

Erfaringer fra pilotprojekt om vandstand, vandkemi og vegetation i rigkær

Henriette Bjerregaard, SGAV. Faglig kommentering og afsnit om iltisotoper samt perspektivering: Bertel Nilsson, GEUS

Marts 2026



Denne rapport er skrevet som en del af projektet LIFE IP Natureman. Projektet og dets aktiviteter er finansieret af EU's LIFE-ordning. Oplysninger i denne rapport afspejler kun forfatterens holdning. EU Kommissionen er ikke ansvarlig for nogen brug af disse oplysninger.

This report has been written as part of the LIFE IP Natureman project. The project and its activities are funded by the EU's LIFE programme. The information in this report only reflects the author's position. The EU Commission is not responsible for any use of this information.

Indhold

Summary.....	2
Sammenfatning	3
Indledning.....	4
Metode	5
Opsætning og prøvetagning	6
Gennemgang af de otte rigkærslokaliteter i pilotprojektet	9
St. 22 Kielstrup Sø (i N22/H22 i Mariagerfjord Kommune)	10
St. 58 Ulvholm i Kastbjerg Ådal (i N223/H223 i Randers Kommune)	15
St. 1130 Villestrup Å (ved Store Blåkilde) (i N222/H222 i Mariagerfjord Kommune)	21
St. 1218 Hærup Sø (i N30/H30 i Viborg Kommune)	26
St. 1222 Bredsgård Sø (i N38/H38 i Viborg Kommune)	31
St. 4677 Ettrup ved Simested Å (N30/H30 i Vesthimmerlands Kommune)	38
St. 4678 Jordbro Å (Drost Peders Høj) (N39/H39 i Viborg Kommune)	42
St. 4680 Halkær Sø (i N15/H15 i Aalborg Kommune)	47
Evaluerings af vandstandsmålinger	53
Evaluerings af metode til udvælgelse af lokaliteter og prøvefelter	55
Konklusion og anbefalinger vedr. vandstandsmålinger	56
Stabile iltisotoper	57
Perspektivering	59
Referencer	60

Summary

Within the NOVANA framework, hydrological measurements were carried out during 2018–2022 as part of a pilot project aimed at investigating the relationship between water levels, water chemistry, and vegetation in alkaline fens (7230). This report describes the practical experiences related to the setup of groundwater monitoring wells and the linkage between field observations and the many water level measurements of the project. The project included eight sites in Himmerland and Central Jutland within the LIFE IP Natureman project area. The objective was to examine how water levels, water chemistry, and vegetation are interconnected. Particular focus was placed on how the composition of vascular plants and bryophytes can serve as indicators of hydrological conditions and nutrient levels, and to provide recommendations for hydrological monitoring.

At each site, two sampling plots were established: one in good ecological condition and one in poor condition. In each plot, at least two monitoring wells were setup: a shallow well to measure the actual groundwater level and a deep well used to measure groundwater pressure and thereby determine the direction of the hydraulic gradient. The initial expectation was that the most well-developed fen vegetation would be found in plots with artesian conditions, an upward hydraulic gradient, and low nutrient levels. Selecting sampling plots solely based on existing monitoring data led to several practical challenges in this study, as actual field conditions did not always match the predicted habitat type and status. This was due to factors such as GPS inaccuracy, vegetation overgrowth, and local topographic heterogeneity. Therefore, it is recommended that plot selection is based on field assessments conducted by an experienced botanist with expertise in habitat types.

Out of the 16 sampling plots included in the pilot project, water level measurements indicated a constant or relatively stable water level at the surface in 13 plots. However, only 8 of these showed a clear positive hydraulic gradient. The conclusion is that there is generally a good correlation between consistently high water levels and a positive hydraulic gradient, although the magnitude of the gradient varies considerably. The measurements also showed that it was often difficult to document upward groundwater flow, even in cases where vegetation clearly indicated favorable conditions. This is due to several methodological challenges. Many of the monitoring wells did not function optimally. Problems included incorrect placement, insufficient filter depth, slow water recharge, and technical issues. For example, measurements in highly decomposed peat or gyttja proved unreliable due to very slow water movement in such materials. Additionally, the project showed that water sampling from the same wells used for water level measurements interferes with the results, meaning that sampling should be conducted using separate wells. Another significant challenge was that groundwater flow is often highly localized making it difficult to position wells correctly. To address this, one may either install multiple deep wells to better determine the hydraulic gradient or alternatively focus monitoring efforts on measuring actual water levels alone, omitting deep wells based on the assumption, that consistently high water levels indicate ongoing groundwater discharge to the site.

Analyses of stable oxygen isotopes showed, that the water at all investigated sites primarily originates from groundwater rather than surface water. This supports the understanding that alkaline fens are generally groundwater-fed systems. Isotope measurements are therefore recommended as a valuable supplement in future studies.

In this study, water level measurements in groundwater-dependent terrestrial ecosystems were only conducted for alkaline fens. Similar studies should be carried out for other relevant habitat types in both good and poor ecological condition. Improved knowledge of water level dynamics can contribute to more accurate models and better management of both natural ecosystems and water resources.

Sammenfatning

I NOVANA-regi fokuserede man i 2018-22 målingen af hydrologi i et pilotprojekt med det formål at undersøge sammenhængen mellem vandstand, vandkemi og vegetation i rigkær. Dette notat beskriver de praktiske erfaringer vedr. opsætning af vandstandsrør og koblingen mellem feltobservationer og projektets mange vandstandsmålinger. Projektet omfattede otte lokaliteter i Himmerland og Midtjylland indenfor LIFE IP Naturemans projektområde. Formålet var at undersøge, hvordan vandstand, vandkemi og vegetation hænger sammen. Særligt var der fokus på, hvordan sammensætningen af karplanter og mosser kan bruges som indikatorer for hydrologiske forhold og næringsstofniveauer og komme med anbefalinger til, hvordan hydrologi kan monitoreres.

Der blev etableret to prøvefelter på hver lokalitet – ét med god naturtilstand og ét med ringe. I hvert felt blev der etableret to vandstandsrør: et øvre, til måling af den aktuelle vandstand, og et dybt, som anvendtes til at måle grundvandstrykket og dermed retningen af trykgradienten. Den umiddelbare forventning er, at den mest veludviklede rigkærsvegetation skulle findes i prøvefelter med trykvand, opadgående vandstandsgradient og et lavt niveau af næringsstoffer.

At udvælge prøvefelter udelukkende på baggrund af eksisterende overvågningsdata, gav i dette studie en række praktiske problemer, hvor virkeligheden ikke altid afspejlede den forudsagte naturtype og tilstand, bl.a. pga. GPS-usikkerhed, tilgroning og heterogen topologi lokalt. Udvælgelsen af prøvefelter anbefales derfor som udgangspunkt at ske på baggrund af feltobservationer af en erfaren og naturtypekyndig botaniker.

Af de 16 prøvefelter, der indgik i pilotprojektet, er der på baggrund af vandstandsmålingerne påvist en konstant eller relativt konstant vandstand i terræn i 13 prøvefelter, og for 8 af disse ses en mere eller mindre tydelig positiv trykgradient. Konklusionen er, at der generelt er god sammenhæng mellem måling af konstant høj, aktuel vandstand og en positiv trykgradient, men der er meget stor forskel på trykgradientens størrelse. Dog viste målingerne også, at det flere steder var svært at dokumentere en opadgående bevægelse, selv hvor vegetationen tydeligt indikerede gode forhold. Dette skyldes flere metodiske udfordringer. En del af de installerede vandstandsrør fungerede ikke optimalt. Problemerne omfattede forkert placering, utilstrækkelig dybde af filter, langsom vandtilstrømning og tekniske fejl mm. Fx viste det sig, at målinger i stærkt nedbrudt tørv eller gytje var upålidelige, fordi vandet bevæger sig meget langsomt i sådanne substrater. Derudover viste projektet, at vandprøvetagning i de samme rør som bruges til vandstandsmåling, forstyrrer resultaterne, hvilket betyder at prøvetagning bør ske i separate rør. En anden væsentlig udfordring var, at grundvandsstrømning ofte er meget lokal. Vandet kan strømme op gennem små, punktvisse områder, hvilket gør det svært at placere vandstandsrørene korrekt, hvorfor man enten kan supplere med flere dybe rør for bedre bestemmelse af trykgradienten, eller alternativt koncentrere monitoreringen om at måle den aktuelle vandstand, dvs. undlade de dybe rør ud fra en betragtning om, at en konstant høj aktuel vandstand betyder, at der er en pågående grundvandstilstrømning til lokaliteten.

Analyser af iltisotoper viste, at vandet i alle undersøgte områder primært stammer fra grundvand og ikke fra overfladevand. Dette understøtter, at rigkærene generelt er grundvandsdrevne systemer. Isotopmålinger anbefales derfor som et nyttigt supplement til fremtidige undersøgelser.

Vandstandsmålinger indsamlet i vådområder med grundvandsafhængige terrestriske økosystemer til vurdering af biodiversitet og naturtilstand er i dette studie kun udført for rigkær. Der bør laves lignende undersøgelser for øvrige relevante naturtyper i god og ringe naturtilstand, ligesom bedre viden om vandstandsvariationer kan bidrage til mere præcise modeller og bedre forvaltning af både natur og vandressourcer.

Indledning

De hydrologiske forhold er af afgørende betydning for de økologiske processer i mange naturtyper. Hydrologien har især stor betydning for kilder og rigkær (7220 og 7230), som er defineret ved at gennemstrømmes af grundvand. Udstrømningsområderne for grundvandet er ofte uforudsigelige og ret lokale, mens de påvirkede områder kan have langt større udstrækning.

Kendskab til hydrologien i et område er dermed vigtig som grundlag for at planlægge og tilpasse naturplejeindsatser, og monitorering af hydrologiske forhold kan samtidig bidrage til at dokumentere effekten af forvaltningstiltag over tid.

I dette notat beskrives de praktiske erfaringer med opsætning af vandstandsrør til monitorering af hydrologien i otte rigkær indenfor Natura 2000-områder i Himmerland og Midtjylland. Vandstandsrørene blev opsat i forbindelse med et NOVANA-pilotprojekt vedr. måling af hydrologi (2018-2022). Projektet indgik samtidig som et komplementært projekt i projektet LIFE IP Natureman, og resultaterne er en integreret del af LIFE-projektets monitoringsstrategi vedr. hydrologi (Bjerregaard, H., 2019).

Formålet med hydrologi-pilotprojektet var i regi af NOVANA at undersøge sammenhængen mellem vandstand, vandkemi og vegetation i rigkær, specielt hvordan vegetationen af planter og mosser afspejler vandets kvalitet og hydrologiske forhold, herunder næringsstofferne kvælstof og fosfor. Projektet udsprang af anbefalinger i Økohydrologi-projektet fra 2010 (Ejrnæs, R. m.fl. 2010) samt Notat vedr. vandstandsrør i terrestriske naturtyper - opsætning, filtersætning, udtagning af vandprøver mm. (Vinther, E. 2013).

Resultaterne skulle danne baggrund for beslutninger om fortsat prøvetagning i NOVANA-programmets kontrolovervågning af grundvandsafhængige naturtyper, hvor man ud over indsamling af vegetationsdata tidligere har målt pH i jordvandet og udtaget vand- og løvprøver til analyse af kvælstof og fosfor. Denne prøvetagning er imidlertid ophørt af andre årsager ved udgangen af 2024.

Metoden er beskrevet i detaljer i "Vejledning til opsætning af vandstandsrør og prøvetagning. Pilotprojekt om vandstand og vandkemi i rigkær." (Nygaard, B. m.fl. 2019). Desuden har GEUS udgivet en rapport om betydning af de geologiske forhold i forbindelse med opsætning af vandstandsrør (Nilsson, B. 2019).

Resultaterne fra pilotprojektet blev afrapporteret i marts 2024 i et notat af DCE om Biokalibrering af hydrologi og næringsstoffer i rigkær (Ejrnæs, R. og Nygaard, B. 2024). Der er imidlertid aldrig blevet samlet op på de praktiske erfaringer og koblingen mellem feltobservationer og de mange vandstandsmålinger, hvilket derfor er formålet med dette notat.

Notatet sætter fokus på:

- Beskrivelse af prøvetagningslokaliteterne og hvad man kan se ud fra de målte vandstande, vandstandskurver og vegetationsdata
- Evaluering af den anviste metode i *Vejledning til opsætning af vandstandsrør og prøvetagning. Pilotprojekt om vandstand og vandkemi i rigkær* (Nygaard m.fl. 2019), herunder
 - Anbefalinger ift. udlægning af prøvefelter
 - Anbefalinger ift. vandstandsmålinger
 - Anbefalinger ift. prøvetagning for vandkemi
 - Resultater og anbefalinger vedr. isotopmålinger

Metode

Den metode, der lå til grund for pilotprojektet er beskrevet i sin helhed i "Vejledning til opsætning af vandstandsrør og prøvetagning. Pilotprojekt om vandstand og vandkemi i rigkær" (Nygaard, et al. 2018). I korte træk kan metoden beskrives som følger.

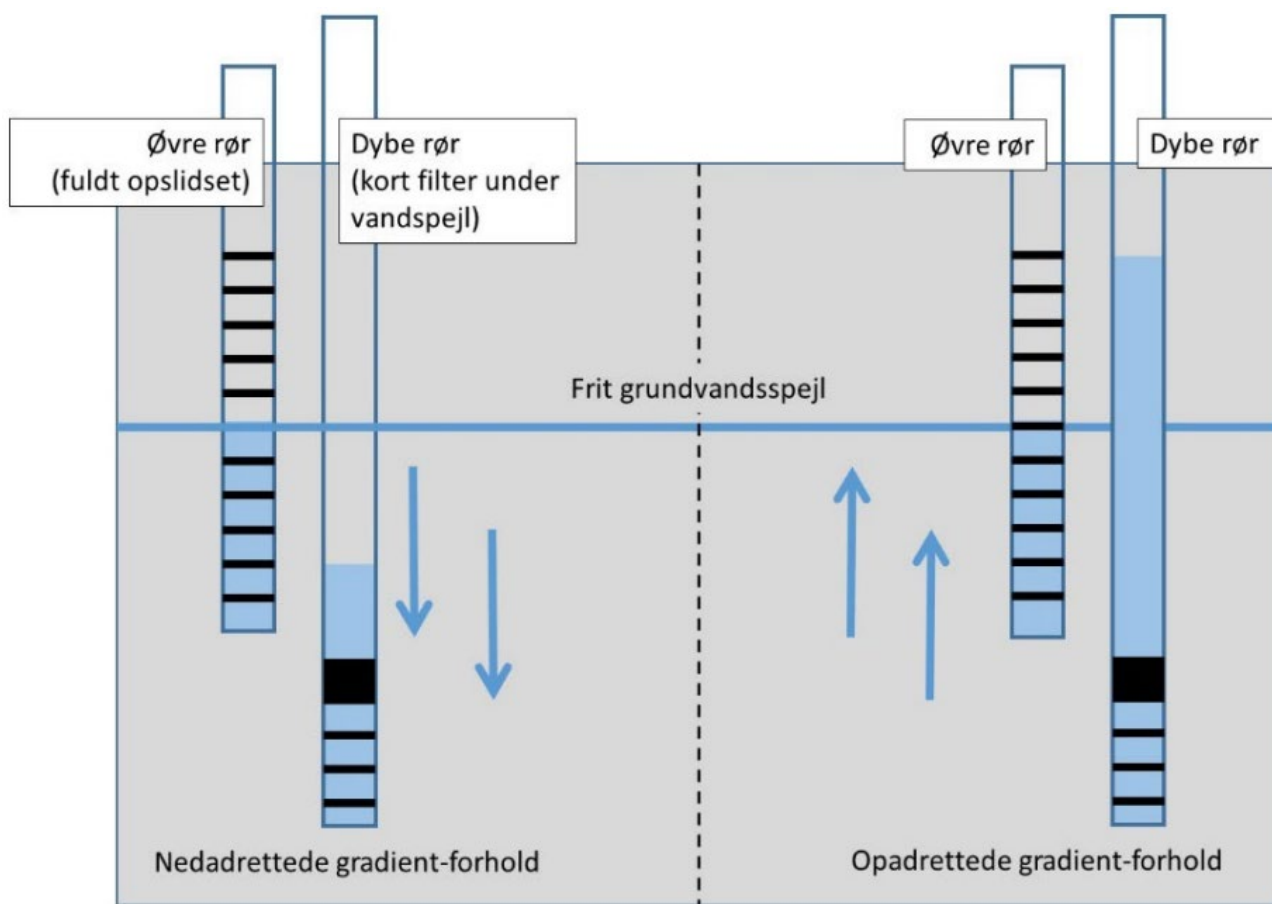
På hver af de udvalgte lokaliteter blev der lavet målinger i to prøvefelter. Det ene prøvefelt repræsenterede rigkær i god tilstand og det andet rigkær i ringe tilstand. I hvert prøvefelt blev opsat to vandstandsrør – et øvre rør og et dybt rør. Der blev installeret vandstandsloggere (tryktransducere) i alle de opsatte vandstandsrør og rørene blev lukket med et låg. I det øvre rør var det muligt at måle variationen af vandstand i terræn, mens måling af forskellen i vandstandsniveau mellem de to rør gjorde det muligt at bestemme vandets trykpotentiale, og hvorvidt vandbevægelsen var op- eller nedadgående i prøvefeltet.

Vandstandsmålingerne var knyttet til vegetationsanalyserne i prøvefelterne ved, at 4 pinpoint-analyser blev foretaget maksimalt 1-2 meter fra vandstandsrørene, og der blev optaget en total planteliste i en 5 m-cirke omkring opstillingen. Derved var det muligt at sammenkæde vegetationens artssammensætning med vandstand, sæsonvise vandstandssvingninger, forekomst af trykvand og vandkvalitet.

Den umiddelbare forventning var, at den mest veludviklede rigkærsvegetation skulle findes i prøvefelter med konstant vandstand i terræn forårsaget af trykvand/opadgående grundvandsstrøm, dvs. med positiv trykgradient samt et lavt niveau af næringsstoffer.

En optimal placering af vandstandsrørene forudsætter et godt kendskab til jordbundsprofilen. Derfor blev der forud for opsætning af vandstandsrørene gennemført en række håndborede geologiske profiler, ned til de vandførende lag. På baggrund af jordbundsprofilerne besluttedes i hvilken dybde filtrene skulle placeres på rørene.

Det ene rør (kaldet "det øvre rør") blev filtersat (opslidset) i hele rørets længde (med undtagelse af det øverste stykke for at undgå indtrængning af overfladevand). Dette rør målte den aktuelle vandstand (det fri grundvandsspejl) og ved logning registreredes vandstandssvingningerne gennem året. Det andet rør (kaldet "det dybe rør") skulle filtersættes på de nederste ca. 20 cm, mindst 20 cm under laveste sommervandstand, således at filteret vurderes at være vanddækket hele året rundt. De to vandstandsrør placeredes med en indbyrdes horisontal afstand på maksimalt 1 m. Vandbevægelsen ved hver logning blev beregnet ved at sammenholde vandstanden i det øvre og det dybe rør (se figur nedenfor). Hvis vandstanden i det dybe rør stod over vandstanden i det øvre rør var der en opadrettet gradient og dermed grundlag for udstrømning af grundvand til rigkæret. Tilsvarende var en lavere vandstand i det dybe rør end i det øvre tegn på en nedadrettet gradient og dermed et manglende grundvandstryk.



Princip for parvis opstilling af vandstandsrør i naturtyper betinget af grundvand. I den venstre side af figuren er vist en situation med en nedadrettet gradient og i den højre side en situation med en opadrettet gradient (trykvand).

Vandprøver til måling af pH og næringsstoffer blev udtaget i særskilte vandprøverør. Kun på 3 lokaliteter blev der udtaget vandprøver i de Dybe vandstandsrør (se nedenfor). For at undersøge den rumlige variation i pH og mængden af næringsstoffer i det vand, der påvirker rigkærsvegetationen i en 5 m-cirkel, opsattes klynger af 6 lange vandprøverør i *både* det Gode og det Ringe prøvefelt på tre af de otte lokaliteter (Kielstrup Sø, Hærup Sø og Simested Ådal). Dette blev ændret ift. Vejledningen, som anviser 8 rør på to lokaliteter (se Ejrnæs 2024). I disse ekstra vandstandsrør blev der udtaget en separat vandprøve fra hvert rør 3 gange i én sæson (marts, juli og november 2021). Data fra disse er endnu ikke afrapporteret.

I forbindelse med prøvetagningen i marts i pilotprojektets første år udtog man endvidere en vandprøve fra de Dybe vandstandsrør til bestemmelse af stabile iltisotoper.

Der blev endvidere indsamlet en planteprøve af mos i umiddelbar nærhed af hvert prøvefelt til analyse for næringsstoffer.

Opsætning og prøvetagning

Udvælgelse af lokaliteter og prøvefelter

Pilotprojektet blev gennemført på 8 eksisterende NOVANA-overvågningsstationer for naturtypen rigkær (7230) beliggende indenfor habitatområder i LIFE IP Naturemans projektområde. Det drejede sig om stationerne: st. 22 Kielstrup, st. 58 Kastbjerg Ådal, st. 1130 Villestrup Ådal, st. 1218 Hærup Sø, st. 1222 Bredsgård Sø, st. 4677 Simested Ådal, st. 4678 Jordbro Ådal og st. 4680 Halkær Sø.

DCE havde inden opstart i felten udvalgt fire potentielle prøvefelter på hver station, hvoraf der skulle vælges to – et hvor rigkæret var i en god tilstand (det "Gode" prøvefelt) og et prøvefelt med rigkær i mindre optimal tilstand (det "Ringe" prøvefelt). Prøvefelterne var valgt ud fra artsregistreringer i tidligere overvågningsperioder i årene fra 2006-14. Der var tale om både eksisterende prøvefelter, som fortsat indgår i overvågningsprogrammet, og udgåede prøvefelter, der ikke længere overvåges. Antal arter (total) var det primære udvælgelseskriterium, støttet af beregnede indekssværdier for Antal Indikatorarter, Antal Mosarter, Antal Mos-indikatorarter, Ellenberg L, Ellenberg F, Ellenberg R, Ellenberg N, Næringsratio (Ell.N/Ell.R). Indekssværdierne fremgår af Nilsson, B. m.fl. 2019.

I felten blev de udvalgte prøvefelter fremsøgt i prioriteret rækkefølge med håndholdt Garmin GPS, som dér hvor afstanden til punktet gik i nul (dvs. stratificeret tilfældig udlægning inden for det område som gps-usikkerheden dækker). Den anvendte GPS kan have op til 5-7 m unøjagtighed, dvs. at der ikke nødvendigvis var tale om præcist det samme prøvefelt, som artslisterne brugt ved udvælgelsen stammede fra. I de fleste tilfælde blev førsteprioriteten valgt til opsætning af vandstandsør, undtagen det gode prøvefelt på st. 22 Kielstrup Sø, hvor andenprioriteten blev valgt, da førsteprioriteten var placeret i en pilebusk.

Geologisk kartering og opstilling af vandstandsør

Geologisk kartering og opstilling af vandstandsør blev udført af GEUS 1-10. oktober 2018, formål og udførelse er nærmere beskrevet i vejledningen (Nygaard, B. m.fl. 2019) og resultaterne i Nilsson, B. m.fl. 2019.



Geologisk kartering – her ved Jordbro Å - viser placering af vandspejlet og de vandførende lag, samt grundvandets strømningsretning.



Her er der fundet sand, dvs. et vandførende lag, i 3 m dybde, men der er også vandførende lag, hvor tørvten er mere porøs dvs. svagere omdannet og med mange planterester.



Længden af det Dybe vandstandsør afpasses efter det vandførende lag



Det Dybe vandstandsør sættes, så der er 20 cm filter i den dybde, det vandførende lag er fundet

Pejling af vandstand, renpumpning af vandstandsør og opsætning af hegn blev udført 22. november-4. december 2018. Rørene blev savet af, idet det blev sikret, at de Dybe vandstandsør altid var højere end de Øvre vandstandsør for at undgå forvekslinger ved senere feltbesøg (undtagen Bredsgård, God, hvor det blev gjort omvendt), og der blev påsat T6 "kaffekandepropper" (ekspanderende topprop, låsbar med specialnøgle) for at sikre dataloggerne. I den forbindelse blev det også observeret hvor hurtigt grundvandet strømmer ind i røret igen, og der blev boret trykudligningshuller. Pejling af vandstand og renpumpning af rør blev gentaget 1.-11. januar 2019.

Manuel pejling af vandstand og renpumpning af rør blev gentaget ifm. loggerinstallationen, og der blev installeret et terrænfikspunkt (en jordskrue) mellem de to vandstandsør og indmålt med dGPS (Trimble). Rørenes højder blev indmålt ift. terrænfikspunktet ved hjælp af vaterpas og tomkestok, jf. vejledningen (Nygaard, B. m.fl. 2019).

Prøvetagning

28. marts-3. april 2019 blev der første gang udtaget vandprøver til analyse for næringsstoffer og målt pH. Der blev i starten taget vandprøver i de Dybe vandstandsør, som først blev renpumpet. Da vandtilstrømningen de fleste steder gik relativt langsomt, formentlig pga. meget ringe vandledningsevne i omsat tørv, blev det klart at vandprøvetagning i det Dybe vandstandsør ville forstyrre vandstandsmålingerne for meget. Kun på de tre stationer, hvor det dybe vandstandsør var filtersat i sand, måtte det formodes at vandtilstrømningen gik så hurtigt, at vandprøvetagningen ikke ville forstyrre vandstandsmålingen (Hærup Sø, Kastbjerg Ådal og Kielstrup Sø).

2.-11. juli 2019 blev der derfor i hver 5 m cirkel installeret to ekstra faste vandprøveør, hvorfra der kunne udtages vandprøver til måling af vandkemi og pH, for at undgå forstyrrelse af vandstandsmålingerne i de oprindelige vandstandsør.

Vandstandsloggere

Loggere (tryktransducere af mærket Diver) blev ophængt i bunden af alle vandstandsør 26.-28. februar 2019. Der blev desuden ophængt 4 baro'er i toppen af det Dybe vandstandsør på st. 22 Kielstrup, st. 1218 Hærup Sø, st. 1222 Bredsgård Sø og st. 4680 Halkær Sø til at kompensere for variationer i det atmosfæriske tryk.

Loggerne blev i løbet af projektperioden aflæst ved hvert besøg, dvs. 3 gange om året for at undgå datatab. I et enkelt tilfælde er en logger blevet udskiftet pga. udfald (Bredsgård, God).

Vandstandsmålinger

Pejlinger: I forbindelse med vandprøvetagningen, blev der 3 gange om året gennem hele projektperioden foretaget manuelle pejlinger af vandstanden i vandstandsørerne, og samtidig blev det observeret, om der var vand i, under eller over terræn samt evt. særlige forhold. Det bemærkes, at manuelle pejlinger også kan være behæftet med en lille usikkerhed. Vandstandspejleren fungerer ved nedsenkning af en sonde i røret, som afgiver en lyd, når en føler rammer vandet, og kan næppe måles mere præcist end +/- 0,5-1 cm. I kombination med andre usikkerheder på trykmålinger, opmåling af koter og rørhøjder, er 2-3 cm usikkerhed ikke urealistisk.



Diver hænges op i en snor nede i røret, under vandoverfladen. Den måler trykket under vandsøjleens vægt, hvilket fratrasket lufttrykket kan omregnes til en vandstand.

Loggerne blev først hjemtaget op til et halvt til et helt år efter projektets afslutning, dvs. i efteråret 2022 eller i foråret 2023, og det ses derfor at nogle vandstandskurver fortsætter ud over projektperioden. Der blev i de fleste tilfælde foretaget en slutpejling.

Databehandling af vandstandsdata

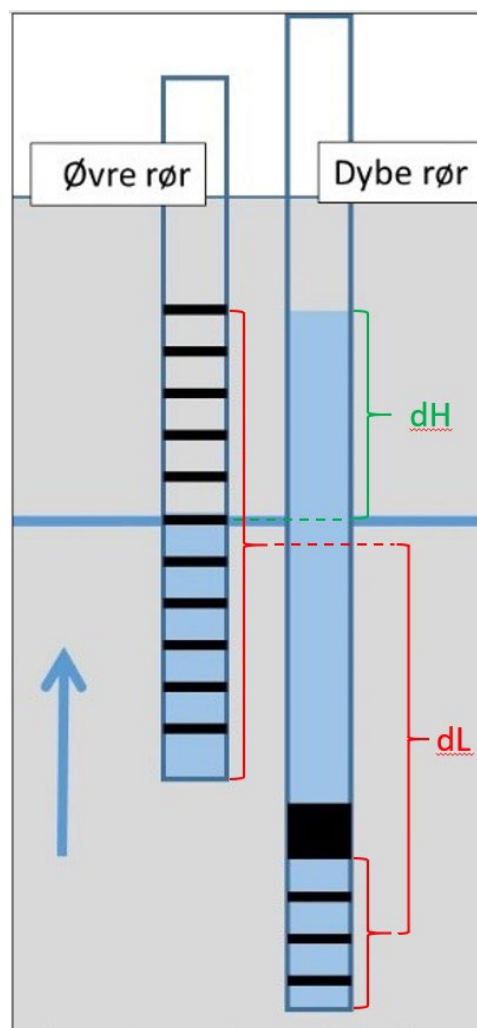
Efterfølgende har prøvetageren foretaget korrektion af trykmålinger ift. lufttrykket (barometer). De blev først korigeret ind i forhold til en midtvejspejling, hvorefter det blev tjekket om vandstandskurven driftede, hvis dette var tilfældet blev en anden pejling, der var cirka i midten af serien, brugt.

Gennemgang af de otte rigkærslokaliteter i pilotprojektet

For at give bedre mulighed for at forholde sig til resultaterne kommer her en beskrivelse af de otte rigkærslokaliteter, der indgik i projektet. Beskrivelsen har fokus på det umiddelbare indtryk, overordnede forhold som topografi, driftshistorie, habitatnaturtype og forvaltning.

Vegetationen, som er registreret ifm. projektet sammenholdes med øvrige registreringer fra det udvalgte NOVANA-prøvefelt.

Hydrologien beskrives herefter ved hjælp af vandstand i det Øvre og det Dybe rør samt manuelle pejlinger, der blev foretaget 3 gange årligt. Vandstandskurverne er kontrolleret i forhold til de manuelle pejlinger, og der er i enkelte tilfælde foretaget mindre justeringer af vandstandskurverne for at få et bedre fit til de manuelle pejlinger. Trykgradienten er beregnet som forskellen mellem vandstandene i det Dybe og det Øvre vandstandsrør (dH) divideret med højdeforskellen mellem filtrenes midtpunkter (dL). Der ses på mulige sammenhænge og forklaringer på de observerede forhold og til slut samles op på erfaringerne og anbefalinger på baggrund af disse.



Trykgradienten beregnes som dH/dL

St. 22 Kielstrup Sø (i N22/H22 i Mariagerfjord Kommune)

Prøvefelterne ligger i et meget tilgroet ekstremrigkær med en udbredt bestand af butblomstret siv. Området har længe været uden drift og er kraftigt tilgroet med pil, birk og tagrør.

Vegetation

22-A, God

Først blev "God1" lokaliseret, men GPS-punktet havnede inde i pilekrat uden veludviklet rigkærsvegetation. På trods af at punktet *ikke* kunne forkastes efter kriterierne i DCE's "Mini-vejledning til udvælgelse af områder til opsætning af vandstandsør" (Nygaard, B. 2018), blev det alligevel besluttet at forkaste det, da "God2"-punktet (ved nedlagt NOVANA-prøvefelt med Stednavn 22_103) lå i en lysning med bundvegetation domineret af trindgrenet tørvemos (*Sphagnum teres*) og butblomstret siv samt bl.a. tranebær og tormentil som indikation på meget høj naturkvalitet.

I den relativt åbne tagrørsvegetation registrerede vi den 3. juli 2019 "kun" 42 plantearter, heraf 13 mosser (10 kærmosarter, bl.a. nedløbende bryum (*Bryum pseudotriquetrum*) og kær-gyldenmos (*Helodium blandowii*)). Det var således det mest artsfattige rigkær i pilotprojektet, med færrest stjerne- og to-stjernearter. Eneste rigkærskarakteristiske starart var top-star, men der var 23 stjernearter og 3 to-stjernearter, herunder sump-hullæbe. Ift. tidligere NOVANA-registreringer er lavtvoksende og lyskrævende rigkærarter tilsyneladende skygget væk eller overvokset af tørvemos, som først er kommet på artslisten fra 2008. Ud over manglende græsning, skyldes udviklingen formentlig tidligere dræning og indvandring af trindgrenet tørvemos, der nu er dominerende i bundlaget, og som tranebær vokser på.



Det "gode" prøvefelt ved Kielstrup Sø, 22-A, ligger i en tagrørdomineret lysning med fin tørvemosdomineret rigkærsvegetation i bunden.



Det "ringe" prøvefelt ved Kielstrup Sø, 22-B, ligger i tagrørskov og pilekrat.

22-B, Ringe

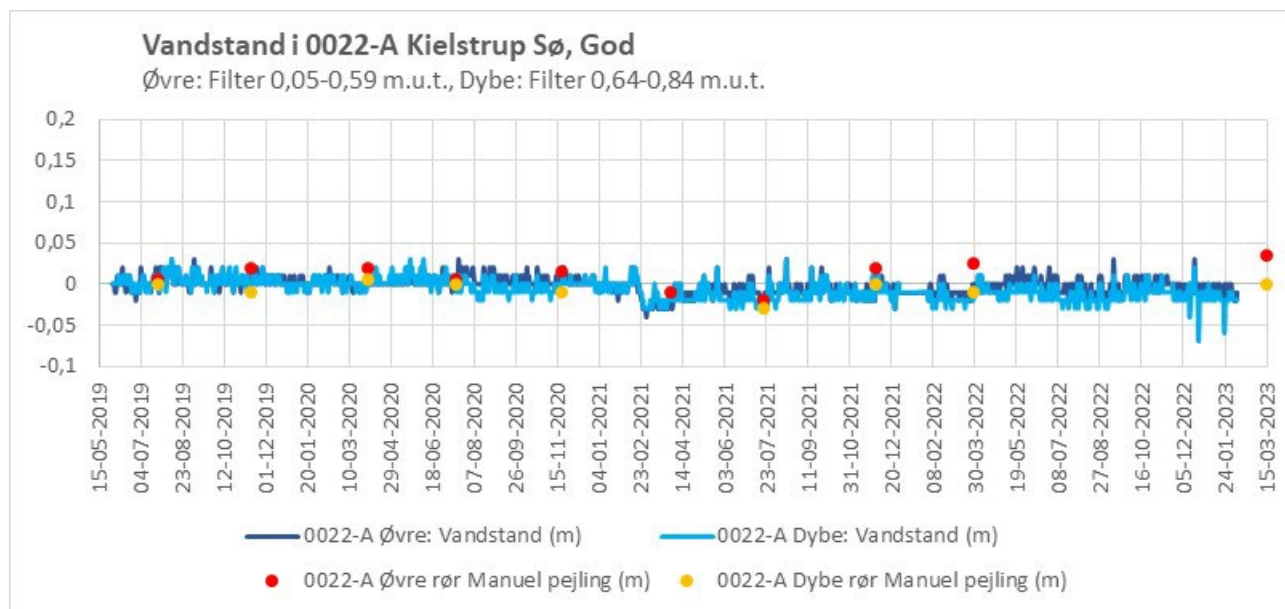
Det ringe prøvefelt (ved nedlagt NOVANA-prøvefelt med Stednavn 22_30) ligger i tæt tagrørskov i et område halvvejs tilgroet med pil. I bunden er der bl.a. butblomstret siv.

Vi fandt 42 plantearter den 3. juli 2019, dvs. samme antal som i det Gode prøvefelt, men området fremstod tydeligt ringere. Dels var der færre mosser og kærmosarter (hhv. 10 og 6 inkl. trindgrenet tørvemos), top- og almindelig star var de eneste rigkærskaraktistiske stararter, og der var 26 stjernearter, men ingen to-stjernearter. Jf. NOVANA-data fra for 20 år siden var der tilsyneladende stadig relativt lysåbent på dette sted, og prøvefeltet rummede bl.a. fladtrykt kogleaks, sump-hullæbe, hjertegræs, hirse-star og blågrøn star samt glinsende kærmos (*Tomenthypnum nitens*). Under hensyntagen til GPS-usikkerheden, tyder det på at de lavtvoksende og lyskrævende arter er blevet udskygget som følge af tilgroning, og vegetationen er ikke præget af eutrofiering.

Vandstandsmålinger

22-A, God

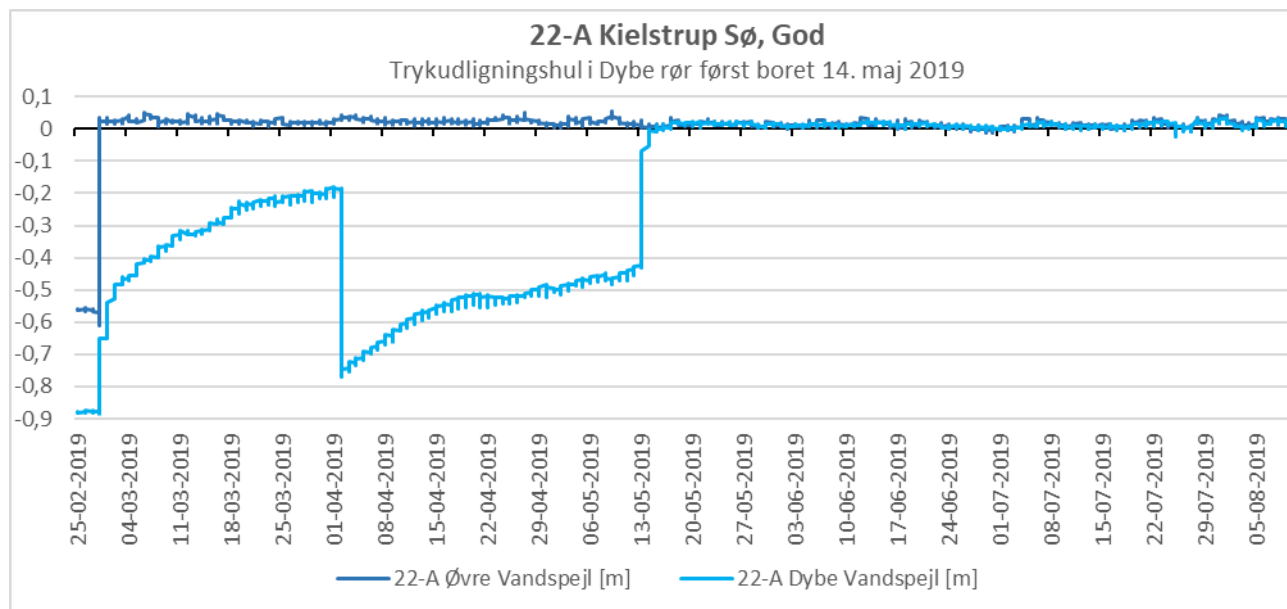
Det ses at vandstanden ved det Gode prøvefelt i begge rør ligger meget tæt på terræn, den svinger kun med 1-2 cm over og under terræn i stort set hele perioden fra 1. juni 2019 til 1. februar 2023, med enkelte udsving til 3-4 cm. Kurverne for vandstand beregnet ud fra tryk ligger på niveau med de manuelle pejlinger, som blev foretaget 3 gange om året i projektperioden. De manuelle pejlinger indikerer nedadrettet vandbevægelse ved stort set alle besøg, men det bemærkes, at der også er usikkerhed på manuelle pejlinger. Det vurderes at målingerne ligger inden for usikkerheden, og det kan ikke konkluderes, om der er op- eller nedadrettet vandbevægelse.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

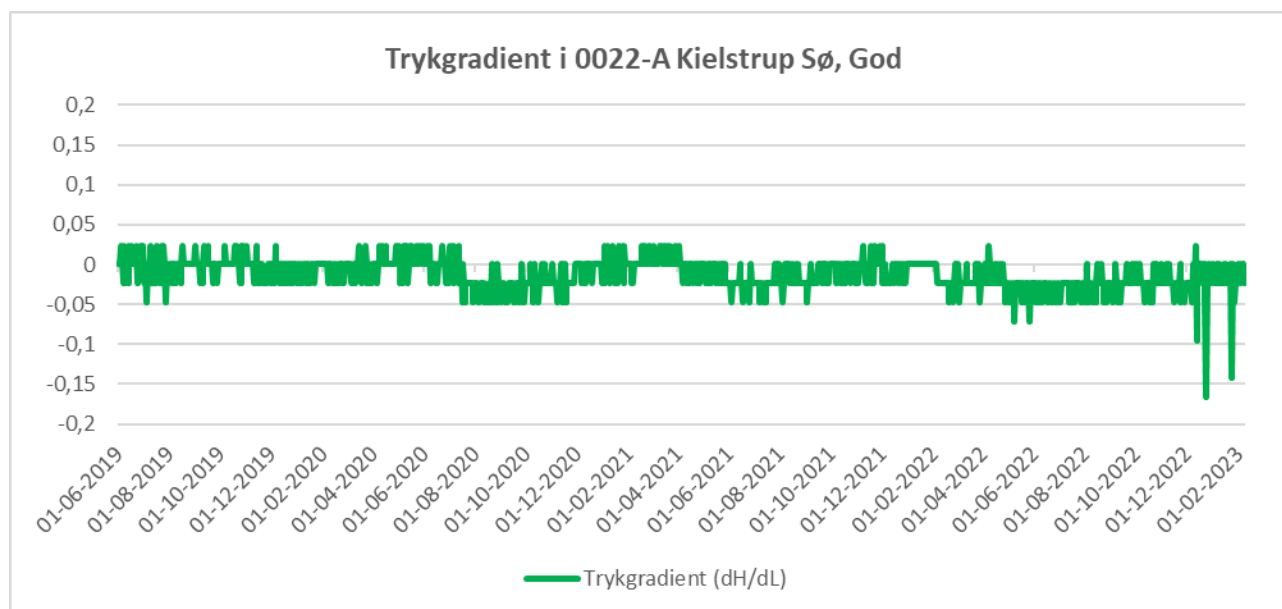
Det bemærkes, at tidsserien først starter 1. juni 2019, da der ved en fejl ikke blev boret et ventilationshul i det Dybe rør i forbindelse med opsætningen, dette blev først boret 14. maj 2019. Til gengæld er tidsserien længere end projektet, da loggerne først blev hentet hjem året efter at projektet stoppede i foråret 2022. Mod slutningen ses større udsving, hvilket kan tyde på at én af loggerne er ved at blive ustabil.

På diagrammet nedenfor ses hvordan det manglende ventilationshul påvirkede vandstandskurven, idet det er tydeligt, at det høje tryk i røret forhindrer vandstanden i at stige til terræn efter tømning af rør den 28. februar og den 2. april 2019. Jo varmere det er, jo større tryk i røret, derfor stiger vandet ikke så højt i maj som i april.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Trykgradienten beregnet på baggrund af de målte vandstande er tæt på neutral, dog med tendens til en svag nedadrettet vandbevægelse i det meste af projektperioden. Det vurderes dog at ligge inden for usikkerheden.



Hvad kan forklaringen være på, at vi ikke ser en opadgående vandbevægelse med trykvand, når der er en så karakteristisk rigkærsvegetation med arter som indikerer ekstremrigkær (butblomstret siv og sump-hullæbe) samt 10 kærmosarter, herunder arter, der normalt indikerer vældpåvirkning, nedløbende bryum og kærgyldenmos? Der kan forventes trykvand i området, da det ligger 50 m fra stejle skrænter mod syd, og inden for 500 m stiger terrænet fra havniveau til over 50 m.o.h.

En forklaring kan være, at grundvandsudstrømningen er meget heterogen, den kan fx være punktvis, og vi kan med den tilfældige placering af røret være ramt forbi de steder, hvor grundvandet strømmer ud og fordeler sig i sand og porøs tørv. Hvis dette er tilfældet, viser det, hvor afgørende placeringen er, hvis man skal påvise trykvand, og at kun ét rør medfører en stor usikkerhed på, om man rammer det rigtige sted.

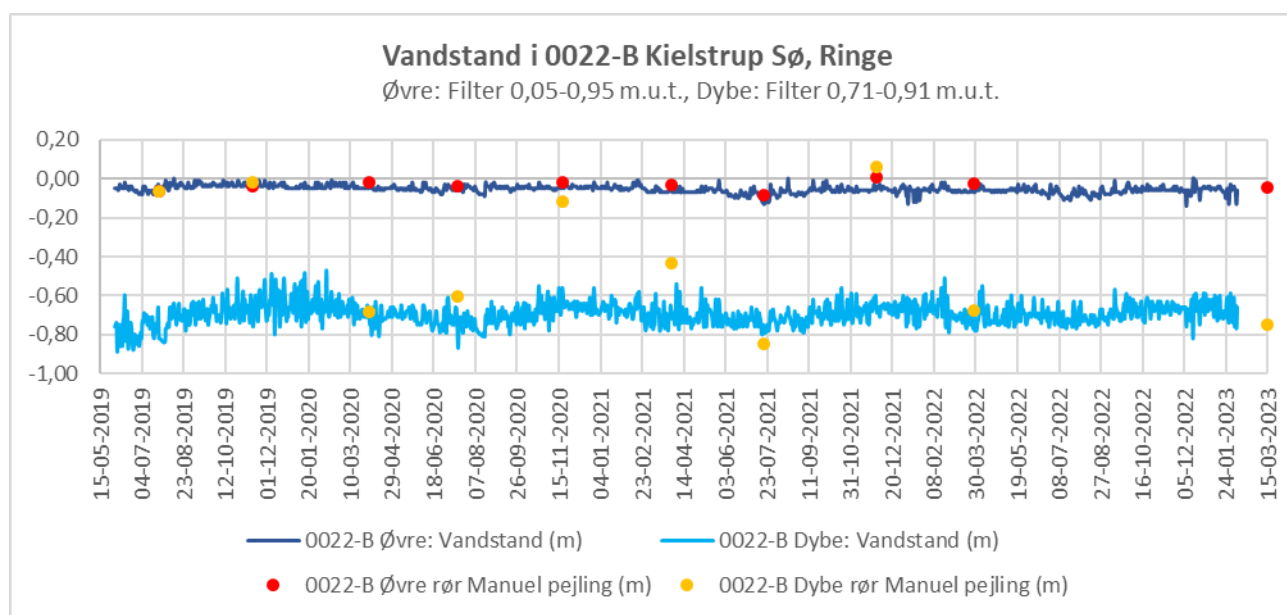
Det Dybe rør ved Kielstrup Sø, God blev sat med filter i sand i 64-84 cm dybde, lige under et kun 0,5 m tykt tørvelag. Det Øvre rørs filter går fra 5-59 cm dybde og gennembryder således tørven og når ned i sandlaget. Ved opsætningen i oktober 2019 blev vandspejlet angivet til at ligge 15 cm under terræn, men ved alle prøvetagninger er der pejlet vand tæt på terræn i begge rør. Når den målte vandstand er i terræn +/- et par cm i begge rør kunne det tyde på, at der er tryk på vandet under tørvelaget, men at dette tryk påvirker både det Dybe og det Øvre rør, fordi de begge når ned i det underliggende sandlag.

Da det øvre og dybe filter sidder dybdemæssigt for tæt på hinanden under de givne hydrogeologiske forhold, anbefales det, at det dybe rør en anden gang filtersættes dybere i sandlaget under forudsætning af, at sandlaget har en vis tykkelse (2-3m dybde). Med stejle skrænter i det tilstødende område til Kielstrup Sø er det mest sandsynligt at der forekommer en målbar vertikal hydraulisk gradient mellem det dybe og øvre rør. Et pejlerør etableres med håndboring ved brug af et forerør så filteret kan få en tilstrækkelig dybde. Det vurderes således at det øvre og dybe rør sidder for tæt på hinanden på denne lokalitet til at kunne måle den forventede opadrettede gradient.

22-B, Ringe

I Kielstrup Sø, Ringe ses det, at vandstanden i det Øvre rør er stabil og ca. 5 cm under terræn, kortvarigt faldende til 15 cm under terræn, gennem hele projektperioden. Der er desuden observeret vand i terræn omkring røret ved næsten alle feltbesøg. Dette må antages at være tegn på trykvandspåvirkning, da der ikke ses perioder med faldende vandstand pga. sommerudtørring.

Vi kan imidlertid ikke påvise en opadrettet vandbevægelse, da der har været en funktionsfejl i det Dybe rør. Funktionsfejlen kan eventuelt forklares ved tilklogning af filteret af finkornet materiale. Det Dybe vandstandsør sat med filter i 0,71-0,91 cm dybde, i bunden af et vandførende sandlag fra ca. fra 0,5 – 1 m under jordoverfladen, der nedefter afgrænses af gytje.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

De manuelle kontrolpejlinger (orange punkter) viser, at vandstanden ikke konstant var langt under terræn, som kurven viser, men da vandstanden 6 gange blev pejlet til langt under terræn, tyder det på, at der har været noget galt med filtrets funktionalitet. Kurven ovenfor er kalibreret ind efter én af de pejlinger, der ligger lavest, hvilket tydeligvis er fejlagtigt, men med så stor variation på de manuelle pejlinger er det ikke muligt at afgøre, hvilke pejlinger, der er mest retvisende, og som kurven burde have været kalibreret ind efter.

En mulig forklaring kan være, at de dybe rør ved Kielstrup Sø blev brugt til vandprøvetagning og derfor blev renpumpet tre gange årligt. Da røret ved det Ringe prøvefelt er sat i overfladen af gytjelaget, er det muligt, at finkornet materiale er blevet "trukket" ind, så slidserne er stoppet til. Dette forklarer dog ikke hvorfor der ind imellem måles vand i – eller ligefrem over – terræn.

I forbindelse med vandprøvetagningen er det to gange noteret, at der efter renpumpning ikke kom nok vand i røret til en prøve, men ved senere prøvetagninger var der vand nok efter 1-3 timer, dog enkelte gange op til 4 dage fra renpumpning af røret. Det tyder alt i alt på at røret har været dysfunktionelt.

Konklusionen må være, at denne vandstandskurve er fejlagtig, og trykpotentialet derfor ikke kan beregnes for dette prøvefelt.

St. 58 Ulvholm i Kastbjerg Ådal (i N223/H223 i Randers Kommune)

På lokaliteten ved Ulvholm ligger de to prøvefelter 137 m fra hinanden. De har ingen vegetationsmæssig eller hydrologisk sammenhæng med hinanden. Området er meget heterogent og rummer både gamle tørvegrave, hvor der har udviklet sig vældpræget hængesæk (7140x7220), drænet og artsfattig mosebunkeeng og områder påvirket af hydrologitiltag som følge af et 'Miljømilliardprojekt' gennemført i perioden 2007-2017. Der blev som led i dette projekt også igangsat sommergræsning med kreaturer, efter at området lå ugræsset i en længere årrække. De hydrologiske tiltag omfatter bl.a. fritlægning (før 2017) af det rørlagte afløb fra Ulvholm-kilden ved foden af Dyrby Krat til en åben bæk (i samme dybde som rørlægningen). Det kan ikke udelukkes, at dele af rigkæret er blevet vådere og evt. påvirket af overfladevand som følge af projektet, men der er sandsynligvis også sket sammenfald af gamle drænsystemer, som ikke er blevet vedligeholdt.



Det "gode" prøvefelt ved Ulvholm ligger i en tidligere tørvegrav med vældpræget hængesæk. Øverst vinter 2018-19, nederst juli 2019



Det "ringe" prøvefelt ved Ulvholm ligger i et meget vådt område, som blev meget oprådt ifm. opsætning af vandstandsør og hegn. Øverst vinter 2018-19, nederst juli 2019.

Vegetation

0058-A, God

Det gode prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 0058_42) ligger i en lille (<700 m²) tidligere tørvegrav kun 40 m fra den dybt nedgravede Kastbjerg Å. Vegetationen er artsrig og gyngende og kan betegnes som vældpræget hængesæk (7140x7220) med bl.a. loppe-star og vibefedt. Det blev ved placering af prøvefeltet aftalt, at GEUS ved opsætning nøjes med at færdes på den ene side, hvor vegetationen var mindre artsrig og domineret af spids spydmos (*Calliergonella cuspidata*). Færdsel på tuerne skulle undgås.

Ved inventeringen den 3. juli 2019 blev der registreret 67 plantearter, heraf 10 mosser (6 kærmosarter). Der var 7 rigkærskaraktistiske stararter, herunder loppe-star, som vokser på toppen af enkelte tuer, og antallet af stjernearter var 44 og to-stjernearter 4. Dette er på niveau med de data der lå til grund for udpegningen,

og ved senere inventering af dette prøvefelt i NOVANA-regi er der fundet både vibefedt, tvebo star og krogneb-star. GPS-usikkerhed ifm. afsætningen førte til en 3,5 m forskydning mod SV, så 0058-A ligger tættere på tørvegravens kant, hvilket kan forklare, at nogle af de sparsomt tilstedeværende små arter ikke er med i 5 m-cirklen.

0058-B, Ringe

Det ringe prøvefelt (ved nedlagt NOVANA-prøvefelt med Stednavn 0058_38) ligger i et tagrørsdomineret kærømråde, der vurderes at være blevet vådere efter gennemførsel af et hydrologiprojekt (før 2017) og/eller sammenfald af dræn. Det er meget vådt med bl.a. liden andemad og bredbladet dunhammer og efter optrædning bestod jordbunden af sort dynd. Der ses en svag, men tydelig vandbevægelse hen over prøvefeltet. Vandkarse og sideskærm kunne indikere vældpåvirkning, mens megen lådden dueurt viser, at det er eutrofieret.

Ved inventeringen den 3. juli 2019 blev der registreret 32 plantearter, heraf 4 mosser (3 kærmosarter). Der var kun 2 rigkærskaraktistiske stararter (almindelig og næb-star), og antallet af stjernearter var 16 (ingen to-stjernearter). Kvaliteten af det Ringe prøvefelt var således tydeligt lavere end det Gode prøvefelt. Dette er på niveau med tidligere resultater fra NOVANA fra 2004-2009.

Vandstandsmålinger

Stationen har tidligere rummet en NOVANA-vandstandsstation, og to gamle vandstandsør stod fortsat på lokaliteten ved projektstart, tæt på det ringe prøvefelt. De omtales her, da det er af interesse hvordan vandstandsør klarer sig på længere sigt. De er begge opsat i beton-drænrør som beskyttelse mod græssende dyr. Stationen er siden nedlagt og fjernet.



Det "tørre" NOVANA-vandstandsprøvefelt ved Ulvholm Slot er sat i en landbrugsør af beton. Røret er hårdt medtaget – ved ankomst lå T6-proppen ved siden af røret og røret er flækket på langs. Om det er frostsprængning eller hærværk er uvist, men man kunne få mistanke om at røret er banket længere ned i jorden.



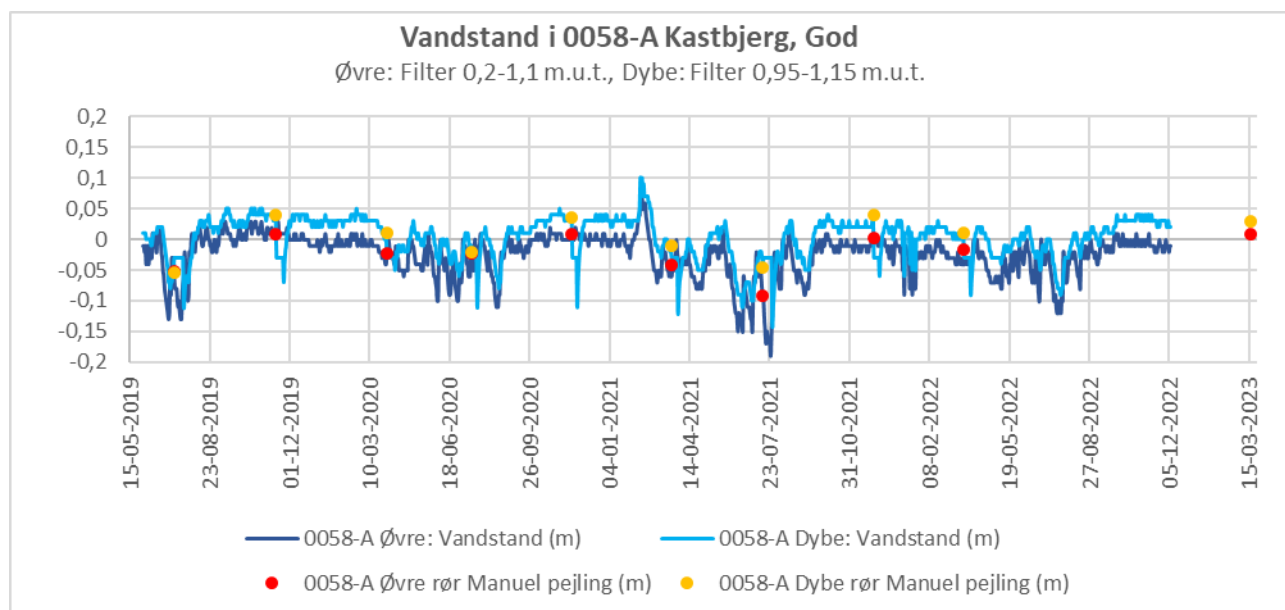
Det "våde" NOVANA-vandstandsprøvefelt ved Ulvholm Slot er meget vådt, inde i betonrøret står der blank vand med liden andemad og sideskærm. Betonrøret er med tiden sunket, så vandstandsørret nu rager et stykke op over kanten.

0058-A, God

Ved det gode prøvefelt i Kastbjerg Ådal er vandstanden i det Øvre rør i terræn eller lidt under det meste af tiden. Dette er dog afbrudt af tørkeperioder i hele juli måned 2019, sommermånederne i 2020, både forår og sommer 2021 samt flere kortere perioder i 2022. På intet tidspunkt synker vandspejlet dog ned under 20 cm under terræn, selvom det er tæt på 25/7-21.

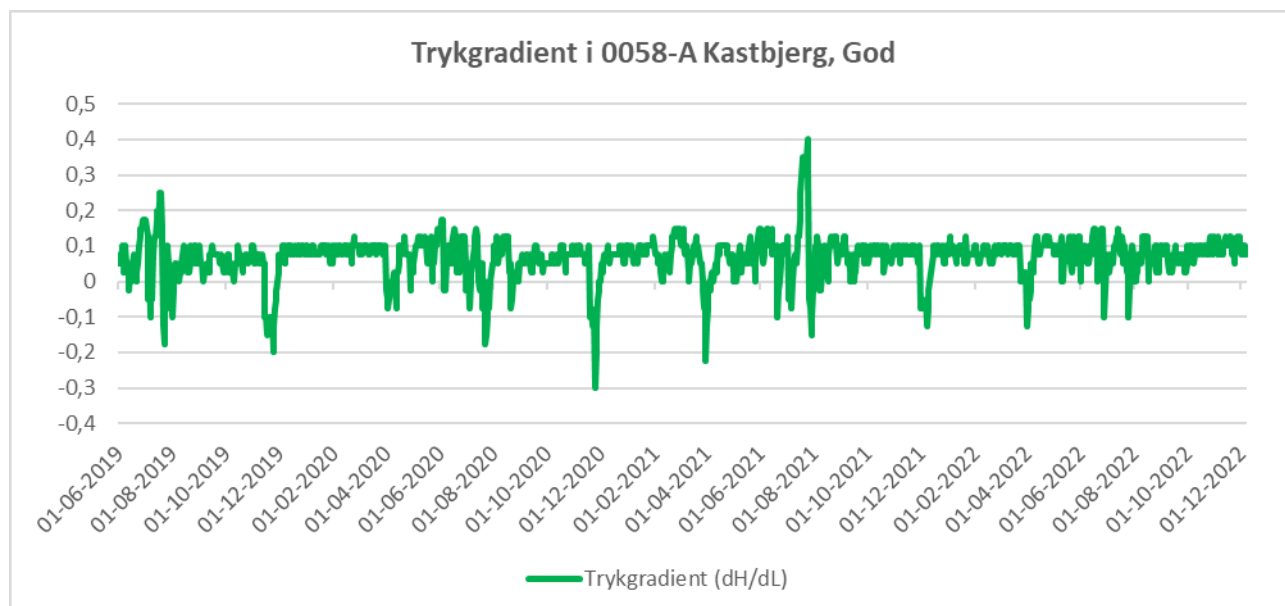
Vandstanden i det Dybe rør har næsten konstant stået gennemsnitligt ca. 3 cm højere end vandstanden i det Øvre rør, hvilket indikerer en tydelig opadgående vandbevægelse i stort set hele perioden.

At vandstandskurven i det Dybe vandstandsrør regelmæssigt dykker, skyldes at de dybe vandstandsrør i Kastbjerg Ådal blev renpumpet og anvendt til vandprøvetagning tre gange årligt. Dette ses at forårsage mindre forstyrrelser i vandstandsmålingen, da det tager en uges tid før vandstanden er i balance igen.



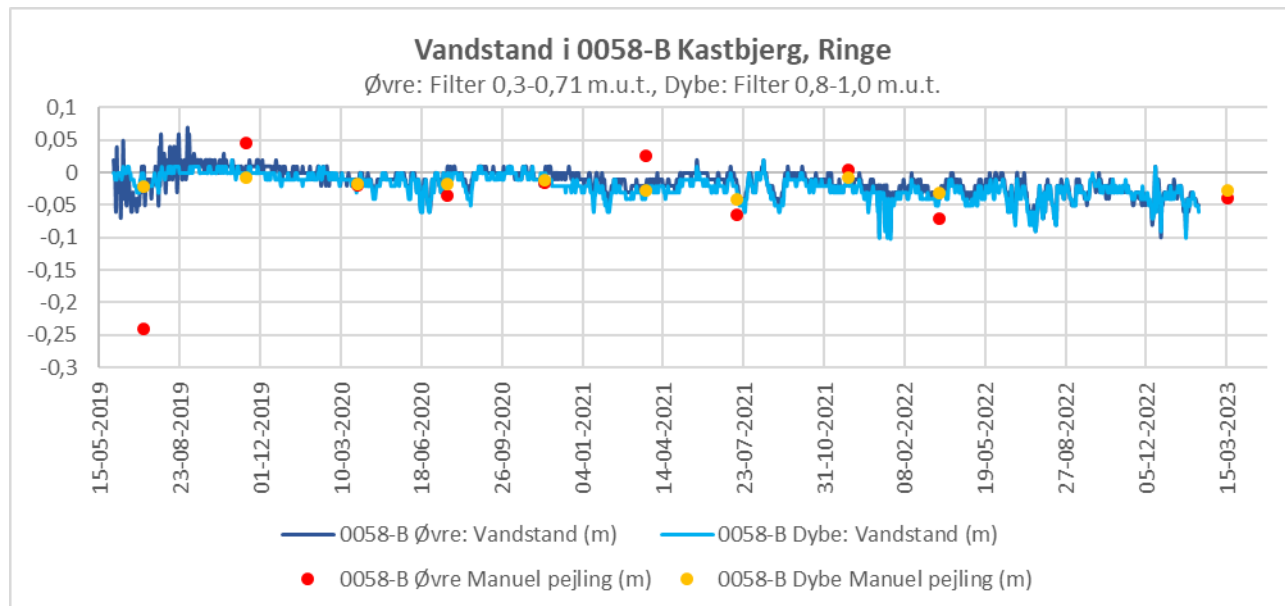
Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Den beregnede trykgradient er positiv, og ligger mellem 0 og 0,1 i det meste af projektperioden, bortset fra at den som nævnt ovenfor er forstyrret af renpumpning i forbindelse med vandprøvetagning. I forbindelse med en tørkeperiode i slut-juli 2021 ses en top med en trykgradient på 0,4. Dette indikerer, at det er trykvand, der kompenserer for fordampningstab og sikrer, at vandstanden ikke falder mere end den gør, hvilket er forudsætningen for at rigkærsarterne, der ikke tåler udtørring, kan overleve.



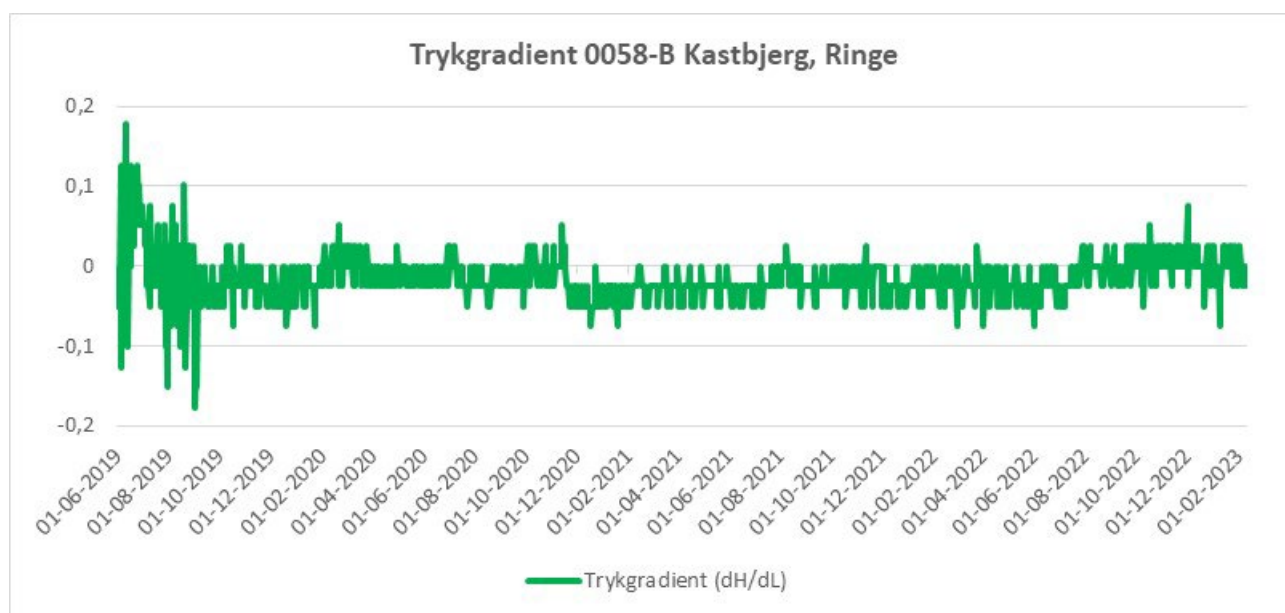
0058-B, Ringe

Ved det ringe prøvefelt i Kastbjerg Ådal ses det, at der i det Øvre rør er vand i terræn eller lidt under terræn gennem hele projektperioden, selv i tørkeperioder. Dette stemmer overens med de manuelle pejlinger og feltobservationer, hvor der er observeret vand i terræn ved hvert besøg (3 gange/år), enkelt gange endog lidt over terræn.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Vandstanden i det Dybe rør og det Øvre rør ligger meget tæt på hinanden, og den beregnede nærmest neutrale trykgradient (inden for usikkerheden) indikerer således, at der hverken er op- eller nedadgående vandbevægelse ved det Ringe prøvefelt. Det kan dog ikke udelukkes at der ville være en målbar vertikal gradient under rigkæret i ringe tilstand, hvis det dybe rør var etableret ca. 1 m dybere i bunden af sandlaget nær den underliggende smeltevandsler.



Dette ville forklare den konstant høje vandstand ved prøvefeltet, og at vandstanden i det Øvre rør ikke falder i tørkeperioder. Dette kan evt. også skyldes, at der sker en konstant horisontal tilførsel af grundvand, som

udligner fordampningen. I nærværende pilotprojekt har fokus været på at dokumentere de vertikale vandbevægelser (vertikale gradienter) under rigkærene. Tidligere undersøgelser har vist, at det har stor værdi at bestemme de generelle hydrogeologiske forhold i rigkæret (herunder de horisontale vandbevægelser). Det vil dog kræve en større feltundersøgelse for hver NOVANA-overvågningsstation i pilotprojektet, hvis de horisontale vandbevægelser også skal bestemmes (fx Nilsson et al 2014; Nilsson med flere 2015; Johansen et al 2018).



Det ringe prøvefelt ses på ortofoto fra 1954 at ligge midt imellem to øst-vestgående grøfter, med 5 m til hver grøft, i et område der er drænet systematisk med tætliggende grøfter. Det er derfor rimeligt at antage, at området har været påvirket af relativt kraftigt trykvand, da systemdræning som dette typisk har haft til formål at afvande særligt 'vandlidende' områder med rigeligt udtrængende grundvand. Desuden sandsynliggør topografien trykvand, da prøvefeltet kun ligger 70 m fra ådalsskrænten mod syd, hvor terrænet inden for 500 m stiger fra 13,5 til over 60 m.o.h.

Ved dræningen må der antages at være sket betydelige sætninger, hvor terrænet dels bliver lavere, dels sker der en frigivelse af næringsstoffer fra den omsatte tørv (såkaldt 'intern eutrofiering'), og tørv ændrer karakter fra en porøs kærtørv til en kompakt og finkornet tørv med ringe vandledningsevne, som effektivt kan hindre eller hæmme en opadgående vandbevægelse. Ved senere genopretning af hydrologien og/eller sammenfald af drænsystemet må det antages, at grundvandet strømmer ud via de tidligere dræn/grøfter, da vandet altid strømmer den vej, hvor der er lavest mulig modstand. Herfra bevæger grundvandet sig på overfladen hen over det mellemliggende område, hvor det ringe prøvefelt ligger, og resulterer i en konstant horisontal vandbevægelse. Dette har vi ikke målt på, men det ville kunne forklare, at vandstanden i de Øvre rør er konstant på trods af, at der ikke ses en opadgående vandbevægelse i selve prøvefeltet.

Vegetationens sammensætning viser dog, at selvom der sandsynligvis sker en konstant tilførsel af grundvand, er området så eutrofieret (hvilket både kan skyldes den interne eutrofiering og at grundvandet er

nitratbelastet), at betingelserne for at der udvikles veludviklet rigkærsvegetation ikke er til stede (jf Ejrnæs og Nyegaard 2024).

St. 1130 Villestrup Å (ved Store Blåkilde) (i N222/H222 i Mariagerfjord Kommune)

Området er afgræsset rigkær, tilsyneladende med meget lang græsningskontinuitet. Ved begge prøvefelter er der en stabil "græs"-tørv. Tydelige niveauforskelle i terrænet indikerer, at der har været gravet tørv i området i form af en overfladisk tørvegravning, og det gode prøvefelt ligger midt i en tørvegrav på de Høje Målebordsblade, mens det ringe prøvefelt ligger på kanten af et tørvegravningsområde på 1954-ortofoto, 42 m fra det gode. Dette illustrerer det forhold, at i ådale, hvor vandbevægelsen har været opadgående engang, har kulturpåvirkning i form af dræning og tørvegravning medført, at veludviklet rigkærsvegetation nu ligger i lavninger (tørvegrave), mens sætninger har ført til udvikling af et vandstandsende lag de steder hvor der er drænet og ikke gravet tørv (noget der også gør sig gældende ved det gode prøvefelt i Kastbjerg Ådal, jf. ovenfor).



Det "gode" prøvefelt ved Villestrup Å ligger på en forhøjning med lavereliggende knoldkær rundt om. Vinter 2018-19.



Det "ringe" prøvefelt ved Villestrup Å ligger ved overgang til fersk eng. Vinter 2018-19. På nederste foto ses det gode prøvefelt i baggrunden.

1130-A, God

Ved lokalisering af det gode prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 1130_01) ved Villestrup Å oplevede vi relativt stor ustabilitet på GPS-positionen i forbindelse med afsætningen. Det endte med at blive afsat i let forhøjet terræn på nordsiden af et "afløb" med stående/svagt strømmende vand mod Villestrup Å. På begge sider findes en meget artsrig rigkærsvegetation med hjertegræs, lave arter af star, fedtet tørvemos (*Sphagnum subnitens*) og talrige, men nedgræssede engblommer.

Under vores feltarbejde den 8. juli 2019 fandt vi 84 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 15 mosser (8 kærmosarter og 3 tørvemosarter) og 6 rigkærskaraktistiske stararter. Det er således det mest artsrige prøvefelt, der indgik i hydrologiprojektet, og også det felt der rummede flest stjernearter (50) og to-stjernearter (10). De højereliggende dele af 5 m-cirklen rummede en 6410-agtig vegetation med arter som trenervet snerre,

hjertergræs, dunet havre, engblomme, lancetbladet høgeurt, djævelsbid, blåtop og mangeblomstret frytle og hirse-star, men alle disse arter forekommer også i rigkær, og i de lavereliggende dele var der "sumparter" som grøn eremitmos (*Cratoneuron filicinum*), vibefedt, nedløbende bryum, eng-troldurt, krogneb-, stjerne-, top- og langakset star, dynd- og kær-padderok samt udspærret tørvemos.

Der har i NOVANA tidligere været registreret over 100 plantearter tilsammen i 2009, 2011 og 2014, så under hensyntagen til GPS-usikkerheden er det på niveau med tidligere og senere registreringer.

1130-B, Ringe

Det ringe prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 1130_09) ligger ved kanten af en tidligere tørvegrav, og tæt på går terrænet en halv meter op og bliver til fersk eng domineret af mosebunke og lysesiv. Prøvefeltet er med megen lysesiv, men også arter af star. På grund af GPS-usikkerhed ligger det godt 5 m fra det oprindelige NOVANA-prøvefelt, som ligger til grund for udvælgelsen.

Den 8. juli 2019 fandt vi 38 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 4 mosser (kun én kærmossart) og kun 2 karakteristiske rigkærarter (almindelig og hare-star, som ikke i sig selv kan bruges som indikator for rigkær i Danmark). Selvom der er forekomst af sumparter som dynd-padderok og spids spydmoss, lever vegetationen mere op til kriterierne for tidvis våd eng (6410) end rigkær, med karakteristiske arter som tormentil, eng-viol, sump-snerre, sump-kællingetand og mangeblomstret frytle. Der var 17 stjerne- og én to-stjerneart. Kvaliteten af dette prøvefelt var tydeligt ringere end det Gode prøvefelt.

I NOVANA er der nogle år fundet små stararter som hirse-, stjerne- og næb-star, men dette kan skyldes GPS-usikkerhed.

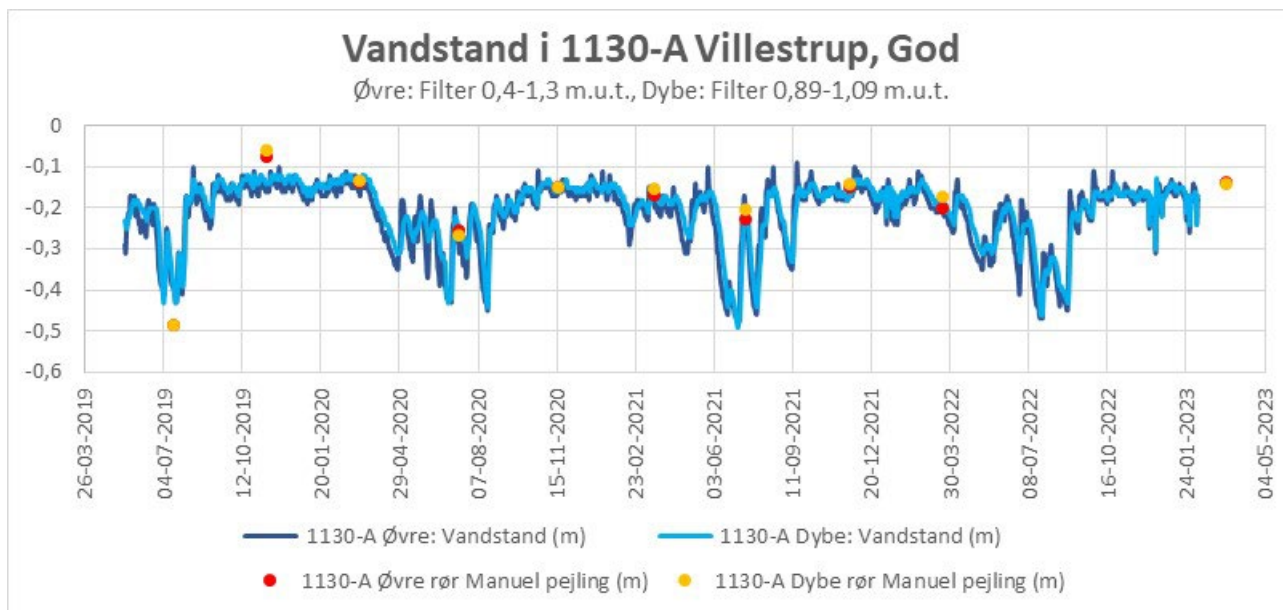
Vandstandsmålinger

1130-A, God

Ved det Gode prøvefelt ved Villestrup Å ses det gennem hele projektperioden, at vandstanden i både det Øvre og det Dybe vandstandsrør er mere end 10 cm under terræn, og hver sommer falder den til under 40 cm u.t., hvilket betyder forringede vækstbetingelser for de mere følsomme kærmosser, som er afhængige af konstant vandmættede forhold.

Det observerede kan forklares med, at prøvefeltet lå på en forhøjning i terrænet jf. ovenfor, og da store dele af 5 m-cirklen ligger lavere i terrænet, vil der her være tale om vand i eller over terræn.

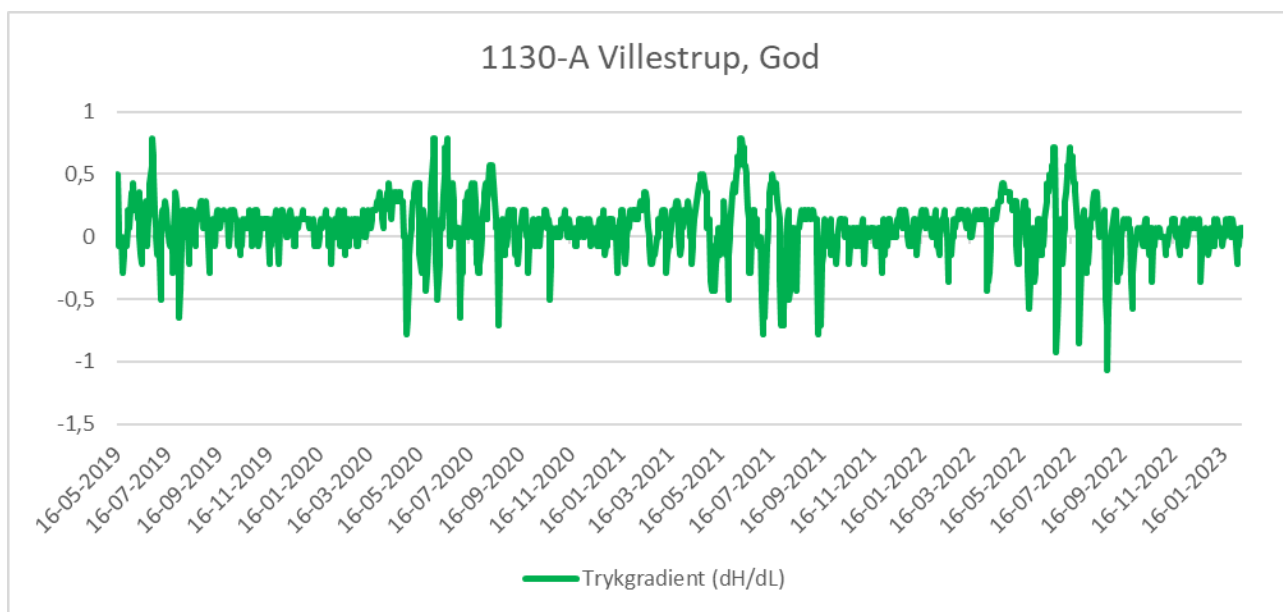
De beregnede vandstandskurver stemmer overvejende godt overens med de manuelle pejlinger, dog med enkelte afvigelser på op til 10 cm i starten af projektet.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Vandstanden i det Dybe vandstandsør står generelt lidt højere end i det Øvre rør og den beregnede trykgradient er svagt positiv i det meste af projektperioden. Forskellen er dog så lille, at det ligger inden for usikkerheden. Det bemærkes at det Øvre rør er filtersat i 0,4-1,3 m dybde, hvilket betyder at det Øvre rør ikke måler vandstand i overfladen, men trykvand i 40 cm dybde. Det er derfor muligt at der er en større trykgradient / vandflux, end nedenstående graf indikerer.

Da Villestrup Ådalen er rimelig bred med en lille topografi og uden stejle skrænter, kan der ikke forventes de helt store gradienter ved rigkærene. Men hvis de hydrologiske forhold viser selv små gradienter i et meget vandledende sandlag og porøs tørv, kan dette give anledning til en (stor) stabil vandflux, der er karakteristisk for rigkærene.

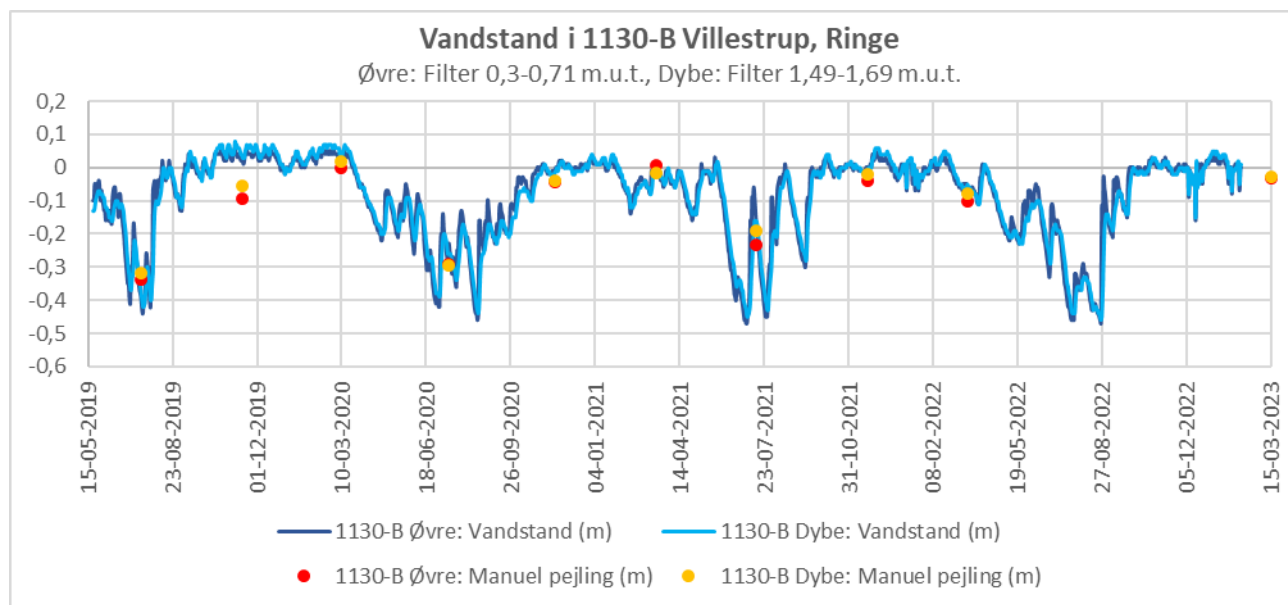


Men det faktum at vandstanden i det Øvre rør selv i længerevarende tørkeperioder aldrig falder mere en op til 5 cm under terræn, vidner om, at der må være en konstant påvirkning af trykvand, som kan udligne

fordampningen og sikre en terrænnær vandstand. Da grundvandet altid strømmer ad den vej, hvor der er lavest modstand, må det antages at der er en kraftigere udstrømning (større positiv trykgradient) i de lavereliggende dele af 5 m-cirklen, og at placeringen på en forhøjning med antageligvis mere omsat og dermed mere impermeabel tørv har haft indflydelse på resultatet.

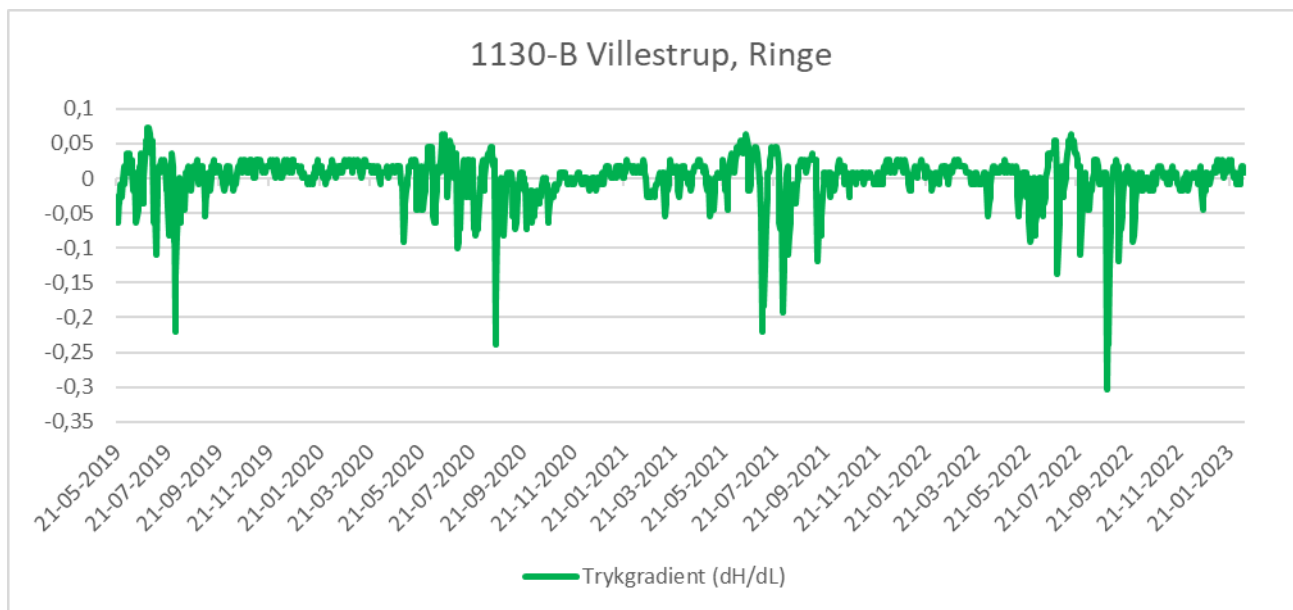
1130-B, Ringe

I det ringe prøvefelt ved Villestrup Å svinger vandstanden ret kraftigt i både det Øvre og det Dybe vandstandsrør, og i tørkeperioder er den næsten 0,5 m under terræn. At kurven for det Øvre rør viser vand over terræn afspejler ikke forholdene ved jordoverfladen, men kan snarere være udtryk for, at det Øvre rør måler trykvand i 30 cm dybde, da filteret er sat fra 30 cm til 71 cm under terræn. De manuelle pejlinger viser at vandstanden er fra 1 cm over til 34 cm under terræn, så der kan også være en mindre fejl ift. kalibrering af resultaterne.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Der er i øvrigt en rimelig god overensstemmelse mellem de beregnede vandstandskurver og de manuelle pejlinger, dog med en enkelt afvigelse på op til 10-11 cm den 13/11-2019. Den beregnede trykgradient er svagt positiv, men meget svingende, og inden for usikkerheden er den gennemsnitligt tæt på neutral.



Vandstand i terræn om vinteren og vand 40-50 cm under terræn i tørre perioder om sommeren er hvad man vil forvente af tidvis våd eng (6410) og stemmer således overens med den observerede vegetation, jf. ovenfor.

St. 1218 Hærup Sø (i N30/H30 i Viborg Kommune)

Der er tale om et mosrigt rigkær med vand i terrænen ved den sydøstlige bred af Hærup Sø, som er et stort uforstyrret og fredet søområde omgivet af kær og mose. Lokaliteten er under fremskreden tilgroning med tagrør og begyndende tilgroning med vedplanter som gråpil, birk, sitka (spredning fra læhegn af sitka langs den sydøstlige kant).



Relativt åben tagrørsbevoksning i rigkæret sydøst for Hærup Sø, 2019.

1218-A, God

Ved udvælgelsen den 1. oktober var der ved det "gode" prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 1218_20) et fint tæppe af kærmosser som nedløbende bryum (*Bryum pseudotriquetrum*), grøn eremitmos (*Cratoneuron filicinum*) m.fl. Vegetationen har ringe bæreevne, hvilket formentlig både skyldes de meget fugtige forhold, og at der på grund af langvarigt græsningsophør ikke er udviklet en stabil tørv. Vegetationen blev derfor trådt op og nedtrampet min. 1-2 meter omkringvandstandsørerne i forbindelse med opsætning af vandstandsørerne.

Vegetationen blev inventeret 2. juli 2019, og der blev registreret i alt 55 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 11 mosser (7 kærmosarter, bl.a. tyk nerveløs (*Aneura pinguis*), nedløbende bryum (*Bryum pseudotriquetrum*), alm. guldstjernemos (*Campylium stellatum*), grøn eremitmos (*Cratoneuron filicinum*) og kær-kortkapsel (*Brachythecium mildeanum*)), 2 stararter karakteristiske for rigkær (almindelig og top-star) samt butblomstret siv, der indikerer rigkær. Dette er på niveau med tidligere (52 plantearter i 2014) og senere registreringer. Antallet af stjerne- og to-stjernearter var hhv. 31 og 4, hvilket er relativt højt, især i betragtning af at området er tilgroet i tagrør, men der er tale om en relativt åben tagrørsvegetation, der giver mulighed for en vis lysgennemstrømning til bunden. Rødblisterarten fåblomstret kogleaks var til stede i 5 m cirklen, men leverurt, knude-firling og eng-troldurt blev ikke genfundet. Dette kan dog skyldes GPS-usikkerhed, hvor der kan være op til 5-7 m usikkerhed på placeringen, og i 2023 blev både leverurt og engtroldurt genfundet i forbindelse med NOVANA-overvågningen.



Øverst optrådt og nedtrampet vegetation omkring det "gode" prøvefelt ved Hærup Sø, 1218-A, nederst vegetationsanalyser i juli 2019



Det "ringe" prøvefelt ved Hærup Sø, 1218-B, efter opsætning af vandstandsør i okt. 2018 og hegn i feb. 2019.

1218-B, Ringe

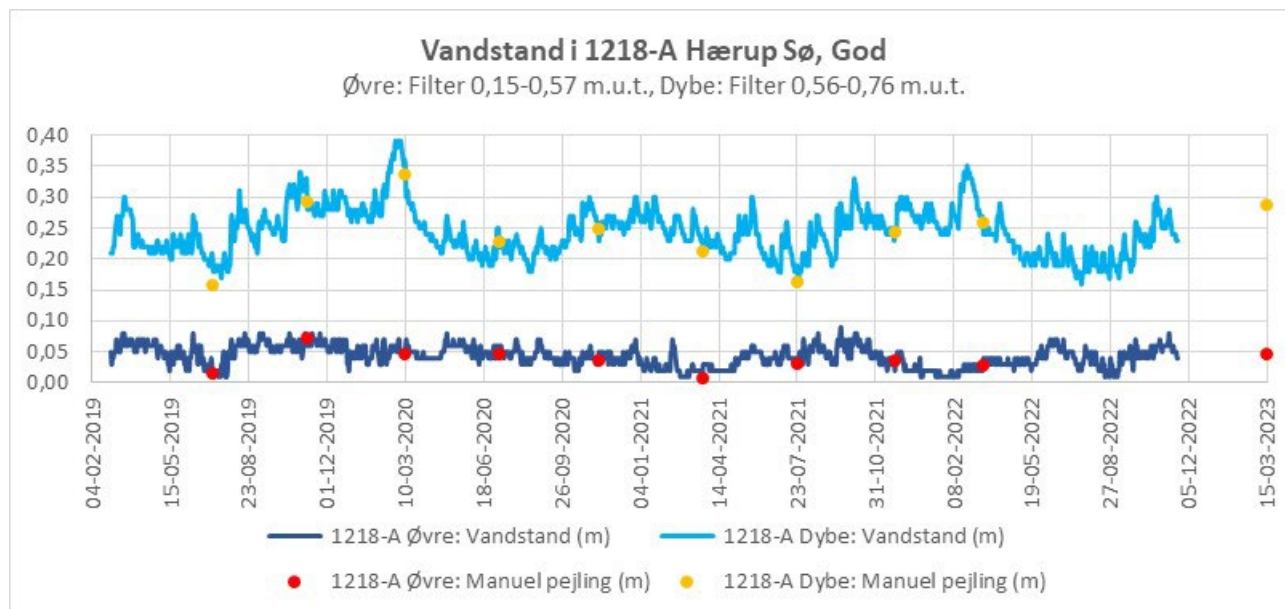
Det ringe prøvefelt (ved udgået NOVANA-prøvefelt med Stednavn 1218_22) ligger 68 m fra det gode prøvefelt, i et mere tilgroet område, der ligger i kanten af rigkærsområdet, men det er stadig meget fugtigt. Her blev der den 2. juli 2019 registreret 28 plantearter, heraf 4 mosser (kun én kærmosart, væld-kortkapsel (*Brachythecium rivulare*)) og top-star som eneste karakteristiske rigkærsart, det er altså tæt på at være for ringe til 7230 og tydeligt ringere end det Gode prøvefelt. Der var 14 stjernearter, men ingen to-stjernearter. Naturindholdet var på niveau med en tidligere registrering i 2008. Tagrørsvegetationen var mere tæt end i det Gode prøvefelt, og der er målt vegetationshøjder på +/- 1 m og 25 m² vedplanter.

Vandstandsmålinger

1218-A, God

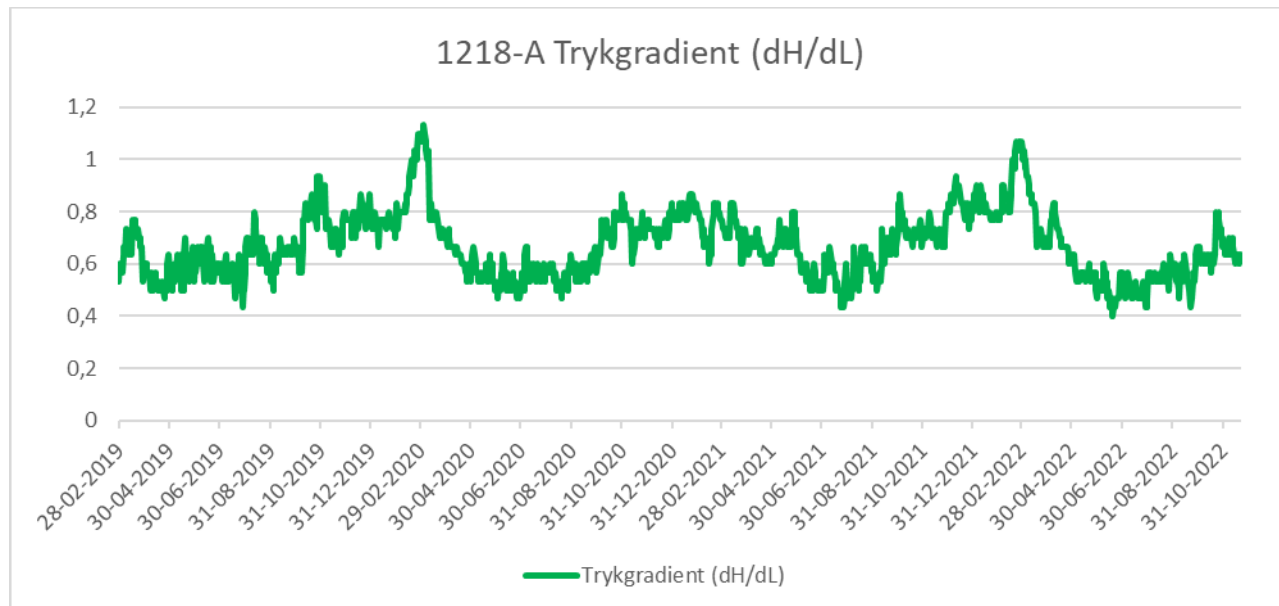
I det godt prøvefelt ved Hærup Sø stod vandstanden i det Dybe rør langt over terræn i hele projektperioden, svingende mellem godt 15 til knap 40 cm, i gennemsnit ca. 25 cm over terræn. Der er tale om artesiske vand, dvs. at grundvandet er under så højt tryk under et vandstandsende lag, at det vil stige eller sprøjte op af sig selv, når dette lag gennembrydes. Selv i det Øvre rør, der er filtersat i 15-57 cm dybde er der vand ca. 5 cm over terræn, hvilket vil sige, at der allerede i 15 cm dybde er artesiske vand. I flg. jordbundsprofilundersøgelsen

(Nilsson 2019) var der i dette punkt kun 15 cm svagt omdannet tørv, rig på recente planterester, der må antages at være relativt porøs og ikke særligt vandstandsende. Der må altså være et ganske betydeligt tryk på vandet under dette tørvelag, når vandet bliver trykket op over terræn selv i det Øvre vandstandsrør. Der er relativt god overensstemmelse mellem de beregnede vandstandskurver og de manuelle pejlinger.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

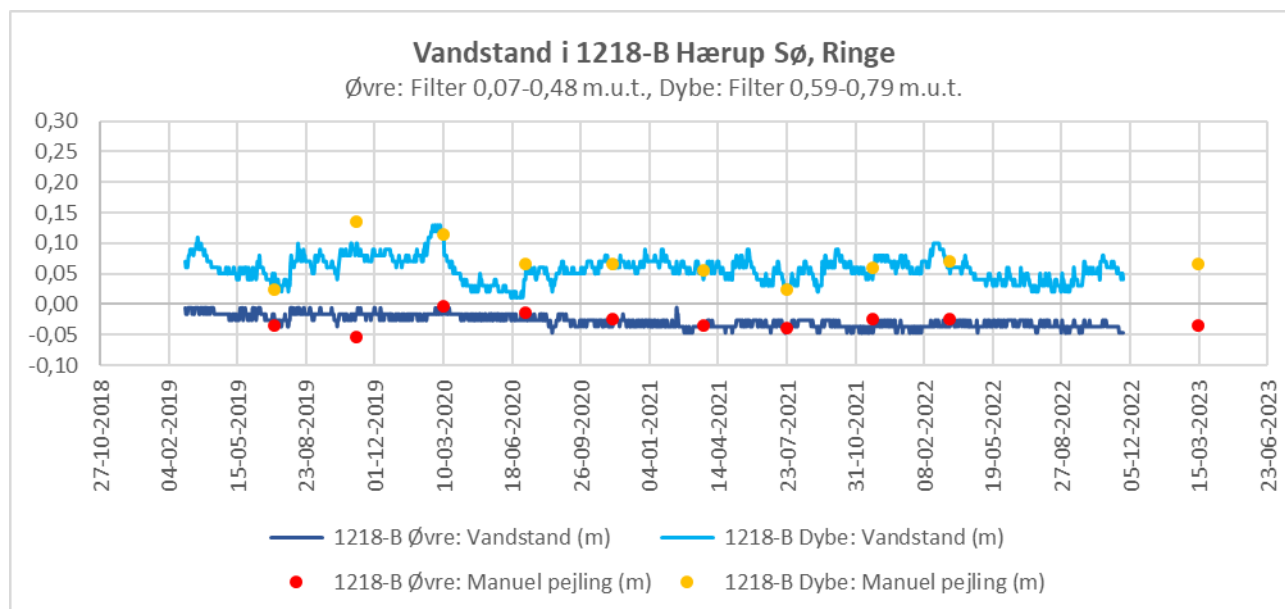
Trykgradienten er følgelig også stærkt positiv i hele projektperioden.



Den kraftige opadrettede grundvandstrøm ved Hærup Sø kunne lede tanken hen på kildevæld (7220) frem for rigkær (7230), og både grøn eremitmos og nedløbende bryum er karakteristiske for 7220. Under alle omstændigheder er vegetationen med 7 kærmosser og 21 sumparter (med Ellenberg F-værdi på 9-11) i høj grad betinget af trykvand og deraf følgende konstant vandstand i terræn, uden fald i vandstanden i selv længerevarende tørkeperioder.

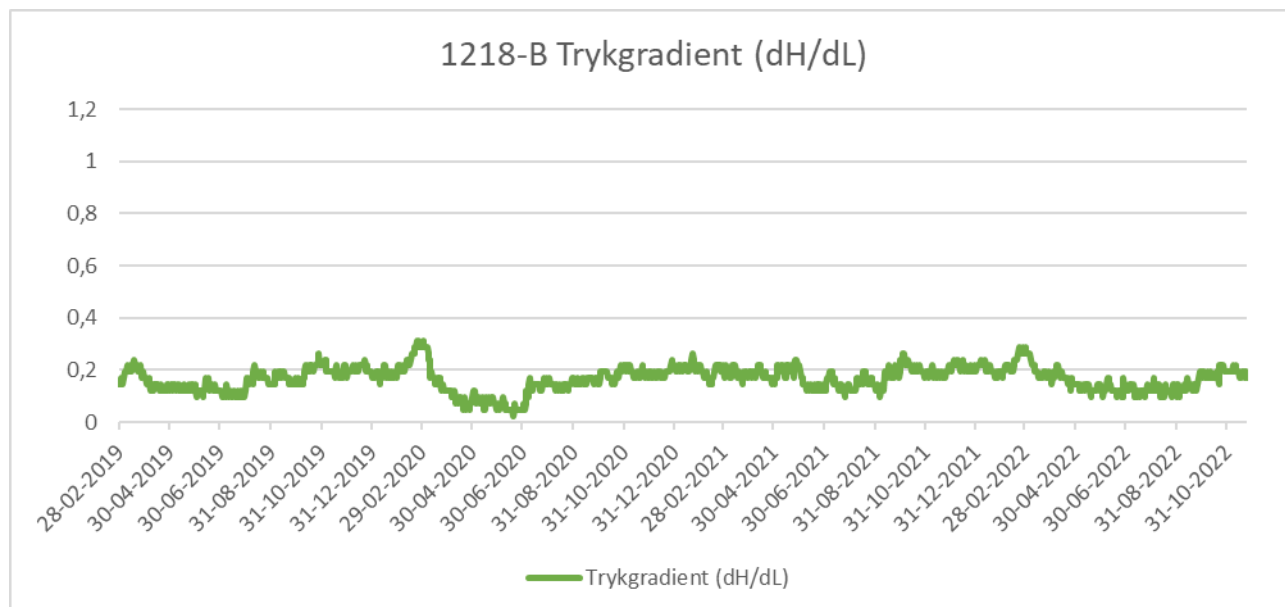
1218-B, Ringe

Ved det ringe prøvefelt ved Hærup Sø ses ligeledes 5-10 cm vandstand over terræn i det Dybe rør gennem stort set hele projektperioden, men langt fra så højt som i det gode prøvefelt. Vandstanden i det Øvre rør er i eller lidt under terræn, og generelt meget stabil – selv i tørkeperioder. De beregnede vandstandskurver er i relativt god overensstemmelse med de manuelle pejlinger, dog med enkelte afvigelser.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Trykgradienten er positiv gennem hele projektperioden, men langt fra så kraftig som i det gode prøvefelt.



Vegetationen i det ringe prøvefelt indeholder kun få lavtvoksende rigkærsarter i forhold til det gode prøvefelt, og da begge prøvefelter har henligget uden græsning i en længere årrække viser det noget om, hvor meget tryk der skal være på udstrømmende grundvand for at kunne opretholde en lavtvoksende og

lyskrævende vegetation. Det gode prøvefelt er fortsat ret artsrigt, mens det ringe prøvefelt er relativt artsfattigt.

Dette afspejler, at en svag grundvandsudstrømning ikke på længere sigt vil være nok til at holde rigkærsvegetationen lysåben, og selv i det gode prøvefelt med kraftig udstrømning er der vedplanter til stede, som med tiden vil kunne brede sig.

St. 1222 Bredsgård Sø (i N38/H38 i Viborg Kommune)

De to prøvefelter ved Bredsgård Sø er udvalgt fra en meget stor NOVANA-station, som det har vist sig rummer andre naturtyper end rigkær, idet en stor del af stationen består af vældpræget hængesæk (7140x7220). Det gode og det ringe prøvefelt ligger 163 m fra hinanden i hver sin naturtype og kan ikke umiddelbart sammenlignes.

1222-A, God

Det gode prøvefelt (ved udgået NOVANA-prøvefelt med Stednavn 1222_02) ligger på skrånende, fugtig, vældpræget bund ved kanten af Bredsgårde Sø. Området er artsrigt og domineret af blågrøn star, og der er en stabil "græs"-tørv. Ved projektets opstart var det ugræsset og med tæt opvækst af birk, men i løbet af projektperioden blev der foretaget kratrydning og etableret kreaturgræsning i regi af LIFE IP Natureman.

Den 9. juli 2019 registrerede vi 64 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 8 mosser (6 kærmosarter: grøn krumblad (*Scorpidium cossonii*), kær-kortkapsel (*Brachythecium mildeanum*), spids spydmos (*Calliergonella cuspidata*), fin guldstjernemos (*Campylium protensum*), stor engkost (*Climacium dendroides*), mose-krybstjerne (*Plagiomnium ellipticum*)) og 8 karakteristiske stararter (loppe-, stjerne-, blågrøn, håret, krognæb-, almindelig, hirse- og top-star). Antallet af stjerne- og to-stjernearter var højt, henholdsvis 35 og 8. Vi fandt dermed lidt flere arter end tidligere (57 i 2009), men genfandt ikke de karakteristiske rigkærarter tvebo, dynd-, skede- og grøn star, hvoraf de to førstnævnte er rødlistede.

1222-B, Ringe

Det "ringe" prøvefelt (ved udgået NOVANA-prøvefelt med Stednavn 1222_27) ligger i et område domineret af topstartuer og tydeligt gyngende vegetation med stående vand i bunden. Området er ved seneste habitatkortlægning kortlagt som vældpræget hængesæk (7140x7220), hvilket er en ændring i ift. den tidligere (fejl-)kortlægning som rigkær (7230). Området har formodentlig tidligere været sø/søbred, idet Bredsgårde Sø blev afvandet delvist i 1800-tallet og endeligt tørlagt i 1956. Der er tydeligt vældpræg og centrum af prøvefeltet ligger lige udenfor paludellavæld med store forekomster af blank seglmos (*Hamatocaulis vernicosus*), almindelig piberensermos (*Paludella squarrosa*) og den sjældne eng-cypresmos (*Breidleria pratensis*). Den ringere tilstand i dette prøvefelt skyldes høje koncentrationer af både N og P (Ejrnæs & Nygaard 2024), hvilket indikerer, at centrum af prøvefeltet ligger på en overgang til et andet, mere overfladevandspåvirket regime.

Den 9. juli 2019 fandt vi 40 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 10 kærmosser (bl.a. almindelig piberensermos, kær-kortkapsel, nedløbende bryum, filtstænglet jomfruhår og trindgrenet tørvemos), men kun top-star som karakteristisk rigkærart. Der var 26 stjerne- og 5 to-stjernearter i 5 m-cirklen. Det er væsentligt flere end de data udpegningen som "ringe" var baseret på (28 karplanter og 2 mosser i 2009), men det kan skyldes GPS-usikkerhed, da en del arter kommer med fordi 5 m-cirklen inkluderer kanten af det artsrige paludellavæld. Ser man kun på de 4 pinpointanalyser falder artsantallet til 32, hvilket er mere på niveau med 2009-data. Kvaliteten er ringere end det Gode prøvefelt, men da de tilhører to forskellige naturtyper er det ikke relevant at foretage en direkte sammenligning mellem de to prøvefelter.

Ved jordbundsundersøgelsen blev der boret i tørv og søgytje til over 7 meter uden af ramme fast bund, og det var umuligt at få rørene til at stå fast.



Øverst opvækst af birk ved det "gode" prøvefelt ved Bredsgård Sø, 1222-A i oktober 2019. Nederst samme sted efter kratrydning og opstart af græsning, marts 2022.

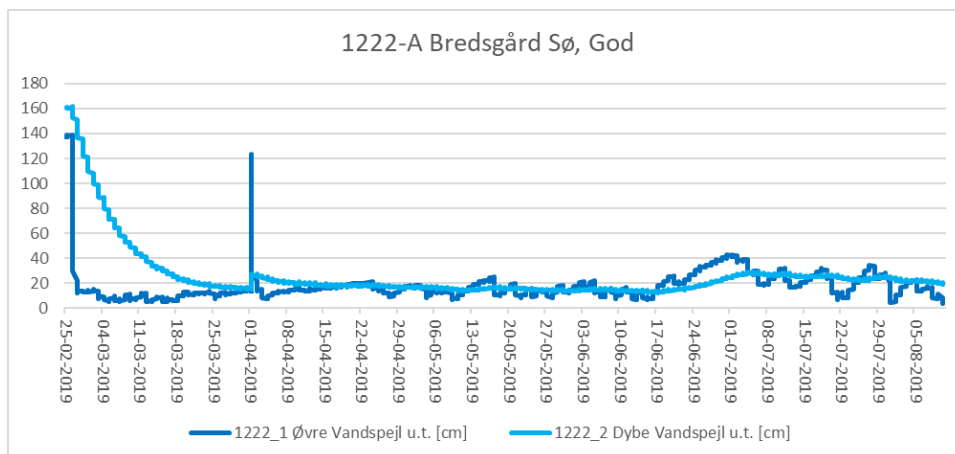
*Det "ringe" prøvefelt ved Bredsgård Sø, 1222-B, ligger i top-stardomineret, vældpræget hængesæk i udkanten af levested for blank seglmos (*Hamatocaulis vernicosus*). Øverst okt. 2018, nederst februar 2019.*

Vandstandsmålinger

1222-A, God

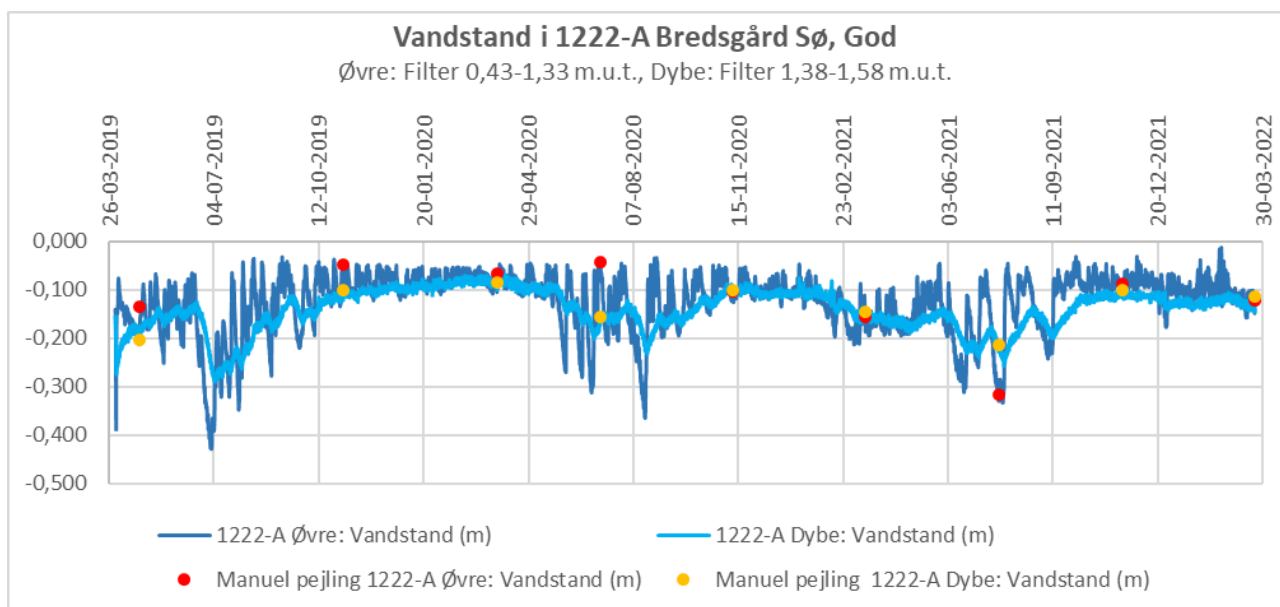
Ved det gode prøvefelt ved Bredsgård Sø blev det den 16. marts 2021 konstateret, at der havde været udfald af vandstandsloggeren i det Øvre rør, og loggeren blev udskiftet den 9. april 2021. Det er uklart hvad problemet mere præcist bestod i, og hvor længe det stod på, men ved indlægning af data i Jupiter har GEUS valgt at se bort fra alle data fra før 9/4-21 (DGUnr. 66. 2630). Det antages dog, at det ikke var hele tidsserien tilbage til opstarten af projektet i 2019, som var påvirket, og der er derfor i dette notat brugt egne data frem for data fra Jupiter.

Den geologiske kartering viste, at jordbunden ved det gode prøvefelt ned til 2,3-2,5 m består af omdannet, sort-meget mørkebrun tørv, der må antages at have relativt ringe vandledningsevne. Det Dybe vandstandsrør er filtersat fra 1,38-1,58 m under terræn, hvilket altså er midt i dette tørvelag. Under tørven i 2,3-2,5 m dybde blev der registreret fint, stærkt siltet sand, som har meget lav vandledningsevne og kan tilstoppe filtre. Som det ses på nedenstående diagram, var vandstanden i det Dybe rør ca. 1 måned om at komme i balance efter renpumpning af røret og installation af loggeren den 25. februar 2019. Den første del af dataserien er derfor udeladt. Der er altså en meget langsom vandtilstrømning ved det gode prøvefelt, hvilket også påvirkede vandprøvetagningen gennem hele projektet.



Vandstandsmålinger fra det første halve år (NB: Y-aksen viser her dybde i cm)

Tidsserien nedenfor er sat sammen af data fra den oprindelige logger før 9. april 2021 og data fra den nye logger efter denne dato.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

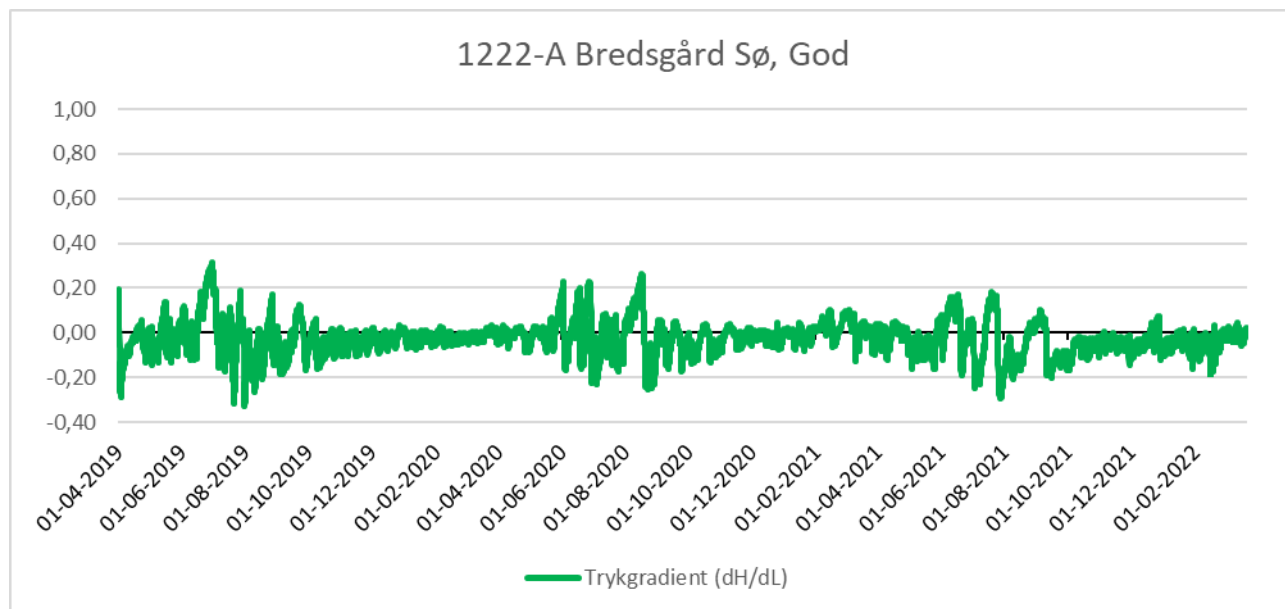
Der er et rimeligt sammenfald mellem de manuelle pejlinger og den beregnede vandstand. At der gennem hele projektet er store udsving på kurven fra det Øvre rør, både før og efter udskiftning af loggeren den 9. april 2021, gående fra ca. 5 til over 40 cm under terræn vurderes at være normale udsving som følge af nedbørshændelser.

De manuelle pejlinger og feltobservationer af vandstanden omkring røret dokumenterer, at vandstanden var under terræn bortset fra 6. juli 2020 og 22. marts 2022, hvor prøvetageren noterede vand i terræn.

På nederste foto af det Gode prøvefelt ovenfor ses, at vandstandsrorene ved afslutning af projektet står i et lidt højereliggende parti i rigkæret. Efter igangsætning af græsning er der på kort tid opstået knoldkær i området pga. optrædning af fugtige lavninger mellem knolde med den tilbageværende "græs"-tørv, men inden for frahegningen er "græs"-tørv stadig intakt. Terrænkoten (x-aksen på ovenstående graf) svarer således til toppen af knoldene (som typisk har 6410-agtig vegetation i veludviklede rigkær), og den målte vandstand, som i gennemsnit ligger 12,5 cm under terrænfikspunktet, er således på niveau med bunden af

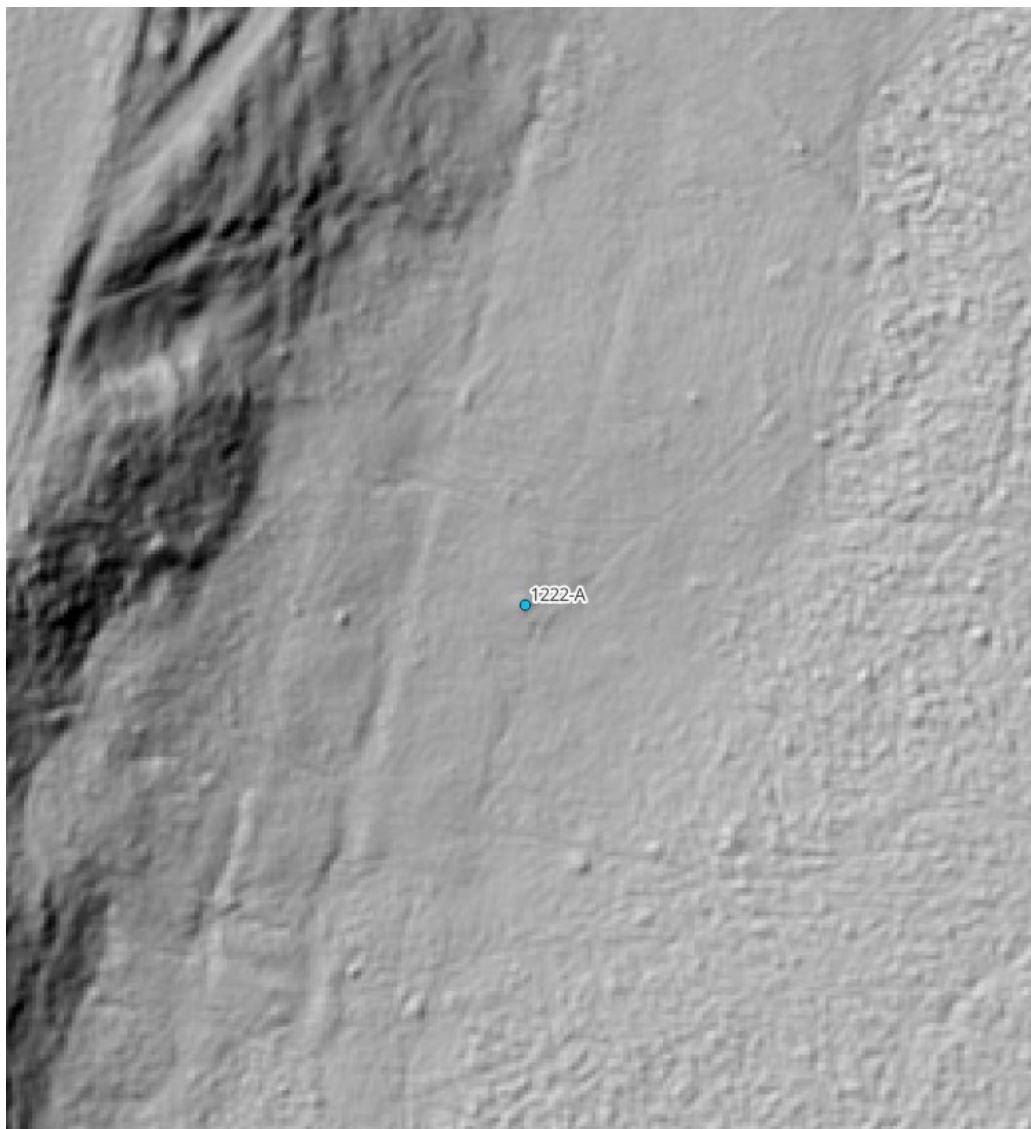
lavningerne – i de lavest liggende dele vil der derfor være vand tæt på terræn det meste af året, og vandstanden vil kun være mere end 20 cm under bunden af hullerne i korterevarende tørkeperioder.

Det bemærkes at det Øvre rør er filtersat i 43 cm-1,33 m dybde, hvilket betyder at det Øvre rør ikke måler vandstand i overfladen, men trykvand i 43 cm dybde. Det er derfor muligt at der er en større trykgradient, end nedenstående graf viser.



Trykgradienten ligger i det meste af projektperioden tæt på eller under nul, hvilket indikerer en svag nedadrettet vandbevægelse. Der ses dog en positiv trykgradient i tørkeperioder, og dette tyder på at der i det mindste periodevist er en opadgående vandbevægelse, som bidrager til at udligne fordampningstab og sikre en stabil høj vandstand i prøvefeltet. Det dybe rør kunne med fordel have været placeret i toppen af sandlaget under tørven (i ca. 2,5m dybde), og det antages at det derved ville have været muligt at bestemme en målbar vertikal gradient.

At der ikke på baggrund af vandstandsmålingerne kan påvises en mere tydelig opadgående vandbevægelse stemmer ikke helt overens med den observerede rigkærsvegetation i 5 m-cirklen, som rummer 6 kærmosarter og en del sumparter (11 karplanter med Ellenberg F-værdi på 9 eller 10). Dette kan delvist forklares ved at 5 m-cirklen ikke er homogen, især i den nordlige del er der tydelig vældpåvirkning med forekomst af grøn krumblad (*Scorpidium cossonii*). Men selv hvis man kun ser på de 4 pin point-analyser, der blev foretaget i umiddelbar nærhed af centrum, er der sumparter som krogneb-star, dynd-padderok, bukkeblad og smalbladet kæruld til stede, som viser at der er tale om rigkær og ikke tidvis våd eng (6410), som er den naturtype, der ellers kunne være tale om. Der må altså være en tilstrækkelig stabil vandstand betinget af tilførsel af grundvand, i hvert i fald dele af 5 m-cirklen, til at understøtte kærmosser og sumparter, og helt uden grundvandstilstrømning ville man forvente større og længerevarende vandstandssænkninger i tørkeperioder end det observerede (se fx 1130-B, Villestrup Å, Ringe ovenfor).



Ved det Gode prøvefelt er der tydelige tegn på gamle grøfter parallelt med skrænten på DHM terræn, skyggekortet

En forklaring kan være meget stor variation inden for 5 m-cirklen. Vandstandsørerne er placeret få m fra vældområdet med *S. cossonii*, som kan anes på det nederste foto fra det Gode prøvefelt ovenfor, hvor terrænet falder svagt på den anden side af vandstandsørerne. Da udstrømningen af grundvand kan være meget lokal, kunne det tyde på at det Dybe rør har ramt ved siden af det primære udstrømningsområde. På ortofoto fra 1954 og skyggekortet ses tydelige tegn på tidligere dræning i form af grøfter parallelt med skrænten, og selvom der ikke umiddelbart er tegn på dette i dag, er det sandsynligt at grundvandet fortsat strømmer ud via gamle, tilgroede grøfter, fordi tørven, der fylder grøfterne op, er mere porøs end den kompakte og pga. dræningen omsatte tørv. Grundvandet vil herfra kunne fordele sig horisontalt og bidrage til at udligne fordampningstab.

Det kan også have betydning at det Dybe rør er filtersat i den kompakte tørv og ikke i det underliggende sandlag, hvor der sandsynligvis er mere tryk på vandet. Det er muligt, at der er en konstant, men meget langsom opadgående vandbevægelse gennem tørvelaget, som man ville kunne påvise, hvis filteret var sat under 2,5 m dybde.

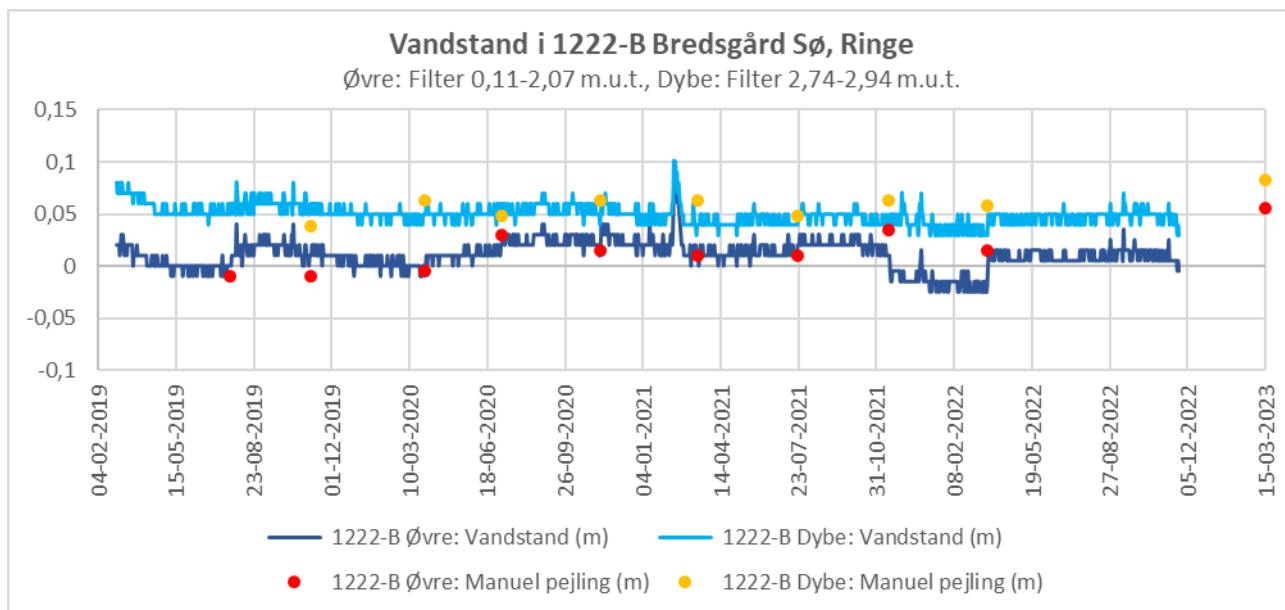
1222-B, Ringe

Ved det Ringe prøvefelt i den vældprægede hængesæk i Bredsgård Sø, var der som oven for nævnt problemer med at få vandstandsrørene til at stå fast. Ved hver af de tre årlige prøvetagninger blev der derfor foretaget kontrolmålinger af rørenes højde i forhold til et terrænfikspunkt, der her var blevet forsynet med en tværpind for at forhindre det i at synke ned.



Terrænfikspunkt (jordskrue) med tværpind i hængesækken ved Bredsgård Sø, Ringe.

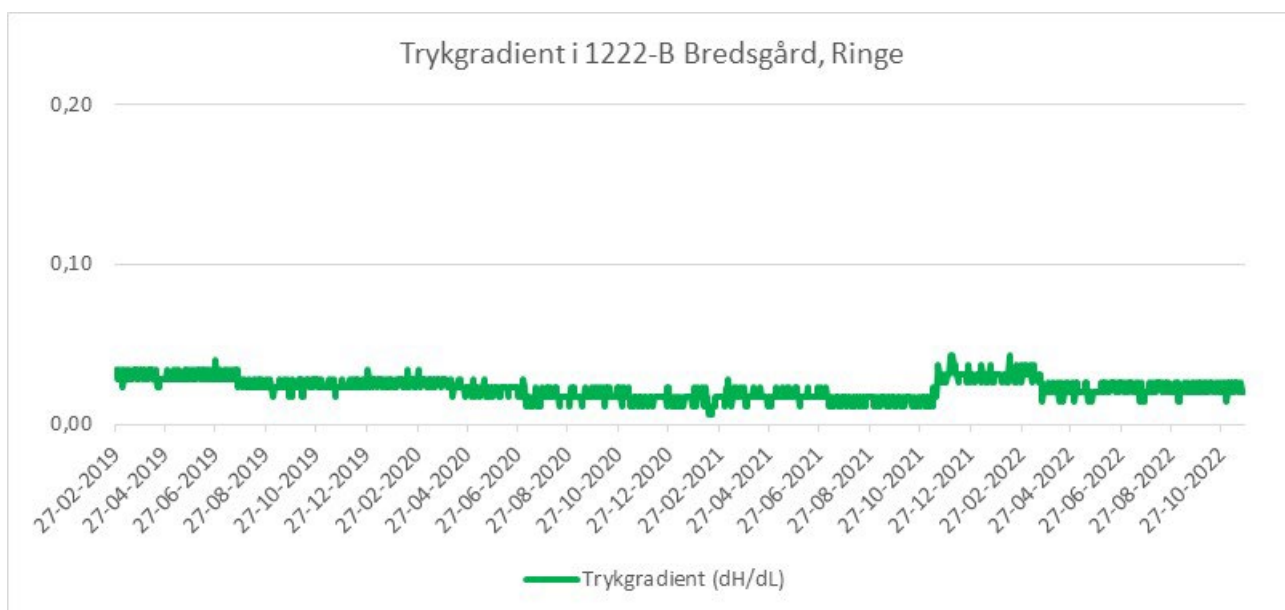
Rørenes position var stabil gennem projektperioden, bortset fra, at kontrolopmålingen ved allersidste prøvetagning den 22. marts 2022 viste, at det Øvre rør var sunket 6,5 cm. Det var tydeligt, at der umiddelbart efter den foregående prøvetagning den 16. november 2021 var sket et tilsvarende dyk af vandstandskurven for det Øvre rør. Det er derfor nærliggende, at røret kan være blevet presset ned i forbindelse med prøvetagningen, hvor det også blev noteret at røret sad meget løst. I nedenstående vandstandsdiagrammer er der foretaget en korrektion for denne forskydning. Vandstandskurverne fortsætter ud over projektperioden til 23. november 2022, hvor loggerne blev hjemtaget.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Det ses at der er en stabil vandstand i eller lidt over terræn i hele projektperioden og en vandstand i det Dybe rør, der konstant ligger nogle cm over vandstanden i det Øvre rør.

Trykpotentialet er følgelig stabilt positivt gennem hele projektperioden, hvilket vidner om en svag, men konstant opadgående vandbevægelse.



Dette stemmer godt overens med den observerede vegetation, jf. ovenfor, og underbygger, at der er tale om vældpræget hængesæk (7140x7220) betinget af en opadgående grundvandstrøm.

St. 4677 Ettrup ved Simested Å (N30/H30 i Vesthimmerlands Kommune)

Lokaliteten er et rigkær for foden af stejle ådalsskrænter umiddelbart vest for Simested Å, men området rummer også paludellavæld, som gynger svagt og må betegnes som vældpude (7140x7220). Kerneområdet er også voksested for blank seglmos (*Hamatocaulis vernicosus*), der her vokser i blanding med grøn krumblad (*Scorpidium cossonii*) og sparsom forekomst af almindelig piberensermos (*Paludella squarrosa*). Området havde ved projektstart i 2018 ligget uden græsning i en længere årrække og var under kraftig tilgroning med pil, birk og høje urter, men der er siden i regi af LIFE IP Natureman blevet igangsat helårsgræsning med Galloway på lokaliteten. Mod nord findes en dyb vest-øst-gående grøft (følger matrikelgrænsen).



Øverst: Det "gode" prøvefelt ved Simested Å ligger med tæt pilekrat ind mod skræntfoden til venstre. Paludellavæld og følsom vegetation med blank seglmos til højre for landmålerstokken, vinter 2018-19. Nederst: Samme juli 2019.

Det "ringe" prøvefelt ved Simested Å ligger tæt på åen og i kanten af pilekrattet, men er domineret af topstartuer. Øverst vinter 2018-19, nederst juli 2019.

4677-A, God

Det gode prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 4677_01) ligger kun 9 m fra foden af ådalsskrænten mod sydvest, og 20 m mod nord findes en mindre grøft, der går op til den vest-østgående grøft nævnt ovenfor. GPS-usikkerheden ved afsætning af punktet har været relativt stor (4,6 m), så prøvefeltet i stedet for at ligge i det lysåbne kærrområde inden for blank seglmosbestandens afgrænsning, kom til at ligge halvvejs inde i pilekrattet – ellers ville det have været grund til at forkaste punktet for at undgå forstyrrelse af blank seglmos.

Den 2. juli 2019 registrerede vi 56 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 12 mosser (8 kærmosarter, inkl. blank seglmos (*Hamatocaulis vernicosus*), grøn krumblad (*Scorpidium cossonii*), glinsende kærmos (*Tomenthypnum nitens*) og kær-kortkapsel (*Brachythecium mildeanum*)). Af 7230-karakteristiske stararter blev fundet krogneb-, hirse-, top- og almindelig star, og der var 31 stjerne- og 8 to-stjernearter. Det er på niveau med den tidligere registrering, som udpegningen var baseret på, men vi fandt ikke arter som dyndstar, vild hør og almindelig piberensermos (*Paludella squarrosa*), hvilket formentlig skyldes GPS-usikkerhed, jf. ovenfor. De to førstnævnte arter er genfundet ifm. NOVANA-overvågningen i 2023.

4677-B, Ringe

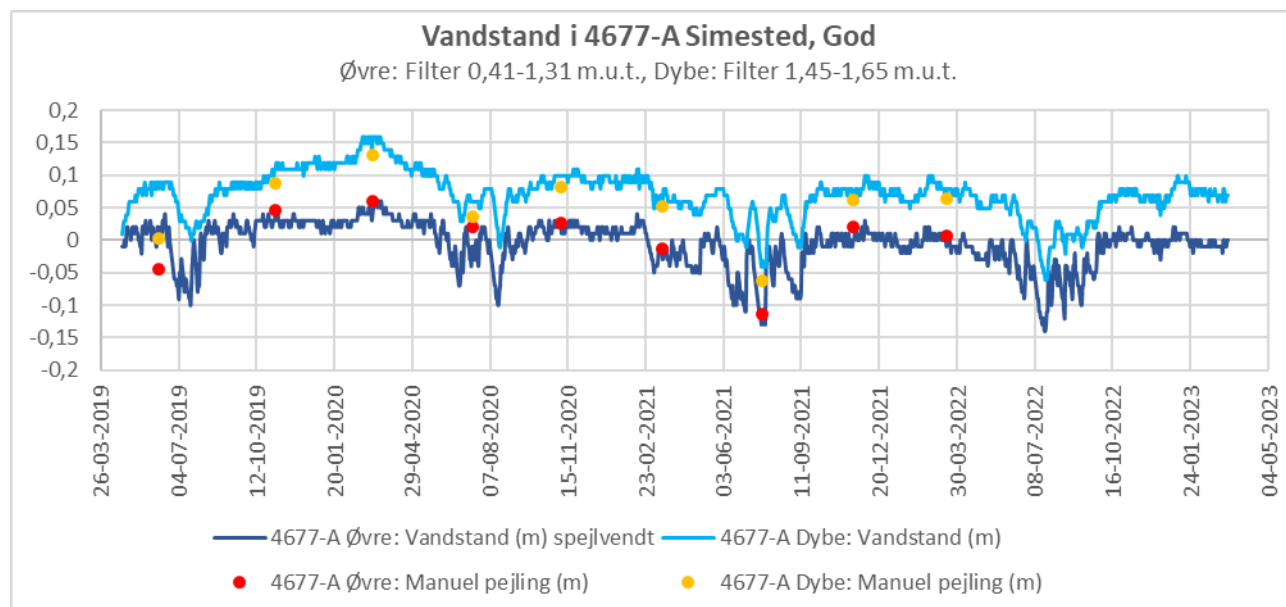
Det ringe prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 4677_02) ligger i kanten af rigkæret kun godt 6 m fra Simsted Å. Ved udlægningen havnede GPS-punktet midt i en pilebusk, og blev derfor forskudt til et område domineret af store starer/topstar et par meter mod nord.

Vi registrerede 46 plantearter i 5 m cirklen den 2. juli 2019, heraf 8 mosser (4 kærmosarter) og kun to karakteristiske rigkærsarter (almindelig og top-star). Antallet af stjernearter var 24 og ingen to-stjernearter. Dette er på niveau med de data fra 2012, der var grundlag for udpegningen, hvor der dog også blev registreret hirse- og næb-star. Vegetationen i det Ringe prøvefelt var tydeligt af lavere kvalitet end det Gode prøvefelt.

Vandstandsmålinger

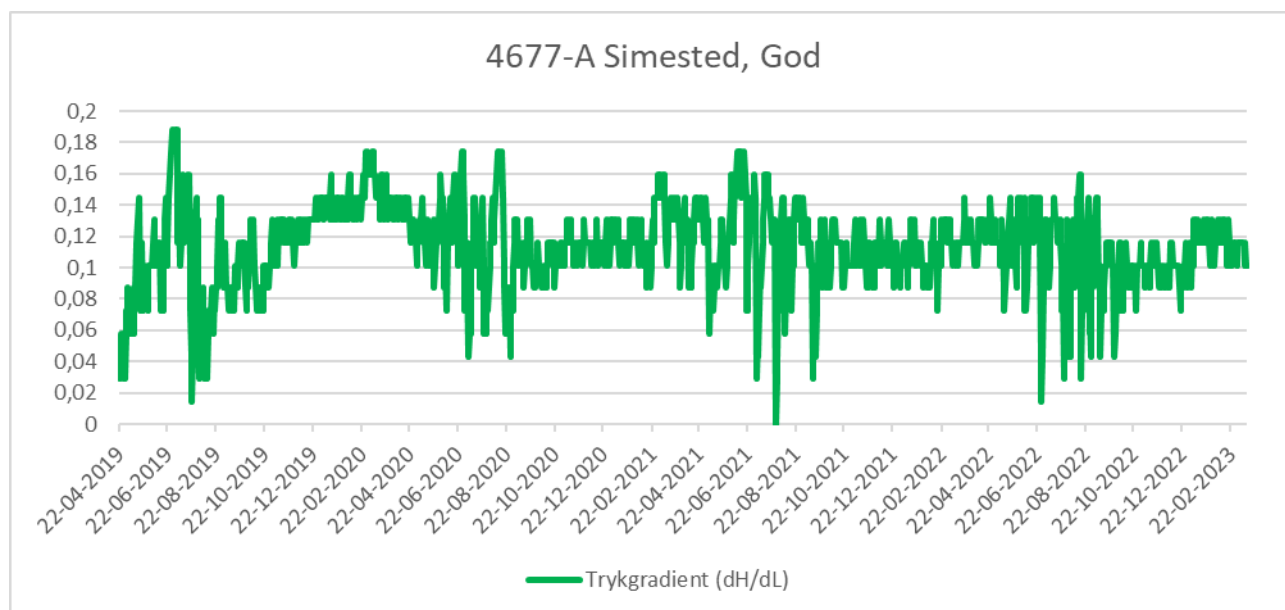
4677-A, God

Ved det Gode prøvefelt ved Simsted Å var vandstanden i det Dybe rør, som er filtersat i 1,45-1,65 m dybde, næsten konstant over terræn, bortset fra sommerperioder i forbindelse med tørke, hvor vandstanden i det Dybe rør falder til terrænniveau eller kortvarigt lidt under terræn. Der er en god sammenhæng mellem beregnet og målt vandstand i det Dybe vandstandsrør.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

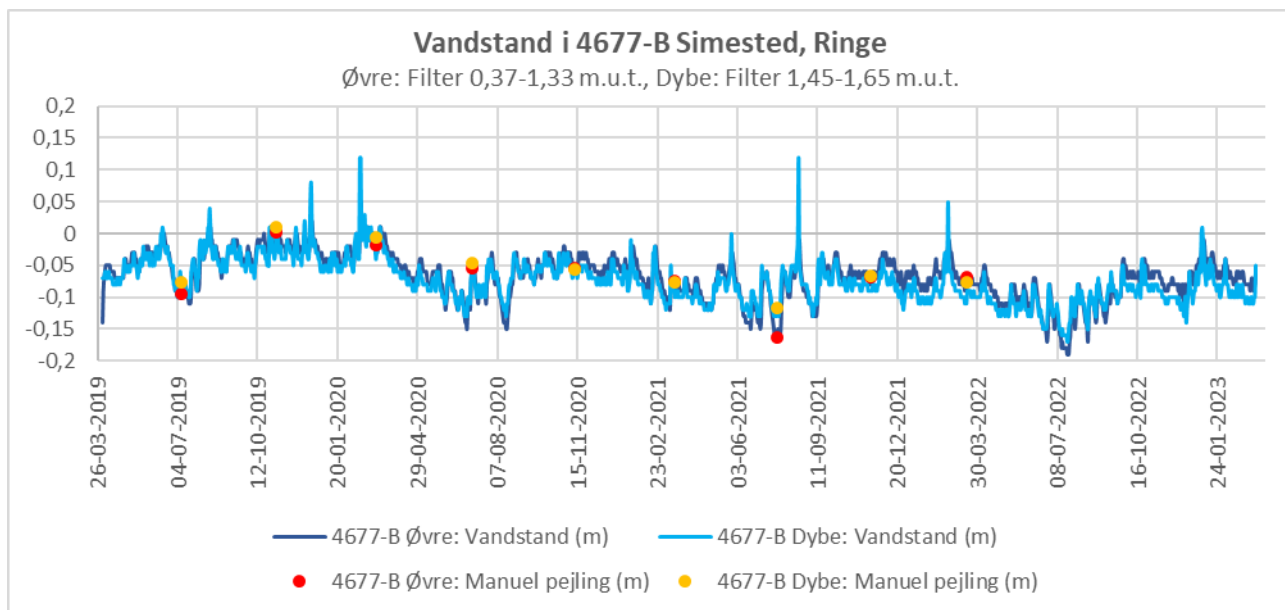
I det Øvre ør er vandstanden i eller lidt over terræn det meste af perioden, men i tørkeperioder falder vandstand til ca. 10 cm under terræn (meget kortvarigt ned til knap 15 cm under terræn). Som de manuelle pejlinger viser, er der god sammenhæng mellem den beregnede vandstand og pejlingerne.



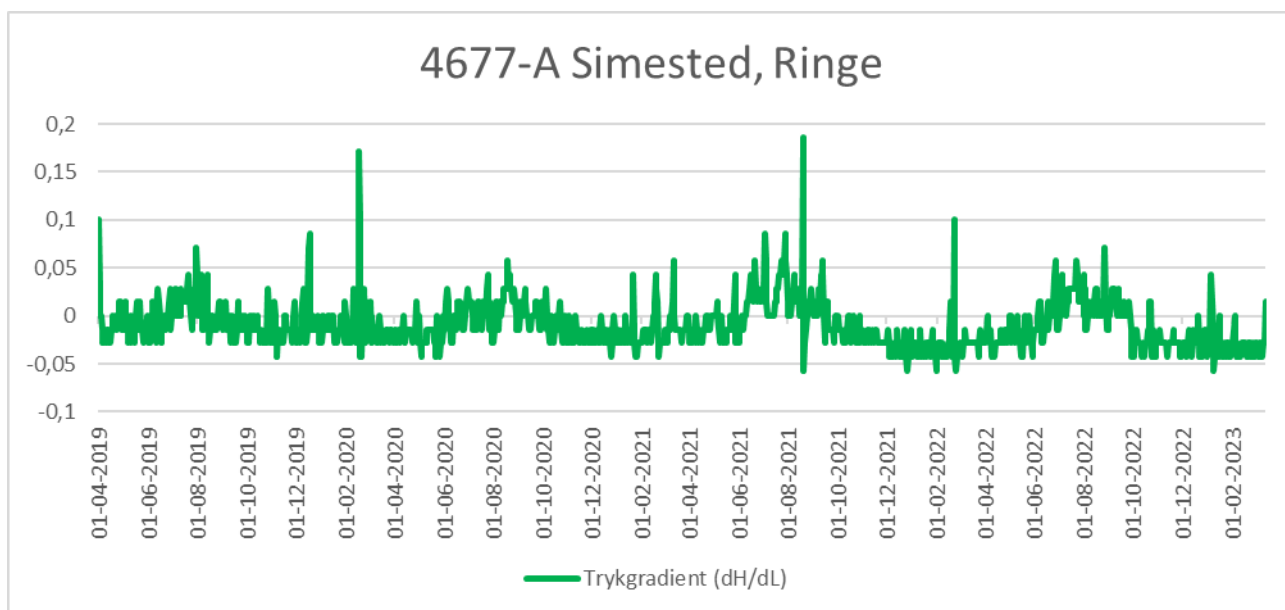
Den beregnede trykgradient er tydeligt positiv gennem hele perioden, hvilket hænger godt sammen med den observerede vegetation i det Gode prøvefelt, som ligger lige i udkanten af voksestedet for blank seglmos. I 5 m-cirklen er der som nævnt ovenfor fundet hele 8 kærmosarter, som er afhængige af konstant vandmættede forhold i de øvre jordlag, hvilket kun kan opnås ved konstant tilførsel af grundvand, som kan udligne fordampningstab i tørkeperioder. Vegetationen indeholder også 15 sumparter (med Ellenberg F-værdi på 9 og 10), der er tegn på permanent våde forhold.

4677-B, Ringe

I det Ringe prøvefelt var vandstanden i de to rør næsten sammenfaldende gennem hele projektperioden og der var god overensstemmelse med de manuelle pejlinger. Vandstanden i det Øvre rør var relativt stabil og faldt på intet tidspunkt til under 20 cm under terræn. Om dette er helt retvisende for den aktuelle vandstand er dog uklart, eftersom det Øvre rør også her var filtersat et stykke under terræn (fra 37 cm til 1,33 m.u.t.).



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato



Trykgradienten ligger følgelig tæt på 0 eller lidt under 0, dvs. neutral-svagt nedadrettet vandbevægelse, men med tendens til opadrettet vandbevægelse i sommerperioderne. Det ses også af de manuelle pejlinger, hvor vandstanden i det Dybe rør er op til 5 cm over vandstanden i det Øvre rør i sommeren 2021.

Selvom der således kun er en svag tendens til opadgående vandbevægelse, understøttes en relativt stabil vandstand uden kraftig sommerudtørring. Dette afspejles af vegetationen, der indeholder en del sumparter (med Ellenberg F-værdi på 9 og 10).

St. 4678 Jordbro Å (Drost Peders Høj) (N39/H39 i Viborg Kommune)

De to prøvefelter er placeret relativt tæt på hinanden (45 m) i et rigkær, som omkranser et paludellavæld med blank seglmos (*Hamatocaulis vernicosus*), 20-25 m fra blank seglmosbestanden. Området har tilsyneladende lang græsningskontinuitet med en stabil "græs"-tørv, er derfor ikke så følsomt overfor optrædning/ nedtrampning.

Mod nordvest falder terrænet jævnt ned mod et gammelt drænsystem, der afvander til en drænbrønd. Jorden har sandsynligvis sat sig betydeligt pga. afvandingen, og drænbrønden ligger noget lavere i terrænet end prøvefelterne og kildevældet med blank seglmos. Der findes en tilsvarende drænbrønd nordøst for kildevældet med blank seglmos.

Prøvefelterne ligger i en større indhegning med sommergræsning af kreaturer gennem en længere årrække. I flg. ejer går dyrene ikke meget ud i rigkæret, men holder sig mest på de tørre arealer.



I forgrunden jordbundsprofilundersøgelsen ved det ringe prøvefelt, 4678-B, markeret med landmålerstokke, mens der arbejdes ved det gode prøvefelt, 4678-A, i baggrunden. Til højre ligger et paludellavæld med blank seglmos og bag dette et parti domineret af tagrør, hvor terrænet falder ned mod et gammelt drænsystem.

4678-A, God

Det gode prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 4678_09) ligger i knoldkær med typisk rigkærsvegetation, noget lavere i terrænet end kildevældet med blank seglmos. I lavninger mellem tuerne ses stående vand med "oliefilm" eller "jernspejl" (tegn på trykvand) (Robbins med flere, 1997).



Vandfyldt lavning med "metalspejl", et bakterielt exudat udskilt ifm. oxidering af reduceret jern i det udstrømmende grundvand, som er en indikator for trykvand ved det "gode" prøvefelt, 4378-A.

Den 9. juli 2019 fandt vi 61 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 8 mosser (5 kærmosser) og 5 stararter karakteristisk for rigkær (stjerne-, hirse-, almindelig, top- og næb-star), samt 33 stjernearter og 3 to-stjernearter, heraf rødlistearten eng-troldurt. Det er på niveau med de data udpegningen er baseret på (47 karplanter og 11 bladmosser i 2012). Men det ses også, at der har været usædvanlig stor GPS-usikkerhed ved afsætningen af dette prøvefelt, den dGPS-indmålte placering ligger 7,7 m SSØ for 4678_09, så vegetationsdata kan ikke umiddelbart sammenlignes.



Det "gode" prøvefelt, 4678-A, ved Jordbro Å ligger i græsset knoldkær.



Det "ringe" prøvefelt, 4678-B, ved Jordbro Å ligger på grænsen til eng i nærheden af skræntfoden.

4678-B, Ringe

Det ringe prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 4678_05) ligger helt ude i randen af rigkæret, tæt på skræntfoden, hvor vegetationen bliver mere engagtig med dominans af lysesiv og knold-star. Punktet ligger lige på overgangen, hvor vegetationen ind mod skræntfoden til den ene side går over i katteskæg og lysesiv, og til den anden side, ud mod ådalen, går over i en tørvemosdomineret kærvegetation.

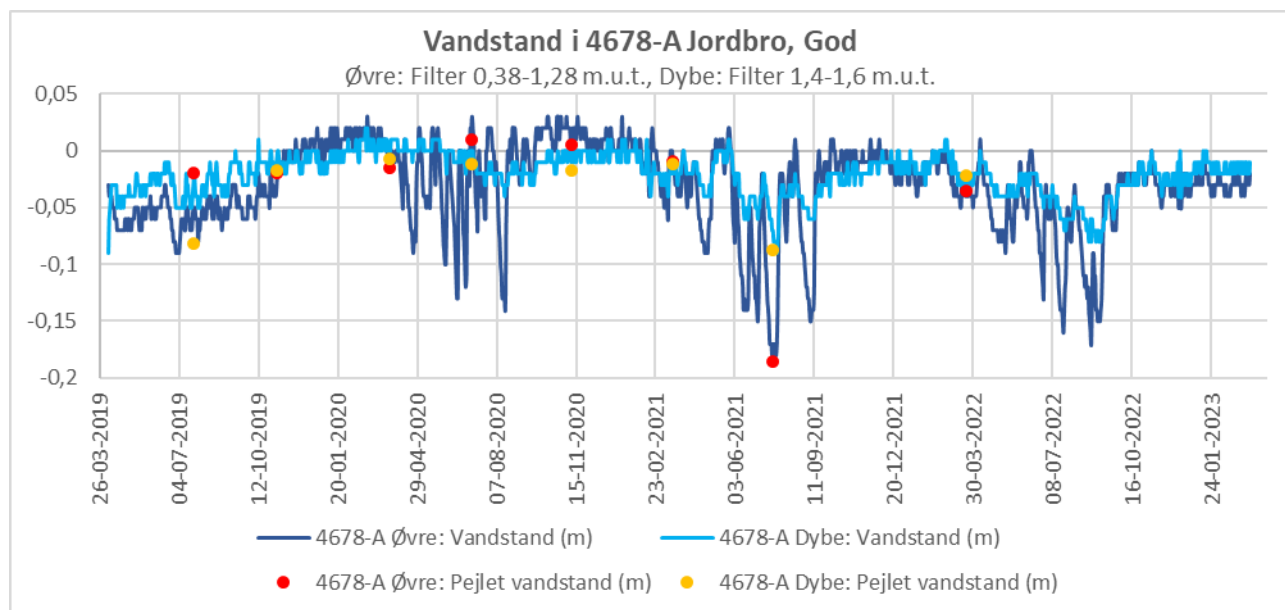
Den 9. juli 2019 registrerede vi 54 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 9 mosser (3 kærmosser og 2 tørvemosser) og 4 stararter karakteristisk for rigkær (stjerne-, hirse-, almindelig, og næb-star), samt 27 stjernearter og 1 to-stjernearter. Det er på niveau med tidligere registreringer, hvor der også blev registreret bleg og hare-star. Selvom der er ikke er markant færre arter inden for de forskellige artsgrupper, er fordelingen anderledes, og kvaliteten af det Ringe prøvefelt fremstår tydeligt lavere end det Gode prøvefelt.

Vandstandsmålinger

4678-A, God

I det Gode prøvefelt ved Jordbro Å ses det at vandstanden i det Øvre rør svinger mellem at være i/lidt over terræn til 10 cm under terræn det meste af tiden, med fald ned til 18 cm under terræn i tørkeperioder. Det Øvre rør er filtersat 31 cm – 1,21 cm under terræn. Det kan derfor forventes, at der er et vist tryk på vandet, og at det ikke helt repræsenterer vandstanden ved overfladen, selvom det er tæt på overfladen. Vandstanden i det Dybe rør ligger kun tydeligt over vandstanden i det Øvre rør i forårs- og sommerperioderne, ellers er den generelt lavere, hvilket underbygges af de manuelle pejlinger.

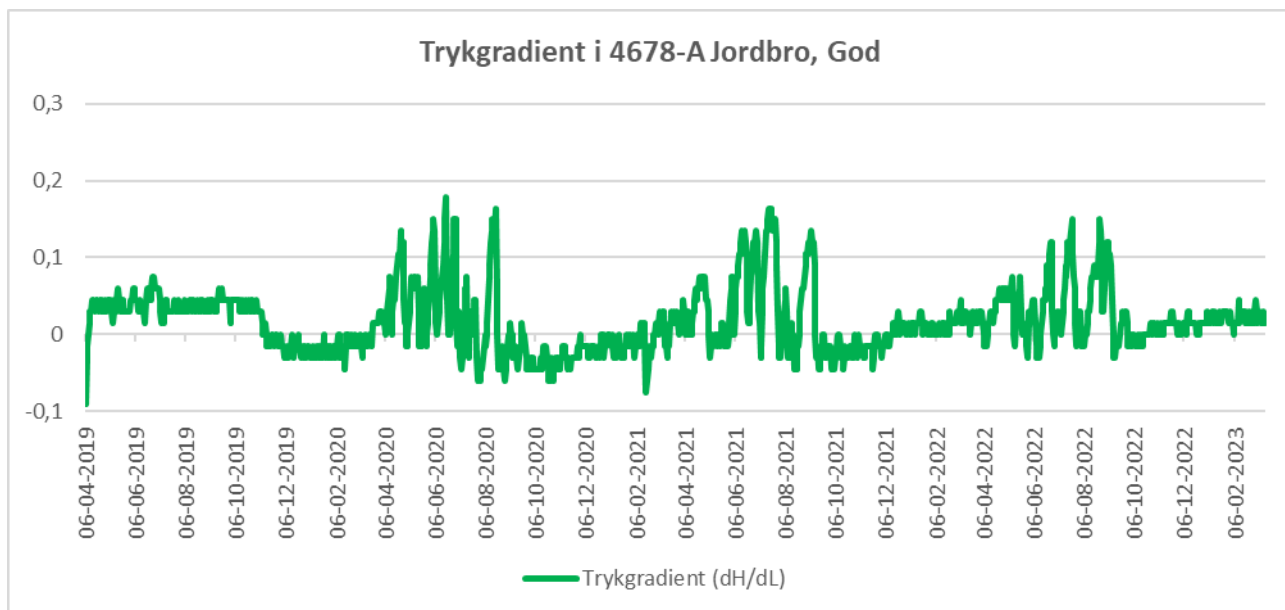
Sammenhængen med de manuelle pejlinger er god. De store udsving på vandstandskurven i det Øvre rør, som især ses i sommerperioderne, vurderes at hænge sammen med nedbørshændelser og stor fordampning. Det øverste vandspejl reagerer hurtigere på skift mellem nedbør og stor fordampning i sommerperioden end det dybere rør, der er mere stabil i tryk. Vandstandskurven i det Dybe rør er ligeledes i relativt god overensstemmelse med de manuelle pejlinger, dog med en lidt større afvigelse på 6 cm den 23. juli 2019.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

De manuelle pejlinger indikerer generelt en nedadrettet vandbevægelse, dog opadrettet i foråret 2020 og 2022 samt sommeren 2021, sandsynligvis i forbindelse med tørkeperioder.

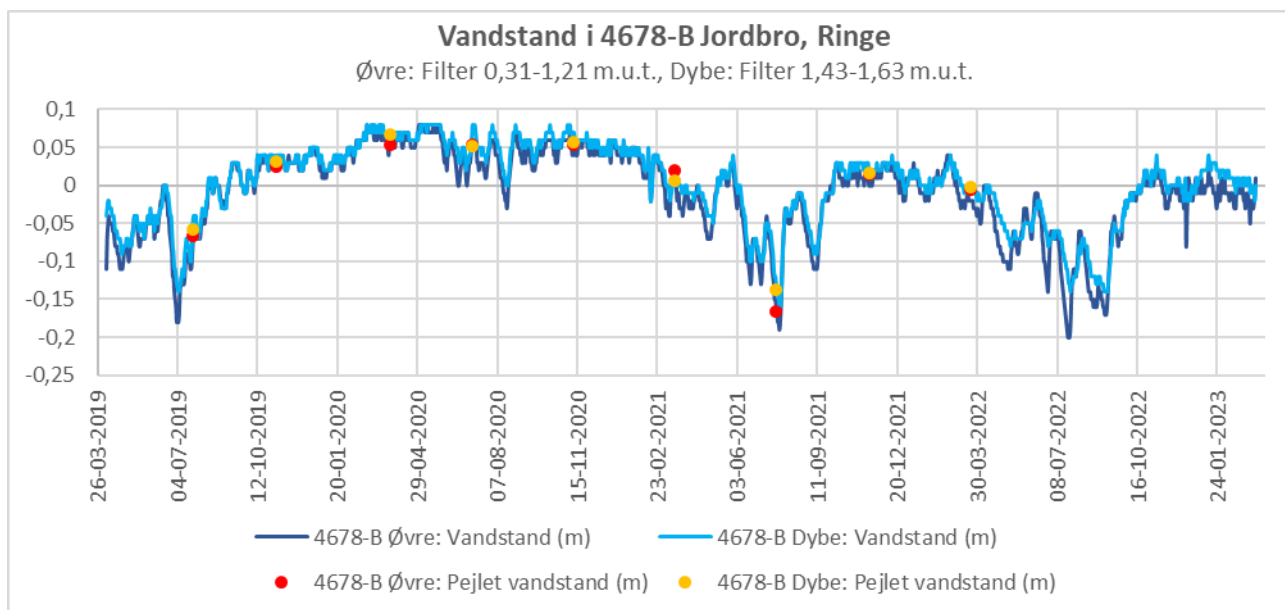
Den beregnede trykgradient svinger mellem svagt positiv og svagt negativ, og er gennemsnitligt tæt på neutral (inden for usikkerheden) gennem store dele af projektperioden. Dog er der perioder med tydelig positiv trykgradient i de tørre forårs- og sommerperioder i 2020, 2021 og 2022 samt i mindre grad i 2019. Dette indikerer, at en opadrettet grundvandstrøm kompenserer for fordampningstabet i tørkeperioderne.



Den positive trykgradient i forårs- og sommerperioder stemmer godt overens med observationer af "metalspejl" på stående vand i lavninger mellem tuerne, og den registrerede vegetation, der indeholdt 5 kærmosarter og andre rigkærsarter, som kræver konstant vandmættet jordbund.

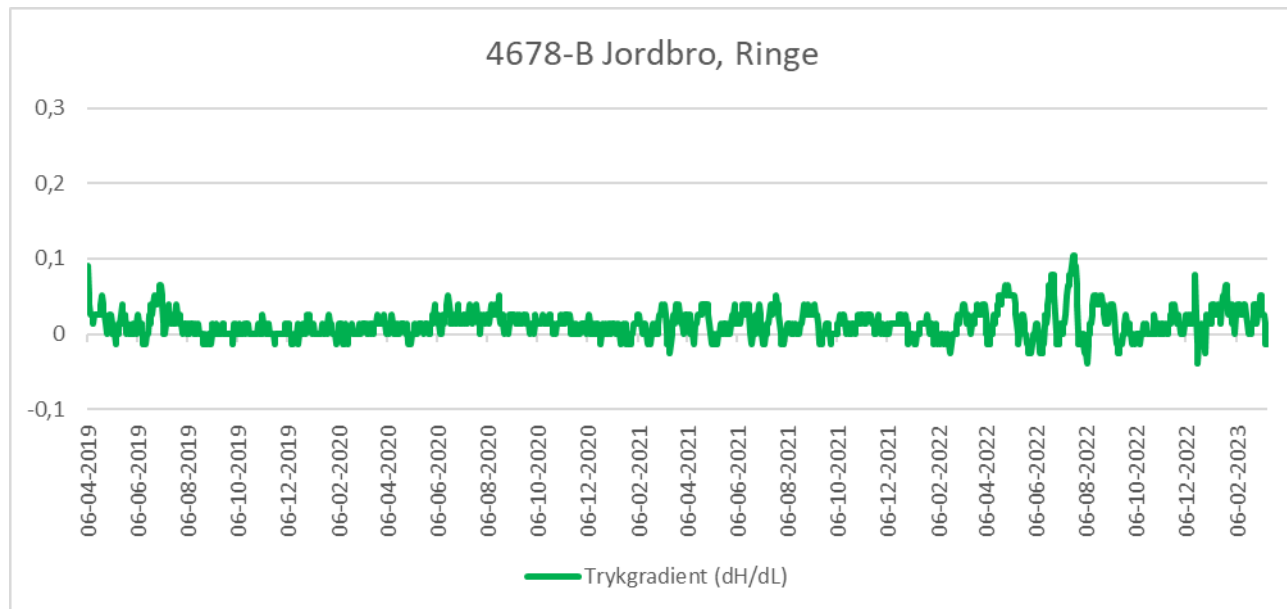
4678-B, Ringe

I det Ringe prøvefelt svinger vandstanden i det Øvre rør mellem 7 cm over terræn til 20 cm under terræn. Det Øvre rør er her filtersat fra 31 cm – 1,21 m under terræn, og det tyder på, at der er tryk på vandet, når det i perioder står over terræn. I felten er der observeret vand i eller under terræn. Det er derfor uvist hvor meget vandstanden reelt falder i tørkeperioder, det er formodentligt mere end grafen her afspejler. Vandstanden i det Dybe rør står på niveau med eller lidt over vandstanden i det Øvre rør. Der var ved dette prøvefelt en særdeles god overensstemmelse mellem de manuelle pejlinger og de beregnede vandstande.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Den næsten synkrone dynamik i de to dybder kan også ses som en god proxy for variationen af vandflux til rigkæret. M.a.o. har den ringe lokalitet en mere ustabil vandflux end den gode lokalitet. Den beregnede trykgradient var neutral til svagt positiv, men tydeligt svagere end i forårs- og sommerperioder i det Gode prøvefelt.



Dette stemmer godt overens med den vegetation, der er registreret i prøvefeltet, som rummer en del, men færre rigkærsarter end det Gode prøvefelt. Selvom 5 m-cirklen går ind og medtager vegetation, der mere kan henføres til fersk eng, er vandstandsrorene placeret i kanten af rigkæret, og at vandstanden ikke falder under 20 cm.u.t. vidner om, at der er en svag opadrettet vandbevægelse, der til en vis grad kompenserer for fordampningstab i tørkeperioder.

St. 4680 Halkær Sø (i N15/H15 i Aalborg Kommune)

Området ved Halkær Sø er præget af de hydrologiske ændringer der er sket i tidens løb. Først blev Halkær Sø afvandet og omdannet til et pumpelag, og senere blev Halkær Sø genoprettet. Søen ligger i kote 0,3 m og engene kun 10-30 cm og op til ½ m højere. I flg. ejer, som deltog ved udvælgelsen af prøvefelter, er der ud mod søen et dige, som skal forhindre oversvømmelse. Det er først ved ekstreme oversvømmelser at vand kan komme ind over diget, eller diget kan blive brudt, så rigkæret oversvømmes. Dvs. der reelt er tale om meget sjældne hændelser, men vandstanden kan dog i flg. ejer komme ½ meter op over terræn. Vi kunne i løbet af projektperioden konstatere, at prøvefeltet havde stået under vand en god del af vinteren, idet der var algebelægninger på vandprøverørens låg.



Algebelægninger på vandprøverørene vidner om længere perioder med oversvømmelse ved Halkær Sø.

Rigkæret er græsset, men dér hvor prøvefelterne ligger er der dog så vådt, at dyrene kun sjældent går derud. Denne del er derfor tilgroet med åben tagrørskov, stedvis med fin rigkærsvegetation i bunden. Ejer oplyser at der er mange meter til fast bund, men selvom bunden er blød, var den ikke hængesæksagtigt gyngende.

4680-A, God

Det gode prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 4680_11) blev udlagt i fin rigkærsvegetation med spredt tagrørsbevoksning, bl.a. med djævelsbid, tormentil, en del spydpil og maj-gøgeurter. Der var ved udlægningen stående vand i lavningerne og tuer af knoldstar og top star.

Ved inventeringen den 11. juli 2019 registrerede vi 51 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 6 mosser (3 kærmosarter) og 3 rigkærskaraktéristiske stararter. Antallet af stjernearter var 27 og to-stjernearter 4 (bl.a. sump-hullæbe). Vi fandt således flere arter end den registrering udpegningen var baseret på, men dette skal ses i lyset af, at GPS-usikkerheden ved afsætning af prøvefeltet var knap 5 m.



Det "gode" prøvefelt ved Halkær Sø ligger i rigkær med spredt tagrørsbevoksning.

Det "ringe" prøvefelt ved Halkær Sø ligger ved overgang til ren rørsump.

4680-B, Ringe

Det ringe prøvefelt (ved NOVANA-prøvefelt med Stednavn 4680_01) ligger ud mod søen og meget tæt på en gammel grøft, hvor rigkærsvegetation går over i ren rørsump med høj sødgræs og tagrør.

11. juli 2019 blev der kun fundet 24 plantearter i 5 m-cirklen, heraf 2 mosser (én kærmosart) og ingen rigkærskaraktiske stararter. Der er således ikke tale om rigkær, men om sump eller "kalkrige moser" (7200).

Vandstandsmålinger

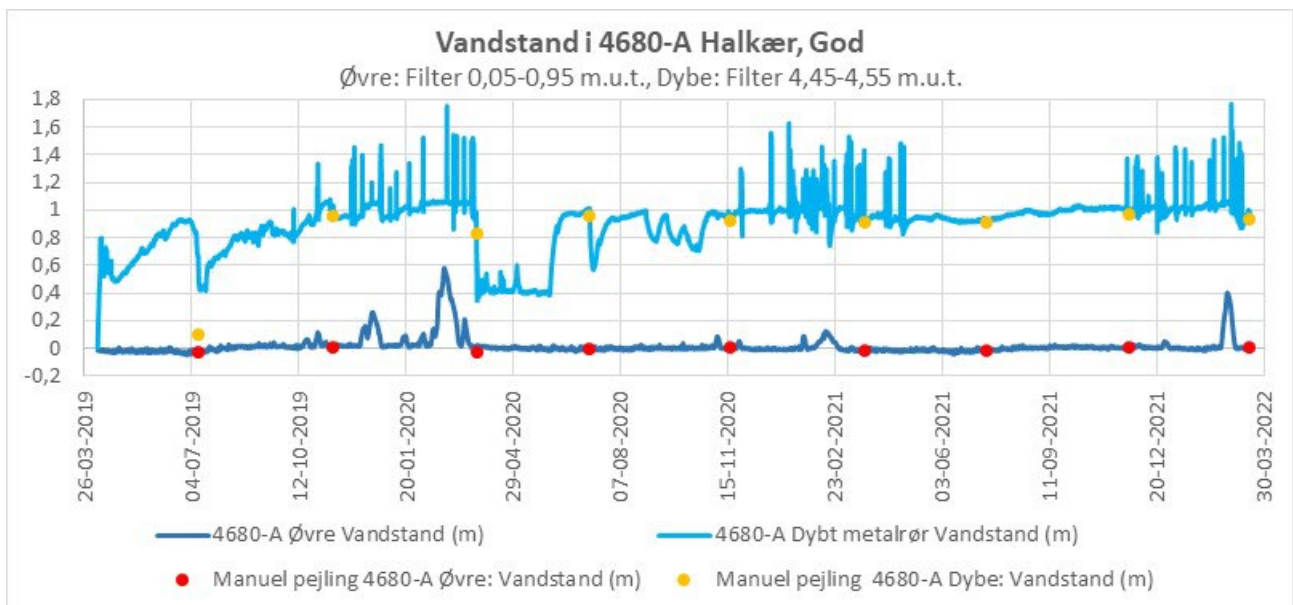
Pga. gytje var der problemer med meget langsom vandtilstrømning ved Halkær Sø, og GEUS installerede derfor 3. april 2019 to metalrør, der var filtersat i et vandførende sandlag i 4½ m dybde, og disse blev forsynet med Divere.



Vandrør bankes ned med elektrisk hammer til et vandførende lag i 4,5 m dybde ved Halkær Sø

4680-A, God

I det Gode prøvefelt ved Halkær Sø ligger den beregnede vandstandskurve i det Øvre rør det meste af tiden lige omkring terræn, mens vandstanden i det Dybe metalrør, som er filtersat i ca. 4,5 m dybde, ligger langt over terræn, hvilket viser at der er betydeligt tryk på vandet under gytjelaget.

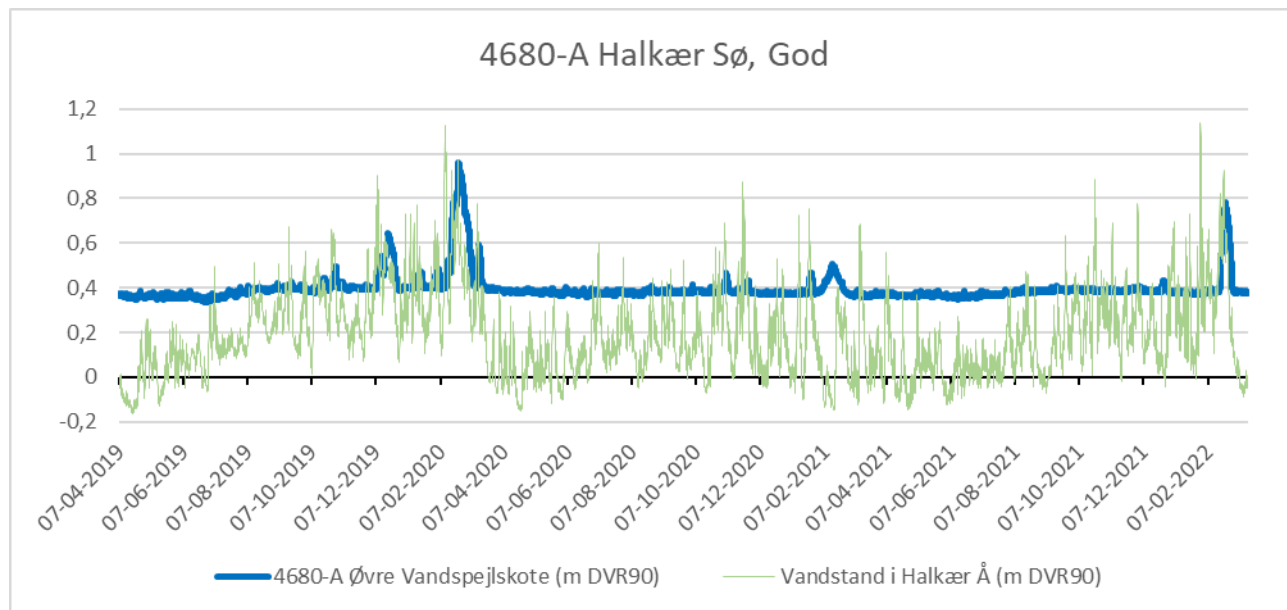


Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

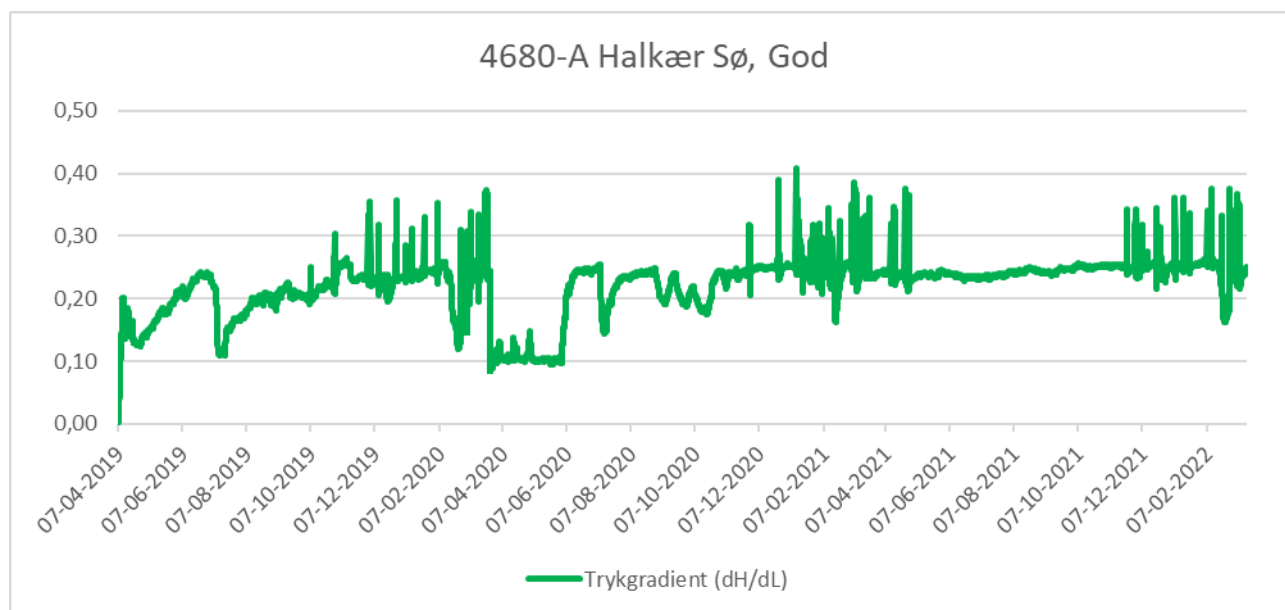
Der ses dog perioder, hvor vandstanden i det Øvre rør står op til 0,6 m over terræn, hvilket underbygger observationer samt oplysninger fra ejer om periodevis oversvømmelse. Lokalteteten ligger kun 38 cm over havniveau, og især ved kraftig vind fra NV kan der ske der stuvning af vand fra Limfjorden ind i Halkær Bredning og op i Halkær Å og Sø.

Der er en meget god sammenhæng mellem beregnede vandstande og manuelle pejlinger, bortset fra en enkelt pejling i juli 2019.

I nedenstående diagram ses, at der er en tydelig sammenhæng mellem forhøjet vandstand i Halkær Å, på en målestation umiddelbart nedstrøms Halkær Sø og vandstanden i det Øvre rør (omregnet til m.o.h. DVR90).



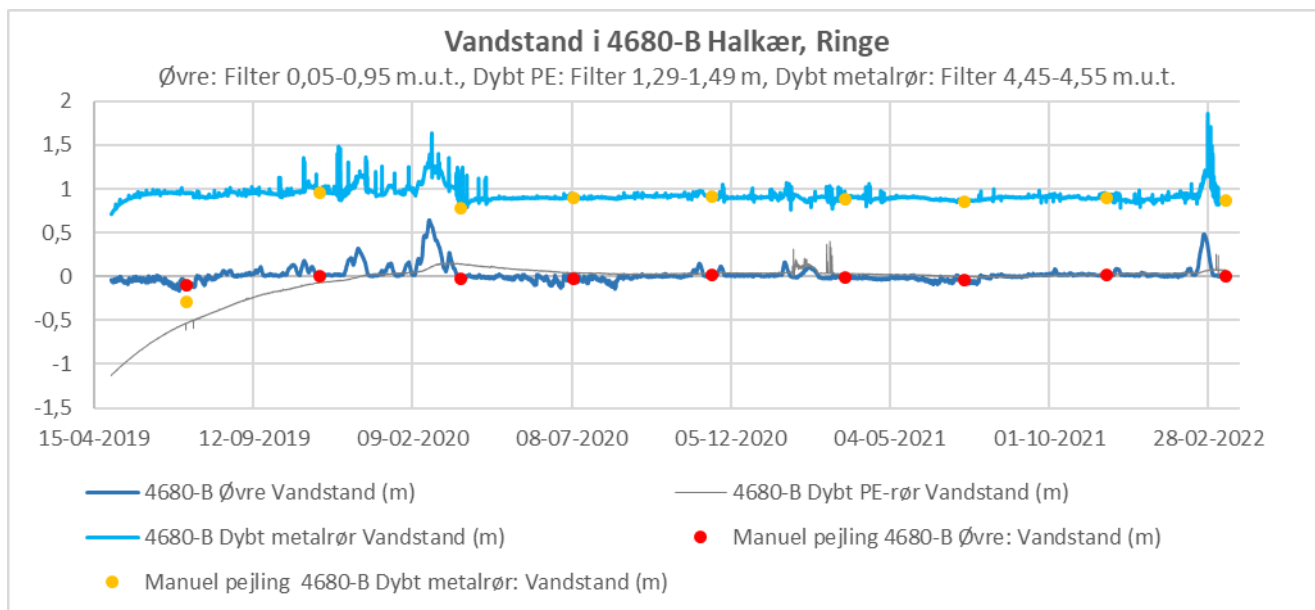
Den beregnede trykgradient er positiv, og der ses ikke tegn på fald i vandstanden i forbindelse med forårs- og sommertørke. Dette indikerer en opadgående vandbevægelse, hvilket også er forventeligt ud fra den observerede rigkærsvegetation. Vi kan ikke sige med sikkerhed, hvordan kontakten mellem grundvandet under gytjelaget til det vandførende lag over gytjelaget er. Det kræver en større undersøgelse med mange rør på forskellige placeringer og i forskellige dybder. Men det kan med stor sikkerhed konkluderes, at det høje tryk under gytjen medvirker til at opretholde en rimelig stabil vandflux i det øvre lag til rigkæret.



4680-B, Ringe

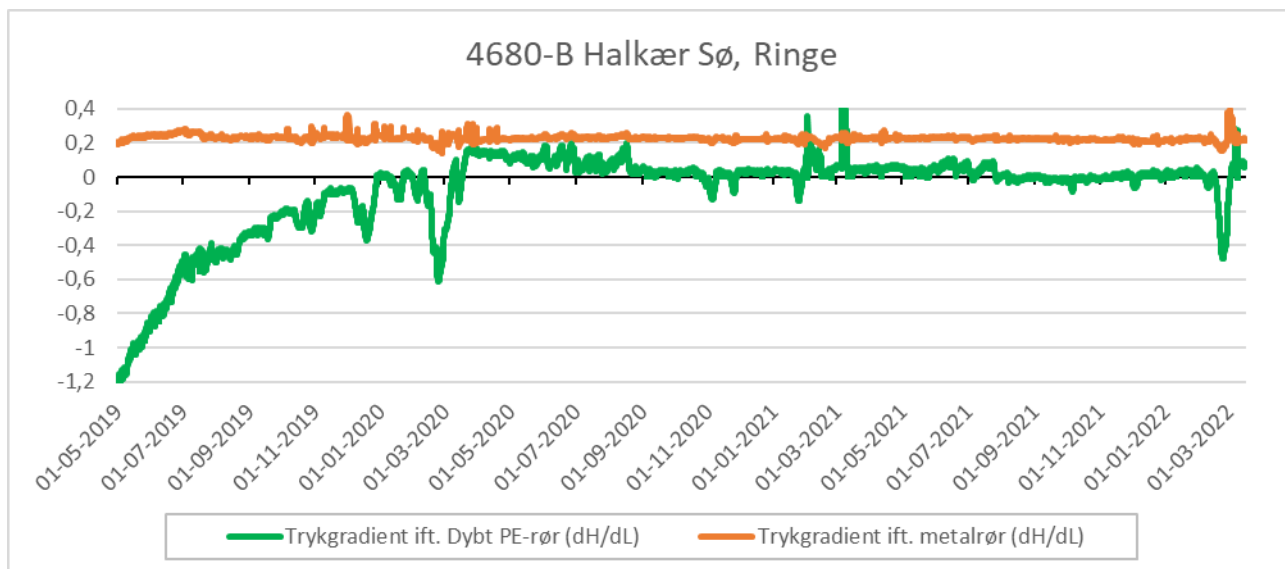
Vandstanden i det Øvre rør var tæt på terræn det meste af tiden bortset fra kortvarige fald og perioder med oversvømmelse, jf. ovenfor. I tørkeperioder i forårs- og sommerperioder falder vandstanden mærkbart, men ikke dybere end 16 cm.u.t.

Vandstanden i det Dybe metalrør (lys blå kurve) filtersat i 4,5 m dybde var konstant knap 1 m over terræn. I det Ringe prøvefelt blev der også installeret en logger i det Dybe PE-rør (filtersat 1,29-1,49 m) og vandstandskurven i dette rør (lys grå kurve) illustrerer den ekstremt dårlige vandledningsevne i gytjen, idet den var 8-9 måneder om at komme i balance. Herefter er den ca. på niveau med eller lidt over vandstanden i det Øvre rør, men vandstanden fortsætter med at reagere meget langsomt på ændringer, og det er svært at sammenligne kurverne direkte. Eksempelvis stiger vandstanden i det Dybe PE-rør langsomt til 15 cm over terræn efter oversvømmelse i marts 2020, hvorefter den falder meget langsomt til terrænniveau. Dette indikerer at oversvømmelseshændelsen har påvirket vandstanden i det Dybe rør, og at det ikke er tegn på øget tryk på vandet. Dette indikerer, at gytjen er vandstandsende både ift. at hindre opadrettet bevægelse af grundvandet, men også ift. nedsivning af overfladevand efter oversvømmelse. Vegetationen i det Ringe prøvefelt vokser således formodentlig ikke i grundvand, men i overfladevand.



Vandstand beregnet ud fra målinger fra tryktransducere. Y-akse: Vandstand ift. terræn i meter. X-akse: Dato

Den beregnede trykgradient i forhold til det Dybe metalrør er positiv, men vurderes at være misvisende, da det høje tryk på grundvandet i 4,5 m dybde næppe omsættes til en opad gående vandbevægelse. Det er mere sandsynligt at vandet bevæger sig horisontalt under gytjelaget mod Halkær Å. For det Dybe PE-rør er den beregnede trykgradient overvejende neutral-svagt positiv (grøn kurve) efter at vandstanden er kommet i balance. Det vurderes også her at trykgradienten er misvisende, da den høje vandstand i det Dybe PE-rør ikke skyldes trykvand.



Evaluering af vandstandsmålinger

Et velfungerende rigkær er karakteriseret ved en konstant vandstand nær terræn det meste af året, men i sommerhalvåret kan der ske mindre sænkninger mellem 10 og 40 cm under terræn (Ejrnæs m.fl. 2010). Den stabile vandstand er betinget af en opadgående grundvandstrøm, dvs. at trykgradienten er positiv, og der er en stabil høj flux af udstrømmende grundvand. Ved sommerudtørring som går dybere ned og/eller er af længere varighed, kan der stadig forekomme mere eller mindre forarmet rigkærsvvegetation, uden de mest følsomme arter af især kærmosser, der ikke tåler udtørring. De mest forarmede forekomster af rigkær har kun karplanter, der kan hente vand på større dybder, og ingen specialiserede kærmosser.

Af de 16 prøvefelter, der indgik i pilotprojektet, er der på baggrund af vandstandsmålingerne påvist en konstant vandstand i terræn eller relativt konstant (med kun kortvarige fald til >10 cm u.t.) i 10 prøvefelter (heraf 5 Gode og 5 Ringe), men for kun 4 af disse ses en tydelig positiv trykgradient. Det gælder især for de to prøvefelter ved Hærup Sø, hvor der var artesisk grundvand, men også det gode prøvefelt ved Kastbjerg Å og det Ringe prøvefelt i den vældprægede hængesæk ved Bredsgård Sø. Yderligere ses det Gode prøvefelt ved Simested Å pba de manuelle pejlinger at have en positiv trykgradient, det Gode ved Jordbro Å har positiv trykgradient i tørkeperioder og det Gode prøvefelt ved Halkær Sø har en positiv gradient pba målinger i 4,5 m dybde, som dog næppe hænger sammen med de observerede forhold ved overfladen. For de resterende er der en neutral trykgradient i 2 og der mangler data om trykgradienten i 1 prøvefelt. Disse observationer er opsummeret i nedenstående tabel.

Stednavn	Stationsnr.	Type	Vandstand i terræn	Vandstand i Øvre rør cm u.t.	Positiv trykgradient	Bem
Kielstrup Sø	0022	God	Konstant	omkring 0	Nej	Dybe rør sat for højt
Kielstrup Sø	0022	Ringe	Konstant	omkring 0	Mangler	
Kastbjerg Ådal	0058	God	Relativt konstant	fra 0 ned til 10-20	Ja	
Kastbjerg Ådal	0058	Ringe	Konstant	omkring 0	Nej	Dybe rør sat for højt
Villestrup Ådal	1130	God	Nej	fra 10 til 40-50	Nej	
Villestrup Ådal	1130	Ringe	Nej	fra 0 til 40-50	Nej	
Hærup Sø	1218	God	Konstant	omkring 0	Ja	Artesisk
Hærup Sø	1218	Ringe	Konstant	omkring 0	Ja	Artesisk
Bredsgård Sø	1222	God	Nej	fra 5-10 til 30-40	Nej	
Bredsgård Sø	1222	Ringe	Konstant	omkring 0	Ja	
Simested Å	4677	God	Relativt konstant	fra 0 ned til 10-15	Ja	
Simested Å	4677	Ringe	Relativt konstant	fra 0 ned til 10-20	Nej	
Jordbro Å	4678	God	Relativt konstant	fra 0 ned til 10-15	Nej	
Jordbro Å	4678	Ringe	Relativt konstant	fra 0 ned til 10-20	Ja, i tørkeperioder	
Halkær Ådal	4680	God	Konstant	omkring 0	Ja	Metalrør 4½ m.u.t
Halkær Ådal	4680	Ringe	Relativt konstant	fra 0 ned til 10-15	Ja	Metalrør 4½ m.u.t

Oversigt over resultater. På 7 lokaliteter er vandstanden meget konstant i terræn gennem hele perioden (omkring 0, falder aldrig under 5 cm u.t.), på 6 lokaliteter er vandstanden relativt konstant i terræn (fald til max. 10-20 cm u.t.) mens vandstanden på de sidste 3 lokaliteter ikke er konstant i terræn, da den enten er under terræn i hele perioden og/eller falder til 40-50 cm u.t.

Konklusionen er, at der generelt er god sammenhæng mellem konstant høj vandstand i det Øvre rør og en positiv trykgradient, men der er meget stor forskel på trykgradientens størrelse. På de forskellige lokaliteter i dette pilotprojekt varierer det fra artesisk vand ved Hærup Sø til et meget lille tryk på lokaliteter som Bredsgård Sø, God og Villestrup Å, God. I en bred ådal med en lille topografi og uden stejle skrænter, kan der

ikke forventes de helt store gradienter ved rigkærene, men hvis de hydrologiske forhold viser selv små gradienter i et meget vandledende sandlag og porøs tørv, kan dette give anledning til en (stor) stabil vandflux, der er karakteristisk for rigkærene.

Funktionalitet af vandstandsrør

Efter gennemgangen af vandstandsmålingerne fra de 32 rør, der blev installeret i dette pilotprojekt, er det muligt at få et overblik over funktionaliteten.

For 16 af de 32 rør var funktionaliteten tilsyneladende god, herunder 11 af de Dybe rør (begge Dybe rør ved Hærup Sø, Kastbjerg, Villestrup, Simested og Jordbro Å, samt ved det ringe prøvefelt ved Bredsgård Sø), mens det kun gælder for 5 af de Øvre rør (begge Øvre rør ved Kielstrup og Halkær Sø samt ved det Ringe prøvefelt ved Hærup Sø).

Øvre vandstandsrør filtersat i forskellige dybder: 11 af det Øvre rør var filtret sat relativt dybt (11-43 cm), hvilket kan have indflydelse på resultaterne, da de således måler trykvand i 11-43 cm dybde og ikke nødvendigvis den aktuelle vandstand ved jordoverfladen. Dette gælder det Gode prøvefelt ved Hærup Sø samt begge Øvre rør ved Kastbjerg, Villestrup, Bredsgård Sø, Simested og Jordbro Å.

På de omfattede lokaliteter må dette formodes at have betydning for, om der kan måles en op- eller nedadrettet vandbevægelse, ligesom størrelsen på den beregnede trykgradient kan være underestimeret. Flere steder er der så lidt tryk på vandet i det Dybe rør, at det kan have afgørende betydning for resultatet, det gælder bl.a. det Gode prøvefelt ved Villestrup Å, Bredsgård Sø, Simested og Jordbro Å, hvor det Øvre filter først starter i hhv. 38-43 cm dybde. I disse prøvefelter ville man forvente en opadrettet vandbevægelse, som ikke kunne konstateres entydigt i dette projekt. Her burde det Dybe rør have været filtersat dybere, jf. nedenfor. I andre tilfælde som fx Hærup Sø var der så stort tryk på vandet i det Dybe rør, at vandstanden var markant højere end vandstanden i det Øvre rør.

For 13 vandstandsrør er der konstateret ét eller flere problemer med funktionaliteten, som kan relatere sig til følgende forhold.

Manglende ventilationshul: I det Gode prøvefelt ved Kielstrup Sø blev der først boret et ventilationshul i det Dybe vandstandsrør den 14. maj 2019, og data kan først anvendes efter denne dato.

Dybe rør rammer ved siden af punktvis grundvandsudstrømning: På flere lokaliteter er der konstant høj vandstand i det Øvre rør, selvom den beregnede trykgradient er neutral eller negativ, da der ikke har kunnet påvises trykvand i det Dybe rør. Her kan en mulig årsag være, at grundvandsudstrømningen sker punktvis, og at det Dybe rør har ramt ved siden af det primære udstrømningspunkt. Lokalisering af udstrømningsområder kræver et større undersøgelses-setup, som ligger ud over dette projekts formål. Hvis grundvandet strømmer ud tæt på, kan en konstant mere eller mindre horisontal tilstrømning af grundvand forklare de permanent våde forhold. Dette gælder eksempelvis i det Gode prøvefelt ved Kielstrup Sø, hvor der er veludviklet rigkærsvegetation med mange arter, der er afhængige af permanent våde forhold. Der ses ikke tegn på forårs- eller sommerudtørring, hvilket peger på, at den beregnede trykgradient er misvisende. Det samme gælder i det Ringe prøvefelt ved Kastbjerg Å, det Gode prøvefelt ved Villestrup Å og Bredsgård Sø.

Dybe rør ikke sat dybt nok: I to tilfælde, hvor der ikke blev påvist en vertikal trykgradient i dette projekt (0022-A Kielstrup Sø, God og 0058-B Kastbjerg, Ringe), vurderes årsagen at være, at det øvre og dybe filter blev sat i dybder for tæt på hinanden under de givne hydrogeologiske forhold. Det Dybe rør burde her have været sat

dybere under forudsætning af, at sandlaget var tilstrækkelig tykt (2-3m dybde). Det er sandsynligt, at der ville have kunnet bestemmes en opadgående grundvandstrøm, hvis dette var sket.

Dysfunktionelt rør/målinger: I det Ringe prøvefelt ved Kielstrup Sø var det Dybe rør dysfunktionelt, og vandstanden var i følge de manuelle pejlinger stærkt svingende fra 7 cm over terræn til 85 cm under terræn. Årsagen er ukendt, men da røret blev brugt til prøvetagning, kan en del af forklaringen være, at der sker tilstopning med gytje. Dette forklarer imidlertid ikke, at der kan være så stor svingninger i vandstanden.

Løstsiddende rør: I det Ringe prøvefelt ved Bredsgård Sø var der problemer med at det Øvre rør sad så løst, at det blev skubbet ned i forbindelse med prøvetagningen, hvilket dog kunne korrigeres ved hjælp af kontrolmålingerne.

Vandprøvetagning i vandstandsrør: Det blev efter indledende observationer besluttet at der kun blev udtaget vandprøver i det Dybe rør på 3 af de 8 lokaliteter, Kielstrup Sø, Kastbjerg Å, og Hærup Sø, hvor det Dybe rør var filtersat i sand. På de øvrige 5 lokaliteter blev der ikke udtaget vandprøver i de Dybe rør, som var filtersat i tørv eller gytje. Alligevel blev vandstandsmålingen i det Dybe rør i det Gode prøvefelt i Kastbjerg Ådal forstyrret af prøvetagning, på trods af at det blev filtersat i et underliggende sandlag. Dette bekræfter, at vandprøvetagning i vandstandsrør som udgangspunkt bør undlades ved denne type undersøgelser i de øvre jordlag i terrestriske økosystemer.

Langsom tilstrømning: I det Dybe vandstandsrør i det Gode prøvefelt ved Bredsgård Sø var der problemer med meget langsom vandtilstrømning i omsat tørv, vandstanden var ca. 5 uger om at komme i balance efter renpumpning. Ved Halkær Sø var der pga. gytje problemer med meget langsom vandtilstrømning til de Dybe rør. Muligvis kunne man her have sat et nyt rør, der var i bedre kontakt med et vandførende lag.

Resultaterne i dette projekt indikerer, at der kun er meget begrænset opadrettet vandbevægelse på lokaliteter med stærkt omdannet tørv og gytje med ringe vandledningsevne.

Evaluering af metode til udvælgelse af lokaliteter og prøvefelter

Kravet om at lokaliteterne skulle ligge i 7 forskellige Natura-2000-områder medførte et meget stort ressourceforbrug til transport mellem lokaliteterne, ikke mindst fordi flere lokaliteter var svært tilgængelige. Med tre besøg pr. år var det af stor betydning for projektets ressourceforbrug. Man bør en anden gang inkludere logistik i udvælgelse af lokaliteter, så man ikke bruger mere tid på landevejene end højst nødvendigt, hvis det kan ske uden at gå på kompromis med intentionen om at lokaliteterne skal repræsentere så mange forskellige typer rigkær som muligt.

Principperne bag udvælgelse af et "Godt" og et "Ringe" prøvefelt egner sig godt, hvis man ikke har mulighed for at foretage udvælgelsen i felten. Der er dog en del problemer med denne tilgang, der har haft konsekvenser for resultaterne i dette pilotprojekt.

Problemerne omfatter:

- at nogle af prøvefelterne ikke tilhører naturtypen rigkær, men i stedet vældpræget hængesæk (Bredsgård, Ringe) eller fersk eng (Villestrup, Ringe) (dette gør stikprøven af rigkærsfelter mindre og reducerer udsagnskraften)
- at de parvise prøvefelter God/Ringe nogle steder ligger alt for langt fra hinanden og i forskellige naturtyper, der ikke kan sammenlignes (Bredsgård)

- at centrum af prøvefeltet i et enkelt tilfælde ligger på en forhøjning i terrænet (Villestrup, God) hvilket giver problemer ved tolkning af data fra 5 m-cirklen, der ligger lavere i terrænet
- at centrum af prøvefeltet i nogle tilfælde ligger på kanten af naturtypens afgrænsning, således at ca. halvdelen af 5 m cirklen er fersk eng
- at nogle prøvefelter tilsyneladende er påvirket af overfladevand
- at den bedste rigkærsvegetation flere steder findes så sporadisk, at den ikke er repræsenteret eller ikke rammes præcist, så 5 m cirklen inkluderer rigkær i ringere tilstand. Dvs. både God og Ringe ligger i periferien af den veludviklede rigkærsvegetation (Jordbro Å, Simested Å) eller det Gode prøvefelt inkluderer rigkær i ringere tilstand (Kastbjerg Å, God)
- at nogle lokaliteter har været uden drift/græsning så længe, at tilgroning med høje urter og krat som følge af naturlig succession giver et ringere naturindhold end de data der er brugt til udvælgelsen indikerer pga. bortskygning af lavtvoksende og lyskrævende arter. Dvs. af årsager som ikke er relateret til vandstand og vandkemi (Hærup Sø, Kielstrup Sø, Simested Å, Bredsgård Sø).

Det ville sandsynligvis have givet bedre/mere entydige resultater, hvis udvælgelsen var sket i felten, på den rette årstid, af en erfaren og naturtypekyndig feltbotaniker. Som minimum burde der have været en instruks om "finjustering" af placeringen med henblik på at få placeret centrum af prøvefelterne i et så homogent område som muligt, både med hensyn til naturtype, vegetation og terræn.

Konklusion og anbefalinger vedr. vandstandsmålinger

Når det selv i Gode prøvefelter med konstant vandstand i terræn og med karakteristisk rigkærsvegetation i visse tilfælde har været vanskeligt at måle en opadrettet vandbevægelse, kunne det tyde på, at metoden er meget følsom overfor placeringen af vandstandsrorene, dels vertikalt, dels horisontalt.

Filterdybde af Dybe rør: I nogle tilfælde blev det dybe rør ikke sat dybt nok under de give hydrologiske forhold. Det peger på, at der bør være en opfølgning efter de første vandstandsmålinger, hvor man tjekker om det dybe rør står som det skal, og har mulighed for at justere dybden. Et pejlerør anbefales etableret med håndboring ved brug af et forerør, så filteret kan få en tilstrækkelig dybde.

Punktvis udstrømning/heterogen jordbund: I områder med punktvis grundvandsudstrømning er der stor risiko for, at man med en tilfældig placering af kun ét Dybt vandstandsør (som i dette pilotprojekt) rammer forbi det område, hvor grundvandet strømmer ud. I områder, der har været omfattet af dræning, er der desuden risiko for at ramme enten tidligere grøfter/dræn eller stærkt omsat, lavpermeabel tørv i nærheden af tidligere grøfter/dræn, som påvirker resultatet. Det anbefales, jf. ovenfor, derfor ikke, at vandstandsør sættes tilfældigt, men at de sættes med hensyntagen til vegetationens sammensætning og observerede forhold samt historiske kort/luftfotos, der kan afsløre evt. tidligere grøfter/dræn. Om muligt bør der sættes mere end ét Dybt rør i tilknytning til hvert af de Øvre rør.

Vandstandsmålinger vs. trykgradient: Beregning af trykgradientens størrelse giver værdifuld information, da det kan relateres til vandfluxen, men ved begrænsede ressourcer bør det overvejes kun at sætte Øvre vandstandsør, der måler vandstanden i terræn, da en permanent vandstand, uden væsentlige fald i tørkeperioder, nødvendigvis må være betinget af trykvand. Herved undgår man risikoen for at sætte det Dybe rør i stærkt omsat tørv eller at ramme ved siden af en punktvis grundvandsudstrømning. Det bør i stedet overvejes at sætte mere end ét Øvre vandstandsør, så en større del af lokaliteten kan blive repræsenteret.

Stærkt omsat tørv eller gytje: Det anbefales under alle omstændigheder ikke at etablere Dybe rør i stærkt omsat tørv eller gytje, med meget ringe vandledningsevne. Det vurderes, at det ikke er muligt at foretage

retvisende målinger af en evt. meget svag opadgående grundvandstrøm. Der er risiko for fejlslutning om tilstedeværelse af trykvand, hvis der måles højt tryk på grundvandet under tørvepakken, da dette ikke kan dokumentere en opadrettet vandbevægelse, hvis tørven er meget lidt permeabel.

Fuldt slidset Øvre vandstandsrør: I tidligere vandstandsmålinger i NOVANA blev vandstanden i terræn målt i rør, der var perforeret hele vejen op. Den primære årsag til, at de Øvre vandstandsrør i dette projekt skulle sættes 5 cm under terræn, var at forhindre at vandprøvetagningen blev "forurennet" pga indtrængende overfladevand. I dette pilotprojekt blev det imidlertid fra start klart, at der slet ikke burde udtages vandprøver i de Øvre vandstandsrør, da det pga langsom vandbevægelse ville forstyrre vandstandsmålingerne for meget. Hvis det alene er vandstanden, der skal måles, er det ikke længere nødvendigt at skelne mellem overflade- og grundvand. Det anbefales derfor at anvende vandstandsrør, der er slidset hele vejen op, i stedet for at filtersætte dem 5 cm under terræn.

Vandprøvetagning i separate rør: På baggrund af langsom vandtilstrømning og forstyrrelse af vandstandskurverne, anbefales det ikke at tage vandprøver i vandstandsrør i det hele taget, heller ikke selvom de tilsyneladende er filtersat i sand. Evt. vandprøver bør altid tages i separate vandprøverør.

Terrænfikspunkt: Metoden med at anvende en jordskrue som terrænfikspunkt har fungeret godt og har minimeret den tvivl der ellers kan opstå i ujævnt og evt. tuet terræn om terrænkoten. Ved små forskelle mellem vandstanden i det Dybe og Øvre vandstandsrør er det helt afgørende, at terrænkoten er fast, og at den er indmålt med differential GPS. Desuden skal rørenes højde indmåles helt præcist i forhold til terrænfikspunktet, eksempelvis vha. vaterpas og tommestok som anbefalet i Vejledningen. Denne praksis er nødvendig for at de manuelle pejlinger bliver retvisende og anvendelige i forhold til kalibrering af vandstandskurverne.

Ventilationshuller: Det anbefales at bore 2 eller flere ventilationshuller samt evt. indføre kontrol med ventilationshullet i forbindelse med tilsyn med vandstandsrørene, da et tilstoppet/manglende ventilationshul kan gøre resultaterne uanvendelige.

Forankring af vandstandsrør: I vældpræget hængesæk anbefales det at forankre vandstandsrørene, så det ikke er risiko for at de forskyder sig vertikalt. Da det antages at hængesækkes overflade kan hæve/sænke sig, bør forankringen ske til tværgående stænger og ikke til den underliggende faste bund.

Stærkt svingende vandstandskurve: Flere steder ses store udsving i vandstanden i det Øvre rør, især i sommerperioden (bl.a. i det Gode prøvefelt ved Bredsgård Sø og Jordbro Å). Stor variation i det fri vandspejl (Øvre rør) i sommerperioden er ikke ualmindeligt, da det er en årstid med en hårfin balance mellem fordampning og nedbør, som kan give stor dynamik.

Stabile iltisotoper

Til analyse af kontakten mellem grundvand, rigkær og overfladevand (søer, vandpytter eller vandløb) benyttes stabile iltisotoper ($\delta^{18}\text{O}$) som supplement til vandstandsmålingerne, med det samlede formål at beskrive retningen af vandbevægelser mellem grundvand og rigkær.

Målingen af forholdet mellem O^{18} og O^{16} koncentrationer i grundvandmagasiner og grundvand i rigkær relateres til standard prøver af vand med en sammensætning aftalt internationalt i forhold til den såkaldte 'Vienna Standard Mean Ocean Water' (VSMOW). $\delta^{18}\text{O}$ notationen udtrykker afvigelsen mellem standard og målte prøver fra grundvand, sø og å som negative værdier. Dansk grundvand har i få meters dybde en $\delta^{18}\text{O}$ koncentration på omkring -7,7 til -8,5 ‰, svarende til årsgennemsnit for nedbør i Danmark (Müller m. fl.,

2017). I søvand vil fordampningsprocessen fra vandoverfladen relativt fjerne mere O^{16} i forhold til O^{18} således at typiske $\delta^{18}O$ koncentrationer for dansk søvand måles i intervallet -2,5 til -3,5 ‰. Der er således stor kontrast mellem søvand og grundvand.

Alle pilotprojektets lokaliteter indikerer opadrettet vandbevægelse. Oftest er vandbevægelsen mellem rigkær og vandløb i retning mod vandløb (opadrettet vandbevægelse), således at isotopsignalet svarer til grundvand i en vandprøve. Oversvømmelser af arealer med grundvandsafhængig terrestrisk natur (herunder rigkær) fra vandløb (og havet) kan forekomme og resultere en påvirkning af isotopsammensætningen fra overfladevand på rigkæret. Ingen af pilotprojektets lokaliteter ved søer (Halkær Sø, Hærup Sø og Bredsgård Sø) indikerer nedadrettet vandbevægelse fra oversvømmelser med overfladevand ind i rigkærene. Dette på trods af at det ringe prøvefelt i Bredsgård Sø er tydeligt næringspåvirket, jf. ovenfor.

På alle 8 lokaliteter i pilotprojektet er udtaget stabile iltisotoper. Iltisotopværdierne for alle lokaliteterne varierer inden for intervallet -7,7 til -8,8 ‰, hvilket svarer nogenlunde til sammensætningen af grundvand. Der vurderes derfor ikke at være væsentlige negative påvirkninger ved nedsivning af overfladevand til rigkærene.

Det anbefales, at stabile isotopmålinger rutinemæssigt udtages som supplement til vandstandsmålinger, når strømningsbilledet af vandbevægelserne i en hydrogeologisk forståelsesmodel skal udvikles for et rigkær med kontakt mellem grundvand, rigkær og overfladevand. Tidligere undersøgelser for to fynske eksempler ved Urup Dam (Nilsson med flere 2015) og Dalum ved Odense Å (Sode og Nilsson 2022) har vist værdien af at kombinere vandstandsmålinger i transekter ved rigkær suppleret med iltisotop analyser.

Perspektivering

Indeværende pilotprojekt koncentrerer sig om hydrologiske forhold i rigkær, og som beskrevet er kendskab til hydrologien i et område afgørende som grundlag for at planlægge og tilpasse naturplejeindsatser. De i notatet beskrevne metoder er imidlertid relevante i flere sammenhænge.

- Vandstandsmålinger indsamlet i vådområder med grundvandsafhængige terrestriske økosystemer (GATØ) til vurdering af biodiversitet og naturtilstand er i dette studie kun udført for habitatnaturtypen rigkær. Der bør laves yderligere, lignende undersøgelser af øvrige GATØ naturtyper i god og ringe naturtilstand. Det anbefales, at der udvikles typologier for vandstandsvariationer typisk for de forskellige våde naturtyper til støtte for udvikling af de konceptuelle forståelsesmodeller for de forskellige GATØ naturtyper.
- Det er vigtigt at tage kemiprøver fra det grundvand, der står umiddelbart under GATØ, så vi får det bedste bud på vandkvaliteten af grundvandet, der står i grænselaget mellem grundvand og ådalsaflejring, hvorpå GATØ er tilknyttet. Uden den information kan vi intet sige om grundvandvandets påvirkning af GATØ i forhold til EU's Vandrammedirektiv¹, herunder de grundvandsafhængige habitatnaturtyper jf. Habitatdirektivet². Tilbage står, at vi ved meget lidt om den interne omsætning af næringsstofferne afhængig af, hvilke strømningsveje næringsstofferne følger, den sidste vej før de rammer GATØ-forekomsten.
- Store samfundsværdier er knyttet til bymæssige arealer, hvor større vandløb strømmer til havet (fx Odense, Holstebro, Vejle, Kolding), og der er dermed stor interesse for at forbedre forståelsen for den hydrologiske dynamik i disse områder. Til kalibrering af det terrænnære grundvandsspejl i den nationale hydrologiske model (DK-modellen) har man i overvejende grad manglet vandstandsmålinger i naturområder til at forbedre forståelsen og forudsigelsen af tidspunkter for, hvornår væsentlige oversvømmelses- eller tørkehændelser påvirker afstrømningen i vandløbsoplande i Danmark, og måling af vandstandsniveauer på naturarealer er dermed også væsentlige i denne sammenhæng.
- Kvantificering af emission af klimagasser fra vådområder og lavbundslande har hidtil været modelleret med ikke-dynamiske vandstande, dvs. ud fra en forsimplet model af virkeligheden, der ikke indregner betydningen af årsdynamik i vandstandsniveauer. Med de nye højopløselige vandstandsdata i (time-dagstidsskridt) er det nu muligt at forbedre estimerne af emissioner fra naturgivne lavbundsarealer eller vådlagte lavbundslande, fx til støtte for Den Grønne Trepert.
- Da vandstandsmålinger er både ressourcekrævende og vanskelige at udføre korrekt, og da arter af kærmosser har forskellig tolerance i forhold til omfang og varighed af sommerudtørring, foreslås det at udvikle et "hydrologi-mosindeks", så status for den hydrologiske tilstand af de grundvandsbetingede habitatnaturtyper som rigkær og kildevæld kan evalueres ud fra deres indhold af kærmosser.

¹ EU (2000): European Commission. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, of 23 October 2000, establishing a framework for community action in the field of water policy. Off. J. Eur. Communities 2000, 327, 1–73.

² Habitatdirektivet (1992): Rådets direktiv 92/43/EØF om bevaring af naturtyper samt vilde dyr og planter med senere ændringer

Referencer

1. Nygaard, B. m.fl. 2019: Vejledning til opsætning af vandstandsør og prøvetagning. Pilotprojekt om vandstand og vandkemi i rigkær [Vejledning Vandstand Terrestriske Naturtyper V1 02.pdf](https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/biodiversitet/tekniske-anvisninger/). (på <https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/biodiversitet/tekniske-anvisninger/>)
2. Nygaard, B. 2018: Mini-vejledning til udvælgelse af områder til opsætning af vandstandsør.
3. Nilsson, B. m.fl. 2019: Geologisk karakterisering og opsætning af vandstandsør i Himmerland og Midtjylland, https://data.geus.dk/pure-pdf/32604_GEUS_R_2019_4_opt.pdf
4. Nilsson B, Ejrnæs R, Vinther E, Thorling L, Andersen D (2015). Samspillet mellem grundvand, rigkær og oversvømmelser. Vand & Jord, 22 årgang, 86-90. <https://vand-og-jord.dk/wp-content/uploads/2021/02/vj315-grundvand-og-rigkaer-86.pdf> Nilsson B, Voigt H, Plöger E, Thorling L (2015). Hvad har melet kodriver og rustskæne med grundvand at gøre ?. URT, 39:1, 32-36
5. Johansen OM, Andersen DK, Ejrnæs R, Pedersen ML (2018). Relations between vegetation and water levels in groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTEs). Limnologia, 69, 130-141, DOI 10.1016/j.limno.2017.01.010
6. Vinther, E., 24. september 2013: Notat vedr. Vandstandsør i terrestriske naturtyper - Opsætning, filtersætning, udtagning af vandprøver mm. J.nr. 014-00176, Naturstyrelsen Fyn, Miljøministeriet (upubl.).
7. Bjerregaard, H., 2019: Sammenhæng mellem vandstand, vandkemi og vegetation i rigkær, <https://life-natureman.dk/supplerende-projekter/forsknings-og-udviklingsprojekter/sammenhaeng-mellem-vandstand-vandkemi-og-vegetation-i-rigkaer>
8. Ejrnæs, R. & Nygaard, B. 2024: Biokalibrering af hydrologi og næringsstoffer i rigkær. Resultater fra NOVANA programmets pilotprojekt om hydrologi. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s. - Fagligt notat nr. 2024 | 12. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2024/N2024_12.pdf
9. Ejrnæs, R., Andersen, D. K., Baattrup-Pedersen, A., Damgaard, C. F., Nygaard, B., Dybkjær, J. B., Christensen B. S., Nilsson, B. & Johansen, O. M. (2010). Hydrologiske og vandkemiske forudsætninger for en god naturtilstand i grundvandsafhængige terrestriske økosystemer. Notat fra Århus Universitet (Økohydrologinotatet). https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/42683139/Hydrologiske_og_vandkemiske_foruds_tninger_for_en_god_naturtilstand_i_grundvandsafh_ngige_terrestriske_kosystemer.pdf
10. Robbins med flere (1997). Bacterial indicators of Ground-Water Discharge Iron Seeps in the Shingobee River and Crow Wing watersheds, Northern Minnesota. USGS Water Resources Investigations Report 96-4215.
11. Müller S., Stumpp C., Sørensen J.H., Jessen S. (2017). Spatiotemporal variation of stable isotopic composition in precipitation: Post-condensational effects in humid area. Hydrol. Process., 31, 3146-3159.
12. Sode A & Nilsson B (2022) Overvågning af 'Sumpskov' og 'Lillesø' med omgivelser opstrøms motorvejen i relation til fjernelse af spærring i Odense Å ved Dalum Papirfabrik. SBH consult & GEUS.

