

Fra nyrejt skov til etableret skov: *udviklingstendenser på og under jordoverfladen*

**From newly planted forest to established forest:
*(development) trends on and below ground level***



Gruppe 12:

Amalie C. L. Christensen 65194

Simon Meski 65226

Sofie Martoft 65227

Victor V. E. Christensen 65212

Vejleder: Henrik Ærenlund Pedersen

Antal tegn: 118751

Hus: 27

Naturvidenskabelig bachelor

| 2. semesterprojekt | Afleveringsdato: 12:00 27/5-2019

RUC

Abstract

This paper analyzes the developmental trends for artificial forest plantation on Sjælland, Denmark, in regard to the chemical characteristics in the soil and thus its effect on the general floral biodiversity. Furthermore, this paper examines the defining floral and soil chemical features of a fully developed forest compared to forests in early plantational stages. To answer these questions, we compared three artificially planted forests to a naturally upgrown forest, with respect to soil pH, carbon-nitrogen soil concentrations and we investigated the floral ecosystem for universally forest indicating species. Our results showed concentration of both carbon and nitrogen stagnant from an early planted forest to a planted forest in late development, yet the naturally upgrown forest showed high concentrations in both parameters. Floral investigation exhibited an increase indicator species from the youngest to eldest forest. Furthermore, pH testing yielded inconclusive results. From an accuracy perspective, further testing is necessary for more compelling results in terms of the chemical parameters of the soil. In spite of deviations from the hypothesized development we are in general satisfied with our results, and we have gained more information about this topic than we had at the beginning of this project.

Resumé

I denne rapport analyseres udviklingstendenserne for nyrejste skove på Sjælland, i Danmark, med henblik på de kemiske egenskaber i jorden og dermed dens virkning på den generelle flora biodiversitet. Desuden undersøger denne rapport de skov definerende plantearter og jord kemiske egenskaber, i en fuldt udviklet skov, i forhold til nyrejste skove i forskellige aldre. For at besvare disse spørgsmål sammenlignede vi tre nyrejste skove til en naturligt opvokset skov, med hensyn til jordens pH, kulstof-kvælstof jordkoncentrationer og vi undersøgte floraøkosystemet for egentlige skovarter, som indikatorer for etableret skov. Vores resultater viste at koncentrationer af både kulstof og kvælstof stagnerede, fra en tidligt nyrejst skov til en rejst skov i sen udvikling, hvorefter den naturligt opvokset skov viste høje koncentrationer i begge parametre. Floraanalysen påviste en stigning i indikator arter fra den yngste til den ældste skov. Desuden kunne vi ikke drage nogle konklusioner på baggrund af vores for pH. Ud fra et nøjagtighedsperspektiv, er yderligere testning nødvendigt for mere overbevisende resultater med hensyn til jordens kemiske parametre. På trods af afvigelser i den forventede udvikling, er vi overordnet tilfredse med vores resultater, og føler at vi er blevet klogere på skovens udvikling fra nyrejst til veletableret skov.

Indholdsfortegnelse

Abstract	2
Resumé	3
Indholdsfortegnelse	4
Forord	6
Indledning	7
Problemformulering	10
Semesterbinding	11
Teori	12
Jordbundsdannelse	12
Humus	12
Processerne i pedogenese	13
Forsuring	13
Forvitring	15
Transport-og-udvaskning	16
Jordbundsklassifikation	16
Jordkemi og jordbundsgeologi	17
Carbon kredsløb	17
Kvælstof kredsløb	20
Anioner og kationer	24
C:N forhold	25
Jordens surhedsgrad	27
Definering af sur jord	27
Konsekvenser af høj surhedsgrad	29
Flora - danske skovarter	32
Ellenbergs-indikatorværdier	37
Metode	38
Studielokationer og prøveflader	38
Udtagning af jordprøver	43
Flora registrering	46

Laboratorieanalyser	47
pH.....	47
CN-Forsøg	47
CHN-analysator.....	48
Resultater	49
CN.....	49
pH.....	51
Flora registrering	54
Diskussion	56
CN.....	56
pH.....	57
Flora.....	59
Konklusion	64
Perspektivering	65
Citeret litteratur.....	67
Bilag	71

Forord

Dette 2. semester projekt er udarbejdet, af fire naturvidenskabelige bachelor studerende på Roskilde Universitet, i perioden februar 2019 til maj 2019. Projektet er udført ved godt samarbejde og en ligelig fordeling af arbejdet. Vi vil, i vores projektgruppe, gerne give en særlig tak til vores vejleder, Henrik Ærenlund Pedersen, for den konstruktive kritik, hans gode engagement, hans motiverede og ligeledes motiverende tilgang til projektet. Vi vil endnu engang takke Henrik for den store hjælp ved at have stillet sig selv til rådighed til arbejde i felten. Til sidst vil vi også gerne takke vores opponentgruppe, gruppe 4, og deres vejleder Jacob Nicolai Nepper-Davidsen, for god brugbar og konstruktiv kritik både ved og uden for midt- og slutvejsevalueringen.

Indledning

Danmark var oprindeligt betegnet som et skovland, men grundet menneskelig indblanding faldt skovareal til 3-4% i starten af 1800-tallet. Ved en fredskovsforordning i 1805 blev den resterende skov bevaret. Siden skovtælling i 1881 har arealet været stigende, og i 2002 blev der lavet et nationalt skovprogram med det mål at 20-25% af landet gennem de næste 80-100 år skal være omdannet til skovareal. Skoven i Danmark, har i mange år haft stor betydning for danskerne. Både i form af naturens ressourcer og brug af skoven i dagligdagen. Vores skove har afgørende betydning for vores livskvalitet. Naturen giver os ren luft, rent drikkevand og en bedre biodiversitet. Det danske skovareal er på nuværende tidspunkt 14,4 % (Nord-Larsen et al., 2015) (Danmarks Statistik, n.d.). En definition af en skov er, når arealet er på mere end 0,5 ha, med træer der er højere end fem meter og et kronedække (vedplanter) på mere end ti procent. Nyrejst skov vil betegnes som plantning af skov på et areal hvor der ikke før har været skov. Ifølge FN's klimapanel IPCC er skovrejsning et vigtigt virkemiddel i forhold til at formindske CO₂ udledning, da træerne binder kuldioxid fra luften og derved sænker koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren. (Schou, Johannsen, Nord-Larsen, & Jørgensen, 2014)

Skovrejsning i Danmark er siden 1980'erne blevet støttet med offentlige tilskud, som delvist har været finansieret af EU. Naturstyrelsen administrerer tilskudsordningen. I samarbejde med kommunerne bliver områderne hvor der skal etableres skov udvalgt. Som privatperson kan man også give tilskud til skovrejsningsprojekter. I Danmark er 1/5 del statsskov og resten er privat. (Schou et al., 2014) (Miljøstyrelsen, n.d.)

Skovene har stor betydning for biodiversiteten. Træerne i skovene er med til at formindske udledningen af CO₂ til atmosfæren, da de erstatter fossile brændsler som olie, kul og naturgas. Dette er med til at forebygge drivhuseffekten. Der bliver stadig udledt CO₂, når der brændes træer af, men netto udledningen bliver lig med nul, da man planter nye træer hver gang man fælder. Dog er der en forskydning mellem udledning og optagelse, da det tager noget tid for træet at vokse.

Skoven omfattes som det økosystem i Danmark med flest arter, man kan dog ikke nøjagtigt bestemme antallet af dyre- og plantearter. Bevoksninger i både stats- og privatskove er beplantet med én hoved træsort, dette er praktisk når man skal dyrke tømmer, men det er desværre ikke så godt for

biodiversiteten. I Danmark er der ikke så mange gamle skove der har fået lov til at passe sig selv. En gammel skov er rigtig god for biodiversiteten, dette skyldes at de træer der svækkes eller naturligt går ud, får lov til at blive liggende i skovene til nedbrydere og andre mikroorganismer. Det døde træ der ligger tilbage, bliver et godt bosted for mange forskellige dyr. Svampe og biller lever af at nedbryde træet, smådyrene lever af svampenes frugtlemmer og fuglene lever af insekterne. Gamle træer kan være et levested for mere end 100 forskellige typer af svampe og dyr. Biodiversiteten har brug for plads, jo mindre plads jo færre arter lever der. En stor del af skovens biodiversitet udgøres af insekter og svampe. (A. H. Petersen et al., 2016)

Bevoksningsalderen har stor indflydelse på de grundlæggende økologiske vilkår, som blandt andet kan være fugtighed, lys, mikroklima osv. Generelt har ældre træer og bevoksninger en større artsrigdom end yngre bevoksninger. Oftest gælder det, at jo mere varieret og etageret skoven er, desto flere forskellige levesteder er der. En ældre skov vil således kunne rumme mange flere arter end en ung skov. Man kan dog sige, at det vigtigste er, at en aldersmæssig varieret skov vil give mulighed for et kontinuert skovmiljø.

Træartsvalget er kun én ud af mange aspekter der er afgørende for skovens biodiversitet. Dyrkningshistorie, dyrkningssystem og forstlig praksis påvirker de enkelte træarters betydning for biodiversiteten. En lang række miljøparametre som har betydning for biodiversiteten afgøres af trævalget. Derfor må det først forventes at der opstår god biodiversitet nogle år efter etablering af nyrejst skov.

Alderssammensætning i en bevokset skov bestemmes af flere faktorer, som kan være træartsvalg, skovdyrkning systemer og bevoksningspleje. Der bliver udvalgt et grundigt beslutningsgrundlag for alle de ovenstående faktorer. Desværre er forskning i alderssammensætnings biologiske betydning i dyrkede skove ikke særlig udbredt, derfor er det meste af viden baseret på teorier. (Rune, 2001)

Jordbundsforholdene i en nyrejst skov som tidligere har været landbrugsjord, adskiller sig fra jordbunden i gamle skove. Den intensive dyrkning af jorden er forbundet med mekaniske bearbejdning, gødning og kalkning gør at der opstår ændringer i jordens fysiske egenskaber. Det kan eksempelvis være niveauet af næringsstoffer og pH. Agerjord har en højere densitet samt en lavere

makroporøsitet og vandgennemtrængelighed hermed giver det en dårligere naturkvalitet (Messing et al. 1997). Jorden der findes i skove hvor der tidligere har været landbrugsjord indeholder oftest mere fosfor, et lavere C:N-forhold og en højere pH-værdi end jorden i ældre skove.

Både mængden og forholdet mellem kvælstof, kulstof, pH og fosfor har indflydelse på sammensætningen af skovens planter. Næringselskende og syre intolerante arter findes oftest i skove på tidligere landbrugsjord, men er oftest ikke at finde i gamle skove. Planter som er typiske for næringsfattig og sur jordbund som eksempelvis Bølget Bunke og Pille-Star har svært ved at etablere sig i en urtevegetation i skove hvor der tidligere har været landbrugsjord.

Det afhænger meget af hastigheden på jordforsuring og reduktion af næringsniveauet i jorden hvor hurtigt skovbundsvegetationen dannes. Der kan selv mange år efter skovrejsning være jordbundsforhold som er forskellige i forhold til en gammel skov. I artiklen ”*Naturen i de nye skove - status over udviklingen af karplantesamfund og bevoksningsstrukturer*” (Nimb Lassen & Bo Larsen, 2018) påstås en periode på mindst 80-100 år før der opnås pH-værdier og næringsniveauer svarende til forholdene i gamle skove. Derudover regnes med en tidshorisont på mere end 100 år for at genskabe jordens fysiske egenskaber.

Vi har i dette projekt valgt at fokusere på forskellen mellem en nyrejst- og en veletableret skov, og har derunder valgt, at undersøge og observere skovene ved de forskellige udviklingstrin på vejen fra nyrejst til (vel-)etableret status. Vi synes det er spændende at undersøge, hvad der sker når der plantes ny skov, samt hvilke forskelle der er på skovens jord og vegetation. I de seneste år i Danmark er der blevet etableret flere nye skove, derfor synes vi at det er relevant at undersøge forskellen på ældre og nyere skove. (Nimb Lassen & Bo Larsen, 2018)

Problemformulering

Hvordan og hvor hurtigt forløber udviklingen fra mark til skovbund (herunder specielt pH, CN – indhold, vedplanter og urter i blomst) i forbindelse med skovrejsning.

Semesterbinding

Formålet med projektet er, at den studerende gennem arbejdet med et repræsentativt eksempel får erfaring med grundvidenskabelige problemstillinger inden for det naturvidenskabelige område, idet der lægges særligt vægt på sammenspil mellem teori og model på den ene side og på den anden side tilvejebringelse og analyse af empiri gennem observation eksperiment eller simulering.

Med udgangspunkt i fire skove på Roskilde egnen som et repræsentativt eksempel på skovudvikling har vi indsamlet jordprøver og observeret planter i felten. Jordprøverne har vi analyseret i laboratoriet. Vi har sat os ind i teorien for de forskellige delemner, og til sidst har vi tolket vores egne empiriske data i forhold til den teoretiske baggrund. Derfor opfylder vores projekt semesterbindingen **”Sammenspil mellem teori, model, eksperiment og simulering i naturvidenskab”**.

Teori

Jordbundsdannelse

Dette projekts problemformulering, kræver en implicit forståelse for, jords fysiske og kemiske karakter og hvordan denne ændres med tiden. I de følgende afsnit vil kemiske og fysiske aspekter ved dannelsen af jord i naturlige omstændigheder belyses, med formålet at opnå en lettere forståelse for projektets diskussion af resultaterne fra ekskursionen.

For at der skal opstå jordbundsdannelse, også kaldet, pedogenese, skal der forekomme nogle fysiske og kemiske processer. I Danmark, hvor klimaet er tempereret og fugtigt, foregår disse processer ikke nær så hurtigt som i de tropiske lande hvor temperaturen er højere. Selvom jordbundsdannelse sker i forskelligt tempo i forskellige dele af verdenen, så er der mange flere parametre der spiller ind end blot klima og temperatur. De forudsætninger der er for jordbundsdannelse, kan nemlig veksle meget selv på korte afstande som et par meter. Nogle faktorer spiller en større rolle i forhold til jordbundsudviklingen end andre, særligt udgangsmateriale har en afgørende betydning for jordbundens udvikling. Disse faktorer kan også bl.a. omfatte den pågældende jords geologi (hvad den bestod/består af), områdets nedbørsmængde og jordbundens dræningsegenskaber. Endvidere ses der også på jordbundens vandretention (dets evne til at holde på vandet), og denne benyttes som et input i beregninger angående udvaskningsrater for jordens næringsstoffer og pesticider fra landbruget. (Breuning-madsen, Balstrøm, Greve, & Jensen, 2013)

Humus

For at analysere den biologiske udvikling på/i skovbunden, er det essentielt at forstå, hvordan jorden, i grove træk, kan opdeles i organiske og uorganiske 'dele'. Humus er i dette tilfælde den overlegne organiske del, hvor de fleste mikroorganismer i jorden befinder sig. Humus dannes når dyre- og planterester går gennem biokemiske omsætninger. Humus består hovedsageligt af stabile organiske stoffer, med en høj molekylvægt og en mørk farve, udgangsmaterialernes struktur kan derfor ikke klassificeres/adskilles med det blotte øje. Ligesom lermineraller, er humus negativt ladet og har derfor en kationombytningssevne, som ændres med

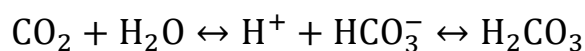
jordens pH værdi. I de fleste jordbunde falder indholdet af humus i jorden sammen med dybden, jo længere ned man graver desto lavere er humusindholdet. Mange forskellige faktorer, og deres sammenspil, spiller ind på skovbunden når humus dannes i jorden, herunder vegetationen, dræningsforholdene, klima og jordbearbejdningen. Under optimale betingelser holder humusindholdet i jorden sig relativt konstant. I pløjelaget i danske landbrugsjorder er der ca. en vægtprocent på 2-5 procent. I tørvejorder er der et definitions-mæssigt indhold af organisk stof på over 20 procent, dog er det normalt relativt højere end denne. (Jakobsen, n.d.)

Processerne i pedogenese

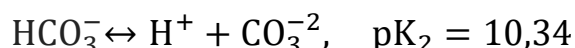
Forsuring

Hvirvelløse dyr, mikroorganismer og planterødder frigiver i jordbunden kuldioxid (CO_2), denne gas reagerer med vandet (H_2O) i jorden hvorved der dannes kulsyre (H_2CO_3). Der sker en spontan dannelse af kulsyre når kuldioxid opløses i vand. Den kemiske proces er reversibel (*en reversibel reaktion er således at den kan vendes om, udtrykket bruges ofte om reaktioner med en ligevægt da disse kan reagere begge veje*) (Thorup, n.d.) og afhænger udelukkende af kuldioxid-trykket. Derpå går den enten i reaktion i retning af kulsyre, eller reagerer i retning af kuldioxid i gas form. Begge dele af denne proces kan i øvrigt ske ved et mellemlid, hvorved der dannes en brintion og en bicarbonation. (H. Petersen et al., 2013)

Den kemiske proces opskrives:



Kulsyre (H_2CO_3) er en svag dobbeltsyre, men den har dog en stor betydning i forhold til forvittringsprocesser, stoffers opløselighed, i vandet, i jordbunden og i erosion. Kulsyren dissocierer ved følgende skema (pK værdien er styrkeeksponent, som er en talværdi for styrken af en base eller syre opløst i vand, pK defineres som minuslogaritmen til syrekonstanten):



Når der i vand både er opløst kulsyre og hydrogencarbonationer, vil vandet have en pH på ca. 6,51. Hvis der i vand er opløst både hydrogencarbonat- og carbonationer så vil pH værdien være ca. 10,34. Carbonationen CO_3^{2-} er en middelstærk base, med en dissociationskonstant på $\text{pK}_2 = 10,34$. Derfor vil en opløsning indholdene både carbonat- og hydrogencarbonationer altså have en $\text{pK}_2 = 10,34$. (Bjerrum & Jensen, 1956)

Når syren ligger blandt jordbundens mineraler, går de i opløsning. Mineralet der, i Danmark, nemmest opløses i jorden er kalciumcarbonat (kalk), når kalk går i opløsning, dannes der negative bikarbonationer og positive kalciumioner. Kulsyren opløser også lermineraler, hvorpå der bliver frigivet bikarbonationer, positive ioner som f.eks. natrium- og kaliumioner.

Kalken der findes i den danske jord, vil med tiden forsvinde grundet dets opløsning og udvaskningen af kalciumioner fra jorden. Dets efterfølger er silikatmineraler, som er den næste inhibitor for kulsyren og andre sure forbindelser.

Uorganiske og organiske syrer, tilført af henholdsvis af luftforurening og ufuldkommen nedbrydning af planterester, medvirker til yderligere opløsninger af jordmineralerne ved en lavere pH værdi. Forvitring af jordmineralerne giver jorden en mere neutral pH, hvorpå der frigives ioner, f.eks. Mg^{2+} og K^+ . Hvis der dannes mere syre end forvitringen (defineres i understående afsnit) kan jorden nå at neutralisere, så pH værdien falder og jorden derfor ikke vil være lige så "livgivende". Hvis forekomsten af syrer derimod falder, så vil jorden langsomt arbejde sig mod en mere neutral pH værdi (neutral = pH 7) Hvorpå jordens mineraler, dyr og planter vil hjælpe med neutraliseringen. (H. Petersen et al., 2013)

Forvitring

Når jordbundens mineraler opløses, kaldes det forvitring, og gennem denne proces kan plante- og træ rødder optage de nedbrudte mineraler. De mineraler der ikke bliver optaget, bliver oftest udvasket fra de øverste jordhorisonter. (H. Petersen et al., 2013) Jordbundsdannelse begynder med forvitring af faste bjergarter som grundfjeld, mest bestående af granit, basaltiske lava bjergarter (Jakobsen, n.d.), gnejs som er en fin- til grovkornet metamorf bjergart, sedimentære bjerg arter, bestående sammengitrede sedimentter (M. Vestergård, n.d.), som f.eks. ler skifer, kalk- eller sandsten. Processen starter med et fænomen man kalder vejrsuldring.

Svingninger i temperaturen og luftens fugtighed spiller en stor rolle, også frostsprængninger, saltsprængninger (en proces der nedbryder sten og fast fjeld, f.eks. væksten af saltkrystaller i små sprækker og huller ved enten hydrolisering eller opvarmning), erosion fra vandet samt vinden og isen. Trykaflastninger og stedets biologiske aktivitet er, sammen med de overstående, med til at nedbryde faste klipper til mere håndgribeligt materiale. (Jakobsen, n.d.)

Når faste klippe har gennemgået vejrsuldring, så har materialet en lang større overflade, der kan gå i forskellige kemiske reaktioner, hydrolyse- og redoxprocesser er de mest hyppigt optræden. Reaktionerne fremskyndes ved høj temperatur og højluftfugtighed, samt fauna, flora og mirkoflora har stor indflydelse ved nedbrydning af planterester. Når planterester nedbrydes, dannes der kuldioxid, kulsyre og mindre mængder organiske syrer samt stærke uorganiske syrer. Dette har den indvirkning at vandet i jorden bliver mere reaktionsvilligt. Medvidere omdannes nogle primære mineraler, glimmer, feldspat, hornblende, augit samt olivin, fra udgangsbjergarten til sekundære mineraler. Nogle af disse er forskellige lermineraler, jern- og aluminiumoxihydroxider, letopløseligt salt, kiselsyre, sulfider og karbonater. Der frigives også ioner som planterne gennem deres rødder, kan optage fra jordvæsken. (Jakobsen, n.d.)

Transport og udvaskning

Når regnvandet siver ned gennem en skovbund, reagerer det med forskellige stoffer i jorden. Disse stoffer stammer oftest fra organisk stof, stofskifteprodukter fra levende organismer eller fra forvitring af mineraler. Nogle gange kan stofferne også stamme fra uorganiske stoffer, eksempelvis fra luftforurening. Nogle af disse stoffer udvaskes og transporteres under planternes og træernes rodnet ved en proces der kaldes for udvaskning. De stoffer der oftest udvaskes, er de negative ioner nitrat, klorid og sulfat, samt de positive ioner natrium, kalium, magnesium og kalcium. Nogle gange kan der også være tale om organiske stoffer på ionform. Det er ikke kun disse stoffer der bliver udvasket af det nedsivende vand, men også oplømmede ler- og humus partikler. De kan, ligesom ionerne, blive transporteret fra de øverste jordlag til mere dybtliggende jordbundshorisonter, eller vaskes helt ud af jordhorisonterne, og dermed blive transporteret ned i grundvandet eller i dybtliggende geologiske lag. Lersedslerning er et udbredt fænomen i de fleste danske jorder, og er defineret ved transport af ler. Denne transport følger efter forvitringen, opløsningen og udvaskningen af kalk, grundet ler partiklerne bindes svagere til hinanden ved fraværet af kaliumioner. Ler partiklerne transporteres som regel kun 20-60 cm ned i jorden og sætter sig i sprækker og porer. (H. Petersen et al., 2013)

Jordbundsklassifikation

Specifikt ift. jordbunde, så kan disse være variere ved forskellige aspekter. Til dette projekt befinder forsøgsskovene sig relativt tæt på hinanden, hvilket betyder at der er få forskelle på jordens generelle klassifikation. Det er derfor relevant at forklare, hvilken type jordbund dette projekt vedrør ift. de adskillige klassifikationer.

Jord kan ud fra diverse kriterier inddeles i forskellige grupper og klasser. Det omfatter kriterier såsom jordens dræningstilstand, humusindhold, horisontfølge og dens kornstørrelsesfordeling – altså jordens tekstur. Klassifikationssystemer for jordbund, er oftest udviklet med henblik på kortlægning af afgrænsede områders jordbundsforhold. Formål med dette er at fremme planteproduktion eller give en vurdering af den pågældende jords kemiske og fysiske egenskaber. Når man skal klassificere en jordprofil ud fra nyere klassifikationssystemer, går man ud fra profilets jordhorisonter og horisonternes egenskaber. (H. Petersen et al., 2013)

Denne metode er mere præcis og sigende om jordbundens egenskaber frem for ældre klassifikationssystemer, som inddeler jordområder i forhold til klima og vegetationsområder. Også kaldet zonale, intrazonale eller azonale jorder. I flere lande findes der nationale systemer, som er blevet tilpasset den specifikke nations klimamæssige og geologiske forhold. I Danmark blev der i 1975-1980 indført ”Den Danske Jordklassificering”. Med ønsket om et verdensomspændende jordbundskort har mennesker ved internationalt arbejde, udarbejdet FAO/UNESCOs jordklassifikationssystem. Dette system er bygget på udvikling og forekomst af diagnostiske horisonter, fra A-horisonten og ned. Det er forskelligt fra sted til sted om man klassificerer udefra A-horisonten eller f.eks. B-horisonten. I de tilfælde hvor man klassificerer fra A-horisonten, karakteriseres jorden ud fra dets udvikling, tekstur og sammensætning. B-horisonten er den under A-horisonten. (Aaby, n.d.)

Jordkemi og jordbundsgeologi

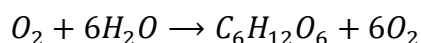
Dette projekt vil diskutere udviklingsparametre såsom flora, herunder nogle underliggende temaer, såsom mikroorganisme population. Det er essentielt at forstå nitrogen- og carbonkredsløbet i.e. organisk carbon, i et økosystem, da disse har en eksplicit korrelation med det overnævnte.

Carbon kredsløb

Kulstof er en vigtig del af liv på jorden. Carbon fungerer som en essentiel komponent i mange vigtige biologiske- og biokemiske strukturer, og molekylet spiller derfor en vigtig rolle i næringen af alle levende organismer og deres celler. Carbon kredsløbet beskriver den proces, hvormed kulstof cirkulerer gennem fire forskellige depoter som kan lagre carbon-molekyler. Atmosfæren, den terrestriske biosfære, sedimenter, samt oceanerne udveksler carbon via en række geologiske, kemiske, biologiske og fysiske processer, og depoterne fungerer dermed både som kilde til - samt oplagring af kuldioxid. Via eksempelvis fotosyntese, kan autotrofe organismer optage kuldioxid fra luften og bruge molekylerne som komponenter i deres egne organiske strukturer. På denne måde fjernes carbon-molekylerne fra atmosfæren og de bindes i den terrestriske biosfære.

Blandt de vigtigste autotrofe i kulstofkredsløbet er skovenes træer (og plankton i havet), derudover findes der en relativt lille gruppe organismer, der betegnes som kemoautotrofe. Disse autotrofer benytter kemiske energikilder i stedet for fotoner fra sollys, som bekendt benyttes af planter og plankton som ekstern energikilde til at katalysere reaktionen. Fotosyntese-aktiviteten er generelt størst i yngre skove, hvor trævæksten er hurtigere (Buchhardt, n.d.). Desuden vurderes urørte naturskove til at kunne lagre tre gange så meget carbon som hidtil antaget, og 60% mere end eksempelvis industrialiserede skove kan. Naturlige skove indeholder det man kalder *grøn* carbon. I industrialiserede skove finder man *brun* carbon, *grå* carbon i fossile brændstoffer og *blå* carbon lagres i oceanerne. Størstedelen af carbon biomassen i naturlige skove befinder sig i stammens biomasse på de store gamle træer. Ved at fælde træerne til industrielt brug ændrer man skovenes gennemsnitsalder. Dermed sænkes også gennemsnits mængden for hvor meget grøn carbon skoven oplagrer. (Perry, 2008). Nedenfor ses reaktionen for planters respiration:

Fotosyntese



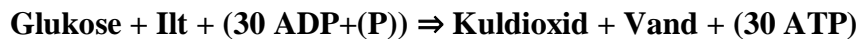
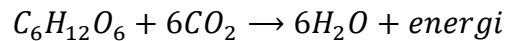
Kuldioxid + Vand \Rightarrow Cellulose/glukose + Ilt

Når først kuldioxiden er bundet i autotrofe organismer, kan det igen blive udvekslet mellem de levende organismer. Når heterotrofe organismer spiser de autotrofe, eller dele af dem, udveksles carbon-molekylerne mellem dem. Ligesom alle andre organismer, der lever af andre organismer/organisk materiale, hører svampe og bakterier til de heterotrofe organismer. Den samlede mængde "levende" carbon svarer til ca. 1,6% af den tilgængelige mængde kuldioxid udgør ca. 553Gt (1 Gt = 10¹² kg). Størstedelen af den terrestriske biomasse findes i form af plantemateriale, men som regel medregnes dødt materiale i jord og tørv også.

Hovedparten af kuldioxiden i de levende organismer frigives til atmosfæren via aerob respiration, som egentlig overordnet set er den omvendte reaktion af fotosyntese. Hvis der ikke er ilt tilstede kaldes processen anaerob og der frigives metan i stedet for kuldioxid. Den kemiske energikilde ved

aerob respiration er ATP, og der frigives varme som affaldsprodukt ved reaktionen (Buchardt, Gyldendal):

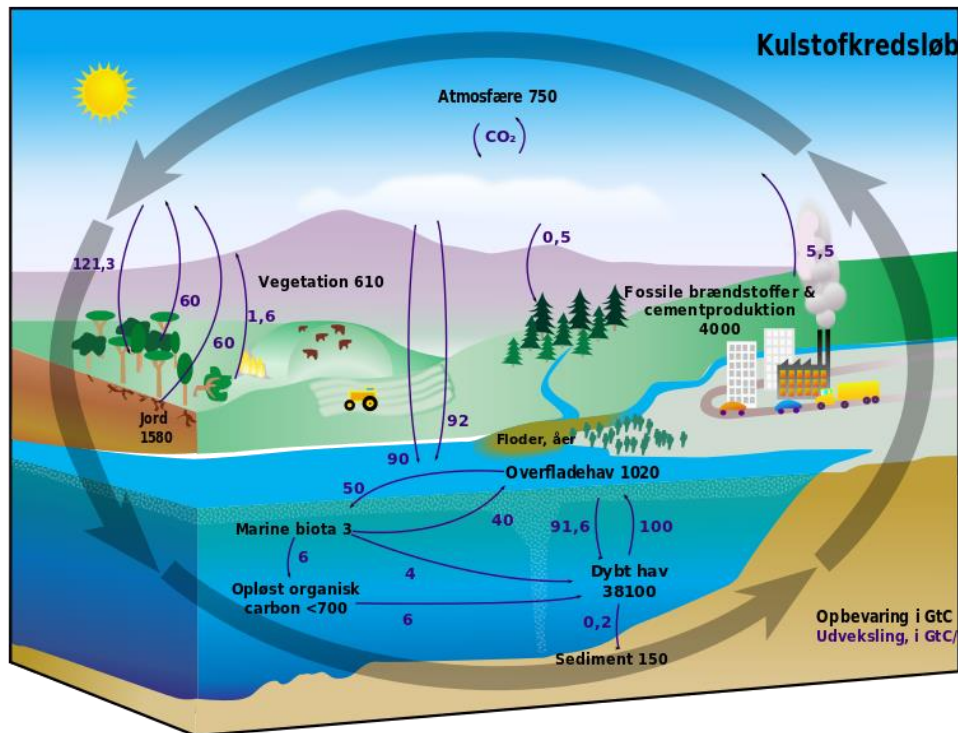
Respiration



Gennem sedimentering, kan dødt organisk materiale blive inkorporeret i geosfæren i form af eksempelvis kalksten, kerogen (olie) og kul, og frigives igen primært ved opvarmning samt opsmeltning af oceanbunds-sedimenter dybt i jorden. Sedimenterne indeholder omkring $50 - 70 \cdot 10^6$ Gt i form af kalk, olie og kul, den årlige tilførsel er ca. 0,07 Gt og uden de førnævnte geologiske processer ville det ophobede kulstof ikke blive frigivet til atmosfæren igen. Dette kunne i teorien, på sigt, resultere i at jordklodens temperatur ville falde med op til 50°C . Vi kan desuden kort nævne, at oceanerne spiller en vigtig rolle i oplagringen af kuldioxid, men vil ikke gå dybere ind deres funktion i carbon kredsløbet (Field et al 1998).

I *figur 1* ses et diagram over det samlede kulstofkredsløb.

Tallene i figuren refererer til, hvor meget kulstof der er lagret i hver af de respektive depoter, i milliarder af tons ("GtC" = gigaton kulstof). De blå tal giver en indikation af hvor meget kulstof, der udveksles mellem depoterne i løbet af et år. Sedimenterne, i diagrammet, inkluderer *ikke* de omkring 70 millioner gigaton af kalksten (og kerogen) der i teorien er lagret i geosfæren



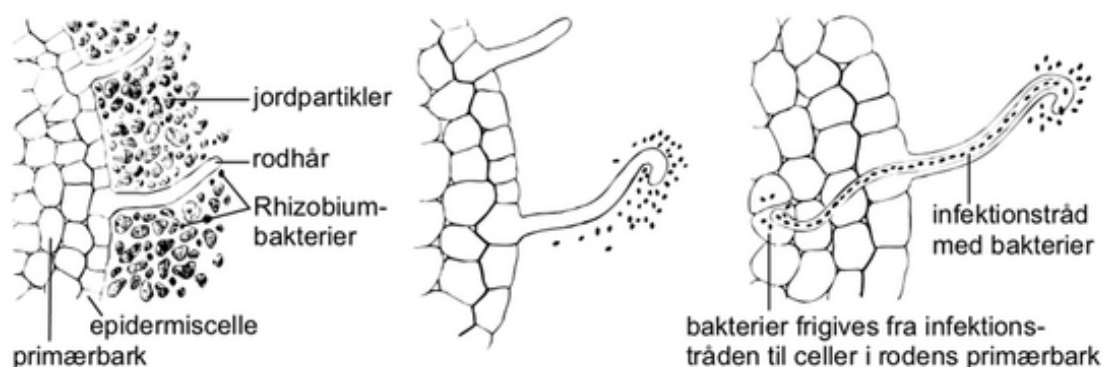
Figur 1: Kulstofkredsløbet (Field, Behrenfeld, Randerson, & Falkowski, 1998)

Kvælstof kredsløb

Mange biologiske processer er afhængige af kvælstof da nitrogen indgår som en vigtig komponent i alle peptider, proteiner og enzymer, og derfor også i DNA og RNA. Kvælstof findes på flere forskellige former. Herunder, som organiske forbindelser i levende og døde organismer, i jorden og vandet som uorganiske næringsalte, samt i jordens atmosfære som kvælstof på gasform.

Den primære kilde til nitrogen er atmosfæren, som indeholder ca. 79% kvælstof i molekylær form (N_2). Det luftformige kvælstof i atmosfæren er ikke tilgængelig for de fleste levende organismer og skal derfor omdannes via en proces der kaldes *Kvælstoffiksering*. Kun nitrogenfikserende bakterier har mulighed for at udnytte kvælstof-gassen som de omdanner til ammoniak (NH_3) ved at binde nitrogen og brint (H_3) (Thomsen, Husted, & Neergaard, 2011). Nogle kvælstoffikserende bakterier er anaerobe, andre er aerobe; nogle er fototrofe og andre er kemotrofe. Nogle nitrogenfikserende organismer er betinget af et symbiotisk forhold for at kunne udføre nitrogenfiksering mens andre lever frit i jorden eller havet, som eksempelvis cyanobakterier. De bakterier som er hovedansvarlige for nitrogenfikseringen på og under jordoverfladen lever i symbiose med planter fra *Fabaceae*

familien (bælplanter, ærteblomster). På trods af at der er stor fylogenetisk og fysiologisk diversitet har alle nitrogenfikserende organismer et særligt enzymkompleks som hedder *nitrogenase*. Enzymet der katalyserer den kemiske reduktion af N_2 og H_2 til NH_3 , er ikke aktivt ved tilstedeværelsen af ilt og er utroligt følsomt overfor oxygen. Processen kræver derfor anaerobe forhold hvilket har resulteret i, at de aerobe organismer har måtte udvikle kreative måder at beskytte deres nitrogenase. Eksempelvis har nogle cyanobakterier udviklet særligt væv kaldet heterocyster, som giver et miljø med lavt iltindhold til enzymet. Nitrogen på gasform er, pga. de stærke trippelbinding mellem nitrogenatomerne, en meget stabil forbindelse og der kræves derfor enorme mængder energi, i form af 16 ATP-molekyler og otte elektroner, for at bindingen kan brydes. Da rhizobium-bakterierne kræver ilt fri forhold og har ærteblomsterne ofte særligt udviklet væv der kan beskytte bakterierne. Planterne udskiller et specielt stof som signalerer til Rhizobium-bakterierne så de tiltrækkes rødderne, hvor bakterierne optages via en infektionstråd til celler i rodens primær bark. Det resulterer i dannelsen af rodknolde, hvorfra nitrogenfikseringen aktiveres (*figur 2*) (Bernhard, 2010).

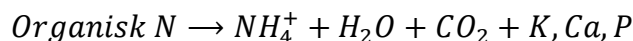


Figur 2: Nitrogenfikserende bakterier, som Rhizobiumbakterier, kan få planter af ærteblomstfamilien til at danne rodknolde. (Christensen, n.d.)

Når levende organismer dør frigives der organisk nitrogen, såsom DNA og aminosyrer. Bakterier og andre nedbrydere, såsom svampe, nedbryder de organiske kvælstofforbindelser af to omgange; *ammonifikation* og *nitrifikation*. Når det organiske materiale er nedbrudt, frigives uorganisk kvælstof i form af ammonium, nitrit eller nitrat.

Ved ammonifikation nedbryder og reducerer heterotrofe bakterier organisk kvælstof til ammonium, ved at optage en H^+ fra vand i jorden:

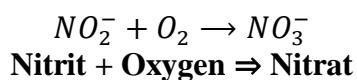
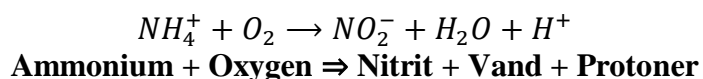
Ammonifikation:



Organisk N \Rightarrow Ammonium + Vand + Kuldioxid + Mineraler

Ammonium udvaskes sjældent fra jorden, da det er kationer (positive ioner) som er væsentligt mindre mobile end eksempelvis nitrat (anion). Ammonium-ionernes positive ladning gør, at de bindes til jordens negative ladninger på overfladen af humuspartikler og lerminerale. Størstedelen af kvælstofpuljen i jorden er derfor bundet i humuspartikler, der skal oxideres før planterne kan få gavn af kvælstoffet. Nitrat er letopløseligt og dets negativt ladede ioner frastødes af de negative jordpartikler, derfor findes nitrat primært i jordvandet og udvaskes let til grundvand, søer og vandløb. Det immobile ammonium omdannes til nitrat, med nitrit som mellemlid, gennem en nitrifikationsproces, som kan opdeles i to forløb (a og b). *Nitrifikation* er en særlig respirationsproces hvorigennem nitrificerende bakterier får energi som de kan benytte til at producere organisk stof ved kemosyntese. Dette betyder at bakterierne er kemoautotrofe. Nitrifikation er en aerob proces og den udføres udelukkende af prokaryoter. Den første del af processen udføres af bakteriegrupper som *Nitrosomonas*, der oxiderer og omdanner ammonium-ionerne til nitrit, hvorefter bakterier som bl.a. *Nitrobacter* oxiderer og omdanner nitrit-ionerne til nitrat:

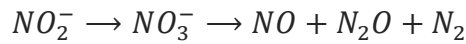
Nitrifikation: (a/b)



Hvis der ikke er noget ilt tilstede i jorden reduceres nitraten af *denitrifikanter*, såsom denitrificerende svampe og bakterier til drivhusgasser eller frit kvælstof; NO, N₂O eller N₂ gennem en proces der kaldes *denitrifikation*.

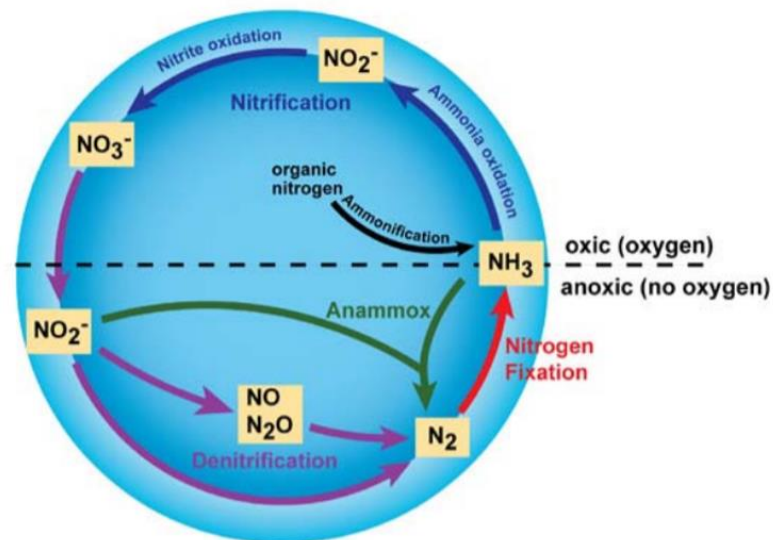
Denitrifikation er en anaerob bakteriel respirationsproces hvor igennem bakterierne udvinder energi via nitrat. Denitrifikationsprocessen fjerner kvælstoffet fra miljøet og frigiver det til atmosfæren således, at kredsløbet starter forfra. (Thomsen et al., 2011)

Denitrifikation:



Nitrat ⇒ Nitrit ⇒ Nitrogenoxid + Lattergas ⇒ Nitrogen

På trods af at det primært er en anaerob proces, findes der stadig en bred række denitrificerende bakterier som er i stand til at udføre aerob denitrifikation. Desuden benytter nogle svampe sig af flere metaboliske processer, både O₂-respirationsproces, denitrifikation og ammoniak-fermentering (reducering af nitrat til ammonium (Takasaki et al., 2004) og studier vist at disse svampe spiller en vigtig rolle i dannelsen af N₂O og N₂ på græsarealer, halvtørre jordområder og i skovbunden. Ved at udnytte disse tre distinkte typer af energigivende processer bliver nogle svampe i stand til, at leve og vokse under meget forskellige iltforhold hvilket gør dem særligt modstandsdygtige overfor iltudsving i deres omgivelser. (Hayatsu, Tago, & Saito, 2008)



Figur 3: Nitrogencyklus (Bernhard, 2010)

Figur 3 illustrerer en sammenfatning af jordens nitrogenkredsløb, og omfatter både nitrifikation, nitrogenfiksering, denitrifikation og anammox.

Nitrogen udgør typisk 0,5-5% af planters tørvægt hvilket betyder, at det er det uorganiske næringsstof som der er mest af i planter. Resten af planten udgøres af ca. 40% (C), 50% (O), 5% (H) samt mineraler som eksempelvis kalium, calcium og fosfor. (Thomsen et al., 2011) Udover at være en essentiel byggesten i DNA og proteiner, indgår nitrogen også i plantehormoner og farvestoffet klorofyl. Derfor vil bladene på en plante, som mangler kvælstof, til sidst blive gullige hvis der ikke bliver tilført flere næringsstoffer. For at kunne vokse og lave fotosyntese har planter altså brug for kvælstof, og de får denne af bakterierne imod selv at give bakterierne nødvendig energi i form af kulstofforbindelser.

Anioner og kationer

Mange naturligt forekommende stoffer, såsom ler partikler og hummus, besidder egenskaber, der gør dem i stand til at bytte ioner. Kationer er bundet til jordpartiklernes negative ladninger og derfra kan planter bytte deres H^+ til eksempelvis ammonium ioner (NH_4^+) eller fosfat-ioner (PO_4^{3-}). Ammonium- og fosfat-ioner er sammensatte ioner, hvilket betyder at de består af mere end én ion. De dannes af sammensatte molekyler frem for atomer, som ved simple ioner.

Ionbytning er en reaktion hvor to ioner bytter "plads", og er en af de mest essentielle mekanismer, hvorved jorden udveksler næringsstoffer som bl.a. nitrat, calcium, kalium og magnesium med planter og mikroorganismer i de øverste jordlag (Wilke, 2017). Kationbytningskapaciteten (eng "Cation exchange capacity", CEC) er et udtryk for jordens potentielle frugtbarhed, idet den er en indikator for jordbundens næringsstoffer, sammensætning og egenskaber. Udvekslingskapacitet er altså et udtryk for jordens evne til at bevare og frigive næringsstoffer til eksempelvis afgrøder. CEC er et tal som beskriver den mængde ioner der kan der kan blive adsorberet, på en udvekslende/udskiftende måde, i de negativt ladede områder af jorden. De adsorberede ioner er ombyttelige og tilgængelige for planterne, og når jordpartiklerne har adsorberet ækvivalente mængder kationer opnås der elektron-neutralitet i jorden.

Man måler CEC-værdier eksperimentelt og de angives i centimol ($cmol^+$) positive ladninger/pr. kg jord (kg^{-1}), hvor en $cmol^+$ svarer til $1/100$ mol H^+ . (Rasmussen, n.d.).

Anion udvekslingskapaciteten (AEC) angives ligeledes i centimol (cmol^-) negative ladninger /pr. kg jord (kg^{-1}), men da CEC-værdier ofte er markant højere end AEC måler man hovedsageligt CEC og udskiftelige kationer. (Carter, Gregorich, & CRC Press., 2007). Jord med høje CEC-værdier har muligheden for at binde større mængder kationer som eksempelvis Ca^{2+} eller K^+ til de områder hvor ionerne tiltrækkes i jordpartikler og partikler af organisk stof.

	Organisk lag over skovjorden	0-15 cm af skovjorden	Surhed i skovjorden	0-100 cm af skovjorden
	C/N		pH	CEC ¹
Kalkholdige lerjorder	•	12	7,7	1 400
Lerjorder	26	15	4,9	810
Mellemlerede jorder	24	24	4,6	220
Grovsandede jorder	27	30	4,6	160

¹ Kationbytningskapacitet

Tabel 1: Typiske jordbundsindikatorer fordelt på teksturklasser (Carter, Gregorich, & CRC Press., 2007)

Anioner og kationers udvekslings kapacitet er direkte påvirkelige af udsving i pH, ligesom jordens evne til at nedbryde organisk stof forringes. Men jord med en høj CEC-værdi har en større bufferkapacitet, hvilket giver den større modstandsdygtighed overfor forandringer i pH. Dette vil ofte være tilfældet i områder med mere lerholdig jord, i modsætning til mere sandet og siltagtig jord. Størstedelen af de næringsstoffer som optages af planter og mikroorganismer er på ion form. Når jordbunden har en lav pH værdi mindskes tilgængeligheden af de næringsstoffer, som er tilgængelige for planterne, samtidigt med at de kemiske forbindelsers opløselighed påvirkes i en negativ retning. I Danmark har skovjorden dog mange steder så højt kalkindhold, at disse områder er mere modstandsdygtige overfor forsurnings-processen end de områder som har mindre kalkholdig jord og en lavere pH værdi. (Danmarks Statistik, 2000)

C:N forhold

C:N forhold, er sammenhængen mellem mængden af carbon og nitrogen, i f.eks. en jordprøve. Man kan lave en C:N prøve for alle organiske forbindelser, og forholdet har en stor betydning for nedbrydningshastigheden af fønnen (organisk stof, der ligger på jorden og endnu ikke er nedbrudt).

Nedenfor, i *tabel 2*, ses nogle eksempler på C:N forholdet i organiske stoffer. (Heinrich & Hergt, 1992)

Dødt organisk stof	C:N forhold	Hvad betyder det
I ren urin (tis)	1:1	Der er lige så meget kulstof som kvælstof
I gylle	8:1	Der er 8 gange så meget kulstof som kvælstof
I døde dyr	12:1	Der er 12 gange så meget kulstof som kvælstof
I møg	18:1	Der er 18 gange så meget kulstof som kvælstof
I dødt græs og urter	50:1	Der er 50 gange så meget kulstof som kvælstof
I visne blade	100:1	Der er 100 gange så meget kulstof som kvælstof
I ved - altså træ	200:1	Der er 200 gange så meget kulstof som kvælstof
I savsmuld (tørt træ)	500:1	Der er 500 gange så meget kulstof som kvælstof

Tabel 2: Eksempler på C:N forhold (Heinrich & Hergt, 1992)

Moderne landbrugsjord har normalt et højt indhold af nitrogen, altså et lavt C:N forhold, oftest under 10-15. Derfor er omsætningen i jorden 100 procent betinget af nitrat (nitrifikation domineret). Resultater fra undersøgelser i europæiske skove viser at skove med et C:N forhold under 25 i det organiske lag, har en nitratudvaskning på mindre end 5 KgN per hektar om året. Tilsammen peger dette forhold på, at der er stor risiko for primær nitratudvaskning fra skove på tidligere landbrugsjorder, ved stadig høj nitrogenbelastning fra luften. (Gundersen et al., 1999).

Jordens surhedsgrad

Jordens surhedsgrad i en skov korrelerer direkte med den grad af fertilitet den har ift. mikroorganismer og vegetation; samt graden af toksicitet eller manglen på denne.

I dette projekt ønskes at undersøges om denne korrelation udtrykkes.

Specifikke organismer (både encellede og flercellede) trives ved specifikke pH-intervaller og dette har en række observerbare effekter på jordbundens miljømæssige sammensætning, samt skovbundens økosystem. Hver organisme eller kemisk stof, hvis tilstedeværelse og trivsel er defineret af surhedsgraden, har et specifikt input til økosystemet. Dette input eller manglen på denne, sætter gang i en række biologiske og fysiske processer. Eksempelvis, påviste et studie fra 2010, at jordsurhed og strukturel styrke af jorden, ændrede rodlængde samt arkitekturen af rødderne. Desuden medvirkede jordsurheden til forekomsten af underudviklede rodhår og deformerede rodspidse, når denne og jordens styrke aggraveres (HALING, et al 2011). Et andet studie fra 2008, påviste en lignende korrelation mellem lav pH og en lav procentdel af frøspiring blandt hvede (Horne, Kalevitch, & Filimonova, 1996). Med dette menes ikke, at rodlængden vil indgå i vores diskussion, men blot at de er implicite vejvisere til en hypotese om specifikke økologiske og kemiske konjunkturer i jorden og på overfladen.

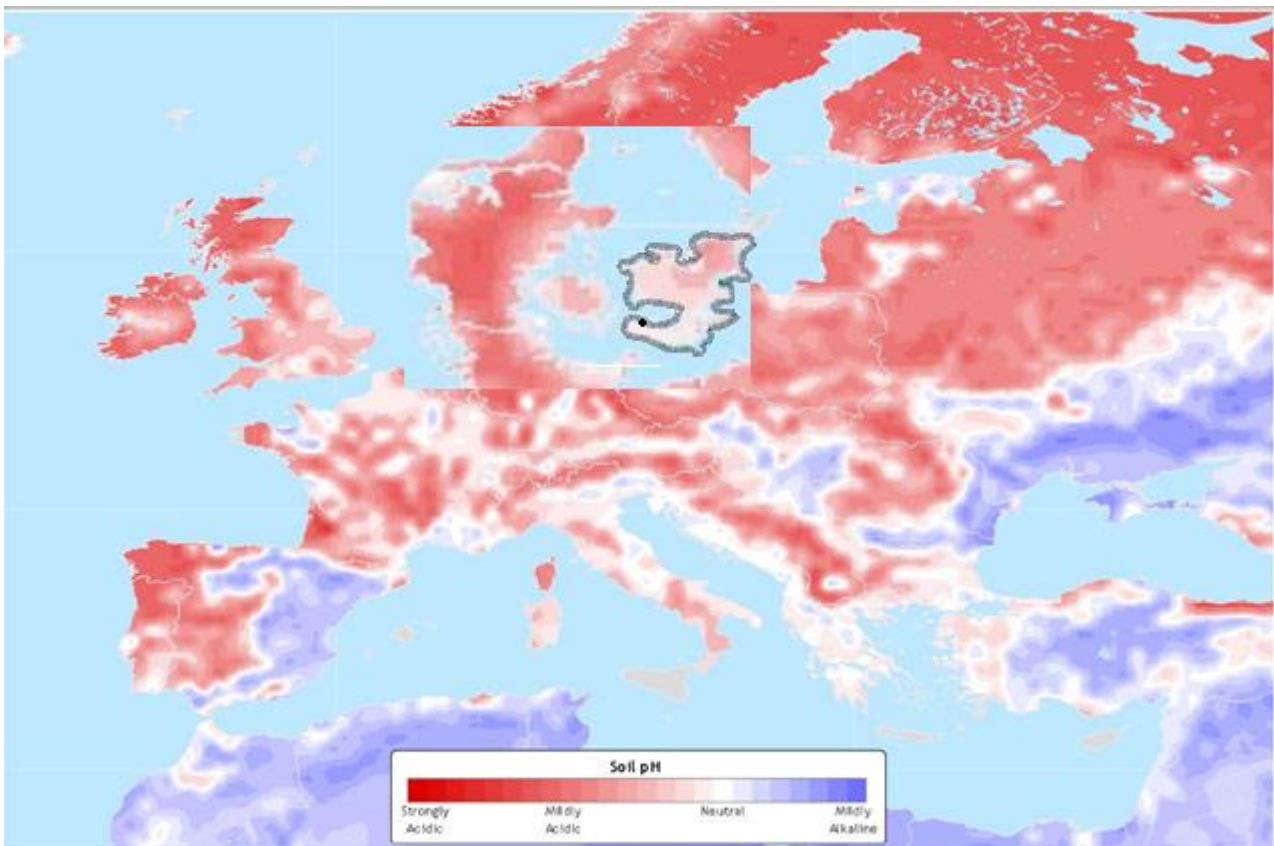
I de følgende afsnit vil der ses nærmere i detaljer, på teorien bag surhedsdannelse og dennes generelle indvirkning på størrelsen af biota i en skov.

Definering af sur jord

Sur jord er defineret som, jord i en vandig opløsning med en hydrogenion (H^+) koncentration på under $10^{-7} M$. Titalslogaritmen til dette giver pH'en for en sur opløsning < 7 . Det omvendte gælder for basiske/alkaliske opløsninger - dog med koncentrationen af hydroxyioner (OH^-) i stedet. (Sposito, 1989)

På *figur 4* kan ses en visualisering af adskillige mange pH-målinger taget i Europa, fra før 1998, med Danmark visuelt forstørret. Det ses på figuren, at store dele af Europa, især Nordeuropa, har sur jord hvorimod jorden bliver mere basisk længere syd på. Én faktor som er med til at generere sur jord er

udvaskning af jorden ved ferskvand; hvor regnvand indeholder frie H^+ ioner. Globale områder, som eksempelvis fugtige tropiske regnskove, danner grundet intensiv udvaskning generelt mere sur jord. Regioner med tempereret klima og skove, såsom Nordeuropa, oplever også generelt sur jord grundet samme faktor. I tørre jordområder vil der generelt set være mere basisk på jordniveau. (Sposito, 1989)



Figur 4: Visualisering af adskillige pH-målinger i Europa i 1998 (University of Wisconsin-Madison, 1998)

At omtale jordens surhedsgrad, altså hele protonsystemet i jorden, er komplekst. Dette skyldes at jorden i realia er et åbent vandssystem, hvor denne er eksponeret til adskillige miljøinput. Disse input er eksterne og involverer wetfall (regn, sne), dryfall (eks. blade, grene, døde dyr etc.) og interflow (den horisontale bevægelse af vand i jorden, især ved geologiske fald, som bakker). Herudover, er der også den menneskelige indvirkning – de antropogeniske input/output – som eksempelvis nitrogen gødning. Surhedsgraden er defineret som et komplekst åbent system, bestående af naturlige og

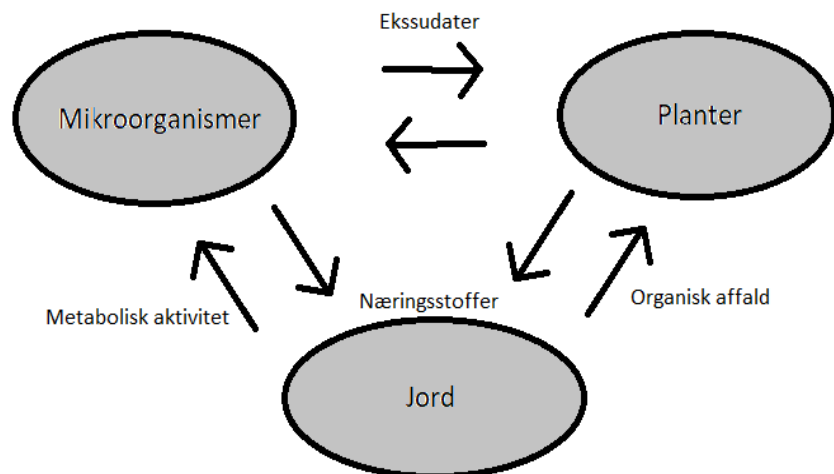
antropogener inputs og outputs, der undervejs kan definere udviklingen af jordens surhedsgrad. (Sposito, 1989)

Ikke desto mindre, kan nogle generelle konklusioner drages på baggrund, af en kvantificering af hvilke omstændigheder, der har højst prioritet ift. deres input og/eller output relevans. Faktorer, som medvirker til en syrligere jord er, syreafsætning¹, produktion af CO₂, humus og protonbiocyklring. Faktorer som derimod medvirker til en mere alkalisk jord, er H⁺ absorption og mineral udvaskning. Endvidere kan udvaskning af diverse mineraler, med ferskvand, kan også over lang tid forsure jorden.

Konsekvenser af høj surhedsgrad

pH niveauet i jorden har en kompleks effekt på adskillige faktorer i skovens økosystem. Det er ikke denne rapport's formål at forklare alle disse elementer, men i stedet at understrege den generelle sammenhæng, som eksisterer mellem pH, mikroorganismer og planter.

Mikroorganismer er en vigtig aktør for planter, eftersom at disse lever i en form for symbiose med hinanden. Planter får deres næringsstoffer fra jorden, men ikke alle disse mineraler etc. er let tilgængelige for planterne. Adskillige større strukturer af organiske og uorganiske molekyler og polymere kan være umulige at



Figur 5: Visualisering af sammenspillet mellem jord, mikroorganismer og planter

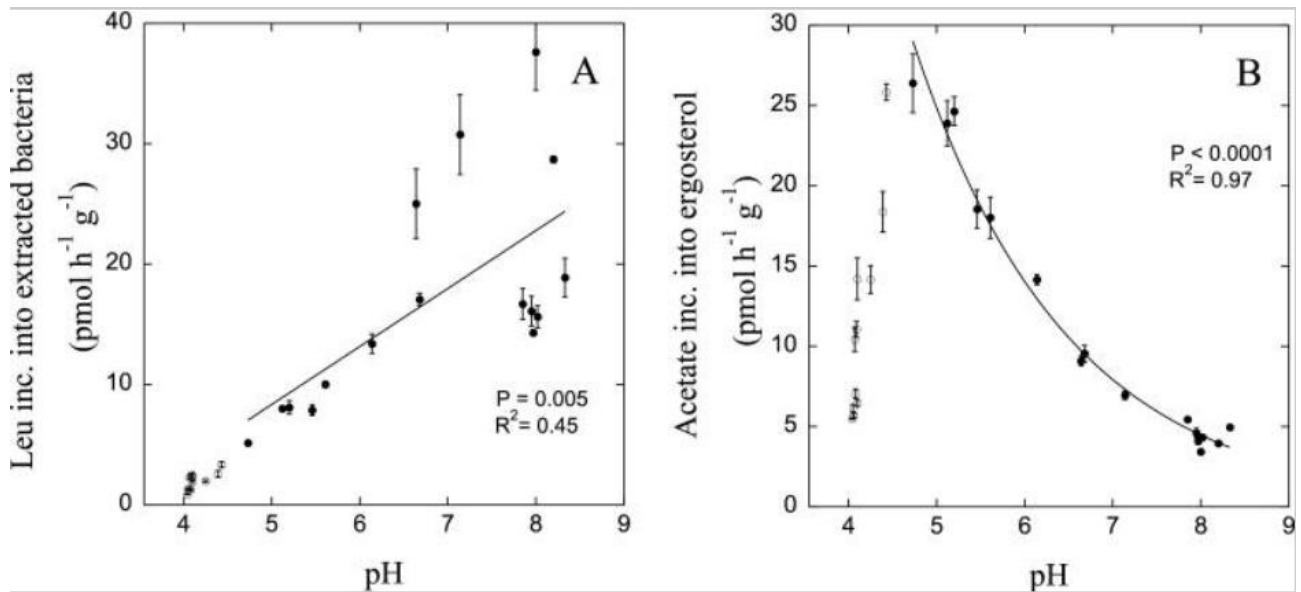
¹”Syreafsætning repræsenterer blandingen af luftforurenende stoffer, der afsættes fra atmosfæren, hvilket fører til forsurening af jord og ferskvand. Dette består hovedsagelig af forurenende stoffer, der udledes under forbrænding af fossile brændstoffer. Fjernelsen af disse forurenende stoffer fra atmosfæren forekommer i form af våd aflejrning ved regnvejr, skyvand eller okkult deponering, tåge og dug, men omfatter også tør deponerede forsurende gasser. Regn, der er sur, har forhøjede H⁺ ionkoncentrationer, og er almindeligvis kendt som ”sur regn.” (APIS, 2015)

optage for en plante og bruge som næring. Denne begrænsning har specifikke bakterier og svampe dog ikke i samme grad. Ved metabolisering af polymeriserede molekyler samt mineraliseringen af grundelementerne nitrogen, fosfor og svovl kan planten optage næring. Planter er altså afhængige af at kunne optage det som bakterier og svampe producerer, eller det der er tilbage af dem ved cellyse.

Disse nedbrydere består hovedsageligt af bakterier og svampe, som lever i interaktion med hinanden. pH har en indvirkning, både explicit og implicit, på mikroorganismene. De abiotiske forhold involverer henholdsvis tilgængelighed af carbon, næringsstoffer og opløselighedsgraden af metaller. De biotiske forhold har desuden en indvirkning på biomassen af svampe og bakterier. (Rousk, Brookes, & Bååth, 2009)

Et studie fra 2009, omhandlende pH niveauets effekt på bakterie og svampe, påviste at disse to organismers levevilkår er påvirket af pH niveauet. Bakterier og svampe lever i et samspil med hinanden, dog er de stadig vidt forskellige celletyper, hvilket betyder at de har specifikke miljøkrav; herunder også til surhedsgraden. (Rousk et al., 2009)

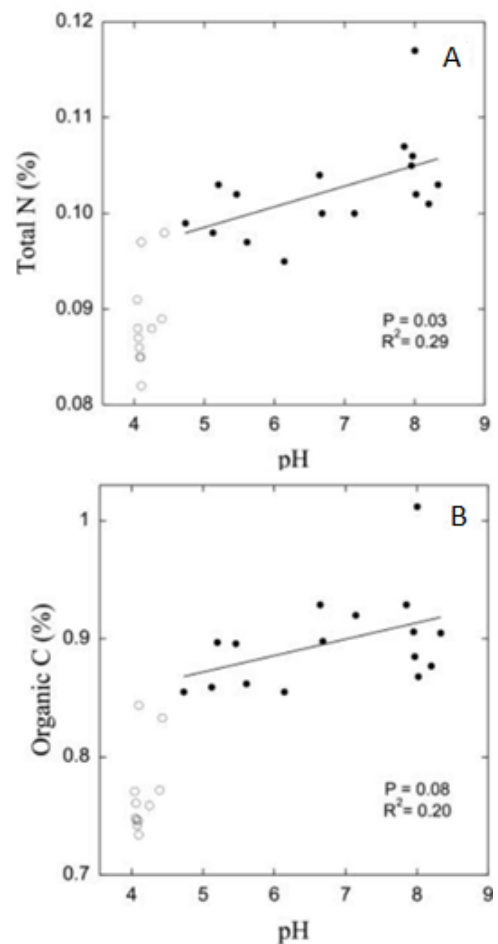
Det omtalte studie fra 2009, påviste at der ved neutrale til let basiske jordforhold var flere bakterier tilstede i jorden end ved sure forhold. Endvidere fandt de, at svampe var mere tilstedeværende ved en sur pH, end ved basisk. På *figur 6* kan data over forekomsten af bakterier og svampe ved forskellige jordforhold ses.



Figur 6: pH's effekt på bakterie vækst, målt ved "leucin inkorporation" (graf A) og på svampe vækst målt ved, acetat inkorporation i ergosterof (graf B). Leucin inkorporation er en metode, hvorpå bakterie aktivitet kan måles. Radioaktivt-mærket leucin (type aminosyre) bliver tilsat en prøve bakterier. Det radiomærkede leucin optages og cellerne kan kvantificeres. Jo mere leucin bliver optaget, påviser en tilstedeværelse af flere bakterier. (Díaz-Raviña, Prieto, & Bååth, 1996). Acetat inkorporation er en magen til strategi, som i tilfælde af leucin inkorporation. I stedet bruges radioaktivt mærket acetat. Svampevæksthastigheder vil, på samme måde som ved leucin inkorporation, være direkte proportional med acetat inkorporeringshastigheder. (Suberkropp & Gessner, 2005)

Graf A i figur 6 viser bakterieaktiviteten ved forskellige pH niveau. Grafen skal forstå på sådan en måde, at jo større værdien er på y-aksen jo større er bakterieaktiviteten. Prikkerne definerer jordprøverne taget. Det kan ses på grafen at i takt med et forøgende pH niveau, forøges bakterieaktiviteten. Samme princip gælder ved graf B; en højere værdi på aksen betyder højere svampe aktivitet. I graf B kan det omvendte ses, ved øgende pH niveau, formindskes svampe aktiviteten.

Samme studie fra 2009 påviste også, at mængden af organisk kulstof samt nitrogenindholdet i jorden påvirkes af pH niveauet. På figur 7 kan data af dette ses. På figur 7 A og B kan man ud fra grafen se, at når pH værdien stiger fra 4 til cirka 4,5, stiger begge



Figur 7 (A og B): pH niveauets effekt på organisk kulstof indhold og nitrogen indhold i jord.

parametre (C og N), mere end den gør fra en pH værdi på fra 5 til 8. Kulstof stiger henholdsvis fra cirka 0,75 % til lidt under 0,90 %. Nitrogen stiger fra cirka 0,085 % til 0,10 %. Herefter stabiliseres begge parametre, med en stille stigning frem til pH 8,5. *Disse tal bør dog 'tages med et gran salt', eftersom at R^2 -værdien signalere en stor distributions usikkerhed.*

Denne rapport er baseret på en hypotese om, hvordan pH niveauet i jorden vil udvikle sig fra overgangen mark til veletableret skov. Det vurderes, at start pH, altså pH niveauet fra marken, vil være neutralt til let syrlig. Dette skyldes, at pH værdien i markjorden kontrolleres af landmanden. Endvidere har vi en hypotese om, at jorden i begyndelsen vil være præget af problemer med forsuring på grund af regn og bar jord. Herefter ville regnens forsuringseffekt, ved udvaskning, reduceres grundet græsbevoksning. Græsbevoksningen vil gradvist reduceres, grundet træernes gradvist øgede skyggedannelse, som igen forøger forsuringseffekten; og alligevel ikke, da produktionen af dryfall vil stabilisere forsuringseffekten. Vores hypotese går altså på, at jorden først bliver forsuret og herefter stabiliseres ved neutral til let syrlig. Om en skovjord er mere eller mindre syrlig, formoder vi afhænger af floramængden; hvis skoven er tættere bevokset, vil udvaskning have en mindre effekt.

Flora - danske skovarter

De træarter og buske som hører hjemme her i Danmark, og Europa generelt, har en bred økologisk spændvidde fordi deres livs- og vækstforløb adskiller sig fra hinandens. Samtidigt besidder de meget forskellige behov for bl.a. jordbundsforhold og lys. I Danmark har vi omkring 65 forskellige arter, hvoraf de fleste er importeret og andre er indvandret naturligt. Det er hovedsageligt de indvandrede arter vi betragter som naturligt hjemmehørende i Danmark. Blandt nogle af de vigtigste arter vi kan støde på i vores skove er løvtræerne såsom forskellige bøge-, ege-, linde- og birketræer, eksempelvis *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Tilia platyphyllos* og *Betula pubescens*, samt grantræerne som omfatter blandt andre forskellige arter af fyr og gran eksempelvis *Pinus sylvestris*, *Picea abies* og *Abies alba*, samt elmetræer som eksempelvis *Ulmus glabra*. Blandt de hjemmhørende busk-arter er nogle af de mest almindelige blandt andre almindelig hæg (*Prunus padus*) og almindelig hyld (*Sambucus nigra*). Og selvom det hovedsageligt er træer og buske der dominerer synsindtrykket i skoven, er der også et varieret urtelag. Urtelaget består af mange forskellige skovbundsplanter. Skovbundsplanterne er tilpasset et mere beskyttet miljø, hvor der er skærmet af for vinden og er en

lavere lysintensitet (Møller, Fenchel, Larsen, Vestergaard, & Sand-Jensen, 2013). Nedenfor i *tabel 3* oprides et lille udsnit af de mest almindelige og vigtigste træarter i Danmark, samt deres taksonomiske tilhørsforhold og en kort beskrivelse.

	Dansk benævnelse	Taxonomisk forhold ("Felthåndbogen - 1000vis af artsbeskrivelser," n.d.)	Beskrivelse (Seberg, Fredriksen, & Rasmussen, 2012)
Træarter	Alm. Bøg Bøgefamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Fagales</i> Familie: <i>Fagaceae</i> Slægt: <i>Fagus</i> Art: <i>F. sylvatica</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 35m. højt løvfældende træ. Blomstrer i maj.
	Stilk-eg Bøgefamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Fagales</i> Familie: <i>Fagaceae</i> Slægt: <i>Quercus</i> Art: <i>Q. robur</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 30m. højt løvfældende træ. Blomstrer i maj-juni. Krydsninger mellem stilk-eg og vinter-eg er almindelige.
	Spidsløn Lønfamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Sapindales</i> Familie: <i>Aceraceae</i> Slægt: <i>Acer</i> Art: <i>A. platanoides</i>	<ul style="list-style-type: none"> Løvfældende træer og store buske Blomstrer i maj
	Storbladet lind Lindefamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Malvales</i> Familie: <i>Tiliaceae</i> Slægt: <i>Tilia</i> Art: <i>T. platyphyllos</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 30m. højt løvfældende træ, med hjerteformede savtaktede blade. Radiærsymmetriske blomster med gullig-hvide kronblade.
	Dun-birk Birkefamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Fagales</i> Familie: <i>Betulaceae</i> Slægt: <i>Betula</i> Art: <i>B. pubescens</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 25m. højt løvfældende træ, med delvist hvid bark. Blomstrer i april-maj.
	Skov-elm Elmefamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Rosales</i> Familie: <i>Ulmaceae</i> Slægt: <i>Ulmus</i> Art: <i>U. glabra</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 30m. højt løvfældende træ. Radiærsymmetriske blomster. Blomstrer i april.
	Alm. ædelgran Granfamilien	Klasse: <i>Pinopsida</i> Orden: <i>Pinales</i> Familie: <i>Pinaceae</i> Slægt: <i>Abies</i> Art: <i>A. alba</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 45m. højt stedsegrønt nåltræ. Modne kogler er 10-15 cm lange, dæk-skællene udragende og udstående.
	Rød gran	Klasse: <i>Pinopsida</i> Orden: <i>Pinales</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 40m. højt stedsegrønt nål træ.

Granfamilien	Familie: <i>Pinaceae</i> Slægt: <i>Picea</i> Art: <i>P. abies</i>	<ul style="list-style-type: none"> Koglerne er 8-15 cm lange, og frø-skællene er afrundede.
Skov-fyr Granfamilien	Klasse: <i>Pinopsida</i> Orden: <i>Pinales</i> Familie: <i>Pinaceae</i> Slægt: <i>Pinus</i> Art: <i>P. sylvestris</i>	<ul style="list-style-type: none"> Op til 30m. højt stedsegrønt nåletræ. Koglerne er 3-6 cm lange og har en 4-10 mm lang stilk.

Tabel 3: Artsbestemmes af almene danske skovarter

Et tysk forskerhold har undersøgt sammenhængen mellem specifikke skovarter og skovens alder ved en statistisk metode. Undersøgelsen blev udført i det nordøstlige Tyskland, som med god tilnærmelse kan antages at være sammenlignelig med Danmark. Der blev i alt observeret 243 vaskulære planter i 304 ældgamle skove (>200 år), 71 gamle skove (150-100 år) og 103 nyere skovområder (100 >). Ved undersøgelsen testede de forskellene i den proportionale distribution mellem ældgammel og yngre skov, og kunne påvise en vis grad af sammenhæng mellem specifikke skovarter og skovens alder, hvilket kan ses i tabel 4, (a-b-c). Indikatorer for ældgamle skovområder viste at arterne generel nåede et lavere gennemsnit hvad angik behov for bl.a. lys, fugt og nitrogen. De fleste af arterne i ældgammel skov viste sig at være tilpasset en lav grad af menneskelige forstyrrelser, men var samtidigt mere stress-tolerante end andre arter. Til sammenligning viste de fleste af arterne i de yngre skovområder sig til ikke at være egentlige skovarter, men i stedet konkurrerende arter med en høj modstandsdygtighed overfor menneskelige forstyrrelser som er i stand til at dække både store og små områder. Forskellene på de arter som var mest almindelige i henholdsvis gamle og yngre skove, var hovedsageligt et udtryk for nogle arters evne til bedre at kunne overleve udenfor skovene. På baggrund af dataene som blev indsamlet, kunne man understrege vigtigheden af at skelne mellem ældgammel, gammel og yngre skov (Wulf, 2003).

Tabel 4. a	Sammenhæng mellem træ-, busk og urter i skove af forskellige aldre		
Vedplanter	Forekomst i ældgammel skov (%)	Forekomst i gammel skov (%)	Forekomst i yngre skov (%)
Træer:			
<i>Acer platanoides</i> *)	12.1	12.7	2.9
<i>Acer pseudoplatanus</i> *)	16.4	15.5	3.9
<i>Alnus Glutinosa</i> **)	59.5	33.8	77.7
<i>Betula pubescens</i> *)	60.5	46.5	46.6

<i>Carpinus betulus</i> *)	44.7	12.9	11.7
<i>Fagus sylvatica</i> *)	57.9	43.7	18.5
<i>Fraxinus excelsior</i> *)	36.5	19.7	19.4
<i>Pinus sylvestris</i> *)	31.3	39.4	11.7
<i>Populus tremula</i> *)	15.8	4.2	5.8
<i>Prunus padus</i>	28.9	14.1	23.3
<i>Quercus robur</i> *)	76.6	64.8	45.6
<i>Sorbus aucuparia</i> *)	75.7	71.8	56.3
<i>Ulmus laevis</i> *)	19.4	5.6	4.9
Buske			
<i>Corylus avellana</i> *)	57.2	29.6	38.8
<i>Crataegus laevigata</i>	51.0	31.0	49.5
<i>Euonymus europaea</i> *)	45.4	22.5	23.3
<i>Frangula alnus</i> *)	39.5	29.6	19.4
<i>Hedera helix</i> *)	32.9	33.8	15.5
<i>Lonicera periclymenum</i> *)	60.9	40.9	35.0
<i>Prunus serotina</i> *)	17.4	7.0	5.8
<i>Ribes rubrum</i> *)	11.2	5.6	3.9
<i>Rubus idaeus</i>	32.6	23.9	41.8
<i>Vaccinium myrtillus</i> *)	19.1	7.0	0

Urter	Sammenhæng mellem træ-, busk og urter i skove af forskellige aldre		
	Forekomst i ældgammel skov (%)	Forekomst i gammel skov (%)	Forekomst i yngre skov (%)
<i>Anemone nemorosa</i> *)	71.1	42.3	54.4
<i>Athyrium filix-femina</i> *)	54.6	29.6	38.8
<i>Brachypodium sylvaticum</i> *)	26.3	12.7	9.7
<i>Caltha palustris</i> **)	13.8	11.3	28.2
<i>Carex acutiformis</i> **)	18.8	12.7	31.1
<i>Carex pilulifera</i> *)	15.5	7.0	1.0
<i>Carex sylvatica</i> *)	14.8	0	0
<i>Convallaria majalis</i> *)	21.1	1.4	1.9
<i>Deschampsia flexuosa</i> *)	46.4	53.5	15.5
<i>Dryopteris carthusiana</i> *)	56.9	40.8	43.7
<i>Fallopia dumetorum</i> **)	8.6	14.1	18.4
<i>Galium aparine</i> **)	42.8	33.8	62.1
<i>Galium odoratum</i> *)	15.5	11.3	2.9
<i>Heracleum sphondylium</i> **)	5.3	2.8	14.6
<i>Hieracium lachenalii</i> *)	25.0	12.7	10.7
<i>Impatiens parviflora</i> *)	20.1	15.5	4.9
<i>Lamium galeobdolon</i> *)	24.7	8.5	1.9
<i>Luzula pilosa</i> *)	20.4	2.8	0
<i>Lycopus europaeus</i> **)	9.9	7.0	17.5
<i>Lysimachia vulgaris</i> **)	23.7	11.3	38.8
<i>Maianthemum bifolium</i> *)	62.2	31.0	25.2
<i>Melampyrum pratense</i> *)	13.5	5.6	1.9
<i>Mentha aquatica</i> **)	3.6	4.2	12.6
<i>Mercurialis perennis</i> *)	11.5	5.6	3.9
<i>Milium effusum</i> *)	52.6	22.5	34.0
<i>Moehringia trinervia</i> *)	64.5	47.9	48.5
<i>Mycelis muralis</i> *)	21.4	16.9	4.9
<i>Myosotis scorpioides</i> **)	4.9	4.2	19.4
<i>Oxalis acetosella</i> *)	56.6	26.8	26.2
<i>Paris quadrifolia</i> *)	28.0	8.5	12.6
<i>Poa nemoralis</i> *)	43.1	28.2	31.1
<i>Polygonatum multiflorum</i> *)	61.5	36.6	35.9
<i>Pteridium aquilinum</i> *)	10.8	2.8	1.9

<i>Ranunculus auricomus</i> agg. *)	34.9	11.3	23.3
<i>Ranunculus repens</i> **)	18.8	8.5	33.0
<i>Stachys sylvatica</i> *)	39.8	14.1	23.3
<i>Stellaria holostea</i> *)	64.8	31.0	42.7
<i>Urtica dioica</i> **)	44.7	40.8	65.0
<i>Viola reichenbachiana</i> *)	25.0	8.5	12.6
<i>Viola riviniana</i> *)	40.8	19.7	7.8

Tabel 4. c		Sammenhæng mellem træ-, busk og urter i skove af forskellige aldre	
		*) indikator for ældgammel skov	**) indikator for yngre skov
Vedplanter og urter	Forekomst i ældgammel skov (%)	Forekomst i gammel skov (%)	Forekomst i yngre skov (%)
Vedplanter:			
<i>Tilia platyphyllos</i> *)	5.6	11.3	1.0
<i>Rubus caesius</i> *)	8.9	0	1.0
Urter:			
<i>Cardamine pratensis</i> **)	2.3	1.4	7.8
<i>Epipactis helleborine</i> *)	8.9	1.4	1.9
<i>Equisetum sylvaticum</i> *)	8.6	0	1.9
<i>Gagea spathacea</i> *)	6.3	1.4	1.0
<i>Listera ovata</i>	7.9	1.4	4.9
<i>Melica uniflora</i> *)	7.2	0	0
<i>Phyteuma spicatum</i> *)	3.3	0	0
<i>Sanicula europaea</i> *)	3.3	0	0
<i>Stellaria media</i> **)	1.6	1.4	9.7
<i>Veronica officinalis</i> *)	6.9	8.5	1.0

De fleste arter der blev observeret, var primært associeret til de ældste skove og ud af i alt 75 observerede arter havde kun ét træ og 13 urtearter direkte tilknytning til de yngre skovområder. Der var til sammenligning 12 træarter, ni buske og 36 urtearter som havde tydelige præferencer for ældgammel skov, men ingen arter som havde særskilt tilknytning eller vidste særlige præferencer for gamle skove. I dette afsnit vil vi belyse de forskellige indikatorarter for henholdsvis ældgammel, gammel og yngre skov på baggrund af data som er blevet oplyst i den statistiske undersøgelse. Dog var der seks arter som nåede samme/lignende frekvenser i henholdsvis ældgamle og gamle skove; Spidsløn (*Acer platanoides*), Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), Skovfyr (*Pinus sylvestris*), Alm. Røn (*Sorbus aucuparia*), græssen - Bølget Bunke (*Deschampsia flexuosa*) og Vedbend (*Hedera helix*). På grund af deres markant højere frekvenser i ældgammel skov sammenlignet med yngre skov blev alle seks arter alligevel klassificeret som indikatorer for ældgammel skov. Hvis man sammenlignede arterne fra ældgammel skov med både gammel og yngre skov var der fire ud af de seks arter som blev fundet markant oftere i ældgammel skov og de to arter Spidsløn (*Acer platanoides*) og Skovfyr (*Pinus*

sylvestris) forekom markant sjældnere. Den træart som havde den højeste frekvens i både ældgammel samt yngre skov var alm. hæg (*Prunus padus*), hvilket ligeledes gjorde sig gældende for buskarterne alm. hvidtjorn (*Crataegus laevigata*) og alm. hindbær (*Rubus idaeus*). De fleste buskarter forekom oftest i henholdsvis ældgamle og yngre skovområder hvilket indikerer, at ældgamle og yngre skovområder generelt ligner hinanden mere mh.t. flora-sammensætning end henholdsvis ældgammel/gammel skov og gammel/yngre skov.

Man kan ud fra undersøgelsen konkludere, at indikatorer for ældgammel skov er mere modstandsdygtige over for forsuring, skygge, vandmangel og lave niveauer af nitrogen i jorden. Til sammenligning havde indikator arterne i yngre skov behov for markant mere lys, vand, næringsstoffer og kationer (Wulf, 2003).

Ellenberg-indikatorværdier

Ellenberg metoden (Ellenberg et al 1992) er et værktøj hvorved man kan beskrive planters botaniske egenskaber ved hjælp af en række nærings-indikatorer. Indikatorerne er ikke direkte værdier for jordens næringsstatus, men er en rangordnet skala der henviser til arternes respons på tilgængeligheden af næringsstoffer i jorden.

Vi benytter denne metode til at behandle vores indsamlede data i afsnittet om *Flora-analyse*.

Ved at tage gennemsnittet af indikatorværdierne for en artsliste, kan man få en ide om hvilke miljømæssige egenskaber området har, samt hvilke faktorer der har spillet ind i artssammensætningen.

Indikator-tallene opgøres altid i samme rækkefølge og gives på en skala fra 1-9:

(L)	Lystal
(T)	Temperatur-tal
(K)	Kontinentalitetstal
(F)	Fugtigheds-tal

(R)	Calcium-/Reaktionstal
(N)	Kvælstofstal

Tabel 5: Tabel over Ellenbergs indikatorværdier (Ellenberg et al 1992)

Lys-tallet angiver forekomsten af den observerede art i forhold til den relative belysningsstyrke (rl).

Temperatur-tal henviser varmemiddeltallet, hvilket betyder at det refererer til hvor langt mod nord en planteart kan vokse, herunder hvor langt oppe den kan trives i bjergene.

Kontinentalitetstallet refererer til artens forekomst med udgangspunkt i voksestedets grad af kontinentalitet lige fra atlantehavskysten til det indre af Eurasien. Desuden giver dette tal en indikation om vinterminimum, temperatursvingninger og senfrost i det aktuelle område.

Fugtigheds-tallet oplyser noget om plantens forekomst i forhold til jordens fugtighed, samt plantens optræden i forhold til det øvrige vegetationsdække. Man kan ikke med sikkerhed gå ud fra, at planter der konkurrerer med andre arter har samme reaktionsmønster som dyrkede planter.

Calcium-tallet henviser til artens forekomst i forhold til jordens reaktion, herunder primært kalkindhold. Ligesom ved fugtigheds-tallene kan man ikke antage, at dyrkede planter har vil have samme reaktionsmønster, som planter, der lever under konkurrence fra andre arter. Disse tal er *ikke* et udtryk for pH-værdien.

Kvælstof-tallet angiver overordnede og grove træk ved arternes reaktioner på indholdet af kvælstof i jorden (Ellenberg et al., 1992)

Metode

Studielokationer og prøveflader

Til denne undersøgelse er fire skove på Sjælland blevet udvalgt. Disse skove er blevet udvalgt på baggrund af nogle kriterier. Skovene skal være kunstigt rejst, med passende tidsintervaller imellem. På trods af én skov, som er blevet valgt som kontrol, på baggrund af dens høje alder. Denne rapport

hypotesere, at en gammel skov vil have en væsentligt større variation af typiske skovarter og at den dermed kan fungere som en 'kontrol' i analyseringen af de yngre skove. Denne antagelse medfører, at vi hypotesere, at en nyrejst skov ikke har opnået en egentlig 'skov-definition', ved fravær af egentlige skovarter. Derimod vil en ældre skov have 'afsluttet' en in flux periode af arter. Skovene skal endvidere være løvskove i stedet for nåleskove, da denne rapport ønsker at undersøge typiske danske skovarter.

Hertil er skovene også blevet udvalgt på baggrund af deres geografiske placering, som udelukker faktorer såsom variationer i geologiske forhold, klima, dyrearter etc.

På baggrund af dette er følgende fire skove blevet identificeret, som kan ses i *tabel 6*:

Benævnelse	Etablerings år	Størrelse
Tune skov	2011*** (Naturstyrelsen, 2016)	84* ha (Naturstyrelsen, 2016)
Hyrdehøj skov	1991 (Naturstyrelsen, 2009)	55 ha (Naturstyrelsen, 2009)
Vestskoven	1967 (Naturstyrelsen, n.d.-b)	1.400 ha (Naturstyrelsen, n.d.-b)
Boserup skov	Ca. 200** år gammel (Naturstyrelsen, n.d.-a)	224 ha (Naturstyrelsen, n.d.-a)

Tabel 6: De fire skove brugt i denne rapport med etablerings år og størrelse

* 84 ha per 2016. Naturstyrelsen sigter efter 240 ha.

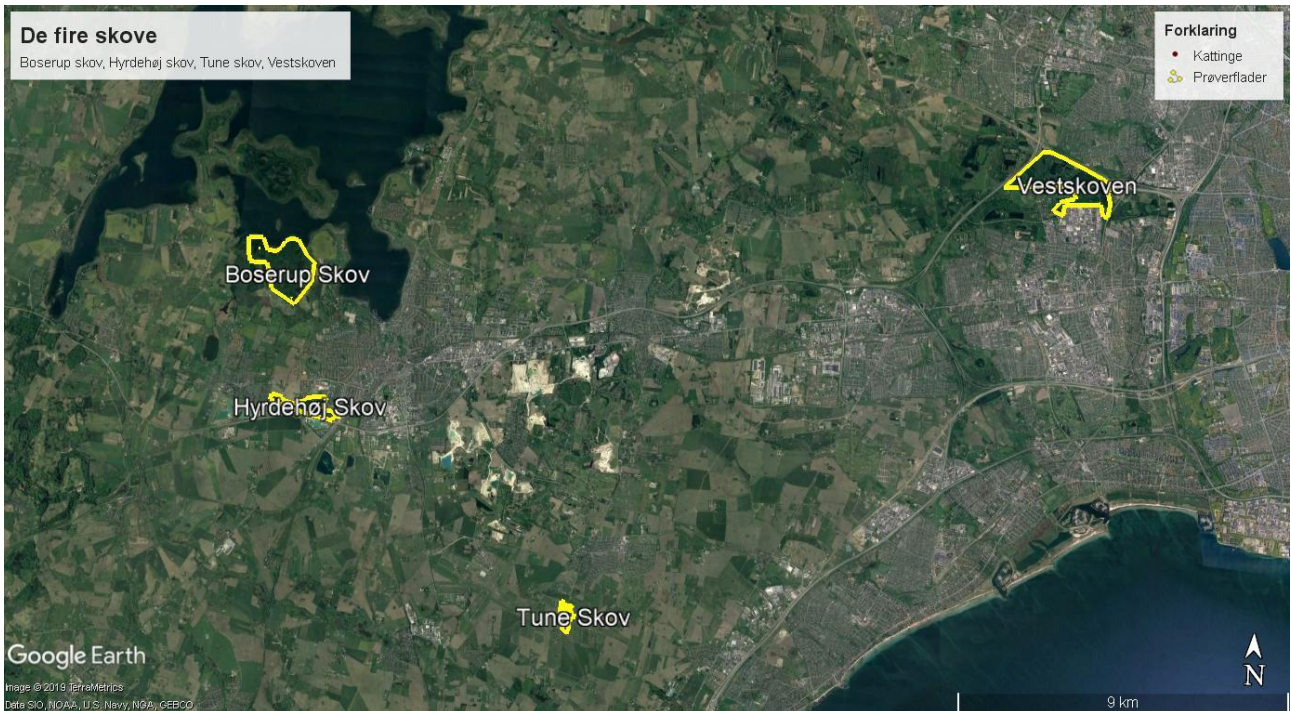
** Skoven har eksisteret i området nogenlunde siden efter-istiden, dog har der ikke været skov på de nøjagtigt samme lokationer. Et estimat lavet af Professor Henrik Ærenlund Pedersen er, at skoven kan antages at være ca. 200 år gammel, ved vores studielokationer.

Ved hver skov er to prøveflader blevet oprettet, med tilhørende 10 udgravninger per prøveflade. Denne metodologi er blevet valgt på baggrund af en ekstensiv konsultation med professor Henrik Ærenlund Pedersen².

Som følge af denne konsultation er det blevet determineret, at den mest effektive måde at opnå repræsentative resultater fra prøveudtagningerne er ved dannelse af de omtalte prøveflader. En vidtudstrakt prøveudtagning fra hele skoven er blevet dømt, værende unødvendig for at opnå en valid og repræsentativ tendens, samt at være uoverkommeligt grundet tidsrammen, hvilket dette projekt er defineret af. Prøvefladernes beliggenhed blev bestemt for at udelukke uhåndgribelige faktorer såsom trafik, hvilket kan have effekt på vegetationen i det påvirkede område. Forholdsreglen om mindst 100 meter fra vejanlæg blev derfor oprettet og dømt en tilstrækkelig afstand ift. denne rapport yderligere usikkerhedsdannende faktorer. Med dette menes, at der vil forekomme større usikkerhed i 'decimaltallene' ved fejlkilder i laboratorieanalyserne, end en eventuel trafikpåvirkning vil danne i denne afstand.

Følgende figurer (*figur 8-10*) viser nærmere skovenes og prøverfladernes beliggenhed:

² Henrik Ærenlund Pedersen er vejleder for dette projekt og med speciale indenfor botanik. For yderlig information se ("Henrik Ærenlund Pedersen – Indehaver – Select Nature | LinkedIn," n.d.) i litteraturliste for henvisning til C.V.



Figur 8: Kort over de fire skove



Figur 9: Eksempel på lokalisering af prøveflader i Boserup skov.

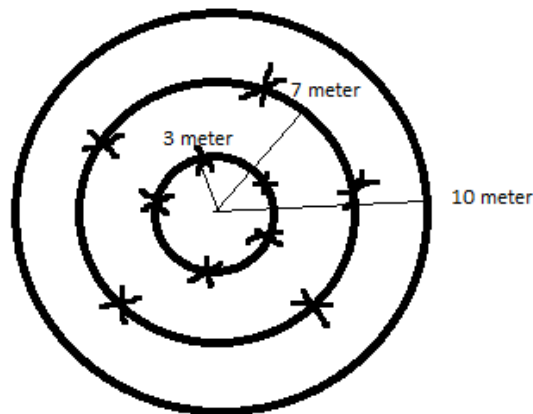


Figur 10: Eksempel på prøveflade; Boserup skov

Den yderste ring har en diameter på 10 meter. Denne ring definerer prøvefladen. Hertil kan ses to ringe, den inderste og den midterste ring. Den inderste ring er henholdsvis tre meter i radius og den midterste er syv meter i radius. For at afmærke prøvefladerne anvendte vi målebånd og afmærkningspæle til at afmærke centrum og derefter udgravningsstederne.

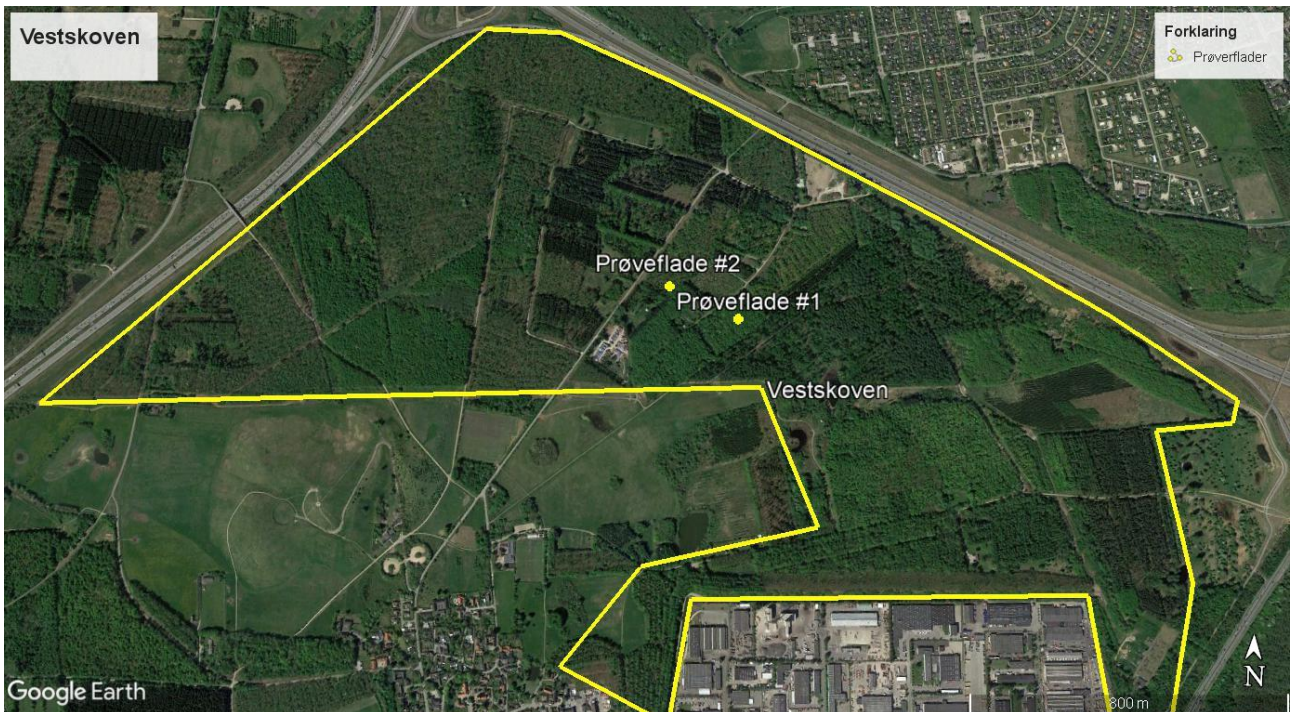
Udtagning af jordprøver

For hver ring er fem jordprøver blevet taget i en dybde på 20 cm. Dette illustreres i *figur 11*. Denne metode er blevet brugt ved alle prøveflader og alle skove. Vi gravede jorden op med de medbragte skovle, og prøvede så vidt muligt at tage jord fra alle lag, så det blev repræsentativ god blanding. Vi pakkede jorden i fryseposer med prøvenumre på. Vi har navngivet prøverne ved at bruge skovens navn, prøveflade et eller to og noteret om det var prøve 1.1 (nr. 1 i første ring), 1.2 (nr. 2 i anden ring), 2.1 (nr. 2 i første ring), 2.2 (nr. 2 i anden ring) osv., så når vi sad i laboratoriet vidste vi nøjagtigt hvilken prøve det var. Vi opbevarede jordprøverne i et skur, da vi udgravede prøverne over flere dage og der gik nogle dage før vi kunne komme i laboratoriet. Ringen med 10 meter radius, altså selve prøvefladens definition, vil repræsentere skovens generelle flora sammensætningen.

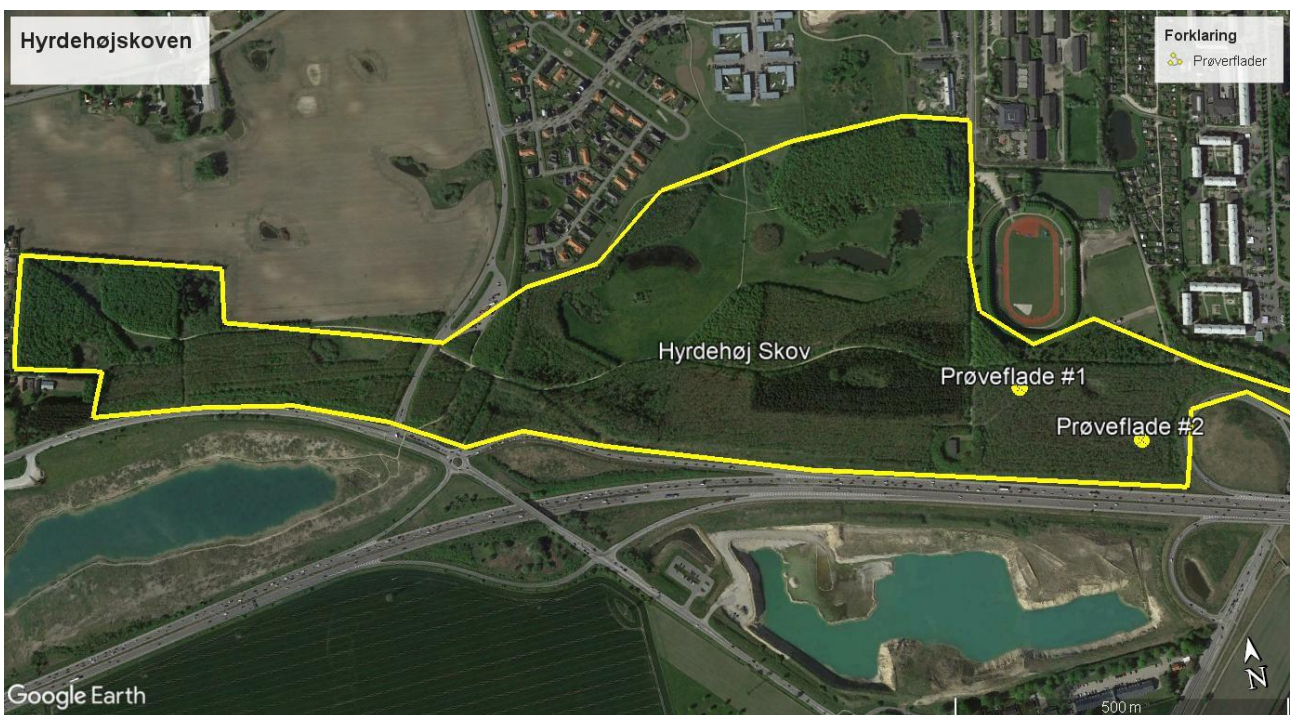


Figur 11: Eksempel på en prøveflade, med viste jordudgravningspunkter.

De følgende billeder (figur 12-14) illustrerer de resterende lokationer af prøvefladerne i de specifikke skove



Figur 12: kort over Vestskoven



Figur 13: Kort over Hyrdehøj skov



Figur 14: Kort over Tune skov

På figur 14 med kort over Tune Skov, bør det pointeres at ved ekskursionen til skoven, blev det observeret at de to valgte prøveflader har en vis aldersforskel. Ved prøveflade #1 var bøgetræerne op mod to meter i højde, hvorimod ved prøveflade #2 var disse træer ca. en halv meter. Dette tyder på en aldersforskel på mindst to til tre år. Det er en relativ uvæsentlig forskel, siden aldersintervallerne er større mellem skovene. Disse prøveflader vil derfor anses, som værende ens fremover, dog med en enkel undtagelse i afsnittet pH, i diskussionen.

Det er blevet nævnt at jordprøverne tages i en dybde af ca. 20 cm fra den bare jord overflade. Dette er blevet valgt grundet dette projekts tidsbegrænsning, eftersom dybere udgravninger, vil tage længere tid. Med dette valg medfølger nogle usikkerheder. Formentligt vil denne dybde være stærkere påvirket af klimaforhold end dybere lag i jorden. I den forbindelse bør det bemærkes at jorden i dette lag kan fremstå mere syrlig ved måling, end dybere jordlag, grundet udvaskning ved regn. Hertil kan konsekvenser af samspillet mellem mikroorganismer og klima også have en vis indvirkning på både, pH niveau, CN-resultater og derunder mængden af organisk stof. Forbehold, ift. usikkerheder, i denne rapport eksperimentelle metodologi bør have.

Flora registrering

Til vores registrering af skovens flora fik vi hjælp af vores vejleder, Henrik Ærenlund Pedersen. Henrik vejledte os i at artsbestemme de forskellige vedplanter og urter via bestemmelsesnøglerne i Dansk Flora 2. udgave.

På grund af begrænset tid til rådighed var det primært Henrik der stod for bestemmelsen af de forskellige arter og vores opgave bestod hovedsageligt i at finde og udpege nye prøver. Vi fik dog også mulighed for at prøve kræfter med bestemmelsesnøglerne selv, men da det er en utroligt tidskrævende proces, hvis man ikke har tilstrækkeligt rutine i artsbestemmelse, måtte vi overlade det til en erfaren botaniker.

Vi har udelukkende noteret busk- og urtearter der befandt sig indenfor vores prøveflade med 10m. radius, som et kriterium for vores forsøg.

Som begrænsning for vores flora-analyse har vi valgt at fokusere på vedplanter såsom træer og buske i blomst eller frugt, samt urter i blomst. Dette valgte vi blandt andet da mange af urterne endnu ikke var blomstret endnu, hvilket derfor ville vanskeliggøre processen for artsidentifikation.

Vi har, i vores diskussion, valgt at abstrahere fra de mest dominerende træer som sandsynligvis er plantet af mennesker. Dette har vi gjort fordi at arterne ikke kan betegnes som egentlige skovarter. Der kan dog være større usikkerhed omkring hvilke træer der er plantet og hvilke der er indvandret naturligt i Boserup skov, grundet skovens høje alder. Vi har derfor valgt at udelade de træsorter som uden tvivl er plantet i én eller flere af de udvalgte skove, fra vores samlede analyse baseret på *tabel 9*. Dette har vi besluttet at gøre selvom nogle af arterne også fungerer som indikatorarter, for at sikre en konsekvent databehandling af alle prøveflader. Vi har derfor udelukkende fokuseret på hvilke arter der kan betegnes som egentlige skovarter og/eller indikatorarter for henholdsvis yngre- og ældgammel skov, med udgangspunkt i tabelværdierne fra artiklen "*Preference of plant species for woodlands with differing habitat continuities*" (Wulf, 2003) og sammenholdt dem med Ellenbergs indikatorværdier (Ellenberg et al., 1992).

Vi har lavet en overordnet registrering af hvilke forskellige arter der blev observeret i hver prøveflade. Vi har derfor besluttet ikke at have nogle frekvensværdier for de forskellige arters hyppighed, men udelukkende fokuseret på hvilke arter der var til stede i prøvefladen. Dog har vi alligevel besluttet at

markere hvilke træarter der er plantet af mennesker med **fed skrift**, og vil se bort fra dem i vores diskussion

Endvidere har vi udvalgt fire økologiske parametre der kan beskrives med Ellenbergs indikatorværdier, og derigennem studeret de miljømæssige faktorer der spiller ind i skovens artssammensætning. De fire parametre omfatter henholdsvis lystal, fugtigheds-tal og kvælstof-tal.

Laboratorieanalyser

pH

Denne rapport undersøger pH niveauerne i de definerede skove. Først har vi visualiseret resultaterne fra pH målingerne i boksplots. På sin vis vil det kunne lade sig gøre at se spredningen på disse resultater.

pH niveauerne er blevet målt på jord, med en kornstørrelse på under 2 millimeter. En vis standardisering af kornstørrelse mellem jordprøverne er nødvendig for at opnå både reproducerbare resultater, samt formindske muligheden for fejlkilder. Dette skyldes, at siden jordprøverne til pH måling, bliver afvejet, så kan en sten med relativ større volumen, men mindre overflades areal producere færre ioner i opløsningen. Hvis en prøve har mange sandkorn og en anden prøve har flere sten end sandkorn, så vil den prøve med mindre sandkorn producere flere ioner i en opløsning. Af denne grund ønskes en universel kornstørrelse blandt prøverne.

De sigtede prøver, er herefter blevet afvejet til 30 gram (+/- 0,5 gram) og anbragt i en bluecap flaske. Herefter blev 0,01 M $CaCl_2$ hældt i flaskerne for at opnå en målbar opløsning. 0,01 M $CaCl_2$ er blevet brugt i stedet for afioniseret vand, for at opnå en bedre dissociering af mineraler. En fejlkilde ved dette kan dog være at pH-meteret i gennemsnit vil vise 0,5 enhed lavere end reelt.

CN Forsøg

Vi starter med at tørre jordprøver ved 105 °C i mindst en time. Disse prøver blev efter tørring sigtet med to millimeters sigte. Endvidere blev de tørre prøver yderligere malet i mindst 10 minutter per prøve, for at undgå større korn eller sten. Vi har valgt at teste alle prøver for indhold af carbon og

nitrogen. Vi deler prøverne op i små gennemsigtige poser med skovens navn, hvilken prøveflade det er og hvilken prøve i den pågældende skov det er. Derefter afvejede vi jorden i små foliepakker med omkring 30 mg tørstof i hver. Dette gøres ved en metode som laborant Katrine Bøg har vejledt os igennem, da det skal gøres ret præcist med vejning og pakning af de små foliepakker. Det var også Katrine der kørte prøverne i en CHN analyzer, en ovn der afbrænder prøverne ved 1000 grader. Derved bliver carbon omdannet til kuldioxid og nitrogen til nitrogengas. De første 12 prøver i CHN analyseren er en blanding af Bypass og blanke prøver med methanol. De bruges som standartreferencer. Vores prøver blev kørt over to gange, da der er plads til omkring 40 prøver. Vi fik alle vores resultater i procent. (Thompson, 2008)

CHN-analysator

Dette projekt ønsker at undersøge mængden af organisk stof i skovjorden. Dette kan bl.a. gøres ved en glødetabsbestemmelse. Dog efter en ekstensiv konsultation med laboratoriepersonalet ved Roskilde Universitet, er det blevet afgjort at en CN-test vil være mindst lige så repræsentativ. En glødetabsbestemmelse ville resultere i tal for det specifikke indhold af organisk stof i jordprøverne og en tendens ville kunne tydes ud fra disse. En CN-test vil muligvis ikke kunne gives os et specifikt resultat ift. mængden af organisk stof, siden carbon også kan findes på uorganisk form, men der vil stadigvæk kunne tydes en tendens. Vi antager derfor, at udviklingen af mængden af organisk stof, parallelt følger mængden af carbon. Herudover, vil en CN-analyse også vise mængden af nitrogen i vores prøver.

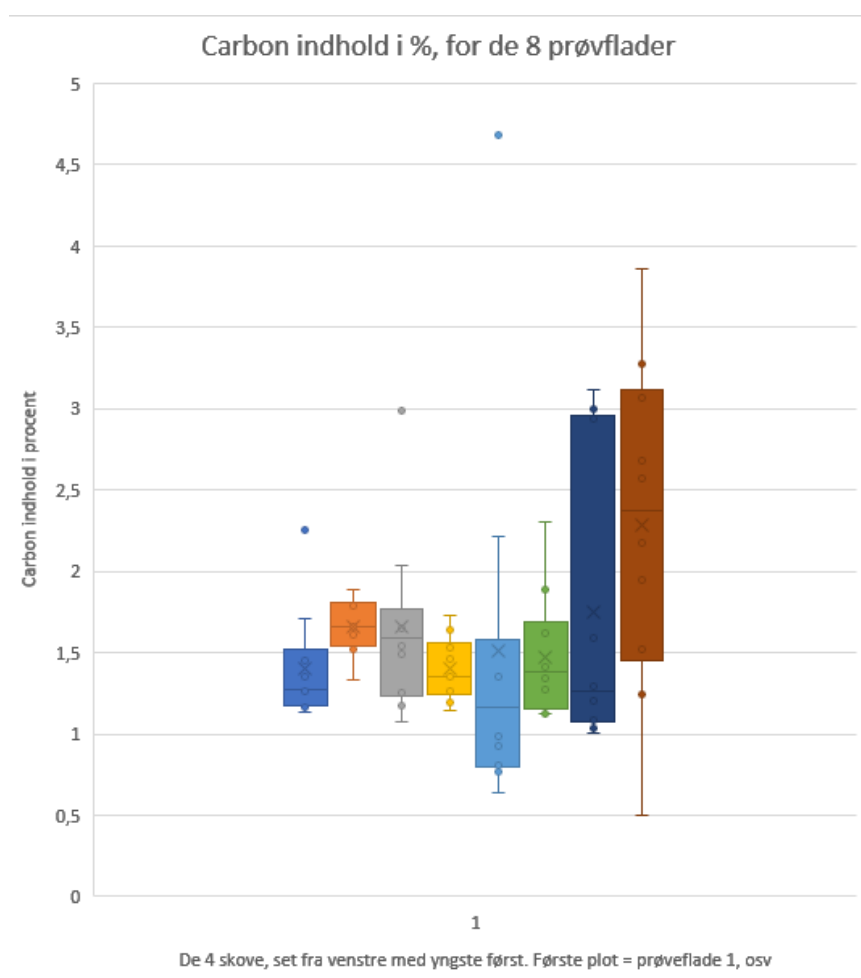
I dette projekt vil mængden af hydrogen, fra CHN-analysen ses bort fra. Da det er ikke muligt for denne rapport at gøre brug af hydrogenkoncentrationsmålingerne. (“Combustion Analyzer / CHN Analyzers | Labcompare.com,” n.d.)

Resultater

CN

Rå-dataene fra skovenes jordprøveudtagning kan ses i *bilag, tabel 15 (a-h)*

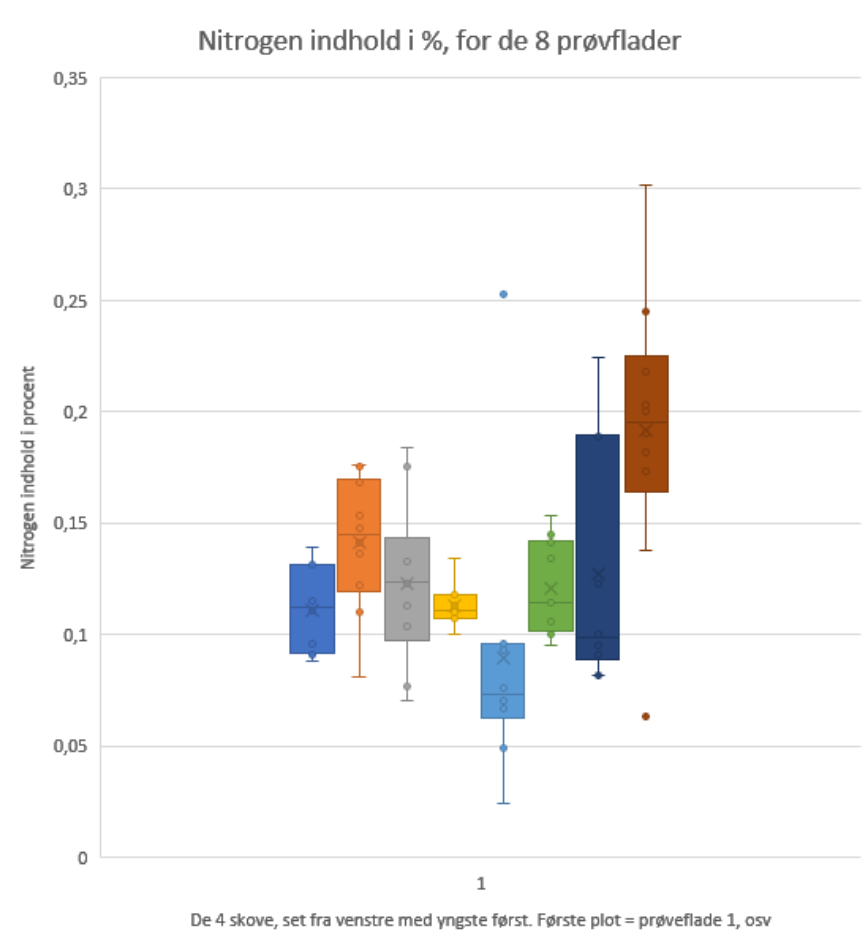
Nedenfor i *figur 15* er der en gennemgang af den procentmæssige fordeling af carbon og nitrogen i jordprøverne. Når vi kigger på vores samlede resultater i diagrammerne nedenfor, kan vi se, at Boserup skov har de højeste værdier for både nitrogen og carbon.



Figur 15

Man kan ud fra boksplottene på *figur 15* se, at der er en stigning af carbon-indholdet. Dette vil altså sige, med udgangspunkt i plottene, at jo ældre skoven er, desto mere organisk stof burde være til stede i jordbundens O-horisont.

Vi kan ud fra boksplottet *figur 15* se, at fordelingen af data punkterne for den procentmæssige indhold af carbon, hvorpå vi kan se at de tre yngre skove har en mere homogen samling af deres punkter i diagrammet. Hvis vi kigger på de to boksplosts for Boserup skovs prøveflader kan vi se at indholdet er meget mere varierende per jordprøve. Dog i de yngre skove er der nogle outliers til stede som eventuelt kunne antyde en udvikling med en jordbunds variation som Boserup skovs.



Figur 16

Man kan ud fra boksplottet *figur 16* se, at det procentmæssige indhold af nitrogen ikke følger samme mønster som indholdet af carbon. Man kan dog argumentere for at outlieren for Vestskovens prøveflade1 ændrer boksplottets struktur som gør det sværere at se tendenserne for skovenes

udvikling. Ligesom med carbon fordelingen, er punkterne for nitrogen mere samlet for de yngre skove.

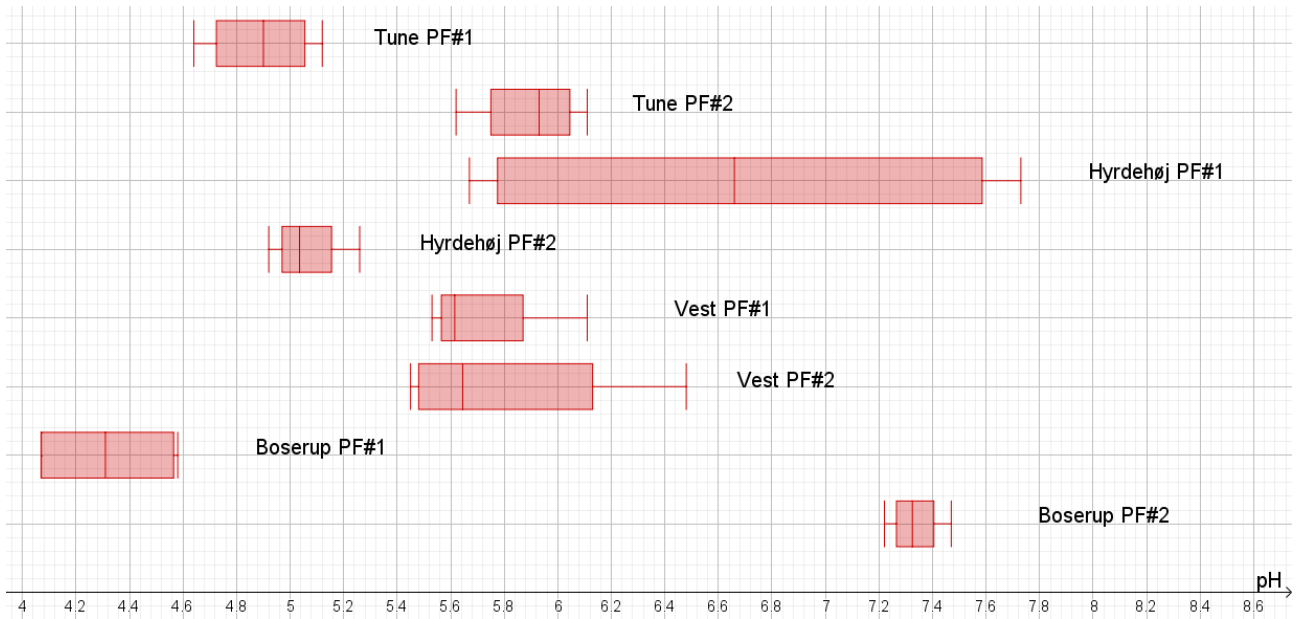
Tune skov P.1	Tune skov P.2	Hyrdehøj P.1	Hyrdehøj P.2	Vest P.1	Vest P.2	Boserup P.1	Boserup P.2
10:1	11:1	12:1	12:1	14:1	12:1	13:1	13:1
13:1	11:1	12:1	13:1	14:1	13:1	13:1	13:1
16:1	12:1	12:1	12:1	13:1	15:1	16:1	15:1
13:1	14:1	15:1	15:1	15:1	10:1	13:1	11:1
13:1	12:1	13:1	12:1	19:1	12:1	13:1	13:1
13:1	13:1	16:1	12:1	13:1	13:1	13:1	24:1
11:1	11:1	13:1	12:1	92:1	12:1	16:1	13:1
13:1	11:1	15:1	11:1	12:1	11:1	12:1	13:1
13:1	10:1	12:1	11:1	13:1	13:1	11:1	9:1
10:1	16:1	15:1	13:1	13:1	11:1	14:1	3:1

Tabel 7: tabel over C:N forhold i prøvefladerne

På overstående, *tabel 7*, ses C:N forholdet for de enkelte jordprøver. Vi kan se at forholdene overordnet ligner hinanden meget. Dette kan skyldes at skovenes aldersinterval ikke er større end det er.

pH

Det ses på *figur 17*, at Boserup skov og Hyrdehøj skov har en større spredning i pH end de resterende skove. Hvis der ses på middelværdien, så udtrykker Tune skov et pH niveau på 4,9 i den ene prøveflade og ca. 5,9 i den anden prøveflade. Hyrdehøj skov viser en spredning fra ca. pH 5 og op til pH 7,7. Vestskoven udtrykker på begge prøveflader en spredning fra pH 5,5 til ca. pH 6,3. I Boserup skov ligger den ene prøveflade på ca. 4,3 og prøveflade 2 ca. 7,3.



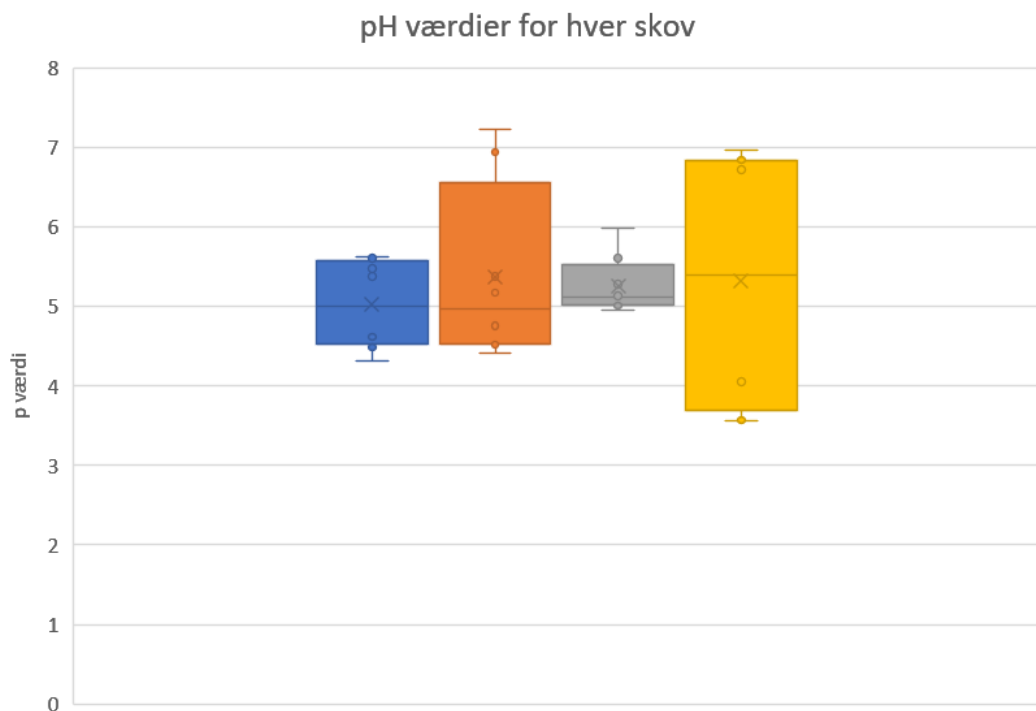
Figur 17: Boksplots for pH målingsresultaterne for de fire skove. PF = Prøveflade.

Det ses i boksplottene, figur 17, at Tune skov og Vestskoven udtrykker en signifikant større stabilitet i deres pH niveau i modsætning til Boserup skov og Hyrdehøjskoven. Med stabilitet menes, at pH niveauerne ligger relativt ens fra prøveflade til prøveflade, samt at målingerne indenfor disse prøveflader ikke spreder sig over adskillige pH ciffer. Vestskoven udtrykker denne stabilitet mere end Tuneskov i en vis grad. Tune skov har derimod 'mindre' spredte punkter i boksplottene, men prøvefladerne er mere forskellige fra hinanden. Vestskovens prøveflader er mere ens, dog er punkterne i boksplottene 'mere spredte'.

Den specifikke differens, altså forskellen fra det maksimale pH-niveau til det minimale, for hver skov kan ses i tabel 8:

Skov	Differens i pH-niveauet
Tune skov	1,31
Hyrdehøj skov	2,81
Vestskoven	1,03
Boserup skov	3,4

Tabel 8: Differensen mellem det maksimale målte pH niveau og det minimale målte pH niveau, i hver skov.

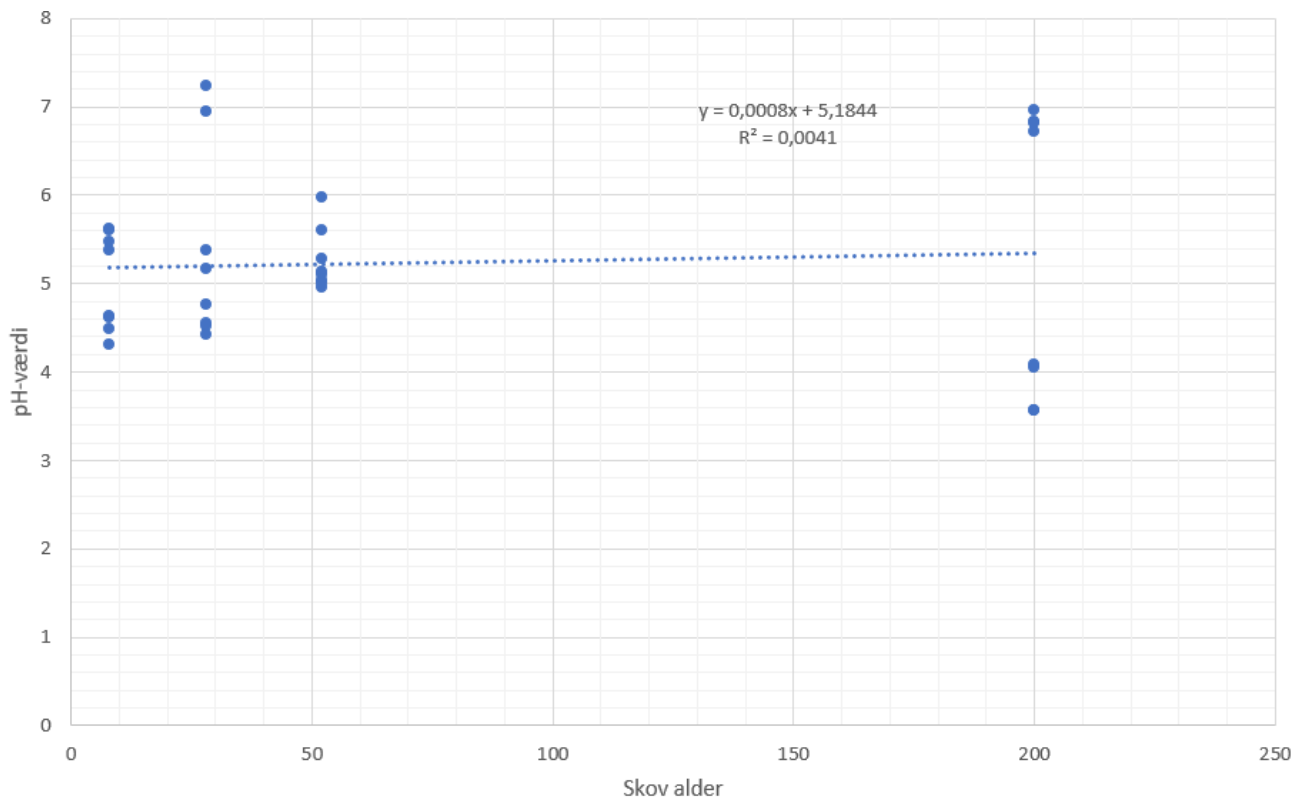


Figur 18: Bokplot over begge prøveflader for hver skov

Det kan ses på *figur 18* at den minimale værdi vokser for hver skov. Fra Tune skovs minimale værdi på ca. 5,4 til Boserup skovs minimale værdi på ca. 5,7. Dette udtrykkes dog ikke ved den maksimale værdi. Hertil ses det også at middelværdien i gennemsnit er voksende fra Tune skov til Boserup skov, bortset fra Hyrdehøjskov, som udviser samme middelværdi som Boserup skov. Yderligere kan det ikke determineres om differensen i disse bokplot viser nogen form for evident tendens.

På *figur 19* kan ses plot med tendenslinje. På x-aksen ses de fire skove anlagt efter deres alder; altså Tune skov ved x_8 ($2019 - 2011 = 8$ år), Hyrdehøjskov ved x_{28} , etc. På y-aksen ses de målte pH niveauer.

Tendenslinjen viser en meget stabil udvikling gennem årene fra Tune skov til Boserup skov. Linjen vokser med 0,008 pH niveau per år.



Figur 19: Plot over pH målingerne per skov, med tendenslinje

Flora registrering

I tabel 9 ses en oversigt over den registrerede flora ved hver prøveflade. Endvidere har vi lavet et skema over forekomsten af de forskellige arter ved de forskellige udviklingstrin, som kan ses i tabel 10. Indikatorarterne for yngre- og ældgammel skov er markeret med henholdsvis ** og *.

Flora-registrering								
Tabel 9	Tune skov		Hyrdehøj skov		Vestskov		Boserup skov	
	#1	#2	#1	#2	#1	#2	#1	#2
Træer	Bøgetræer	Bøgetræer	Alm. Eg *	Alm. Eg *	Alm. Bøg *	Alm. Bøg*	Alm Eg *	Alm.. Eg *
	Europæisk lærk		Alm Røn*	Sødt fugle-kirsebær	Ahorn *	Ahorn *	Alm. Ask *	Alm. Ask *
	Rød-el **		Vorte-birk	Dun-birk*	Alm. Ask *	Dun-birk *	Skov elm	Skov elm

				Almindelig Hyld	Douglas Gran		Storbladet lind*	Storbladet lind *
					Alm. Røn *		Alm. bøg *	Sødt fugle- kirsebær
							Ahorn*	
							Alm. Ædelgran	
	i alt: 3		i alt: 6		i alt: 6		i alt: 8	
Buske			Engriflet hvidtjørn	Engriflet hvidtjørn	Engriflet hvidtjørn	Engriflet hvidtjørn	Stikkels- bær	Stikkels- bær
			Alm. Hæg	Alm. Hæg	Fjeldribs	Fjeldribs	Vild ribs	Vild ribs
			Liguster	Rose		Stikkels- bær	Alm. Hæg	Alm. Hvidtjørn
			Gråpil	Fjeldribs		Mirabel	Alm. Vedbend *	
				(Skov-) Hassel *				
	i alt: 0		i alt: 5		i alt: 4		i alt: 5	
Urter	Krog- mælke- bøtter	Krog- mælke- bøtter	Engkarse **	Engkarse**	En- blomstret flitteraks*	Dunet steffensurt	Løgekarse	Løgekarse
	Vej- mælke- bøtter	Vej- mælke- bøtter	Krog- mælke- bøtter	Vej- mælkebøtter	Vår Gæslinge- blomst	Engbrand- bærer	Hvid anemone*	Hvid anemone*
	Rød tvetand	Følfod	Blød Storkenæb	Stinkende Storkenæb			Skovstar*	Skovstar*
	Engkarse **	Haremad					En- blomstret flitteraks*	En- blomstret flitteraks*
	Storkronet Ærenpris						Alm. bingelurt*	Hylster- guldstjerne *
	Ager Padderok							
	Agerstedmoderblomst							
	Hyrdetaske							
		i alt: 10		i alt: 5		i alt: 4		i alt: 6
	arter i alt: 7		arter i alt: 9		arter i alt: 11		arter i alt: 15	

Tabel 9: Registreret flora ved studielokationerne

Tabel 10				
Forekomst af indikatorarter				
Art	Tune skov	Hyrdehøj skov	Vestskov	Boserup
Vedplanter:				
<i>A. pseudoplatanus</i> *	-	-	x	x
<i>F. excelsior</i> *	-	-	x	x
<i>S. aucuparia</i> *	-	x	x	-
<i>B. pubescens</i> *	-	x	x	-
<i>T. platyphyllos</i> *	-	-	-	x
<i>C. avellana</i> *	-	x	-	-
<i>H. helix</i> *	-	-	-	x
Urter:				
<i>A. nemorosa</i> *	-	-	-	x
<i>C. sylvatica</i> *	-	-	-	x
<i>M. uniflora</i> *	-	-	-	x
<i>G. spathacea</i> *	-	-	x	x
<i>C. pratensis</i> **	x	x	-	-

Tabel 10: Artsfordelingen ved de forskellige udviklingstrin

Diskussion

CN

I vores CN-forsøg løb vi ind i nogle udfordringer i forhold til mængden af tid, da vi valgte at tage C:N forholdet for 80 jordprøver. Vi vil i perspektiveringerne komme ind på en specifikation af de konsekvenser vi er stødt på grundet tidspres.

Vi har i vores analyse af forholdene, anvendt boksploster, der viser den procentmæssige fordeling af carbon og nitrogen, hvorpå boksplosterne er opstillet i samme diagram til nærmere sammenligning. Undersøgelser omhandlende skovbevoksede landbrugsjorder, i nordøst USA og Nordfrankrig, viser at efter mere end 100 år, har jorden bevaret en højere nitrifikationsaktivitet, efter man stoppede med at dyrke jorden. (Gundersen et al., 1999)

Ud fra databehandlingen af vores yngre skove i *figur 15 og 16* kan vi umiddelbart ikke se nogen stigning, i hverken indholdet af carbon eller nitrogen. Tværtimod ser vi ud fra boksploottene, at den indholdsmæssige procentdel af disse, falder med stigningen i skovenes alder. Dette fortæller os, at der går længere tid før de yngre skove begynder at have samme fordeling af carbon og nitrogen i deres jordbund. Vi har med vores data udarbejdet en samlet gennemsnitsværdi for C:N forholdet for vores tre yngre skove, samt vores kontrol Boserup skov. Dette viste, at ligesom de påpeger i artiklen (Gundersen et al., 1999), vil der være et højere indhold af nitrogen i de yngre skoves jordbund. Vores værdier for hhv. de yngre og Boserup skov er på 15,6:1 og 12,9:1. Tallene fortæller, at der er en større nitrifikationsaktivitet i Boserup skov. En af grundene til dette kan være, at de yngre skove ikke indeholder nær så meget biomasse som Boserup skov, og derved ikke kan nå at optage nær så meget nitrogen i via kvælstofkredsløbet, inden det udvaskes til under rodnettet, i mere dybtliggende geologiske lag. Differencen i C:N forholdene i de yngre skove er relativ lille, sammenlignet med dem i Boserup skov. Dette kan skyldes mange forskellige faktorer, bl.a. at der med stor sandsynlighed tilføres lige meget nitrogen fra atmosfæren til alle skovene i området.

I vores resultater har vi i dataindsamlingen stødt på nogle outliers, eksempelvis jordprøven fra prøveflade et i Vestskoven. Hvorpå vi fik et C:N forhold på 92:1, hvilket var langt højere end de andre forhold i prøvefladernes. Dette kan skyldes en dårlig prøveudtagning eller den jord der blev taget ud af jordprøven fra skoven, var en ophobning af organisk materiale. En anden mulighed kunne være vi ikke havde en jævn fordeling af det organiske stof i jordbundsprøven. Der skal også tilføjes den kendsgerning, at det apparatur vi anvendte, ikke analyserede særligt repræsentative prøver, da prøvemængden var meget lille.

pH

På *figur 17* kunne det ift. Tune skov, observeres, at de to prøveflader havde en difference i deres pH værdi på 1,31. Ved ekskursionen til Tune skov, foretaget ved dette projekt, kunne det tydeligt ses, at der var en aldersforskel mellem de to prøveflader. Det kunne ses på træerne i prøveflade #1, at de havde en ældre forplantning, dette kunne tydeligt ses på højden af træerne i hhv. de to prøveflader. Dette påpeger, at prøveflade #1 blev rejst mindst to sæsoner før prøveflade #1. Prøveflade #1 havde også en større græsbevoksning end prøveflade #2, hvilket ift. vores hypotese, burde havde forårsaget et mere neutralt pH miljø. Dog ses dette ikke i vores resultater. Tørstof målingerne ser heller ikke ud

til at kunne forklare disse forskelle, da det gennemsnitlige vandindhold for prøvefladerne ligger tæt op ad hinanden. Dog er der et højere vandindhold i den ene prøveflade hvilket kan forklare forskellene på Hyrdehøjskovs boksploot. Tørstofmålingerne påviste en relativt stor forskel på vandindholdet mellem de to prøveflader. I gennemsnit havde prøveflade #1 et procentmæssigt vandindhold på 10,24% og prøveflade #2 havde en på 16,01%. Dette var den eneste prøveflade hvor denne tendens gjorde sig gældende. Det kan på boksplootene, *figur 17*, også ses at prøveflade #2 har en lavere pH værdi hvilket passer til vores hypotese, om at en større mængde vand vil formindske pH niveauet. Spørgsmålet om, hvorfor der er så stor forskel på prøvefladerne ift. vandindholdet, er svært at vide. Sandsynligheden for at der er forskelle i regnmængder er lille, grundet den afstand på under én kilometer mellem prøvefladerne. Det er også en mulighed at området for prøveflade #2 er præget af en lille geografisk fordybning, hvilket har ført til at vandet i jorden har samlet sig i fordybningsområdet. Hvis dette er tilfældet, kan der argumenteres for at disse resultater kan ses bort fra.

Resultaterne gør det svært at argumentere for en specifik udviklingstendens. Der kunne argumenteres for, at pH værdien fra en nyrejt skov til en veletableret skov er præget af en let stigende tendens. Dog passer Vestskoven og Hyrdehøjskoven ikke ind i sådan en hypotese, og det vil være behov for flere indsamlede data for at kunne danne et repræsentativt billede af udviklingen.

Boserup skov udviser også stor variation mellem de to prøveflader, dog kan denne ikke forklares ud fra tørstof målinger siden disse næsten er ens. Den tilstedeværende flora er også næsten identisk og efterviser ikke denne pH forskel. Det kan ikke determineres, hvorfor Boserups prøveflader ser sådan ud.

Ift. til udviklingen af mikroorganismer i skoven, så kan det hypoteseres, at alle prøveflader, ud over prøveflade #1 i Hyrdehøj skov og prøveflade #2 i Boserup skov, må besidde en dominerende svampepopulation. De to overnævnte prøveflader, har sandsynligvis en dominerende bakteriel tilstedeværelse. Dette kan undersøges ift. nitrogenindholdet i jorden, da denne må være højere ved forekomsten af flere bakterier i.e. nitrogenfikserende bakterier.

Figur 16 kan sammenlignes med boksplootene med pH niveau. Prøveflade #2 i Boserup skov har en gennemsnitlig høj pH værdi ift. de resterende prøveflader og nitrogenindholdet for denne prøveflade er også højere end i de resterende prøveflader. Hyrdehøjskovs prøveflade #1 viser dog ikke sammenhængen mellem pH og nitrogen indhold. Boserups Prøveflade #1 modsiger også denne teori,

eftersom at pH værdien er yderst lav, men nitrogen indholdet ligger på samme niveau som ved Hyrdehøjskovs prøveflade #1. Carbon indholdet ser heller ikke ud til at følge pH tendensen fuldstændigt.

Det har ikke kunnet lade sig gøre at finde en særpræget tendens passende til vores teori og hypotese. Flere målinger er nødvendige.

Flora

Resultaterne af vores observationer af floraen ved henholdsvis prøveflade #1 og #2 i hver af de udvalgte skove findes i *tabel 9*.

Vi vil her forholde os til tabellen over forekomsten af de forskellige arter, ved de forskellige udviklingstrin, i *tabel 10* og dermed studere udviklingen fra ung til ældre skov på artsniveau. Endvidere vil vi, baggrund af vores observationer undersøge om vi ser en artssammensætning lig den observerede i den tyske undersøgelse der omtales i afsnittet om *Flora – danske skovarter*.

Desuden har vi lavet en oversigt over arternes spredningsbiologi (Knud, 1949) i *tabel 12* og med udgangspunkt i denne forsøge at drage nogle sammenhænge mellem arternes tilstedeværelse, eller fravær, ved de forskellige studielokaliteter.

Indikatorer for ældgammel skov: *

Indikatorer for yngre skov: **

Tabel (x)	Spredningsbiologi
Art	Tilpasningsevne
Vedplanter	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Vindspredning
<i>Fraxinus excelsior</i>	Vindspredning
<i>Sorbus aucuparia</i>	<u>Fuglespredning</u>
<i>Betula pubescens</i>	Vindspredning
<i>Tilia platyphyllos</i>	Vindspredning
<i>Corylus avellana</i>	Fugle, mus og egern
<i>Hedera helix</i>	<u>Fuglespredning</u>
Urter	
<i>Anemone nemorosa</i>	Myrespredning
<i>Carex sylvatica</i>	-- ingen --
<i>Melica uniflora</i>	Myrespredning
<i>Gagea spathacea</i>	Myrespredning
<i>Cardamine pratensis</i>	<u>Eksplionspredning</u>

Tabel 12: Spredningsbiologi for udvalgte vedplanter og urter (Knud, 1949)

I tabel 9, kan man se, at ingen af indikatorarterne for ældre skov blev registreret i Tune skov. Den eneste indikator for yngre skov, urten *Cardamine pratensis*, blev observeret ved de to yngste studielokaliteter henholdsvis Tune skov og Hyrdehøj skov. Da *C. pratensis* primært trives på enge (og græsplæner), er de individer vi fandt, med stor sandsynlighed, fra før der blev lavet skovrejsning på området. Ved den ene af prøvefladerne i Hyrdehøj skov observerede vi desuden ét enkelt tilfælde af indikator for ældre skov, busken *Corylus avellana*. På trods af tilstedeværelsen i Hyrdehøj skov blev arten ikke registreret i nogen af prøvefladerne ved studielokaliteterne Vestskov og Boserup skov. Da arten spreder sin frø, hasselnødder, ved hjælp af dyr er den muligvis blevet ført til Hyrdehøj skov af egern, fugle eller mus. Fraværet af *C. avellana* i vores observationer kan muligvis også tilskrives vores registreringsmetode. Det er altså muligt at arten har været til stede ved de andre studielokaliteter, men blot ikke er blevet registreret. Ligeledes registrerede vi to træer med status som indikatorer for ældgammel skov herunder *Betula pubescens* og *Sorbus aucuparia*. Vi observerede ingen urter ved prøvefladerne i Vestskoven, men til gengæld fire træarter hvoraf to, *S. aucuparia* og *B. pubescens*, blev fundet eksklusivt i Hyrdehøj skov og Vestskov. De to arter har hver deres særlige tilpasningsevne hvad angår deres spredningsbiologi, *S. aucuparia* spreder sine frø ved hjælp af fugle

og *B. pubescens* bruger vindkraft. Disse tilpasninger medfører unikke egenskaber der, hver især, bidrager til træets konkurrencedygtighed og overlevningsevne i skoven. Tilstedeværelsen af de mindre hyppigt forekommende arter kan indikere, at de er indvandret til området over tid. Derfor kan en høj forekomst af mindre dominerende arter, være et udtryk for at arterne har været mere tilpansningsdygtig end andre arter, og at pågældende art måske er god til at udkonkurrerer andre arter. Rønnebærene fra *S. aucuparia* er farverige frugter der er eftertragtet af fuglene. For frø der er afhængige af vindspredning, som i tilfældet med *B. pubescens*, er nødderne er udstyret med strukturer der gør dem i stand til at flyve. Deres frø ligger i små og lette, bevingede nødder som er designet specielt til at blive båret langt væk af vinden. (Engell & Rajagopal, n.d.). I Boserup skov identificerede vi tre træer, en enkelt busk og fire urter med status som indikator for ældre skov. To af vedplanterne og alle fire urter blev kun observeret ved prøvefladerne i Boserup skov. *Tilia platyphyllos* der spreder sine frø via vindspredning, har særlige svæve-strukturer der kan bære frøene væk fra moderplanten. Buskarterne kan, med rimelig god tilnærmelse, antages at være indvandret over tid. Via eksempelvis vindspredning, dyrespredning eller fuglespredning er buskene, ligesom træerne, afhængige af at kunne sprede deres frø og videreføre deres gener til andre voksesteder. Dette kan være en mulig forklaring på hvorfor vi ikke observerede nogle buske i eller omkring vores prøveflader i Tune skov. Jordbunden i Tune skov er forbindelse med skovrejsningen blevet bearbejdet og den oprindelige beplantning blev ryddet for at gøre plads til de nyplantede træer. Derfor kan det være et spørgsmål om tilfældigheder, som eksempelvis vindretning, der afgører hvornår buskarter bliver tilført området. *Hedera helix* benytter, ligesom *S. aucuparia*, fuglespredning til at sprede sine gener til andre voksesteder. *H. helix* er giftig for mennesker, men ikke for fugle. Arten blomstrer rimelig sent, omkring september/oktober og deres bær modnes i løbet af foråret. De fungerer derfor som en god foderkilde til fuglene i løbet af februar/marts hvor kun få andre bær er modnet endnu ("Felthåndbogen - 1000vis af artsbeskrivelser," n.d.). Urterne som vi observerede i Boserup skov er fortrinsvist tilpasset det mere beskyttede liv i skovbunden hvor træerne skærmer for vinden og lysintensiteten, og jorden ofte samtidig vil være mere fugtig. Med udgangspunkt i *tabel 9* blev udelukkende indikatorer for ældgammel skov, registreret i Boserup skov. Dette kan tyde på at urterne kræver en højere skov alder for at trives end vedplanterne gør. Indikatorarterne for yngre skov, blandt urterne, blev ligeledes eksklusivt registreret ved de to yngste studielokaliteter. Man kan på baggrund af dette formode, at urterne generelt har brug for voksesteder der lever mere præcist op til deres økologiske behov for at kunne trives.

Vi har endvidere sammenholdt de observerede arter med Ellenbergs indikatorværdier i *tabel 13* (Ellenberg et al., 1992) med fokus på henholdsvis lys tal, fugtigheds-tal samt kvælstof-tal, og derigennem studeret hvor godt de respektive arter kan identificeres med det miljø de er observeret i.

Tabel (x)	Ellenberg værdier:	Indikatorarter		
	Art	L	F	N
Træer	Ahorn * (<i>A. pseudoplatanus</i>)	(4)	6	7
	Alm. Ask * (<i>F. excelsior</i>)	(4)	x	7
	Alm. Røn * (<i>S. aucuparia</i>)	(6)	x	x
	Dun-Birk * (<i>B. pubescens</i>)	(7)	8	3
	Storbladet lind * (<i>T. platyphyllos</i>)	(4)	6	7
	Buske	(Skov) Hassel * (<i>C. avellana</i>)	6	x
Vedbend * (<i>H. helix</i>)		(4)	5	x
Urter	Hvid anemone * (<i>A. nemorosa</i>)	x	5	x
	Skovstar * (<i>C. sylvatica</i>)	2	5	5
	Enblomstret flitteraks * (<i>M. uniflora</i>)	3	5	6
	Hylster- guldstjerne * (<i>G. spathacea</i>)	2	6	7
	Engkarse ** (<i>C. pratensis</i>)	4	6	x

*Tabel 13: Ellenberg værdier for indikatorarterne (Ellenberg et al., 1992).
x = betyder at en indikatorværdi ikke er af betydning for den pågældende art.*

I *bilag tabel 16* har vi identificeret og oplyst forholdene for de forskellige Ellenberg værdier, der dækker over de økologiske parametre (L), (F) og (N) for hver af indikatorarterne observeret i prøvefladerne #1 og #2.

Næsten alle vedplanter rangeret mellem 4 og 6 hvad angår deres lysbehov. Kun *B. pubescens* adskiller sig en smule fra de andre med lystal på 7. Endvidere har alle urterne lystal mellem 2 og 4. Dette stemmer rimelig godt overens med det billede vi ser i skovene, hvor store dele af urtelagets voksesteder, i større eller mindre grad, er præget af skygge. Træer og buske ligger generelt lidt højere placeret, hvilket giver god mening i forbindelse med deres højde og vidt strækkende bladdække som kræver relativt store mængder lys at vedligeholde. De fleste af vedplanterne, med tilgængelige indikatorværdier for fugtighed, har fugtigheds-tal omkring 5 og 6. Med fugtigheds-tal på 8 er *B. pubescens* placeret en smule højere, og er derfor den eneste art der har præferencer for våd bund. Urterne ligger ligeledes rangeret omkring 5 og 6 i relation til fugt-behov. Alle arterne, både vedplanter og urter, foretrækker altså mere eller mindre fugtige jorde og trives dårligt, eller slet ikke, på decideret tør bund. Da der ofte vil være et højere niveau af fugt i skovbunden end i eksempelvis meget sandede jorde, afspejler arternes fugtigheds-tal med god tilnærmelse det fugtige miljø der præger urtelaget og den resterende floras voksesteder i skoven. Alle planterne med indikatorværdier for kvælstofindhold ligger rangeret mellem 5 og 7, på nær *B. pubescens* som har kvælstoftal på 3. De fleste af planterne ved vores studielokaliteter, har derfor næsten samme behov for mængden af tilgængeligt kvælstof i jorden.

På baggrund af vores observationer og med udgangspunkt i analysen af samme, kan vi, med rimelig god tilnærmelse, formode at vores skove og fylder kriterierne for henholdsvis yngre- og ældgammel skov. Endvidere kan vi udlede at dette underbygges af de observerede indikatorarters tilstedeværelse ved de forskellige udviklingstrin, på trods af afvigelse ved den enkelte prøveflade, samt at arternes Ellenberg-værdier harmonerer med de voksesteder arterne er registreret i, skovene.

Konklusion

Vi kan ud fra C:N forholdene konkludere, at teorien omkring en sådan undersøgelse ikke helt stemmer overens med data fra vores eget forsøg. Vi ville gerne have set, at indholdet af Nitrogen i de yngre skove var højere end i Boserup skov, men resultaterne indikerede det modsatte. Vi har i perspektivering forsøgt at komme med eventuelle forslag til hvilke faktorer der kunne være årsager til dette.

Det kan konkluderes ud fra vores pH-målinger, at resultaterne er ubrugbare til dannelse af en troværdig hypotese for skovens udvikling. Resultaterne udviser en uoverensstemmelse med grundlæggende teoretisk viden. Flere målinger vil derfor være nødvendige, for at undgå særligt outliers og dermed præcisere resultaternes nøjagtighed.

På baggrund af vores observationer af skovens flora og med udgangspunkt i analysen af samme, kan vi, med rimelig god tilnærmelse, formode at vores skove opfylder kriterierne for henholdsvis yngre- og ældgammel skov. Dette underbygges af de observerede indikatorarters tilstedeværelse ved de forskellige udviklingstrin. Endvidere kan man, med udgangspunkt i vores observationer, antage at urterne udgør bedre indikatorer for de forskellige udviklingstrin end vedplanterne gør.

På trods af variationer i vores datasæt fra jordprøveudtagningen, samt afvigelser ved de forskellige studielokaliteter, er det lykkedes at indhente, mere eller mindre, repræsentative data for skov flora. De egentlige skovarters tilstedeværelse underbygger, at der ved vores prøveudtagninger har været økologiske forhold til stede som er tilstrækkelige for floraen vækst. På trods af afvigelser ved den enkelte prøveflade, harmonerer arternes Ellenberg-værdier generelt med de voksesteder arterne er registreret i, nemlig europæiske skove. Vi kan derfor overordnet konkludere, at vores data for C:N forhold og pH kunne have været mere repræsentative, men at det ville kræve et højere antal prøveudtagninger samt ressourcer og tid. Desuden kunne vi muligvis have opnået mere repræsentative resultater, hvis vi havde haft endnu en studielokation på udviklingstrin mellem Vestskov og Boserup skov. Endvidere kunne vi have lavet pH målinger på samtlige jordprøver, og desuden været mere opmærksomme på risikoen for usikkerheder ved vores afvejninger og målinger. På trods af, at vi ikke tilstrækkeligt så den udvikling vi havde forventet, er vi tilfredse med vores resultater og føler at vi er blevet klogere på skovbundens udvikling fra nyrejst til veletableret skov.

Perspektivering

Vi kunne i løbet af dette semesters projekt, godt have ændret nogle af de parametre der spiller ind på vores forsøg. Helt grundlæggende kunne dette være antallet af prøveflader vi har udvalgt per skov. Vi kunne, hvis tiden var tilstrækkelig, samt hvis der fra begyndelsen var lagt en stram plan af prøvetagnings ekskursioner, have lavet en mere omfattende undersøgelse. Denne undersøgelse ville eventuelt indebære pH og CN-undersøgelser for nogle af de mere dybtliggende horisonter. I vores aktuelle projekt er der et stort tidsmæssigt tomrum mellem Vestskoven og Boserup skov, og ifølge vores flora-data kunne det godt tyde på, at der sker en hel masse i dette tomrum. I denne undersøgelse ville vi inkorporere flere forplantede skove med en højere gennemsnitsalder, derved ville vi have kunne lavet en mere omfattende flora registrering.

Vi kunne også have lavet flere forskellige forsøg, for at lave et estimat om hvilken der gav os de bedste datasæt til at besvare vores problemformulering. Hvis prøvetagningen havde været bedre planlagt, kunne vi muligvis have opnået nogle andre resultater. Derved ville vi højst sandsynligt kunne sige nogle mere konkrete ting angående de skovrejsningsprojekter der er i gang, herunder problematikker omkring dette og dets fordele.

I vores projektforsløb havde vi en begrænset tidshorisont der gjorde, at vi blev nødsaget til kun at lave fire pH målinger per prøveflade. Én ting vi ville have gjort anderledes, hvis vi havde haft mere tid til rådighed, var at lave et mere grundigt og fuldkomment pH forsøg. Med pH data fra alle jordprøver, kunne vi måske have opnået et mere repræsentativt datasæt. I forhold til vores CN-forsøg var det meget tidskrævende at lave alle 80 prøver. Vi ville på forhånd have lavet en detaljeret tidsplan, så vi vidste hvor lang tid de forskellige forsøg ville tage. Vi ville derudover gerne have lavet en mere klar plan inden vi gik i laboratoriet, da vi brugte meget tid på at finde den rigtige vejledning og de laboranter der kunne hjælpe os. Det var svært at få fat i den samme laborant de dage vi planlagde at tage i laboratoriet. Derudover havde laboranterne hver deres måde at gribe forsøget an på, hvilket gav os en del forsinkelser og forvirring.

Vi ville i starten af dette projekt gerne have undersøgt nogle klimarelaterede emner i relation til skovrejsning. Derpå vi ville undersøge skovrejsningsprojekter til gavn for klimaet og biodiversiteten.

Hvis vi skulle have valgt at tage en anden vinkel på dette emne, ville vi have skrevet om skovens betydning for biodiversitet og klimaet. Der kommer mere og mere fokus på klimaet, og derfor kunne det være spændende at have en mere miljøbiologisk vinkel på emnet og undersøge hvor meget og hvordan træerne hjælper på biodiversiteten i Danmark.

Da vi researchede efter materiale til den klimaorienterede vinkel på projektet fandt vi inde på WWF's hjemmeside (World Wildlife Fund Malaysia, 2019) et afsnit hvor de fortæller at nedskæring og afbrænding af skovene udleder CO₂ i stedet for at optage og lagre det. WWF kommer med et postulat på omkring 15% af alt CO₂ udledning kommer fra fældning af naturskove. Fjernelsen af jordens skovarealer har også stor indvirkning på biodiversiteten. 80 procent af jordens dokumenterede dyrearter levende på land, lever i skovene. Når mennesker fjerner dyrenes levesteder, vil biodiversiteten derfor falde markant og nok til, at det har stor indvirkning på hele jordens økosystem. Mange af de store landpattedyr og små insekter har en større rolle i at opretholde økosystemer der gavner hele kloden, end man hidtil har troet. Det kunne derfor være spændende at undersøge hvordan vi ville kunne forbedre disse forhold ved, at etablere mere skov både i Danmark men også resten af verden. For os kunne en eventuel problemformulering til sådan et projekt lyde: *Hvordan ville biomassen og biodiversiteten i skovene påvirke skovenes evne til at optage CO₂ fra atmosfæren?*

Citeret litteratur

- Aaby, B. (n.d.). Tørv i Den Store Danske, Gyldendal. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Geologi_og_kartografi/Mosegeologi/tørv
- APIS. (2015). Air Pollution Information System: Acid Deposition. Retrieved May 6, 2019, from <http://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/acid-deposition>
- Bernhard, A. (2010). The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact | Learn Science at Scitable. Retrieved May 26, 2019, from <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-nitrogen-cycle-processes-players-and-human-15644632>
- Bjerrum, N., & Jensen, A. (1956). *Lærebog i uorganisk kemi* (6. edition). D.S.R. forlag og boghandel.
- Breuning-madsen, H., Balstrøm, T., Greve, M. H., & Jensen, N. H. (2013). *Geoviden 4*, 2013. *Geoviden 4*, (4). Retrieved from <http://geocenter.dk/xpdf/geoviden-4-2013.pdf>
- Buchhardt, B. (n.d.). Kulstofkredsløvet i Den Store Danske. Retrieved May 26, 2019, from http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Geologi_og_kartografi/Mineraler/kulstofkredsløb
- Carter, M. R., Gregorich, E. G., & CRC Press. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. Retrieved from https://books.google.dk/books?id=ZTJsbXsikagC&dq=soil+cation+exchange+capacity+pH&lr=&hl=da&source=gbs_navlinks_s
- Combustion Analyzer / CHN Analyzers | Labcompare.com. (n.d.). Retrieved May 22, 2019, from <https://www.labcompare.com/Laboratory-Analytical-Instruments/175-Combustion-Analyzer-CHN-Analyzers/>
- Danmarks Statistik. (n.d.). Danmarks Statistik. Retrieved May 25, 2019, from <https://www.dst.dk/da/>
- Danmarks Statistik. (2000). *Skove og Plantager, Skovens sundhedstilstand*. Retrieved from <http://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/GetPubFile.aspx?id=3132&sid=kap2>
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Dill, R., Wirth, V., & Wemer, W. (1992). *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica XVIII*.
- Engell, K., & Rajagopal, R. (n.d.). Frugt i Den Store Danske, Gyldendal. Retrieved May 26, 2019, from http://denstoredanske.dk/Natur_og_miljø/Botanik/Plantemorfologi/frugt

- Felhåndbogen - 1000vis af artsbeskrivelser. (n.d.). Retrieved May 26, 2019, from <https://www.fugleognatur.dk/felthaandbogen.asp?mode=k&pid=2>
- Field, C. B., Behrenfeld, Randerson, & Falkowski. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science (New York, N.Y.)*, 281(5374), 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- Gundersen, P., Matthesen, P., Buttenschøn, R. M., Jensen, F. S., RiisNielsen, T., Callesen, I., ... Ramhøj, G. (1999). *Københavns Universitet Skovrejsning og vedvarende graesarealer-Drastrup projektet*. Retrieved from https://static-curis.ku.dk/portal/files/189769739/DRA_samlet.pdf?fbclid=IwAR28LN0p5DUvTBdDadW5-8ceLwRvZX_IxEZDbNxRTPJOYG1fTwU8JHJtrq4
- HALING, R. E., SIMPSON, R. J., CULVENOR, R. A., LAMBERS, H., & RICHARDSON, A. E. (2011). Effect of soil acidity, soil strength and macropores on root growth and morphology of perennial grass species differing in acid-soil resistance. *Plant, Cell & Environment*, 34(3), 444–456. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02254.x>
- Hayatsu, M., Tago, K., & Saito, M. (2008). Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54(1), 33–45. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00195.x>
- Heinrich, D., & Hergt, M. (1992). *Munksgaards atlas - økologi*. Kbh.: Munksgaard.
- Henrik Ærenlund Pedersen – Indehaver – Select Nature | LinkedIn. (n.d.). Retrieved May 6, 2019, from <https://dk.linkedin.com/in/henrik-aerenlund-pedersen-538686117>
- Horne, J. E., Kalevitch, A. E., & Filimonova, M. V. (1996). Soil Acidity Effect on Initial Wheat Growth and Development. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7(2–3), 5–13. https://doi.org/10.1300/J064v07n02_03
- Jakobsen, K. (n.d.). Jordbund i Den Store Danske, Gyldendal. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/Geografi_og_historie/Geografi/Naturgeografi/Jordbundsgeografi/jordbund
- Knud, G. (1949). *Vilde planter i Norden (2.)*. København: G. E. C. Gads Forlag.
- M. Vestergård, Å. (n.d.). Sedimentære bjergarter i Den Store Danske. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Geologi_og_kartografi/Sedimentologi/sedimentære_bjergarter

- Miljøstyrelsen. (n.d.). Skovarealet. Retrieved May 25, 2019, from <https://mst.dk/naturvand/natur/biodiversitet/hvordan-maalerv-biodiversiteten/skov/skovarealet/>
- Møller, P., Fenchel, Larsen, Vestergaard, & Sand-Jensen. (2013). Træarternes livs- og vækststrategier i Naturen i Danmark. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/Naturen_i_Danmark/Skovene/Skovenes_organismer/Skovenes_planteliv/Træer_og_buske/Træarternes_livs-_og_vækststrategier
- Naturstyrelsen. (n.d.-a). Historie - Boserup skov. Retrieved May 6, 2019, from <https://naturstyrelsen.dk/naturoplevelser/naturguider/boserup-skov/historie/>
- Naturstyrelsen. (n.d.-b). Historie - Vestskov. Retrieved April 1, 2019, from <https://naturstyrelsen.dk/naturoplevelser/naturguider/vestskoven/historie/>
- Naturstyrelsen. (2009). Kort om skovens drift - Hyrdehøj Skov. Retrieved April 1, 2019, from <https://naturstyrelsen.dk/publikationer/2009/mar/kort-om-skovens-drift-hyrdehoej-skov/>
- Naturstyrelsen. (2016). *Tune Skov*. (april 2011). Retrieved from <https://naturstyrelsen.dk/media/205022/tunenystatsskov-folder.pdf>
- Nimb Lassen, J., & Bo Larsen, J. (2018). *Naturen i de nye skove - status over udviklingen af karplantesamfund og bevoksningsstrukturer*. Retrieved from https://landskab.nu/wp-content/uploads/2018/10/Rapport_final_final_version_-2018.pdf
- Nord-Larsen, T., Johannsen, V. K., Riis-Nielsen, T., Thomsen, I. M., Suadicani, K., & Jørgensen, B. B. (2015). *Skove og plantager 2014*. Retrieved from <https://ign.ku.dk/samarbejdsraadgivning/myndighedsbetjening/skovovervaagning/intensiv-skovovervaagning/SP2014.pdf>
- Perry, M. (2008). Untouched forests store 3 times more carbon: study. *Reuters*. Retrieved from <https://www.reuters.com/article/us-australia-forests-idUSSP25595420080804>
- Petersen, A. H., Lundhede, T. H., Bruun, H. H., Heilmann-Clausen, J., Thorsen, B. J., Strange, N., & Rahbek, C. (2016). *Bevarelse af biodiversiteten i de danske skove*. Retrieved from <https://macroecology.ku.dk/other-publications/biodiversity-danish-forests/CMEC-skovrapport-2016-v2.pdf>
- Petersen, H., Vejre, H., Callesen, I., Fenchel, Larsen, Vestergaard, ... Sand-Jensen. (2013). Jordbunden i Naturen i Danmark. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/Naturen_i_Danmark/Skovene/Naturen,_mennesket_og_skovene/Skovenes_naturgivne_rammer/Jordbunden



- Rasmussen, K. (n.d.). Jordklassifikation i Den Store Danske. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/Geografi_og_historie/Geografi/Naturgeografi/Jordbundsgeografi/jordklassifikation
- Rousk, J., Brookes, P. C., & Bååth, E. (2009). Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(6), 1589–1596. <https://doi.org/10.1128/AEM.02775-08>
- Rune, F. (2001). *Biodiversitet i dyrket skov*. Retrieved from <https://videntjenesten.ku.dk/filer/rapporter/skov-og-landskab/sogn27.pdf>
- Schou, E., Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., & Jørgensen, B. B. (2014). *Konkrete opgørelser og erfaringer fra 20 års skovrejsning*. (2014), 9. Retrieved from www.ign.ku.dk
- Seberg, O., Fredriksen, S., & Rasmussen, F. (2012). *Dansk flora*. Gyldendal.
- Sposito, G. (1989). *The chemistry of soils*. New York, N.Y: Oxford University Press.
- Takasaki, K., Shoun, H., Yamaguchi, M., Takeo, K., Nakamura, A., Hoshino, T., & Takaya, N. (2004). Fungal Ammonia Fermentation, a Novel Metabolic Mechanism That Couples the Dissimilatory and Assimilatory Pathways of Both Nitrate and Ethanol. *Journal of Biological Chemistry*, 279(13), 12414–12420. <https://doi.org/10.1074/jbc.M313761200>
- Thompson, M. (2008). CHNS Elemental Analysers,. *Royal Society of Chemistry*, (29), 173. <https://doi.org/10.1260/0957456991496844>
- Thomsen, R., Husted, S., & Neergaard, A. (2011). *Mad til milliarder* (R. Thomsen, Ed.). Frederiksberg.
- Thorup, N. (n.d.). Reversibel proces i Den Store Danske, Gyldendal. Retrieved May 25, 2019, from http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Kemi/Fysisk_kemi_og_fysisk_elektrokemi/reversibel_proces
- Wilke, M. (2017). Kationbytningskapacitet. Retrieved May 26, 2019, from <http://articodore.com/category/k/kationbytningskapacitet.php>
- World Wildlife Fund Malaysia. (2019). Deforestation and Forest Degradation | Threats | WWF. Retrieved May 25, 2019, from <https://www.worldwildlife.org/threats/deforestation-and-forest-degradation>
- Wulf, M. (2003). Preference of plant species for woodlands with differing habitat continuities. *Flora*, 198(6), 444–460. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00118>





Bilag




Forskellige træ-, busk- og urtearter der fungerer som indikatorarter for *ældgammel*, *gammel* samt *ynge* skov. Testet ved Fisher's exact test.




Arts-specifikation baseret på tabel 4 i afsnit om danske skovarter.

Tabel 14:

	Art * ældgammel skov indikator * yngre skov indikator	Dansk benævnelse	Beskrivelse * Felthåndbogen * Dansk flora 2. udgave	Billede
Træer og buske	<i>T. platyphyllos</i> *	Storbladet lind Katostfamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Malvales</i> Familie: <i>Tiliaceae</i> Slægt: <i>Tilia</i> Op til 30m. højt løvfældende træ, med hjerteformede savtakkede blade. Har radiærsymmetriske blomster med gullig-hvide kronblade.	 https://selectree.calpoly.edu/tree-detail/tilia-platyphyllos
	<i>R. caesius</i> *	Korbær Rosenfamilien	Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Rosales</i> Familie: <i>Rosaceae</i> Slægt: <i>Rubus</i> Ligner brombær, men er svagere og mindre. Hvide kronblade og blåduggede små-frugter.	 https://www.fugleognatur.dk/artsbeskrivelse.asp?ArtsID=4110

Urter	<i>C. pratensis</i> **	Engkarse Korsblomstfamilien	<p>Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Capparales</i> Familie: <i>Brassicaceae</i> Slægt: <i>Cardamine</i></p> <p>Flerårig livscyklus. 20-40 cm høj. Roset og lodret jordstængel med sideskud.</p> <p>Kronbladene hvide-lys violette, gule støvknapper.</p>	 <p>https://fineartamerica.com/featured/cuckoo-flower-cardamine-pratensis-annie-haycock.html</p>
	<i>E. helleborine</i> *	Skovhullæbe Gøgeurtfamilien	<p>Klasse: <i>Liliopsida</i> Orden: <i>Orchidales</i> Familie: <i>Orchidaceae</i> Slægt: <i>Epipactis</i></p> <p>Blomstrer i juli-august. Stænglen foroven er tydeligt dunet.</p> <p>Blomsterne er matgrønne og ofte violet anløbne.</p>	 <p>http://wildadirondacks.org/adirondack-wildflowers-helleborine-epipactis-helleborine.html</p>
	<i>E. sylvaticum</i> *	Skovpadderok Padderokfamilien	<p>Klasse: <i>Sphenopsida</i> Orden: <i>Equisetales</i> Familie: <i>Equisetaceae</i> Slægt: <i>Equisetum</i></p> <p>Sommerskud. 20-60 cm høje. Stænglens grønne grene sidder i krans.</p> <p>Temmelig almindelig på fugtig bund i skove og krat.</p>	 <p>https://www.delta-intkey.com/briht/www/sylvatic.htm</p>
	<i>G. spathacea</i> *	Hylster-Guldstjerne Liljefamilien	<p>Klasse: <i>Liliopsida</i> Orden: <i>Liliales</i> Familie: <i>Liliaceae</i> Slægt: <i>Gagea</i></p> <p>Urter med løg</p>	 <p>https://allearter-databasen.dk/index.php?taksonomi=Gagea+spathacea</p>

		<p>dannet af ét løgskæl. 10-15 cm høj.</p> <p>Flere mindre blade bærer 2-4 blomster.</p>	
<i>L. ovata</i>	Ægbladet fliglæbe Gøgeurtfamilien	<p>Klasse: <i>Liliopsida</i> Orden: <i>Asparagales</i> Familie: <i>Orchidaceae</i> Slægt: <i>Neottia</i></p> <p>20-75 cm høj med jordstængel.</p> <p>Blomstrer i maj-juni. Blomsterne er grønlig og nogle gange brunt anløbne.</p>	 <p>https://eunis.eea.europa.eu/species/189948</p>
<i>M. uniflora</i> *	Enblomstret flitteraks Græsfamilien	<p>Klasse: <i>Liliopsida</i> Orden: <i>Poales</i> Familie: <i>Poaceae</i> Slægt: <i>Melica</i></p> <p>30-45 cm høj.</p> <p>Blomstrer i maj-juni. Åben, fåblomstret ensidig top.</p>	 <p>https://www.inaturalist.org/taxa/450670-Melica-uniflora</p>
<i>P. spicatum</i> *	Aks-rapunsel Klokkefamilien	<p>Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Asterales</i> Familie: <i>Campanulaceae</i> Slægt: <i>Phyteuma</i></p> <p>Flerårig urt med mælkesaft, 25-70 cm. Blomsten er oversædig.</p> <p>Dobbelt savtakkede blade. Stængel er cylindrisk og stribet.</p> <p>Blomstrer i maj-juli.</p>	 <p>https://www.fugleognatur.dk/artsbeskrivelse.asp?ArtsID=5042</p>

<p><i>S. europaea</i> *</p>	<p>Sanikel Skærmpante- familien</p>	<p>Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Apiales</i> Familie: <i>Apiaceae</i> Slægt: <i>Sanicula</i></p> <p>Flerårig urt, 5-20 cm. Skjoldformede, kredsrunde, rundtakkede blade.</p> <p>Blomster sidder i 2-5 blomstrede hoveder. Kronen er hvid- rødlig.</p>	 <p>https://allearter-databasen.dk/</p>
<p><i>S. media</i> **</p>	<p>Alm. fuglegræs Nellikefamilien</p>	<p>Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Caryophyllales</i> Familie: <i>Caryophyllaceae</i> Slægt: <i>Stellaria</i></p> <p>Enårig, 10-30 cm. Ligner skov- fuglegræs, men er lysegrøn</p> <p>Blomstrer det meste af året. Alm i hele landet.</p>	 <p>https://www.fugleognatur.dk/artsbeskrivelse.asp?ArtsID=3007</p>
<p><i>V. officinalis</i> *</p>	<p>Læge- Ærenpris Maskeblomst- familien</p>	<p>Klasse: <i>Magnoliopsida</i> Orden: <i>Scrophulariales</i> Familie: <i>Scrophulariaceae</i> Slægt: <i>Veronica</i></p> <p>Flerårig, 10-30 cm.</p> <p>Har ofte en 4-delt krone som er blå eller hvid med blå årer.</p> <p>Blomsterne er blegblå og sidder oftest enlige klaser tæt ved skudspidsen</p>	 <p>https://www.fugleognatur.dk/artsbeskrivelse.asp?ArtsID=3837</p>

			Blomstrer i maj-juli. Almindelig i det meste af landet.	
--	--	--	---------------------------------------------------------	--

Rå-data over jordbunds-forsøg:

Tabel 15 a.-h.:

Tabel 15.a

Tune skov #1	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	88,58	88,52	88,48	83,56	83,84	88,48	83,62	88,42	88,45	88,43
pH	4,31	4,49	-	-	-	-	4,62	4,64	-	-
Kvælstof %	0,115	0,091	0,139	0,092	0,111	0,131	0,113	0,088	0,096	0,133
Carbon %	1,182	1,134	2,256	1,195	1,453	1,709	1,258	1,167	1,280	1,348

Tabel 15.b

Tune skov #2	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	84,64	88,61	88,82	84,05	88,71	88,57	88,61	89	91,61	94,21
pH	5,48	5,38	-	-	-	-	5,62	5,61	-	-
Kvælstof %	0,176	0,148	0,122	0,110	0,136	0,141	0,153	0,168	0,175	0,081
Carbon %	1,890	1,668	1,517	1,544	1,614	1,806	1,659	1,815	1,786	1,331

Tabel 15.c

Hyrdehøj skov #1	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	99,53	88,61	88,64	88,61	88,66	89,09	88,66	88,59	88,55	88,66
pH	5,38	5,17	-	-	-	-	6,94	7,23	-	-
Kvælstof %	0,104	0,123	0,175	0,070	0,125	0,184	0,124	0,113	0,133	0,077
Carbon %	1,253	1,491	2,038	1,070	1,646	2,990	1,656	1,685	1,543	1,178

Tabel 15.d

Hyrdehøj skov #2	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	84,24	84,11	84,19	83,95	84,06	84,01	84,38	83,74	83,34	83,88
pH	4,52	4,76	-	-	-	-	4,42	4,55	-	-
Kvælstof %	0,108	0,134	0,110	0,112	0,118	0,107	0,113	0,100	0,107	0,118
Carbon %	1,291	1,731	1,363	1,637	1,464	1,265	1,349	1,145	1,193	1,532

Tabel 15.e

Vestskoven #1	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	84,86	83,86	83,9	83,96	88,14	83,01	83,73	83,28	82,85	83,82
pH	5,13	5,61	-	-	-	-	5,10	5,03	-	-
Kvælstof %	0,096	0,096	0,068	0,093	0,253	0,076	0,024	0,067	0,049	0,070
Carbon %	1,351	1,359	0,811	1,373	4,686	0,985	2,211	0,771	0,640	0,921

Tabel 15.f

Vestskoven #2	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	84,67	85,28	85,74	84,56	84,01	83,8	84,02	83,51	85,65	83,88
pH	5,98	4,95	-	-	-	-	5,28	5,01	-	-
Kvælstof %	0,134	0,115	0,153	0,141	0,114	0,100	0,095	0,102	0,145	0,106
Carbon %	1,622	1,438	2,303	1,342	1,416	1,269	1,129	1,221	1,892	1,156

Tabel 15.g

Boserup Skov #1	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	84,9	84,1	85,05	85,29	85,16	83,89	84,32	83,53	83,54	84,81
pH	3,57	3,57	-	-	-	-	4,05	4,08	-	-
Kvælstof %	0,097	0,082	0,189	0,100	0,091	0,123	0,190	0,082	0,095	0,224
Carbon %	1,229	1,089	2,939	1,290	1,201	1,594	3,000	1,003	1,036	3,121

Tabel 15.h

Boserup Skov #2	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tørstof (%)	84,03	84,14	84,6	84,15	84,01	83,36	84,54	84,14	83,92	84,87
pH	6,97	6,81	-	-	-	-	6,72	6,84	-	-
Kvælstof %	0,203	0,302	0,218	0,173	0,182	0,063	0,245	0,200	0,138	0,190
Carbon %	2,576	3,855	3,275	1,945	2,179	1,523	3,067	2,682	1,245	2,494

Tabel 16:

Ellenberg Indikatorværdier:	
Alm. Eg *	<p>L = Halvlys-plante, mest i lys men også i skygge (30% rl)</p> <p>K = Subkontinental (svagt kontinental-præget)</p>
Alm. Bøg *	<p>L = Skyggeplante, findes dog også steder med mere lys (< 5% rl)</p> <p>K = Oceanisk, kystnært præget</p> <p>F = Fugtigt. Hoved-udbredelse på mellemfugtig jord (ikke våd/tør)</p>
Ahorn *	<p>L = Skygge til halvskygge-plante (ml. 3 og 5)</p> <p>K = Suboceanisk, svagere kystpræg</p> <p>F = Fugtighed til stor fugtighed (ml. 5 og 7)</p> <p>N = Kvælstofrige voksesteder (planter koncentrerede på overgødede jorde)</p>
Alm. Ask *	<p>L = Skygge til halvskygge-plante (ml. 3 og 5)</p> <p>K = Mellem oceanisk og suboceanisk</p> <p>N = Kvælstofrige voksesteder (planter koncentrerede på overgødede jorde)</p>
Alm. Røn *	<p>L = Halvskygge til halvlys-plante (ml. 5 og 7) sjælden ved mindre end 20% rl</p>
Dun-Birk *	<p>L = Halvlys-plante, mest i lys men også i skygge (30% rl)</p> <p>F = Stor fugtighed til våd bund (ml. 7 og 9)</p> <p>N = Kvælstof-fattige voksesteder</p>
Storbladet lind *	<p>L = Skygge til halvskygge-plante (ml. 3 og 5)</p> <p>K = Oceanisk, kystnært præget</p> <p>F = Fugtighed til stor fugtighed (ml. 5 og 7)</p> <p>N = Kvælstofrige voksesteder (planter koncentrerede på overgødede jorde)</p>

Rød-el **	<p>L = Halvskygge-plante, kun undtagelsesvist i fuldt lys (oftest mere end 10% rl) K = Mellem oceanisk og suboceanisk F = Våd bund (gennemvåde og luft-fattige jorde)</p>
(Skov) Hassel *	<p>L = Halvskygge til halvllys-plante (ml. 5 og 7) sjælden ved mindre end 20% rl K = Mellem oceanisk og suboceanisk N = Nogenlunde kvælstofrige voksesteder</p>
Vedbend *	<p>L = Skygge til halvskygge-plante (ml. 3 og 5) K = Oceanisk, kystnært præget F = Fugtigt. Hovedudbredelse på mellemfugtig jord (ikke våd/tør)</p>
Hvid anemone *	<p>K = Mellem oceanisk og suboceanisk F = Fugtigt. Hovedudbredelse på mellemfugtig jord (ikke våd/tør)</p>
Skovstar *	<p>L = Dybskygge- til skyggeplante (ml. 1 og 3) K = Mellem oceanisk og suboceanisk F = Fugtigt. Hovedudbredelse på mellemfugtig jord (ikke våd/tør) N = Nogenlunde kvælstofrige voksesteder</p>
Enblomstret flitteraks *	<p>L = Skyggeplante, findes dog også steder med mere lys (< 5% rl) K = Oceanisk, kystnært præget F = Fugtigt. Hovedudbredelse på mellemfugtig jord (ikke våd/tør) N = Nogenlunde kvælstofrige til kvælstofrige voksesteder (ml. 5 og 7)</p>
Hylster-Guldstjerne *	<p>L = Dybskygge- til skyggeplante (ml. 1 og 3) K = Suboceanisk, svagere kystpræg F = Fugtighed til stor fugtighed (ml. 5 og 7) N = Kvælstofrige voksesteder (planter koncentrerede på overgødede jorde)</p>
Engkarse **	<p>L = Skygge til halvskygge-plante (ml. 3 og 5) F = Fugtighed til stor fugtighed (ml. 5 og 7)</p>