

Biokalibrering af hydrologi og næringsstoffer i rigkær

Resultater fra NOVANA programmets pilotprojekt om hydrologi

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 5. Marts 2024 | 12



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Biokalibrering af hydrologi og næringsstoffer i rigkær
Undertitel: Resultater fra NOVANA programmets pilotprojekt om hydrologi

Forfatter(e): Rasmus Ejrnæs & Bettina Nygaard
Institution: Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet

Faglig kommentering: Camilla Fløjgaard
Kvalitetssikring, DCE: Jesper Fredshavn

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: 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

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Prøvetagning i området i ringe tilstand i Villestrup Ådal.
Foto: Henriette Bjerregaard, MST.

Sideantal: 26

Indhold

1	Forord	4
2	Baggrund	5
2.1	Formål	6
3	Metoder	7
3.1	Lokaliteter	7
3.2	Målinger af vandstand	8
3.3	Målinger af vandkemi	10
3.4	Løvprøver	11
3.5	Arts sammensætning og vegetationsstruktur	12
3.6	Isotopmålinger	13
4	Resultater	14
4.1	Gode og ringe prøvelfelter	14
4.2	Variation i vandkemi	14
4.3	Korrelation mellem vegetation, næringsstoffer og hydrologi	16
4.4	Forudsigelse af biologisk tilstand ud fra vandstand og vandkemi	16
4.5	Artsbaserede indikatorer	18
4.6	Biokalibrering af vandstand og vandkemi	18
4.7	Biokalibrering af vandstandsfluktuationer	19
4.8	Biokalibrering af vandkemiske målinger	20
4.9	Forudsigelse af biologisk tilstand ud fra løvprøver	21
5	Konklusioner og anbefalinger	23
6	Referencer	25

1 Forord

Nærværende notat beskriver resultaterne fra NOVANA-pilotprojekt om hydrologisk overvågning af rigkær. Projektet er udsprunget af et generelt behov for at få en bedre forståelse af de våde naturtypers hydrologiske forudsætninger, men også mere specifikke og konkrete behov for at afprøve metoder til hydrologisk overvågning og vurdere om den eksisterende overvågning af vegetation, jordbund og løvprøver giver en retvisende og tilstrækkelig beskrivelse af hydrologi og vandkemi i rigkær. Miljøstyrelsen har haft ansvaret for at gennemføre den hydrologiske monitoring og Aarhus Universitet, DCE, har haft ansvaret for at analysere data og rapportere resultaterne.

Seniorforsker Bertel Nilsson (GEUS) har undervejs rådgivet om metoder og databehandling og biolog Henriette Bjerregaard i Miljøstyrelsen har haft en nøglerolle i opsætning af prøvetagningsområder og bidraget med detaljerede, indsigtsfulde og værdifulde kommentarer til databehandling, analyser og resultater af projektet.

2 Baggrund

For mange fugtige og våde habitatnaturtyper er det hydrologiske regime i form af vandstand, fluktuationer og vandbevægelse samt vandets kemiske sammensætning afgørende for den biologiske tilstand. Det gælder eksempelvis naturtypen rigkær, der er en grundvandsbetinget naturtype, der findes, hvor kalkrigt, mineralrigt og næringsfattigt grundvand vælder frem og trykkes op i rodzonen. Naturlig hydrologi er her relateret til en permanent høj vandstand som følge af opstigende grundvand, der blandes mere eller mindre med udsivende vand fra vandløb, afstrømmende vand fra højere liggende arealer og/eller tilbageholdt nedbør. Men også habitatnaturtyper som avneknippe-mose (7210), kildevæld (7220), de kalk- og mineralrige varianter af klitlavning (2190), tidvis våd eng (6410) og hængesæk (7140) samt skovtypen elle- og askeskov (91E0) er, eller kan være, direkte afhængige af udstrømninger af næringsfattigt grundvand. Høj grundvandsstand kan også være en forudsætning for overlejring og dannelse af højmoser (7110), sure fattigkær med hængesæk (7140), tørvelavninger (7150), kløkkelyngheder (4010) og skovbevokset tørvemose (91D0), selvom der med tiden er opstået en adskillelse mellem grundvandet og det ionfattige regnvand og overfladevand, som føder disse sure naturtyper.

Siden NOVANA-overvågningens start i 2004 har der været fokus på at finde operationelle metoder til at beskrive det hydrologiske regime og vandets indhold af næringsstoffer på de overvågningsstationer, der er udlagt for at følge tilstand og udvikling af fugtige og våde terrestriske habitatnaturtyper. Det har imidlertid vist sig at være særdeles vanskeligt at måle vandstand og vandkemi på en reproducerbar og omkostningseffektiv måde. Der gælder både rent metodiske udfordringer med tilladelser til opsætning af vandstandsror, sammenblanding af vand fra rodzonen og jordoverfladen, feltfiltrering af og måling af pH i vandprøver mm. Men via overvågningen er det også blevet dokumenteret at vandstanden og næringskoncentrationerne varierer betydeligt over selv ganske små afstande, hvilket betyder, at en egentlig hydrologisk monitoring vil kræve mange vandstandsloggere og -prøver på hver overvågningsstation. Samtidig varierer næringsindholdet i vandprøverne stærkt gennem sæsonen afhængig af afstrømningshændelser fra oplandet og interne processer i tørven og vegetationen, hvilket betyder, at en enkelt måling midt på vækstsæsonen ikke er retvisende for belastningsgraden i systemerne (Ejrnæs et al. 2010, Andersen et al. 2013).

I NOVANA-programmet for de terrestriske naturtyper er der behov for relativt enkle indikatorer som kan indsamles på et stort repræsentativt netværk af stationer. I perioden 2019-2022 er der derfor gennemført et hydrologiprojekt på otte lokaliteter, hvor der er testet mere ekstensive metoder til kortlægning og overvågning af hydrologi og vandkemi med henblik på at finde enkle, pålidelige indikatorer, der kan implementeres på alle stationer af de relevante naturtyper.

2.1 Formål

Hydrologiprojektets overvågning har haft to primære formål: 1) at undersøge om de hydrologiske data og vandkemiske data, som kan indsamles i kraft af instrumenteringen af rigkærene i projektet, giver et godt billede af den biologiske virkelighed i kærerne og 2) at undersøge om man kan opnå samme indikation af naturtilstand, hydrologiske forhold og næringsstofbelastning ved at bruge de almindelige NOVANA-data i form af plantelister, pH-målinger og løvprøver med næringsstofbestemmelse.

3 Metoder

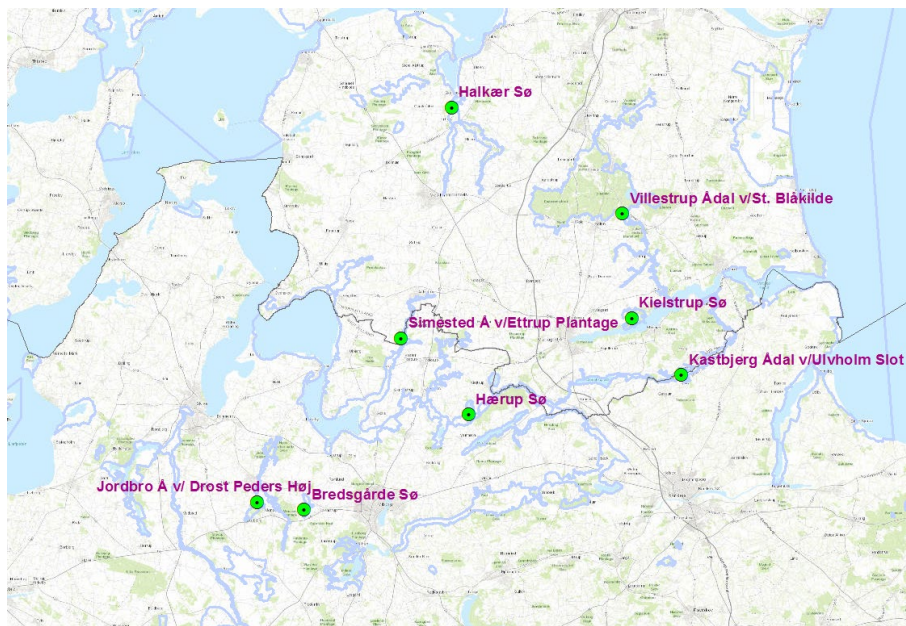
3.1 Lokalteter

Hydrologiprojektet er gennemført i perioden 2019-2022 på otte lokaliteter med forekomst af velfungerende rigkær i himmerlandske og midtjyske ådale, der er omfattet af LIFE IP-projektet (Figur 1). Rigkær opfattes i dette projekt i bred forstand, og enkelte lokaliteter er placeret i områder med hængesæk/kildevæld med rigkærsvegetation. Lokalteterne er udlagt på eksisterende overvågningsstationer, hvor der allerede er foretaget en dokumentation af arealets tilstand og udvikling (Tabel 1). På hver lokalitet er identificeret et prøvefelt fra overvågningsstationen, hvor rigkæret er i en god tilstand (det gode prøvefelt) og et tilsvarende prøvefelt med rigkær i mindre optimal tilstand, der ligger så tæt på det gode prøvefelt som muligt (det ringe prøvefelt). Det "gode" prøvefelt er identificeret (i NOVANA-data) og udvalgt i feltet, så det har et relativt højt antal arter af de særlige mosser og karplanter som karakteriserer naturtypen (Ejrnæs m.fl. 2009) og en lav næringsbelastning udtrykt ved næringsratioen (Ellenberg N/Ellenberg R, Andersen m.fl. 2013). Tilsvarende er det "ringe" prøvefelt udvalgt ved et lavt antal karakteristiske arter og en høj næringsratio. Udvælgelsen af lokaliteterne og prøvefelterne er altså foretaget ud fra vegetationens artsammensætning og ikke ud fra de geologiske forhold. Ved afsætning af prøvefelterne i feltet er anvendt håndholdt GPS med en usikkerhed på op til 5-7 meter, hvorfor der ikke nødvendigvis er tale om det præcist samme prøvefelt, som udvælgelsen er foretaget på baggrund af.

Tabel 1 Oversigt over de 8 lokaliteter hydrologiprojektet er gennemført på.

Lokalitet	Habitatområde	Stationsnummer	Græsning	Test af rumlig variation
Kielstrup Sø	H22	22	Nej	Ja
Kastbjerg Ådal	H223	58	Ja	Nej
Villestrup Ådal	H222	1130	Ja	Nej
Hærup Sø	H30	1218	Nej	Ja
Bredsgård Sø	H38	1222	Nej	Nej
Simested Å	H30	4677	Nej	Ja
Jordbro Å	H39	4678	Ja	Nej
Halkær Sø	H15	4680	Ja	Nej

Figur 1. Oversigt over de 8 lokaliteter hydrologiprojektet er gennemført på. Navngivningen henviser til overvågningsstationerne (se Tabel 1).



3.2 Målinger af vandstand

3.2.1 Feltmetoder

I hvert af de 16 prøvelfelter er der foretaget en parvis opsætning af faste vandstands-rør, der måler den aktuelle vandstand og trykpotentialet (se detaljerne i Nygaard m.fl. 2022). Der er et "øvre" rør, der måler den aktuelle vandstand og et "dybt" rør, der måler vandets trykpotentiale og vertikale gradientforhold. De to typer vandstands-rør placeres med en indbyrdes afstand på max. 1 m (se Figur 2).

Der er foretaget en kortlægning af jordbundsforholdene til at guide placering af filtersætningen til bestemmelse af de hydrauliske gradientforhold i hvert område (opadrettet/nedadrettet vandbevægelse). Den geologiske karakterisering af jordbundsprofiler, filtersætning og opsætning af vandstands-rør blev foretaget af GEUS i perioden 1.-10. oktober 2018 (Nilsson m.fl. 2019 https://data.geus.dk/pure-pdf/32604_GEUS_R_2019_4_opt.pdf).

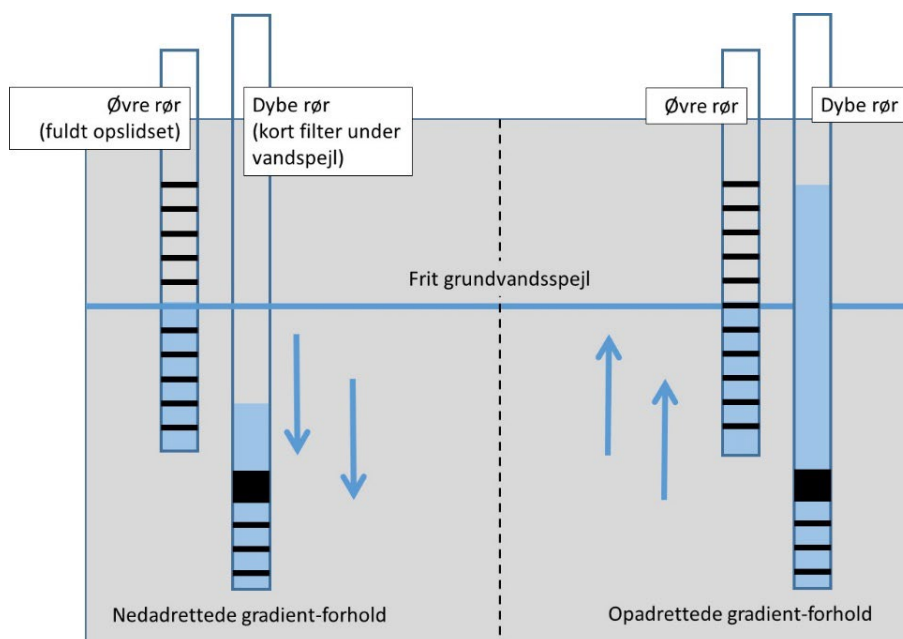
Vandstands-rørene blev renpumpet 2-3 gange og der blev boret trykkudligningshuller. Der blev desuden etableret et terrænfikspunkt og opsat indhegning om alle vandstands-rør bortset fra det ringe prøvelfelt ved Bredsgård Sø, som ligger i en vældræget hængesæk.

Der er installeret vandstandsloggere i alle 32 faste vandstands-rør og et antal barologgere, der indsamler data om atmosfærens trykvariation, så vandstands-data kan korrigeres for lufttrykket. Loggerne blev installeret i februar 2019 og de har målt vandstanden minimum hver 2. time i døgnet hele året rundt.

I forbindelse med opsætningen af vandstands-rørene, de tre besøg i hydrologiprojektets første år og ved projektets afslutning er der foretaget indmålinger af afstanden mellem vandstands-rørenes top og et terrænfikspunkt i centrum af 5 m cirklen (se metoderne i Nygaard m.fl. 2023). Herved indsamles data om hvorvidt tørven hæver og sænker sig i løbet af året, samt eventuelle forskydninger af rørene i forhold til terræn, der skal tages højde for i analyserne.

Der mangler vandstandsdata fra det øvre vandstandsrør fra det gode område ved Bredsgaard Sø, fordi røret havde forskubbet sig og fra de dybe vandstandsrør fra begge områder ved Halkær Sø.

Figur 2. Princip for parvis opstilling af dybe og øvre vandstandsrør. 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).



Ved Halkær Sø blev opsat to metalrør i 4,5 meters dybde i april 2019 ved de lange rør (dybe filtre), da disse var sat i organiske gytje aflejringer.

3.2.2 Beregningsmetoder

Vandspejlets placering i forhold til terrænet er beregnet ved at sammenholde de loggede afstande mellem vandspejlet og pejlepunktet og de målte afstande mellem vandstandsrørens top og terrænfikspunktet. Logninger af vandets tilstrømning efter tømning af rør er udeladt fra analyserne, de steder hvor det er relevant. Vi har beregnet den gennemsnitlige vandstand (afstand mellem vandspejl og jordoverfladen), forskellen mellem den laveste og højeste gennemsnitlige månedsvandstand, samt den statistiske varians i alle vandstandsmålingerne.

Vandbevægelsen ved hver logning beregnes ved at sammenholde vandstanden i det øvre og det dybe rør (Figur 2). Hvis vandstanden i det dybe rør er tættere på overfladen end i det øvre rør er der en opadrettet gradient og dermed grundlag for en større udstrømning af grundvand til rigkæret. Tilsvarende er en lavere vandstand i det dybe rør end i det øvre tegn på en nedadrettet gradient og dermed et manglende eller lavt grundvandstryk. For hvert prøvefelt er beregnet den gennemsnitlige vandretning og andelen af logninger med opadgående gradient.

Figur 3. Vandstandsør og indhegning af det gode prøvefelt på Hærup Sø lokaliteten (foto: Henriette Bjerregaard, Miljøstyrelsen).



3.3 Målinger af vandkemi

3.3.1 Feltmetoder

Ud over en logning af vandstanden er der indsamlet vandprøver tre gange årligt (marts, juli og november) gennem den treårige periode med henblik på at undersøge den tidlige variation i jordvandets surhedsgrad og indhold af næringsstoffer (NO_3 , NH_4 og PO_4) (se metoderne i Nygaard m.fl. 2023).

Det har vist sig at være forstyrrende for logningen af vandstand, hvis vandprøverne udtages fra de faste vandstandsør (særligt på lokaliteter med en langsom vandgennemstrømning). I hver 5 m cirkel er der derfor opsat to ekstra faste rør (kaldet korte og lange "vandprøverør") hvorfra der udtages vandprøver til måling af vandkemi og pH. Vandprøverørene placeres inden for det indhegnede område og så tæt på terrænfikspunktet som muligt, således at afstanden til prøvefelterne er nogenlunde ens (se Figur 3). Der er indsamlet vandprøver med yderligere to prøvetagningsmetoder, der har været anvendt i NOVANA-programmets første år (frem til 2016), for at teste om de fører til sammenlignelige målinger.

I hver 5 m cirkel er således udtaget vandprøver fra:

1. Et dybt fast vandstandsør (se afsnit om vandstandsmålinger) på lokaliteter hvor røret er forankret i det underliggende sandlag (Hærup Sø, Kielstrup Sø og Kastbjerg Ådal). Her antages målingerne at afspejle den kemiske sammensætning i grundvandet før det passerer gennem tørvelaget, hvor en del af nitratinholdet formodes at blive omsat i det iltfrie miljø.
2. Et kort fast vandprøverør, der er filtersat (opslidset) 5 til 10 cm under jordoverfladen. Den kemiske sammensætning i vandprøverne afspejler således sammensætningen i den øverste del af planternes rodzone, og hvor mosserne modtager deres vand. Dog er det øverste stykke undtaget for at undgå indtrængning af overfladevand.

3. Et langt fast vandprøverør, der er filtersat (opslidset) 10 til 40 cm under jordoverfladen. Den kemiske sammensætning i vandprøverne afspejler således sammensætningen i den lidt dybere del af rodzonen.
4. Et midlertidigt piezometerrør (slidset i den fulde længde), der monteres med en spids kegle i bunden og presses direkte ned i planternes rodzone (de øverste 40 cm af jord- eller tørvelaget).
5. et gravet hul, der opsamler jordvandet tæt på terrænoverfladen (ca. 20 cm dybde).

De første tre vandprøver er udtaget gennem hele projektperioden, mens de to sidste kun udtages tre gange det første år efter første prøvetagning.

For at undersøge den rumlige variation i pH og mængden af næringsstoffer i vandet er i 2021 udtaget vandprøver i yderligere fem midlertidige piezometerrør placeret i 5 m-cirklerne på tre af de otte lokaliteter: Kielstrup Sø (station 22), Hærup Sø (station 1218) og Simested Å (station 4677). Piezometerrørene blev placeret i jorden ca. samme sted hver gang og blev renpumpet én gang inden prøvetagningen for ikke at udtage prøver i meget mudret vand.

3.3.2 Beregningsmetoder

Til analyserne er anvendt de direkte målinger af nitrat (NO₃), ammonium (NH₄) og fosfat (PO₄) i vandprøverne fra de fem forskellige prøvetagningsmetoder, tre årlige målinger (marts, juli og november) og de tre år (juli 2019 til marts 2022).

3.4 Løvprøver

Mængden af næringsstoffer indbygget i planternes løv afspejler puljen af næringsstoffer, der er tilgængelig for planternes vækst. Her kommer næringsstoffer både fra luften og fra grundvandet, som planterne har mere eller mindre kontakt til.

3.4.1 Feltmetoder

Der er indsamlet planteprøver til bestemmelse af løvets indhold af kvælstof og fosfor i juli måned hvert år i perioden 2019-2021. Prøverne er indsamlet ved at klippe de yderste 2 cm af de levende dele af en af følgende arter: *Brachythecium rutabulum* (almindelig kortkapsel), *Cratoneuron filicinum* (grøn eremitmos), *Calliergonella cuspidata* (spids spydmos), *Brachythecium rivulare* (væld-kortkapsel), *Sphagnum teres* (trindgrenet tørvemos) og *Rhytidiadelphus squarrosus* (plæne-kransemos). Prøverne er udtaget af den samme art i de tre år og inden for 5 m fra de faste vandstandsør således, at der skabes den størst mulige sammenhæng mellem løv- og vandprøver. Det er desuden sikret, at prøverne er repræsentative for vegetationen i 5 m cirklen, så der skabes sammenhæng med artslisterne.

Der mangler prøvetagningsarter for løvprøver udtaget fra det ringe område ved Halkær Sø, og disse indgår derfor ikke i analyserne.

3.4.2 Beregningsmetoder

I analyserne har vi anvendt de direkte mål for N og P indholdet i planterne og beregnet ratioen mellem kvælstof- og fosforindholdet (N/P). I modellerne

indgår den planteart løvprøven er udtaget fra, idet tidligere analyser af overvågningsdata, har påvist signifikante forskelle i næringsindholdet mellem de forskellige plantearter (Johansson m.fl. 2020).

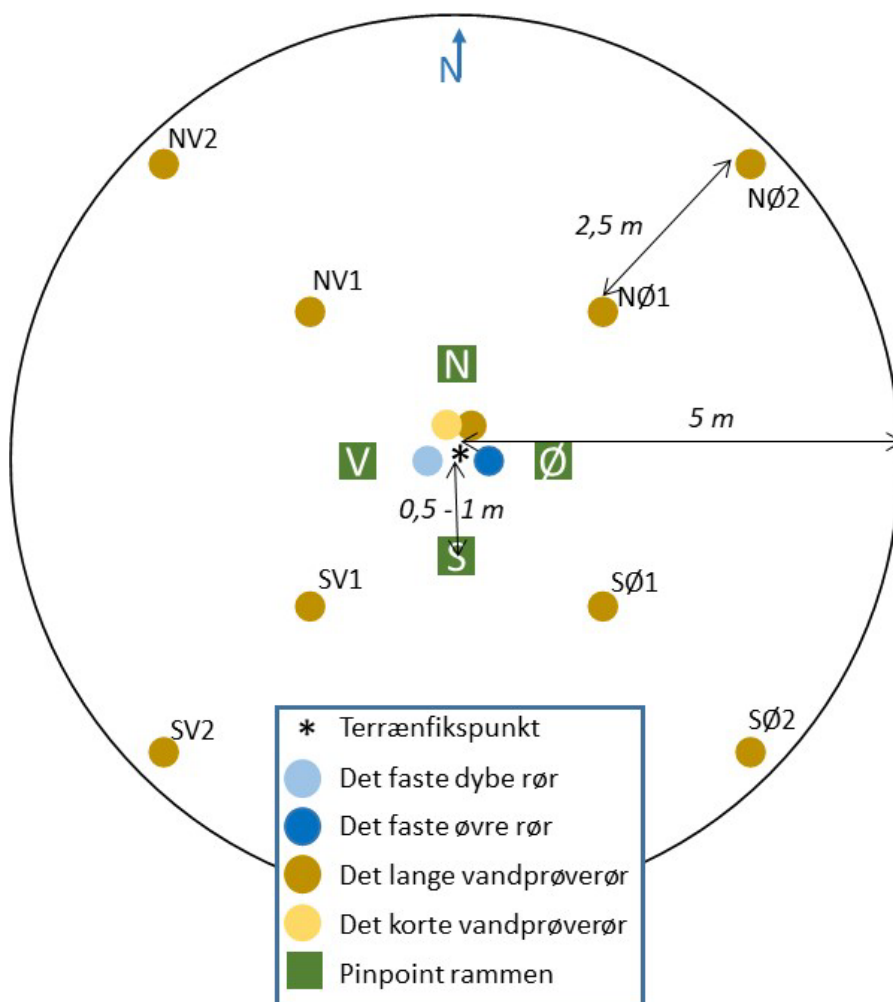
3.5 Artssammensætning og vegetationsstruktur

3.5.1 Feltmetoder

I hvert af de 16 prøvefelter er foretaget en registrering af vegetationens struktur og artssammensætning efter metoderne i den tekniske anvisning til kontrol-overvågning (Fredshavn m.fl. 2018). Arternes dækningsgrader er målt ved en pinpoint-analyse i fire delfelter, der er placeret så tæt som muligt på og max. 2 meter fra de faste vandstandsør (se Figur 4), for at sikre en tæt kobling mellem hydrologi og vegetation. Artslisten omfatter alle arter af karplanter, bladmosser og tørvemosser.

Hertil kommer en registrering af topografisk variation.

Figur 4. Prøvetagning i 5 m cirkler. Vandstanden er logget i cirkelns centrum med et fast øvre vandstandsør (mørk blå signatur) og et fast dybt vandstandsør (lys blå signatur). I centrum placeres endvidere et kort og et langt vandprøveør til udtagning af vandprøver. Inden for 5 m cirklen er foretaget en registrering af artssammensætningen og vegetationens struktur. Der er udlagt 4 delfelter (0,5 x 0,5 m) til pinpoint-analyse. På tre stationer er opsat 6 lange vandprøveør i NØ, SØ, SV eller NV-retning med en afstand på 2,5 m eller 5 m (dvs. 6 ud af de otte, der er vist på figuren).



3.5.2 Beregningsmetoder

Vi har anvendt artslisterne fra delfelterne til at beregne Ellenbergs indikatorværdier for næringsstof, reaktionstal (pH) og fugtighed, andelen af arterne, der er tilpasset fluktuerende vandstand, samt antallet af stjernearter og middel-scoren, som følger:

Ellenbergs indikatorværdier er beregnet for hvert af de fire 0,5 x 0,5 m delfelter ved at tage et vægtet gennemsnit ud fra arternes dækningsgrader (antal hits med pin point). Herved vægter de dominerende arters indikatorværdier højere end de mere spredt forekommende arter. For karplanterne har vi beregnet vægtede værdier for næringsstof, reaktionstal (pH) og fugtighed ud fra indikatorværdierne i den engelske indikatorliste (Hill m.fl. 1999) og kvælstof, fosfor, reaktionstal (pH) og fugtighed ud fra indikatorværdierne i den svenske indikatorliste (Tyler m.fl. 2021). Vi har endvidere beregnet andelen af karplanterne, der er tilpasset fluktuerende vandstand ud fra den oprindelige tyske indikatorliste (Ellenberg m.fl. 1992).

For mosserne har vi beregnet vægtede værdier for reaktionstal (pH) og fugtighed ud fra indikatorværdierne i den oprindelige tyske indikatorliste (Ellenberg m.fl. 1992). Der findes ikke indikatorværdier for næringsstof eller tilpasning til fluktuerende vandstand for mosser.

For hvert delfelt (0,5 x 0,5 m) er beregnet antal stjernearter (arter med en artscore på mindst 4) og middelscoren, der er gennemsnittet af arternes artsscorer i tilstandsvurderingssystemet (Fredshavn og Ejrnæs 2007).

3.6 Isotopmålinger

3.6.1 Feltmetoder

I forbindelse med prøvetagningen i marts i hydrologiprojektets andet år (2020) blev der udtaget en vandprøve fra de faste dybe vandstandsør til bestemmelse af stabile iltisotoper (se metoderne i Nygaard m.fl. 2023).

4 Resultater

4.1 Gode og ringe prøvefelter

Indledningsvist testede vi pilotprojektets antagelse om at de udvalgte prøvefelter virkelig er i en god tilstand, samt antagelsen om at det er retvisende at kalde de to prøvefelter per lokalitet for henholdsvis gode og ringe.

En parret t-test viser, at der er signifikant ($P < 0,001$) flere arter af karplanter og mosser (6,9 flere), stjernearter (5,6 flere), to-stjernearter (1,7 flere) og typiske arter af karplanter og mosser (3,2 flere) i de gode felter end i det parrede, ringe prøvefelt og lavere næringsratio.

Næringsratio er den stærkeste indikator for rigkærenes bevaringsstatus (Andersen et al. 2013). Det skærpede kriterium for næringsratio for rigkær i gunstig bevaringsstatus (Nygaard et al. 2018) er sat til maks. 0,7. Middelværdien for næringsratio af de gode felter er 0,68, mens de dårlige felter ligger på 0,8, hvilket svarer til det lempede kriterium for bevaringsstatus for rigkær. Vurderingen er altså at de gode prøvefelter er i god bevaringsstatus, mens de dårlige er i dårlig bevaringsstatus eller i hvert fald på grænsen til det.

4.2 Variation i vandkemi

Vi har analyseret variationen i vandets indhold af nitrat (NO_3), ammonium (NH_4) og fosfat (PO_4) i vandprøverne, der er udtaget på fem forskellige måder og på tre tidspunkter i løbet af året (se afsnit 2.3), med henblik på at identificere det bedst mulige mål for næringsbelastningen af prøvefelterne.

Da koncentrationerne af de tre ioner varierer meget, er de målte datalog-transformeret eller loglog-transformeret. Herved opnås normalfordelte residualer (forskellen mellem målte og modellerede værdier), hvilket er en forudsætning for at udføre parametriske statistiske tests. Dataanalyserne er foretaget med variansanalyse, som tester om næringsstofkoncentrationerne kan forklares ud fra informationer om hvor, hvornår og hvordan vandprøven er udtaget, dvs. lokaliteten, den biologiske kvalitet (det gode og det ringe prøvefelt), tidspunktet for prøvetagningen (år og måned) og prøvetagningsmetoden (dybt fast rør, kort fast rør, langt fast rør, midlertidigt piezometerrør og gravet hul).

Analyserne viser at alle disse variabler har signifikant betydning for variationen i de målte næringskoncentrationerne (se Tabel 2), og at der er størst effekt af lokaliteten og prøvetagningsmetoden. Analyserne viste desuden (ikke vist), at de faste rør har lavere næringsstofmålinger og lavere pH og mindre ekstreme værdier end de gamle NOVANA-metoder, hvor vandprøverne blev udtaget i jordvandet fra et gravet hul eller temporære piezometerrør. Variablerne forklarer en større andel af variationen af de målte værdier for PO_4 end for de to kvælstofmål og de forklarer mere variation i NH_4 målingerne end NO_3 -målingerne. Målingerne af pH varierede generelt mindre mellem de forskellige prøvetagningsmetoder, som forklarede mindre end 5 % af variationen (ikke vist).

Tabel 2. Resultaterne fra variansanalyser (ANOVA) af nitrat (NO₃) ammonium (NH₄) og fosfat (PO₄) forklaret ved lokaliteten, den biologiske kvalitet (det gode og det ringe prøvefelt), tidspunktet for prøvetagningen (år og måned) og prøvetagningsmetoden (dybt fast rør, kort fast rør, langt fast rør, midlertidigt piezometerrør og gravet hul). R² = forklaret variation, df = antal frihedsgrader, F = teststørrelsen for test af ens middelværdier og P = signifikansniveau.

	Nitrat				Ammonium				Fosfat			
	R ²	Df	F	P	R ²	Df	F	P	R ²	Df	F	P
Lokalitet	18,6%	7	15,9	<0,001	7,1%	7	6,9	<0,001	16,3%	7	22,9	<0,001
Naturtilstand	3,4%	1	20,7	<0,001	8,3%	1	56,9	<0,001	14,7%	1	144,2	<0,001
År	0,2%	2	0,6	n.s.	0,5%	2	1,9	n.s.	1,3%	2	6,4	<0,01
Måned	1,7%	3	3,3	<0,05	2,2%	3	5,1	<0,01	3,8%	3	12,6	<0,001
Prøvetagningsmetode	4,6%	4	6,9	<0,001	19,0%	4	32,5	<0,001	20,2%	4	49,6	<0,001
Forklaret variation	28,4%				37,2%				56,3%			

Efter visuel inspektion af residualer og accept af modellerne, har vi foretaget en modelprædiktion af næringsniveauer og pH på hydrologiprojektets prøvefeltniveau. Prædiktionerne anvendes i de efterfølgende analyser, hvor vi kobler næringsstofbelastning med hydrologi og indikatorer baseret på vegetationen, og derfor har vi brugt prøvefelt som faktorvariabel i stedet for lokalitet og tilstand. Modelprædikterede næringskoncentrationer og pH-værdier er beregnet gældende for de permanente, lange vandstands-rør, som generelt har lavere næringsstofværdier og mindre udsving end hul-prøvetagning og de temporære piezometerrør, og med disse rør er der taget målinger i alle projektets prøvefelter. Vi har anvendt de maksimale prædikterede næringsstofkoncentrationer og de gennemsnitlige pH-værdier.

Log-transformationen af data før modellering medfører en betydelig moderation af de prædikterede værdier, som nedvægtes af transformationen, så der ikke bliver så høje og afvigende værdier. Mens dette giver et bedre grundlag for at modellere sammenhængen mellem næringsstoffer og den biologiske tilstand, medfører det dog også at næringsstofniveauerne i figurene ligger noget lavere end de målte værdier (tabel 3).

Tabel 3. Sammenligning mellem de maksimalt målte næringsstofniveauer i de lange målerør og de prædikterede næringsstofniveauer efter log-transformation af data.

	NH ₄ -N		NO ₃ -N		PO ₄ -P	
	Målt	Prædikteret	Målt	Prædikteret	Målt	Prædikteret
Minimum	7	31	3	4	5	27
Median	62	70	9	5	39	73
Middel	138	91	184	13	243	178
Maksimum	680	283	2000	83	2400	941

Eftersom der er interesse for vandkemiske kvalitetskriterier, er det værd også at rapportere de højeste målte værdier for de gode områder, og de ligger som følger:

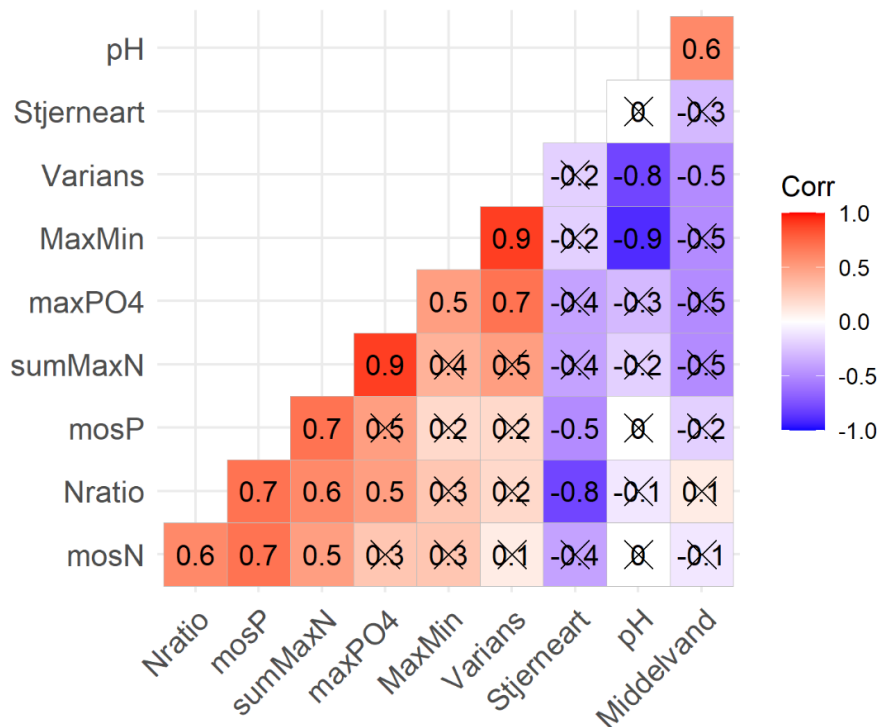
- NH₄-N: 170 µg/l
- NO₃-N: 24 µg/l
- Summen af NO₃-N og NH₄-N: 172,5 µg/l
- PO₄-P: 73 µg/l

4.3 Korrelation mellem vegetation, næringsstoffer og hydrologi

Indledningsvist har vi undersøgt korrelationerne i datasættet. Figur 5 viser de signifikante korrelationer mellem prøvefelternes hydrologi, vandkemi, løvprøvekemi og plantebaserede indikatorer for tilstand.

Korrelationerne bekræfter at de gode rigkær med mange stjernearter har en lav næringsratio (Ellenberg N/R), en stabil vandstand og lave niveauer af målte næringsstoffer. Det er dog kun P-indhold i mosser og næringsratio, hvor korrelationen er signifikant. Alle de målte indikatorer for næringsstofbelastning korrelerer positivt med hinanden og med vandstandsvariation. Næringsstof-målene korrelerer negativt med vandstanden, hvilket kunne antyde at en lav vandstand kan medføre iltning og næringsfrigivelse fra tørven. pH korrelerer udelukkende med de hydrologiske mål: Negativt med varians og positivt med middelvandstand, hvilket stemmer fint overens med at pH er en indikator for stor udstrømning/tilstrømning af mineralrigt grundvand.

Figur 5. Korrelationsmatrix mellem målte nøglevariabler. Ikke signifikante korrelationer er markeret med et kryds i feltet. Negative korrelationer er blå, positive er røde og styrken er angivet med tal og farvemætning. MosP og N = N og P koncentrationer fra mos i løv, Nratio = Næringsratio, pH = pH, MaxPO₄ = Maksimalt prædikteret PO₄ koncentration, sumMaxN = summen af maksimalt prædikterede NH₄ og NO₃ koncentrationer, Varians = variansen af de månedlige middelværdier af vandstand, MaxMin = Gennemsnitlig forskel mellem højeste og laveste målte vandstand per måned.



4.4 Forudsigelse af biologisk tilstand ud fra vandstand og vandkemi

Vi har undersøgt om målingerne af det hydrologiske regime og vandets kemiske sammensætning kan anvendes til at adskille prøvefelter i hhv. god og ringe biologisk tilstand.

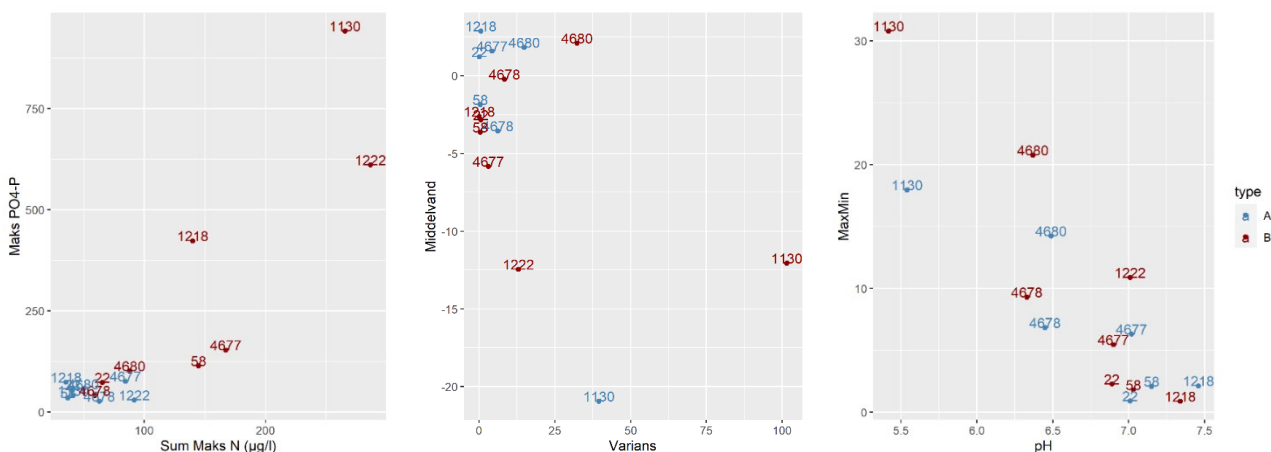
Først har vi undersøgt om de hydrologiske målinger alene kan forklare forskellen mellem rigkær i god og ringe biologisk tilstand. Men der er ingen signifikante forskelle i den årlige middelvandstand, vandstandsfluktuationer (varians i vandstand og forskel i månedlige min og max-værdier) eller opadgående vandbevægelse (den gennemsnitlige retning og andelen af logninger med en opadgående vandbevægelse) mellem de gode og de ringe arealer. Pi-

lotprojektet indikerer således, at vandstand og vandtryk ikke alene er afgørende for om de karakteristiske og næringsfølsomme arter er udbredte i rigkærvegetationen.

Dernæst har vi anvendt en parvis T-test til at undersøge om de modellerede næringsstofkoncentrationer af nitrat (NO_3), ammonium (NH_4) og fosfat (PO_4) kan adskille de gode og ringe prøvefelter: Summen af maxNO_3 og maxNH_4 ($P = 0,011$), maxNH_4 ($P = 0,011$), maxNO_3 (ikke signifikant) og maxPO_4 (ikke signifikant). Forskellene er testet i en parvis test. Rigkær i en god biologisk tilstand med mange karakteristiske arter, og hvor arterne indikerer lav nærings-påvirkning, har således typisk et lavere indhold af næringsstof i jordvandet end rigkær med få karakteristiske arter og en høj næringsratio.

Der er også forskel på pH mellem de gode og dårlige rigkær på lokaliteterne, hvis man bruger en parvis T-test ($P < 0,0001$), mens der ikke er signifikant forskel i en ikke-parvis test. Man kan altså ikke sige at gode rigkær altid har højere pH end dårlige rigkær, men man kan sige at inden for en lokalitet har de gode områder generelt højere pH end de perifere områder. Dette resultat bekræfter, at rigkærene netop er betinget af udstrømning af mineralrigt grundvand, samt at denne udstrømning medfører en højere pH og lavere tilgængelighed af næringsstoffer.

Endelig har vi undersøgt om adskillelsen af de gode og ringe prøvefelter forbedres effektivt ved at kombinere målingerne af hydrologi og vandkemi. Til det har vi brugt en kvadratisk diskriminantanalyse, som bruges til at adskille to eller flere kategorier baseret på numeriske variabler. Hvis man anvender krydsvalidering, hvor data fra ét prøvefelt ad gangen holdes ude af modellen, indeholder den bedste modelvarians i vandstand, pH og enten summen af maksimumsværdier for NO_3 og NH_4 eller maksimumsværdien for NH_4 alene. Denne model er lige netop ikke signifikant ($p = 0,056$). Manglen på signifikans skyldes dog også, at datasættet er ganske lille ($N = 15$).



Figur 6. Fordelingen af de otte gode (Blå) og otte ringe (Røde) rigkærsefter A) Maksimalt målt $\text{NH}_4\text{-N}$ (maxNH_4) og maksimalt målt $\text{PO}_4\text{-N}$ (maxPO_4), B) Variansen i vandstanden og Middelvandstanden og C) pH og forskellen mellem den laveste og højeste vandstand (MaxMin). I Figur 2 og 3 er der kun 7 gode observationer på grund af manglende vandstandsmål fra et prøvefelt.

Som formodet findes de gode rigkær overvejende ved høj middelvandstand, nogenlunde stabil vandstand og dermed rig grundvandstilstrømning samt lave næringsstofniveauer (rent grundvand og ingen udefra kommende tilførsel af næring). Det ser dog ud til at næringsstoffindholdet i vandprøverne er mere egnet til at skelne mellem de gode og ringe områder end de hydrologiske målinger.

4.5 Artsbaserede indikatorer

NOVANA-programmet i dag prioriterer at sikre en repræsentativ indsamling af data fra tilstrækkelig mange lokaliteter til at man kan udtale sig om en naturtypes tilstand og udvikling på biogeografisk regionsniveau. Det betyder at der indsamles plantelister og ganske få mål for det abiotiske miljø – eksempelvis karplante- eller mosprøver til analyse for koncentrationen af N og P i løvet (Fredshavn m.fl. 2018).

Et af hovedformålene med hydrologiprojektet er at undersøge om NOVANA-programmets nuværende indsamling af plantelister og måling af næringsstoffer i planternes løv samt måling af pH i vand kan fungere som indikatorer for naturarealernes hydrologiske regime og næringsstatus. Vi har derfor testet om det er muligt at forudsige de mest betydende hydrologiske og vandkemiske parametre ud fra plantelister og pH, blandt andet ved hjælp af biokalibrering, altså udnyttelse af plantearternes indikatorværdier for henholdsvis hydrologi og vandkemi (næringsstofbelastning).

Vi har anvendt Ellenbergs indikatorværdier til biokalibrering, idet de fleste danske planter har fået tildelt en værdi efter deres præference langs økologiske gradienter i fugtighed og næringstilgængelighed. Vi har også anvendt arternes artsscore i naturtilstandsvurderingssystemet (antal stjernearter, der har en artsscore på mindst 4).

4.6 Biokalibrering af vandstand og vandkemi

Vi har testet om kombinationen af vandstand og vandkemi kan bruges til at forudsige indikatorerne for artstilstand.

Variansen i grundvandsstanden og koncentrationen af N og PO₄-P samt N og P-indhold i mosser havde alle en negativ korrelation med artsindikatorerne. Næringsratio korrelerer signifikant med målte næringsstoffer og N og P i mos, men kun P i mos korrelerede signifikant med antallet af stjernearter (Figur 5).

Vi har også undersøgt om hydrologi og vandkemi i kombination kunne forudsige artsindikatorerne. De bedste modeller for antallet af stjernearter og næringsratio rummer kun total N, fordi PO₄-P er stærkt korreleret med N-belastningen (Tabel 4).

Tabel 4. Resultaterne fra modeller for antallet af stjernearter og næringsratio (Ellenberg N/Ellenberg R) som funktion af total N, varians i grundvandsstand og middelvandstand. NS = ikke signifikant.

	Antal stjernearter				Næringsratio			
	Estimate	Std. Error	t value	P	Estimate	Std. Error	t value	P
Intercept (skæring)	25,5	4,4	5,8	<0,001	0,36	0,07	5,5	<0,001
Log (Sum max N)	-3,8	1,0	-3,7	0,0033	0,09	0,02	6,0	<0,001
Vandstand, varians	-0,049	0,029	-1,7	NS	0,0005	0,0004	1,1	NS
Vandstand, middel	-0,43	0,12	-3,6	0,004	0,006	0,002	3,4	0,006
Forklaret variation	69 %				80 %			

Selvom modellerne forklarer en ganske stor del af variationen i artsindikatorerne (hhv. 69 og 80 %), er effekten af stabil vandstand (Vandstand, varians), som indikerer høj grundvandsstrømning ikke signifikant i nogen af modellerne (Tabel 4). Modellen bygger dog kun på 15 observationer, hvilket er et lille datasæt, især hvis der er andre vigtige kilder til variationen i biologisk tilstand – eksempelvis belastning med næringsstoffer. Derfor kan vi ikke afvise, at teorien holder – altså at en stabil høj udstrømning af grundvand er

forudsætningen for høj pH, høj middelvandstand og lav næringsstoffilgængelighed.

Næringsstoffeffekten er meget signifikant og effekten af gennemsnitlig vandstand er også signifikant. Det er lidt overraskende at høj vandstand har en negativ effekt på antallet af stjernearter og positiv effekt på næringsratio, og forklaringen skyldes først og fremmest at vandstand og næringsmængde korrelerer positivt med hinanden (se Figur 5). Effekten af vandstand skal altså ses som afhængende af effekten af næringsbelastning.

Desuden er der et godt prøvelfelt ved Store Blåkilde, som er afvigende ved at have en usædvanligt lav vandstand for et rigkær. De konstante arter, som optrådte i alle fire delfelter for dette område, var vellugtende gulaks, stjernestar, almindelig star, hirse-star, kær-tidsel, tandbælg, sump-kællingetand, lancetbladet høgeurt, tormentil og engblomme. Umiddelbart er det arter, som tyder mere på en fin næringsfattig eng, end et vådt rigkær. Det gode prøvelfeltet i område 1130 ligger netop på en forhøjning i rigkæret, som en meget stor "tue", mens terræn i den omkringliggende del af rigkæret nok ligger ca. 20 cm lavere.

De vandkemiske målinger bekræfter tidligere undersøgelser, som viser at næringsstofbelastningen er en af de største trusler mod artsrige rigkær i gunstig bevaringsstatus (Andersen et al. 2013, Ejrnæs et al. 2010).

Samlet set modsiger hydrologiprojektet ikke, at de gode rigkærs forudsætning er en konstant udsivning af næringsfattigt grundvand. På den anden side er der også en betragtelig variation i både vandudstrømning og næringsstoffer og i forekomsten af gode indikatorarter, som gør at modellerne ikke er perfekte, og at der typisk skal flere målinger af flere variabler til for at kunne diagnosticere tilstanden med sikkerhed.

4.7 Biokalibrering af vandstandsfluktuationer

Vi ved fra flere store danske undersøgelser, at Ellenbergs fugtighedstal korrelerer godt med den målte fugtighed i jorden, men vi har ikke tidligere undersøgt om variansen i vandstanden gennem året, kan forudsiges ud fra Ellenbergs indikatorværdier for fugtighed og for fluktuerende vandstand.

Det har vi nu undersøgt for de 56 delfelter i hydrologiprojektet, som stammer fra prøvetagningssteder, hvor der er målinger af vandstand i prøvelfeltet og en beregning af andelen af planter med præference for fluktuerende vandstand (se afsnit 2.2.1). For at tilfredsstille kravet til normalfordelt varians har vi kvadratrodstransformeret variansdata i modellen, som har interaktionen mellem fugtighed og andelen af plantearter med tilpasning til fluktuerende vandstand som forklarende variabler (Tabel 5).

Modellen forklarer en meget stor andel af datasættets variation i vandstandsfluktuationer (variens i vandstand) og alle variable er stærkt signifikante. Signifikansen er lidt kunstigt oppustet på grund af pseudoreplikation, fordi vandstandsmålene er gentaget fire gange i hvert prøvelfelt – en for hvert delfelt, men det afgørende her er i højere grad mængden af forklaret variation (80 %). Hvis man i stedet kører modellen på middelværdier for Ellenberg-kalibreringerne og et datasæt på kun 15 prøvelfelter, er alle variablerne stadigvæk signifikante, men nu forklarer modellen 93 % af variationen i målingerne af varians i vandstanden.

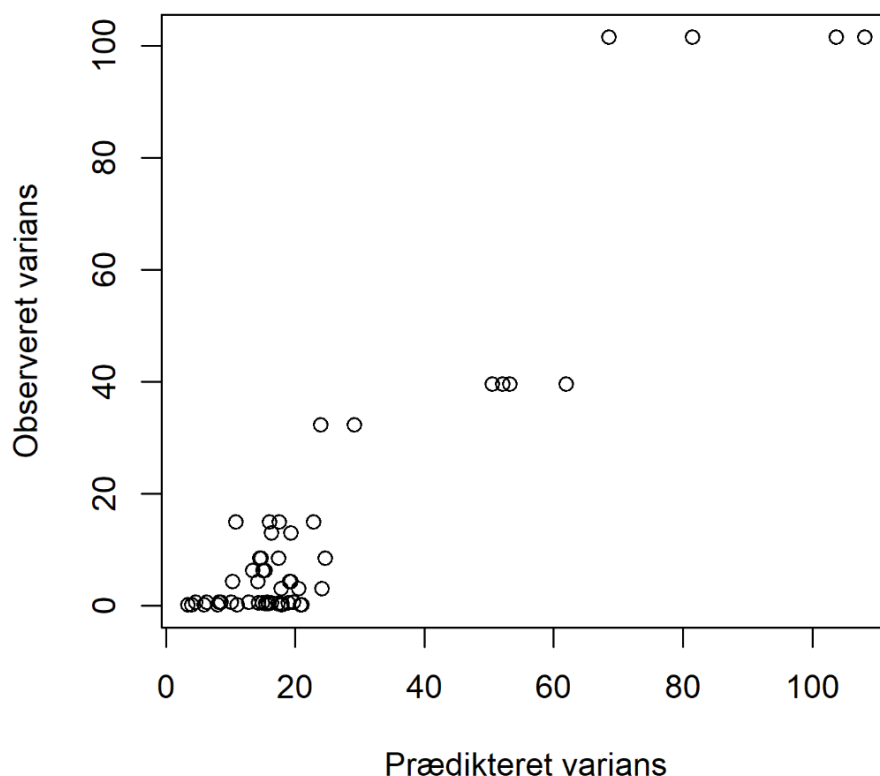
Særligt Ellenbergs vurdering af arternes tilpasning til fluktuerende vandstand er stærkt korreleret til de fysiske målinger af vandstand. Ellenbergs indikatorværdier for næring og pH forbedrer ikke modellen, og de svenske Ellenberg-indikatorværdier forklarer mindre variation end de engelske.

Modellens forudsigelser over for de målte observationer af varians kan ses i Figur 7. Modellen forklarer meget variation, men det skyldes ikke at den er meget præcis i forhold til små variationer i vandstandssvingninger, men snarere at den er god til at skelne mellem områder med store, mellemstore og små vandstandssvingninger.

Tabel 5. Resultater fra model for variansen i vandstanden som funktion af Ellenbergs indikatorværdier for fugtighed og fluktuerende vandstand samt interaktionen mellem fugtighed og andelen af plantearter med tilpasning til fluktuerende vandstand.

	Varians i vandstand			
	Estimate	Std. Error	t value	P
Intercept (Skæring)	-21,95	4,85	-4,53	<0,001
Ellenberg fugtighed	3,20	0,60	5,37	<0,001
Ellenberg fluktuationer	55,13	5,85	9,42	<0,001
Fluktuationer: fugtighed	-6,82	0,73	-9,33	<0,001
Forklaret variation	81%			

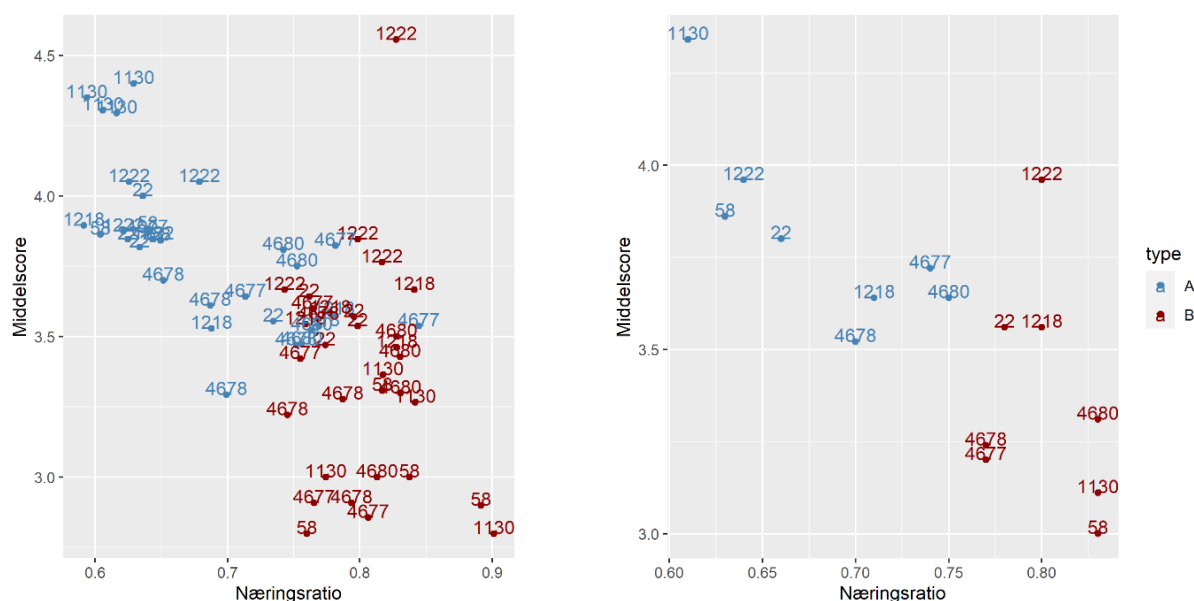
Figur 7. Korrelationen mellem prædikeret og observeret varians i vandstand i de 52 prøvefelter, hvor det har været muligt at beregne vandstandsfluktuationer.



4.8 Biokalibrering af vandkemiske målinger

Vi har også set på om man kan forudsige målte næringsstofkoncentrationer af fosfat (PO_4), nitrat (NO_3), ammonium (NH_4) og Total N ved biokalibrering. I biokalibreringen af målte næringsstoffer indgår Ellenberg N og Ellenberg R (kalibrering af næring/kvælstof og pH), og denne model forklarede 40 % af variationen i PO_4 , 50 % af NO_3 , 53 % af NH_4 , og 56 % af Total N.

Man kan også ud fra planternes biokalibrering skelne effektivt mellem rigkær i god og ringe tilstand, men det er på sin vis også en slags cirkelslutning, da rigkærenes tilstand i høj grad er vurderet ud fra forekomsten af gode indikatorarter for bevaringsværdige rigkær. De variabler, som især kan bruges til at vurdere den biologiske tilstand, er Ellenbergs næringsratio og den gennemsnitlige artsscore (Figur 8A). Der er så stor rumlig variation i rigkærenes artsammensætning at adskillelsen først bliver sikker når man beregner middelværdien for de artsbaserede indikatorer for de fire delfelter fra samme 5 meter cirkel (Figur 8B). Denne middelværdi minder om adskillelsen ved hjælp af hydrologi (varians i vandstand) og vandkemi (PO_4 og NH_4), hvor vi også samler flere temporære målinger for at opnå en bedre adskillelse. Ved sammenligning med Figur 6, kan man dog også se at adskillelsen er mere entydig ved brug af planteindikatorer.



Figur 8. Fordelingen af de gode (G) og ringe (B) områder efter deres Ellenbergs næringsratio (Ellenberg N/Ellenberg R) og artsscore. A) Vist ved værdierne for de 64 delfelter (0,5 x 0,5 meter) og B) vist som gennemsnittet af de fire delfelter for hver af de 16 områder.

4.9 Forudsigtelse af biologisk tilstand ud fra løvprøver

I hydrologiprojektet er foretaget målinger af kvælstof- og fosforindhold i løvet af mosser (afsnit 2.4), og eftersom denne måling indgår i kontrolovervågningen, har vi undersøgt hvilke indikationer man kan udlede af disse målinger. For det første kan man se af figur 5, at der er en god korrelation mellem næringsindhold i løvet af mosser og de målte næringsstofkoncentrationer i vandprøverne.

Vi har dernæst undersøgt hvor meget koncentrationerne af N og P i mosser afhænger af prøvetagningsåret, den biologiske tilstand af området (god eller ringe), lokaliteten, og den mosart planteprov er udtaget fra (Tabel 6). Analysen viste, at der er en signifikant effekt af alle fire parametre på både indholdet af fosfor og kvælstof i mossernes løv.

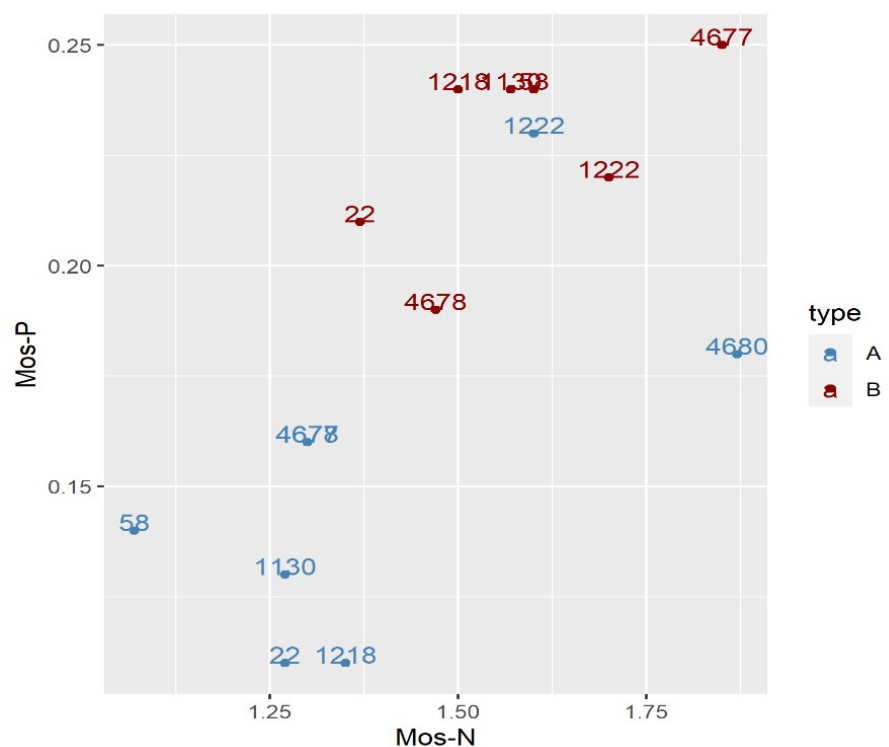
Tabel 6. Resultaterne fra variansanalyser (ANOVA) af fosfor og kvælstof i løv af mosser forklaret ud fra lokalitet, biologisk tilstand, året for prøvetagningen (år) og indsamlet mosart. R2 = forklaret variation, df = antal frihedsgrader, F = testværdien og P = signifikansniveau.

	Fosfor i løv				Kvælstof i løv			
	R ²	Df	F	P	R ²	Df	F	P
År	5,6%	2	12,8	<0,001	1,5%	2	2,01	n.s.
Lokalitet	8,7%	7	5,5	<0,001	24,3%	7	9,45	<0,001
Biologisk tilstand	42,7%	1	192,6	<0,001	16,9%	1	46,13	<0,001
Mosart	11,8%	4	13,2	<0,001	5,6%	4	3,83	<0,01
Forklaret variation	68,7%				48,3%			

Resultaterne i hydrologiprojektet bekræfter således betydningen af indsamlingsår, indsamlingssted og indsamlingsart, som også blev fundet af Johansson et al. (2020), der undersøgte variationen i N og P i løv indsamlet fra dværgbuske, græsser og mosser i lysåbne habitatnaturtyper med og uden randpåvirkning. Den klart største kilde til variation i mossernes indhold af fosfor er rigkærets biologiske tilstand (god eller ringe), mens det for indholdet af kvælstof er lokaliteten, der forklarer mest med rigkærets biologiske tilstand på andenpladsen. Prøvetagningsår og mosart har også en signifikant effekt på de målte koncentrationer, så det er vigtigt at kende disse informationer for at kunne tolke næringsstofmålingerne.

Næringsstofindholdet i mosserne giver ikke en lige så entydig adskillelse af de gode og ringe rigkær som de planteafledte indikatorer (Figur 9 sammenlignet med Figur 8), men løvmålingerne giver en lige så sikker adskillelse som de målte næringsstofkoncentrationer (Figur 9 sammenlignet med Figur 6). Næringsstofkoncentrationerne i mos (korrigeret for effekten af indsamlingsår og år) korrelerer til gengæld bedre med de vigtigste karplantebaserede kvalitets-indikatorer (antal stjernearter og næringsratio) end de vandkemiske målinger af næringsstoffer (Total N og PO₄) (se figur 5).

Figur 9. Koncentrationer af fosfor og kvælstof i mosprøver fra de 8 gode (A) og 7 ringe (B) områder, hvor der er udtaget løvprøver med angivelse af prøvetagningsarten. Middelværdien for prøvefeltet er korrigeret for effekten af år og mosart.



5 Konklusioner og anbefalinger

Samlet set kan hydrologiprojektet bekræfte, at de gode rigkærs forudsætning er en konstant udsivning af næringsfattigt og mineralrigt grundvand, som sikrer en høj pH, lav tilgængelighed af N og P og dermed næringsfattige vilkår, som fremmer de nøjsomhedsplanter og mosser, som er knyttet til rigkær og kildevæld (Johansen et al. 2018). Samtidig har vi observeret en betragtelig variation i både vandudstrømning og næringsstoffer, som gør at modellerne ikke er perfekte, og at der typisk skal flere målinger af flere variabler til for at kunne diagnosticere naturtypernes tilstand med sikkerhed.

Pilotundersøgelsen af hydrologien på otte rigkærslokaliteter bekræfter, at de vigtigste årsager til at mange rigkær i dag er i ringe tilstand er, at de 1) mangler udstrømmende grundvand som følge af vandindvinding eller vandafledning ved grøfter og dræn og 2) er belastet af næringsstoffer (Moeslund et al. 2023). Ofte er begge udfordringer i spil på samme tid, idet dræning og eutrofiering begge er konsekvenser af tiltag for optimering af arealerne til landbrug, og dræning i sig selv medfører eutrofiering i kraft af omsætning af tørven med frigivelse af næringsstoffer og nedsat immobilisering af næringsstoffer (særligt fosfor) ved binding til grundvandets indhold af CaCO_3 og jernforbindelser.

Hydrologiprojektet er baseret på det man kalder "space for time substitution", altså at man i mangel af meget lange tidsserier, indsamler data fra formodet intakte og formodet modificerede naturområder. I praksis kan vi jo ikke bevise at de ringe områder i hydrologiprojektet nogensinde har været gode. Der er imidlertid god grund til at tro, at rigkær har været blandt de dominerende mosetyper i de områder, vi har undersøgt (Joosten & Clarke 2002, Grootjans et al. 2006), og at deres nuværende udbredelse blot udgør en brøkdel af deres oprindelige udbredelse. Indskrænkningen skyldes først og fremmest dræning af dyrkningslandskabet (som mindsker grundvandsdannelsen), indvinding af vand til drikkevand og markvanding samt lokal afledning af vand i ådalen ved udgrøftning og nedgravning og kanalisering af vandløbet. De ringe forekomster i hydrologiprojektet ligger typisk i periferien af de gode områder, hvor der endnu strømmer grundvand frem, og i et naturligt grundvandsfødt vådområde, ville man forvente at det udstrømmende grundvand ville fordele sig horisontalt fra udstrømningszonerne gennem den intakte tørv og på den måde skabe store strækninger med grundvandsbetinget vegetation. Det er netop af den grund, at danske ådale er gennemskåret af grøfter. Ellers ville de være forsumpet på grund af det udstrømmende grundvand.

Man kan altså kende de gode rigkær på lave næringskoncentrationer i vandprøverne – især fosfat, men også ammonium og nitrat, samt en vandstand som er høj og stabil året igennem. Den stabile vandstand skyldes, at grundvandet strømmer konstant og rigeligt gennem området, og grundvandet medvirker til at mindske tilgængeligheden af N og P (Grootjans & van Diggelen 1995).

I dette projekt ligger den gode tilstand under 25-30 $\mu\text{g}/\text{l}$ N og P i prædikterede værdier, mens det tilsvarende tal for $\text{NO}_3\text{-N}$ i økohydrologinotatet (Ejrnæs et al. 2010) var 0,3 mg/l N altså mere end en faktor 10 højere. Dette skyldes imidlertid i hovedsagen, at vi har anvendt prædikterede værdier i dette projekt, mens vi anvendte maksimalt målte værdier i økohydrologiprojektet. Kigger vi på de maksimalt observerede næringsstofkoncentrationer i de lange målerør i de gode rigkærsområder finder vi maksimum total N på 0,17 mg/l og

PO₄-P på 0.07 mg/l. At dette stadigvæk ligger under værdierne i økohydrologiprojektet kan skyldes forskelle i prøvetagningen.

Uanset dette, ligger værdierne i de gode rigkær meget langt under de maksimalt tilladte nitratkoncentrationer i drikkevand på 50 mg/l.

Eftersom miljøforholdene afspejler sig i vegetationen, kan man bruge plantearter som indikatorer for rigkærenes tilstand, og det er langt billigere og også mindre variabelt (Andersen et al. 2013) at anvende biokalibrering ud fra plantelister end at etablere målestationer for hydrologi og vandkemi, når man skal måle bevaringsstatus for Habitatdirektivets naturtyper.

Fordelen ved brug af plantelister er, at man kan kortlægge og overvåge mange områder, hvilket er nødvendigt for at kortlægge og tilstandsvurdere rigkær i Natura 2000-områderne og overvåge rigkær som én af mange habitatnaturtyper i NOVANA. Ulempen ved plantelister er, at man må forvente en forsinkelse i responsen på tilstandsændringer i et konkret område. På den anden side er det langt mere omkostningstungt at opstille hydrologiske målestationer og indsamle og analysere vandprøver for næringsstoffer, end det er at indsamle plantelister og eventuelt løvprøver til måling af N og P i løv.

Ud fra en vurdering af omkostningseffektivitet, vil vi anbefale at man anvender plantelister i den generelle kortlægning og overvågning af rigkær og andre grundvandsbetingede terrestriske økosystemer, mens man bør opstille målestationer for hydrologi og vandkemi, hvis der er mistanke om en tilstandsændring som følge af en belastning, eller hvis man ønsker at vurdere effekten af en naturgenoprettende indsats. N og P i løv lader til at være en god indikator for næringsstofbelastning, og vi anbefaler, at man beholder denne indikator i NOVANA, hvis det er muligt. N og P i løv ser i dette projekt ud til at være stærkt indbyrdes korrelerede.

6 Referencer

Andersen, D. K., Nygaard, B., Fredshavn, J. R., & Ejrnæs, R. (2013). Cost-effective assessment of conservation status of fens. *Applied Vegetation Science*, 16(3), 491-501.

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. 30 sider. Notat fra Århus Universitet.

Ejrnæs, R., Nygaard, B., Fredshavn, J.R., Nielsen, K.E. & Damgaard, C. 2009: Terrestriske Naturtyper 2007. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 150 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 712. <http://www.dmu.dk/Pub/FR712.pdf>.

Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulißen, D.: 1992, 'Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa', *Scripta. Geobot.* 18, 1-258.

Fredshavn, J.R. & Ejrnæs, R. 2007: Beregning af naturtilstand - ved brug af simple indikatorer. 2. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 90 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 599. <http://www.dmu.dk/Pub/FR599.pdf>.

Grootjans AP, van Diggelen R. 1995. Assessing the restoration prospects of degraded fens, in: Wheeler BD et al. (Eds.), *Restoration of Temperate Wetlands*. John Wiley and Sons, Chichester, UK 73-90.

Grootjans, A.P., E.B. Adema, W. Bleuten, H. Joosten, M. Madaras & M. Janáková 2006. Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows: an overview. *Applied Vegetation Science* 9: 175-184.

Hill, M. O., Mountford, J. O., Roy, D. B., & Bunce, R. G. H. (1999). Ellenberg's indicator values for British plants. *ECOFACT Volume 2 Technical Annex (Vol. 2)*. Institute of Terrestrial Ecology.

Johansen, O.M., Andersen, D.K., Ejrnæs, R., Pedersen, M.L., 2018. Relations between vegetation and water level in groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTEs). *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* 68, 130-141. DOI: 10.1016/j.limno.2017.01.010

Johansson, L.S., Nygaard, B. & Ejrnæs, R. 2020. Resultater fra Miljøstyrelsens monitoringsprogram for kvælstoffølsomme naturtyper i Natura 2000-områderne 2016-2018. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Fagligt notat nr. 2020|42. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_42.pdf.

Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of peatlands. International Mire Conservation Group, International Peat Society, Jyväskylä, FI.

Moeslund, J. E., Andersen, D. K., Brunbjerg, A. K., Bruun, H. H., Fløjgaard, C., McQueen, S. N., ... & Ejrnæs, R. (2023). High nutrient loads hinder successful restoration of natural habitats in freshwater wetlands. *Restoration Ecology*, 31(7), e13796.

Nygaard, B., Damgaard, C., Bladt, J. & Ejrnæs, R. 2020. Fagligt grundlag for vurdering af bevaringsstatus for terrestriske naturtyper. Artikel 17-rapporteringen 2019. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 194 s. - Videnskabelig rapport nr. 377. <https://dce2.au.dk/pub/SR377.pdf>.

Tyler, T., Herbertsson, L., Olofsson, J., & Olsson, P. A. (2021). Ecological indicator and traits values for Swedish vascular plants. *Ecological Indicators*, 120, 106923.