

Indhold

1	Forord	3
2	Resumé og konklusion	4
3	Summary	6
4	Indledning	8
4.1	Baggrund og formål	8
4.2	Takkeord	9
5	Kvælstof-luftforurening	10
5.1	Kvælstofilters dannelse, omdannelse og afsætning	10
5.2	Ammoniaks dannelse, omdannelse og afsætning	11
6	Epifytsamfund	15
6.1	Oligotrofe samfund	15
6.2	Eutrofe samfund	16
7	Lavers opbygning	17
7.1	<i>Hypogymnia physodes</i>	18
8	Kvælstof og laver	22
8.1	Kvælstofdeposition på laver	22
8.2	Kvælstofoptagelse, -omsætning og -udskillelse i laver	22
8.3	Kvælstofindhold i laver	27

Egne undersøgelser

9 Materialer og metoder	30
9.1 Lokalteter	30
9.1.1 Placering	30
9.1.2 Deposition	31
9.2 Indsamlings- og analysemetoder	32
9.2.1 Indsamling af lavprøver	32
9.2.2 Kjeldahl-analyser	32
9.3 Transplantationer	33
10 Resultater og diskussion	36
10.1 Kvælstofafvaskning	36
10.2 Thallusstørrelse	37
10.3 Arstidsvariation	39
10.4 Thalli uden dryppåvirkning	39
10.5 Vertikalserie	41
10.6 Træhøjde	45
10.7 Skovbrynseffekt	49
10.8 Kildeafstand	52
10.9 Værtstræeffekt	55
10.10 Geografisk mønster.	61
10.11 Trafik-effekter	63
11 Klorofyl-indhold	65
11.1 Indledning	65
11.2 Materiale og metoder	65
11.3 Resultater og diskussion	65
12 Epifyl vegetation	67
13 Sammenfattende diskussion	69
14 Litteratur	71

1 Forord

Laver har i over hundrede år været kendt som gode indikatorer for luftmiljøets kvalitet. De er gennem de senere årtier i stigende grad blevet anvendt til biologisk kortlægning af luftforurening med svovldioxid og tungmetaller.

I Denne rapport fremlægges resultaterne af et projekt, som sigter på at vurdere lavernes evne til at opkoncentrere kvælstofforbindelser, der fra atmosfæren deponeres på deres overflade. Denne problemstilling er væsentlig, fordi laverne udgør potentielle monitører for kvælstofafsætningen på de træer, hvorpå de gror, og fordi kvælstofafsætningen i den danske natur har medført betydelige ændringer i lavsamfundene og i andre plantesamfund, f.eks. højmoser.

Projektet er udført af Ulrik Söchting, Institut for Sporeplanter, Københavns Universitet med støtte fra Skov- og Naturstyrelsen. Styringsgruppen for projektet bestod af Eyvind Nygaard, Skovdyrkningskontoret (leder), Claus Helweg Ovesen, Naturovervågningskontoret, Ib Johnsen, Inst. f. Økologisk Botanik, Københavns Universitet og Ulrik Söchting, Institut for Sporeplanter, Københavns Universitet.

København, den 1. januar 1991.

2 Resumé og konklusion

Laver er afhængige af næringssalte, som de optager fra luft og nedbør, og er derfor særdeles effektive til at opkoncentrere kemiske stoffer. Denne egenskab er årsagen til, at laver har fundet udbredt anvendelse ved analyser af tungmetalforsætning og kvantificering af radioaktivt nedfald. Lavernes opkoncentrering af toksiske stoffer, som f.eks. svovldioxid, har medført en forarmelse af lavvegetationerne i store dele af den industrialiserede verden.

Laver optager også kvælstofforbindelser. I den foreliggende undersøgelse er det undersøgt, om lavernes kvælstofindhold kan anvendes som et mål for den kvælstofbelastning, de har været udsat for.

Den aktuelle kvælstofafsætning til trækroner og skovbund anses for en mulig stressfaktor for skovtræerne og er dermed væsentlig for træernes sundhedstilstand. Det er imidlertid vanskeligt at kvantificere den totale kvælstofbelastning på det enkelte træ eller på skoven som helhed, da den tørreafsatte kvælstofmængde er afhængig af træets og skovens arkitektur. Hertil kommer, at der i kroneløvet sker en kvælstofoptagelse og -afgivelse, hvis størrelse ikke let lader sig bestemme.

Da laver ikke som blade eller nåle borttransporterer optaget kvælstof, er epifytiske laver i trækronerne mulige monitører for kvælstofbelastningen på voksestedet. Disse såkaldte epifytiske laver har ikke tidligere været undersøgt med dette formål for øje.

Kvælstofindholdet er bestemt i over 1000 prøver af Almindelig Kvistlav (*Hypogymnia physodes*), der hovedsagelig er indsamlet på Rødgran i Lindet Skovdistrikt i Sønderjylland.

Undersøgelsen viser, at Almindelig Kvistlav i Danmark indeholder mellem 7.5 og 31.5 0/00 kvælstof. De mindste værdier forekommer på lave substrater, dvs. grene på jorden eller meget små træer.

Højere træer synes at give større kvælstofindhold i laver, der vokser på de nederste grene. I en tæt bestand af høje træer er der kun en ringe variation i kvælstofindhold ned gennem kronen.

I skovbryn er kvælstofindholdet i laverne øget betydeligt, specielt i umiddelbar nærhed af dyrkede marker. I nærheden af større punktkilder, som f.eks. landbrug med dyreproduktion, er der også et øget kvælstofindhold, muligvis i op til flere km's afstand.

Indenfor samme skovområde kan der være en overraskende variation i kvælstofindhold mellem skovparcellerne. Det antages at variationen skyldes forskellig tørafsætning p.gr.a. forskelle i bestandenes arkitektur og omgivelser. Ligeledes kan strærke punktkilder til luftforurening bidrage til lokal variation i afsætningen.

Det konkluderes at kvælstofindholdet i den barkboende Almindelig Kvistlav giver et godt mål for kvælstofafsætningen i dens umiddelbare omgivelser.

Kvælstofindholdet i danske og udenlandske laver, der ikke modtager kronedryp, viser et geografisk mønster, som afspejler de modelberegnedes kvælstofkoncentrationer i luft og nedbør. Kvælstofværdierne i lav fra højere træer afspejler lokale kilder, der giver anledning til øget tørafsætning.

Kvælstofbelastningen på en skov kan vurderes udfra kvælstofindholdet i Alm. Kvistlav, som er indsamlet i 0.5-2 m's højde fra ca. 10 m høje Rødgran, der vokser over 25 m fra skovbrynet.

Transplantering af kviste med Alm. Kvistlav til graner omkring et svineproducerende landbrug viste, at der efter seks måneder var optaget kvælstofmængder i laverne, som afspejlede det forventede depositions mønster.

Transplantering af Kvistlav til standere, som var opsat omkring samme landbrug med stort dyrehold, viste efter fire vintermåneder en betydelig kvælstofoptagelse. Ved selve kilden var laverne døde af kvæstofforgiftning og selv i 500 m's afstand var kvælstofberigelsen betydelig.

Transplantering til stærkt trafikeret motorvej gav ingen øget kvælstofoptagelse sammenlignet med et kontrolområde én km fra vejen. Det antages at skyldes, at NO og NO₂ kun langsomt afsættes på laver. Både nitrat og ammonium optages derimod hastigt.

3 Summary

Lichens, deriving their nutrients primarily from the ambient air or precipitation, have a remarkable ability to absorb nutrients from dilute solutions. This is why lichens have been widely used for monitoring heavy metal deposition and radioactive fall-out. Due to absorption of toxic compounds, such as sulphur dioxide, this ability has led to the widespread reduction of lichen vegetations in the industrialized world.

Nitrogen compounds are effectively absorbed by lichens. The present project investigates to what extent the nitrogen content of lichens can be used as an indication of the nitrogen deposition in their environment.

Elevated nitrogen deposition to canopy and forest floor is considered to stress forest trees and thus possibly to be of importance for forest tree health. It is, however, difficult with available methods to quantify the total dose transmitted to a single tree or to a whole stand, as the dry deposition depends to a large degree on the architecture of the tree or the stand. Furthermore the canopy exchanges an amount of nitrogen with the water in the canopy, which is difficult to estimate.

Epiphytic lichens, which differ from the canopy by not being able to export the nitrogen to other plant components, are potential monitors of the nitrogen deposition in their environment. They have not previously been investigated for this purpose.

The nitrogen content was analyzed in more than 1000 samples of *Hypogymnia physodes*, primarily collected from Norway Spruce in South Jutland. The results show that *Hypogymnia physodes* in Denmark contains between 7.5 and 31.5 ‰ total nitrogen. The lowest values occur on low substrates, e.g. branches on the ground or very small trees. It seems that increasing height of trees leads to an elevated nitrogen content in thalli on the lowest branches of the trees. In closed stands the nitrogen content varies little at different vertical positions in the crown.

In forest edges the nitrogen content is considerably elevated, particularly close to fertilized fields. In proximity to important concentrated sources of nitrogen, e.g. farms with livestock, there is a substantial increase in nitrogen content, up to several km from the source.

Within a woodland the nitrogen content can vary considerably between stands, reflecting the differences in dry deposition due to stand architecture and character of the surrounding vegetation.

The nitrogen content in Danish and foreign *Hypogymnia*, not exposed to canopy through-fall, shows a geographical pattern reflecting the modelled nitrogen concentration in air and precipitation, whereas the nitrogen content of lichens from higher trees reflects local sources responsible for dry deposition.

Standardized sampling procedures for the estimation of local and regional patterns of nitrogen deposition are suggested.

Transplantation of lichen thalli to spruce trees in an area around a pig farm showed a nitrogen enrichment in the thalli reflecting the anticipated deposition pattern.

A transplantation experiment where the twigs were placed on pools around an ammonium emitting farm, resulted in injury to the thalli closest to the farm due to nitrogen toxicity and decreasing levels of nitrogen with increasing distance from the farm. It is concluded that about two months may be sufficient for transplant experiments.

4 Indledning

4.1 Baggrund og formål

De seneste års alarmerende tilfælde af skovdød i Centraleuropa har medført en stærkt øget interesse for skovenes sundhed og de faktorer som påvirker den.

På grundlag af de mange iværksatte undersøgelser er der efterhånden bred enighed om, at træernes misvækst er forårsaget af flere forskellige samtidig virkende stressfaktorer.

Luftforurening er blandt de stressfaktorer, som er øget betydeligt i de senere årtier. Ændringerne i luftkvaliteten i forskellige egne af Europa er veldokumenteret, og det står efterhånden klart, at en række forskellige former for luftforurening vil kunne være årsag til de observerede skader. Som de væsentligste har været fremhævet svovldioxid, ozon, forsuring og kvælstofforbindelser.

Forureningsmønstret over Europa er broget, og det er derfor ikke givet, at den stressfaktor, som er væsentlig i Sydtykland, også er årsag til nedsat trivsel i Holland eller Skåne. I Danmark, hvor ingen skader på skov endnu entydigt er blevet tilskrevet luftforurening, er der især grund til at være opmærksom på ozon, forsuring og kvælstofafsætning.

For at kunne vurdere et træs eller en bevoksnings sundhedstilstand i relation til en given luftforurening er det nødvendigt at kunne kvantificere den dosis, som træet eller bevoksningen har været udsat for. Dette er - specielt for kvælstof - vanskeligt, fordi en væsentlig del af kvælstoffet afsættes på træets overflade, hvorfra en ukendt del kan overføres til træet. Denne rapport behandler en ny metode til estimering af den samlede kvælstofafsætning, idet kvælstofindholdet i *Hypogymnia physodes* (Alm. Kvistlav) benyttes som indikator.

Det er velkendt at laver er effektive til at optage stoffer fra luften og nedbøren. På grund af denne egenskab er laver blevet anvendt til talrige analyser af forurening med metaller og radioaktive isotoper, ligesom laver også er anvendt til kortlægning af svovldioxidforurening. De har dog aldrig været benyttet i forbindelse med kortlægning af kvælstofforurening.

Formålet med nærværende projekt er at undersøge muligheden for at anvende laver, der vokser på kviste og stammer - de såkaldte epifytter - til at vurdere kvælstofbelastningen på voksestedet.

På baggrund af en undersøgelse af forskellige faktorerers indflydelse på lavernes kvælstofindhold, har det endvidere været hensigten, at etablere standardiserede indsamlingsmetoder til vurdering af den samlede kvælstofdeposition i et givet område.

4.2 Takkeord

De besøgte skovdistrikter takkes hermed for tilladelse til indsamling af laver og opstilling af transplantater, specielt takkes skovrider Eigaard, Lindet Skovdistrikt, skovfoged Sehested, Lovrup Skov og skovfogederne Worm og Mortensen, Asserbo. Ligeledes takkes gårdejer Inga og Aage Birk, Skovgården, Arrild og Thomas Marquardsen, Arrild, samt Vagn Olsen, Københavns Amts Tekniske Forvaltning for stor velvilje i forbindelse med opstilling af transplantater. Erling Nøhr takkes for konstruktion af transplantationsstandere og Helle-Vibeke Andersen og Mads Hovmand, DMU takkes for luftforureningsdata. Steen N. Christensen, Rigmor Wang og Olga Hilmo takkes for dansk og norsk lavmateriale, Tyge Christensen for assistance med algebestemmelse, Ruth Bruus Jakobsen for rentegning af figurer og Else Meier Andersen for udførelse af fotoarbejdet.

En særlig tak rettes til miljøtekniker Esben Vedel Nielsen for samvær i felten og for engageret og samvittighedsfuldt analysearbejde, samt for at have stillet analyseresultater fra eget eksamensprojekt til rådighed. SNF takkes for bevilling af det anvendte Kjeltec-udstyr.

5 Kvælstof-luftforurening

De væsentligste komponenter af kvælstofholdig luftforurening er ammoniak og kvælstofilter, samt de heraf afledte forbindelser. For en grundig indføring i dannelse, spredning og afsætning henvises til Beier (1988) og Gundersen (1989).

5.1 Kvælstofilters dannelse, omdannelse og afsætning

Kvælstofilter (NO_x) dannes ved forbrændingsprocesser og stammer fra henholdsvis kraftværker (43 %), trafik (42 %), og industri og varmeproduktion (15 %) (Miljøstyrelsen 1984).

Danmarks årlige frigivelse til atmosfæren er omkring 18 kg NO_x -N pr. ha, hvorimod den gennemsnitlige europæiske udsendelse er ca. 10 kg N/ha (Miljøstyrelsen 1984).

NO er den primære kvælstofforbindelse, der dannes ved forbrændingsprocesser. Den er imidlertid temmelig ustabil i atmosfæren, hvor den iltes til NO_2 , som er ret stabil, men dog efterhånden omdannes til salpetersyre (HNO_3).

NO afsættes kun i ringe grad. Depositionshastigheden er beregnet til under én mm/s, mens depositionshastigheden for omdannelsesproduktet NO_2 er 2-4 mm/s (Tab. 1). Det antages derfor, at der sker en væsentlig tørabsætning af NO_2 . Opløseligheden af NO og NO_2 i vand er ringe (Beier 1988) og det antages, at deposition af kvælstofilter hovedsagelig sker som nitrat-N (Gundersen 1989).

Tabel 1. Depositionshastigheder for gasser og aerosoler.

Stof	Depositionshastighed mm/sec.	Kilde
NO	< 1	Bengtsson et al. 1980
NO_2	2-3	-do.-
	4	(Hovmand & Bille-Hansen 1988)
HNO_3	20	-do.-
NO_3 -aerosol	2	-do.-
NH_3	8	Asman & Janssen 1987
	10	(Hovmand & Bille-Hansen 1988)
NH_4^+ -aerosol	2	-do.-

HNO_3 har en høj depositionshastighed (Tab. 1), så selv om koncentrationen i luften er lille, kan tørafsætning måske være af betydning. Imidlertid optager salpetersyre let vand fra atmosfæren og danner herved aerosoler, hvori der også kan ske reaktioner med ammoniak til NH_4NO_3 . Aerosolerne kan enten afsættes på faste overflader eller udvaskes fra atmosfæren af nedbør, hvorved de giver ophav til våddeposition af kvælstof.

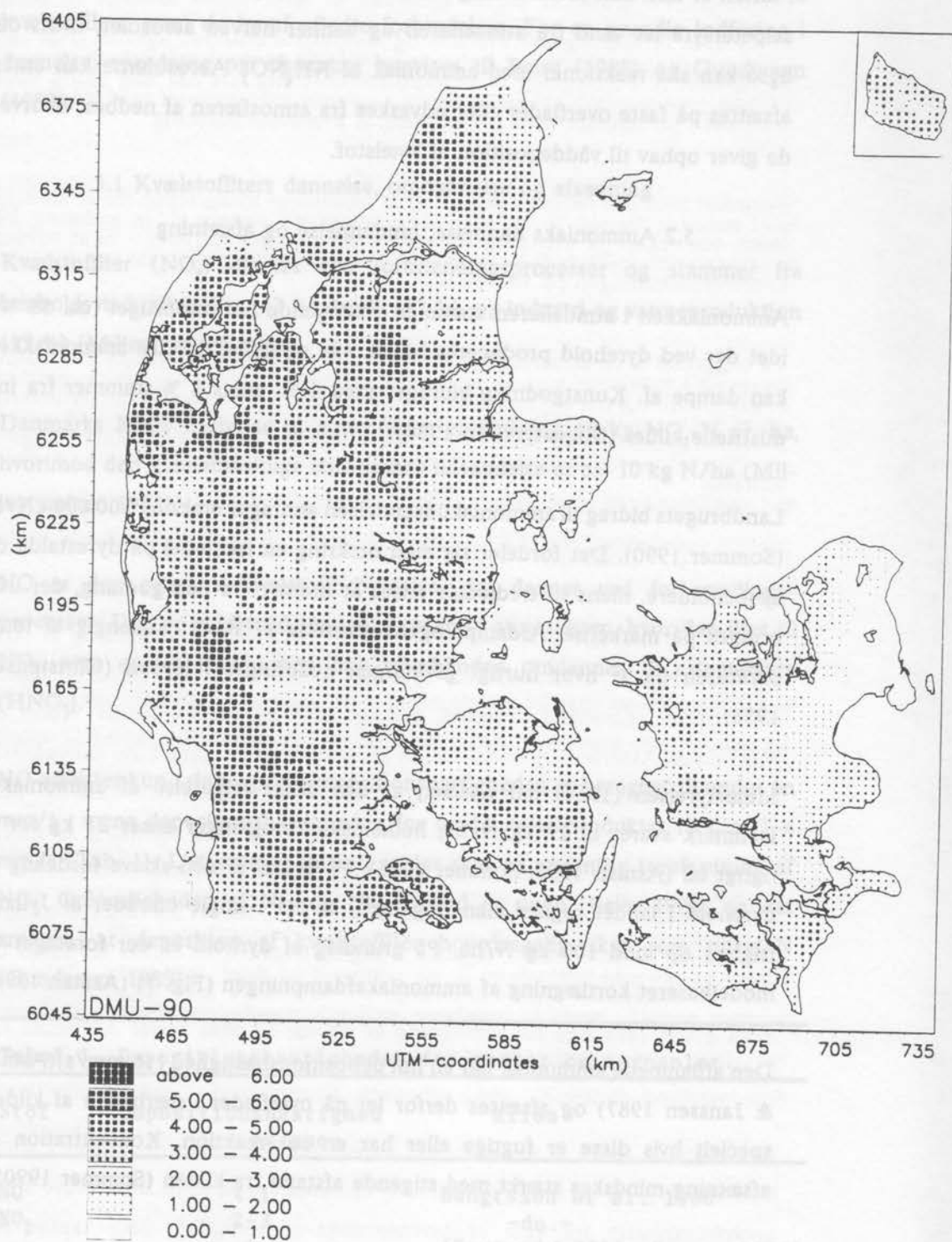
5.2 Ammoniaks dannelse, omdannelse og afsætning

Ammoniakken i atmosfæren stammer overvejende fra landbruget (ca. 88 %), idet der ved dyrehold produceres basisk ajele og gylle, hvorfra ammoniakken kan dampe af. Kunstgødning bidrager med 4 %, mens 8 % stammer fra industrielle kilder (Miljøstyrelsen 1984).

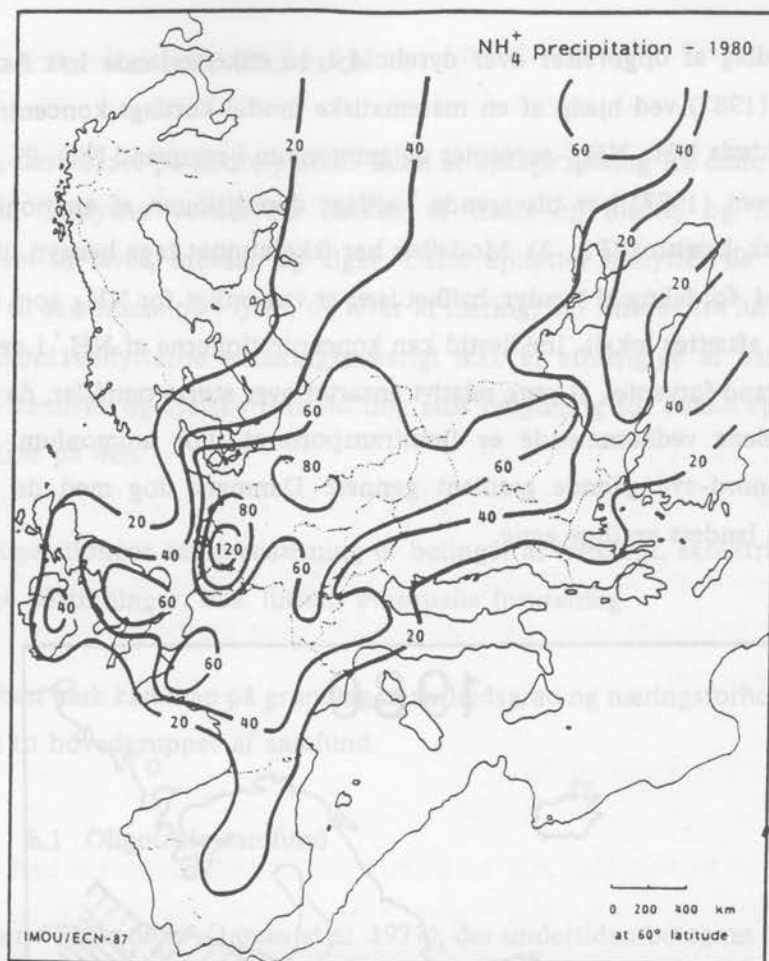
Landbrugets bidrag til ammoniakudsendelsen andrager omkring 100.000 t N/år (Sommer 1990). Det fordeler sig med omkring en tredjedel på dyrestalde og ajlebeholdere, mens to tredjedele anses at hidrøre fra den gødning, der udbringes på markerne. Afdampningens størrelse er stærkt afhængig af temperaturen og af hvor hurtigt gødningen nedbringes i jorden (Christensen 1986).

Miljøstyrelsen (1984) har anslået, at den årlige frigørelse af ammoniak i Danmark svarer til 27 kg N/ha; hollandske beregninger anser 21 kg for et rigtigt tal (Asman 1990, Sommer 1986). På grund af den skæve fordeling af dyrehold i landet regner man dog med, at der i nogle områder af Jylland frigives op mod 100 kg N/ha. På grundlag af dyrhold er der foretaget en modelbaseret kortlægning af ammoniakafdampningen (Fig. 1) (Asman 1990).

Den afdampede ammoniak har en høj depositionshastighed (10 mm/s) (Asman & Janssen 1987) og afsættes derfor let på overflader i nærheden af kilden, specielt hvis disse er fugtige eller har en sur reaktion. Koncentration og afsætning mindskes stærkt med stigende afstand fra kilden (Sommer 1990).



Figur 1. Årligt total udslip af ammoniak i Danmark. Modelberegne værdier (ton kvælstof pr. km² pr. år). Efter Asmann 1990.



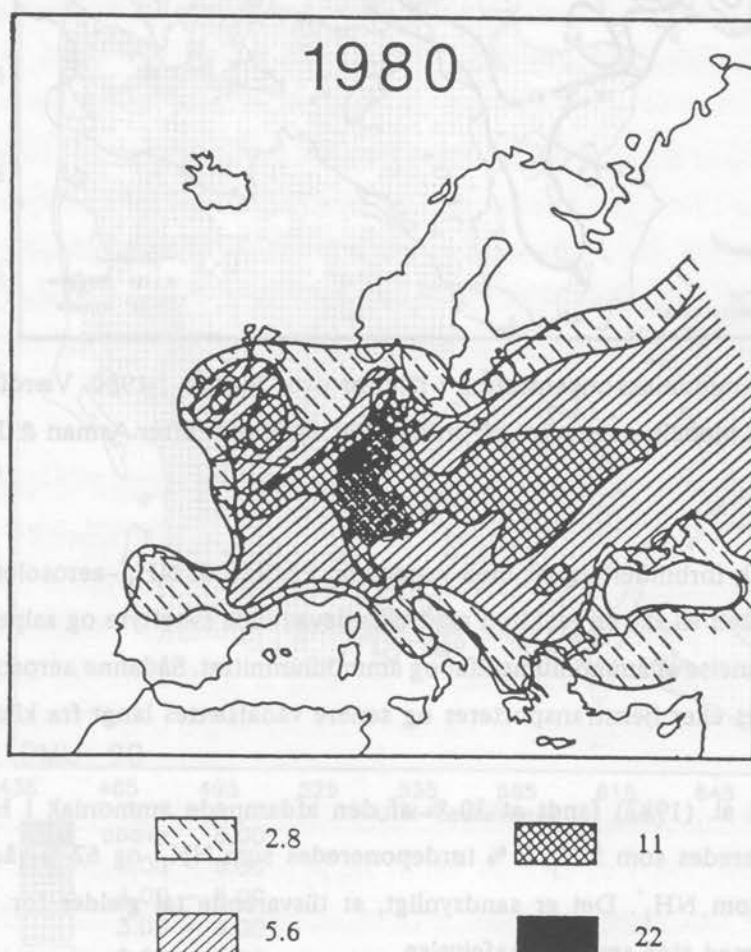
Figur 2. Ammoniakkoncentration i nedbør over Europa i 1980. Værdierne er baseret på modelberegninger på grundlag af dyrehold. Efter Asman & Janssen 1987.

Ammoniak forbinder sig let med vanddamp i luften til NH_4^+ -aerosoler, hvori der eventuelt vil ske en reaktion med tilstedeværende svovlsyre og salpetersyre under dannelse af ammoniumsulfat og ammoniumnitrat. Sådanne aerosoler kan tørafsættes eller fjerntransporteres og senere vådafsættes langt fra kilden.

Asman et al. (1987) fandt at 30 % af den afdampede ammoniak i Holland tørdeponeredes som NH_3 , 8 % tørdeponeredes som NH_4^+ og 62 % våddeponeredes som NH_4^+ . Det er sandsynligt, at tilsvarende tal gælder for danske områder med stor ammoniakafgivelse.

Det anses generelt for at være forbundet med store vanskeligheder både at beregne og at måle tørafsætningen af ammonium og ammoniak (Hicks 1986, Lövblad & Westling 1988).

På grundlag af opgørelser over dyrehold i de enkelte lande har Asman & Janssen (1987) ved hjælp af en matematiske model kortlagt koncentrationer afhængig af NH_3 , NH_4^+ -aerosoler og ammonium i regnvand (Fig. 2). Asman & Diederer (1987) har tilsvarende kortlagt depositionen af ammonium- og ammoniak-kvælstof (Fig. 3). Modellen har ikke kunnet tage hensyn til lokale forskelle i fordeling af husdyr, hvilket især er væsentligt for NH_3 , som i særlig høj grad afsættes lokalt. Imidlertid kan koncentrationerne af NH_4^+ i aerosoler og regnvand forventes at være relativt ensartet over større områder, da det for størstedelens vedkommende er fjerntransporteret. For ammonium ses en generel nord-syd-gående gradient gennem Danmark dog med de største værdier i landets vestlige egne.



Figur 3. Ammonium- og ammoniakafsætning over Europa 1980. Modelberegning på grundlag af dyrehold. Værdierne angiver kg kvælstof/ha/år. Efter Asman & Diederer 1987.

6 Epifytsamfund

Planter, der vokser på andre planter uden at optage næring fra dem, betegnes epifytter. Epifytter vokser på barken af træer og buske, og floraen er domineret af laver, mosser og alger. Disse epifytter benytter de træagtige planter til at komme op i lyset, og lever af næring, der tilføres fra luft, støv og regn. Skønt epifytterne ernæringsmæssigt ikke er afhængige af barken, har dennes kemiske og fysiske forhold dog stor betydning for hvilke epifytarter, der vokser på den.

Epifytvegetationens sammensætning er betinget af træslægt, skovstruktur, og eksterne påvirkninger, bl.a. luftens eventuelle forurening.

På lysåben bark kan man på grundlag af surhedsgrad og næringsforhold skelne mellem to hovedgrupper af samfund.

6.1 Oligotrofe samfund

Alliancen "Physodion" (James et al. 1977), der undertiden betegnes "Pseudevernion furfuraceae" eller blot Fattigbarkssamfundet, er kendetegnet ved at forekomme på velbelyst, moderat sur til sur bark, dvs. enten på træer som Birk, Eg, Gran, Fyr og Lærk, eller på forsuret bark af træer, som normalt har en mere basisk bark, eksempelvis Elm og Ask. I Danmark er dette samfund bedst udviklet i vantrevne klitplantager med åben vækst, hvor lysforholdene er gode.



Figur 4. *Hypogymnia physodes* (Alm. Kvistlav) på Rødgran-kvist.

I veludviklede Physodion-samfund dominerer *Hypogymnia physodes* (Fig. 4), men der er normalt hyppig forekomst af *Hypogymnia tubulosa* (Finger-Kvistlav), *Pseudevernia furfuracea* (Grå Fyrrelav), *Platismatia glauca* (Blågrå Papirlav) og *Cetraria chlorophylla* (Olivenbrun Kruslav). På den moderat sure løvtræbark vokser *Hypogymnia physodes* ofte sammen med *Evernia prunastri* (Alm. Slåenlav) og *Parmelia sulcata* (Rynket Skållav).

Physodion-samfundet er generelt artsfattigt, men i plantede Rødgran-plantager sker der en yderligere artsudtynding, og *Hypogymnia physodes* vil da normalt være den eneste tilstedeværende større lav.

Foruden de busk- og bladformede laver kan der i Physodion-samfundet vokse en række forskellige skorpeformede lavarter, mens algebevoksningen normalt vil være sparsom.

6.2 Eutrofe samfund

På velbelyst bark af Elm, Ask og andre træarter med mindre sur bark vokser en epifytalliance, som har fået navnet "Xanthorion parietinae", eller blot Xanthorion-samfundet. På disse barktyper er der normalt mere næringsrigt og vegetationen er artsrig. Her vokser bl.a. mange arter af *Xanthoria* (Væggelav) og *Physcia* s.l. (Rosetlaver), og det er i hovedsagen den samme vegetation, som vokser på basiske stenarter, som f.eks. eternit og beton.

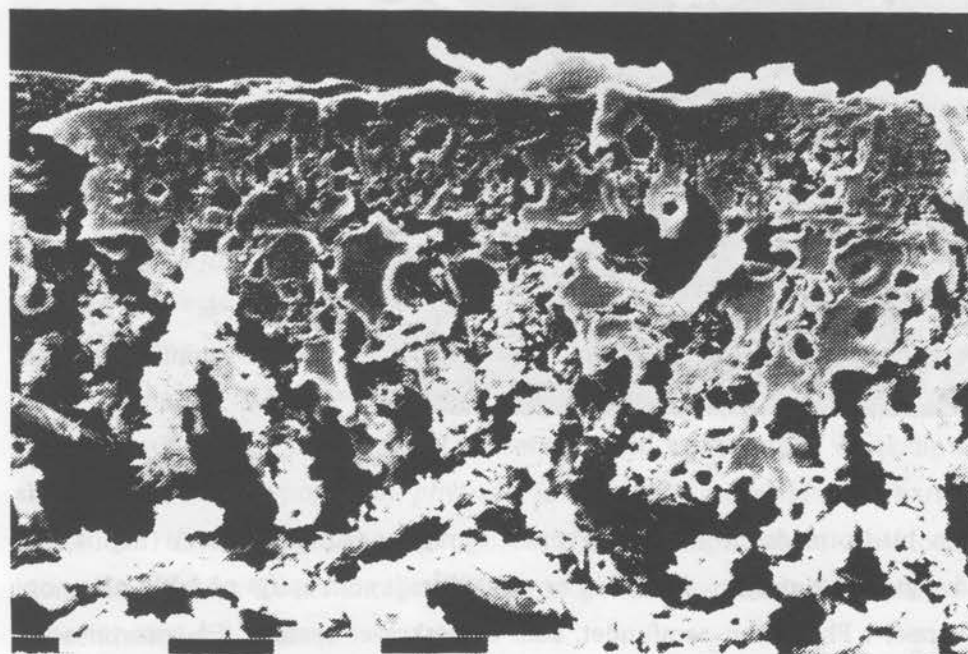
Hvis der sker en stærk kvælstofberigelse af det ovenfor omtalte Physodion-samfund, vil vegetationen skifte til et Xanthorion-lignende samfund. Dette kan endog ske på grantræer i umiddelbar nærhed af stærke ammoniakilder, der foruden næringsberigelsen også medfører en øget pH.

Ved kvælstofberigelse af granbark sker der tillige en stærk opblomstring af algevæksten på barken (se afsnit 12).

7 Lavers opbygning

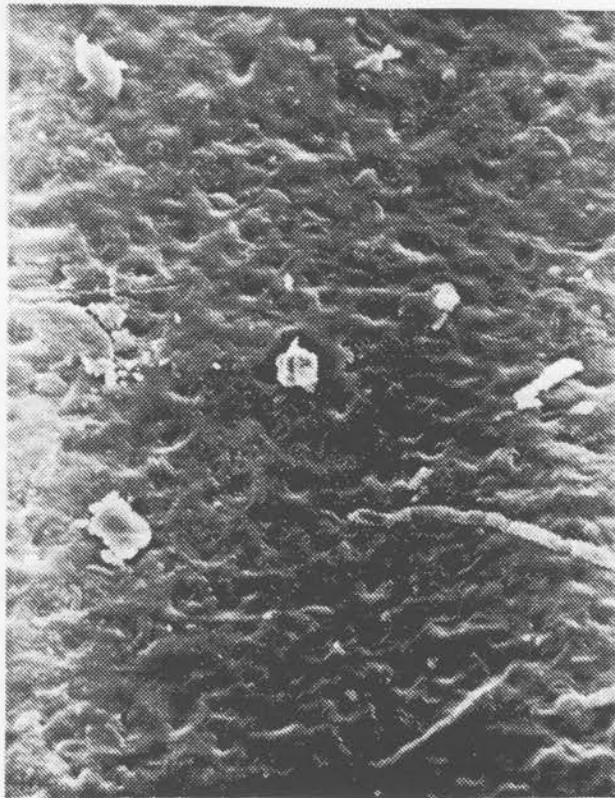
Laver er dobbeltorganismer, der danner et såkaldt thallus (løv). Thallus indeholder algeceller (Fig. 5), men afgrænses almindeligvis mod omgivelserne med et svampevæv, der kan være udformet som en slags bark med flere lag celler i et parenkymagtigt væv.

Optagelsen af vand og nødvendige næringssalte sker gennem barken. Diffusion af ilt og kuldioxid kan også foregå gennem barken, men ofte er der strukturer, som letter diffusionen ind til det indre af thallus, hvor algerne er placeret.



Figur 5. Tværsnit af thallus af *Hypogymnia physodes*. Bemærk overbark med underliggende alger. SEM. Felter på skala: 10 μm .

Thallusbarken består af hyfer med sammenklæbede vægge og få eller ingen intercellulærer. Overfladen er dækket af en amorf såkaldt epicortex, der hyppigt er forsynet med større eller mindre porer (Fig. 6). Disse porer er antagelig medvirkende til at vand på overfladen i løbet af sekunder opsuges af thallus. Vandet optages hurtigt i de temmelig tykke, gelatinøse hyfevægge (Fig. 7).



Figur 6. Overflade af *Hypogymnia physodes*. SEM. x 1500.

7.1 *Hypogymnia physodes*

Den bladformede lavart *Hypogymnia physodes* (Alm. Kvistlav) (Fig. 4) er udvalgt i dette projekt, fordi den er vidt udbredt som epifyt på både nåle- og løvtræer i Physodion-samfundet, som er beskrevet ovenfor. På træarter som Ask og Elm vokser den kun, hvis der har fundet en forsuring sted. I vel-voksende nåletræsplantager i Danmark er den praktisk talt den eneste bladlav; dog vokser den undertiden sammen med nogle få individer af den nærtstående art *Hypogymnia tubulosa* (Finger-Kvistlav). Der er grund til at antage, at de to arter ikke adskiller sig hvad angår kvælstofoptagelse.



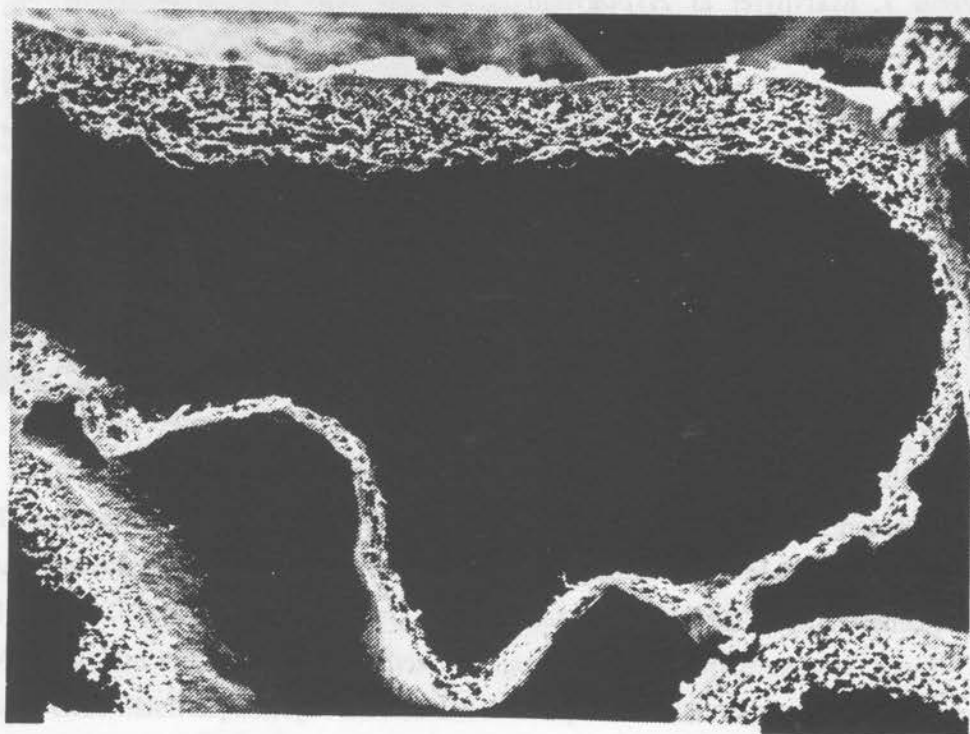
Figur 7. Marvhyfer af *Hypogymnia physodes*. Hyferne er tykvæggede og belagt med krystaller af likénstoffer. SEM. Felter på skala: 10 μ m.

Hypogymnia physodes danner rosetformede thalli (løv) af smalle lober, der er hule og opblæste, idet underbarken på et tidligt tidspunkt spaltes fra resten af thallus (Fig. 8).

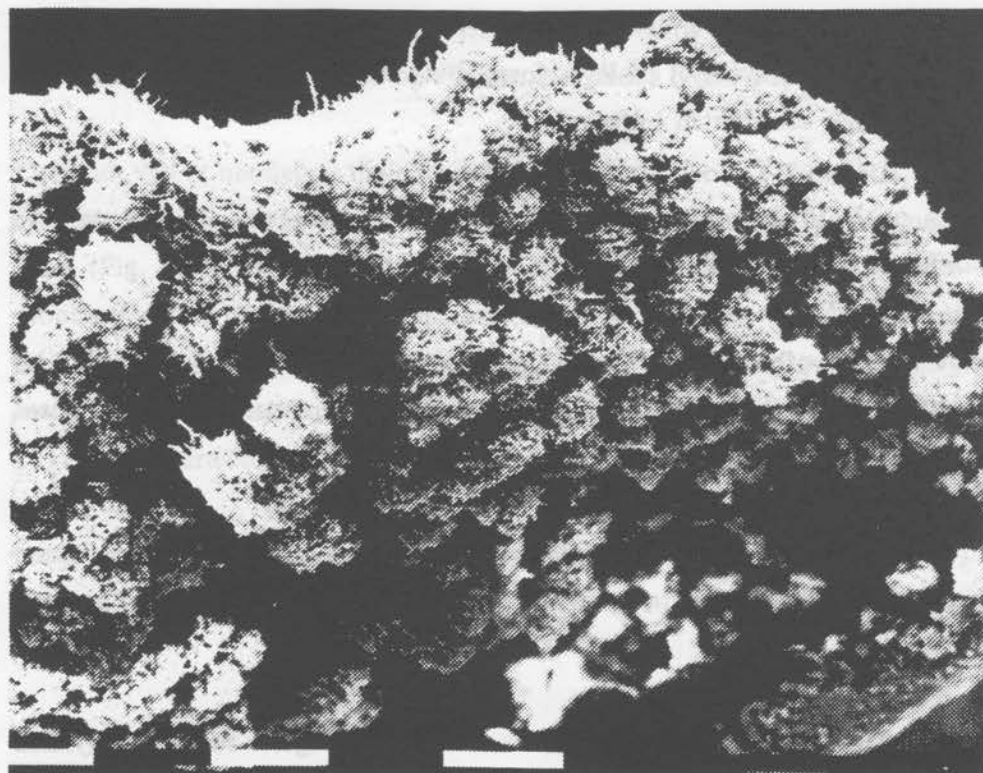
Den sorte underbark hæfter sig til voksesubstratet, og kan være vanskelig at skille herfra. Når *Hypogymnia physodes* indsamles vil noget af underbarken undertiden blive tilbage, men på grund af dens ringe del af den totale biomasse må dens fravær antages af have meget lille betydning for kvælstofkoncentrationen i thallus.

I starten er thalli lukkede, men på et tidspunkt åbner lobeenderne sig og oversiden krænges læbeformet tilbage. På indersiden af disse læber dannes pulveragtige soredier, dvs. små spredningsenheder bestående af alger og svampehyfer (Fig. 9). Soledierne kan spredes med vind og regnvand, eller ved fasthæftning på forbipasserende dyr.

Hypogymnia physodes danner undertiden kønnede formeringsorganer, såkaldte apothecier. De ses på thallusoversiden som små skåle med brun inderside. I Danmark kan der gå år imellem at der indsamles sådanne fertile eksemplarer.



Figur 8. Tværsnit af thallus af *Hypogymnia physodes*. Underbarken er fraspaltet, hvorved thallus bliver hult. Felt på skala: 1 mm.



Figur 9. Pulveragtige soredier på underside af thalluslæbe på *Hypogymnia physodes*. SEM. Felter på skala: 0.1 mm.

8 Kvælstof og laver

8.1 Kvælstofdeposition på laver

Afsætningen af kvælstof på laver foregår via en række forskellige stoffer og mekanismer som omtalt i afsnit 5.1.

NO og NO₂ forekommer på gasform, og det antages at de optages ved diffusion ad de samme kanaler som som det sker for CO₂.

Da depositionshastigheden for NO₂ er temmelig stor, må man formode, at der sker en vis tørdeposition på thallus, selvom betydningen heraf på planteoverflader er omdiskuteret (Beier 1988).

Nitrat kan afsættes effektivt som aerosoler på tørre eller fugtige lavoverflader, men kan også optages fra opløsninger i regnvand, stammeløb eller gennemdryp.

Ammoniak afsættes let på thallus, bl.a. fordi dette reagerer surt (*Hypogymnia physodes* pH = 4.4) og ofte er fugtigt. Dug kan hurtigt bringe vandindholdet op på 50 %, men en tilsvarende vandoptagelse kan også ske, blot den relative fugtighed er op mod 100 % (Blum 1973).

For ammonium-aerosoler, der deponeres på thallusoverfladen, gælder også, at den sure reaktion forhindrer en afdampning af ammoniak.

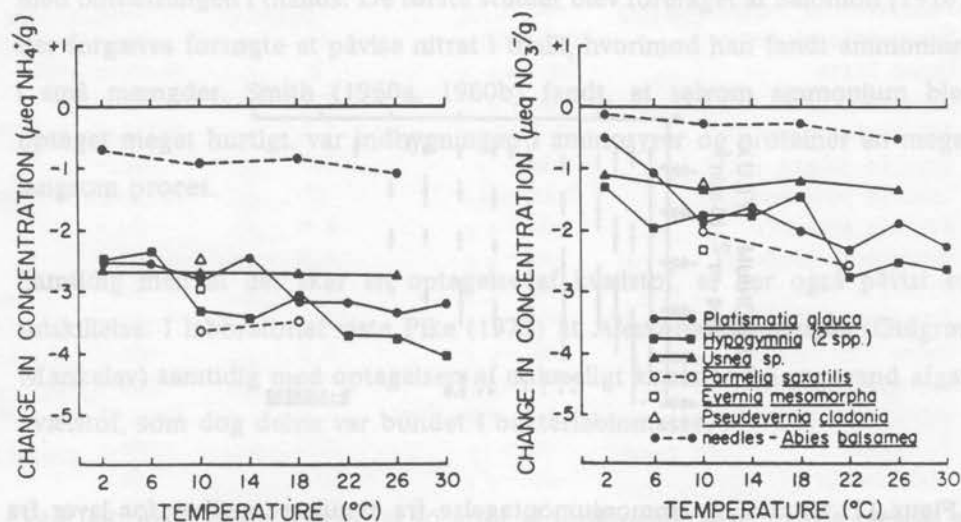
8.2 Kvælstofoptagelse, -omsætning og -udskillelse i laver

Det er velkendt, at laver er stand til at optage og opkoncentrere en lang række kemiske stoffer fra omgivelserne, bl.a. fra vandige opløsninger. Smith (1960a, 1960b) påviste ammoniumoptagelse og tilsvarende kvælstofoptagelse opnåede Pike (1978) ved laboratorieforsøg med *Bryoria* (*Alectoria*, Mankelav) fra Oregon, U.S.A.. Søchting og Johnsen (1987) påviste ammoniakoptagelse fra luften i kolbeforsøg med *Cladonia stellaris* (Stjerne-Rensdyrlav).

Figur 8. Tverrsnit af thallus af *Hypogymnia physodes*. Underbarken er fraspaltet, hvorefter thallus bliver luft-tæt på skålen. I mm.

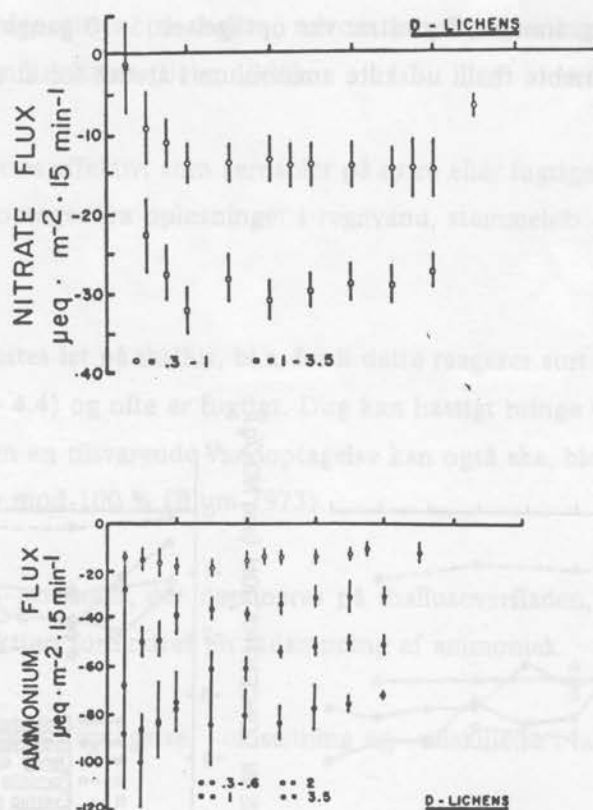
Smiths tidlige påvisning af ammoniumoptagelse byggede på neddybningsforsøg med en enkelt art, *Peltigera polydactyla* (Finger-Skjoldlav), der indeholder cyanobakterier, men hans resultater bekræftedes af Lang et al. (1976) for en række grønalgeholdige epifytter fra Ædelgran-skov i New Hampshire, heriblandt *Hypogymnia*-arter og *Platismatia glauca* (Alm. Papirlav).

De fandt ved at neddyppe thalli i simuleret bulk-nedbør ($0.227 \text{ mg NH}_4^+/l$ og $1.15 \text{ mg NO}_3^-/l$), at: 1. der for alle arter skete en hastig optagelse af ammonium (Fig. 10a). 2. nitratoptagelsen kun var halvt så effektiv som ammoniumoptagelsen. 3. optagelsen af ammonium og nitrat forblev uændret over de fem timer forsøget foregik. 4. lavernes optagelse af ammonium var 3-4 gange hurtigere end grannåles; for nitrat var optagelsen 5-10 gange hurtigere (Fig. 10).



Figur 10. Ændring i ammonium- og nitratkonsentrationen i simuleret regn med grannåle og forskellige laver neddyppet i én time. Efter Lang et al. 1976.

Efterfølgende udførte Reiners & Olson (1984) en serie bevandingsforsøg med simuleret nedbør, dels i naturen dels i laboratoriet. Forsøgene bekræftede de ovenstående resultater og viste, at de undersøgte epifytiske laver havde en betydelig optagelse af nitrat i modsætning til nåle af Ædelgran, som udskilte nitrat (bortset fra ældre nåle efter flere timers bevanding) (Fig. 11a). Både nåle og lavthalli optog ammonium fra den simulerede nedbør (Fig. 11b), men optagelsen i laverne var betydeligt mere effektiv end i nålene (Tab. 2).



Figur 11. Nitrat- og ammoniumoptagelse fra simuleret nedbør for laver fra Balsam-Gran. X-aksen angiver overrislingsperioden i timer. Punktserierne angiver intensiteten af overrislingen. Efter Reiners & Olson 1984.

Tabel 2. Nettobevegelser af nitrat og ammonium fra fire dele af trækroner af Balsam-Gran. Værdierne er gennemsnit over tre timer angivet i mikroe μ m². Negative værdier angiver nettooptagelse. Efter Reiners & Olson 1984.

Ion	Kronedel			
	laver	nye nåle	gamle nåle	kviste
NO ₃ ⁻	-230	10	15	65
NH ₄ ⁺	-515	-40	-85	-30

Man antager, at nitrat kan optages aktivt af cellerne ligesom hos andre planter, mens det endnu er uafklaret om optagelsen af ammonium sker aktivt eller passivt (Nieboer et al. 1978)

Kvælstofmetabolismen i laver er især studeret i forbindelse med kvælstoffikserende laver. Der vides derfor ikke meget om mekanismerne i forbindelse med omsætningen i thallus. De første studier blev foretaget af Salomon (1914), der forgæves forsøgte at påvise nitrat i thalli, hvorimod han fandt ammonium i små mængder. Smith (1960a, 1960b) fandt, at selvom ammonium blev optaget meget hurtigt, var indbygningen i aminosyrer og proteiner en meget langsom proces.

Samtidig med at der sker en optagelse af kvælstof, er der også påvist en udskillelse. I laboratoriet viste Pike (1978) at *Alectoria sarmentosa* (Gulgrøn Mankelav) samtidig med optagelsen af opløseligt kvælstof fra regnvand afgav kvælstof, som dog delvis var bundet i bakteriebiomasse.

Ved feltforsøg er det påvist, at to arter af jordboende laver optog næsten al den ammonium, der tilførtes dem med nedbøren, men at den ene af arterne, som havde grønalger (*Cladonia stellaris*, Stjerne-Rensdyrlav), berigede det gennemsivende vand med organisk bundet kvælstof svarende til 80 % af den uorganiske kvælstof i nedbøren (Crittenden 1983). Den kemiske natur af de organiske kvælstofforbindelser, som udskiltes blev ikke bestemt, men frie aminosyrer fandtes kun i små mængder.

Ved gennemdryp i granskove er der også registreret en berigelse af vandet med organiske forbindelser, nemlig svarende til 20-30 % af det uorganiske kvælstof i gennemdryppet. Dette fænomen antages i en vis udstrækning at skyldes lækning fra epifytiske laver, alger og bakterier (Gundersen 1989).

Millbank og Kershaw (1973) referer flere undersøgelser, der påviser tilstedeværelse i laver af enzymer, som kan nedbryde organiske kvælstofforbindelser, og der er resultater, som tyder på, at laver i en vist udstrækning kan 'genbruge' deres eget kvælstof ved at nedbryde gamle thallusdele. Disse resultater understøttes af Crittenden (1989), som beskriver, hvorledes Rensdyrlav-måtter, der var berøvet kontakten med de ældre, ikke fotosyntetiserende dele havde en ringere tilvækst end intakte thalli.

Tabel 3. Kvælstofindhold (0/00) i epifytiske laver angivet i litteraturen.

Lavart	Lokalitet	Kvælstof	Kilde
<i>Alectoria sarmentosa</i>	Syd Norge	5	Solberg 1967
<i>Evernia prunastri</i>	-do.-	10	-do.-
<i>Ramalina fraxinea</i>	-do.-	12	-do.-
<i>R. fastigiata</i>	-do.-	12	-do.-
<i>Lobaria pulmonaria</i>	-do.-	26	-do.-
<i>L. scrobiculata</i>	-do.-	31	-do.-
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	-do.-	12	-do.-
<i>Hypogymnia physodes</i>	ved Oslo	11	-do.-
<i>Usnea hirta</i>	Canada	8	Scotter 1965
<i>Bryoria jubata</i>	-do.-	7.9	-do.-
<i>Alectoria sarmentosa</i>	Nø-Finland	5.4	Pulliainen 1971
<i>Bryoria jubata</i> (coll.)	-do.-	7.7	-do.-
<i>Lobaria pulmonaria</i>	Scotland	27	Millbank & Kershaw 1973*
<i>Evernia prunastri</i>	-do.-	8.4	-do.-
<i>Hypogymnia physodes</i>	-do.-	4.9	-do.-
<i>Parmelia sulcata</i>	-do.-	9.6	-do.-
<i>Physcia adscendens</i>	-do.-	10-13	-do.-
<i>Usnea subfloridana</i>	-do.-	5.8	-do.-
<i>Hypogymnia physodes</i>	NV-Frankrig	15	Massé 1966b
<i>Hypogymnia physodes</i>	U.S.A. New Hamp.	7.9	Lang et al. 1980
<i>H. krogii</i>	-do.-	10.7	-do.-
<i>Platismatia glauca</i>	-do.-	10.1	-do.-
<i>Pseudevernia cladonia</i>	-do.-	11.6	-do.-
<i>Usnea</i> spp.	-do.-	12	-do.-
<i>Hypogymnia</i> spp.	-do.-	16.9	Pike 1978
<i>Parmelia sulcata</i>	-do.-	17.2	-do.-
<i>Usnea subfloridana</i>	U.S.A. Oregon	14.8	-do.-
<i>Alectoria sarmentosa</i>	Canada Br. Col.	5.5	-do.-
<i>Physcia tenella</i>	Danmark Amager	26.4	Nielsen 1989
<i>Evernia prunastri</i>	Danmark Nødebo	11	-do.-
<i>Hypogymnia physodes</i>	Danmark Asserbo	10	-do.-
<i>Platismatia glauca</i>	-do.-	10.5	-do.-
<i>Cetraria chlorophylla</i>	-do.-	11.1	-do.-
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	-do.-	15.1	-do.-

* Data fra Hitch 1971.

8.3 Kvælstofindhold i laver

Den forskningsmæssige interesse for kvælstof i forbindelse med laver har som nævnt været knyttet til nogle lavarters evne til at binde luftens kvælstof, som derved efterhånden bliver gjort tilgængeligt for økosystemets øvrige planter. En meget lang række afhandlinger behandler denne kvælstoffiksering, som skyldes indhold af cyanobakterier (blågrønalger)(se Millbank & Kershaw 1973).

I Danmark er epifytiske lavarter med cyanobakterier få og sjældne og spiller ingen kvantitativ rolle.

Der foreligger kun spredte oplysninger om lavers totale indhold af kvælstof, hvoraf nogle er angivet i Tabel 3 og 4 (Massé 1966a, 1966b, Solberg 1967, Millbank & Kershaw 1973, Syers & Iskandar 1973).

Tabel 4. Kvælstofindhold (0/00) i jordboende laver angivet i litteraturen.

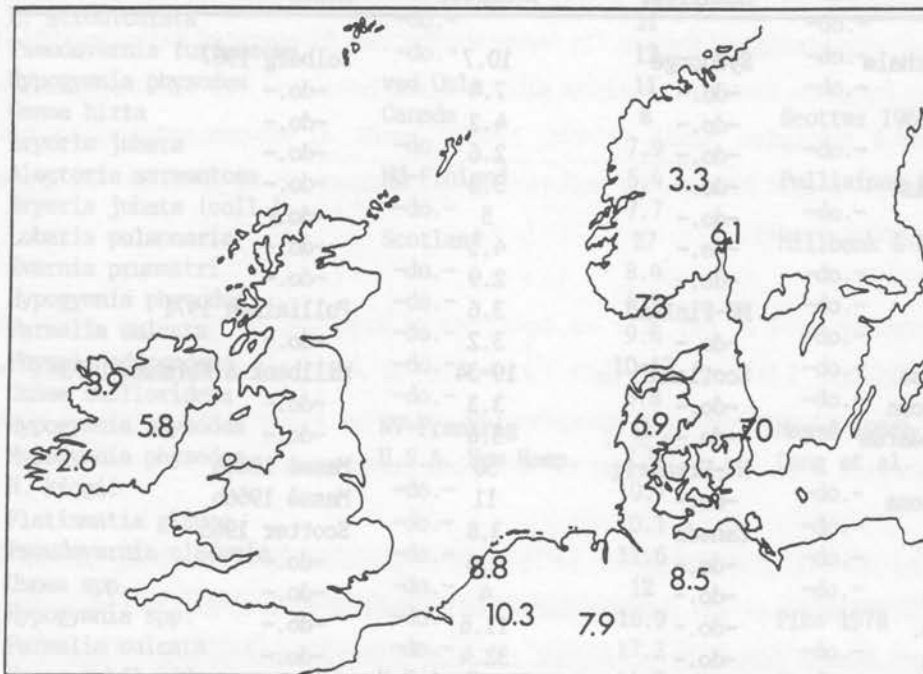
Lavart	Lokalitet	Kvælstof	Kilde
<i>Stereocaulon paschale</i>	Syd Norge	10.7	Solberg 1967
<i>Cetraria delisei</i>	-do.-	7.4	-do.-
<i>C. islandica</i>	-do.-	4.2	-do.-
<i>C. nivalis</i>	-do.-	2.6	-do.-
<i>Cladonia stellaris</i>	-do.-	3.8	-do.-
<i>C. arbuscula</i>	-do.-	5	-do.-
<i>C. rangiferina</i>	-do.-	4.5	-do.-
<i>C. mitis</i>	-do.-	2.9	-do.-
<i>C. stellaris</i>	NO-Finland	3.6	Pulliainen 1971
<i>C. rangiferina</i>	-do.-	3.2	-do.-
<i>Peltigera aphthosa</i>	Scotland	19-34	Millbank & Kershaw 1973*
<i>Cladonia portentosa</i>	-do.-	3.3	-do.-
<i>Coelocaulon aculeatum</i>	-do.-	3.8	-do.-
<i>Peltigera canina</i>	NV-Frankrig	50	Massé 1966a
<i>Cladonia portentosa</i>	-do.-	11	Massé 1966b
<i>C. stellaris</i>	Canada	3.8	Scotter 1965
<i>C. rangiferina</i>	-do.-	4.6	-do.-
<i>Cetraria nivalis</i>	-do.-	4	-do.-
<i>Stereocaulon spp.</i>	-do.-	11.6	-do.-
<i>Peltigera canina</i>	-do.-	32.4	-do.-
<i>P. aphthosa</i>	-do.-	29	-do.-
<i>Cladonia stellaris</i>	-do.-	2.7	Scotter 1972
<i>C. mitis</i>	-do.-	2.4	-do.-
<i>C. rangiferina</i>	-do.-	2.7	-do.-
<i>Cetraria nivalis</i>	-do.-	2.2	-do.-

* Data fra Hitch 1971.

Det er karakteristisk, at laver med cyanobakterier, f.eks. slægten *Peltigera*, generelt har et større indhold af kvælstof end laver med grønalger. Ligeledes indeholder epifytiske laver gennemgående 2-4 gange så meget kvælstof som jordboende arter, hvilket antagelig svarer til en større kvælstofdeposition på stammer og grene. Massé (1966b) angiver, at arter på eutrofieret sten indeholder 40-55 0/0 kvælstof, hvilket givetvis er en følge af tilførsel fra fugleklatter.

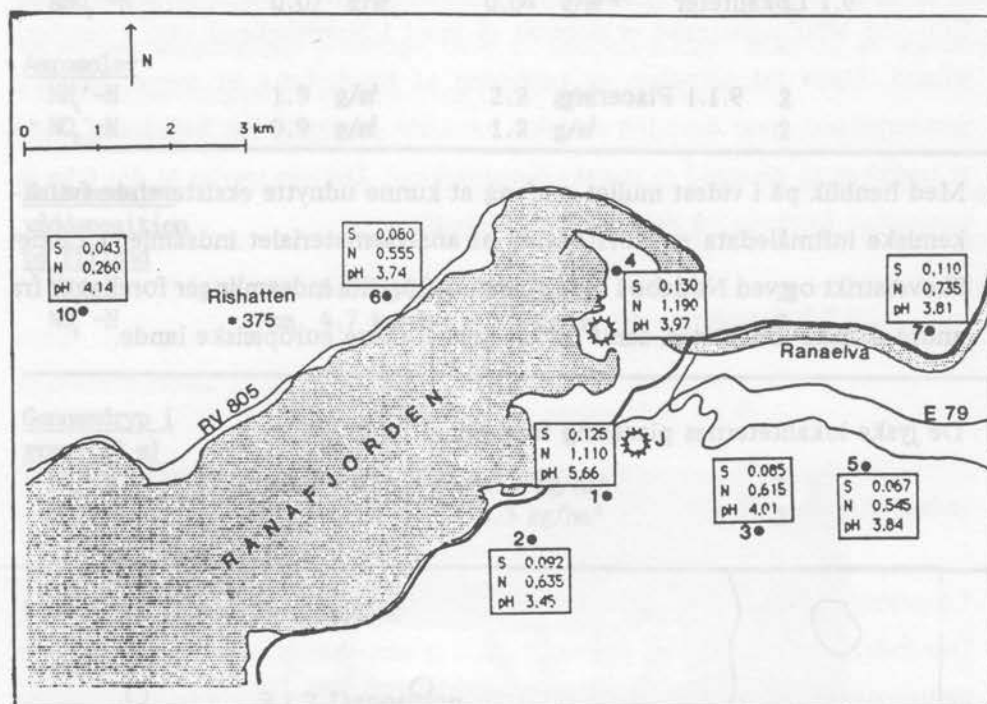
De mest indgående kvælstofanalyser er foretaget på rensdyrlaver i forbindelse med undersøgelser af disses næringsværdi for rensdyr (Scotter 1965, 1972, Pulliainen 1971, Carstairs & Oechel 1978, Pakarinen 1981)

I Danmark er der analyseret et stort antal rensdyrlaver med henblik på at vurdere kvælstofbelastningen på likénheder (Søchting & Johnsen 1987). En sammenligning med kvælstofindholdet i rensdyrlaver i andre egne af Nordvesteuropa viser en fin sammenhæng mellem den forventede kvælstofdeposition og indholdet i rensdyrlaverne (Fig. 12)(Søchting & Johnsen 1990).



Figur 12. Kvælstofindhold (0/0) i *Cladonia* (Rensdyrlav) fra Nordvesteuropa. Tallene repræsenterer gennemsnit af forskellige antal analyser. Efter Søchting & Johnsen 1990.

Tilsvarende er der analyseret kvælstof i *Hypogymnia physodes* i forbindelse med en undersøgelse af laver omkring et metalværk i Mo-i-Rana (Hilmo & Wang 1989). Her blev der påvist en 4 ganges forøgelse af kvælstofindholdet i umiddelbar nærhed af værket (Fig. 13).



Figur 13. Totalt kvælstofindhold omkring jernværk og koksværk i Mo-i-Rana. Kvælstof er angivet i procent udfor N. Efter Hilmo & Wang 1989.

I Finland udførte Kauppi (1976) en række kvælstofanalyser af laver i forbindelse med stærkt forurenende papirfabrikker. Han transplanterede *Cladonia stellaris* (Stjerne-Rensdyrlav) til omgivelserne af en gødningsfabrik og undersøgte bagefter effekter på cytologi og stofindhold. Han undersøgte tillige effekter på in-situ *Hypogymnia physodes* og konstaterede også hos denne art bl.a. øget kvælstofindhold, øget algecelletal og øget klorofylindhold i nærheden af fabrikken (Kauppi 1980a, 1980b). Laboratorieforsøg resulterede i de samme effekter.

Symptomerne hos *Hypogymnia physodes* er blevet bekræftet af Holopainen (1983, 1984) ved undersøgelse af både transplanterede og in-situ thalli i nærheden af gødningsfabrik.

EGNE UNDERSØGELSER

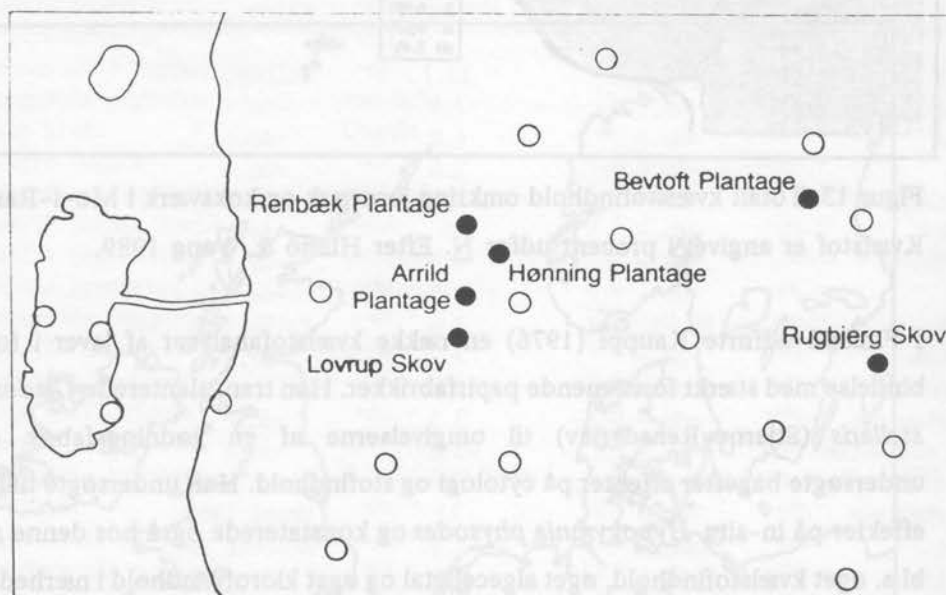
9 Materialer og metoder

9.1 Lokalteter

9.1.1 Placering

Med henblik på i videst muligt omfang at kunne udnytte eksisterende fysisk-kemiske luftmåledata er størstedelen af analysedata indsamlet i Lindet Skovdistrikt og ved Nødebo i Nordsjælland. Spredte indsamlinger foreligger fra andre danske lokaliteter, samt fra en række andre europæiske lande.

De jyske lokaliteternes placering fremgår af Figur 14.



Figur 14. Placering af sydvestjyske skove, hvorfra der er samlet analysedata. Cirkler angiver mindre byer.

Tabel 5. Koncentrationer og deposition af kvælstofforbindelser ved Frederiksborg, Lindet og Ulborg. Efter Hovmand & Bille-Hansen 1988 (1) og Hovmand 1989 (2).

	Frederiksborg	Lindet	Kilde
<u>Gasser</u>			
NH ₃ -N	0.14 g/m ³	1.3 g/m ³	2
NO ₂ -N	4.52 g/m ³	2.21 g/m ³ *	1
HNO ₃ -N	0.07 g/m ³	0.04 g/m ³ *	1
<u>Aerosoler</u>			
NH ₄ ⁺ -N	1.9 g/m ³	2.2 g/m ³	2
NO ₃ ⁻ -N	0.9 g/m ³	1.2 g/m ³	2
<u>Bulkopsamlet våddeposition på friland</u>			
NH ₄ ⁺ -N	ca. 5.3 kg/ha	6.5 kg/ha	2
NO ₃ ⁻ -N	ca. 4.7 kg/ha	5.5 kg/ha	2
<u>Gennemdryp i gran (10 m)</u>			
NH ₄ ⁺ -N	10.7 kg/ha	11.7 kg/ha*	1
NO ₃ ⁻ -N	9.1 kg/ha	8.3 kg/ha*	1

* Data fra Ulborg Skovdistrikt

9.1.2 Deposition

Der er betydelige vanskeligheder forbundet med at måle en lang række luftforurenings-elementer. Specielt er der problemer med at adskille de meget reaktive gasser ammoniak og salpetersyre fra aerosoler med ammonium og nitrat.

Luftforureningen måles af Danmarks Miljøundersøgelser i tre landområder, nemlig i Frederiksborg, Lindet og Ulborg skovdistrikter. De væsentligste indsamlinger af *Hypogymnia* er lagt i tilknytning til de to første stationer, som adskiller sig mest med hensyn til sammensætning af luftforureningen (Tab. 5).

På en række lokaliteter, bl.a. ved de ovennævnte målestationer, registreres mængden af stoffer, som afsættes via nedbøren (Tab. 5). Regnvandet med de våddeponerede stoffer opsamles i tragte, der dog også kan modtage nogen tørafsæt forurening. Metoden betegnes 'bulk-opsamling'.

Gennemdryp, d.v.s. vand, som er opsamlet under trækronerne, registreres ved de tre målestationer af Det Forstlige Forsøgsvæsen. Da tallene for Lindet endnu ikke er tilgængelige er der i Tabel 5 angivet værdier fra det sammenlignelige Ulborg Distrikt i Vestjylland.

I Tabel 5 skal specielt bemærkes, at ammoniakkoncentrationerne er næsten 10 gange større på målestationen i Sønderjylland, mens koncentrationerne af NO_2^- og HNO_3^- gasserne er dobbelt så store i Nordsjælland som i Sønderjylland. Disse tal afspejler, at tætheden af husdyrbrug er meget større i Sønderjylland, hvor desuden en lokal nærkilde antagelig har betydning, samt at trafikken til gengæld er størst i Nordsjælland. Det ses iøvrigt at der ikke er væsentlige forskelle på den målte våddeposition.

9.2 Indsamlings- og analysemetoder

9.2.1 Indsamling af lavprøver

Indsamlingen af prøver foregik i juni, oktober og november 1989.

Lavprøverne indsamledes generelt blandt individer med diameter på 1.5–2 cm. Der indsamledes hvad der svarer til ca. 2 g tørt thallus, som lagdes i brune papirposer (grønthandlerposer). Det sikredes at poserne med indhold kunne tørre ud, hvorefter materialet blev opbevaret i kølerum op til 30 dage indtil analyse. Det må dog antages, at opbevaring ved stuetemperatur i længere perioder vil være uden betydning for kvælstofanalyserne.

Det tilstræbtes normalt at indsamle 10 lavprøver per analysesæt. Hyppigt tillod forekomsten dog ikke så stort antal replikater, hvorfor der da blev taget et mindre antal prøver. I rapporten optræder tillige en del enkeltprøver, som er indsamlet i forbindelse med andre gøremål, og hvor tiden ikke har tilladt et større antal replikater.

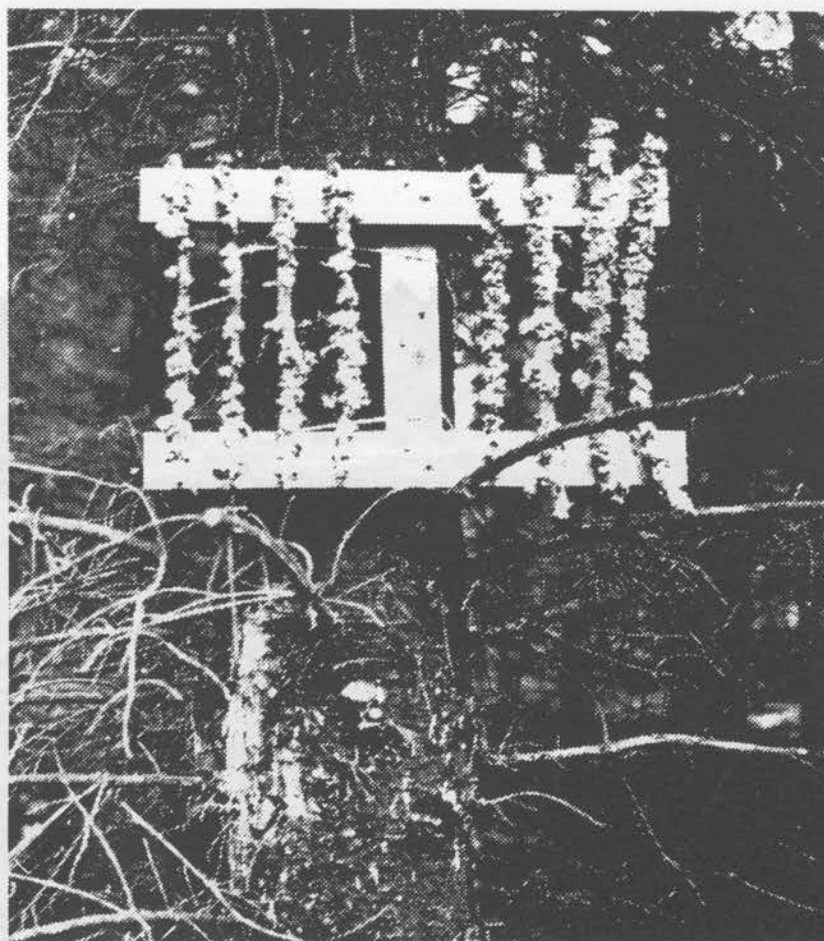
9.2.2 Kjeldahl-analyser

Til kvælstofanalyserne afvejedes 500 mg rent thallus, som udtoges tilfældigt af prøven. Det totale kvælstofindhold bestemtes ved semimikro-Kjeldahl på en Kjeltex 1030 analysator. Analyse-usikkerheden anses at ligge på få procent.

9.3 Transplantationer

Når man skal benytte epifytisk in-situ vegetation til vurdering af kvælstofafsætning kan det være en ulempe, at kvælstofindholdet i det enkelte lavthallus er så betinget af træstørrelse, kronestruktur, drypmønster m.v. Det er derfor undertiden hensigtsmæssigt at benytte standardiserede transplantater, som placeres på ensartet måde. Sådanne transplantater kan bruges til at skaffe viden om afsætningen i særlige dele af kronen o.lign., eller til at vurdere kvælstofafsætningen på steder, hvor træer er fraværende.

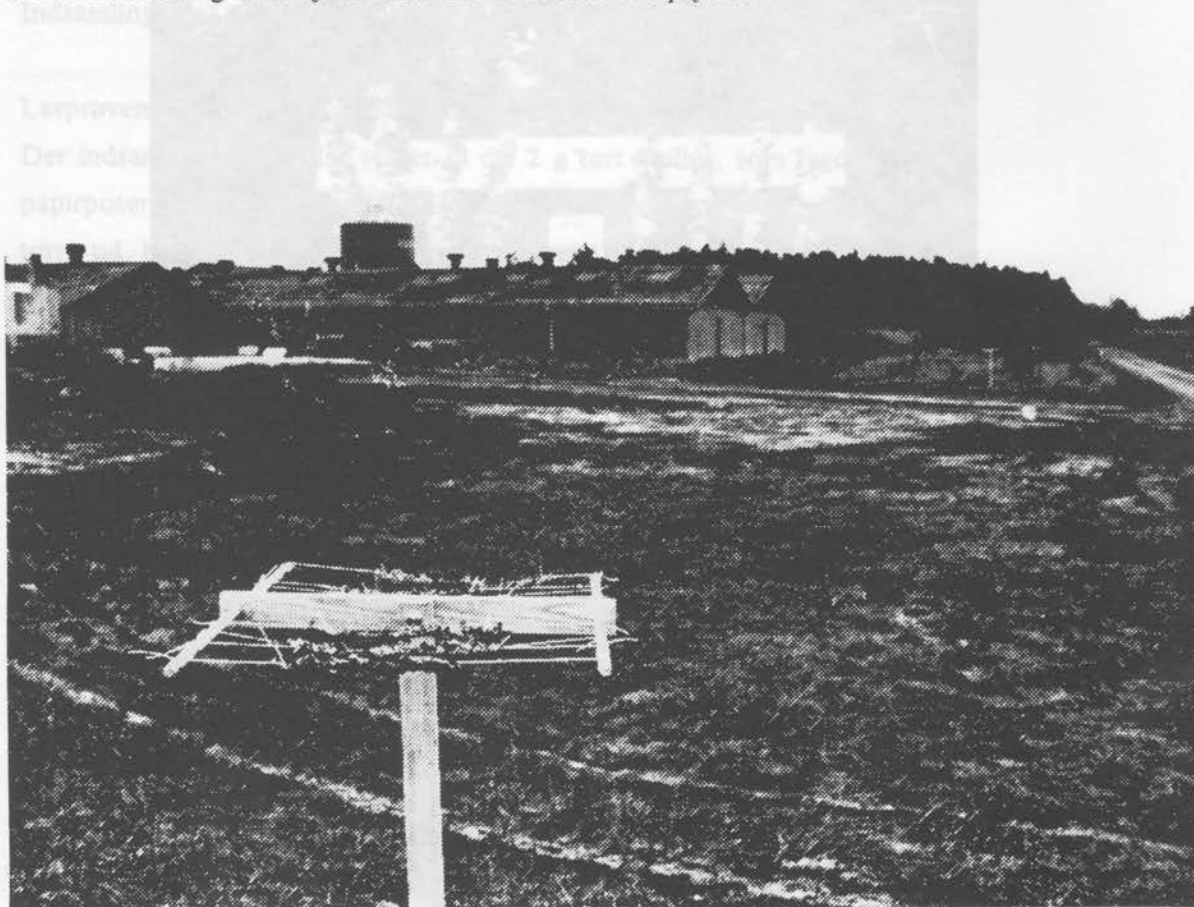
I Lovrup Skov og Arrild Plantage blev der på træer af forskellig højde og placering opsat rammer med hver otte lærkekviste (Fig. 15), som indsamledes i Asserbo Plantage ved Brantebjerglinien (Fig. 27). Kvistene var bevoksede med *Hypogymnia physodes*, der ved indsamlingen havde et gennemsnitligt kvælstofindhold på 13.9 0/00.



Figur 15. Transplantater fastgjort på stamme af Rødgran i Arrild Skov.

Rammerne opsattes den 21. november 1989 og blev nedtaget den 12. juli 1990. Placeringen var enten horisontalt på grene i ca. 1.5 m's højde eller vertikalt bundet til stammen. På en enkel lokalitet placeredes rammen på nogle lave stubbe.

I en kortere periode, nemlig fra 21. november 1989 til 26. marts 1990, dvs. ca. fire vintermåneder var der opsat fritstående transplantater på standere i Lovrup Skov og omkring det svineproducerende landbrug Skovgården. Formålet var at vurdere mulighederne for ved hjælp af transplantater at få et relativt mål for kvælstofafsætningens størrelse omkring en punktkilde. Med henblik på denne metodeudvikling blev der valgt et svineproducerende landbrug, idet udluftningen herfra også i vinterhalvåret medfører betydelige mængder af kvælstofforbindelser, bl.a. ammoniak. Transplantationsstanderne udformedes som fjernsynsantennner af træ, på hvilke lærkekvistene opspændtes med silikoneslanger (Fig. 16). Hensigten med denne konstruktion var i videst muligt omfang at undgå, at fugle satte sig på kvistene og forårsagede forstyrrende kvælstofafsætning. Det synes som om dette mål er opfyldt.



Figur 16. Transplantater på stander ved Skovgården, Arrild.

Foruden standerne i Sønderjylland opsættes kontrolstandere i Asserbo Plantage, samt standere i midterrabbatten på sydmotorvejen ved Brøndby og 500 m syd herfor ved Søndermasten. Endvidere opsættes to standere hos forfatteren på midtsjælland (i Hvalsø) med henblik på kontrol af at fugle undgik kvistene.

10 Resultater og diskussion

10.1 Kvælstofafvaskning

Den eneste større undersøgelse af kvælstofdeposition på epifytiske lavthalli er foretaget i det sydlige Californien af Boonpragob et al. (1989).

De transplanterede laven *Ramalina menziesii* til egegrene, idet denne art danner løst hængende, perforerede, guirlandelignende thalli med en stor overflade, og dermed effektivt skulle kunne akkumulere tørdeponerede kvælstofforbindelser.

Med to-ugers intervaller indsamlede de prøver, som vaskedes i deioniseret vand i 30 sekunder. Vaskevandet analyseredes herefter for bl. a. ammonium og nitrat. Resultaterne viste, at betydelige mængder kvælstofforbindelser, der akkumuleredes på thalli på den forurenede station i tørre sommerperioder, kunne afvaskes ved skylning i 30 sekunder. Der udførtes ikke kvælstofmålinger på thalli.

For at undersøge om de i Danmark målte kvælstofindhold var stabile, og ikke varierede med tiden, der var forløbet siden sidste nedbørsperiode, udførtes et vaskeforsøg med *Hypogymnia physodes*.

10.1.1 Metode

Thallusportioner på 200 mg af *Hypogymnia physodes* fra Lærk ved Brantebjerglinien i Asserbo Plantage analyseredes for kvælstofindhold efter rystning i 20 ml deioniseret vand i henholdsvis 30 sek., 1 min. og 5 min.. Der brugtes 10 replikater.

Tabel 6. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* før og efter vask i forskellige tider.

	Kvælstofindhold	Antal
Kontrol, uvasket	12.1 ± 0.7	10
Vask i 30 sek.	11.9 ± 0.6	10
Vask i 1 min.	12.5 ± 0.7	10
Vask i 5 min.	11.5 ± 0.3	10

10.1.2 Resultater og diskussion

Resultaterne i Tabel 6 viser, at det ikke har været muligt at afskylle kvælstof-forbindelser i en sådan grad, at der er signifikante forskelle i det tilbageværende kvælstofindhold. På trods af at der forud for indsamlingen af thalli havde været en lang tør periode, må det derfor antages, at deponeret kvælstof er blevet optaget i thallus. Til forskel fra Californien er nedbøren i Danmark jævner fordelt, luftfugtigheden generelt højere. Det synes derfor ikke sandsynligt at der i Danmark vil opstå større kortvarige fluktuationer i de målte kvælstofindhold.

10.2 Thallusstørrelse

For at undersøge thallusstørrelsens betydning for kvælstofindholdet indsamledes fra 30 m høje bøgetræer i Grib Skov thalli af *Hypogymnia physodes* i tre diameterklasser, hhv. < 10 mm, 10-20 mm, > 20 mm. Efterfølgende undersøgtes kvælstofindholdet i thalli med over og under 10 mm i diameter indsamlet fra 15 m høje rødgraner i Asserbo Plantage.

10.2.1 Resultater

Kvælstofindholdet for de tre størrelsesklasser på Bøg er vist i Tabel 7. Der ses en stærk sammenhæng mellem kvælstofindhold og thallusstørrelse med de laveste værdier for de største thalli. Kvælstofindholdet i de største thalli er signifikant forskellige fra indholdet i thalli under 10 mm. Værdierne for de to størrelsesklasser for Rødgran er angivet i Tabel 8 og viser ligeledes højest kvælstofindhold i de mindste thalli.

Tabel 7. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* i tre thallusstørrelser. Fra Bøg (30 m) i Nødebo (parcel 130). Indsamlingshøjde: 0.5-2 m.

Gruppenummer	Thallusdiameter (mm)	Prøveantal	Kvælstofindhold
7	0-10	5	16.5 ± 2.9
8	10 - 20	5	14.1 ± 0.5
9	> 20	5	10.2 ± 2.5

Tabel 8. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* i to thallusstørrelser. Fra Rødgran (15 m) i Asserbo Plantage. Indsamlingshøjde: 0.5-2 m.

Gruppenummer	Thallusdiameter (mm)	Prøveantal	Kvælstofindhold
228	< 1 cm	5	19.9 ± 0.9
229	> 1 cm	5	16.3 ± 2.0

10.2.2 Diskussion

Det større kvælstofindhold i små thalli af *Hypogymnia physodes* afspejler antagelig, at yngre thallusdele her udgør en større del af biomassen. Det er kendt fra tidligere undersøgelser, at kvælstofindholdet ikke altid er af samme størrelse i alle dele af thallus. I rensdyrlaver er indholdet størst i de yngste dele (Carstairs & Oechel 1978, Pakarinen 1981, Søchting & Johnsen 1987, Crittenden 1989), svarende til at disse dele også har det største klorofylindhold (Kärenlampi 1970) og antagelig også det tætteste plasma.

I en normal population af *Hypogymnia physodes* vil de fleste thalli være udvoksede, dvs. 1.5 cm eller derover i diameter. Disse thalli har det laveste indhold af kvælstof og må antages bedst at kunne afspejle en eventuel kvælstofberigelse. Da hertil kommer, at indsamling af unge thalli er meget tidsrøvende, er der i alle prøvetagninger indsamlet udvoksede thalli, som normalt har været omkring 15 mm i diameter. Det er hensigtsmæssigt at standardisere størrelsen mest muligt.

Tabel 9. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* indsamlet på tre tidspunkter fra 8 m høje lærketræer i Asserbo Plantage ved Brantebjerglinien. Indsamlingshøjde: 0.5-2 m.

Gruppe	Indsamlingsdato	Antal	Kvælstofindhold
228-230	28.4.1989	15	12.6 ± 1.3
93	16.11.1989	10	13.9 ± 3.0
118	16.11.1989	10	13.4 ± 0.5
149	9.5.1990	10	14.0 ± 1.1
232	9.5.1990	10	14.2 ± 1.2

10.3 Årstidsvariation

Årstidens indflydelse på kvælstofindholdet i *Hypogymnia physodes* er undersøgt ved fire indsamlinger fra Lærk i Asserbo Plantage (Tab. 9). Resultaterne tyder ikke på nogen signifikant årstidsvariation.

10.4 Thalli uden dryppåvirkning

Jordboende laver modtager kun lidt tørabsat kvælstof, da luftbevægelsen ved jordoverfladen er ringe. Det må derfor antages, at kvælstofindholdet for disse laver i høj grad afspejler våddepositionen. Noget tilsvarende gælder for epifytter, som vokser lavt, og som ikke modtager gennemdryp ovenfra. Mængden af tørdeposition vil her afhænge af koncentrationen i luften og voksestedets vindeksponering. For at få et mål for det våddeponerede kvælstof er der derfor indsamlet *Hypogymnia physodes* fra kviste og grene, som har befundet sig i knæhøjde, i relativt læ og uden ovenvoksende grene, der kunne medføre gennemdryp med beriget regnvand (Fig. 17).



Figur 17. Lavbevoksning med *Hypogymnia physodes* i Asserbo Plantage.

Tabel 10. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes*, der ikke har modtaget kronedryp.
Indsamlingshøjde: 50 cm.

Gruppe	Lokalitet og biotop	Antal Kvælstofindhold	
25	Hønning Plantage (p. 167). Døde fyrregrene på jord	10	11.7 ± 1.5
26	Stensbæk Plantage. Døde fyrregrene på jord	7	13.6 ± 1.0
121	Rømø Sønderland. Døde fyrregrene på jord	10	12.8 ± 1.4
	Sønderjylland (samlet)	27	12.6 ± 1.6
126	Asserbo Plantage v. kystklitter. Døde fyrregrene på jord	10	10.1 ± 1.3
127	Asserbo Plantage, Stængehuset. Døde fyrregrene på jord	10	10.0 ± 0.9
128	Asserbo Plantage, Lerbjerg. Døde fyrregrene på jord	10	10.1 ± 1.1
	Asserbo Plantage (samlet)	30	10.1 ± 1.1
123	Bromme Plantage, Hjortevejen. Små døde graner	6	12.1 ± 2.1
Enkeltværdier			
	Klim Strand	1	10.0
	Lodbjerg Plantage	1	9.5
	Røstrimme	1	7.5
	Glæde	1	11.1
	Hoverdal Plantage	1	11.9
	Baunshøje	1	15.2
	Lønborg Hede	1	16.2

10.4.1 Resultater

Tabel 10 viser resultaterne af analyser foretaget på knæhøje kviste, der ikke modtager gennemdryp.

10.4.2 Diskussion

Ud fra de større serier ses det, at der ikke er signifikante forskelle mellem kvælstofindholdene på de jyske lokaliteter. Taget under ét er de sønderjyske værdier signifikant højere end værdierne fra Asserbo Plantage. Bromme Plantage viser tendens til mellemliggende værdier, der dog ikke er signifikant forskellige fra de andre områders. Resultaterne er i overensstemmelse med, at våddepositionen af kvælstof antages i hovedsagen at stamme fra fjerntransporteret ammonium og nitrat i aerosoler. Disse har ifølge modelberegninger største værdier i den sydvestlige del af landet og laveste værdier i den nordøstlige del (Fig. 2).

Resultaterne understøttes af enkeltanalyser fra klit- og hedelokaliteter (Tab. 10). Her ses det, at Nordvestjylland ligger meget lavt, mens værdien i

Hoverdal, som er en likéhede midt inde i en stor plantage, stemmer overens med Hønning og Stensbæk Plantager. Baunshøje og Lønborg Hede ligger i meget ammoniakudsendende områder i Ringkøbing Amt.



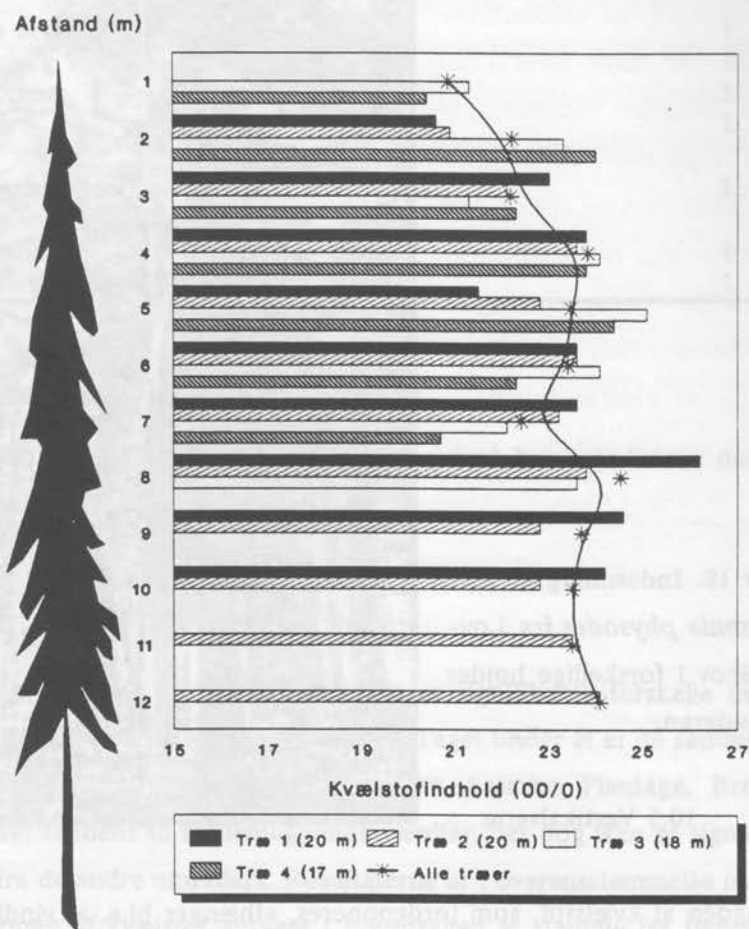
Figur 18. Indsamling af *Hypogymnia physodes* fra Lovrup Skov i forskellige højder på Rødgran.

10.5 Vertikalserie

Mængden af kvælstof, som tørdeponeres, afhænger bl.a. af vindhastigheden. I en tæt granskov vil de nedre dele af kronen være relativt beskyttede, mens den opragende kronedel er mere vindeksponeret og derfor udsat for en større mængde tørabsat kvælstof. Imidlertid vil nedbøren afvaske noget af det tørabsatte kvælstof, som opløst i stammeløb og gennemdryp vil blive ført til lavere dele af træet.

Hypogymnia physodes udsættes for kvælstof både via tørdepositionen og via regnvandet med deri opløste forbindelser.

For at belyse afsætningen i forskellige dele af kronen foretoges indsamling af *Hypogymnia physodes* i vertikalserier med én-meters intervaller på fire velvoksne rødgraner i Lovrup Skov (Fig. 18). Herudover undersøgte højdevariationen på nogle mindre graner i Nødebo samt tre bjergfyr på nogle få m i Asserbo Plantage. Endvidere foretoges transplantationer til grene i to forskellige højder i hvidgraner i skovbryn ved Lovrup Skov.



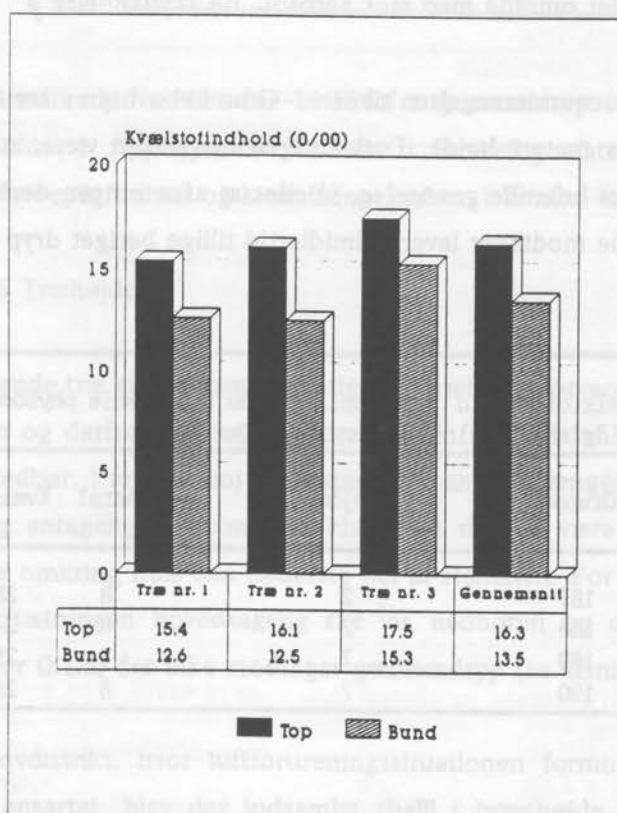
Figur 19. Kvælstofindhold i *Hypogymnia physodes* i forskellige afstande fra trætoppe i fire træer, hvis højde er angivet i parentes. Hver søjle repræsenterer en enkelt prøve.

10.5.1 Resultater

Resultaterne fra de fire træer, som er undersøgt i Lovrup Skov, er angivet i Figur 20. Serien strækker sig fra de højest siddende thalli 1-2 m fra trætoppene og ned til den grenløse del af stammerne. For alle træer er der et mindre kvælstofindhold i thalli fra den øverste indsamling. Hvis der udregnes gennemsnit for indholdet i ens afstande fra trætoppen fås ligeledes mindst værdi i øverste kategori.

Resultaterne fra Bjergfyr i Asserbo Plantage er opført i Figur 21. Der blev her indsamlet prøver fra henholdsvis højeste og laveste forekomster.

Kvælstofindholdet i transplantater i forskellig højde er vist i Tabel 11. Det ses, at den største kvælstofberigelse er sket i de nedre dele af kronen.



Figur 20. Kvælstofindhold i *Hypogymnia physodes* fra ca. 2 m høje Bjergfyr i Asserbo Plantage. Indsamlinger fra henholdsvis 2 m og 40 cm over jorden for tre træer.

10.5.2 Diskussion

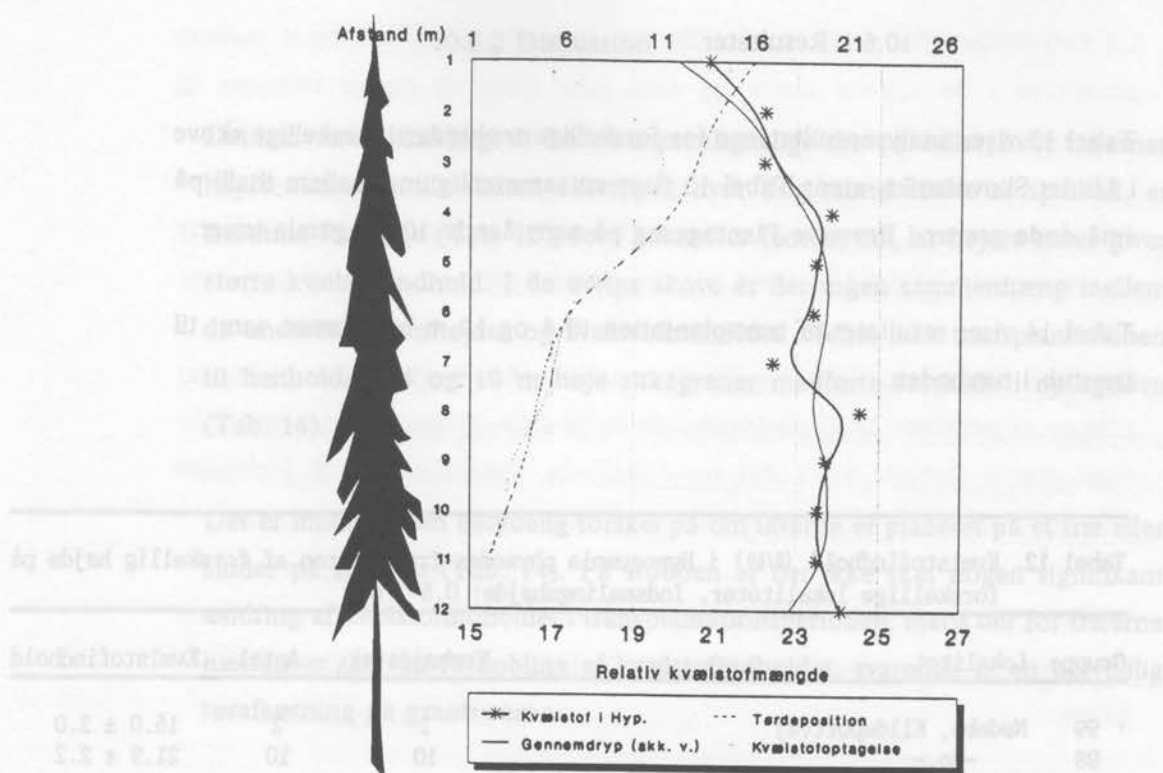
Analyserne fra to højder af små Bjergfyr viser, at der er mindst kvælstofindhold i de jordnære thalli. Dette er i overensstemmelse med resultater fra New Hampshire (Lang et al. 1980), hvor kvælstofindholdet i epifytiske laver på Ædelgran (*Abies balsamea*) øgedes med højden over jorden.

For de højere træer tyder analyserne på det modsatte, nemlig, at de allerøverste thalli har mindre kvælstofindhold. En mulig forklaring herpå kan være, at tøraftsætningen nok er størst i kronens øvre dele, men at regnvand, der drypper gennem kronen beriges undervejs gennem grenlagene, hvor der samtidig sker en kvælstofoptagelse i nålene svarende til nålemængden i kronedelen. Denne hypotese er illustreret skematisk på Figur 21. Den ensartede koncentration op gennem kronen er i modstrid med resultaterne fra New Hampshire (Lang et al. 1980), hvor træerne dog var mindre (4–11 m) og voksede lige under trægrænsen i et område med stor aerosol- og skydannelse.

Transplantationsundersøgelsen til Hvid-Gran i skovbryn viser et større optag i to end i syv meters højde. Forklaringen herpå kan være, at begge højder ligger over det luftstille grænselag, således at afsætningen derfor er ens. Ved den lave højde modtager laverne imidlertid tillige beriget dryp ovenfra.

Tabel 11. Kvælstofindhold i transplanterede *Hypogymnia physodes* i forskellig højde i Hvidgran (12 m) i skovbryn ved Skovgården.

Gruppe	Højde	Antal	Kvælstofindhold 0/00
187	2	8	28.2 ± 1.8
188	2	8	27.3 ± 1.8
189	7	8	25.7 ± 2.4
190	7	8	26.7 ± 3.2



Figur 21. Simulerede værdier for kvælstof i gennemdryp til forklaring af kvælstofindholdet i *Hypogymnia physodes* i forskellig afstand fra trætop. Forløbet af tørdepositionen og kvælstofoptagelsen i kronen er hypotetisk.

10.6 Træhøjde

For et fritstående træ kunne man med stigende træhøjde forvente en øget total tørdeposition og derfor også øget koncentration af kvælstof i den gennemdryppende nedbør. I en tæt, høj træbestand vil sammenhængen mellem højde og afsætning antagelig blive mindre klar, idet der vil være stærkt nedsat luftbevægelse omkring hele den nederste del af stammen. For helt små træer vil kvælstofafsætningen hovedsagelig ske via nedbøren og derfor svare til situationen for thalli, der ikke modtager gennemdryp (se afsnit 10.4).

I Lindet Skovdistrikt, hvor luftforureningssituationen formodedes at være nogenlunde ensartet, blev der indsamlet thalli i brysthøjde fra træer med højder fra én meter til 30 m.

Disse analyser blev suppleret med indsamlinger fra små, døde graner og nærvæd voksende 10 år gamle træer i Bromme Plantage.

10.6.1 Resultater

Tabel 12 viser analyseresultaterne for forskellige træhøjder i forskellige skove i Lindet Skovdistrikt, mens Tabel 13 viser en sammenligning mellem thalli på små døde graner i Bromme Plantage og på nærstående 10 år gamle træer.

Tabel 14 viser resultatet af transplantation til 4 og 10 m høje træer, samt til træstub i nærheden.

Tabel 12. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* fra Rødgran af forskellig højde på forskellige lokaliteter. Indsamlingshøjde: 0.5-2 m.

Gruppe	Lokalitet	Træhøjde(m)	Antal	Kvælstofindhold
99	Nødebo, Kildeportvej	1	2	15.0 ± 2.0
98	-do.-	10	10	21.9 ± 2.2
97	Stenholt Vang	10	11	19.8 ± 2.7
1	Nødebo, Skovskolen	12	6	17.6 ± 1.4
	Nødebo, Planteskolevej	12	12	16.1 ± 2.1
29	Stensbæk Plantage	5	10	16.7 ± 2.8
30	-do.-	12	11	20.7 ± 2.8
31	-do.-	12	10	13.5 ± 3.8
28	Hønning Plantage	7	10	20.1 ± 0.8
27	-do.-	12	9	20.0 ± 2.0
111	-do.-	ca. 30	2	25.4 ± 0.4
89	Rugbjerg Skov	3	11	21.3 ± 2.8
88	-do.-	8	23	21.9 ± 1.8
87	-do.-	ca. 25	10	22.9 ± 1.4
90	-do.-	ca. 30	11	22.9 ± 1.9
24	Bevtoft Plantage	17	10	22.6 ± 1.4
38-47	Renbæk Plantage	10	18	24.5 ± 1.9
92	Arrild Plantage og Lovrup Skov	15	10	23.2 ± 1.4
109	-do.-	15	10	24.3 ± 2.5
83	-do.-	20	5	23.2 ± 1.9
	Ovstrup Hede. Fortevej	6	1	19.9
	Ovstrup Hede. Ved andefarm	6	1	25.3
113	Hald Langskov	16	5	23.2 ± 1.8
125	Bromme Plantage	20	5	23.2 ± 1.2

10.6.2 Diskussion

Det har været vanskeligt at finde sammenlignelige skovparceller, hvor træernes højde varierede. Et sådant eksempel, hvor dog talmaterialet er spinkelt, er Bromme Plantage (Tab. 13), som bekræfter teorien om, at højere træer giver større kvælstofindhold. I de øvrige skove er der ingen sammenhæng mellem de undersøgte træhøjder og kvælstofindholdet. Heller ikke transplantationen til henholdsvis 4 og 10 m høje sitkagraner medførte forskelle i optagelsen (Tab. 14).

Der er imidlertid en betydelig forskel på om laverne er placeret på et træ eller sidder på en stub (Tab. 14). På stubben er der ikke sket nogen signifikant ændring af kvælstofindholdet i transplantationsperioden, mens der for træerne næsten er sket en fordobling af kvælstofindholdet, svarende til en betydelig tøraftsætning på grantræerne.

Tabel 13. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* fra ~~knæhøje~~ Rødgran og nærstående, 10 år gamle Rødgran. Indsamlingshøjde: 50 cm.

Gruppe	Lokalitet og biotop	Træhøjde	Antal	Kvælstofindhold
123	Bromme Plantage. Hjortevejen. Små døde Rødgr.	1 m	6	12.1 ± 2.1
124	Bromme Plantage. Hjortevejen. 10 år gl. Rødgr.	4 m	2	22.3 ± 1.6

Tabel 14. Kvælstofindholdet i *Hypogymnia physodes* transplanteret til stammer af Sitka-gran (brysthøjde) og stubbe ca. 10 cm over jorden.

Gruppe	Lokalitet og biotop	Antal	Kvælstofindhold
212	Arrild Plantage. 4 m høje Sitka-gran	8	22.9 ± 2.4
213	-do.-	8	22.5 ± 1.9
214	Arrild Plantage. 10 m høje Sitka-gran	8	20.7 ± 2.5
215	-do.-	8	22.5 ± 1.6
217	Arrild Plantage. Stub	8	12.6 ± 1.0

De betydelige, ofte statistisk signifikante, forskelle, som registreres mellem grupperne i de enkelte skove og som ikke synes at kunne relateres til træhøjder, må skyldes andre variable, der knytter sig til bestandene. Vindforhold er utvivlsomt af stor betydning, og her bliver også de omgivende skovparcellers størrelse og artssammensætning af betydning. Afstand til skovbryn og arealanvendelse af det åbne land udenfor vil også være væsentlige parametre.

Stensbæk Plantage og Hønning Plantage er dele af et stort skovkompleks, der antages at nedsætte tørafsætningen i de indre dele. Nogle meget store, 100-årige graner (gruppe 111), der var fritstillede, gav anledning til forhøjede kvælstofværdier i de få thallusprøver, det var muligt at samle.

Rugbjerg Skov og Bevtøft Plantage er relativt små skovområder med åbent land omkring. I disse skove ligger kvælstofværdierne temmelig ensartet på 22-23 ‰.

Thalli fra Renbæk Plantage ligger på 24.5 ‰ kvælstof, altså noget højere end Rugbjerg Skov og Bevtøft Plantage (signifikant på 5% niveau), hvilket måske skyldes, at de undersøgte træer voksede i et 500 m bredt bælte i skovens vestkant med frie landbrugsarealer udenfor.

Arrild Plantage og Lovrup Skov har ligeledes ganske høje koncentrationer, mellem 23 og 24.5 ‰. Arsagen hertil er antagelig, at der indenfor en afstand af ca. 1500 meter ligger et svineproducerende landbrug. Danmarks Miljøundersøgelses luftmålestation, som ligger i Lovrup Skov, kan da også registrere ganske høje ammoniakkoncentrationer, der formodes bl.a. at stamme herfra.

Hald Langskov ved Viborg og Bromme Plantage ved Sorø ligger begge i intensive landbrugsområder, der kan forklare kvælstofindholdet på 23 ‰. De relativt få prøver kan dog ikke umiddelbart tages som udtryk for regionale niveauer.

111	Hald Langskov	15	5	23.2 ± 1.8
125	Bromme Plantage	20	5	23.2 ± 1.8

10.7 Skovbrynseffekt

Skovbryn udsættes for en betydelig vindpåvirkning og en tilsvarende stor tørafsætning. Med henblik på at undersøge hvor langt denne effekt kan spores ind i skoven foretoges prøvetagning i to serier i henholdsvis Lovrup Skov og Renbæk Plantage, idet der blev taget prøver i 50 m intervaller fra skovbrynene.

Det var vanskeligt at finde velegnede analyseområder til undersøgelse af ændringer i afsætningen i de første 25 m af skovkanten, da de fleste skovbryn har anden træartsmæssig sammensætning end den bagvedliggende skov. Ydermere er der normalt for skygget bag skovbrynet til at *Hypogymnia physodes* kan forekomme.

Der blev tillige taget prøver fra et stærkt eksponeret skovbryn af hvidgran, som er sammenligneligt med et levende hegn.

Til vurdering af skovbrynseffekten blev der transplanteret rammer med *Hypogymnia physodes* til 12 m høje rødgraner i Lovrup Skov syd for den svineproducerende Skovgården. Rammerne placeredes lodret på stammer henholdsvis 0, 25, 50 og 75 m fra skovbrynet.

Tabel 15. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* i forskellig afstand fra skovbryn. Indsamlingshøjde 0.5-2 m.

Gruppe	Lokalitet og biotop	Afstand fra bryn (m)	Antal	Kvælstofindhold
23	Lovrup Skov. V-bryn. Hvidgran (10 m)	0	10	29.3 ± 1.8
112	Lovrup Skov. S-bryn v. Skovgård. Hvidgran	0	1	29.0
103	Lovrup Skov. N-bryn v. Skovgård. Rødgr. (12 m)	0	5	25.5 ± 1.3
104	-do.-	50	3	22.6 ± 0.7
105	-do.-	100	4	23.7 ± 1.1
106	-do.-	150	4	23.4 ± 1.9
38	Renbæk Pl. (p. 577b). V-bryn. Rødgr. (10 m)	50	2	23.2 ± 1.2
39	-do.-	100	2	24.4 ± 0.2
40	-do.-	150	2	23.8 ± 0.3
41	-do.-	200	1	26.4
42	-do.-	250	2	22.5 ± 2.5
43	-do.-	300	2	27.5 ± 0.4
44	-do.-	350	2	24.1 ± 0.2
45	-do.-	400	2	23.9 ± 0.3
46	-do.-	450	2	24.0 ± 0.9
47	-do.-	500	1	27.2

10.7.1 Resultater

Resultaterne fra skovbrynsprofilerne fremgår af Tabel 15 og 16.

Prøverne fra Lovrup Skov viser, at der er forhøjede værdier i selve skovbrynet, d.v.s. i første træække, mens der ikke sker signifikante ændringer i den øvrige del af profilen. Indholdet i thalli fra brynet er signifikant forskelligt fra de øvrige analyser på 5 %-niveau. For Renbæk Plantage, hvor prøvetagningen starter 50 m inde i skoven, kan der ikke påvises nogen gradient overhovedet.

Transplantationerne viser heller ingen klare forskelle i kvælstofoptagelsen.

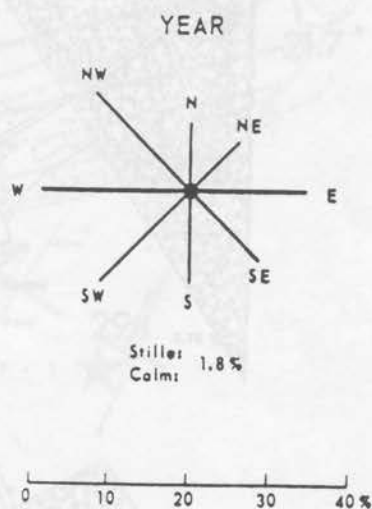
Tabel 16. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* fra udlandet. Egne indsamlinger og litteraturangivelser.

Gruppe	Lokalitet	Antal	Kvælstofindhold	Kilde
34	Norge, Lersmoen, 30 km S Trondh Rødgran (6 m)	4	4.2 ± 0.4	
37	Norge, Fugelmyra, -do.- Rødgran	5	3.6 ± 0.4	
	Sverige, Haslöv, 5 km Ø f. Båstad	1	5.9	
	Sverige, Skogaby, 25 km SØ f. Halmstad	1	7.2	
	Sverige, Rörvik, 40 km S f. Göteborg	1	14.0	
	Tyskl. Süderlügum, 8 km S f. Tønder	1	16.8	
	Tyskl. Ranzau, SV f. Rimmelsberg	1	19.7	
	Schweiz. Montreux. (Bjergegn)	2	7.7 ± 0.8	
	Norge. Ved Oslo		1.1	Solberg 1967
	Scotland		4.5	Hitch efter Millbank & Kershaw 1973
	Nordvestfrankrig		15	Massé 1966b
	U.S.A. New Hampshire		7.9	Long et al. 1980

10.7.2 Diskussion

Der ses en betydelig forhøjelse af kvælstofindholdet i selve skovbrynet, mens effekten allerede ved 50 m er upåviselig. Dette stemmer vel overens med undersøgelser fra en granskov i Strødam foretaget af Beier & Gundersen (1989), der kunne påvise en randeffekt indtil 15 m fra skovbrynet. De fandt, at gennemdryp i skovbrynet indeholdt henholdsvis 4 og 2.5 gange mere nitrat og ammonium end 15-50 m inde i skoven, og for begge stoffer ca. 10 gange større værdier end i bulk-indsamlet våddeposition udenfor skoven. I det sydvestlige Sverige er der registreret afsætning af 30-60 kg N/ha/år ved en våddeposition på 10-15 kg, mens tilsvarende tal for Holland er henholdsvis 40-110 og 17-25 (Nilsson & Grennfelt 1988).

På baggrund af de ovenstående målinger af gennemdryp fra skovbryn skulle man have forventet et større kvælstofindhold i skovbrynet ved svineproducenten i Lovrup Skov. Forklaringen kan være, at nordlige vinde er for sjældne til at medføre væsentlig øget afsætning på skovbrynet. Denne hypotese er måske usandsynlig, da der i skovbrynet SV for Skovgården fandtes thalli på Lærk med 31,5 ‰ kvælstof og nordøstlige vinde synes at være endnu mindre hyppige end nordlige (Fig. 22). Forklaringen skal muligvis søges i, at de indsamlede thalli sad på mere eller mindre døde grene tæt ved stammen, mens grenene i 3-4 meters højde ragede så langt ud over marken, at gennemdryppet kunne være koncentreret i en vis afstand fra stammen.



Figur 22. Vindhyppighed for hele året ved Blåvandshuk Fyr. Efter Frydendahl 1971.

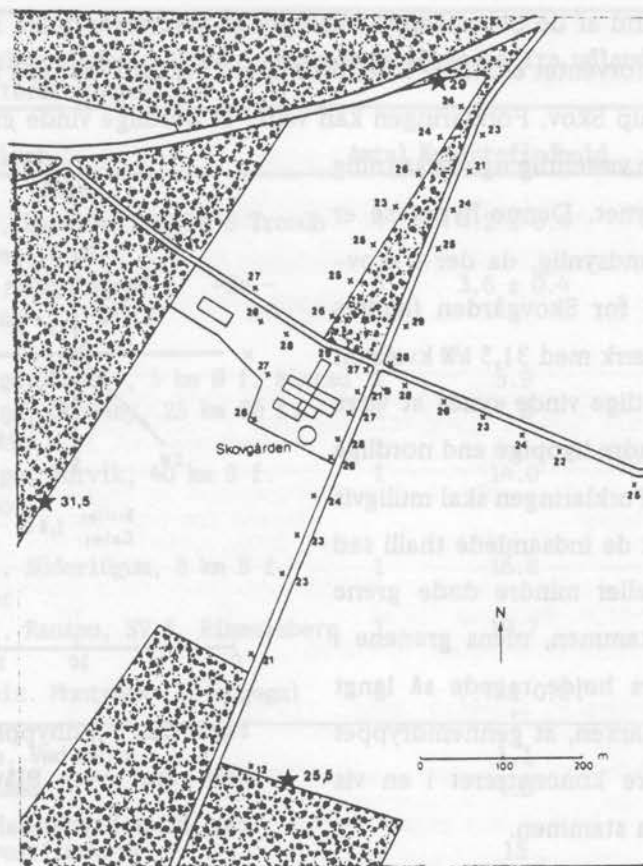
Forklaringen på den manglende skovbrynseffekt på transplantaterne kan ligeledes være, at der kun kommer lidt kvælstofberiget gennemdryp ned langs stammen.

10.8 Kildeafstand

Ammoniakafsætning antages i hovedsagen at finde sted i relativ kort afstand fra kilden. Der blev derfor taget prøver i nærheden af Skovgården, et svineproducerende landbrug i udkanten af Lovrup Skov i Lindet Skovdistrikt. Endvidere blev der opstillet et stort antal transplantater omkring gården, og opsat transplantationsrammer i de nærliggende skovbryn.

10.8.1 Resultater

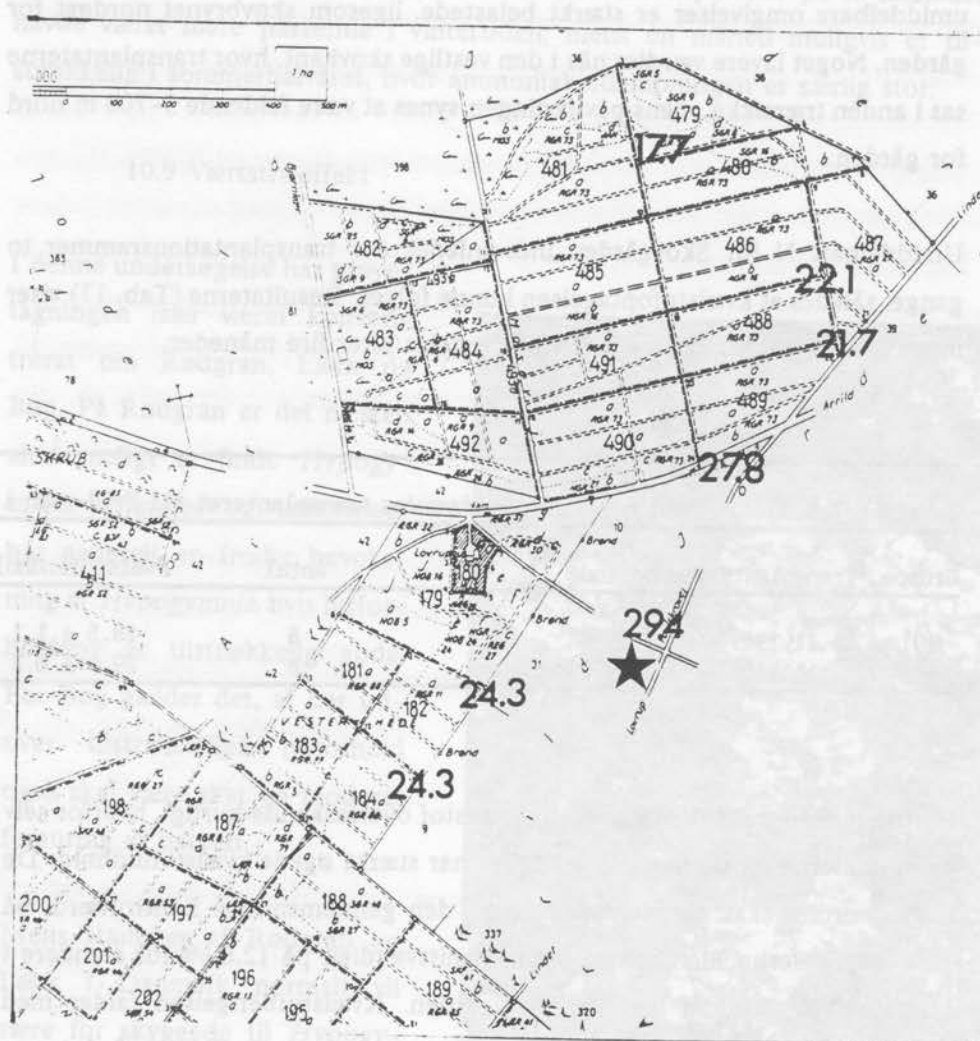
Figur 23 viser placeringen af Skovgården og de steder, hvor der blev taget lavprøver, samt placeringen af standertransplantater og de fundne kvælstofindhold.



Figur 23. Kort over placeringen af Skovgården. Store stjerner angiver lokaliteter i skovbrynene, hvor der udtoges prøver. Krydserne angiver placeringen af standertransplantater, og værdierne angiver det gennemsnitlige kvælstofindhold pr. stander i 0/00. Værdierne er gennemsnit af 8 prøver, undtagen ved *, hvor kun én analysérbar prøve var tilbage.

Det var ikke praktisk muligt at foretage en standardiseret in-situ prøvetagning, ligesom lavmængden generelt var begrænsende for antallet af prøver. Analyseresultaterne er angivet i Tabel 15 (gruppe 23 og 112) og diskuteret i afsnit 10.7.2.

Transplantationsrammer, der var opsat horisontalt på nedre grene i 5-10 m høje graner i skovene omkring Skovgården viste gennemsnitlige kvælstofindhold som vist på Figur 24.



Figur 24. Kvælstofindhold i *Hypogymnia physodes*, der var transplanteret til nedre vandrette grene af 5-10 m høje graner i omegnen af et svineproducerende landbrug. Værdierne angiver mg/kg kvælstof. Stjernen angiver placeringen af det svineproducerende landbrug.

10.8.2 Diskussion

Analysesultaterne fra in-situ thalli er ikke ganske sammenlignelige, idet de materialet er indsamlet på temmelig forskellige substrater. Det er dog bemærkelsesværdigt, at thalli i skovbrynet 500 m vest for gården viser det højest målte kvælstofgennemsnit for *Hypogymnia physodes*, nemlig 31.5 ‰. En mindre værdi fandtes ved det nordlige skovbryn, og en endnu lavere værdi fandtes i skovbrynet syd for gården.

Transplantaterne i granerne omkring Skovgården (Fig. 24) viser, at de umiddelbare omgivelser er stærkt belastede, ligesom skovbrynet nordøst for gården. Noget lavere værdier nås i den vestlige skovkant, hvor transplantaterne sas i anden trærække, mens påvirkningen synes at være faldende 5-700 m nord for gården.

Umiddelbart N for Skovgården indsamledes der transplantationsrammer to gange, således at kvælstofoptagelsen kunne følges. Resultaterne (Tab. 17) viser ingen signifikant yderligere kvælstofforøgelse efter fire måneder.

Tabel 17. Kvælstofindhold i *Hypogymnia physodes* transplanteret til Hvid-gran i to perioder.

Gruppe	Transplantationsperiode	Antal	Kvælstofindhold
191	21.11.1989 - 26.3.1990	8	28.5 ± 1.1
192	21.11.1989 - 12.7.1990	8	29.4 ± 2.2

De fritstående transplantater optog kvælstof overraskende hurtigt, hvorfor selv yderpunkterne på de fire udlagte linier har stærkt øgede kvælstofindhold. De målte værdier skal sammenholdes med den gennemsnitlige kontrolværdi på 13.7 ‰ i Asserbo Plantage og gennemsnitsværdien på 12.8 ‰ for standere i Lovrup Skov 1200 m vest for Skovgården. Kvælstofberigelsen falder med stigende afstand til kvælstofkilden. Transplantaterne nærmest gården var mørkegrønne og stærkt medtagne; en del var døende og ved at falde af kvistene. På en stander umiddelbart øst for gården var der kun én kvist med analyserbare thalli tilbage. Ved værdier omkring 30 ‰ kvælstof sker der en åbenbar forgiftning og yderligere optagelse ophører.

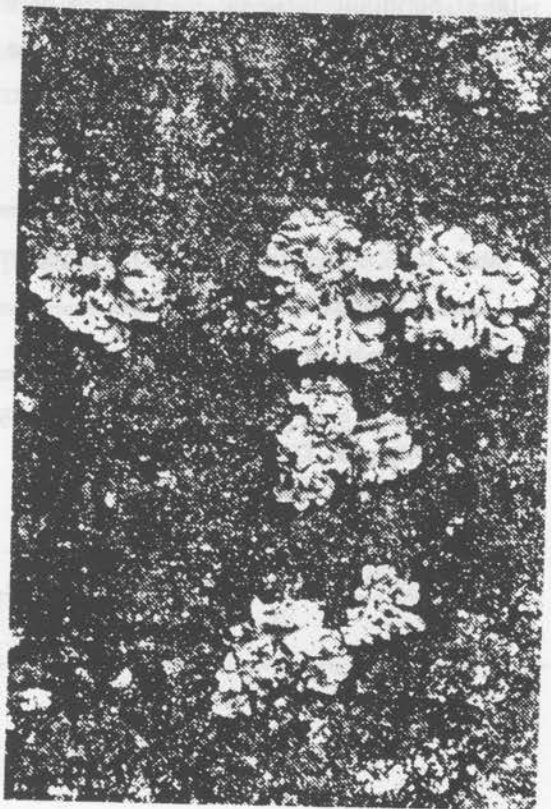
Da andre kilder kan begynde at gøre sig gældende i større afstand fra Skovgården kan det ikke med sikkerhed siges hvor langt kvælstofpåvirkningen fra selve staldene kan spores, men de foreliggende resultater tyder på mindst 500 m. På årsbasis må det antages, at gyllespredning på de omkringliggende jorder spiller en betydelig rolle som kilde til kvælstofafsætning på skovtræerne.

Resultaterne understreger lavernes betydelige evne til kvælstofoptagelse, selv ved lave temperaturer, og peger på transplantationer som et meget brugbart redskab til analyse af lokal variation i kvælstofafsætning. For fritstående transplantater, må det antages, at en transplantationsperiode på to måneder havde været mere passende i vintertiden, mens én måned muligvis er tilstrækkelig i sommerhalvåret, hvor ammoniakafdamningen er særlig stor.

10.9 Værtstræeffekt

I denne undersøgelse har prøvetagningen især været koncentreret om Rødgran, Lærk og Bøg. På Rødgran er det næsten altid muligt at finde *Hypogymnia physodes* og lærketræer har generelt en frodig bevoksning af *Hypogymnia*, hvis lysforholdene er tilstrækkelig gode. For Bøg gælder det, at der udover tilstrækkelige lysforhold også skal være sket en moderat forsurening af barken.

Mens stammer af Rødgran og Lærk i Danmark normalt vil være for skyggede til *Hypogymnia physodes*, er det for bøgens vedkommende på stammer af velvoksne træer, at laven indfinder sig (Fig. 25).



Figur 25. *Hypogymnia physodes* på forsuret bøgebark.

10.9.1 Resultater

Kvælstofindholdet i thalli fra henholdsvis Bøg og Lærk er angivet i Tabel 18 og 20. For andre træarter er kvælstofindholdet angivet i Tabel 21.

10.9.2 Diskussion

10.9.2.1 Bøg

Hypogymnia fra bøgestammer udsættes dels for tør- og vådafsætning direkte på thalli men modtager tillige kvælstof, som er opløst i stammenedløb. Bøgetræer har en centripetal kroneopbygning med relativt spidse grenvinkler. Det medfører, at der i bøgeskov tilføres jorden en forholdsvis større del af nedbøren som stammenedløb end som gennemdryp. Hovmand & Bille-Hansen (1988) angiver, at den ammonium, der tilføres jorden via stammenedløb, udgør 13 % af gennemdryppet. For nitrat er det tilsvarende tal angivet til 9 %. Disse tal er henholdsvis 13 og 4.5 gange større end for Rødgran. Selvom stammenedløbet totalt spiller en mindre rolle for kvælstoftilførslen til jordbunden, vil det kunne have en større kvælstofkoncentration end gennemdryppet (Tab. 19).

Tabel 18. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* på stammer af Bøg. Indsamlingshøjde: 150 cm.

Gruppe	Lokalitet	Træhøjde	Antal	Kvælstofindhold
36	Grib Skov. Tibberup Holme (p. 105)	ca. 30 m	10	15.5 ± 1.8
96	Nødebo. Kildeportvej (p. 484)	ca. 30 m	10	17.5 ± 3.0
95	Nødebo. N for Skovskolen	ca. 30 m	10	19.5 ± 2.5
94	Stenholt Vang (p. 544)	ca. 30 m	11	23.4 ± 2.5
133	Tokkekøb Hegn	ca. 20 m	10	16.7 ± 3.0
33	Addit Skov	ca. 30 m	10	18.6 ± 1.8

Tabel 19. Koncentration af totalkvælstof i stammenedløb, gennemdryp og regnvand i Ædelgran-skov. Efter Mahendrup & Ogden 1973.

	Kvælstofkoncentration (ppm) (maj - oktober)
Stammenedløb	1.7
Gennemdryp	0.6
Regn	0.4

En vurdering af kvælstofbelastningen af thalli på bøgestammer kompliceres af, at stammenedløbet ikke er jævnt fordelt over overfladen, samt at koncentrationen i væsken sandsynligvis er sæsonbestemt på grund af løvfældning.

Kvælstofindholdet i de analyserede thalli fra Bøg kan - muligvis på grund af de ovennævnte årsager - være vanskelige at tolke. Der synes muligvis at være en vis sammenhæng med tætheden af træbestanden, idet bevoksningen i Stenholdt Vang, der har høje værdier, er temmelig spredt. Analyse materialet er dog for lille til, at der kan påvises klare sammenhænge.

Tabel 20. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* på kviste af Lærk. Indsamlingshøjde: 0.5-2 m.

Gruppe	Lokalitet og biotop	Træhøjde (m)	Antal	Kvælstofindhold
119	Asserbo Plantage. Brantebjerglinien.	8	15	12.6 ± 1.3
118	-do.-	8	10	13.4 ± 0.5
93	-do.-	8	10	13.9 ± 3.0
232	-do.-	8	10	14.2 ± 1.2
149	-do.-	8	10	14.0 ± 1.1
110	Stensbæk Plantage (p. 258)	8	10	11.0 ± 0.3
91	Lovrup Skov (p. 185)	15	10	19.5 ± 3.2
108	Lovrup Skov. 400 m V. for Skovgården	8	2	31.5 ± 0.8

Figur 26. Lærkeoverdækning ved Brantebjerglinjen i Asserbo Plantage, hvortil *Hypogymnia physodes* er indsamlet til forskning og transplantationer.

10.9.2.2 Lærk

Lærkebevoksningen ved Brantebjerglinien er undersøgt flere gange, da det er herfra, at der er taget kviste med *Hypogymnia physodes* til transplantationer (Fig. 26). Kvælstofpromillen på 12.5 – 14.2 er højere end Asserbotallene for thalli, der ikke modtager gennemdryp (Tab. 10). En sammenligning med thalli fra grankviste i Asserbo (Tab. 8, gruppe 229) viser, at thalli fra Lærk i Asserbo har lavere værdier. De observerede forskelle skyldes antagelig, at Lærk er løvfældende og derfor ikke frafiltrerer så meget kvælstof i vinterperioden.

De tre prøvetagninger fra Sønderjylland afslører særdeles forskellige værdier, der afspejler lokale forhold. Lærketræerne i Stensbæk Plantage stod meget beskyttet med et bælte af 49-årige graner mod vest. De lave kvælstofværdier forklares yderligere ved, at skovparcellen er beskyttet af betydelige tilgrænsende skov- og hedepartier.

Fra Lovrup Skov er der dels samlet prøver i parcel 185 ved Det Forstlige Forsøgsvæsens træartsforsøg. Dette område ligger 1500 m vest for det svineproducerende landbrug, Skovgården, og DMU's målestation i området har da også registreret ganske høje kvælstofværdier i området (Hovmand 1989). I samme område har 14-dages registreringer af ammoniakkoncentration v.h.j.a. passive opsamlere vist høje værdier, der især forekom ved østlige vinde (H.-V. Andersen, pers. medd.). En sammenligning med thalli fra 15 m høje graner, også fra parcel 185, viser at disse indeholder 24.3 ‰ kvælstof, d.v.s. mere end de 19.5 for Lærk. Dette afspejler den ovenfor nævnte større filtrering hos den stedsegrønne Rødgran.

Der er taget to prøver fra Lærk i skovbrynet 500 m vest for Skovgård. Her registreredes de højeste værdier, som overhovedet er målt i *Hypogymnia physodes* herhjemme, nemlig 31.5 ‰. Årsagen er utvivlsomt en meget stor ammoniakafsætning.



Figur 26. Lærkebevoksning ved Brantebjerglinien i Asserbo Plantage, hvorfra *Hypogymnia physodes* er indsamlet til forsøg og transplantationer.

10.9.2.3 Eg

En prøvetagning fra egestammer i Lindet Skov viser kvælstofindhold på ca 18 0/00. Dette er mindre end de tilsvarende tal fra grankviste i samme område, svarende til at Eg er løvfældende og har en kronevækst med ringe stammene-løb.

Til sammenligning viser de få analyser fra Sjælland generelt lavere værdier, mens nogle sporadiske prøvetagninger fra Tyskland og Holland viser større værdier. Thalli fra Eg synes dog overalt at have mindre kvælstofindhold end thalli fra Rødgran på de samme lokaliteter.

Tabel 21. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* på stammer af Eg, Skovfyr og Elm. Indsamlingshøjde: 0.5-2 m.

Gruppe	Lokalitet	Træhøjde (m)	Antal	Kvælstofindhold
Eg				
123	Tokkekøb Hegn. 10 m Ø for Kongevejen	9	10	13.4 ± 0.2
	Bromme Plantage. Hjertevejen	ca. 15	6	13.0 ± 0.8
	Bromme Plantage. Møllevejen	ca. 15	3	18.7 ± 1.3
32	Lindet Skov (p. 84). 50 m fra skovbryn	ca. 15	10	18.4 ± 1.4
	Tyskl. Dwerger Sand, 5 km NV f. Cloppenburg	ca. 10	1	19.6
	Tyskl. Dammer Berge, 30 km N f. Osnabrück	ca. 10	1	22.2
	Tyskl. Lüneburger Heide, S f. Uelzen	ca. 10	1	19.5
12	Holland. Kootwijk	ca. 10	7	22.00 ± 1.9
Skovfyr				
	Asserbo Plantage. Ml. Stængehus og Lerbjerg	ca. 10	10	12.5 ± 2.4
Elm				
120	Hald Hovedgård	ca. 8	6	21.3 ± 1.9
134	Helsing. Lundevej	ca. 10	2	30.1 ± 1.6

10.9.2.4 Fyr

En enkelt analyseserie fra stammer af ca. 15 m høje Skovfyr i Asserbo Plantage viser et kvælstofindhold på 12.5 ‰, hvilket ligger på samme niveau som thalli på lærkekviste, men lidt højere end thalli, som ikke modtager dryp. Dette passer med, at Skovfyr har en kroneopbygning med meget ringe stammenedløb.

10.9.2.5 Elm

Der er ikke foretaget nogen systematisk indsamling af thalli fra elmetræer, da disse normalt kun bærer *Hypogymnia physodes*, hvis de er udsat for en kraftig forurening. De to serier af thalli fra Elm, der er blevet undersøgt, har vokset på fritstående træer tæt ved veje og bliver derfor behandlet i afsnit 10.11.

10.10 Geografisk mønster.

I Danmark vil variationerne i kvælstofindholdet i *Hypogymnia physodes* i høj grad være betinget af tilstedeværelsen af lokale ammoniakilder, der giver ophav til en tørdeposition i op til nogle km's afstand. Hvor der er mange kilder dannes et regionalt mønster, som overlejrer effekten af fjerntransporterede menneskeskabte kvælstofforbindelser.

For at vurdere størrelsen af den menneskeskabte kvælstofforurening er der foretaget analyser af spredte danske indsamlinger og af nogle få udenlandske prøver af *Hypogymnia physodes*. Analysetallene er sammenholdt med de sparsomme litteraturangivelser.

10.10.1 Resultater og diskussion

Tabel 22 viser de kendte udenlandske niveauer af kvælstofindhold i *Hypogymnia physodes*. Det fremgår heraf, at der i områder med lidet intensivt landbrug og ringe industriel aktivitet findes under 5 ‰ kvælstof i *Hypogymnia physodes*. Dette gælder analyserne fra Vestnorge og fra Scotland, mens en centraleuropæisk indsamling fra alperne peger på forhøjede værdier her.

Tilsvarende gælder det nordøstlige U.S.A. På trods af de meget sparsomme analyser og den begrænsede standardisering af prøvetagningen tegner der sig dog et mønster, som antagelig ligner det tilsvarende for kvælstofindholdet i Rensdyrlaver (Fig. 12)(Søchting & Johnsen 1990). På grund af *Hypogymnia's* eksponerede placering er det forventeligt, at dens kvælstofindhold vil være mere følsomt overfor tørdeponering fra lokale kilder, hvis sådanne er til stede. Derfor vil værdierne fra højt belastede områder være betydeligt mere varierede end det er tilfældet for rensdyrlav, der i større grad afspejler våddeposition.

De få kendte kvælstofindhold, som er vist i Tabel 22, stemmer rimeligt overens med Figur 2 og 3, hvor også Vestnorge og Scotland anses for områder med lav deposition. Da våddepositionen af kvælstofilter i vid udstrækning følger ammoniumdepositionen, vil kort over totalværdier for kvælstof i grove træk svare til de to figurer.

Tabel 22. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* fra udlandet. Egne indsamlinger og litteraturangivelser.

Gruppe	Lokalitet	Antal Kvælstofindhold		Kilde
34	Norge, Lersmoen, 30 km S Trondh Rødgran (6 m)	4	4.2 ± 0.4	
37	Norge, Fugelmyra, -do.- Rødgran	5	3.6 ± 0.4	
	Sverige, Haslöv, 5 km Ø f. Båstad	1	5.9	
	Sverige, Skogaby, 25 km SØ f. Halmstad	1	7.2	
	Sverige, Rörvik, 40 km S f. Göteborg	1	14.0	
	Tyskl. Süderlügum, 8 km S f. Tønder	1	16.8	
	Tyskl. Ranzau, SV f. Rimmelsberg	1	19.7	
	Schweiz. Montreux. (Bjergegn)	2	7.7 ± 0.8	
	Norge. Ved Oslo		1.1	Solberg 1967
	Scotland		4.5	Hitch efter Millbank & Kershaw 1973
	Nordvestfrankrig		15	Massé 1966b
	U.S.A. New Hampshire		7.9	Long et al. 1980

Det vides ikke hvor meget kvælstof *Hypogymnia physodes* kan tolerere før der indtræder en akut toxicitet. Der er dog grund til at antage, at værdier på 30-35 0/00 ligger tæt på den toksiske tærskel, idet Kauppi (1980b) fandt disse indhold i vantrevne thalli tæt på en gødningsfabrik i Oulu, Finland. Der var dog her muligvis tillige tale om effekter af svovl-, fluor- og klorforbindelser. Lavarter, som vokser på stærkt eutrofierede biotoper, kan under normale forhold indeholde op til 55 0/00 kvælstof (Massé 1966b), men rensdyrlaver indsamlet i Holland allerede viste tydelige tegn på misvækst ved et indhold på omkring 10 0/00 kvælstof. Tærskelværdien må således antages at være forskellig fra art til art.

10.11 Trafik-effekter

Den væsentligste primære kvælstofforurening fra trafik er NO. Da dette stof har en ringe depositionshastighed, vil man ikke forvente væsentlig kvælstofberigelse af thalli på trafiknære voksesteder. For at belyse trafikforureningens betydning analyseredes thalli fra ti egetræer i Tokkekøb Hegn tæt ved Kongevejen, og der blev taget to prøveserier fra elmetræer tæt ved veje. Herudover blev der opstillet transplantater dels i midterrabbatten på sydmotorvejen og dels i et kontrolområde 500 m herfra.

10.11.1 Resultater

Analyseresultaterne fremgår af Tabel 21 (gruppe 123, 120 og 134) og Tabel 23.

10.11.2 Diskussion

Analyserne af *Hypogymnia physodes* på Eg 10 m øst for Kongevejen (gruppe 123) tyder ikke på nogen særlig kvælstofberigelse forårsaget af trafik, imidlertid har de analyserede thalli fra Elm ved henholdsvis en stærkt trafikeret vej ved Helsingør og en meget lidt trafikeret vej i landbrugsområde ved Hald ganske betydelige kvælstofindhold. Værdierne på 30 0/00 ved Helsingør kan næppe forklares ved landbrugs-kilder alene, men det foreliggende datamateriale er for begrænset til endelige konklusioner.

Tabel 23. Kvælstofindhold (0/00) i *Hypogymnia physodes* i relation til trafik.

Gruppe	Lokalitet	Antal	Kvælstofindhold
135	Sydmotorvej, stander 1	8	20.8 ± 1.8
136	Sydmotorvej, stander 2	8	19.5 ± 2.6
137	Sydmotorvej, stander 3	8	19.2 ± 0.7
138	Sydmotorvej, stander 4	8	22.9 ± 2.3
139	Søndermasten, stander 1	8	19.6 ± 1.4
140	Søndermasten, stander 2	8	20.2 ± 3.2
141	Søndermasten, stander 3	8	22.0 ± 3.5
142	Søndermasten, stander 4	8	22.5 ± 2.4

Transplantationerne til midterrabatten af landets mest trafikerede vej, sydmotorvejen medfører ingen signifikant kvælstofberigelse i forhold til en lokalitet 500 m fra motorvejen. Dette kan forklares ved at det ved motorvejen primært dannede NO ikke bliver afsat på og optaget i laverne i nævneværdig grad.

Der foreligger tre undersøgelser af kvælstofilters og trafikforurenings effekt på laver. Den ene (Nash 1976) viser i et fumigeringsforsøg, at der for fire lavarter ikke ses nogen ændring af klorofylindhold ved seks timers fumigering under 4 ppm NO₂, men at der var en signifikant nedsættelse i klorofylindholdet ved 4 eller 8 ppm. Uheldigvis blev thalli ikke analyseret for kvælstof, så det er ikke muligt at vurdere om den ringe effekt skyldes, at thalli var dårlige til at optage NO₂. Danske fumigeringer af rensdyrlaver med NO₂ i åben-top-kamre viste heller ingen effekter, hverken på lavernes udseende eller deres totale kvælstofindhold (Søchting et al., unpubl.).

Deruelle & Petit (1983) konstaterede en betydeligt nedsat nettofotosyntese hos *Hypogymnia physodes* 15 m fra en befærde vej i forhold til kontrolthalli 600 m fra vejen. Effekten blev tilskrevet blyindholdet, der var 7.5 gange større tæt ved vejen. Der blev ikke analyseret for kvælstofindhold.

11 Klorofyl-indhold

11.1 Indledning

Ved flere undersøgelser i Finland (Kauppi 1976, 1980b) er klorofylindholdet i laver blevet anvendt som en analyseparameter til indikation af kvælstofforurening. Analyser af in-situ *Hypogymnia physodes* viste ved en gødningsfabrik en tredobling af total-klorofyl fra ca. 0.5 mg/g til 1.5 mg/g samtidig med en 4-5 dobling af kvælstofindholdet til ca. 33 ‰ (Kauppi 1980b). Med henblik på anvendelse af klorofylmåling som parameter for kvælstofoptagelse udførtes på dansk materiale fem analyseserier på thalli med forskelligt kvælstofindhold.

11.2 Materiale og metoder

Der blev analyseret thalli fra fem indsamlingsserier med så stor spredning i kvælstofindhold som muligt.

Totalklorofyl fra 20 mg thallus analyseredes efter behandling med pyridin og ekstraktion med alkohol og acetone (Hill & Wollhouse 1966). Ekstinctionen målt på spektrofotometer af mærket Spectronic 601.

11.3 Resultater og diskussion

Klorofylindhold og kvælstofpromille i de analyserede prøver fremgår af Tabel 24.

Tabel 24. Totalklorofyl og totalkvælstof i fem prøveserier af *Hypogymnia physodes*. Resultaterne er baseret på hver 10 replikater.

Lokalitet	Klorofylindhold mg/g	Kvælstofindhold ‰
Hønning Plantage (p. 167). Rødgran	1.61 ± 0.44	11.7 ± 1.5
Asserbo Plantage. Brantebjerglinien. Lærk	2.20 ± 0.27	13.4 ± 0.5
Hønning Plantage (p. 168). Rødgran	4.08 ± 0.64	20.1 ± 2.0
Hønning Plantage (p. 168). Rødgran	4.88 ± 0.76	20.2 ± 1.0
Lovrup Skov	6.05 ± 0.87	29.3 ± 1.8

Der er en stærk positiv korrelation mellem klorofylindhold og kvælstofindhold. Det er bemærkelsesværdigt, at de laveste målte danske værdier er tre gange så høje som baggrundsværdier i Finland og ligger på niveau med thalli fra stærkt kvælstofbelastede områder i Finland (Kauppi 1980b). Til sammenligning ligger de høje værdier fra Lovrup Skov 50 % over klorofylindhold i Alm. Væggelav (*Xanthoria parietina*) fra barksubstrater i England (Hill & Wollhouse 1966).

Sammenhængen mellem klorofylindhold og kvælstofberigelse har været påvist tidligere i forbindelse med undersøgelser omkring punktkilder (Kauppi 1976, 1980b). I forhold til baggrundsområder i Skandinavien synes klorofylindholdet at være øget 12 gange på de mest belastede lokaliteter i Jylland, mens kvælstofindholdet kun er øget seks gange. Dette kunne pege på klorofylanalyse som et brugbart redskab ved monitorering af kvælstofdeposition. Forinden må der dog foretages grundige undersøgelser af andre parametres indflydelse på klorofylindholdet, idet bl.a. lyseksponeringen og årstiden kan have betydning.

Selvom klorofylanalyser er lidt mere tidskrævende end Kjeldahl-analyser af totalkvælstof, er de mindre apparaturkrævende og vil derfor kunne udføres under mere primitive laboratorieforhold.

11.2 Resultater og diskussion

Det er vigtigt at bemærke, at de fleste af de undersøgte lokaliteter ligger i lavt NO_x-område (Nash 1976) og at der for alle lokaliteter ikke ses nogen ændring af klorofylindhold ved seks timers forurening med 4 ppm NO₂, men at der var en signifikant nedgang i klorofylindholdet ved 4 eller 8 ppm. Uheldigvis blev thalli ikke analyseret for kvælstof, så det er ikke muligt at undersøge, om der er en sammenhæng mellem kvælstof og klorofyl.

Tab. 24. Klorofylindhold og kvælstofindhold i lavt NO_x-område. Lokaliteterne er sorteret efter klorofylindhold i stigende rækkefølge.

Lokalitet	Klorofylindhold (mg/g)	Kvælstofindhold (mg/g)
Lovrup Skov	10.0 ± 0.8	0.05 ± 0.01
Løvskov	8.0 ± 0.5	0.04 ± 0.01
Løvskov	7.0 ± 0.4	0.03 ± 0.01
Løvskov	6.0 ± 0.3	0.02 ± 0.01
Løvskov	5.0 ± 0.2	0.01 ± 0.01
Løvskov	4.0 ± 0.1	0.01 ± 0.01
Løvskov	3.0 ± 0.1	0.01 ± 0.01
Løvskov	2.0 ± 0.1	0.01 ± 0.01
Løvskov	1.0 ± 0.1	0.01 ± 0.01
Løvskov	0.5 ± 0.1	0.01 ± 0.01

De danske målinger af kvælstofindhold i lavt NO_x-område er sammenlignet med de danske målinger af kvælstofindhold i højt NO_x-område. De danske målinger af kvælstofindhold i højt NO_x-område er sammenlignet med de danske målinger af kvælstofindhold i lavt NO_x-område.

12 Epifyl vegetation

Under indsamlingen af *Hypogymnia physodes* var det hensigten at foretage en kvantificering af den epifylle vegetation, d.v.s. af alger, laver og svampe på de nåle. En sådan kvantificering foretages i Sverige i forbindelse med PMK-stationerne og er baseret på en undersøgelse af unge graner (Göransson 1988).

For hvert af de svenske analysetræer undersøges:

A. Algebelægningens tykkelse på nåle i den mest belagte parti af kronens grønne del:

0. Ingen belægning
1. Meget tyndt algeovertræk
2. Tyndt algeovertræk
3. Temmelig tykt algeovertræk
4. Temmelig tykt algeovertræk med grynet struktur
5. Tykt algeovertræk med grynet struktur
6. Meget tykt algeovertræk med grynet struktur

B. Alderen af yngste hovedskud med algebelægning på nålene. Middelværdi af tre grene på 150–170 cm's højde over jorden, jævnt fordelt rundt om kronen.

C. Alder af yngste hovedskud med algebelægning på barken. Middelværdi af tre grene på 150–170 cm's højde over jorden, jævnt fordelt rundt om kronen.

Det stod hurtigt klart, at den svenske skala ikke var umiddelbart brugbar, idet algebelægninger var næsten universelt til stede på Rødgran, og normalt koloniserede forrige års nåle. Sidst på året koloniseredes endda ofte samme års nåle.

Det kunne konstateres, at algebelægningerne var endog særdeles frodige på kviste og nåle i trætoppene i Sønderjylland, men der blev ikke gjort forsøg på yderligere kvantificering, da det skønnedes at kræve et mere detaljeret studium.

Belægningerne på nåle og kviste består af en blanding af alger, svampe og laver. De encellede alger, som udgør en stor del af belægningerne, er vanskelige at identificere og er ofte mere eller mindre sammenvoksede med svampehyfer. Nogle svampearter danner dog undertiden konidier og vil derfor kunne lade sig bestemme. Forskellige skorpeformede lavarter er væsentlige, bl.a. *Scoliciosporum chlorococcum*, der er kvælstoftolerant og tillige er en hyppig – men vanskeligt identificerbar – art på vejtræer i byer.

Der er grund til at formode at kvælstofdepositionens størrelse er af betydning for frodigheden af alger på grankviste, som fremført af Göransson (1988). Studiet af encellede alger på bark og nåle er kompliceret, fordi en præcis bestemmelse ofte kræver at de dyrkes, og fordi taxonomien i mange tilfælde er dårligt afklaret.

Under feltarbejde i Midtjylland observeredes for nogle år siden på grankviste en trådet alge, der antages at være ny for landet og ikke synes at være beskrevet i litteraturen. Algen, der er bragt i kultur og for tiden undersøges af en specialist på området, dr. Georg Gärtner i Innsbruck, er efter alt at dømme under spredning på stærkt eutrofierede nåletræer og fandtes da også i Lovrup Skov.

13 Sammenfattende diskussion

I de enkelte prøveserier er der generelt en standardafvigelse på ca. 10 % af det gennemsnitlige kvælstofindhold. Dette afspejler, at der ved prøvetagningen er blevet indsamlet thalli af lidt forskellige aldre, samt at det gennemdryp, som i væsentlig grad betinger kvælstofindholdet i laverne, falder meget ujævnt og har forskelligt indhold af kvælstofforbindelser. På denne baggrund forekommer standardafvigelsen ikke særlig stor.

Den gode sammenhæng mellem den forventede våddeposition og kvælstofindholdet peger på laver som pålidelige indikatorer for kvælstofdeposition.

De betydelige forskelle i kvælstofindhold, som registreres mellem forskellige bestande i samme skovområde, må derfor antages at afspejle en meget forskellig kvælstofdeposition i de enkelte parceller. Der er derfor grund til forsigtighed med at generalisere kvælstofafsætningen udfra nogle få fysisk-kemiske målinger i skoven.

Ved registrering af lokale depositions mønstre eller ved kortlægning af regionale forskelle er det væsentlige problem at standardisere prøvetagningerne, så værdierne bliver sammenlignelige.

Resultaterne fra lavtvoksende laver, som ikke modtager gennemdryp, tyder på, at prøvetagning på kviste i knæhøjde i beskyttet bevoksning uden gennemdryp kan bruges som monitorer i national og kontinental målestok. Ved en europæisk kortlægning vil det være muligt at kalibrere med eksisterende modeller over kvælstofdeposition.

Til registrering af både våd og tør afsætning synes laver fra kviste i brysthøjde af ca. 10 m høje rødgraner at være velegnet. Træerne bør ikke stå i skovbryn, men helst i ensartede bestande inde i skoven.

Meget lokale kvælstofafgivelser vil muligvis kunne afspejles i laverne på kviste i levende hegn, men de tilvejebragte data har ikke sigtet specielt på denne problemstilling.

Transplantaterede laver kan bruges til at kortlægge kvælstofafsætningen i forskellige dele af trækronerne, ligesom de kan påvise forskelle i kvælstofbelastningen i forskellige skovparceller. Det må antages, at metoden kan bibringes en endnu større følsomhed ved anvendelse af transplantationsmateriale fra områder med lav kvælstofafsætning, eksempelvis Norge.

Standertransplantationer sigter hovedsagelig på kvælstofmonitoring i det åbne land. Metoden vil være brugbar til såvel regionale som lokale kortlægninger. Det er dog vigtigt at være opmærksom på, at afsætningen er en funktion af såvel luftens koncentration som luftbevægelsen omkring transplantaterne.

14 Litteratur

- Asman, W.A.H. 1990. A detailed ammonia emission inventory for Denmark. - DMU-luft-A133. National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark.
- Asman, W.A.H. & H.S.M.A. Diederer. 1987. Ammonia and acidification. Proceedings: Symposium of the European Association for the Science of Air Pollution (EURASAP) held at the National Institute of Public Health and Environmental Hygiene (RIVM), Bilthoven, NL, 13.-15. April 1987. - Bilthoven, NL, 1-327. (citeret efter Ellenberg 1989)
- Asman, W.A.H., E. Buijsman, H.F.M. & J.W. Erisman. 1987. Emission, transformation and deposition of ammonia and ammonium. - In: Boxman & Geelen (eds.): -effecten van NH_3 op organismen. BEL-studiedag 12. Dec. 1986, Nijmegen, NL: 28-34. (citeret efter Beier 1988).
- Asman, W.A.H. & A.J. Janssen. 1987. A long-range transport model for ammonia and ammonium for Europe. - Atmospheric Environment 21 (10): 2099-2119.
- Bengtsson, C., C.A. Broström, P. Grennfelt, L. Skärby & E. Troeng. 1980. Deposition of nitrogen oxides to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). - In: Proceedings of the International conference on the ecological impact of acid precipitation, Norway.
- Beier, C. 1988. Atmospheric deposition of N and S compounds in Denmark. - Ph. D. Rapport : 1-266.
- Beier, C. & P. Gundersen. 1989. Atmospheric deposition to the edge of a spruce forest in Denmark. - Environ. Pollut. (in press).
- Blum, O.B. 1973. Water relations. - In: Ahmadjian, V. & M.E.Hale (eds.): The lichens. Academic Press. New York & London: 381-400.
- Boonpragob, K., T.H. Nash III & C.A. Fox. 1989. Seasonal deposition patterns of acidic ions and ammonium to the lichen *Ramalina menziesii* Tayl. in southern California. - Environmental and experimental botany 29: 187-197.
- Carstairs, A.G. & W.C. Oechel. 1978. Effects of several microclimatic factors and nutrients on net carbon dioxide exchange in *Cladonia alpestris* (L.) Rabenh. in the subarctic - Arctic and Alpine Research 10: 81-94.

- Christensen, B.T. 1986. Ammonia volatilization loss from surface applied animal manure. - In: Kofoed, A.D. et al. (eds.): Efficient land use of sludge and manure. Elsevier Appl. Sc. Publishers, London & New York: 193-203.
- Crittenden, P.D. 1983. The role of lichens in the nitrogen economy of subarctic woodlands: Nitrogen loss from the nitrogen-fixing lichen *Stereocaulon paschale* during rainfall. - In: Lee, J.A., S. McNeill & I.H. Rorison (eds.): Nitrogen as an ecological factor: 43-68.
- Crittenden, P.D. 1989. Nitrogen relations of mat-forming lichens. - In: Boddy, L., R. Marchant & D.J. Read (eds.): Nitrogen, Phosphorus and Sulphur utilization by Fungi: 243-268.
- Deruelle, S. & P.J.X. Petit. 1983. Preliminary studies on the net photosynthesis and respiration responses of some lichens to automobile pollution. - Cryptogamie Bryol. Lichenol. 4: 269-278.
- Ellenberg, H. 1989. Eutrophierung - das gravierendste Problem im Naturschutz? Zur Einführung. - NNA-Berichte 2/1: 4-13.
- Frydendahl, K. 1971. Danmarks Klima. I. Vind. Standardnormaler 1931-60. - Det Danske Meteorologiske Institut, København.
- Gundersen, P. 1989. Luftforurening med kvælstofforbindelser - Effekter i nåleskov. - Licentiatrapport, Laboratoriet for Økologi og Miljølære. DTH.
- Göransson, A. 1988. Luftalger och lavar indikerar luftföroreningar. - Naturvårdsverket Rapport 3562.
- Hicks, B.B. 1986. Measuring dry deposition: A re-assessment of the state of the art. - Water, Air and Soil Pol. 30: 75-90.
- Hill, D.J. & H.W. Woolhouse. 1966. Aspects of the autecology of *Xanthoria parietina* agg. - Lichenologist 3: 207-214.
- Hilmo, O. & R. Wang. 1989. Lav på gran i Mo i Rana. - Universitetet i Trondheim.
- Holopainen, T.H. 1983. Ultrastructural changes in epiphytic lichens, *Bryoria capillaris* and *Hypogymnia physodes*, growing near a fertilizer plant and a pulp mill in central Finland. - Ann. Bot. Fennici 20: 169-185.
- Holopainen, T.H. 1984. Cellular injuries in epiphytic lichens transplanted to air polluted areas. - Nordic Journal of Botany 4: 393-408.
- Hovmand, M.F. 1989. Ionbalanceprojektet og overvågningsprogrammet 1988/89. - Vandmiljøplanens overvågningsprogram, DMU, Nyborg Strand 27.-28. nov. 1989.

- Hovmand, M.F. & J. Bille-Hansen. 1988. Ionbalance i Skovøkosystemer, med Måling af Atmosfærisk Stoftilførsel. II - Risø Rapport A 127: 1-124.
- James, P.W., D.L. Hawksworth & F. Rose. 1977. Lichen communities in the British Isles: A preliminary conspectus. - In: Seaward, M.R.D.(ed.): Lichen ecology: 295-413.
- Kauppi, M. 1976. Fruticose lichen transplant technique for air pollution experiments. - Flora 165: 407-414.
- Kauppi, M. 1980a. Fluorescence microscopy and microfluorometry for the examination of pollution damage in lichens. - Ann. Bot. Fennici 17: 163-173.
- Kauppi, M. 1980b. The influence of nitrogen-rich pollution components on lichens. - Acta Univ. Oul. A 101. Biol. 9: 1-25.
- Kärenlampi, L. 1970. Distribution of chlorophyll in the lichen *Cladonia alpestris*. - Rep. Kevo Subarctic Res. Stat. 7: 1-8.
- Lang, G.E., W.A. Reiners & R.K. Heier. 1976. Potential alteration of precipitation chemistry by epiphytic lichens. - Oecologia (Berl.) 25: 229-241.
- Lang, G.E., W.A. Reiners & L.H. Pike. 1980. Structure and biomass dynamics of epiphytic lichen communities of Balsam Fir forests in New Hampshire - Ecology 61: 541-550.
- Lövblad, G. & O. Westling. 1988. Methods for determination of atmospheric deposition. - For the Nordic Council of Ministers, The steering Body for Monitoring the Environmental Quality of the Nordic Countries (MKN), Göteborg 1988: 1-12.
- Mahendrappa, M.K. 1973. Effects of fertilization of a black spruce stand on nitrogen contents of stemflow, throughfall and litterfall. - Can. J. For. Res. 1973 (3): 54-60.
- Massé, L. 1966a. Étude comparée des teneurs en azote total des lichens et de leur substrat: les espèces "ornithocoprophiles" - C. R. Acad. Sc. Paris Série D 262: 1721-1724.
- Massé, L. 1966b. Étude comparée des teneurs en azote total des lichens et de leur substrat: les espèces à gonidies Cyanophycées. - C. R. Acad. Sc. Paris Série D 263: 781-784.
- Miljøstyrelsen. 1984. Forsuringsudvalget: Miljø og energi.
- Millbank, J.W. & K.A. Kershaw. 1973. Nitrogen metabolism. - In: Ahmadjian, V. & M.E. Hale. (eds.): The lichens. Acad Press. New York & London: 289-307.

- Nash III, T.H. 1976. Sensitivity of lichens to nitrogen dioxide fumigations. - *Bryologist* 79: 103-106.
- Nieboer, E., D.H.S. Richardson & F.D. Tomassini. 1978. Mineral uptake and release by lichens: An overview. - *Bryologist* 81:226-246.
- Nielsen, E.V. 1989. Lavers kvælstofoptagelse. - Eksamensopgave. Slagelse Tekniske Skole.
- Nilsson, J. & P. Grennfelt (eds). 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden 19-24 March, 1988. - Stockholm.
- Pakarinen, P. 1981. Nutrient and trace metal content and retention in reindeer lichen carpets of Finnish ombrotrophic bogs. - *Ann. Bot. Fennici* 18: 265-274.
- Pike, L.H. 1978. The importance of epiphytic lichens in mineral cycling. - *Bryologist* 81: 247-257.
- Pulliainen, E. 1971. Nutritive values of some lichens used as food by reindeer in northeastern Lapland. - *Ann. Zool. Fennici* 8: 385-389.
- Reiners, W.A. & R.K. Olson. 1984. Effects of canopy components on throughfall chemistry: An experimental analysis. - *Oecologia (Berlin)* 63: 320-330.
- Salomon, H. 1914. Über das Vorkommen und die Aufnahme einiger wichtiger Nährsalze bei den Flechten. - *Jahrb. f. wiss. Botanik* 14: 309-354.
- Scotter, G.W. 1965. Chemical composition of forage lichens from northern Saskatchewan as related to use by barren-ground caribou. - *Can. J. Plant Sci.* 45: 246-250.
- Scotter, G.W. 1972. Chemical composition of forage plants from the Reindeer Preserve, Northwest Territories. - *Arctic* 25: 21-27.
- Smith, D.C. 1960a. Studies in the physiology of lichens. I. The effects of starvation and of ammonia absorption upon the nitrogen content of *Peltigera polydactyla*. - *Annals of Botany, N.S.* 24(93): 52-62.
- Smith, D.C. 1960b. Studies in the physiology of lichens. II. Absorption and utilization of some simple organic nitrogen compounds by *Peltigera polydactyla*. - *Annals of Botany, N.S.* 24(94): 172-185.
- Solberg, Y.J. 1967. Studies on the chemistry of lichens IV. The chemical composition of some Norwegian lichen species. - *Ann. Bot. Fennici* 4: 29-34.
- Sommer, S.G. 1985. Ammoniakfordampning i landbruget. - *Ugeskr. for Jordbrug* 1985: 611-614.

- Sommer, S. 1986. Ammoniak fra husdyrgødning - Indtryk fra et arbejdsgruppemøde i Holland. - Vand & Miljø 3: 97-102.
- Sommer, S.G. 1990. Ammoniakafsætning omkring et landbrug med malkekvæg - NPo-forskning fra Miljøstyrelsen nr. A4.
- Syers, J.K. & I.K. Iskandar. 1973. Pedogenic significance of lichens. - In: Ahmadian, V. & M.E. Hale (eds.): The lichens. Academic Press. New York & London: 225-248.
- Søchting, U. & I. Johnsen. 1987. Likénheder, rensdyrlaver og kvælstof. - Inst. for Sporeplanter og Inst. f. Økologisk Botanik.
- Søchting, U. & I. Johnsen. 1990. Overvågning af de danske likénheder. - Urt 1990(1): 4-9.

- Sommer, S. 1986. Ammoniak fra husdyrgødning - Indtryk fra et arbejdsgruppemøde i Holland. - Vand & Miljø 3: 97-102.
- Sommer, S.G. 1990. Ammoniakafsætning omkring et landbrug med malkekvæg - NPo-forskning fra Miljøstyrelsen nr. A4.
- Syers, J.K. & I.K. Iskandar. 1973. Pedogenic significance of lichens. - In: Ahmadian, V. & M.E. Hale (eds.): The lichens. Academic Press. New York & London: 225-248.
- Søchting, U. & I. Johnsen. 1987. Likénheder, rensdyrlaver og kvælstof. - Inst. for Sporeplanter og Inst. f. Økologisk Botanik.
- Søchting, U. & I. Johnsen. 1990. Overvågning af de danske likénheder. - Urt 1990(1): 4-9.