



Afsluttende rapport 2020-2022

Projekt om involvering af gymnasieklasser i registrering af ikkehjemmehørende arter



Projekt udført af Statens Naturhistoriske Museum for Miljøstyrelsen

16. december 2022

Maria Rytter // Sarah Hagel Svendsen // Frederik Leerhøi // Marie Lillemark // Anders Tøttrup

Indhold

Baggrund.....	3
Formål	3
Tidsplan.....	3
Aktiviteter	4
Løbende møder	4
Citizen Science-konference.....	4
INDsigt	4
Publikation.....	4
Big Bang Konferencen.....	4
Biokonferencen	5
Naturmødet.....	5
Udvikling i projektet.....	5
Nyt projekt DNA på FORKANT	5
Felt- og Labarbejde	6
Kvalitetssikring.....	7
Resultater.....	8
Udvalgte miljøDNA-resultater	10
Udtalelser fra lærer og elever	11
Afsluttende bemærkning.....	14

Rapport har været under fagligt gennemsyn ved kurator og lektor på Statens Naturhistoriske Museum, Peter Rask Møller, som ved kvalitetssikring har godkendt det tekniske og laboratoriemæssige arbejde.

Baggrund

I 2018-2019 udførte Miljøstyrelsen (MST) et pilotprojekt med Statens Naturhistoriske Museum (SNM), Københavns universitet (KU), hvis formål var at undersøge, hvorvidt resultater fra det eksisterende undervisningstilbud og forskningsprojektet DNA & liv havde den nødvendige kvalitet, som krævedes, for at Miljøstyrelsen kunne anvende data som en del af artsovervågning og forvaltning. DNA & liv inddrog gymnasieklasser i at overvåge marine arter ved hjælp af miljøDNA, også betegnet environmental DNA (eDNA). Undersøgelserne blev udført ved at spore DNA fra hjemmehørende og ikkehjemmehørende arter i vandprøver, eleverne havde indsamlet fra havområder fordelt over hele landet. Projektet bidrog ikke kun med data af høj kvalitet, der gavner forvaltningen af ikkehjemmehørende og invasive arter, men havde ligeledes stor værdi for de danske gymnasieelever, som fik et øget kendskab til ikkehjemmehørende arter og relaterede problemstillinger.

På baggrund af pilotprojektets gode erfaringer og resultaternes brugbarhed, har MST og SNM indgået endnu et samarbejde fra 2020-2022 omkring gymnasieelevers registrering af ikkehjemmehørende arter ved brug af miljøDNA-metoden. Dette projekt bygger på en længerevarende indsats, hvor indholdet undervejs er tilpasset således at undersøgelserne tager udgangspunkt i aktuelle og relevante problemstillinger. Denne rapport er en afsluttende opsamling af alle projektets tre arbejdsår, statusrapporter, dataleverancer og generelle aktiviteter.

Formål

Citizen science-projektet om involvering af gymnasieklasser i registrering af ikkehjemmehørende arter inddrager gymnasieelever i arbejdet med at undersøge udbredelsen af udvalgte arter i Danmark. Projektet startede i 2020 og er et samarbejde mellem MST og SNM, hvor formålet er at overvåge udvalgte, ikkehjemmehørende arter ved hjælp af miljøDNA og samtidig udbrede kendskabet til problemstillingen om ikkehjemmehørende og invasive arter blandt gymnasieelever i Danmark.

Tidsplan

Corona-pandemien har i projektårene 2020-2021 medført ændringer i den forventede tidsplan i forhold til afvikling af undervisningsforløbet DNA & liv og derved analyse af miljøDNA-prøver. Først i slutningen af april 2021 kunne projektet genoptage analyser af miljøDNA-prøver indsamlet i foråret 2020, da KU var underlagt nedlukning fra december 2020 til april 2021. Et overblik af den reviderede tidsplan er vist i tabel 1.

Tabel 1 Revideret overblik af projektets tidsplan

År	Dato	Milepæl
2020	16. marts	Opstart for projekt
	August-oktober	Indsamling af miljøDNA-prøver
	Oktober-november	Analyse af miljøDNA-prøver
	15. november	Statusrapport afleveres
2021	April-juni	Analyse af miljøDNA-prøver fra 2020
	April-juli	Indsamling af miljøDNA-prøver
	September-december	Analyse af miljøDNA-prøver
	15. november	Statusrapport afleveres
2022	Januar-Marts	Analyse af miljøDNA-prøver
	April-juni	Indsamling af miljøDNA-prøver
	September-november	Analyse af miljøDNA-prøver
	30. november	Afsluttende rapport afleveres
	31. december	Projektet afsluttes

Aktiviteter

Løbende møder

Projektets kontaktgrupper hos MST samt SNM har løbende været i kontakt gennem projektperioden, hvor møder primært har været afholdt online og opsamling på disse er foregået pr. mailkorrespondance. På møder og efterfølgende mailkorrespondance er der indgået aftaler om MSTs ønsker til lokaliteter for feltarbejdet samt udvælgelse af arter til laboratorieanalyserne.

Citizen Science-konference

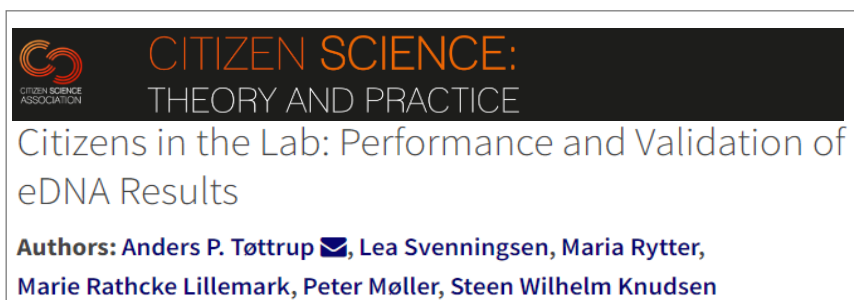
Konferencen Engaging Citizen Science afvikles gennem et netværk af forskere og aktører inden for forskningsmetoden citizen science. Konferencen blev første gang afholdt som et nationalt symposium d. 7. oktober 2019, hvor resultater fra undervisningsforløbet DNA & liv blev præsenteret ved et oplæg med efterfølgende debat. Den 25.-26. april 2022 blev konferencen udvidet til international skala og teamet bag DNA & liv deltog i konferencens aktiviteter og øvrige indhold sammen med 250 andre deltagere fra hele verden.

INDsigt

INDsigt er to-timers seminarer, med oplæg og indsigter om forskning og udvikling i undervisning og læring i naturfagene. Seminarene afholdes af Institut for Naturfagenes Didaktik, KU, og henvender sig primært til undervisere i grundskolen, gymnasiet, universitet og museer. Den 22. september 2020 blev konceptet bag DNA & liv fremlagt på et INDsigt-seminar sammen med erfaringer, udfordringer og resultater fra projektet. Oplægget blev afviklet af SNMs projektmedarbejder. Grundet corona-epidemien blev seminaret afviklet online.

Publikation

I 2021 udgav teamet bag DNA & liv en videnskabelig artikel i tidsskriftet 'Citizen Science: Theory and Practice' med titlen '*Citizens in the lab: Performance and Validation of eDNA Results*'¹. Artiklen beskriver, hvordan projektet har inddraget gymnasieelever i laboratoriearbejde og miljøDNA-analyser samt gennemgår de elementer af kvalitetssikring, der bruges ved analysearbejdet for at sikre videnskabeligt data af høj kvalitet.



Big Bang Konferencen

Big Bang konferencen er Danmarks største naturfagskonference og -messe. Konferencen afholdes én gang om året og henvender sig til undervisere, formidlere og forskere inden for undervisning i det naturvidenskabelige felt. Undervisningsforløbet DNA & liv blev formidlet i SNMs messestand på Big

¹ Tøttrup, A.P., Svenningsen, L., Rytter, M., Lillemark, M.R., Møller, P., Knudsen, S.W. (2021). Citizens in the Lab: Performance and Validation of eDNA Results. Citizen Science: Theory and Practice, 6(1): 35, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.5334/cstp.382>

Bang konferencen d. 6. – 7. april 2022. På standen blev der fremvist udvalgte materialer fra DNA & liv-undervisningen. Desuden var standen bemanded af underviserne på DNA & liv som fortalte om projektet til interesserede konferencedeltagere. På Big Bang Konferencen d. 24.-25. marts 2021 blev materiale fra DNA & liv ligeledes præsenteret, men denne gang på SNMs online messestand da hele konferencen foregik virtuelt.

Biokonferencen

Biokonferencen afholdes af Foreningen af Danske Biologer og er henvendt til gymnasielærere i biologi og bioteknologi. Hvert år er deltagerlisten booket fuldt op med 130 deltagere, der får mulighed for at deltage i workshops, oplæg, foredrag, messeområde og laboratorieaktiviteter. Både i 2021 og 2022 var projektgruppen fra SNM og teamet bag DNA & liv tilstede på Biokonferencen, hvor deltagerne kunne besøge museets stand i messeområdet. Her kunne lærerne høre om DNA & liv samt mulighederne for at deltage i feltarbejdet og laboratoriearbejdet.

Naturmødet

Naturmødet er naturens folkemøde, hvor formålet er at samle alle grupper og enkeltpersoner med interesse for naturen. I løbet af mødet er der omkring 30.000 gæster. Naturmødet i Hirtshals blev afholdt 19.-20. maj 2022. SNM deltog med en stand hvor deltagerne blandt andet kunne høre om undervisningsforløbet DNA & liv samt de øvrige projekter på SNM.

Udvikling i projektet

Ved grundig udvikling af indsamlings- og analyseprotokollerne samt løbende kvalitetssikring sikrer DNA & liv den højest mulige datakvalitet. Kvalitetssikringen af elevernes laboratoriearbejde er udviklet løbende i perioden siden begyndelsen af undervisningsforløbet DNA & liv i 2014. Samtidig har projektet undersøgt, udviklet og testet muligheder for inddragelse af nye og flere arter i laboratorieanalyserne.

Nyt projekt DNA på FORKANT

I september 2021 ansøgte Foreningen af Danske Biologer i samarbejde med teamet bag DNA & liv Novo Nordisk Fonden om midler til et nyt projekt i forlængelse af museets arbejde med undervisning og forskning i miljøDNA. Ansøgningen indeholdt bl.a. et støttebrev fra MST. Projektet blev tildelt bevilling i december 2021, og arbejdet med det nye projekt 'DNA på FORKANT' begyndte umiddelbart herefter.

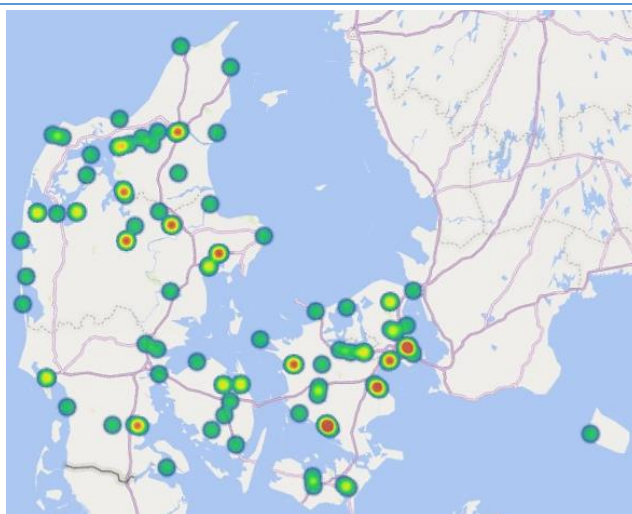
En af projektets hovedaktiviteter er etablering af lokale satellitter af museets undervisningslaboratorium på Hjørring Gymnasium og Herning Gymnasium. Dette særligt med henblik på at involvere skoler, der geografisk ligger langt fra København og DNA & liv-undervisningen. Herved rækker DNA på FORKANT ud til endnu flere skoler i Danmark for at udføre fremtidens forskning med nutidens gymnasieelever. Der er en høj grad af synergi mellem projektet DNA på FORKANT og det nuværende DNA & liv hvad angår indsamling og analyse af miljøDNA-prøver. Der er således et øget volumen af prøver, bredere geografisk distribution og mulighed for udvikling af real time Polymerase Chain Reaction (PCR)-systemer med primere og prober til analyse af yderligere arter. Derfor inkluderer databidraget for denne slutrapport både aftalte prøver til MST for alle projektår, samt enkelte prøver, der på nuværende tidspunkt er indsamlet og analyseret i forbindelse med DNA på FORKANT.

Felt- og Labarbejde

Indsamling af miljøDNA-prøver foregår under projektets sæsoner for feltarbejde. Inden hver sæson har lærere mulighed for at tilmelde klassen til deltagelse og samtidig vælge et af de geografisk udvalgte områder, hvor indsamlingen finder sted – enten i havvand, ferskvand eller brakvand. Efter tilmelding får klassen tilsendt et kit til udførelse af feltarbejdet. Alle kits indeholder materialer og vejledning til indsamling af miljøDNA samt dataark og en frankeret kuvert til returnering af selve miljøDNA-prøven.

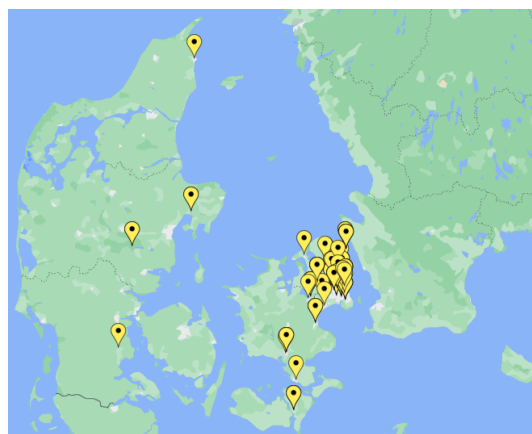
Nærværende projekt omfatter årlig indsamling og laboratorieanalyse af 25 miljøDNA-prøver med geografisk fordeling

over hele landet. Fra 2020-2022 har gymnasieklasser hjulpet med at indsamle i alt 96 miljøDNA-prøver fordelt over hele Danmark. Figur 1 viser kort over indsamlingslokaliteterne for miljøDNA-prøverne. I første projektår var fokus på marine lokaliteter, mens årene 2021 og 2022 desuden har inkluderet indsamling af miljøDNA-prøver fra ferskvand og brakvand med fokus på monitorering af invasive arter fra disse miljøer.



Figur 1 Fordeling af projektet miljøDNA-prøver indsamlet fra 2020-2022. Farveintensiteten angiver antallet af prøver indsamlet i området, hvor gradueringen går fra enkelte (blå/grøn) til flere (rød) prøver.

De 25 årlige miljøDNA-prøver analyseres i undervisningsforløbet DNA & liv i samme projektår, som de er indsamlet. Selve undervisningsforløbet DNA & liv foregår i SNMs DNALab i København. DNA & liv har primært haft besøg af gymnasieklasser fra Sjælland, men også gymnasieskoler fra Jylland og det sydøstlige Danmark er rejst til København for at deltage i laboratoriearbejdet, hvilket bevidner om en stor interesse og engagement fra landets gymnasier. Figur 2 viser den geografiske fordeling af de gymnasier som har deltaget i DNA & liv i årene 2020-2022.



Figur 2 Fordeling af gymnasier der har besøgt DNA & liv i forbindelse med laboratoriearbejde og analyse af miljøDNA-prøver.

Laboratorieanalyserne udføres under vejledning fra projektets undervisere, som i løbet af undervisningsdagen introducerer eleverne til begreberne ”hjemmehørende”, ”ikkehjemmehørende” og ”invasive” arter. Formatet for undervisningen tager udgangspunkt i gruppediskussioner, praktiske øvelser, dialogbaserede refleksioner samt klassisk tavleundervisning.

På hver undervisningsdag analyseres én miljøDNA-prøve for 12 udvalgte arter, og der udføres to analyser for hver art. Udvælgelsen af arter afhænger af, om miljøDNA-prøven er indsamlet i

havvand, ferskvand eller brakvand. Selve analyserne er udført ved brug af metoden real time PCR, også kaldet quantitative(q)PCR. Eleverne forbereder selve opsætningen af alle artsanalyser, som herefter udføres i laboratoriets real time PCR-maskine. Når maskinens program er endt, og resultatet færdigbehandlet, er eleverne med til at vurdere samtlige artsanalyser og resultater fra miljøDNA-prøven.

Opsætning og kvalitetssikring af real time PCR-analyser

Hver artsanalyse består af fire reaktionsbrønde, og hver reaktion indeholder en blanding af TaqMan polymerase, nukleotider, vand, buffer samt de tilhørende artsspecifikke forward/reverse primere og probe. Denne blanding udgør PCR-mixet, som er fælles for de fire reaktionsbrønde. I første reaktionsbrønd tilsættes yderligere DNA-positiv kontrol (fortyndet ekstraktion af DNA fra væv fra arten). I anden reaktionsbrønd tilsættes ddH₂O (dobbeldestilleret H₂O) som negativ kontrol. I tredje og fjerde brønd tilsættes ekstraheret miljøDNA. For hver miljøDNA-prøve udføres to analyser for hver art med denne opstilling af reaktionsbrønd, hvilket resulterer i alt i fire brønde med analyse af miljøDNA for hver inkluderet art.

Real time PCR udføres vha. MxPro3005 med tilhørende MxPro QPCR-software eller med AriaMx med tilhørende Aglient Aria 1.8 software:

- MxPro3005: Reaktionsbrønde med positiv kontrol angives som brøndtype 'No Probe Control' (NPC) og brønde med negativ kontrol angives som 'No Template Control' (NTC). De to brønde med miljøDNA angives som 'Unknown'. Proberne der benyttes er FAM-markerede, og programmet indstilles til at opsamle signal fra FAM og til ROX, hvor ROX bruges som reference-fluorescensen. Tærskelværdien af threshold fluorescens sættes til 0,1.
- AriaMx: Reaktionsbrønde med positiv kontrol angives som brøndtype 'Standard' og brønde med negativ kontrol angives som 'No Template Control' (NTC). De to brønde med miljøDNA angives som 'Unknown'. Proberne der benyttes er FAM-markerede, og programmet indstilles til at opsamle signal fra FAM og til ROX, hvor ROX bruges som reference-fluorescensen. Tærskelværdien af threshold fluorescens sættes til 0,01.

Tærskelværdi bruges som objektiv vurdering af, om der har været amplificerbart DNA i prøven, som både primer og probe har været i stand til at genkende og binde sig til. Er en kurve over tærskelværdien anses den som positiv og hvilket bekræfter tilstedeværelse af DNA i prøven, og er kurven under tærskelværdien anses prøven som værende uden DNA.

Efter endt real time PCR-kørsel vises resultaterne for de fire reaktionsbrønde ved at vælge baseline-corrected normalized fluorescence (dRn) amplifikationskurver for FAM-farven, hvor de to replikater af miljøDNA for hver analyse behandles enkeltvis. Fastsættelse af tærskelværdien af threshold fluorescens giver mulighed for at standardisere på tværs af flere kørsler, idet der for alle resultater bruges samme skæringsværdi for, hvornår et amplifikationssignal kategoriseres som 'positivt' eller 'negativt'. Det danner grundlag for, at hver real time PCR-kørsel kan udføres med mange forskellige assays (primer/probe-systemer) på én gang uden brug af standardkurver for det enkelte assay. Det betyder dog også at data generelt bliver selekteret meget konservativt, idet flere amplifikationskurver efter PCR-maskinens egen automatiserede algoritme vil angive et positivt amplifikationssignal ved lavere threshold-værdi end den standardiserede værdi. I datavalideringen med en standardiserede tærskelværdi af threshold fluorescens på hhv 0,1 for MxPro3005 og 0,01 for

AriaMx opnår flere plots derfor ikke høj nok signal til at kunne falde inden for den accepterede værdi bestemt på tværs af hele datapuljen. Den konservative selektering og høje grænse for threshold gør det muligt at minimere udfaldet af falsk positive resultater².

Cycle treshold (ct)-værdien kan bruges som et udtryk for mængden af DNA tilstede i den pågældende prøve inden påbegyndt amplificering. Jo lavere ct-værdi, jo højere DNA-koncentration har der været fra start. Efter et generelt forsigtighedsprincip bruges en cut off for ct-værdi på 41, så positive signaler med en ct-værdi over 41 betragtes som upålidelige og anses som 'ikke detekteret'/'Absent'³. Resultater med ct-værdi over 41 vil stadig rapporteres til brug som indikation af signal, hvis værdien er over cut off.

Resultater

Gennem alle sæsoner med feltarbejde og laboratorieanalyser i årene fra 2020-2022 har projektet oplevet stor opbakning og efterspørgsel efter at deltage fra landets gymnasier. Dette har medført at over 2.000 elever har deltaget i laboratoriearbejdet med at analysere 86 ud af de 96 indsamlede miljøDNA-prøver. Tabel 2 viser data for projektets tre år og den samlede gymnasiedeltagelse.

Tabel 2 Data for gymnasiedeltagelse gennem projektets tre år.

	Skoleår	2020	2021	2022	Total
Feltarbejde	Forskellige gymnasier	24	27	35	
	Indsamlede prøver	24	29	43	96
Laboratoriearbejde	Forskellige gymnasier	19	27	33	55
	Antal elever	504	639	871	2014
	Analyserede prøver	24	29	33	86

De samlede resultater fra indsamling og analyse af miljøDNA-prøver for alle tre projektår ses i bilag 1, 'Dataleverance_2020-2022'. Bilaget består af følgende ark:

Oversigt_Presence_Absence: Pivottabel over resultater fra miljøDNA-analyser for de enkelte prøver og arter. Det er muligt at selektere for inkonklusive resultater (invalid), valide springer af artsspecifik miljøDNA (present) eller ingen påvisning af artsspecifikt miljøDNA (absent). Tabellen er genereret ud fra ark 3 (Datasæt_miljøDNA_Resultater).

Datasæt_Prøver: Oversigt over alle miljøDNA-prøver indsamlet i 2020-2022. Arket indeholder følgende kolonner:

- *Prøve ID* – Unikt, fortløbende nummer for hver miljøDNA-prøve og tilhørende prøve-replikat.
- *Indsamlingsdato* – Dato for hvornår hver miljøDNA-prøve er indsamlet.
- *Projekt* – Angivelse af hvilket projekt prøven er indsamlet og analyseret for.

² Tøttrup AP, Svenningsen L, Rytter M, Lillemark MR, Møller P, Knudsen SW. Citizens in the Lab: Performance and Validation of eDNA Results. Citizen Science: Theory and Practice. 2021;6(1):35. DOI: <http://doi.org/10.5334/cstp.382>

³ Agersnap S, Larsen WB, Knudsen SW, Strand D, Thomsen PF, Hesselsøe M, et al. (2017) Monitoring of noble, signal and narrow-clawed crayfish using environmental DNA from freshwater samples. PLoS ONE 12(6): e0179261. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179261>

- *Lokalitet* – Indsamlingsted.
- *Latitude* – Decimalkoordinat for breddegrad.
- *Longitude* – Decimalkoordinat for længdegrad.
- *Indsamler institutionsnavn* – Gymnasie der har udført feltarbejdet.
- *Filtreringsvolumen* – Vandvolumen der er passeret igennem filtreringsenheden.
- *pH* – pH-værdi for vandet på indsamlingsstedet.
- *Vandtemperatur (°C)* – Vandets temperatur på indsamlingsstedet.
- *MaxDybde (m)* – Maksimal vanddybde på indsamlingsstedet.
- *Prøvedybde (m)* – Vanddybde for hvor miljøDNA-prøven er indsamlet.
- *Bundforhold* – Bundforhold på indsamlingstedet.

Tomme celler med manglende data betyder, at indsamler ikke har angivet denne information ved indsamling af miljøDNA-prøven.

Datasæt_miljøDNA_Resultater: Resultater fra laboratorieanalyserne, hvor hver arts forekomst (Occurrence) er angivet for hver enkelt analyseret miljøDNA-prøve. Udspecificering af de enkelte kolonnens indhold er angivet i afsnittet 'miljøDNA-resultater'.

- *SampleID:* Unikt prøve-ID.
- *SampleType:* Projekt som prøven er indsamlet og analyseret for.
- *EventDate:* Dato for indsamling af miljøDNA-prøve.
- *decimalLatitude:* Position for indsamling af miljøDNA-prøve; breddegrad.
- *decimalLongitude:* Position for indsamling af miljøDNA-prøve; længdegrad.
- *Locality:* Indsamlingsstedet.
- *scientificName:* Videnskabeligt navn for den undersøgte art.
- *vernacularName:* Trivialnavn for den undersøgte art.
- *Type:* angivelse af artens kategorisering i forhold til at betegnes som 'invasiv', 'almindelig', 'sjælden', 'truet' eller 'toksisk'.
- *Verification:* Validitet af kontrolprøver for den undersøgte art.
- *Occurrence:* Angivelse af, hvorvidt analysen kunne påvise (present) eller ikke påvise (absent) tilstedeværelsen af miljøDNA for den undersøgte art.
- *Ct:* Cycle threshold-værdi til objektiv vurdering af, om der har været amplificerbart DNA i prøven (Ct<41).
- *OccurrenceStatus_Ct:* Sammenfletning af to foregående værdier. Statusværdierne er farvekodet, således:
 - **Grøn** – positivt miljøDNA-signal med ct-værdi < 41
 - **Gul** – positivt miljøDNA-signal med ct-værdi miljøDNA > 41
 - **Rød** – negativt miljøDNA-signal

Datasæt_Analysesystemer: Samlet resultat over artsystemernes pålidelighed og kvalitet. Værdierne i tabellerne er akkumuleret ud fra hver enkelt real time PCR-analyse. 'Total antal analyser' angiver det totale antal real time PCR-analyser undersøgt for den pågældende art.

Signalværdien for de enkelte kontrolprøver og miljøDNA-replikater er binært angivet med '1' for positivt signal og '0' for intet/negativt signal. Hvorvidt signalværdien har

været positiv eller negativ afhænger af, om der har været amplificerbart DNA tilstede i den pågældende prøve.

- *Kolonne H-J* – Pålidelige resultater, enten med positivt eller negativt signal fra miljøDNA-prøven.
- *Kolonne K-N* – Upålidelige resultater, hvor en eller flere af kontrolprøverne ikke gav det forventede resultat.
- *Kolonne O* – Upålidelige resultater pga. af manglende positivt signal fra positiv kontrolprøve. Dog er der indikation af tilstedeværelse af artens DNA ud fra et positivt signal fra miljøDNA-prøven.
- *Kolonne P* – Upålidelige resultater, med intet signal fra hverken kontrolprøver eller miljøDNA-replikater. Dette kan indikere fejl i selve artssystemet.

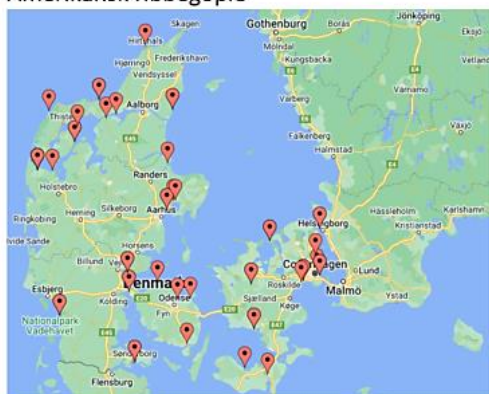
Besøg i DNA & liv: Oversigt over gymnasiernes deltagelse i undervisningsforløbet med angivelse af besøgsdato, elevantal og hvilken miljøDNA-prøve der blev analyseret i laboratoriearbejdet.

Udvalgte miljøDNA-resultater

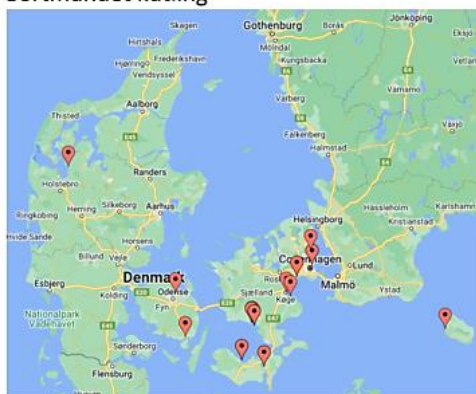
Fokus for projektets analyser og indsamling af miljøDNA-prøver er monitoring af tilstedeværelse af DNA-spor særligt fra invasive arter. Positiv tilstedeværelse af udvalgte, invasive arter er vist i figur 3. På figurens kort ses en tydelig udbredelse af amerikansk ribbegøple og stillehavsøsters, hvis DNA-spor er detekteret i flere prøver spredt over det meste af landet. Anderledes forholder det sig med amerikansk hummer og nordamerikansk brakvandskrabbe, hvor der kun enkelte steder er fundet positivt tilstedeværelse, hvilke formodentlig afspejler en lavere grad af udbredelse for disse to arter. DNA-spor fra signalkrebs er kun detekteret i enkelte prøver, hvilket sandsynligvis skyldes, at et fåtal af de analyserede miljøDNA-prøver fra 2020-2022 er indsamlet i ferskvand, hvor signalkrebsen lever. Detektion af DNA-spor fra sortmundet kutling følger den kendte udbredelse af arten, som er spredt fra øst, med de tidligste fund ved Bornholm, og senere op igennem de østlige, danske farvande.

Af hensyn til plads og overskuelighed er det ikke udbredelseskort for samtlige arter, som er inkluderet i projektets laboratorieanalyser. For at se resterende arts miljøDNA-resultater henvises til bilag 1 'Dataleverance_2020-2022'.

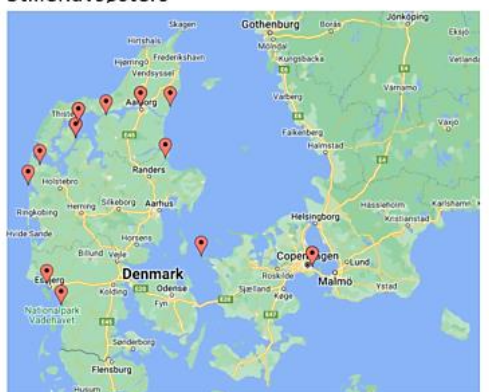
Amerikansk ribbegople



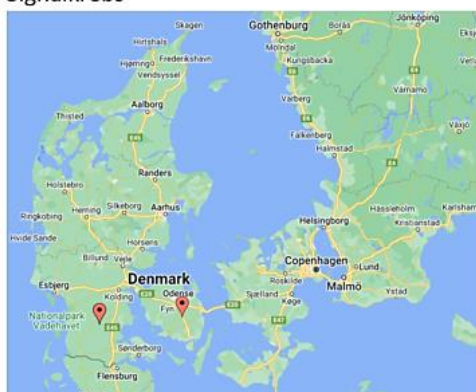
Sortmundet kutling



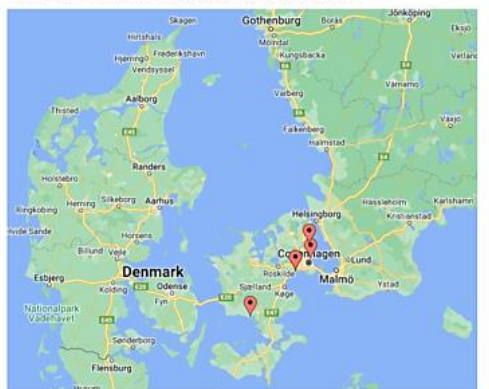
Stillehavsøsters



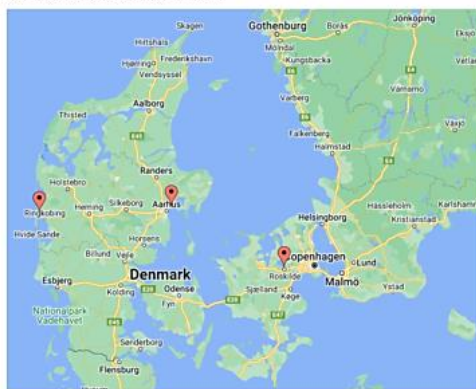
Signalkrebs



Nordamerikansk brakvandskræb



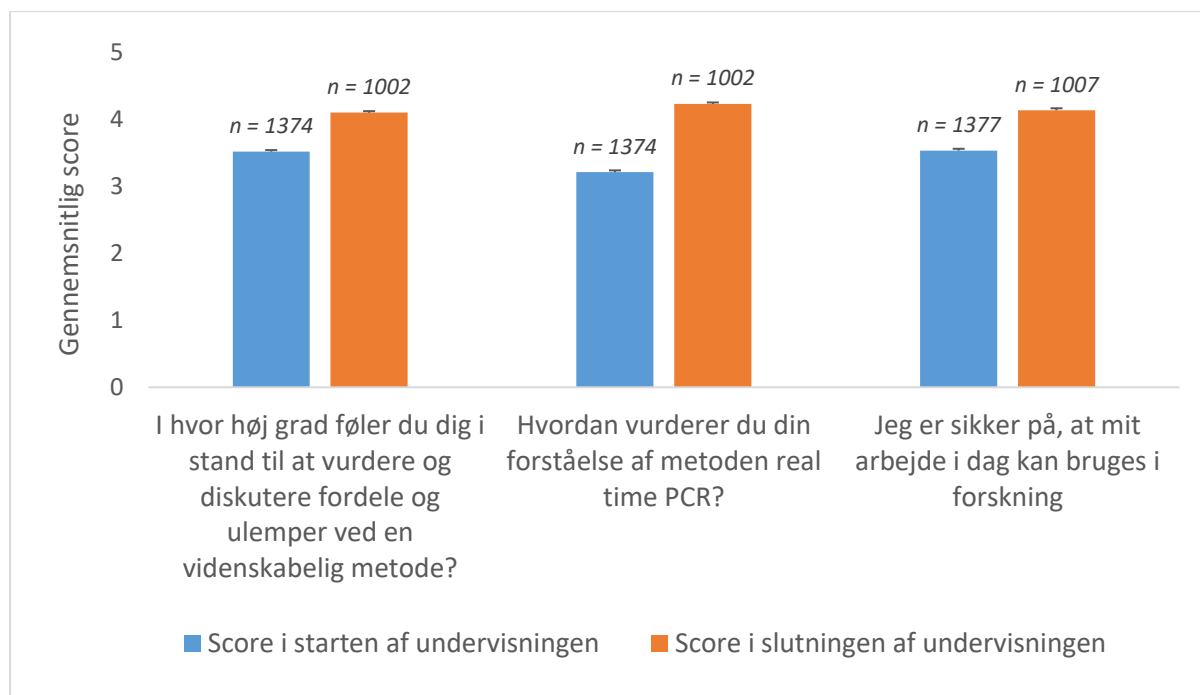
Amerikansk hummer



Figur 3 Kortlægning af positive fund af miljøDNA fra udvalgte arter i prøver indsamlet fra 2020-2022.

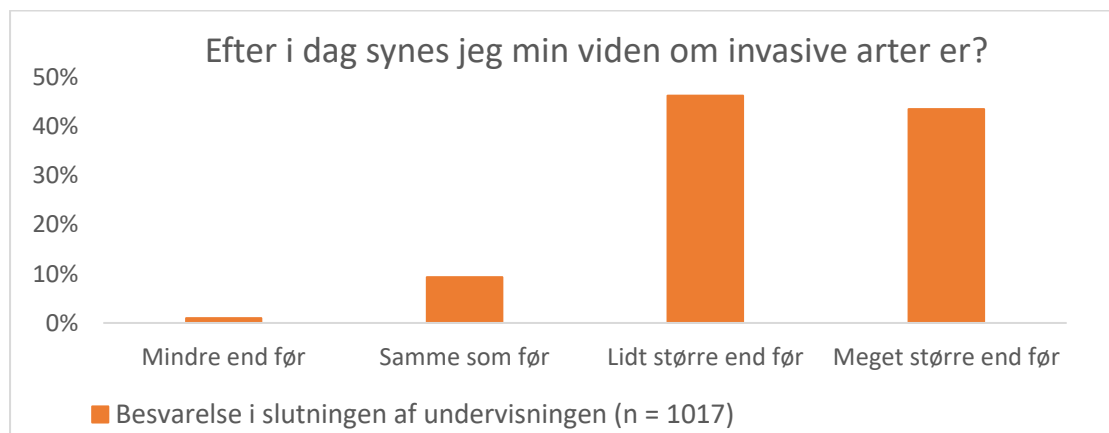
Udtalelser fra lærer og elever

Siden 2021 har projektgruppen indsamlet data fra elever i forbindelse med undervisningsforløbet DNA & liv, hvor hver elev svarer på to spørgeskemaer; det ene i starten af undervisningen og det andet i slutningen. Spørgsmålene i de to spørgeskemaer er enslydende, hvilket giver et indblik i, hvorvidt elevernes deltagelse i løbet af selve undervisningsdagen har betydning for deres svar. Her vurderer de blandt andet deres egne evner til at arbejde videnskabeligt, deres teoretiske viden om de emner der indgår i undervisningen samt vigtigheden af det arbejde, de udfører. Alle målte parametre scorede højere (mere positivt) i slutningen af undervisningen end i starten, dvs. elevernes opfattelse af egne evner bevægede sig i en mere positiv retning i løbet af undervisningsdagen. Figur 4 fremhæver tre udvalgte spørgsmål med akkumulerede svar for 2021-2022.



Figur 4 Gennemsnitlig score af elevernes besvarelser på udvalgte spørgsmål i hhv. starten (blå) og slutningen (orange) af undervisningsforløbet DNA & liv, hvor 1 er dårligst og 5 er bedst. Antal elevbesvarelser er angivet med 'n'.

Spørgeskemaet i slutningen af undervisningsforløbet indeholdte et ekstra spørgsmål om elevernes viden om invasive arter. De akkumulerede svar ses i figur 5.



Figur 5 Elevernes fordeling af svar på spørgeskema-spørgsmål i slutningen af undervisningsforløbet DNA & liv. Antal elevbesvarelser er angivet med 'n'.

Både elever og lærere er har udvist stor grad af tilfredshed med undervisningsforløbet og deltagelse i DNA & liv, med særlig positiv vægt på det faktum at elevernes arbejde bliver brugt i en meningsfuld sammenhæng. Følgende citater er uddrag fra elever og lærere, der har deltaget i DNA & liv:

”Dette forløb giver mine elever et uvurderligt indblik i natuvidenskabelig forskning i hele sin kompleksitet, lige fra feltundersøgelser og databehandling med både kvalitative og kvantitative metoder. Det giver eleverne et langt større og mere kvalificeret grundlag for vurdering af komplekse sammenhænge i naturen og i forskningen.”

Charlotte Görick, lærer, Ordrup Gymnasium

"Jeg deltager i DNA & Liv med mit biologi B hold fordi eleverne får mulighed for at deltage i et forskningsprojekt, hvor de er med til at kortlægge udbredelsen af invasive arter i danske farvande. Men også fordi det er en unik mulighed for eleverne til at arbejde med nymodens metoder."

Jens Gerup, lærer, Gentofte HF

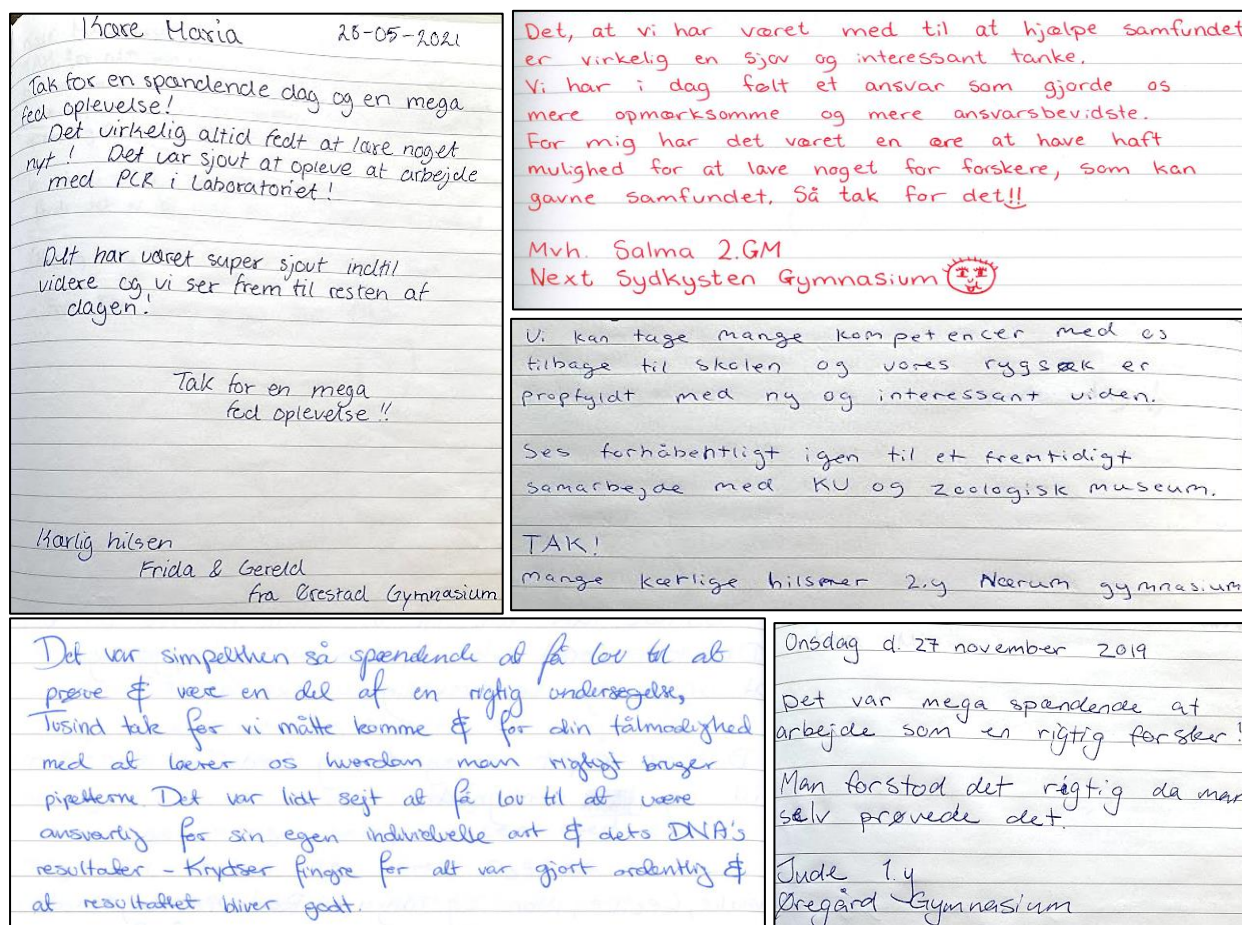
"Under mit besøg på Zoologisk museum oplevede jeg indsigt i, og bedre forståelse af problemet ved invasive arter og metoder til at detektere dem. Stoffet blev godt formidlet og teorien blev testet og bekræftet i laboratoriet."

Olfert, elev 2.z, Nykøbing Katedralskole

"Besøget på KU var super spændende og interessant. Min generelle viden omkring invasive arter blev forbedret og jeg fik en meget bedre forståelse for DNA, eDNA og PCR :-)"

Theodor, elev 3.c, Ordrup Gymnasium

I tillæg til spørgeskema og samtaler med lærere og elever har laboratoriets gæstebog været flittigt benyttet af elever der har deltaget i DNA & liv. Figur 6 viser udklip fra gæstebogen, hvor elever frit har kunne skrive en hilsen eller besked til teamet bag projektet.



Figur 6 Udklip fra gæstebog i DNAlaboratoriet i undervisningsforløbet DNA & liv

Afsluttende bemærkning

I løbet af projektperioden har eleverne produceret kvalitetssikret data til brug i forvaltningen af den danske natur. Foruden produktionen af disse data samt et stort læringsudbytte hos eleverne, ses projektets succes tydeligt i den store efterspørgsel fra lærere for at deltage i både felt- og laboratoriarbejdet. De 25 årligt udbudte undervisningsdage kan kun imødekomme et fåtal af de henvendelser, projektet modtager fra gymnasielærere over hele landet.

Projektgruppen bag DNA & liv vil gerne ytre en stor tak til MST for det gode samarbejde, men den største tak tilfalder de gymnasieelever og –lærere, der har hjulpet med indsamling og analyse af miljøDNA-prøver gennem alle årene. DNA & liv har mødt engagerede lærere og elever, som alle bidrager til at gøre arbejdet med miljøDNA, invasive arter og naturovervågning til et meningsfuldt og givende projekt.