Det drejer sig bl.a. om en række nærmere bestemte større projekter indenfor f.eks. anlæg til energiproduktion, råstofindvinding, akvakultur m.m. Det skal vurderes om det konkrete projekt er omfattet af Bilag 1 som udløser en fuld VVM-tilladelse (også kaldet §25 tilladelse) eller om projektet alene kræver en VVM screening. Miljøvurderingslovens bilag 2 oplister en række forskellige anlægstyper, som skal vurderes særligt i forhold til, om et ansøgt projekt kan påvirke miljøet væsentligt. Denne proces hedder en screening. Hvis det i screeningen ikke kan udelukkes, at der kan være en væsentlig påvirkning af miljøet, er projektet omfattet af krav om miljøvurdering, og miljøvurderingsprocessen igangsættes. Hvis det vurderes, at der ikke kan være en væsentlig påvirkning af miljøet, træffer miljøvurderingsmyndigheden afgørelse om, at det ansøgte projekt ikke er omfattet af krav om miljøvurdering. Et udkast til afgørelsen kan inden Lemvig Kommune 1. august 2023 offentliggøres

sendes i høring hos berørte parter og myndigheder. Den endelige afgørelse meddeles bygherren og offentliggøres på Miljøstyrelsens hjemmeside.

5.2.9 Hvad er den bedste case?

Ud fra foregående kapitler med en grundig gennemgang af mulige sekundavandkilder i Lemvig Kommune kan der nu findes den/de mest oplagte kandidat(er) til at bruge til et kommende PtX-anlæg.

Kilderne vurderes i forhold til følgende parametre:

- Økonomi ved at flytte vandet
- Forsyningsikkerhed
- Kvalitet (rensning)
- Kvalitet (håndtering af rejektvand)
- Lovgivning
- Synergi med andre sektorer

I forhold til økonomien ved at flytte vandet hen til PtX-anlægget, er det klart at foretrække at kilden ligger så tæt på som muligt. Derfor er både Høvsøre og Ferring sø gode kandidater på dette punkt.

I forhold til forsyningsikkerhed, er rensset spildevand fra Harboøre renseanlæg den mest stabile kilde, og der vil ikke skulle bruges reservoir, hvis og når Lemvig renseanlæg lægges sammen med Harboøre renseanlæg i Harboøre, som er Lemvig Vands intention. Denne plan er dog blevet sat på hold for nu, så hvis det blot er spildevandsmængder fra Harboøre renseanlæg der er tilgængelige, vil der ikke være tilstrækkeligt med vand til et PtX-anlæg på 500 MW. Hverken på daglig basis eller på årsbasis, og renseanlægget vil ikke være at foretrække i forhold til forsyningsikkerhed. Ej heller med de ca. 400.000 m³ spildevand ekstra årligt, som PtX-anlægget ville kunne levere.

Ferring sø, derimod, er en god kandidat i forhold til forsyningsikkerhed, da der både løber store mængder vand igennem søen (Ringkøbing Amt, 2001), samt at søen i sig selv er et kæmpe reservoir. Det ville umiddelbart være nemt at opnå forsyningsikkerhed derfra.

Der ville også kunne opnås forsyningsikkerhed ved at bruge vand fra Høvsøre pumpelag langt størstedelen af året, men der vil være tørre perioder hvor et reservoir er nødvendigt. Ved brug af modellen kan det udregnes at der vil skulle bruges et reservoir i størrelsesordenen 9.000 m³ for at opnå forsyningsikkerhed året rundt. Det ville være endnu

Kravene til screeningen er beskrevet i bilag 5 i miljøvurderingsloven.

en udgift at anlægge sådan et reservoir, men det ville samtidig være en investering i fremtiden, og kunne evt. sammentænkes med landmændenes behov for at opbevare vand til tørre perioder ved fx at gå sammen om at anlægge et større reservoir.

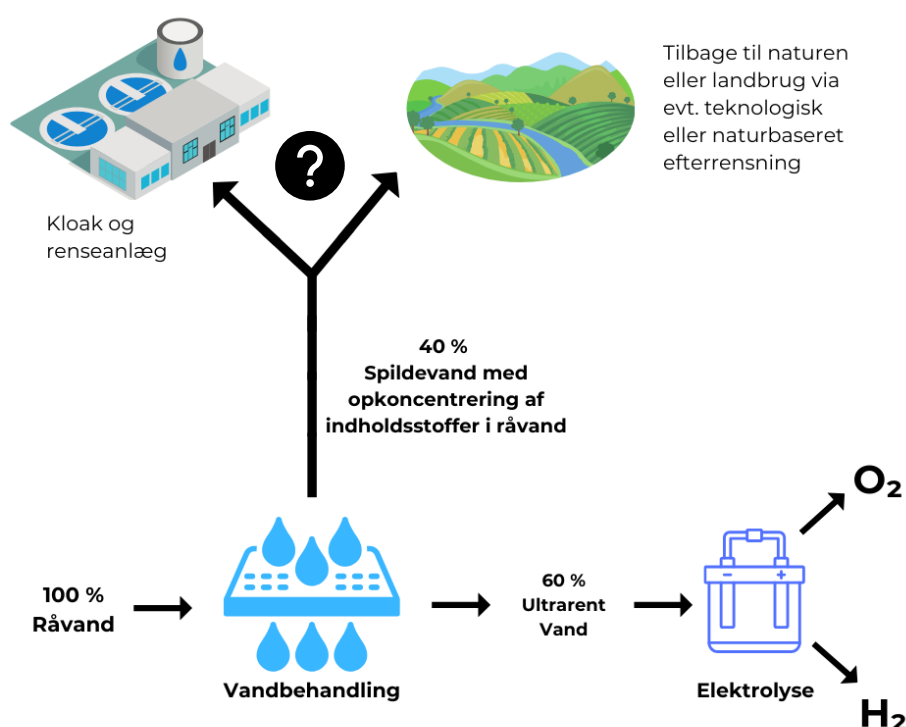
En anden mulighed kunne være at hovedsageligt bruge vand fra Høvsøre når det er til rådighed, og bruge drikkevand i de tørre perioder, indtil en bedre løsning kan findes.

I forhold til kvalitet, viser vores undersøgelse at vand fra Høvsøre pumpelag at foretrække, da det har lavt indhold af salte, lav kvælstofkoncentration og mindre variationer af suspenderet stof. Vandet har dog "større" indhold af fosfat, i forhold til fx Ferring sø, men ikke noget alarmerende i forhold til belastning på renseanlæg.

Hvis Ferring sø skal bruges som kilde, vil vandrenseprocesserne til ultrarent vand (figur 16) skulle justeres til at kunne håndtere store variationer af saltindhold, som gennemgået i afsnit 5.2.5. Der ville ligeledes skulle lægges en plan for at håndtere disse saltmængder på renseanlægget, især i forhold til chlorid, der kan nedsætte slammets bundfældningsevne. På Harboøre renseanlæg tilsættes polymer for at hjælpe med bundfældningen af slammet. Hvis der er høj chlorid-koncentration i tilløbet til renseanlægget, skal der også bruges betydeligt mere polymer for at opnå samme effekt som ved lave koncentrationer. Desuden påvirker store mængder salt PAO negativt, især hvis saltindholdet varierer meget. Ferring sø er også mere udfordrende end Høvsøre og rensset spildevand i forhold til kvalitet pga. den store variation i suspenderet stof, med potentielt meget høje koncentrationer dele af året. Dog mener Lemvig Vand at renseanlægget ville kunne håndtere disse koncentrationer med nuværende kapacitet. I forhold til fosfor og kvælstof-koncentrationer, ville vand fra Ferring sø fint kunne ledes på renseanlæg efter brug. Data indikerer at rensset spildevand fra Harboøre renseanlæg kvalitetsmæssigt er en god kilde med lave koncentrationer af fosfor, kvælstof og COD. Der er dog større saltindhold i rensset spildevand i forhold til Høvsøre, men stadig en del mindre end der

forventes fra Ferring sø, og desuden er dette kun baseret på en enkeltstående måling. Der er ingen af de analyserede kilder fra Lemvig Kommune der vurderes at give udfordringer på renseanlægget på andre parametre end de nævnte; kvælstof, fosfor, TOC og chlorid, hvilket er en stor fordel i forhold til håndtering af rejektvandet, og lovende for projektets vision.

Hvis spildevandet ledes tilbage på renseanlæg, ville Harboøre renseanlæg, ud fra foregående analyser, kunne tage imod både mængden og indholdet, med forbehold for at der skal lægges en plan for at håndtere saltindhold hvis Ferring sø og eventuelt etableres en ekstra efterklaringstank for at kunne håndtere volumen. Dog er udledning til kloak og renseanlæg ikke nødvendigvis den eneste og bedste løsning, hvilket beskrives i efterfølgende afsnit 6.



Figur 21: Omtrent 40 % af vandet, der skal bruges til at lave ultrarent vand til PtX, skal håndteres som spildevand efterfølgende.

Hvilke kilder der er bedst i forhold til lovgivning, kan ikke besvares til fulde. Der er ikke mange lignende cases i Danmark, og denne problemstilling er ny, så der er ikke meget erfaring at hente. Som det ses i afsnit 5.2.8, er der flere lovgivninger man kommer i berøring med i dette projekt. Det vil derfor nok først blive klart hvilke kilder der kan opnås tilladelse til at bruge, når ansøgningsprocessen om tilladelse igangsættes.

Det er dog, gennem sparring med kommunen, ikke udelukket at Ferring Sø er en god kandidat, da vandstanden i søen allerede manipuleres, og at søens økologiske status er meget dårlig efter mange års forurening landbrug og omkringliggende bebyggelse. Kommunen har derfor en interesse i at lave tiltag der kan bedre søens økologiske status. Dog skal der søges tilladelser jævnfør notat i afsnit 5.2.8, hvor Edea's vandbalancemodel bliver essentiel. Det vil muligvis være mindre kompliceret at få tilladelse til at bruge spildevand til PtX, men

lovgivningen er heller ikke på plads i forhold til dette. Det gælder for alle tre kilder at der skal laves vandbalancemodeller og en VVM, hvis der skal ændres signifikant på vandmiljøet/vandkredsløbet, og der skal være en klar plan for udledning.

Sidst, men ikke mindst, vurderes kildernes egnethed på baggrund af om det skaber synergier med andre sektorer af bruge dem. I dette tilfælde er det især landbruget der har mulighed for at kunne vinde, i forhold til at fælles reservoirløsninger, hvor overskudsvand kan opbevares (og bruges af PtX-industrien) i våde perioder, og udnyttes i de tørre perioder. Her vil både brug af Ferring sø og Høvsøre pumpelag kunne skabe fordele for landmændene, først og fremmest ved at lette dræningen og omkostningerne ved dræning af markerne i våde

perioder. Ved at sænke vandstanden i Ferring sø når det regner meget, vil de omkringliggende markarealer kunne dræne bedre og hurtigere, og det samme gør sig gældende for markarealerne der drænes til Høvsøre, hvis vand bruges derfra. De omkringliggende sommerhusområder ved Ferring sø, vil ligeledes opleve færre problemer med oversvømmelser. Der har desuden været meget dialog i projektgruppen om muligheden for at recirkulere næringsstoffer fra drænvand tilbage til markerne som endnu en fordel i en cirkulær og tværsektoriel løsning baseret på samarbejde mellem energiselskab, forsyning og landbrug. Dette er ikke blevet udelukket, men ej heller bekræftet i løbet af projektperioden, og der er potentiale for at arbejde videre med denne løsning (se følgende afsnit 6).

Tabel 25: Vurdering af hvilke Sekundavandkilder der er de bedste kandidater til at forsyne et 500 MW PtX anlæg i Lemvig Kommune. De vurderes i nærværende rapport på 6 parametre. Hvis der er gode forhold, tildeles et kryds. Hvis der er udfordringer, eller hvis det er svært at vurdere, tildeles ikke et kryds

Egnedhedsparameter/kilde	Ferring Sø	Høvsøre	Renset spildevand fra Harboøre renseanlæg
Økonomi ved at flytte vandet	X	X	
Forsyningssikkerhed	X		(X)
Kvalitet (rensning)		X	X
Kvalitet (håndtering af rejeckt vand)	(X)	X	X
Lovgivning			
Synergi med andre sektorer	X	X	

Tabel 25 giver overblik over kildernes egnethed ud fra ovenstående parametre. Det ses at Ferring sø og Høvsøre "står lige" med 4 krydser i egnethed, og er dermed de mest oplagte kandidater. Dog med det forbehold at Ferring sø i forhold til håndtering af saltindhold, vil skulle undersøges nærmere. Kalundborg forsyning er partnere i projektet, og de har gennem mange år indvundet vand fra Tissø til at forsyne medicinalindustrien med teknisk vand. Det er dermed ikke uhørt at bruge vand fra sø til dette formål.

Drænvand fra arealer på Høvsøre, er også en god kandidat - især i forhold til vandkvalitet. Dog er der

en potentiel udfordring i forhold til forsyningssikkerhed som vil skulle løses.

Renset spildevand kan fungere som kilde hvis de 2 renseanlæg i kommunen lægges sammen. Så ville forsyningssikkerheden være god. Kvaliteten er også god både i forhold til rensning og i forhold til at kunne håndtere rejeckt vand. Renseanlægget ligger dog stadig længere væk fra PtX, og der ville ikke på samme måde kunne skabes synergi med landbrug og bysamfund i forhold til at håndtere problemvand der oversvømmer marker og byer.



Figur 22: Ferring Sø (længst mod havet) som mulig kilde til PtX-anlæg i Ramme. Kilde: Lemvig.eu

5.2.10 Erhvervspotentiale

Ved udarbejdelse af projektbeskrivelsen for nærværende projekt i ansøgningsfasen, estimerede Klimatorium at et projekt som dette på sigt ville kunne generere 600 nye arbejdspladser. Efter projektets første fase er afsluttet, er dette kun blevet bekræftet.

På baggrund af erfaringer fra Klimatoriums projekter under Erhvervsfyrtårn for vandteknologi, samt diskussion med projektpartnere i nærværende projekt, belyses her erhvervspotentialet for projektet Sekundavand – fra problem til ressource.

Der ses erhvervspotentiale i følgende kategorier:

Grundvandsmonitorering

For at kunne udnytte terrænnært grundvand og drænvand fra marker er det nødvendigt at have overblik over ressourcen. Den skal derfor kunne måles digitalt (data) og analyseres (data platform). Da terrænnært grundvand er en stigende udfordring, ikke blot i Lemvig Kommune, men mange steder i Danmark og i verden, vil der være muligheder for at øge produktion og ekspertise af terrænnær grundvandsmonitorering. I Erhvervsfyrtårn for vandteknologi, deltog bl.a. SMV'en WatsonC der laver grundvandsstandslogger, der løbende måler grundvandspejlet og logger dataene til en digital platform, hvor de kan trækkes ud og analyseres. Under erhvervsfyrtårnet blev der etableret 2 områder med 80 sensorer og logger fra WatsonC til

at monitorere terrænnært grundvand i byområde og i landområde. Denne SMV, og andre der laver grundvandsmonitorering vil vækste med afsæt i viden fra projektet.

Teknologi til at måle nedbør lokalt

Terrænnær grundvandsstand hænger sammen med nedbør. Hvis terrænnært grundvand skal udnyttes, er nøjagtige nedbørsdata vigtige for at forstå ressourcen og hvor meget der kan udnyttes hvornår. Der kan være utroligt store forskelle på nedbør lokalt, og skal terrænnært grundvand udnyttes lokalt, spiller nøjagtige nedbørsdata en stor rolle. Der er flere SMV'er i Danmark der laver IoT-løsninger til nedbørsmåling, bl.a. SMV'en Danova der deltog i Erhvervsfyrtårn for vandteknologi. De har været med til at opsætte 40 regnvandsmålere i et regndemonstrationsfelt i Klimatoriums Dynamic Water Living Lab. Med større efterspørgsel, vil virksomheder som denne vækste. Med større efterspørgsel, vil der desuden skabes grobund for at udvikle nye teknologier til regnvandsmåling. Målemetoden til at måle nedbør er i de fleste tilfælde meget klassisk – ved at bruge en beholder der langsomt fyldes op, og derefter aflæse vandstanden. Men der er nye teknologier under udvikling til at måle nedbør, som bl.a. ved brug af fotografi og lyd. Ved at øge efterspørgslen på nøjagtige nedbørsdata, sætter det gang i teknologi-modningen på nye teknologier, som vil skabe vækst og bidrage til at øget eksport fra 20 til 40 mia. i 2030. SMV'en Dryp har ligeledes været med i Erhvervsfyrtårn for vandteknologi, og bruger regndata fra målere sat op af Danova, til at sammenligne med regndata fra radar, for at analysere og forstå kvaliteten af regndata og hvordan opløsningen bedres lokalt.

Vandsensorteknologi – flow og vandkvalitetsparametre

For at udnytte terrænnært grundvand/klimavand, bliver det relevant at måle ikke kun nedbør og terrænnært grundvandsniveau, men også flow, i fx grøfter og åer, for at forstå det fulde vandkredsløb og hvordan terrænnært grundvand kan udnyttes uden at det påvirker det naturlige vandmiljø negativt, men derimod understøtter det. Som eksempel kan nævnes at Lemvig Vand, på baggrund af Erhvervsfyrtårn for vandteknologi, har indledt et projekt med SMV'en Smartbrønd, hvor de sammen skal udvikle en ny sensor til at måle flow. Det er tilmed relevant at kunne måle forskellige

vandkvalitetsparametre for at optimere rensningen af vandet hvis det skal bruges til fx PtX, eller landbrug. Dette kunne være at overvåge kvælstof/fosfor-indhold, saltindhold, COD-niveau, som er relevant i nærværende projekt. Det kunne også være at spotte forureninger som fx olie eller PAH, så de opdages tidligt inden de når til rensesystemerne, der derved kunne blive påvirkede. Det er ligeledes relevant i forhold til udledningen af opkoncentreret vand efter at den oprindelige vandressource er blevet rensset til teknisk vand. Denne efterspørgsel på vanddata vil skabe vækst for SMV'er der laver IoT-løsninger og sensorer der let kan sættes op og logge data til skyen.

Vandkredsløbsmodellering til at forstå vandkredsløbet omkring terrænnært grundvand og forstå forsyningsikkerhed og naturpåvirkning

For at kunne udnytte klimavand-ressourcen effektivt, cirkulært og bæredygtigt, er det vigtigt at forstå hele vandkredsløbet, hvor nedbørsdata, terrænnært grundvandsstandsdata, flow data, vandstande i søer og åer, geologiske data, vandkvalitetsdata mm. sættes sammen i vandkredsløbsmodeller. Dette både for at kunne vurdere hvor stor ressourcen er, og på hvilke tidspunkter den er der, for at kunne love forsyningsikkerhed til forbrugere og forstå potentialet. Også i forhold til at kunne udnytte ressourcen ansvarsfuldt, sådan at det understøtter det naturlige vandmiljø så vandkvalitet og biodiversitet ikke påvirkes negativt. Og endeligt for at kunne udvælge de bedste steder at manipulere kredsløbet. Der findes allerede en række modeller hvor både overfladevand og grundvand kan integreres. Dog er der ikke mange modeller der arbejder med terrænnært grundvand, da der ikke tidligere har været stor interesse/mulighed for at måle det, og data er derfor få. Ved at sætte fokus på terrænnært grundvand og udnyttelse af klimavand, vil det skabe flere arbejdspladser indenfor vandkredsløbsmodellering, da der bliver brug for at kortlægge og modellere vandkredsløbet omkring terrænnært grundvand, samt at bruge modellerne. Dette både til VVM når tilladelser til indvinding og udledning skal søges og gives, men også løbende når ressourcen udnyttes. I nærværende projekt deltog fx GEO som partner som vejledere til den hydrogeologi studerende Edea fra KU, i at modellere vandkredsløbet i området omkring Høvsøre og Ferring sø. Denne opgave er helt essentiel for at

arbejde med terrænnært grundvand/klimavand som ressource, og bliver det relevant i flere kommuner, vil det øge efterspørgslen på denne viden som GEO og andre med ekspertise i hydrogeologi har. Forsyninger kommer til at tilkøbe flere konsulenttimer, eller de vil måske endda selv ansætte folk med færdigheder i hydrogeologi.

Renseteknologier / membraner/ filtre

Når der tænkes i at bruge terrænnært grundvand/ klimavand/overfladevand til produktionsvand, og det er nødvendigt at rense vandet ned til ultrarent vand, er det oplagt at udnytte potentialet i indholdsstofferne i vandet, og bruge muligheden til at oprense forurenede vandmiljøer. 60% af Danmarks areal er landbrugsjord, så bruges der terrænnært grundvand, vil meget være drænvand fra markarealer, hvor der er udvaskning af fosfor og kvælstof i vandet. I nærværende projekt analyseres fx Ferring sø som potentiel vandkilde. Ferring sø har ifølge en miljørapport fra 2022 (Mortensen, Skovgaard, Mørk, & Larsen, 2022) en dårlig økologisk tilstand, da den er blevet forurenede med næringsstoffer fra langbrug og private husholdninger i en årrække. Hvis vandet herfra bruges til teknisk vand, kan forurenende stoffer tilmed fjernes fra

vandmiljøet og være med til at bedre den økologiske status. Kan næringsstoffer tilmed cirkuleres tilbage til landbruget, vil det skabe større cirkularitet, modstandsdygtighed og bæredygtighed i løsningen. Lige nu recirkuleres en del næringstoffer tilbage til langbruget via spildevandsslam og biogasanlæg, men der er ikke mange teknologier der høster fosfor og kvælstof direkte fra vand, selvom det begynder at dukke op flere steder. Bl.a. har Samsø forsyning lavet forsøg med at bruge rensed spildevand til markvanding, hvor fosfor og kvælstof er bevaret i vandet (Kokkegård, 2018). I Erhvervsfyrtårn for vandteknologi, har SMV'en MicroChange bl.a. deltaget, som er ved at udvikle et transportabelt rensesystem der kan trække fosfor ud af vand, hvor hele rensesystemet kan passe i en ti-fods container. SMV'en tester lige nu deres løsning i samarbejde med Klimatorium og Lemvig Vand, i forhold til proof-of-concept, og de arbejder videre med hvordan fosforen senere kan udnyttes til andre formål. Projektet laver dermed grobund for innovation og vækst hos virksomheder der arbejder med renseteknologier, især i forhold til at trække enkelte værdifulde stoffer i ud af vand der kan genbruges, og i forhold til oprensning af vand fra naturlige miljøer.



Figur 23: Henrik Brynel fra MicroChange foran deres fosfor-vandrensesystem i tifods-container

Styringssystemer til vandhåndtering/software

Der skal være vand nok til alle. Både til naturen, til grøn energiproduktion og til produktion af fødevarer og andre afgrøder. Vandet kommer i store mængder i nogle måneder og i mindre i andre. Og efterspørgslen hos de forskellige aftagere varierer også. Dermed er der brug for at et overordnet system der kan lede vandet hen hvor der er brug for det, og sørge for at der er vand nok til alle, som i de fleste tilfælde vil betyde behov for reservoirer. Dette skaber behov for et overordnet styringssystem der på baggrund af data og modellering intelligent kan lede vandet mest energieffektivt hen hvor det skal bruges, og sørge for at reservoirer bliver fyldt op så der er den rette mængde vand til rådighed i tørre måneder, samt at der også er vand til naturen. Der findes allerede styringssystemer til vandhåndtering hos forsyninger, hvor bl.a. Krüger er en stor spiller, men fx SMV'en Smartbrønd, som har deltaget i Erhvervsfyrårn for vandteknologi, laver sensorer og software teknologi der kan overvåge vandstanden i et reservoir eller gennem et reservoirsystem, som fx LAR-løsninger. Denne teknologi er etableret og testet i Klimatorium Dynamic Water Living Lab, også etableret under Erhvervsfyrårn for vandteknologi. Dette projekt vil på sigt skabe vækst og innovation indenfor vandhåndteringsstyringssystemer, i samarbejde med sensorteknologi-udvikling og iot-løsninger.

Reservoir-løsninger

Skal klimavand/terrænnært grundvand bruges til PtX, bliver der med stor sandsynlighed behov for reservoirløsninger. I nærværende projekt overvejes både Ferring sø og drænvand fra Høvsøre som potentielle kilder. Bruges Ferring sø, er der allerede et naturligt reservoir, men bruges i stedet drænvand fra marker, vil der være tørre perioder hvor der er for lidt vand til rådighed, hvis ikke der gemmes vand fra de vådere perioder i en reservoirløsning. En sådan løsning kan se ud på mange måder, men vil under de fleste omstændigheder skabe arbejdspladser i bygge- og anlægsbranchen, når nye reservoirer skal anlægges. Det vil være oplagt at indbygge en form rensning i reservoiret, når det skal bruges til teknisk vand – enten ved den måde

reservoirer opbygges på, og hvilke materialer der bruges, ved naturbaserede løsninger, eller teknologisk rensning. I Erhvervsfyrårn for vandteknologi har SMV'en iotbee været med: De har udviklet software til en platform der visualiserer et LAR-løsningssystem i Klimatorium Dynamic Water Living Lab, hvor man kan følge med i vandstande, flow og på sigt, kvalitetsparametre. SMV'en Mattle som laver naturbaserede løsninger til vandrensning med planter, har ligeledes været involveret i Erhvervsfyrårnet og leveret planter til LAR-løsninger. Nærværende projektet har og vil skabe grobund for vækst og innovation i arbejdet med at anlægge og bruge reservoirer der er i samspil med naturen og som har en rensende effekt.

Forståelse af lovgivning

De cirkulære løsninger der lægges op til i denne rapport, kræver et tæt samarbejde med kommuner omkring lovgivning. Når Lemvig Vand og andre forsyninger går i gang med at finde muligheder for at udnytte alternative vandkilder til PtX, er der meget lovgivning at sætte sig ind i, hvilket har været helt klart fra starten af i nærværende projekt. Der vil derfor blive brug for lovgivningsekspertise for at få disse løsninger til at lykkes, og der vil dermed skabes arbejdspladser for jurister.

Internationalt perspektiv

Det nationale erhvervsperspektiv er opmuntrende, ikke mindst fordi et voksende markedspotentiale i sig selv skaber en øget tilgang af innovation, nye produkter og services – og dermed nye arbejdspladser. Der vil således kunne opstå produkter og services, som vi endnu ikke har identificeret, og som ligger udover de ovenfor beskrevne.

Det helt store erhvervseventyr skal dog findes i det internationale perspektiv, hvor danske virksomheder vil kunne opnå "first mover"- fordele på eksportmarkeder, hvis de formår at konvertere den opnåede viden til løsninger, som kan tilpasses lokale problemstillinger internationalt. Klimabaseret sekundavand er ikke kun en national udfordring og forretningsmulighed, men i høj grad en international problemstilling.

5.2.11 Konklusion

Det kan ud fra nærværende rapport konkluderes at PtX-industrien har kraftigt momentum i Danmark. Industrien kommer til at bruge store mængder vand – mængder som vil påvirke lokale forsyninger voldsomt. Der er ingen fordel i at bruge grundvand til brintproduktion, når vandet alligevel skal renses til ultrarent vand – ud over at det er det nemmeste i forhold til nuværende lovgivning. Modsat, ved vi allerede nu at lokale forsyninger vil få udfordringer med at levere nok vand til de planlagte PtX-anlæg samt at rent drikkevand bliver en mangelvare i fremtiden på det globale plan. Derfor er det nødvendigt at se på andre typer af vand til PtX.

I forhold til casen i Lemvig Kommune, kan det konkluderes at der er mere end nok sekundavand til at forsyne et 500 MW PtX-anlæg. Dette vand håndteres allerede i kommunen, men udnyttes ikke som ressource; det pumpes blot til fjord eller hav. Kvalitetsmæssigt og forsyningssikkerhedsmæssigt ville det være muligt at bruge både Ferring Sø, vand fra Høvsøre til at forsyne et 500 MW PtX anlæg med 1.000.000 m3 råvand årligt. Den økonomiske tværsektorielle business case skal der arbejdes videre med, samt hvordan det kan lykkes at skabe

nye løsninger i samarbejde med myndigheder i forhold til lovgivning. Sidst, men ikke mindst, konkluderes det at der er stort erhvervspotentiale at hente i at bruge terrænnært grundvand/klimavand til energiproduktion, eller til andre industrier der skal bruge teknisk vand - ikke kun nationalt, men også internationalt, da store mængder vand i nogle perioder og få mængder i andre, er en stigende udfordring generelt i verden. Dette både i forhold til energiproduktion, industri og fødevarerproduktion. Dette nye behov for at gentænke infrastrukturen for vores vandforsyning i forhold til at bruge forskellige typer vand til specifikke formål, skaber behov for nye forretningsmodeller, nye teknologier, nye vandhåndteringssystemer mm. Dette vil skabe nye og flere jobs i vandbranchen, samt styrke innovationen i den danske vandsektor og dermed styrke eksport af nye vandteknologiske løsninger til udlandet.

Der er desuden spændende perspektiver og stort potentiale i at samarbejde med landbruget om løsninger, da der er store fordele at hente i forhold til at arbejde sammen om vandhåndtering, samt i forhold til udledning/ recirkulering af næringsstoffer.

5.3 Formidling

Projektet er løbende blevet formidlet på nationale og internationale platforme under hele projektperioden. Et overblik ses i tabel 26.

Tabel 26: Oversigt over projektets formidling gennem projektperioden. Formidling er markeret med blå når der også har været kommunikation til udenlandske interessenter, og hvid når det var på nationalt plan.

13/9 - 2022	Oplæg om problemstillingen og projekt på IWA i København
1/10 - 2022	Formidling af projektet på IFC Water Lounge på Food Tech i Herning
24/11 - 2022	Oplæg om projekt til Dansk Vand konference 2022
13/1-2022	Video om sekundavand til PtX til formidling til børn lægges ud og vises i Klimatorium udstilling (https://youtu.be/xapCU_dYyZA)
1/2 - 2023	Udgivelse af artikel om projektets problemstilling i Dansk Vand (2023-02-01 Februar 2023.pdf)
3/2 - 2023	Oplæg om projekt til Innovationsworkshop med SEGES og Fjordland på Klimatorium
27/2 - 2023	Oplæg om projekt til 65 HF-elever i samarbejde med VIA og Skovgaard Energy på Klimatorium
30/3 - 2023	Præsentation af projekt på Net Zero Pathways konference i Aalborg
1/5 - 2023	Greenhub udgiver podcast-episode efter NZP, hvor projektets problemstilling formidles (https://greenhubdenmark.dk/nyheder/podcast-nzp-2023/)
4/5 - 2023	Præsentation af projekt til infoaften for private borgere på Klimatorium

9/5 - 2023	Formidling af projekt til Holstebro Kommune ved besøg på Klimatorium
2/6 - 2023	Præsentation af projekt til COWI ved besøg på Klimatorium
5/6 - 2023	Artikel om projektet udgivet af Danske Vandværker i forbindelse med "Tour de Grundvand" (https://danskew.dk/nyheder/hojststaaende-grundvand-fra-problem-til-ressource/)
15/6 - 2023	Præsentation af projekt til EUC lillebælt i forbindelse med besøg på Klimatorium
15/8 - 2023	Præsentation af projekt til delegation fra New Zealand og Holland i forbindelse med besøg på Klimatorium
16/8 - 2023	Projektet blev formidlet på klimatopmødet på Klimatorium med et indlæg under sessionen "holistic water infrastructure". Der var 150 gæster fysisk til stede og 600 der fulgte med online hvor mere end 15 forskellige nationaliteter var repræsenteret (https://klimatorium.dk/nationalt-klimatopmoede-2023/)
18/8 - 2023	Udgivet en artikel om projektet i CleantechWatch (https://ctwatch.dk/nyheder/milj_teknik/article16360401.ece)
30/8 - 2023	Projektet blev en del af erhvervsfyrtårns-udstillingen på Klimatorium, der kan opleves de næste 2 år.
6/9 - 2023	Præsentation af model over sekundavand til Power-to-X på Digital Industrial Water event i Århus - organiseret af Water Valley
19/9 - 2023	Præsentation af videnskabelig artikel om vand til PtX- model på I3M-konference i Grækenland (I3M2023_FinalProgram.pdf (msc-les.org)) – side 29
12/10 - 2023	Præsentation af projekt på Global Youth Climate Summit - online (https://klimatorium.dk/global-youth-summit-week/)
25/10 - 2023	Præsentation af projekt til afsluttende event for Erhvervsfyrtårn for vandteknologi - fase 1 på Klimatorium
10/11 - 2023	Artikel om projektet i Ingeniøren/ Watertech Opfordring til fremtidens PtX-anlæg: Husk bæredygtig vandhåndtering WaterTech (PRO)

Udover ovenstående formidling i tabel 26, er projektet ofte blevet formidlet til private foreninger, folkeskoleelever, efterskoleelever, gymnasieelever, universitetsstuderende, rådgivningsfirmaer mm. som besøger Klimatorium og får rundvisning. På nuværende tidspunkt har der været mere end 30.000 besøgende i Klimatorium i år, så det forventes at udstillingen og projektet når ud til mange, både nationale og internationale gæster.

Derudover er modellen udviklet under projektet i samarbejde med AU, og de associerede metoder, blevet beskrevet i en videnskabelig artikel, som blev udgivet i European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2023), og projektet er desuden også blevet kommunikeret til de nye bachelorstuderende på computerteknologi på

6 Videre arbejde

Etablering af alternativ vandforsyning

Lemvig Vand vil etablere en ny vandforsyning fra sekundavandkilde til PtX på baggrund af nærværende rapport. Det videre arbejde vil bestå i at udarbejde businesscase og videre dialog med kommune om lovgivning for at afgøre om det er Ferring sø eller Høvsøre der vælges som kilde. Processen med myndigheder vil lettes når Edea fra KU i samarbejde med GEO har færdiggjort vandbalancemodel for området. Derefter skal der

søges tilladelse til indvinding og evt. udledning, anlægges rørledning, pumpesystem og renseanlæg. Da PtX-anlægget i Ramme på nuværende tidspunkt stadig er under konstruktion, og de første år vil være et demonstrationsanlæg med en kapacitet på 10MW, er der mulighed for på samme måde at demonstrere hvordan en alternativ vandforsyning kunne se ud på lille skala, inden der forsættes til stor skala med 500 MW.

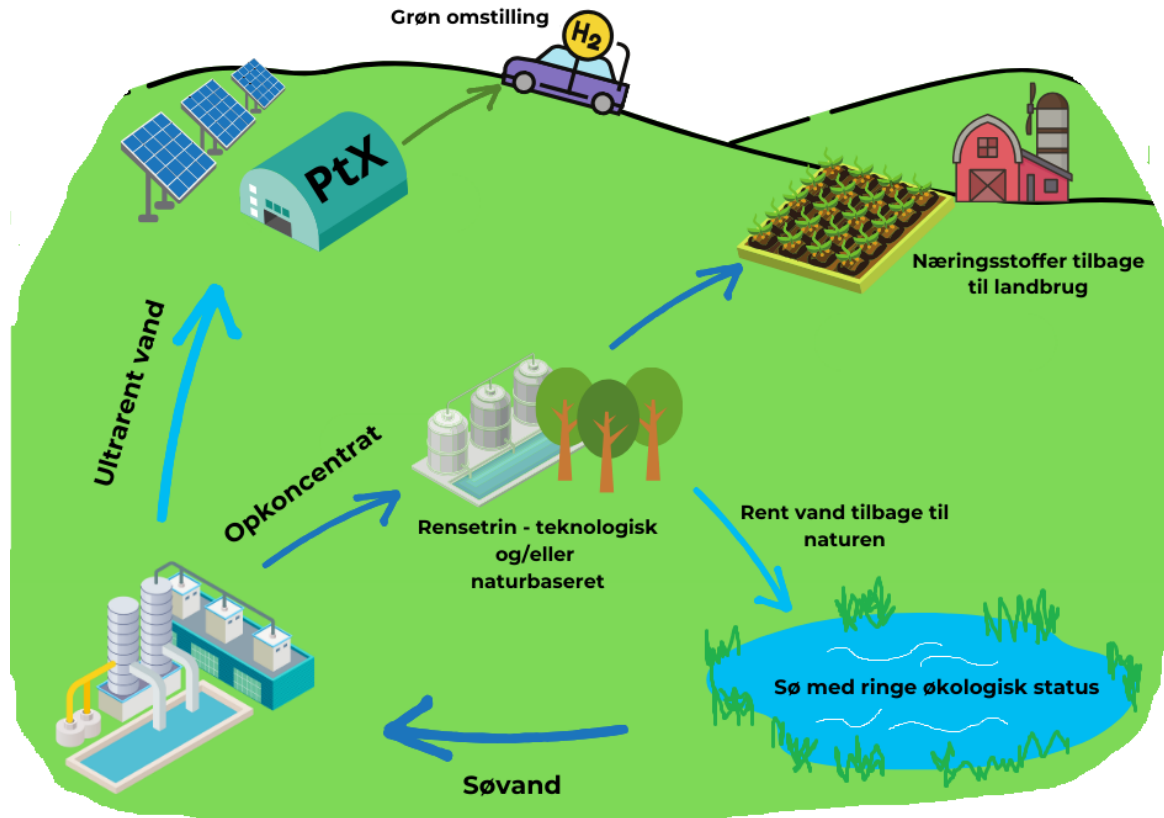
Udledning og synergi med landbrug og natur

Hvis spildevandet ledes tilbage på renseanlæg, ville Harbøre renseanlæg, ud fra foregående analyser, kunne tage imod både mængden og indholdet, med forbehold for at der skal lægges en plan for at håndtere varierende saltindhold hvis Ferring sø bruges, og der evt. skal laves en ekstra efterklaringsstank for at kunne håndtere volumen. Dog er udledning til kloak og renseanlæg ikke nødvendigvis den eneste og bedste løsning. Denne nye industri der skal rense store mængder vand, har mulighed for at skabe synergier med andre sektorer på flere fronter. Klimatorium og partnere vil gerne kigge videre i mulighederne for at lave naturgenopretningsprojekter i forbindelse med at bruge vand til PtX. Ferring sø er en forurenede sø med mange års tilledning af næringsstoffer fra landbrug, og kloakudledning fra sommerhusområder til søen. Ved at tage vand fra Ferring sø og rense det til ultrarent vand til PtX, og lave en efterfølgende rensning af vandet for derefter at lede det rene vand tilbage til søen, ville man langsomt kunne rense søen op og forhåbentlig bedre dens økologiske status. Kunne man ovenikøbet trække fosfor ud af vandet og genbruge det på markerne, ville det være endnu en win-win. Denne teknologi findes, men er stadig på et lavt TRL-niveau. Samme tanker gør sig gældende i forhold til at bruge drænvand fra Høvsøre-området. Her kunne der være mulighed for

at sende spildevandet fra renseprocessen tilbage til markerne med fosfor og kvælstof til at gøde jorden. Ydermere, vil der være mulighed for at lave synergi mellem at konvertere dyrkede kulstofrige lavbundsjord til vandreservoirer til brug til tørre perioder i landbruget og brug til PtX. På denne måde ville man kunne nedsætte CO₂-udledning fra lavbundsjord, lave nye vådområder til at styrke biodiversitet, og lave vandreservoir der kan hjælpe landbruget i de tørre perioder og sikre vandforsyning til PtX. Denne synergi med naturgenopretning og landbrug vil Klimatorium og partnere forsætte med at finde løsninger på i fase 2 af Erhvervsfyrtårn for vandteknologi.

Det er tilmed sandsynligt, at der i de kommende år vil komme lovgivning der nødvendiggør at flere forsyninger skal til at rense spildevand for miljøfremmede stoffer som PFAS og lægemiddelrester inden det udledes til naturen, hvis niveauet er højt. Denne ekstra rensning kunne også sammentænkes med vand til brintproduktion. Hos Kalundborg forsyning bruges for eksempel et ozon-anlæg til at rense spildevand for lægemiddelrester, og det er deres erfaring at anlægget er mere effektivt, jo højere koncentration af lægemiddelrester der findes i vandet. Hvis dette spildevand blev brugt til at lave ultrarent vand til PtX, ville der laves en opkoncentrering, også af lægemiddelrester, hvilket ville gøre den efterfølgende rensning mere effektiv.

Oprensning af forurenet vandmiljø og synergier med landbrug



Figur 24: Illustration af muligheder for at oprense en forurenet sø i synergi med PtX og landbrug

I forhold til modellen for forsyningssikkerhed udarbejdet af AU, kan SP2X modellen med fordel kombineres med en model for kapacitetsfaktoren af PtX anlægget, der beskriver forholdet mellem, andelen af døgnnet anlægget kører, og hvor høj produktionen af hydrogenprodukt er, og derved hvad det mere specifikke vandbehov er. Dette ville give et mere helstøbt billede af SP2X systemet, da kapacitetsfaktoren, på nuværende tidspunkt, antages

at være konstant 66%, hvis ingen anden data er givet. Ydermere kunne modellen udvides med en kvalitativ analyse af vandkildernes forsyningssikkerhed, da dette kunne supplere den mere kvantitative tilgang, der er blevet brugt i projektet. Derudover ville inklusionen af andre typer kilder i modellen, som søer og rensningsanlæg give interessante muligheder for at støtte de nedbørsafhængige vandkilder i perioder med lave nedbørsmængder.

7 Referencer

- Lemvig Kommune og Lemvig Vand A/S. (2023). *Lemvig.dk*. Hentet fra Spildevandsplan 2021-2028: <https://www.lemvig.dk/Files/Files/Teknik%20og%20Milj%C3%B8/Spildevandsplan%202021-28%20vedtaget/Bilag%203%20-%20Skemaer%20for%20udl%C3%B8b%20rev%2028-02-2023.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM D1193-06 Standard Specification for Reagent Water*. American Society for Testing and Materials.
- Andersen, H., Larsen, S., Kronvang, B., Hansen, K., Laubel, A., Windolf, J., & Muus, K. (4.. December 2006). Fosfat i drænvand. *Vand og Jord*, s. 152-156.
- Birkmose, T. S., Feidenhans, B., Jensen, J. E., Bødker, L., Nielsen, K. A., Hastrup, M., . . . Pedersen, J. B. (2009). *Håndbog i plantedyrkning 2009/10*. Dansk Landbrugsrådgivning, Landcentret.
- Boutrup, S. (., Fauser, P., Thomsen, M., Dahlöf, I., Larsen, M., Strand, J., . . . Munk, L. (2006). *Boutrup, S. (red.), Fauser, P., Thomsen, M., Dahlöf, I., Larsen, M.M., Strand, J., Sortkjær, O., Ellermann, T., Rasmussen, P., Jørgensen, L.F., Pedersen, M.W., Munk, L.M.* Danmarks miljøundersøgelser.
- Brintbranchen. (27. Oktober 2023). *Brintbranchen.dk*. Hentet fra Brintprojekter i Danmark: <https://brintbranchen.dk/brintprojekter-i-danmark/>
- Christensen, L., Marcher, S., Møller, V., Brusch, W., Rosenbom, A., Duer, A., . . . Skriver, M. (2013). *pesticidvarsling.dk*. Hentet fra Orientering fra miljøstyrelsen 1, 2013: https://vap.dk/wp-content/uploads/Danske_publicationer/Orientering-fra-Milj%C3%B8styrelsen-1-2013-Bentazon-Anvendelse-regulering-og-fund-i-danske-monitoringsunders%C3%B8gelser.pdf
- DANVA. (Oktober 2021). *Danva.dk*. Hentet fra Vand i tal 2021: <https://www.e-pages.dk/danva/249/>
- Energistyrelsen. (12.. September 2023). *Danish Export.dk*. Hentet fra Danish Export, Media: <https://www.danishexport.dk/media/ywaddr5h/x2-energistyrelsen-permitting-processes-and-ptx-taskforce.pdf>
- Eurowater. (Oktober 2022). *Eurowater.com*. Hentet fra Eurowater - a Grundfos Company: file:///C:/Users/pewe/Downloads/Basics_water-treatment-for-hydrogen_mini-leaflet_EUROWATER.pdf
- Kjær, J., Ullum, M., Lindhardt, B., Olsen, P., & Jørgensen, J. O. (2002). *pesticidvarsling.dk*. Hentet fra 19. Danske planteværnskonference 2002: https://vap.dk/wp-content/uploads/Danske_publicationer/Danske-Plantev%C3%A6rnskonference-2002-Udvaskning-af-glyphosat-vurderet-ud-fra-tre-markfors%C3%B8g.pdf
- Klitgaard, A. (2022). Hvilken rolle spiller spildevand - i fremtidens energisystem? *Spildevand #4*, 28-31.
- Kokkegård, H. (6. september. September 2018). Samsø viser vejen for brug af rensed spildevand til markvanding. *Ingeniøren*, s. <https://ing.dk/artikel/samsoe-viser-vejen-brug-af-renset-spildevand-til-markvanding>.
- Lemvig Kommune. (2023). *Klimatilpasningsplan 2023*. Lemvig: Lemvig Kommune.
- Madsen, H. T. (03 2023). Det ULTRA rene vand. *Vand og Jord*, s. 23-26.
- Martin Ryggard, H.-J. A. (2013). *Begrebsafklaring og oplæg til kvalitetskriterier for sekundavand*. Lyngby: DTU Miljø, Institut for Vand og Miljøteknologi.
- Miljøministeriet/Miljøstyrelsen. (20.. april 2023). *Klimatilpasning.dk*. Hentet fra Klimatilpasning: <https://www.klimatilpasning.dk/viden-om/fremtidens-klima/klimaaendringeridanmark/>
- Mortensen, K., Skovgaard, H., Mørk, O., & Larsen, M. (2022). *Miljø Rapport*. Lemvig: Lemvig Kommune.
- Nielsen, J. (2015). *Klimatilpasning.dk*. Hentet fra Dansk Dræningsguide: <https://www.klimatilpasning.dk/media/>
- Nielsen, L. H. (April 2023). *Notat vedr. Oprensning af vandkilder til ultrarent vand*. Krüger.
- Orbicon. (2013). *Forundersøgelse af mulighederne for klimatilpasning i oplandet til Lemvig Sø og afløbet herfra. Med vægt på de natur- og miljømæssige samt rekreative aspekter*. Orbicon.
- Pedersen, E. (1982). *dcapub.au.dk*. Hentet fra Statens planteavlsvforsøg: https://dcapub.au.dk/pub/planteavl_86_543.pdf
- Piil, K., & Knudsen, L. (2014). *Drænvandsundersøgelserne 2011 til 2014. Resultater*. . Videnscentret for Landbrug.
- Ringkøbing Amt. (2001). *Vandmiljøovervågning Ferring Sø*. Ringkøbing Amt.
- Seges Innovation. (2023). *Vandkvalitet af drænvand*. dette projekt.

Vestforsyningen. (8.. September 2023). *Vestforsyning.dk*. Hentet fra Vestforsyningen nyheder: <https://www.vestforsyning.dk/nyheder/nyheder/vi-troede-det-var-stort-men-jeg-tror-det-er-endnu-stoerre/>

WSP for Lemvig Vand. (2022). *Miljøkonsekvensrapport - Nedrivning af Lemvig Renseanlæg og fremtidig centralisering af speildevandsrensning på udivdet Harbøre Renseanlæg*. Lemvig: Lemvig Kommune.

8 Bilag

Bilag 1

Data om planlagt PtX-anlæg i Danmark per 3/10-2022, indhentet fra brintbranchen af Skovgaard Energy

Bilag 2

Litteraturstudie over vandkvalitet af drænvand i Danmark, lavet af projektpartner SEGES

Bilag 3

Sammenligning af vandkvalitetsparametre ønsket fra Krüger vs. eksisterende miljødata fra udvalgte sekundavandkilder

Bilag 4

Notat om vandrensning, udarbejdet af projektpartner Krüger Veolia

Bilag 5

Overblik over stofmængdekonzentrationer i rejektvand og råvand hvis vand fra Lemvig Sø eller Noret bruges. Ligeledes overblik over totale stofmængder der vil skulle håndteres på renseanlæg per dag og per år.