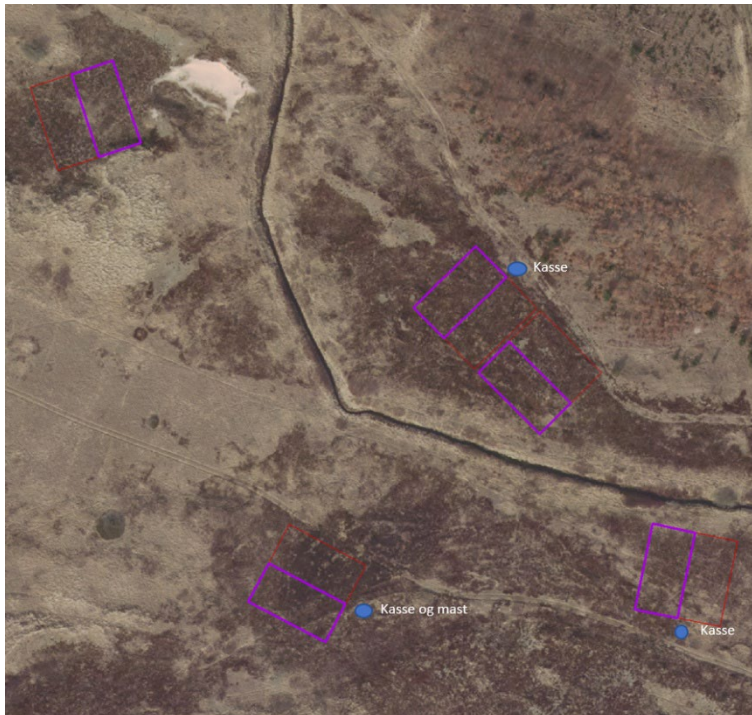


Notat vedr. etablering af værkstedsområder tilknyttet den fremtidige rapportering af effekter under EU's emissionsloftdirektiv

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 7. april 2026 | 20



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Notat vedr. etablering af værkstedsområder tilknyttet den fremtidige rapportering af effekter under EU's emissionsloftdirektiv

Forfattere: Christian Frølund Damgaard og Jesper Leth Bak
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Bettina Nygaard
Kvalitetssikring, DCE: Camilla Uldal

Ekstern kommentering: Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø. [Kommentarerne findes her](#).

Rekvirent: Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø.

Bedes citeret: Damgaard, C. Bak, J. 2026. Notat vedr. etablering af værkstedsområder tilknyttet den fremtidige rapportering af effekter under EU's emissionsloftdirektiv Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 15 s. - – Fagligt notat nr. 2026 | 20

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Ortofoto

Sideantal: 15

Indhold

1	Bestilling: baggrund og indhold	4
1.1	Baggrund	4
1.2	Indhold	4
2	Rapporteringsforpligtigheden for effekter under NEC direktivet	5
3	Det videnskabelige arbejde med effekter under Luftkonventionen og NEC-direktivet	7
4	Design af værkstedsområder	8
5	Kobling til data fra kontrolovervågningen	10
6	Etablering og første resultater	11
6.1	Vust Hede (Lund Fjord)	11
7	Konklusion	12
8	Figurer	13
9	Referencer	14

1 Bestilling: baggrund og indhold

1.1 Baggrund

På baggrund af rådgivning fra Fagdatacenter for Natur (FDC) besluttede Miljøstyrelsen at etablere 4 værkstedsområder til at understøtte forpligtelserne i National Emission Ceilings (NEC) direktivet (EU 2016/2284) i forhold til at overvåge de negative effekter af luftforurening på terrestriske økosystemer. I værkstedsområderne udføres manipulationsforsøg med udvanding af gødning i forskellige koncentrationer for at simulere forskellig grad af luftforurening på udvalgte habitatnaturtyper, og derved undersøge effekterne af næringspåvirkning af vegetation og jordbund ved forskellige næringsstofniveauer. De 4 værkstedsområder omfatter kystområder, heder, græsland og vådområder.

1.2 Indhold

Fagkoordinationsgruppen for Natur i Miljøstyrelsen (FKG) havde ønsket et notat, der beskriver hvordan data fra værkstedsområderne kan anvendes til at undersøge effekterne af luftforurening/næringsstofpåvirkning af habitatnaturtyperne samt, hvordan data fra værkstedsområderne kan kobles til data fra kontrolovervågningen af naturtyperne til at sige noget om effekterne på nationalt niveau. Endvidere ønskes en beskrivelse af, hvordan projektet kan bidrage til at forstå årsagssammenhænge mellem ændringer i tilstanden/parametre (vegetationssammensætning, vegetationshøjde, næringsindhold i løv, jordbund etc.) for habitatnaturtyperne i forhold til luftforurening/næringsstofniveauet.

2 Rapporteringsforpligtigheden for effekter under NEC direktivet

EU's Emissionsloftdirektiv sigter mod at begrænse udledningen af SO₂, NO_x, NH_y, NMVOC og fine partikler (PM_{2.5}) for at mindske luftforureningens skadelige effekter på menneskers sundhed, reducere forsurening og eutrofiering samt begrænse dannelsen af ozon ved jordoverfladen.

Direktivet er en del af en adaptiv politik, hvor målene løbende justeres med udgangspunkt i udviklingen i effekter på miljø og sundhed, bl.a. baseret på integrerede modelberegninger foretaget af Center for Integrerede modeller under UNECE, Luftkonventionen¹ med udgangspunkt i data indsamlet i effektovervågningen under Luftkonventionen. I den seneste revision af direktivet er der i artikel 9 indskrevet en forpligtelse til at sikre overvågning af negative påvirkninger af luftforurening på økosystemer baseret på et repræsentativt netværk af overvågningssteder dækkende ferskvand, naturlige og seminaturlige økosystemer og skov. Et minimum antal stationer vil være 1 pr hovednaturtype i hver biogeografisk region. Et anbefalet sæt af parametre er beskrevet i direktivets bilag V². Rapporteringsforpligtigheden omfatter en 4-årig rapportering af overvågningssteder og -data. Rapporteringsforpligtigheder og -format forventes revideret ved den kommende revision af NEC direktivet.

Målet med økosystemovervågningen er at give et tilstrækkeligt vidensgrundlag til at vurdere effektiviteten af NEC-direktivet til at beskytte miljøet og behovet for yderligere reduktioner.

For at sikre omkostningseffektivitet tilskynder NEC-direktivet til, at medlemslandene koordinerer med andre dataindsamlingsprogrammer under fx Vandrammedirektivet, Habitatdirektivet og Luftkonventionen, og til at genbruge økosystemovervågningsdata indsamlet i henhold til deres metoder. I artikel 9, stk. 2, peges der på, at metoder, der er fastlagt i manualer udarbejdet af de Internationale Samarbejdsprogrammer (ICP'er) under Luftkonventionen, kan anvendes til indsamling og rapportering af de parametre, der er anført i bilag V."

For terrestriske økosystemer udgør de anbefalede parametre beskrevet i bilag V: jordens surhedsgrad, tab af næringsstoffer fra jorden, kvælstofstatus og -balance. Det er et overordnet mål at følge påvirkning af biodiversitet, men der er ikke fastsat parametre direkte relateret hertil. Nøgleindikatorer for jordens surhed er udbyttelige basekationer (basemætning) og udbyttelig aluminium i jord. Supplerende indikatorer er pH, sulfat, nitrat, basekationer, og aluminiumkoncentrationen i jordvand. Nøgleindikatorer for næringsstoffer er nitratudvaskning og C/N forhold. Understøttende parametre er total kvælstof i jord (N_{tot}). Nøgleindikatorer for næringsstofbalance i løv er forholdene mellem N/P, N/K, og N/Mg.

¹ <https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/policy/NEC-revision.en.html>

² https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.344.01.0001.01.ENG

EU Kommissionen har fået udført en evaluering af den første runde af data-indberetninger under NEC direktivet udført af Ecologic og Rambøll (Best et al., 2020). Evalueringen viser, at de fleste lande i store træk lever op til rapporteringsforpligtigheden. Der er dog for de fleste lande en manglende repræsentativitet af overvågningssteder, idet specielt kvælstoffølsomme naturtyper som heder, moser og græsland er underrepræsenteret. Kun 4 lande har rapporteret data for moser og kær, 6 for heder, og 9 for græsland.

De rapporterede data er i stor udstrækning baseret på eksisterende overvågningsprogrammer, herunder dataindsamling under Habitatdirektivet, Vandrammedirektivet og Luftkvalitetsdirektivet, data fra nationale overvågningsnet og overvågning under UNECE Luftkonventionens effektgrupper (ICP-vand, ICP-skov, ICP-vegetation og ICP-integreret overvågning). Den manglende repræsentation af følsomme, lysåbne naturtyper hænger formentlig sammen med anvendelsen af data fra eksisterende programmer, idet der fx ikke har været et særligt overvågningsprogram for lysåben natur under Luftkonventionen og overvågningen under ICP-integreret overvågning hovedsageligt omfatter skovklædte afstrømningsområder.

Danmark deltager pt kun i møder under ICP-skov og i model ICP'erne (Kortlægning og modellering, Integrerede modeller) samt i møder i Task Force vedr. reaktivt kvælstof. Danmark har imidlertid også rapporteret data indsamlet under vandrammedirektivet og habitatdirektivet (NOVANA data).

Evalueringsrapporten fremhæver, at arbejdet i ICP'erne anvender flere elementer af god praksis, der bør overvejes, når overvågningsdataene anvendes til opfyldelse af forpligtelserne under NEC-direktivet. Specielt fremhæves anvendelsen af et hierarkisk design med to til tre overvågningsniveauer. Både ICP-skov og ICP-vand har flere niveauer af overvågning med forskellig rumlig dækning, samt omfang og hyppighed af prøveudtagning. ICP-skovs niveau I-overvågning dækker den store skala og har en ligelig og fuldstændig repræsentation i EU-medlemslandene, mens de intensive niveau II-områder repræsenterer de vigtigste skovarter og udbredte vækstbetingelser i landene. ICP-integreret overvågning fremhæves for at anvende en multi-medie flux tilgang og fokusere på årsags-virknings sammenhænge.

Man kan antage, at konklusioner og anbefalinger fra evalueringen vil indgå i den fremtidige udvikling af rapporteringssystemet for data for miljøeffekter under NEC-direktivet. En revision af direktivet forventes tidligst i 2027. Der er imidlertid et forberedende arbejde i gang, hvor der i oktober 2025 har været afholdt en EU ekspertworkshop mhp. at forberede en revision af rapporteringsforpligtigheden under artikel 9. Anbefalinger herfra omfatter en bedre dækning af økosystemtyper, brug af to overvågningsniveauer og en bedre dækning af biologiske parametre, herunder forekomst og dækning af plantearter. I dansk sammenhæng må det forventes, at der skal ske en væsentligt forøget overvågning af kemiske parametre på en række stationer. Der kan desuden ved en opdatering forventes større ændringer i rapporteringsformatet. Rapporterings-templaten anvendt til rapportering har bl.a. ikke afspejlet, at indsamlingen i nogle tilfælde sker på basis af et hierarkisk design.

3 Det videnskabelige arbejde med effekter under Luftkonventionen og NEC-direktivet

Manglende repræsentation af følsom, lysåben natur har længe været en erkendt mangel ved effektarbejdet under Luftkonventionen. Der pågår i øjeblikket en proces med at rette op på denne mangel og få en bedre repræsentation af disse naturtyper, både i overvågningsdatabaserne og i det videnskabelige arbejde. Der er etableret et nyt program under ICP IM (integreret overvågning) kaldet 'IM extendet', der muliggør inklusion af mere ekstensive niveauer af overvågning (parametre og frekvens) end det oprindelige program for integreret overvågning, der fremover vil udgøre det højeste niveau (III), der omfatter meget omfattende og intensiv overvågning i større afstrømningsområder. De nuværende områder er hovedsageligt skovdækkede. Det har været diskuteret, om der for dette niveau skulle stiles mod en bedre dækning af naturtyper og mod at inkludere data fra eksperimenter. Det er imidlertid forventningen, at det vil være vanskeligt for de nationale programmer at skaffe finansiering til væsentlige udvidelser af aktiviteterne. Konklusionen for nærværende er derfor, at inddragelse af denne type data i det videnskabelige arbejde må ske ved et tættere samarbejde med andre netværk som eLTER³. Dette samarbejde er etableret i mange lande, og lederen af eLTER har været inviteret til to møder i Luftkonventionens effektgruppe. Der søges EU finansiering til udbygning af datasamarbejdet.

Ud over (det eksisterende) niveau III etableres der to lavere niveauer af overvågning, som skal sikre en bred dækning og repræsentativitet, både geografisk og af naturtyper. De mere ekstensive niveauer behøver ikke dække et helt afstrømningsområde, men hensigten er stadig at have mulighed for at anvende jordkemi-, plantekonkurrence- og planteforekomst modeller. Det forventes, at disse niveauer, som det er tilfældet med NEC-rapporteringen, også kan trække på data fra nationale overvågningsprogrammer og fra dataindsamling under fx habitatdirektivet. Den væsentligste forskel på niveau I og II er, at niveau II også vil omfatte indsamling af jordvand, hvilket kræver en højere overvågningsfrekvens samt kobling til klima- og hydrologiske data. Et væsentligt formål med alle niveauer af den fremtidige integrerede overvågning er at understøtte og videreudvikle metoder til fastsættelse af tålegrænser baseret på målsætninger for biodiversitet. For at styrke dette arbejde er det besluttet at opgradere den tidligere ekspertgruppe 'Joint Expert Group for Dynamic Modelling' til et datacenter 'Center for Dynamic Modelling', der organisatorisk placeres under ICP-kortlægning og modellering.

EU Kommissionen og Miljøagenturet har været inddraget i dette arbejde for at sikre den bedst mulige koordinering mellem udviklingen af effektovervågning under NEC-direktivet og Luftkonventionen. Det forventes, at det videnskabelige arbejde med effekter og udviklingen af protokoller mv. også fremover primært vil finde sted i regi af Luftkonventionen.

³ Den europæiske del af det internationale samarbejdsprogram om 'Long Term Ecosystem Research'

4 Design af værkstedsområder

Formålet med oprettelse af værkstedsområderne er at understøtte videnskabeligt arbejde om samspillet mellem effekter af kvælstofdeposition og forskellige forstyrrelser / drift / naturpleje (slåning og græsning) på lysåbne habitattyper. Data fra kontrolfelterne (0 N, ingen høstning, med græsning) vil endvidere kunne anvendes til rapportering under NEC-direktivets artikel 9.

I mange lysåbne habitater har adgangen til plantetilgængeligt kvælstof været en begrænsende faktor for plantevækst, og denne begrænsning sammen med adgangen til vand og andre næringsstoffer (den fundamentale niche) har haft stor betydning for, hvilke plantearter som typisk har vokset i de forskellige lysåbne habitater (Craine 2009).

Som konsekvens af afbrændingen af fossile brændsler og det moderne landbrug, er kvælstofdepositionen i de sidste 70 år øget betydeligt, og kvælstof er ikke længere den begrænsende faktor for plantevækst, det var tidligere. Dette betyder, at plantearter, som gror hurtigt ved relativt høje koncentrationer af plantetilgængeligt kvælstof (Grimes konkurrencearter), har kunnet udkonkurrere arter som er tilpasset de lavere koncentrationer (Grimes stresstolerante arter). Dette har medført en generel nedgang i antal og abundans af stresstolerante arter, samt en generel homogenisering af vores lysåbne habitater. Samtidig har der i mange semi-naturlige naturtyper været en reduceret kvælstoffjernelse og forstyrrelse ved græsning og høslet, hvilket også har ændret konkurrenceforholdet til fordel for høje, hurtigt voksende plantearter (Timmermann et al. 2015).

For at forstå interaktionen mellem kvælstofdeposition og forstyrrelse, teste de ovenfor skitserede hypoteser, samt kortlægge årsags-virkningssammenhænge af disse faktorer på biodiversiteten i lysåbne naturtyper, er der planlagt en række fuld-faktorielle manipulationsforsøg med kvælstofdeposition og forstyrrelse i lysåbne naturtyper langs en fugtighedsgradient.

Fordelen ved at anvende fuld-faktorielle manipulationsforsøg, i forhold til at anvende de kvælstof- og forstyrrelsesgradienter som allerede findes i Danmark, er at det i faktorielle manipulationsforsøg er muligt at kontrollere for alternative faktorer som man ikke *a priori* har en viden om, har nogen betydning eller ikke kan måle, og som muligvis kovarierer med de eksisterende gradienter. Dette betyder, at testningen af kausale hypoteser vha. data fra faktorielle manipulationsforsøg er på mere sikker grund.

Derudover er det en fordel, at man i disse processtudier af de manipulerede effekter ikke anvender de problematiske "space-for-time" antagelser som indirekte antages i analysen af kontrolovervågningsdata (Damgaard 2019)

I forsøgsdesignet anvendes der permanent markerede felter til pin-point rammer, og antallet af gange hver pin-point pind rører en art noteres. Dette muliggør, at vi både kan måle plantearters dækning og vertikale tæthed (3D fylde) (Damgaard et al. 2009, Damgaard 2011, Kaae et al. 2024), hvilket igen giver mulighed for at modellere væksten af de enkelte arter som værende afhængige af miljøet (behandlingerne), konkurrencen fra andre arter (Lotka-Volterra konkurrence) samt hvor hyppig arten er på lille skala (frekvensaf-

hængig vækst) (Damgaard and Weiner 2021). Derudover er der en artsspecifik sammenhæng mellem vertikal tæthed og biomasse (Jonasson 1983, 1988, Kaae et al. 2024).

Estimeringen af den frekvensafhængige vækst er specielt interessant, idet negativ frekvensafhængighed (relativ fordel ved at være lokal sjælden) kan forklares ved fx artsspecifikke jordpatogener (van der Putten et al. 2013, Mazzoleni et al. 2015a, Mazzoleni et al. 2015b, Heinen et al. 2020) og positiv frekvensafhængighed (relativ fordel ved at være lokal dominerende) kan forklares ved ressource monopolisering fx i forbindelse med symbiotiske interaktioner med mykorrhiza (van der Putten et al. 2013, Suding et al. 2024). Dette betyder, at frekvensafhængighed kan være en af de mulige forklaringer på de rumlige mønstre på fx heder som man observerer i NOVANA data, og som igen har indvirkning på hastigheden af de forventede ændringer i artsammensætningen.

De estimerede vækstmodeller vil kunne sammenlignes med observerede ændringer i dækning og danne baggrund for lokale prognoser for udviklingen af plantesamfund i habitater, hvor der foretages kontrolovervågning (Damgaard 2025c).

5 Kobling til data fra kontrolovervågningen

De indsamlede data fra værkstedsområderne vil ikke blive koblet direkte sammen med data fra NOVANA kontrolovervågningen i den samme empiriske/økologiske model, men den forventede øgede økologiske procesviden vedrørende de indikatorer som indsamles i kontrolovervågningen vil bidrage til at udvikle mere robuste modeller til at analysere data fra NOVANA kontrolovervågningen og til kalibrering og validering af mekanistiske jordkemi-modeller. For eksempel, vil øget kvantitativ forståelse af effekten af pleje (høstning), eller hvilke processer som er mest betydende i reguleringen af plantesamfundsudviklingen (konkurrence eller forskellige frekvensafhængige plante-jordbundsinteraktioner) have betydning for de konklusioner man drager af de observerede ændringer i NOVANA kontrolovervågningen. Generelt, forventes den opnåede yderligere forståelse af årsags-virkningssammenhængene af kvælstofdeposition og forstyrrelse på plantesamfundet at bidrage væsentligt til at forklare de ændringer som observeres i NOVANA kontrolovervågningsprogrammet (Nygaard et al. 2019, Damgaard 2021, 2022, 2023, 2025a). Dog forventer vi, at det tager mindst 20 år indtil effekten af behandlingerne (kvælstof og høstning) vil være fuldt udmøntet på plantesammensætningen.

De testede kausale hypoteser vil endvidere blive integreret i bedre validerede mekanistiske og statistiske strukturelle ligningsmodeller, som kan fittes til NOVANA kontrolovervågningsdata. Modellerne vil derefter kunne anvendes til i) at estimere effekterne af kvælstofdeposition og forstyrrelse på nationalt niveau, samt ii) at lave lokale økologiske prognoser som kan anvendes til at udvikle lokalt tilpassede adaptive forvaltningsplaner (Damgaard 2020, 2025b). Sådanne lokale økologiske prognoser forventes at spille en afgørende rolle i at nå de mål om gunstig bevaringstilstand som er fastsat i EU Naturgenopretningsforordningen.

6 Etablering og første resultater

6.1 Vust Hede (Lund Fjord)

Værkstedssområdet Vust hede ved Lund fjord er en klithede (Fig. 1) med relativ lav kvælstofdeposition ($9.43 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$). Værkstedssområdet er et fuldfaktor-forsøg (kvælstof, slåning, og græsning med fritgående hjorte) som blev igangsat i forbindelse med en forskningsbevilling fra Aage V Jensen fonde, og efter forskningsprojektets udløb er behandlinger samt dataindsamling i et reduceret design blevet foretaget af Miljøstyrelsen (se udkast til teknisk anvisning).

Aarhus Universitet foretager løbende analyser af indsamlede jordprøver og i forbindelse med et infrastrukturprojekt (LTER-DK) er der blevet opstillet en klimastation, nedsat jordfugtighedsmålere, og nedgravet sugeceller som indsamler jordvandsprøver for at måle evt. udvaskning af kvælstof i de forskellige behandlinger. Derudover eksperimenteres der i forbindelse med et Danmarks Frie Forskningsfond (FNU)-projekt med metoder til at måle plantearters dækning og vertikale tæthed (3D fylde) med anvendelse af dronebilleder og AI.

6.1.1 Foreløbige resultater

De observerede plantesamfundssændringer i de forskellige behandlinger er rapporteret i Kaae et al. (2024). Overordnet blev der ikke observeret signifikante effekter af tilført kvælstof og hjorteafgræsning på den vertikale tæthed og dækning af dværgbuske i de fire år forsøget havde kørt indtil opgørelsen. Høje belastninger af kvælstof reducerede dækningen af mos og øgede den vertikale tæthed og dækning af sandstar. Slåning påvirkede dværgbusksamfundet negativt. Den vertikale tæthed og dækningen af sandstar steg uden hjorteafgræsning, hvorimod dækningen af mos faldt markant uden græsning.

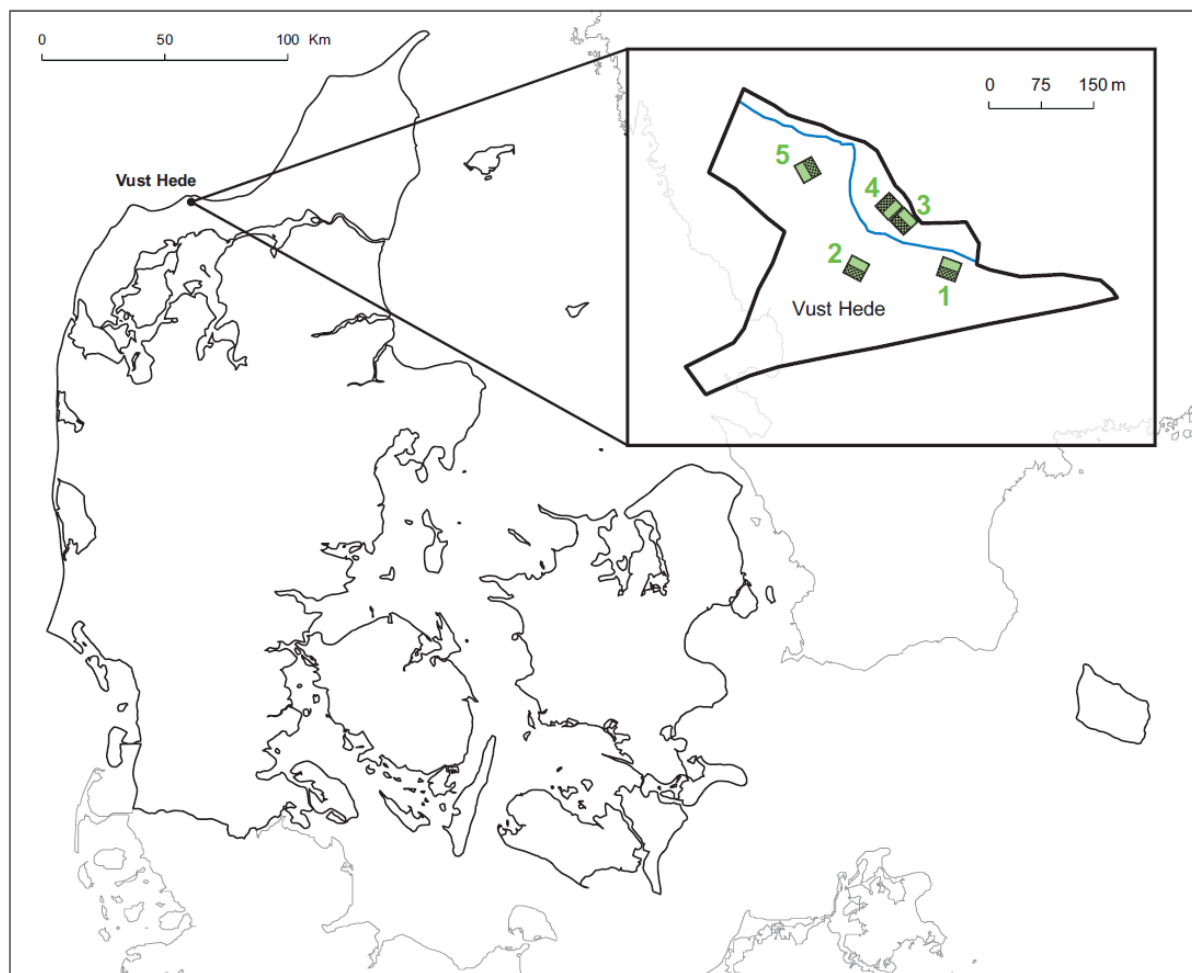
Tidsserie-pin-point-data (dækning og vertikal tæthed) blev modelleret i en plantevækst model (Damgaard et al. 2024), hvor det blev påvist, at både Lotka-Volterra interspecifik konkurrence og frekvensafhængighed spiller en væsentlig rolle for plantevækst i den undersøgte klithede. Signifikant interspecifik konkurrencemæssig effekt blev observeret for lyng og denne øgedes med kvælstof. Både lyng og bølget bunke viste positiv feedback-dynamik på væksten, når de var lokalt relativt dominerende, og effekten steg med tilsat kvælstof. En sådan positiv feedback-dynamik kan føre til dannelse af "patches" med henholdsvis lyng og bølget bunke, som er et karakteristisk træk ved hedeøkosystemer. Studiet fremhæver vigtigheden af de kombinerede effekter af interspecifik konkurrence og frekvensafhængighed i reguleringen af plantesamfund.

De indsamlede jordvandsprøver er ved at blive analyseret.

7 Konklusion

De indsamlede data fra værkstedsområderne forventes at bidrage med afgørende viden vedrørende vigtige økologiske processer som er nødvendig for at kunne tolke de ændringer på plantesamfundsniveau som observeres i NOVANA overvågningen. Derudover bidrager værkstedsområdernes kontrolplots til at løfte rapporteringsforpligtigelsen under NEC direktivets artikel 9.

8 Figurer



Figur 1. Kort af Vust hede med 5 forsøgsblokke, som siden er blevet reduceret til tre (blok 1, 2 og 4) (Kaae et al. 2024).

9 Referencer

Best, A., Landgrebe, R., Stein, U., Schmitt, H., Duin, L., 2020. Analysis of Ecosystem Monitoring Data under Article 9 of Directive (EU) 2016 / 2284 Comprehensive Assessment.

Craine, J. M. 2009. Resource strategies of wild plants. Princeton University Press.

Damgaard, C. 2011. Measuring competition in plant communities where it is difficult to distinguish individual plants. *Computational Ecology and Software* **1**:125-137.

Damgaard, C. 2019. A Critique of the Space-for-Time Substitution Practice in Community Ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **34**:416-421.

Damgaard, C. 2020. Adaptive management plans rooted in quantitative ecological predictions of ecosystem processes: putting monitoring data to practical use. [bioRxiv:2020.2010.2011.334789](https://doi.org/10.1101/2020.10.20.334789).

Damgaard, C. 2021. Indication of a reduction in the cover of thin-leaved plants in danish grasslands over an eight-year period. *Journal of Vegetation Science* **32**:e12982.

Damgaard, C. 2022. Spatio-temporal modelling of the effect of selected environmental and land-use factors on acid grassland vegetation. *Journal of Plant Ecology* **15**:253-264.

Damgaard, C. 2023. Spatio-temporal modelling of the effect of environmental and land-use factors on species-rich calcareous grasslands. *Basic and Applied Ecology* **72**:22-29.

Damgaard, C. 2025a. Ecosystem Dynamics in Wet Heathlands: Spatial and Temporal Effects of Environmental Drivers on the Vegetation. *Rangeland Ecology & Management* **100**:47-55.

Damgaard, C. 2025b. Local ecological predictions as input to adaptive management of natural plant communities. *Biological Conservation* **302**:110951.

Damgaard, C. 2025c. Processes and Predictions in Ecological Models: Logic and Causality. *Journal of Forecasting* **44**:1658-1665.

Damgaard, C., M. E. Kaae, J. Weiner, and J. L. Bak. 2024. Both density- and frequency-dependent effects determine plant growth in a dune heath ecosystem. [bioRxiv:2024.2009.2012.612621](https://doi.org/10.1101/2024.09.20.612621).

Damgaard, C., T. Riis-Nielsen, and I. K. Schmidt. 2009. Estimating plant competition coefficients and predicting community dynamics from non-destructive pin-point data: a case study with *Calluna vulgaris* and *Deschampsia flexuosa*. *Plant Ecology* **201**:687-697.

Damgaard, C. and J. Weiner. 2021. The need for alternative plant species interaction models. *Journal of Plant Ecology* **14**:771-780.

- Heinen, R., S. E. Hannula, J. R. De Long, M. Huberty, R. Jongen, A. Kielak, K. Steinauer, F. Zhu, and T. M. Bezemer. 2020. Plant community composition steers grassland vegetation via soil legacy effects. *Ecology Letters* **23**:973-982.
- Jonasson, S. 1983. The point intercept method for non-destructive estimation of biomass. *Phytocoenologia* **11**:385-388.
- Jonasson, S. 1988. Evaluation of the point intercept method for the estimation of plant biomass. *Oikos* **52**:101-106.
- Kaae, M. E., F. Hu, J. L. Bak, M. T. Strandberg, and C. F. Damgaard. 2024. How Do Nitrogen Deposition, Mowing, and Deer Grazing Drive Vegetation Changes on Dune Heaths? Pages 116-131 *Ecologies*.
- Mazzoleni, S., G. Bonanomi, G. Incerti, M. L. Chiusano, P. Termolino, A. Mingo, M. Senatore, F. Giannino, F. Carteni, M. Rietkerk, and V. Lanzotti. 2015a. Inhibitory and toxic effects of extracellular self-DNA in litter: a mechanism for negative plant-soil feedbacks? *New Phytologist* **205**:1195-1210.
- Mazzoleni, S., F. Carteni, G. Bonanomi, M. Senatore, P. Termolino, F. Giannino, G. Incerti, M. Rietkerk, V. Lanzotti, and M. L. Chiusano. 2015b. Inhibitory effects of extracellular self-DNA: a general biological process? *New Phytologist* **206**:127-132.
- Nygaard, B., T. E. Holm, O. R. Therkildsen, R. D. Nielsen, J. Bladt, T. Bregnballe, P. Clausen, C. Damgaard, R. Ejrnæs, A. Galatius, T. Lauritsen, P. Mikkelsen, K. E. Nielsen, I. K. Petersen, S. Sveegaard, B. Sogaard, J. Teilmann, and P. Wind. 2019. NOVANA.au.dk. Rapportering af NOVANA's delprogram for terrestriske naturtyper og arter. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Suding, K. N., C. G. Collins, L. M. Hallett, L. Larios, L. M. Brigham, J. Dudley, E. C. Farrer, J. E. Larson, N. Shackelford, and M. J. Spasojevic. 2024. Biodiversity in changing environments: An external-driver internal-topology framework to guide intervention. *Ecology* **105**:e4322.
- Timmermann, A., C. Damgaard, M. T. Strandberg, and J.-C. Svenning. 2015. Pervasive early 21st-century vegetation changes across Danish semi-natural ecosystems: more losers than winners and a shift towards competitive, tall-growing species. *Journal of Applied Ecology* **52**:21-30.
- van der Putten, W. H., R. D. Bardgett, J. D. Bever, T. M. Bezemer, B. B. Casper, T. Fukami, P. Kardol, J. N. Klironomos, A. Kulmatiski, J. A. Schweitzer, K. N. Suding, T. F. J. Van de Voorde, and D. A. Wardle. 2013. Plant-soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *Journal of Ecology* **101**:265-276.