

Skov & Landskab

Pyntegrøntserien  
Nr. 16 • 2001

# **Bevoksnings- og farvegødskning af nordmannsgranjuletræer**

**-resultater fra 6 års forsøg på tidligere agerjord**

**Claus Jerram Christensen, Lars Bo Pedersen og Ege Friis**



**Rapportens titel**

Bevoknings- og farvegødsning af nordmannsgranjuletræer  
- resultater fra 6 års forsøg på tidligere agerjord

**Forfattere**

Claus Jerram Christensen<sup>1</sup>, Lars Bo Pedersen<sup>1</sup> og Ege Friis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forskningscentret for Skov & Landskab

<sup>2</sup>Danmarks JordbrugsForskning

**Udgiver**

Forskningscentret for Skov & Landskab

**Serietitel, nr.**

Pyntegrøntserien nr. 16-2001

**Ansvarshavende redaktør**

Niels Elers Koch

**Dtp**

Nelli Leth

**Bedes citeret**

Claus Jerram Christensen, Lars Bo Pedersen og Ege Friis (2001):  
Bevoknings- og farvegødsning af nordmannsgranjuletræer - resultater  
fra 6 års forsøg på tidligere agerjord. Pyntegrøntserien nr. 16,  
Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2001. 101 s. ill.

**ISBN**

87-7903-107-2

**ISSN**

0907-0354

**Tryk**

Kandrup's Bogtrykkeri, 2100 København Ø

**Oplag**

500 eks.

**Pris**

200 kr. inkl. moms

**Forsidefoto**

Mads Madsen Krag og Lars Bo Pedersen

**Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse**

I salgs- eller reklameøjemed er eftertryk og citering af rapporten samt  
anvendelse af Forskningscentrets navn kun tilladt efter skriftlig tilladelse.

**Rapporten kan købes ved henvendelse til**

DSR Boghandel

Thorvaldsensvej 40

DK-1871 Frederiksberg C

Tlf. 3535 7622

Fax 3535 2790

E-mail: dsr-boghandel@dsr-boghandel.dk

# Forord

Denne rapport er skrevet til praktikere og administrative beslutningstagere, der er knyttet til problemstillinger omkring gødskning og juletræsproduktion. Det er målet med rapporten at præsentere 6 års resultater om juletræsgødskning på en let tilgængelig måde. Gødskning af juletræer indebærer to modsatrettede hensyn. På den ene side er gødskning relevant for at kompensere for de fjernede næringsstoffer og for at sikre den kvalitet, som forbrugerne efterspørger. På den anden side fører gødskning ofte til en utilsigtet påvirkning af miljøet i form af udvaskning af nitrat og andre næringsalte til det omgivende miljø. Nærværende rapport er både en forlængelse og uddybning af slutrapporten for projektet ”Optimal gødskning af nordmannsgran- og nobilisjuletræer”, og en formidling af projektets resultater til den enkelte juletræsproducent.

Projektet blev igangsat i 1993 som et samarbejdsprojekt mellem Forskningscentret for Skov & Landskab (FSL), Danmarks Jordbrugsforskning (DJF) og Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole (KVL) med finansiering fra det daværende Landbrugsministerium (Noon-food programmet) og Skov- og Naturstyrelsen (SNS). Projektet løb frem til udgangen af 1997, hvorefter Produktionsafgiftfonden for Juletræer og Pyntegrønt (PAF) har ydet tilskud til en fortsættelse af dele af det oprindelige projekt. FSL har løbende ydet tilskud til projektet.

Hovedvægten i det oprindelige projekt blev fra begyndelsen lagt på nordmannsgran, da denne træart har størst økonomisk betydning for juletræedyrkningen i Danmark. Undersøgelserne blev foretaget på tidligere agerjord, da der i projektets begyndelse allerede foregik en betydelig juletræsproduktion herpå, og fordi der var en forventning om, at en stigende mængde landbrugsjord ville blive inddraget til juletræsproduktion. Nærværende rapport omfatter projektets centrale undersøgelser af gødskningens indflydelse på kvalitet og miljø i 4-9 årige nordmannsgranjuletræer plantet på tidligere agerjord. Disse alderstrin i omdriften er sat i fokus, fordi mange producenter starter bredgødsningen i denne periode.

Etablering og behandling samt opgørelse, beregning og formidling fra undersøgelserne er foretaget af videnskabelig medarbejder Erik Bøgehøje Hansen (frem til 1994), konsulent Lars Kjærboelling (frem til 1995), seniorkonsulent Claus Jerram Christensen (fra 1995), seniorforsker Lars Bo Pedersen, forsker Ege Friis (DJF), ph.d. Michael Fremann (KVL), laboratoriefuldmægtig Allan Overgaard Nielsen, laboratoriefuldmægtig Mads Madsen Krag samt laboranterne Andreas Harder, Lisbet Thomassen, Alina Borken-Hagen, Xhevat Haliti og Lena Byrgesen. Endvidere har følgende fungeret som målemedhjælpere ved de mange opgørelser: Skovtekniker Lars Andersen, skovtekniker Truls Wiberg, skovtekniker Klaus Brask Nielsen, forsøgstekniker Stig T. Hansen, agrarøkonom Gerner Frederiksen, gartneritekniker Nina Rendorff, skovbrugsstuderende Thomas Hansen, skovbrugsstude-

rende Claus Boholm Petersen og Mogens Bruun. Derudover har tidligere afdelingsleder, nu direktør i Dansk Juletræsdyrkerforening, Kaj Østergård været engageret i projektet med råd og vejledning under hele projektførelsen. De kemiske analyser er foregået ved Hedeselskabets laboratorium (kun 1994) og FSL's laboratorium (1993-1998).

Vi takker de otte forsøgsværter: Rye Nørskov Skovdistrikt, Salten Langsø Skovdistrikt, Hastrup Skovdistrikt, Hedeselskabet (Sjællands Skovdistrikt), Jægerspris Skovdistrikt, Clausholm Skovdistrikt, Erling Nygård og Bakkehuset Skovdistrikt for at have stillet arealer til rådighed samt for deres velvillige indstilling overfor projektet. Takken henledes særligt på de helt nødvendige kontrolparceller, der ikke modtog nogen gødning overhovedet, og hvor træerne stort set blev usælgelige gennem forsøgsperioden.

Gødningsfirmaerne Kemira Danmark A/S, Dangødning A/S, Norsk Hydro Danmark a.s og Binadan A/S takkes velvilligt for inspiration og sponsering af gødningerne.

**Efterskrift:**

Under slutredigeringen af denne rapport ultimo år 2000 døde Ege Friis kun 46 år gammel. Vi vil savne Ege's positive og energiske indstilling i det videre arbejde med gødskning af juletræer. Vores tanker går til de efterladte.

Claus Jerram Christensen & Lars Bo Pedersen

# Sammendrag

På tidligere landbrugsjorde er der gennemført 8 forsøg med gødskning af 4-9 årige bevoksninger af nordmannsgranjuletræer (*Ambrolauri proveniens*). Resultaterne afdækker store forskelle i nordmannsgranens vækst afhængig af jordbund og vejrforhold. Bedst trivsel opnås tilsyneladende på jordtyper med en god dræning og et moderat lerindhold, idet stagnationsperioden (efter udplantningen) er mindst på disse jordtyper.

Resultaterne viser, at der i relation til 4-9 årige nordmannsgraners vækst, kvalitet og sundhed kan opnås en nær optimal gødskningsplan med et N-dosering på 69-104 kg N/ha/år. Størst vækst og frodighed (knop-, gren-, og internodieskudsantal) opnås med disse N-niveauer med gødningssammensætningen NPK 14-3-18 udbragt om foråret. Sommerudbringning giver generelt lidt mindre vækst, men bedre farve for samme N-dosering. Der er en tendens til faldende frodighed, når gødningstidspunktet rykkes længere hen på året. Således vil sensommergødskning (farvegødskning) antageligvis give både mindre vækst og frodighed, men bedre farve på salgstidspunktet.

Analysen af nålenens indholdsstoffer i behandlinger med forskellig dosering af NPK 23-3-7 indikerer, at der særligt i bevoksningens første 4-5 år kan opstå relativ mangel på Mg, K, Mn og Fe, hvis N-koncentrationen er høj (1,8-2,0%). Undersøgelserne afdækker endvidere, at nålens N-koncentration falder markant med alderen, enten pga. et forøget C-indhold, eller pga. en bedre næringsstoftilgængelighed fra de forudgående punktbehandlinger før forsøgenes etablering. De gængse normer for N-koncentrationer i nordmannsgran (1,6-2,0%) bør derfor justeres til 1,4-2,0% for planter over 6 år, da det ellers kun er muligt at opretholde N-koncentrationen ved meget høje gødningsdoseringer. Dette er ikke nødvendigt på de undersøgte jordbundstyper udfra en kvalitetsmæssig synsvinkel, hvor også træer med en N-koncentration på 1,4% giver en god kvalitet og farve. For topskudslængde og nålefarve kan der opstilles modeller for relationerne mellem næringsstofkoncentrationer og hhv. topskudslængde og farve – modellerne giver den bedste sammenhæng i nedbørsrige år.

Udvaskningen af næringsstoffer, særligt kvælstof, fra nordmannsgranjuletræer gødsket med NPK 23-3-7, udviser store lokalitetforskelle i udvaskningsmønstret. Lette jordtyper har en meget kraftig, men kortvarig forøgelse af jordvandets koncentration af N, mens de mere lerede jordtyper har en mindre kraftig, mere langvarig forøgelse af jordvandets N-koncentration. Den gennemsnitlige udvaskning fra standardbehandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år er på 46 kg N/ha/år. Selvom træernes rodoptag til en vis grad stiger med en stigende gødningstildeling, falder den relative udnyttelsesgrad af gødningen samtidigt. Ved en dosering på 69 kg N/ha/år udnytter træerne og/eller fastlægges i jorden således kun ca. 35% af den tildelte gødning, mens resten udvaskes. For de højere doseringer (138 og 276 kg N/ha/år) udvaskes langt større mængder, og nedsvinningsvandet nærmer sig koncentrationer af nitrat, der ofte er over den maksimale grænse i drikkevand.

# Summary

On former farm land 8 fertilization experiments have been carried out on Nordmann fir Christmas tree at the age 4-9 years. The results show significant differences in the growth of Nordmann fir dependent on soil and climate. Apparently, optimum growth is obtained on soils with a good drainage and a moderate clay content as the stagnation period (after planting) is shortest in connection with these soils.

The results show that an almost optimum fertilization plan for growth, quality and health of Nordmann fir can be obtained with a N-dose of 69-104 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Fastest growth and best fertility (number of buds, branches, and internodial shoots) are obtained with these N-levels with the fertilization type NPK 14-3-18 applied in the spring. In general, summer application results in less growth but improved colour with the same N-dose. There is a tendency towards decreasing fertility when the fertilization is applied late in the year. Thus, late summer application (colour application) will most likely cause less growth and fertility but a better colour at the time of sale.

Analyses of the needle content in treatments with various doses of NPK 23-3-7, indicate that especially during the first 4-5 years a relative deficiency of Mg, K, Mn, and Fe may occur if the N-concentration is too high (1.8-2.0%). Furthermore the investigations revealed a distinct decrease in the N-concentration concurrently with increasing plant age due to either an increased C-content or a better nutrient accessibility from the previous individual fertilization of young plants prior to the establishment of the experiments. Therefore, the current optimum levels for N-concentrations in Nordmann fir (1.6-2.0%) should be adjusted to 1.4-2.0% for trees above 6 years, as it is only possible to keep up the N-concentrations through very high fertilizations doses. In terms of quality this has not been necessary on the soil types in the present experiments where trees with a N-concentration of 1.4% obtained good quality and colour. As to leader length and needle colour, models for the relations between nutrient concentrations and leader length and colour, respectively, can be made. The models show the best results in years with high precipitation.

The leaching of nutrients - especially of nitrogen - from Nordmann fir Christmas trees fertilized with NPK 23-3-7, show significant variance in the leaching pattern on different sites. Sandy soils have a strong but short increase of the N-concentration in soil water, while the more clayey soils have a less strong but prolonged increase of the N-concentration in soil water. The average leaching from the standard treatment with 300 kg NPK 23-3-7 ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> is 46 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Even though the root-uptake to some extent increases concurrently with increased fertilization, the relative utilisation ratio of the fertilization decreases. At a dose of 69 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> the utilisation of the trees and/or the fixation in the soil is no more than approx. 35% of the applied fertilization, while the rest is leached. At higher doses (138 and 276 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) a far bigger amount is being leached, and the leaching water approaches N-concentrations that often exceed the maximum permissible level in drinking water.



# Indhold

<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>Indhold</b>	<b>7</b>
<b>1. Indledning</b>	<b>9</b>
<b>2. Lokalteter, klima og gødningbe-handlinger</b>	<b>12</b>
2.1 Lokaltetsbeskrivelse	12
2.2 Klima	14
2.3 Gødningbehandling	14
<b>3. Metoder</b>	<b>17</b>
3.1 Udbringning af gødningen	17
3.2 Opgørelse af vækst, kvalitet og sundhed	17
3.3 Undersøgelser af jordbund, nålekemi og stofkredsløb	17
3.3.1 Jordbund	17
3.3.2 Nålekemi	18
3.3.3 Stofkredsløb	18
3.4 Kemiske analyser	20
<b>4. Resultater og diskussion</b>	<b>21</b>
4.1 Års- og lokalitetsforskelle	21
4.2 Virkning af gødningbehandling	27
4.2.1 Gødningdosering	28
4.2.2 Gødningstyper	34
4.2.3 Farvegødskning	40
4.3 Nålekemi	43
4.3.1 Variationer for år, lokalitet og dosering	43
4.3.2 Effekt af gødningformulering og gødningstidspunkt efter 4 år	51
4.3.3 Sammenhæng mellem kvalitetsparametre	54
4.3.4 Sammenhæng mellem kvalitetsmål og nålekemi	55
4.4 Stofkredskøb	58
4.4.1. Tilførsel med atmosfærisk deposition	59
4.4.2. Tilførsel med gødning	61
4.4.3 Jordvæskekoncentrationer	61
4.4.4. Udvaskning fra de forskellige behandling med NPK 23-3-7.	66
4.4.5 Års- og lokalitetsvariationen i udvaskningen af kvælstof	68
<b>5. Konklusion</b>	<b>69</b>
<b>6. Anbefalinger til praksis</b>	<b>70</b>
<b>7. Litteratur</b>	<b>71</b>
<b>Bilag 1. Lokaltetsbeskrivelse</b>	<b>75</b>
<b>Bilag 2. Deklarering af de anvendte gødningstyper</b>	<b>90</b>
<b>Bilag 3a. Målemetoder</b>	<b>91</b>

<b>Bilag 3b</b>	<b>Prima-, sekund- og vrag-sortering</b>	<b>94</b>
<b>Bilag 4.</b>	<b>Statistiske modeller</b>	<b>95</b>
<b>Bilag 5.</b>	<b>Faktiske farveværdier for referencekviste fordelt til år og lokaliteter</b>	<b>97</b>
<b>Bilag 6a.</b>	<b>Næringsstofkoncentrationer</b>	<b>98</b>
<b>Bilag 6b.</b>	<b>Næringsstofkoncentrationer og behandlinger</b>	<b>100</b>



# 1. Indledning

Dyrkning af nordmannsgranjuletræer begyndte for henved 40 år siden som en lille biproduktion til det vedproducerende skovbrug. Siden har produktionen udviklet sig voldsomt og er idag af meget stor økonomisk betydning for skovbruget. I takt med at dyrkningen er blevet rationaliseret, og begrænsninger for juletræsproduktion på fredskovspligtige arealer er blevet indført, er en stadig større del af produktionen flyttet ud på tidligere landbrugsjord. Her udgør juletræsproduktion et økonomisk alternativ til egentlig landbrugsproduktion.

Danske juletræsproducenter anvender skønmæssigt 5000 tons NPK gødning årligt svarende til en gennemsnitlig årlig udbringning på 180 kg NPK gødning/ha. Skovbrugets forsøgs- og undervisningsinstitutioner har før 1990'erne ikke prioriteret produktionen af juletræer højt. Det har betydet, at gødsning af nordmannsgranjuletræer hviler på et eksperimentielt meget spinkelt grundlag.

Det ideelle juletræ kendetegnes ved at være grønt til mørkegrønt, det er regelmæssigt, med ensartet til svagt stigende afstand mellem grenkransene. Det er tæt, så afstanden mellem grenkransene ikke bliver så stor, at træet bliver for åbent. Træets tæthed påvirkes mest af topskudslængden, men antallet af internodiegrene og grenkransgrenenes antal og vinkel i forhold til stammen, samt nålenes længde og placering på skuddene spiller også en væsentlig rolle.

Det er eksperimentielt påvist og af praksis almindeligt accepteret, at gødsning med specielt kvælstof (N) påvirker såvel topskudslængde som farve (Holstener-Jørgensen & Bartholin, 1969). En kraftig forøgelse af topskudslængden er kun ønsket i kulturens start, da for stor topskudsvækst umiddelbart før høstårene kan give for åbne træer. Mangel på mikronæringsstoffer som mangan (Mn) og jern (Fe), f.eks. på opkalket landbrugsjord, kan også påvirke nålefarven hos nordmannsgranjuletræer (Holstener-Jørgensen & Christensen, 1983, 1984). Det er også påvist, at næringsstofftilstanden påvirker pottede douglasgraners modtagelighed for efterårs- og forårsfrostskaeder (særligt N), vinterfrostskaeder og vinterudtørringsskaeder (særligt kalium (K)) (Larsen, 1976). I tilsvarende forsøg med nordmannsgran (Fremann & Nielsen, 1997) har særligt forholdet mellem K og N vist sig at have stor betydning for nordmannsgrans resistens overfor såvel vinter- som forårsnattefrost. Praktiske iagttagelser (Lüneborg-Nielsen, 1985) synes at bekræfte antagelsen om K's store betydning for resistensen mod vinterfrostskaeder. Hvorledes andre næringsstoffer spiller ind på vækst og kvalitet af nordmannsgran er uvist, ligesom en egentlig kvantificering af næringsstoffernes, særligt N's, påvirkning af vækst og kvalitet er påkrævet. Endvidere er det også dokumenteret, at forholdet imellem de enkelte næringsstoffers tilgængelighed har stor betydning for planters vækst og sundhed. Også dette forhold mangler helt at blive belyst for nordmannsgran.

En lang række risici truer juletræsdyrkingen, hvoraf bl.a. angreb af lus og frostskafer antages at afhænge af træernes næringsstofftilstand. Angreb af lus misfarver og deformerer træet, og særligt nålenes koncentration af N synes at have en negativ påvirkning på koncentrationen af forsvarsstoffer (Kirkeby-Thomsen et al., 1999). Skader som følge af forårsnattefrost, vinterfrost og vinterudtørring ødelægger nye skud med efterfølgende tab af træets regelmæssighed.

Med vandmiljøplan I og siden II har Folketinget sat fokus på bl.a. jordbrugets forurening af vandmiljøet med næringsalte med et klart ønske om en reduktion. Der er således indført normer for N-gødskning af juletræer på tidligere agerjord (for tiden 75 kg N/ha/år), mens der er indført en afgift pr. kg N (for tiden 5 kr./kg N) for juletræer i skov. Afgiften kan dog bortfalde, hvis arealerne underlægges normerne og registreres. Der vides meget lidt om udvaskning af næringsstoffer fra intensivt dyrkede juletræskulturer. Behovet for dette arbejde understreges af, at der i Miljøstyrelsens strategi for fremtidig forsyning med drikkevand indgår, at skovene skal være nedslivningsområder med henblik på dannelsen af rent grundvand. Påvirkningen af gødskning på miljøet, specielt grundvandet, er ikke undersøgt for arealer med juletræer, og her spiller udover de tilførte mængder gødning især nordmannsgranens tilvækst, den atmosfæriske deposition samt forekomsten af ukrudt ind, ligesom jordbundsforholdene, tidligere arealanvendelse og klimaforhold har betydning for miljøpåvirkningen.

Endvidere savnes et redskab til at forudsige næringsstofbehovet hos specifikke bevoksninger. Derfor har mange dyrkere anvendt traditionelle jordprøver, mens kun et fåtal støtter sig til nåleanalyser. Det må formodes, at landbrugets referenceværdier for jordprøver er for høje, da juletræer naturligt er mere nøjsomme, end mange af de krævende landbrugsafgrøder, som referenceværdierne er udviklet til. I landbruget er der udviklet prognoser, der med ganske stor sikkerhed er i stand til at forudsige den optimale tilførsel af N og andre næringsstoffer for flere afgrøder. Før disse modeller kan overføres til dyrkning af juletræer, skal særligt nordmannsgranens behov for N undersøges.

Nærværende projekts formål har været at belyse sammenhængen mellem gødskning, kvalitet og miljø, herunder at kvantificere udvaskningen fra intensivt dyrkede nordmannsgran bevoksninger på forskellige lokaliteter under hensyntagen til gødningsdoseringen, den fundne deposition, klimaet og det faktiske næringsstoffoptag i juletræerne.

Af praktiske grunde blev der etableret flere forskellige forsøgsserier til belysning af de forskellige problemtyper i relation til bl.a. plantealder og udbringningsteknik:

1. A-serien: Kultur/startgødskning.
2. B-serien: Bevoksningsgødskning og økosystemundersøgelser (hovedserien).
3. C-serien: Alternative gødningstyper og farvegødskning.
4. D-serien: Nobilisjuletræsgødskning.

Rapport nr. 8 og 10 i Pyntegrøntserien (Christensen, 1998 og Christensen & Pedersen, 1999) beskæftiger sig med resultater for hhv. kultur/startgødskning (A-serien) og gødskning af nobilis (D-serien), mens nærværende rapport belyser resultaterne fra projektets to centrale serier med bevoksningsgødskning i nordmannsgran (serie B+C).

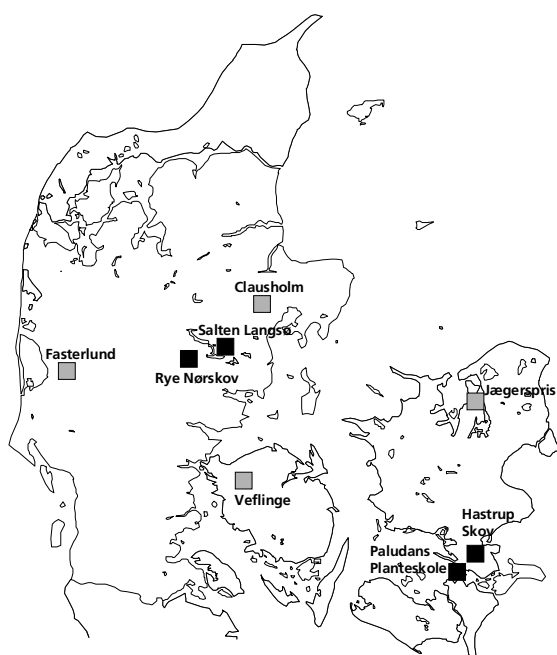
## 2. Lokalteter, klima og gødningsbehandling

### 2.1 Lokaltetsbeskrivelse

Der blev anlagt 8 forsøg alle “uden for skovgærdet” på jord, som tidligere havde været under almindelig landbrugsmæssig omdrift. Forsøgene er jævnt geografisk fordelt i landet og flere af de store traditionelle juletræsdykningsområder er repræsenteret, men vigtigst for lokalitetsvalget har været at indtage forskellige jordbunds- og klimatyper (figur 2.1). I forsøgsserien med bevoksningsgødkning (B-serien), såvel som i forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødkning (C-serien), er der afsat 4 forsøg. Forsøgene er anlagt med 4 gentagelser (blokke) pr. lokalitet og 12 behandlinger pr. gentagelse. Hver behandling repræsenteres normalt af 20 træer i hver parcel pr. gentagelse. Samlet er der 960 træer pr. lokalitet. I Jægerspris, Clausholm, FASTERLUND og Veflinge (C-serien) er der udført forsøg med alternative gødningstyper og farvegødkning, mens der på hovedlokaliteterne Rye Nørskov, Salten Langsø, Hastrup Skov og Paludans Planteskole (B-serien) udelukkende er udført forsøg med bevoksningsgødkning.

Forsøgene blev anlagt i efteråret 1993 i eksisterende kulturer. Der er afsat egentlige nettoparceller indeni 50 m<sup>2</sup> store bruttoparceller. Ingen af træerne i nettoparcellen kommer tættere på (brutto)parcelgrænsen end 0,5 m. Her ved mindskes risikoen for kontaminering pga. afstrømning fra naboparceller og upræcis udbringning. Brutto-parcellerne er behandlingsenhederne, mens nettoparcellerne er de egentlige måleenheder.

En oversigt over de 8 lokaliteter findes i tabel 2.1 og en mere udførlig beskrivelse er gengivet i bilag 1.



Figur 2.1 Feltforsøgenes geografiske placering og fordeling til forsøgsserier.

■ = Bevoksningsgødkning (B-serien), □ = Alternative gødningstyper og farvegødkning (C-serien).

Table 2.1 Sammenfatning af beskrivelsen for de otte forsøgslokaliteter. (e.=efterår, f.= forår).

Forsøgsserie/ Lokalitet	Geografisk placering	Anlægs- tidspunkt	LOKALITETSBEKRIVELSE				Første forsøgsår	Sidste forsøgsår	Gødskning for forsøget (forårs udbringning)	Renholdelse for ukrudt	Hugst
			Plante- størrelse	Proveniens							
Rye Nørskov (B-serien)	Midtjylland	e. 1990	2/1	Ambrolauri		1994	1997	1990: Slam, 25 tons/ha (1000 kg N og 500 kg P) 1000 kg KCl	ekstensiv	Ingen	
Salten Langsø (B-serien)	Midtjylland	f. 1990	2/1	Ambrolauri & Langsø afd. 6		1994	1997	1991: 15 g NPK 14-3-18/plante 1992 & 1993: 25 g NPK 14-3-18/plante	medium	1995	
Hastrup Skov (B-serien)	Sydsjælland	f. 1991	2/1	Ambrolauri		1994	1999	1992: 17 g NPK 23-3-7/plante 1993: 22 g NPK 23-3-7/plante	intensiv	1997 1998	
Paludans Planteskole (B-serien)	Sydsjælland	f. 1991	2/1s	Ambrolauri & Arkhyz		1994	2000	1992: 15 g NPK 23-3-7/plante 1993: 20 g NPK 23-3-7/plante	medium	Ingen	
Jægerspris (C-serien)	Nordsjælland	e. 1991	2/2	Ambrolauri		1994	1997	1993: 40 g NPK 23-3-7/plante	medium	Ingen	
Clausholm (C-serien)	Midtjylland	f. 1990	2/1	Ambrolauri		1994	1997	1992: 150 kg NPK 23-3-7/ha 1993: 200 kg NPK 23-3-7/ha	intensiv	Ingen	
Fasterlund (C-serien)	Vestjylland	f. 1990	2/1	Ambrolauri		1994	1997	1991, 1992 & 1993: 400 kg NPK 21-4-10/ha	medium	1995	
Veflinge (C-serien)	Fyn	f. 1990	2/1	Ambrolauri		1994	1997	1992: 300 kg NPK 14-4-17/ha 1993: 300 kg NPK 23-3-7/ha	intensiv	1995 ellers ikke	

Table 2.1 (fortsat) Sammenfatning af beskrivelsen for de otte forsøgslokaliteter. (e.=efterår, f.=forår).

Egenskab	JORBUNDSBEKRIVELSE										
	Dybde	Humus	Ler	Silt	Sand	Kalk	pH	Kalium (K <sup>+</sup> )	Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	Total-N	Base- mætning
Lokalitet	cm	%	%	%	%	%	CaCl <sub>2</sub>	mg/kg	mg/kg	%	%
Rye Nørskov <i>Cambic podzol</i>	0-30	2,8	5,9	4,8	86,5	0,0	5,1	18	11	0,11	97
	30-50	1,2	3,8	3,8	91,2	0,0	5,0	9	4	0,03	76
	50-100	0,2	2,2	1,5	96,1	0,0	4,9	3	2	0,00	22
Salten Langsø <i>Haplic luvisol</i>	0-30	1,8	6,7	14,3	77,2	0,0	5,4	21	16	0,06	91
	30-50	0,6	10,1	14,7	74,6	0,0	5,1	21	10	0,01	86
	50-100	0,4	10,1	14,4	75,1	0,0	4,8	28	11	0,00	75
Hastrup Skov <i>Haplic luvisol</i>	0-30	1,6	16,5	33,5	50,0	0,0	6,7	42	28	0,11	99
	30-50	0,5	19,8	25,8	54,4	0,0	7,1	24	19	0,03	99
	50-100	0,3	21,9	36,6	41,2	0,0	5,2	31	50	0,01	98
Paludans Planteskole <i>Eutric cambisol</i>	0-30	0,8	13,5	15,8	69,4	0,5	7,4	62	21	0,04	99
	30-50	0,5	10,1	18,1	56,5	14,8	7,1	28	13	0,01	98
	50-100	0,2	7,3	15,3	65,7	11,5	7,0	22	7	0,00	98
Jægerspris <i>Haplic luvisol</i>	0-30	1,0	4,7	8,4	85,8	0,0	4,9	43	16	-	77
	30-50						5,0	20	5	-	66
	50-100						4,7	21	2	-	17
Clausholm <i>Haplic luvisol</i>	0-30	1,6	14,0	20,0	64,8	0,0	5,5	134	82	-	99
	30-50						5,9	58	94	-	98
	50-100						6,0	52	222	-	98
Fasterlund <i>Eutric podzol</i>	0-30	4,1	6,7	38,0	50,9	0,0	6,7	112	62	-	100
	30-50						6,4	76	42	-	100
	50-100						6,3	138	10	-	99
Veflinge <i>Eutric gleysol</i>	0-30	1,6	13,8	23,8	60,5	0,0	5,3	158	71	-	98
	30-50						5,6	77	123	-	99
	50-100						5,4	74	161	-	98
Plantedirektoratet								70-100	40-80		

\*Ombyttelig kation målt i ekstraktion.

## 2.2 Klima

I forsøgsperioden har klimaet vekslet mellem årene, og flere år har afvejet betydeligt fra normalværdierne (tabel 2.2).

Forsøgsåret 1994 kendetegnes af et noget lunere klima med en nedbør over normalen for året som helhed. I 1994-vækstperioden når mange af lokaliteterne dog ikke op på den respektive normalnedbør for lokaliteten. 1995 var ideelt set et bedre vækstår med lidt over eller nær normal temperatur samt en lidt mindre nedbør på årsplan. For vækstperioden var nedbørsunderskuddet noget mere udtalt i 1995. I 1996 er temperaturen lidt under normalen - også i vækstperioden, og nedbøren var betydeligt under det normale - også i vækstperioden. 1996 må betegnes som forsøgsperiodens dårligste vækstår. Årstemperaturen i 1997 var lidt over normalen, mens nedbøren var lidt under normalen. Med undtagelse af Hastrup Skov og Paludans Planteskole var nedbøren i vækstperioden dog over normalen i 1997. I 1998 var temperaturen lidt over normalen, mens nedbøren var højere end normalen. I 1998 var der med undtagelse af Hastrup Skov og Paludans Planteskole mere nedbør i vækstperioden end normalen for lokaliteterne. 1998 må generelt betegnes som forsøgsperiodens bedste vækstår. For Hastrup Skov og Paludans Planteskole har hele forsøgsperioden (1994-98) således stort set været kendetegnet ved, at nedbøren i vækstperioderne har været mindre end normalværdierne.

## 2.3 Gødningsbehandlinger

Foruden kontrolbehandlingen uden tilførsel af gødning er der på de 8 lokaliteter foretaget 20 gødningsbehandlinger, som er opdelt i 7 kategorier eller led alt efter mængden af N (tabel 2.3). De ekstakte mængder N i gødningen

*Tabel 2.2 Årsmiddeltemperaturer og årlige nedbørsmængder fordelt på år og lokaliteter sammenholdt med værdier for den sidste 30 års normalperiode (1961-90). I parentes er vist de tilsvarende værdier for vækstperioden (15/4-15/9) fordelt til lokaliteter og år. For hovedserien (Rye Nørskov, Salten Langsø, Hastrup Skov og Paludans Planteskole) er der tale om faktisk målte nedbørsmængder i perioden 1994-97, mens de øvrige er beregnede værdier baseret på de(n) nærmeste meteorologiske station(er). De gråtonede felter angiver forsøgsstationer, som blev nedlagt ved udgangen af 1997. Data fra Danmarks Meteorologisk Institut og Danmarks JordbrugsForskning.*

år		Rye Nørskov	Salten Langsø	Hastrup Skov	Paludans planteskole	Jægerspris	Clausholm	Fasterlund	Veflinge
1994	Middeltemperatur (°C)	8,5 (14,2)	8,5 (14,2)	9,0 (14,7)	9,1 (14,8)	8,9 (14,9)	8,5 (14,2)	8,5 (13,9)	8,9 (14,7)
	Nedbør (mm)	952 (308)	856 (286)	866 (263)	789 (264)	856 (272)	866 (306)	1231 (462)	945 (330)
1995	Middeltemperatur (°C)	7,9 (13,8)	7,9 (13,8)	8,5 (14,6)	8,5 (14,6)	8,4 (14,6)	7,8 (13,8)	8,0 (13,7)	8,5 (14,5)
	Nedbør (mm)	779 (273)	804 (262)	647 (263)	562 (228)	679 (261)	701 (253)	941 (276)	693 (227)
1996	Middeltemperatur (°C)	6,6 (12,9)	6,5 (12,9)	7,0 (13,6)	7,1 (13,6)	7,1 (13,7)	6,5 (12,9)	6,7 (12,8)	7,1 (13,7)
	Nedbør (mm)	596 (243)	631 (243)	537 (290)	444 (217)	489 (242)	524 (203)	653 (205)	572 (214)
1997	Middeltemperatur (°C)	8,2 (14,2)	8,2 (14,2)	8,6 (14,8)	8,6 (14,8)	8,5 (14,9)	8,1 (14,1)	8,3 (14,2)	8,8 (14,9)
	Nedbør (mm)	732 (353)	813 (376)	661 (308)	517 (237)	618 (316)	697 (378)	838 (389)	621 (265)
1998	Middeltemperatur (°C)	7,9 (13,1)	8,0 (13,1)	8,5 (13,8)	8,5 (13,8)	8,2 (13,7)	7,7 (12,8)	8,1 (13,1)	8,5 (13,7)
	Nedbør (mm)	999 (376)	1072 (398)	843 (255)	816 (245)	903 (352)	845 (313)	1250 (474)	955 (332)
1961-90	Middeltemperatur (°C)	7,6 (13,2)	7,5 (13,1)	8,0 (13,9)	8,1 (13,9)	8,1 (13,2)	7,5 (13,2)	7,6 (13,0)	7,9 (13,5)
	Nedbør (mm)	851 (328)	918 (345)	721 (300)	695 (293)	673 (293)	742 (305)	982 (361)	774 (311)

kan variere lidt i forhold til navnet på N-doseringen, når der korrigeres for gødningernes faktiske N-indhold (bilag 2).

I forsøgsserien med bevoksningsgødskning (B-serien) undersøges overvejende effekten af NPK 23-3-7. Når denne gødningstype bruges så hyppigt af praktikere, skyldes det bl.a. Holstener-Jørgensens (1969 & 1972) undersøgelser af indholdet af næringsstoffer i nobilis klippegrønt. Her anbefales en erstatning med 33,6 kg klorfattig NPK 23-3-7 for hvert tons klippegrønt der fjernes pr. ha (Holstener-Jørgensen, 1980). Dette er i praksis blevet til 300 kg NPK 23-3-7/ha/år, som siden er overført på nordmannsgranjuletræer. Set i forhold til de fleste jultærskdyrkeres almindelige gødningspraksis ved projektets start repræsenterer behandlingsled 0 og 6 derfor den absolutte nedre hhv. øvre doseringsgrænse. I dag gødsker den overvejende del af dyrkerne med en dosering omkring 75 kg N/ha/år (anon. 1995). I forsøgsserien med bevoksningsgødskning indgår tillige et mindre forsøgsэлемент med NPK 14-3-18, som blandt visse praktikere anses for at kunne forbedre nordmannsgranjuletræers resistens overfor (vinter)frostskader pga. det højere K-indhold (Lüneburg-Nielsen, 1985). Valget mellem de to behandlingssled med ren kvælstof (2c+d) er truffet ud fra jordbunden på lokaliteten (tabel 2.1).

*Tabel 2.3 Behandlingsoversigt for B- og C-serien i perioden 1994-1997. For Hastrup Skov og Paludans Planteskole tillige i 1998-1999. I de gråskraverede behandlinger foregår der økosystemundersøgelser med måling af stofkredsløb, klima og nålekemi m.m. (kun bevoksningsgødskningsserien). For led 1 er disse undersøgelser først begyndt i 1996. En mere detaljeret beskrivelse af de enkelte gødningstyper findes i bilag 2.*

Led	Serie	Gødnings tidspunkt	Type (NPK)	Gødnings konsistens	N-dosering (kg N/ha/år)	Dosering (kg/ha/år)					
						handelsvare	N	P	K	S	Mg
0	B+C		ubehandlet		0	0	0	0	0	0	
1	B	april	23-3-7	fast-granulat	35	150	33,9	4,1	9,9	4,4	2,4
2a	B+C	april	23-3-7	fast-granulat	69	300	67,8	8,1	19,8	8,7	4,8
2b	B	april	14-3-18	fast-granulat	69	493	69,0	14,8	86,8	22,7	4,9
2c <sup>1</sup>	B+C	april	21-0-0	fast-pulver	69	329	69,1			79,0	
2d <sup>2</sup>	B+C	april	27-0-0	fast-granulat	69	256	69,1				6,9
2e	B	juli	23-3-7	fast-granulat	69	300	67,8	8,1	19,8	8,7	4,8
2f	C	juli	19-2-4	flydende	69	363	67,9	6,2	13,4	6,2	
2g	C	juli	10-2-8	flydende	69	690	66,9	11,7	53,1	4,1	
3a	B+C	april	23-3-7	fast-granulat	104	450	101,7	12,2	29,7	13,1	7,2
3b	C	april	25-2-9	fast-granulat	104	414	101,8	7,5	35,6	9,9	
3c	C	april	16-3-8	fast-piller	104	647	103,5	18,1	52,4		2,6
3d	C	april	19-2-4	flydende	104	545	101,9	9,3	20,2	9,3	
4a	B	april	23-3-7	fast-granulat	138	600	135,6	16,2	39,6	17,4	9,6
4b	B	april	14-3-18	fast-granulat	138	986	138,0	29,6	173,5	45,4	9,9
4c	B	april & juli	23-3-7	fast-granulat	138	300+300	135,6	16,2	39,6	17,4	9,6
5	B	april	23-3-7	fast-granulat	207	900	203,4	24,3	59,4	26,1	14,4
6	B	april	23-3-7	fast-granulat	276	1200	271,2	32,4	79,2	34,8	19,2
7a <sup>3</sup>	C	august	23-3-7	fast-granulat	51	220	49,7	5,9	14,5	6,4	3,5
7b <sup>3</sup>	C	august	27-0-0	flydende	51	181	48,3			6,7	
7c <sup>3</sup>	C	august	27-0-0	flydende	51	84	22,4			3,1	

<sup>1</sup> Behandlingen kun udført på Paludans Planteskole og Hastrup Skov (B-serien) samt på Clausholm og Veflinge (C-serien).

<sup>2</sup> Behandlingen kun udført på Rye Nørskov og Salten Langsø (B-serien) samt på Jægerspris og Fæstlund (C-serien).

<sup>3</sup> Behandlingen først igangsat i 1996.



I forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødsning indgår færre doseringer med N, men flere gødningstyper. Der er tradition for at bruge klorfattig gødning til juletræer. Disse gødninger er ofte dyrere, og det er derfor nærliggende at anvende andre gødningstyper, hvis de kan give samme kvalitet (uden skader) med en mindre gødningsudgift. Endvidere undersøges effekten af gødningstyper med langsommere næringsstoffrigivelse bl.a. organisk gødning. Også andre gødsningstidspunkter end de traditionelle forårsbehandlinger i marts/april testes. Fast (granuleret) gødning er den mest anvendte konsistens på gødningen hos juletræsproducenterne, men valget mellem fast og flydende gødning afhænger ofte af det tilgængelige udstyr.

Der indgår tre farvegødsningsbehandlinger i forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødsning. Farvegødsning bruges kun i salgsklare kulturer og kun i år med meget nedbør, hvor træerne kan miste farve og derved blive usælgelige. Tidligere undersøgelser (Holstener-Jørgensen & Skriver, 1986 og Holstener-Jørgensen & Krag, 1987) bekræfter, at almindelig forårsbehandling ikke altid kan "holde farven" og derfor må suppleres med sensommergødsning. I praksis bruges i reglen ren N-gødning i den anbefalede dosering på ca. 50 kg N/ha/år. Da afviklingen af en juletræskultur foregår over flere år vil almindelig fladebehandling tilføre en lang række blivende træer ren N i sensommeren. Herved øges risikoen for forsinket afmodning (Skre, 1988) med efterfølgende risiko for tidlige vinterskader på de blivende træer. I led 7c undersøges derfor muligheden for at udbringe farvegødsningen som punktbehandling.

## 3. Metoder

### 3.1 Udbringning af gødningen

Den faste gødning blev udbragt med hånden som bredgødskning (fladebehandling) i bruttoparceller, ved gennemgang flere gange fra fire retninger for at sikre en ensartet fordeling. Med undtagelse af farvegødskningsbehandlingen til enkelttræer (behandlingsled 7c), blev de flydende gødninger udbragt med en Hardy forsøgssprøjte med almindelig runddyse uden svivel. Gødningen blev udbragt mellem trærækkerne, som var det udbragt med slæbeslanger, og disse parceller blev også gået igennem flere gange. I takt med den stigende træstørrelse, hvor grenene til sidst ”lukker”, blev det stadig vanskeligere at bringe gødningen ud på denne måde. I de sidste behandlingsår blev den flydende gødning derfor tillige udbragt ovenpå grenene. For farvegødskningsbehandlingen til enkelttræer (led 7c) blev den afmålte gødning udbragt over planten i en cirkel med radius som kronens. Behandlingen blev udført på hver anden række som punktbehandling med 28 g handelsvare pr. træ pr. år ( $\approx 50$  kg N/ha/år ved 6500 træer/ha).

### 3.2 Opgørelse af vækst, kvalitet og sundhed

I 1994-1997 og 1998-1999 (kun Hastrup Skov og Paludans Planteskole) blev træernes vækst, kvalitet og sundhed registreret efter årets vækstsæson. Alle enkelttræer målt for højde, topskudslængde, antal top- og sideskudsknopper, antal internodieskud mellem 1. og 2. grenkrans (fra 1996), antal grene i øverste grenkrans, farve, nålelængde, skader, vinterskader (kun B-serien i 1996), vitalitet og juletræsegnethed (fra 1996). Vitaliteten beskrives subjektivt, og i vurderingen indgår mere eller mindre direkte egenskaber som skudtykkelse, knopstørrelse, skud- og grenantal samt farve. I vurderingen af juletræsegnetheden vurderes det enkelte træs skelet, og eventuelle fejl herpå noteres. Herudover er der på et mindre antal træer i forsøgsserien med bevoksningsgødskning (B-serien) registreret sideskudslængde i øverste grenkrans og stammediameter mellem 1993 og 1994 grenkransene med henblik på at følge træernes tilvækst. Registreringerne på forsøgstræerne har fundet sted før hugsten i de pågældende år. En nærmere redegørelse for, hvordan de enkelte egenskaber er målt, fremgår af bilag 3a.

### 3.3 Undersøgelser af jordbund, nålekemi og stofkredsløb

#### 3.3.1 Jordbund

Der er foretaget en jordbundsbeskrivelse på samtlige forsøgslokaliteter. På Rye Nørskov, Salten Langsø, Hastrup Skov og Paludans Planteskole (serien med bevoksningsgødskning) er profilbeskrivelsen foretaget i efteråret 1993 i 2-3 jordbundshuller pr. lokalitet suppleret med 3 stik med jordspyd i hver

anden forsøgsparcel. Profilerne er beskrevet til ca. 120 cm's dybde, mens stikkene med jordspyd er foretaget til ca. 60 cm's dybde. Der er foretaget tekstur- og kemisk analyse på horisontbaserede jordprøver fra jordbundshullerne. På Jægerspris, Clausholm, FASTERLUND og Veflinge (serien med alternative gødningstyper og farvegødsning) er jordbunden beskrevet i efteråret 1996 ud fra 1 jordbundshul pr. forsøgslokalitet. Der er foretaget kemisk analyse på horisontbaserede jordbundspøver fra dette jordbundshul. Der er foretaget tekstur- og kemisk analyse på jordprøver udtaget med 30 cm jordspyd i efteråret 1993 og 1998 – i 1993 med 5 stik tilfældigt fordelt på hele forsøgsarealet, i 1998 med 5 tilfældige stik pr. gentagelse i 8 behandlinger.

### 3.3.2 Nålekemi

Der er løbende indsamlet årsskud til nåleanalyser fra såvel bevoksningsgødsningsserien som forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødsning. Skuddene er taget fra tilfældigt udvalgte sunde træer i den øverste grenkrans og altid pegende mod syd. Skuddene er indsamlet i oktober eller november efter endt vækst.

I bevoksningsgødsningsserien er skuddene indsamlet fra kontrollen (led 0) og fra NPK 23-3-7 behandlingerne 150 kg/ha/år (led 1- fra 1996), 300 kg/ha/år (led 2a), 600 kg/ha/år (led 4c) og 1200 kg/ha/år (led 6) fra de samme tre træer. Disse nåleanalyser blev i efteråret 1997 suppleret med en analyse fra flere træer i samme behandling.

I forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødsning blev der i efteråret 1997 indsamlet 3 skud (behandlingsvist) fra behandling 0, 2a, 2c, 3a, 3b, 3c og 3d samt fra farvegødsningsbehandlingerne 7a og 7b fra tre gentagelser. Da ejeren af Veflinge forsøget selv havde gødsket hele forsøgsarealet i efteråret 1997 i forbindelse med den rutinemæssige farvegødsning, blev der ikke foretaget indsamling af skud her i 1997.

### 3.3.3 Stofkredsløb

Der er foretaget stofkredsløbsmålinger på Rye Nørskov, Salten Langsø, Hastrup Skov og Paludans Planteskole i behandlingerne med 150-, 300-, 600-, og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år samt i kontrolparcellerne. I modsætning til kvalitetsopgørelserne foretages stofkredsløbsmålingerne kun i tre gentagelser for hver behandling. I stofkredsløbsundersøgelserne måles tilførslen (input) og fraførslen (output) af vand samt de vigtigste kemiske elementer og næringsstoffer.

Når et næringsstof eller et andet vigtigt kemisk element forlader et givent økosystem, udgør stoffet en del af systemets output. Systemet udgøres af træerne og den rodzone de filtrerer samt af den øvrige flora og fauna, som findes i eller ovenpå jorden. Output fra disse økosystemer består af stoffer, der forlader systemet på luftform (f.eks. ilt ( $O_2$ ) og kuldioxid ( $CO_2$ )), partikelform (f.eks. nedskyldning af lerpartikler fra rodzonen, overfladeerosion og bortfygning af lerpartikler mv.) og i opløst tilstand. For langt de fleste næringsstoffers vedkommende er det luftformige output lig nul eller kan negligeres. Eneste undtagelse er formentlig et mindre output af gasformige kvælstofforbindelser. Output af partikler er ikke målt, hverken via fygning,

overfladeerosion eller partikulær nedvaskning. Såvel fygning som overfladeerosion kan være et problem især på meget renholdte arealer i kulturrenes første år. I Hastrup Skov blev der konstateret en vis overfladeerosion i de første måleår, som dog blev afhjulpet gennem let overfladebearbejdning. Ligeledes i Hastrup Skov blev der konstateret belægninger af lerpartikler i ormegange og tidligere rodrum, hvilket indikerer, at der har været en mindre, men formodentlig ubetydelig nedslemning af ler.

I det hydrologiske kredsløb udgør nedbøren i form af regn og sne langt det vigtigste input, mens fordampningen (evapotranspirationen) og afdræningen fra rodzonen udgør de centrale output fra økosystemet. Nedbørsmængderne registreres i klimastationer (1 pr. lokalitet) med et interval på ca. 10 minutter. Desuden opsamles de månedlige totalmængder af nedbør via 2 trakte pr. lokalitet, der leder nedbøren videre til 2 nedgravede lystætte opsamlingsbeholdere. Nedbøren opsamles i 2 meters højde og korrigeres herefter vha. standardtabeller til jordoverfladen. Den opsamlede nedbør i opsamlingsbeholderene anvendes til kemiske analyser.

Fordampningen er vanskelig og kostbar at måle og er i stedet estimeret ud fra en hydrologisk model, der dels benytter lokale og dels regionale klimadata (nedbør, temperatur, solindstråling, vindhastighed mv.). Nedsivningen lader sig ikke måle direkte i økosystemer uden fast ”bund” af klippe el. lign. Derfor er nedsivningen estimeret vha. vandbalance-modellen EVACROP (Olesen & Heidmann, 1990) på grundlag af lokale jordbunds informationer samt lokale og/eller regionale meteorologiske observationer. Til støtte herfor er der foretaget månedlige målinger af jordens fugtighed (det procentuelle vandindhold i rodzonen). Fugtighedsmålingerne er foretaget med TDR prober ned til 60 cm’s dybde. Der er i alt nedsat 3 par TDR prober ved et tilfældigt udvalgt træ, og TDR proberne står i forskellig afstand fra træets midte. I alt 9 par TDR prober indgår i hvert behandlingsled. I EVACROP-modellen beregnes den daglige nedsivning som den rest af vand fra nedbøren, som ikke enten fordamper eller optages af planterne korrigeret for variationen i jordens vandindhold. Jordens daglige vandindhold bestemmes ved at sammenligne modelestimer med aktuelle målinger af jordens vandindhold i adskillige beregningsiterationer.

Input af de vigtigste kemiske elementer med gødningen er beregnet gennem registrering af de udvalgte gødningsmængder kombineret med stofkoncentrationerne i gødningen. Gødningens deklARATION er sammenlignet med laboratoriemålinger for de anvendte gødninger i stofkredsløbsundersøgelserne.

Input af de vigtigste kemiske elementer med den atmosfæriske deposition er bestemt ved at multiplicere de månedlige målte nedbørskoncentrationer med de indsamlede nedbørsmængder. Herved underestimeres tilførslen, fordi den totale atmosfæriske deposition sættes lig den deposition, som foregår med nedbøren (våddepositionen). Herudover tilføres stoffer, som afsættes som gasser eller partikler (tørdepositionen) direkte på træerne. Tørdepositionen stiger med den overflade ”der kan filtrere luften”. Derfor har tørdepositionen givetvis været lille i undersøgelsens start, da træerne var små, siden er betydningen øget med stigende træstørrelse.

Høst og bortfjernelse af juletræer udgør et af økosystemets output. Der fjernes antageligt betydelige mængder næringsstoffer med juletræshugsten. En måling af dette output har ikke været formålet med denne undersøgelse, men vil blive bestemt i en fremtidig undersøgelse.

Udvaskningen udgør for de fleste næringsstoffers vedkommende langt det største output fra systemet. Til støtte herfor måles stofkoncentrationerne i jordvæsken hver måned. Jordvæsken ekstraheres kontinuert fra jorden gennem et permanent udstationeret jordsondesystem (Prenart). Sonderne er installeret under træernes rodsystem i 60 cm dybde. Fra sonderne fører slanger til centralt nedgravede opsamlingsbeholdere. Sonderne suger vand fra jorden vha. et konstant undertryk/sug på systemet, der reguleres månedsvist i forhold til jordens vandindhold. I alt er der installeret 3 sonder pr. plot svarende til 9 sonder pr. behandling. Fra 1996 blev behandlingen med 150 kg NPK 23-3-7/ha/år inddraget på Salten Langsø og Hastrup Skov. Opsamlingen af jordvand i 1998 og 1999 er kun foregået i Hastrup Skov. Udvaskningen beregnes ved at multiplicere de beregnede månedlige nedsivningsmængder med stofkoncentrationen i jordvæsken.

### 3.4 Kemiske analyser

#### *Jord*

Jordprøverne er tørret ved 55°C og analyseret for pH i ekstraktioner med 1,0M KCl, 0,01M CaCl<sub>2</sub> og vand. Desuden er der foretaget en analyse af jordens totale indhold af C og N, af de ombyttelige mængder K, Mg, calcium (Ca), natrium (Na), Fe, Mn, aluminium (Al) og kobber (Cu) samt syre-ekstraherbart (0,1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) fosfor (P) og vandopløseligt bor (B).

#### *Nåle*

Nålene er straks efter hjemtagningen tørret ved 55°C til konstant vægt. Efter formaling er nålene syrenedbrudt i koncentreret HNO<sub>3</sub> i mikrobølgeovn og endeligt målt for koncentrationen af C, N, P, K, svovl (S), Mg, Ca, Fe, Mn, zink (Zn), B og Na. Herudover er vægten af 100 tørrede nåle bestemt (100 nålevægt).

#### *Vand*

Vandprøverne (nedbør og jordvæske) er analyseret for pH, ledningsevne, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, ammonium (NH<sub>4</sub>-N), klorid (Cl), nitrat (NO<sub>3</sub>-N), sulfat (SO<sub>4</sub>-S) og totalindhold af P.

Totalindholdet af C og N er analyseret direkte på en LECO CHN-analyser (model 2000) for jord- og nåleprøver. Ca, K, Mg, Na, Mn, Fe, Al, Zn, Cu, P og B er målt på ICP (Perkin Elmer model Optima 3000 XL). Herudover er der målt ledningsevne og pH (Radiometer model SAC 90) og NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S vha. ionkromatografi (Shimadzu model 10a).

Efterfølgende er målingerne behandlet statistisk med henblik på afdækning af års-, lokalitets-, blok- og behandlingsforskelle. En gennemgang af de anvendte statistiske modeller fremgår af bilag 4.

## 4. Resultater og diskussion

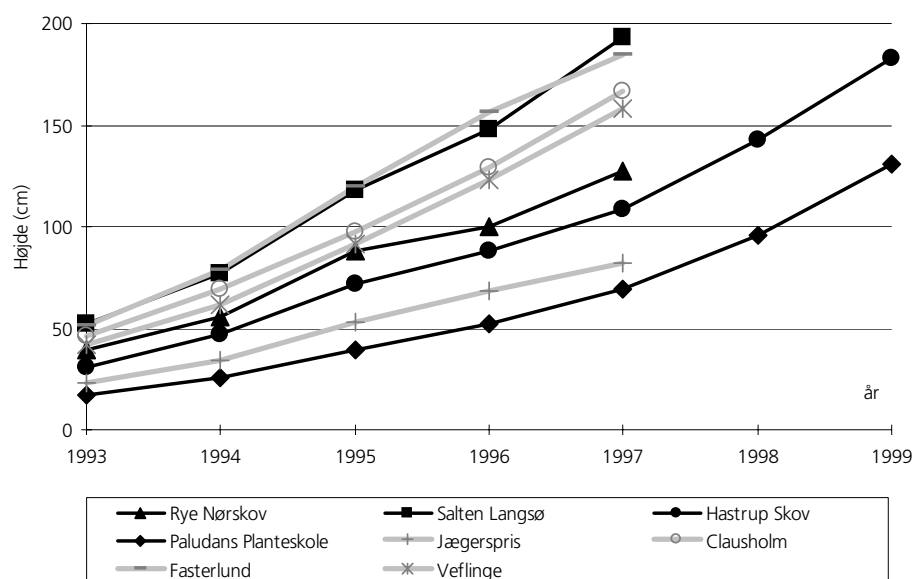
I de følgende afsnit præsenteres og diskuteres resultaterne fra undersøgelserne. Først behandles gødsningens virkning på træernes vækst, kvalitet og sundhed, idet der indledes med års- og lokalitetsforskellene, og siden behandlingsforskellene. Derefter diskuteres resultaterne for nålekemi og disses sammenhæng med kvalitetsforskelle. Slutteligt bindes såvel kvalitet som nålekemi sammen i gennemgangen af hele stofkredsløbet, hvor såvel udvaskning, som planternes optag af næringsstoffer belyses.

### 4.1 Års- og lokalitetsforskelle

Den statistiske analyse viste sikre års- og lokalitetsvariationer for alle målte egenskaber. Mens lokalitetsvariationen især kan henføres til bonitetsforskelle kombineret med lokal dyrkningspraksis og overordnede klimaforskelle, er årsvariationen især udtryk for vejrforholdenes virkning på træernes vækst. Nedbøren og navnlig fordelingen af denne hen over vækstsæsonen spiller formodentlig her en stor rolle i de første par år, hvor planterne er små og rodsystemet under opbygning.

#### Højde

I figur 4.1 sammenlignes de 8 lokaliteter, som dog har en vis aldersforskel fra anlæg ved forsøgets etablering. Salten Langsø og Fasterlund har den største højdevækst, og når netop disse 2 lokaliteter har en meget stor højdevækst hænger det formentlig sammen med, at begge lokaliteter var 4 vækstsæsoner fra anlæg, da forsøget blev etableret. Desuden er lokaliteterne vel-



Figur 4.1. Den gennemsnitlige højdeudvikling for de 3 fællesbehandlinger (0, 2a og 3a) i perioden 1993-97(99) for de otte lokaliteter. Mørke farver er B-serien, lyse farver er C-serien. Siden 1995 har der været årlige juletræshugster på Salten Langsø og Fasterlund. I 1997 blev der høstet træer for første gang i Hastrup Skov, på Clausholm og i Veflinge.



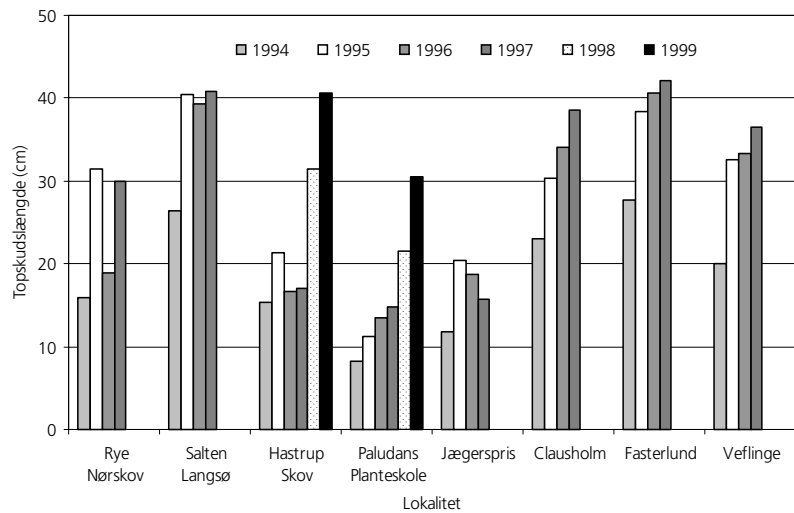
drænede med et moderat lerindhold, der har været en intensiv forudgående gødskning i 3 år og en god renholdelse. Det er også de lokaliteter, hvor nedbøren er højest. På Salten Langsø indgår endvidere proveniensen Langesø afd. 6 i 2 blokke. Denne proveniens har en større højdevækst end Ambrolauri, hvilket yderligere har påvirket højdevæksten – resultater for de proveniensbetingede forskelle publiceres andetsteds (Christensen et. al, 2001 in prep.). Clausholm og Veflinge grupperer sig sammen omkring den næststørste højdevækst. Disse to lokaliteter var også 4 vækstsæsoner fra anlæg ved forsøgets etablering, men dræningsforholdene er dårligere og nedbøren mindre end på Salten Langsø og FASTERLUND (for Veflinge er jorden lettere grundvandspåvirket), og der har “kun” været 2 års gødskning forud for forsøgsanlægget. Rye Nørskov og Hastrup Skov grupperer sig af forskellige grunde sammen og har den næstlaveste højdevækst. Hastrup Skov var kun 3 vækstsæsoner fra anlæg ved forsøgets anlæg, jorden er stiv med et højt lerindhold og er ufuldstændig drænet. Der er “kun” gødsket 2 gange inden forsøgsanlægget, men renholdelsen har derimod været meget intensiv. Nedbøren er tillige lille i Hastrup Skov. Rye Nørskov var 4 vækstssæsoner fra anlæg ved forsøgets etablering, jorden er veldrænet, men meget næringsfattig, der er kun gødsket med slam i anlægsåret, ukrudtsbekæmpelsen har til tider haft en ringe virkning. Paludans Planteskole og Jægerspris har den laveste højdevækst. Paludans Planteskole var 3 vækstsæsoner fra anlæg, mens Jægerspris kun var 2 vækstsæsoner fra anlæg ved forsøgenes etablering. Paludans Planteskole er næringsrig med kalk i jorden og med en mere ufuldstændig dræning end Jægerspris, som derimod er meget næringsfattig. Der har “kun” været gødsket 1 gang forud for forsøgsanlægget på hver af de 2 lokaliteter, og ukrudtsbekæmpelsen har til tider haft en ringe effekt. Nedbøren er mindst på disse 2 lokaliteter. Selvom der korrigeres for lokaliteternes forskellige aldre/antal vækstsæsoner før forsøgene blev anlagt, er der stadigvæk en klar gruppering som ovenfor beskrevet.

Den gode vækstsæson i 1995 (se tabel 2.2) blev efterfulgt af den dårligere og klart mere tørre 1996-sæson. Betydningen af den mindre nedbør i 1996 var især tydelig på de mere sandede lokaliteter som Rye Nørskov, Salten Langsø og Jægerspris, mens effekten var klart mindre eller helt udeblev på de mere lerede lokaliteter (Clausholm, Veflinge, Paludans Planteskole og Hastrup Skov). For Salten Langsø og FASTERLUND er den mere moderate højdeudvikling i 1996 et udtryk for juletræshugsten, hvor især sprinterne blev fjernet. Der er ikke tvivl om, at det er den kraftige juletræshugst i FASTERLUND, som får rangordningen mellem de to hurtigstvoksende bevoksninger til at bytte plads i 1997.

#### *Topskudslængde*

De vejrtilbetingede forskelle i væksten, særligt mellem 1995 og 1996 afspejles tydeligt i topskudslængderne (figur 4.2), hvor topskudslængden i 1995 i flere af bevoksningerne har været bedre eller ligeså god som i de(t) følgende år. I Hastrup Skov og på Paludans Planteskole, hvor væksten ellers er moderat, har den nedbørsrige vækstssæson i 1998 resulteret i ekstraordinært lange top-skud, der nærmer sig en fordobling sammenlignet med de foregående år. Udviklingen forsættes tilsyneladende i 1999, hvor væksten er endnu kraftigere end i 1998.





Figur 4.2. Bevoksningernes gennemsnitlige topskudslængder for de 3 fælles-behandlinger (0, 2a og 3a) fordelt til år og lokaliteter i perioden 1994-97(99).

Foruden de allerede omtalte klimabetingede forskelle i topskudsvæksten er der også en alderseffekt, hvor topskudslængden forøges i takt med alderen. Denne tendens er særlig tydelig for Clausholm og Paludans Planteskole, hvor der ikke har været juletræshugst i forsøgsperioden, men også FASTERLUND udviser samme tydelige tendens. For Veflinge, Hastrup Skov og Salten Langsø modificeres tendensen kun af topskudsvæksten i den gode vækstsæson 1995.

Rye Nørskov satte noget kortere topskud i 1996 end i både 1995 og 1997. Dette skyldes givet den meget tørre sommer her (tabel 2.2), hvor mange af de kraftigst gødskede (og højeste) træer gik ud pga. tørken - selv træer op til 1 m blev fuldstændigt røde i sommeren 1996 (figur 4.3).

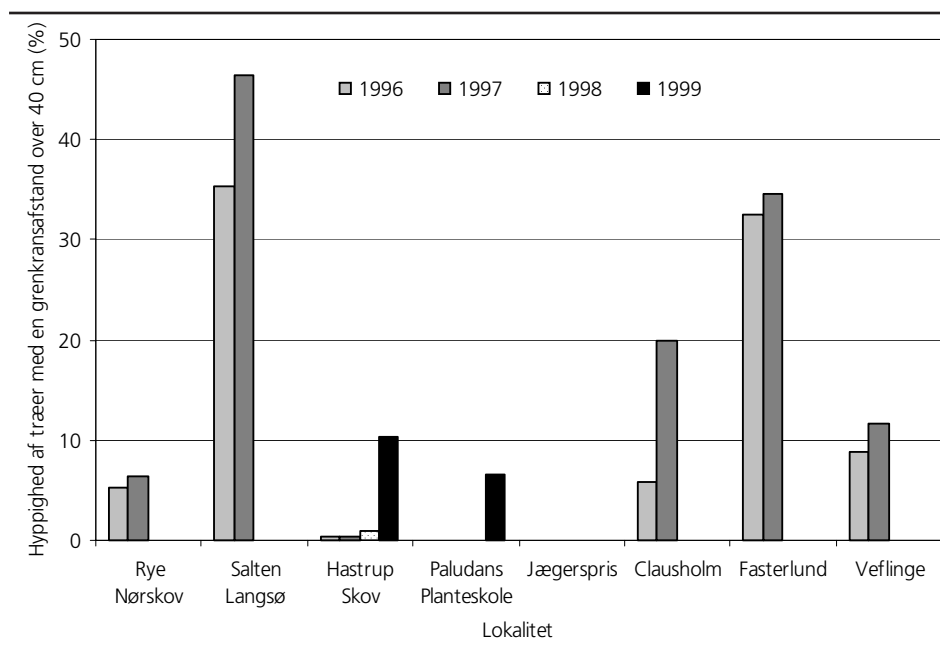


Figur 4.3. Røde træer på Rye Nørskov den 22/10 1996. (Foto: Lars Bo Pedersen)

På den næringsfattige Jægerspris-lokalitet har de tørre somre i 1996 og 1997 medført mange små topskud under 5 cm. Set i forhold til Rye Nørskov, der er ligeså næringsfattig, er topskudsvæksten i Jægerspris generelt noget mindre. Forskellen forklares sandsynligvis af den noget lavere nedbørsmængde.

Stor topskudsvækst, oftest sidst i omdriften, kan resultere i juletræsfejl pga. en for stor afstand mellem træets grenkranse. Derfor blev hyppigheden af træer med en grenkransafstand over 40 cm registreret (figur 4.4). I denne opgørelse er topskuddet ikke medregnet, idet længden heraf blot kan afklippes.

På Salten Langsø og Fasterlund, hvor topskudsvæksten var størst, er det næsten hvert andet træ, som opnår en for stor grenkransafstand i 1997. På Hastrup Skov og Paludans Planteskole betyder 1998 sæsonen (opgjort som ”for lange” i 1999) en markant forøgelse i antallet af for åbne træer. Dette skal ses i lyset af, at der i Hastrup Skov blev skovet 127 træer i 1998 – overvejende med for lange topskud. Clausholm og Veflinge, der havde nær den samme højdeudvikling, udviste særligt i 1997 stor forskel i hyppigheden af for åbne træer. Årsagen hertil er næppe entydig, men der har været større variation mellem de enkelte træer på Clausholm, mens træerne på Veflinge har været mere ensartede mht. topskudsvækst.



Figur 4.4. Hyppighed af træer med en grenkransafstand over 40 cm for de 3 fællesbehandlinger (0, 2a og 3a) fordelt til år og lokaliteter.

#### Knopper, grene og internodie skud

Antallet af knopper, grene og internodieskud påvirkes også af vejrforholdene (tabel 4.1). Den gode vækstsæson i 1995 har givet flere knopper - både til grenkransgrene og til internodieskud. Året efter anlægges der gennemgående lidt færre grenkransknopper, mens antallet af internodieknopper falder mere tydeligt. Antallet af især internodieskud er størst på de lokaliteter, hvor væksten generelt har været kraftigst.

Tabel 4.1 Antal sideknopper, grene i øverste grenkrans og internodiegrene mellem 1. og 2. grenkrans for de 3 fællesbehandlinger (0, 2a og 3a) fordelt til år og lokaliteter.

Egenskab Lokalitet/år	Knopper foruden topknop						Grene i øverste grenkrans						Internodiegrene			
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
Rye Nørskov	3,6	5,5	4,2	3,8			3,3	3,2	5,0	4,1			10,1	3,5		
Salten Langsø	5,1	7,1	6,3	6,1			5,4	5,0	6,9	6,3			12,9	10,3		
Hastrup Skov	5,1	5,6	4,7	4,4	5,3	5,6	4,5	5,0	5,6	4,7	4,4	5,3	8,1	5,1	3,5	6,8
Paludans Planteskole	3,9	4,3	4,6	4,1	4,5	4,9	3,1	3,8	4,1	4,0	4,0	4,4	4,0	4,1	3,0	4,6
Jægerspris	4,1	6,1	4,9	3,9			3,2	4,1	6,0	5,0			10,6	5,1		
Clausholm	6,0	6,6	5,8	5,7			4,6	6,1	6,5	5,6			10,5	8,3		
Fasterlund	5,9	6,3	6,2	5,7			5,5	5,8	6,3	6,3			13,9	11,2		
Veflinge	5,0	6,3	5,5	5,4			4,7	4,9	6,2	5,5			11,1	7,3		
<b>Gennemsnit</b>	<b>4,8</b>	<b>5,9</b>	<b>5,2</b>	<b>4,8</b>	<b>4,9</b>	<b>5,3</b>	<b>4,2</b>	<b>4,7</b>	<b>5,8</b>	<b>5,1</b>	<b>4,2</b>	<b>4,9</b>	<b>10</b>	<b>6,8</b>	<b>3,3</b>	<b>5,7</b>

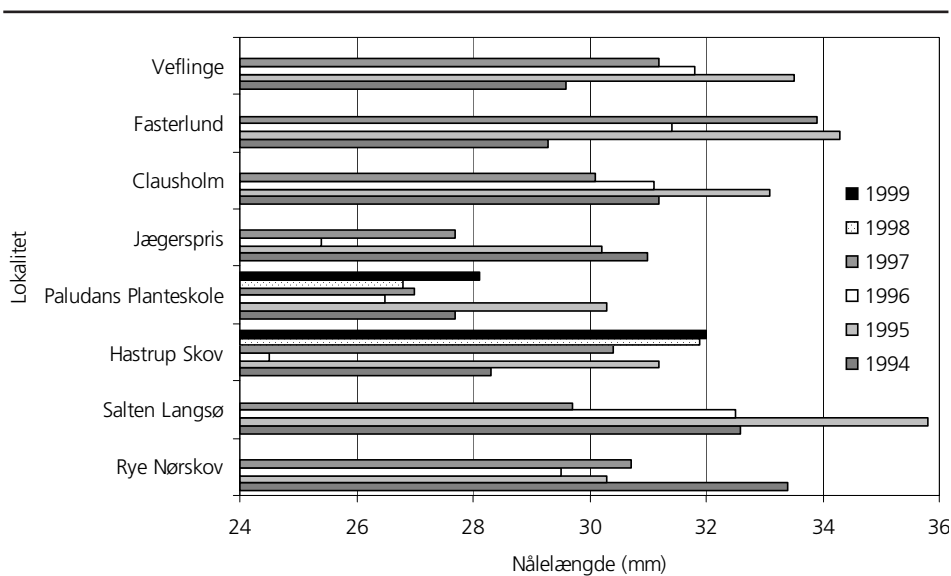
### Farve

Farven på de anvendte referencekviste udviste også en vis årsvariation, men der var generelt tale om en aftagende farve (intensitet af grøn) set over hele forsøgsperioden. Der var farveforskelle mellem de 8 lokaliteter, men opgørelsesmetoden (forskellige referencekviste i forskellige år og forskellige kviste til de forskellige lokaliteter i det samme år) vanskeliggør en egentlig direkte lokalitetsvis sammenligning. Et overblik over forskellene kan dog fås ved at betragte referencekvistenes farveværdier i bilag 5.

### Nålelængde

Nålelængden lå gennemgående mellem 25 og 35 mm (figur 4.5) afhængig af lokalitet og år. De mest vækstkraftige bevoksninger har også de længste nåle, men der er en stor årsvariation på den enkelte lokalitet.

Nedbøren har givetvis stor betydning for nålenes længde, idet de 2 tørre år i 1996 og 1997 har givet lidt kortere nåle. I 1998, men særligt i 1999 har nålelængderne i Hastrup Skov været de længste på denne lokalitet.



Figur 4.5. Gennemsnitlig nålelængde for de 3 fællesbehandlinger (0, 2a og 3a) fordelt til år og lokaliteter i perioden 1994-99.

Tabel 4.2 Skader og vitalitet for de 3 fællesbehandlinger (0, 2a og 3a) fordelt på lokaliteter og år.

Egenskab Lokalitet/år	Skader <sup>1</sup>						Vitalitet <sup>2</sup>					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Rye Nørskov	1,5	3,2	4,9	4,9			2,9	2,8	2,7	2,6		
Salten Langsø	0,4	2,0	2,3	2,0			3,2	4,0	3,4	3,6		
Hastrup Skov	0,5	1,4	1,6	2,3	2,1	1,9	3,2	3,3	2,9	2,5	2,6	2,7
Paludans Planteskole	0,5	2,4	2,0	2,7	2,4	2,3	2,8	2,3	2,7	2,6	2,3	2,6
Jægerspris	0,6	2,0	1,0	0,9			2,9	2,8	3,2	3,3		
Clausholm	0,3	1,7	0,9	0,9			3,4	3,7	3,5	3,3		
Fasterlund	0,6	1,6	1,2	2,3			3,6	2,7	3,1	3,2		
Veflinge	0,7	1,3	1,4	1,2			3,0	3,0	3,1	3,2		
<b>Gennemsnit</b>	<b>0,6</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	<b>2,3</b>	<b>2,1</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>	<b>3,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>

<sup>1</sup> 0 = uskad, 1-3 = mindre betydning, 4-6 = nogen betydning, 7-9 = meget betydning og 10 = død.

<sup>2</sup> 1 = usundt, 2 = mindre sundt, 3 = gennemsnitlig sundt, 4 = meget sundt og 5 = ekstremt sundt.

### Skader og vitalitet

Antallet og omfanget af skader samt de enkelte træers vitalitet viste også sikre års- og lokalitetsforskelle (tabel 4.2). I 1994 var der et meget begrænset antal skader, hvilket bl.a. skyldes træernes ringe størrelse. Skaderne skal være mere omfattende her, inden de får mærkbar økonomisk betydning. Rye Nørskov havde i både 1996 og 1997 et meget stort skadesomfang pga. af sommertørken i 1996. Disse skader prægede stadigvæk en lang række af træerne i 1997. Clausholm og Veflinge har generelt haft få skader. På Clausholm og Salten Langsø har træerne haft en over gennemsnitlig vitalitet i hele forsøgsperioden.

Ved opgørelsen af vinterskader i foråret 1996 i B-serien var der generelt meget få skader; Rye Nørskov havde flest skader (2,1), mens Salten Langsø havde færrest skader (1,2 » helt uskad). Hastrup Skov og Paludans Planteskole lå mellem de to fornævnt med en værdi omkring 1,8.

### Juletræsudbytte

Med udgangspunkt i registreringen af de 9 forskellige skeletfejltypen (bilag 3a) på det enkelte juletræ i 1996-97(99) blev der lavet en kvalitetssortering i prima-, sekunda- og vragtræer (bilag 3b). Da den oprindelige skala alene vedrører fejl på træets skelet er deklasseringer pga. tofarvede, skæv side-liniefunktion (forkerte proportioner mellem højde og bredde) ikke medtaget. Det må alligevel skønnes, at summen af primasorteringen og størstedelen af sekundsorteringen alligevel er et godt bud på udbytteprocenten. Fordelingen mellem prima og sekunda er i overensstemmelse med sorterings-

Tabel 4.3 Juletræsudbytte fordelt på sorteringer, år og lokaliteter. Tallene er gennemsnitsværdier (%) pr. lokalitet for de 3 fællesbehandlinger (0, 2a og 3a).

Sortering Lokalitet/år	Prima				Sekunda				Vrag			
	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
Rye Nørskov	16,8	8,2			26,5	34,0			56,6	57,7		
Salten Langsø	46,6	63,5			32,6	21,4			20,8	15,1		
Hastrup Skov	75,3	73,6	79,7	80,2	22,2	22,6	16,9	17,5	2,5	3,8	3,5	2,3
Paludans Planteskole	52,0	44,7	54,6	55,4	32,3	33,3	34,2	30,7	15,7	22,0	11,1	13,9
Jægerspris	73,5	77,0			24,7	21,2			1,8	1,8		
Clausholm	83,2	85,8			6,3	5,3			10,5	8,9		
Fasterlund	76,1	69,5			15,8	14,0			8,1	16,5		
Veflinge	75,4	80,1			16,9	14,7			7,7	4,4		
<b>Gennemsnit</b>	<b>62,4</b>	<b>62,4</b>	<b>67,2</b>	<b>67,8</b>	<b>22,2</b>	<b>20,8</b>	<b>25,6</b>	<b>24,1</b>	<b>15,5</b>	<b>16,3</b>	<b>7,3</b>	<b>8,1</b>

reglerne med undtagelse af ovenstående, men nok noget optimistisk set i lyset af særligt de sidste års strengere fortolkning af sorteringsreglerne (tabel 4.3). Betydningen af farve for fordelingen mellem prima, sekunda og vrag belyses i afsnit 4.2.1.

Den meget lave prima andel på Rye Nørskov skyldes især hyppigheden af topfejl (ca. 50% af alle træer), manglende grene i de 4 øverste grenkranse (60-80%), nåletab (ca. 40%) samt uens grenlængder i de 4 øverste grenkranse (60-80%). Vildtbid har her en del af medansvaret. Den væsentligste årsag til deklassering på Salten Langsø har været for stor grenkrans afstand (figur 4.4). For Hastrup Skov var nåletab (ca. 10%) den hyppigste deklasseringsårsag i 1996. I 1997 og 1998 var derimod uens grenlængder i de 4 øverste grenkranse (ca. 20%) den mest udbredte deklasserende årsag, mens for stor grenkransafstand var ansvarlig for nedgangen i primaandelen fra 1998 til 1999 (figur 4.4). Manglende grene i særligt 3. og 4. grenkrans var den mest hyppigste deklasseringsårsag på Paludans Planteskole (ca. 35%) særligt i 1996, hvor træerne var så små, at mange træer reelt ikke havde 4 brugbare grenkranse. Endvidere var nåletab en deklasserende fejl på ca. 20% af træerne. I Jægerspris var den hyppigste deklasseringsårsag manglende grene i 3. og/eller 4. grenkrans (ca. 15%), primært pga. træernes ringe størrelse. På Clausholm blev der ikke deklaseret mange træer i forsøgsperioden, men den hyppigste årsag var i 1996 uens grenlængde (ca. 10%), mens den i 1997 var for stor afstand mellem grenkransene (figur 4.4). I Fasterlund var den helt afgørende deklasseringsårsag for stor grenkrans afstand (figur 4.4), men også topfejl (ca. 15%) og manglende grene i de to øverste grenkranse (ca. 15%) bidrog i deklasseringen. I Veflinge var der ingen markant deklasseringsårsag, idet hyppigheden af skader var lille, men jævnt fordelt på alle typerne.

## 4.2 Virkning af gødningsbehandling

Variationerne i vækst- og kvalitetsrespons mellem behandlingerne kan henføres til gødningsdosering, gødningsformulering, gødningskonsistens og gødskningstidspunkt. I forsøgsserien med bevoksningsgødskning (B-serien) belyses overvejende spørgsmål vedrørende dosering og i mindre udstrækning gødningsformuleringer og gødningstidspunkter. Både gødningsformulering, gødningstidspunkt og gødningskonsistens belyses derimod indgående i forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødskning (C-serien), hvor doseringsspørgsmålet er undersøgt mere ekstensivt.

I dette afsnit fokuseres indledningsvist på den optimale gødningsmængde (dosering) i relation til vækst og sundhed (afsnit 4.2.1). Gennemgangen baseres overvejende på bevoksningsgødskningsserien (B-serien). Herefter vil der i afsnit 4.2.2 blive set på valg af gødningstype samt gødningstidspunkt i de(n) optimale gødnings dosering(er) – her baseres gennemgangen på begge forsøgsserier med hovedvægten på forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødskning. Farvegødskningsaspektet, der kun er undersøgt i forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødskning, behandles særskilt i afsnit 4.2.3. Jord/nålekemi og stofkredsløb behandles i hovedafsnit 4.3 og 4.4.



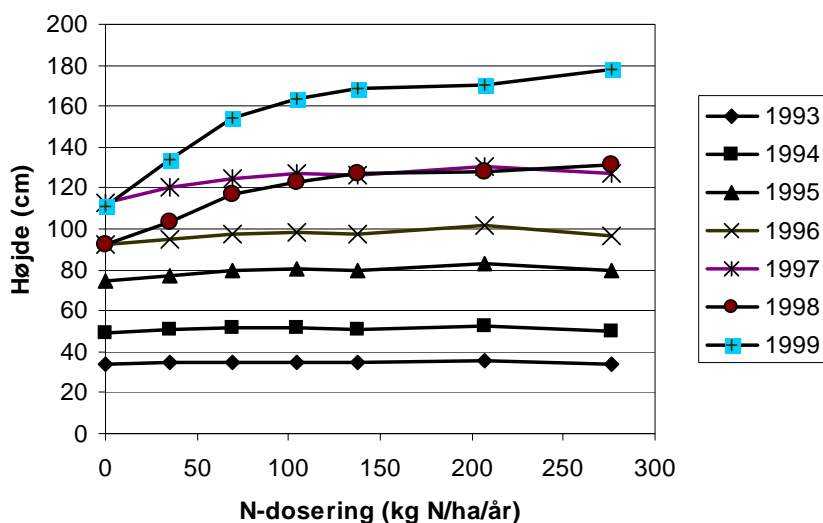
### 4.2.1 Gødningsdosering

Gødningsbehandlingerne varierer i dosering og formulering som angivet i tabel 2.3. For specifikt at belyse betydningen af N, er de forskellige gødningstyper, som indeholder ens mængde N rubriceret i samme N-kategori. Den statistiske analyse af træernes reaktion på N tilførsel har vist signifikante forskelle for højdevækst, topskudslængde, knopper, grene, internodiskud, farve, nålelængde, vitalitet samt juletræsfejl 5 (for stor grenkrans afstand). Der var derimod ikke forskel på antallet af skader eller på den totale fordeling mellem skelet-typerne; prima, sekunda og vrag for de forskellige N-doseringer – det var der derimod, hvis farven tillige blev inddraget sammen med skelet-typen i en mere praksisnær juletræssortering.

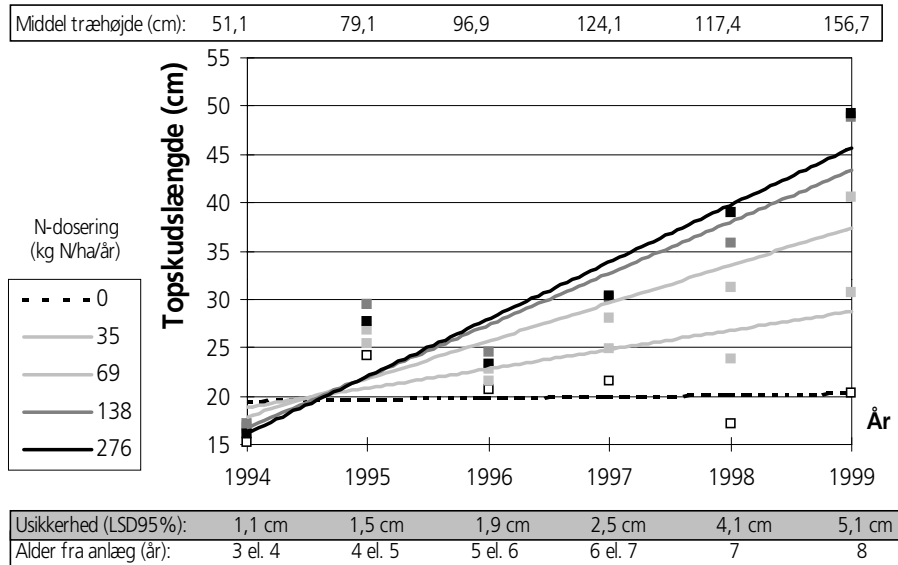
#### Højde

Bortset fra 138- og 276 kg N/ha/år var der allerede efter det første års gødsning sket en mindre differentiering i højdeudviklingen mellem de forskellige N-doseringer. Starthøjden for 138-, og særligt 276 kg N/ha/år er lav sammenlignet med de øvrige (resultater ej vist), hvilket kan have påvirket disse to N-kategoriers højdevækst. "Højde-efterslæbet" indhentes ikke selv efter 4 vækstsæsoners bredgødsning sammenlignet med de nærmest liggende N-doseringer, hvilket understreger betydningen af en god kulturstart for træernes højdeudvikling. I 1998 og 1999 er der markant differentiering mellem de forskellige kategorier med 276 kg N/ha/år som den højeste - ca. 40% højere end kontrollen uden gødningstilførsel.

Forskellen mellem de forskellige N-doseringer og kontrollen vokser generelt med træernes og forsøgets alder (figur 4.6). Den gennemsnitlige afvigelse fra kontrollen efter et år er ca. 5%, mens den efter 5-6 år er ca. 40%. Vejrforholdene (nedbøren) i de forskellige år påvirker også differentieringen mellem N-doseringerne, idet 1995 gav mere tydelige forskelle mellem de forskellige N-tildelinger end f.eks. 1994 og 1996. I nedbørsrige år opnås til-



Figur 4.6. Højdevækst fordelt på N-dosering (kg N/ha/år) og år som gennemsnit for B-serien i perioden 1994-1997(99). I 1998 og 1999 er søjlerne kun baseret på resultater fra Hastrup Skov og Paludans Planteskole, hvilket er forklaringen på "højde faldet" fra 1997 til 1998.

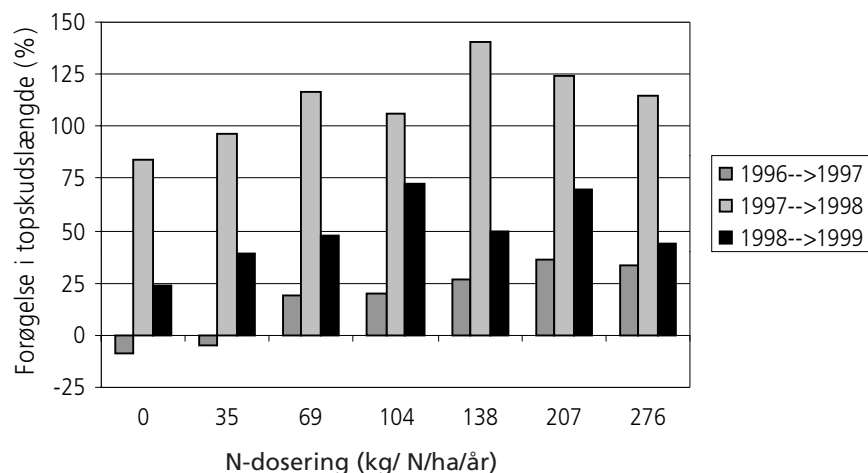


Figur 4.7. Topskudslængder fordelt på N-Dosering (kg N/ha/år) som årsgennemsnit for B-serien. De viste linier er tendenslinier baseret på de viste punkter. I 1998 og 1999 er tallene kun baseret på Hastrup Skov og Paludans Planteskole.

syneladende større respons på gødningen som følge af en større tilgængelighed. Disse forskelle er særligt tydelige på topskudslængderne.

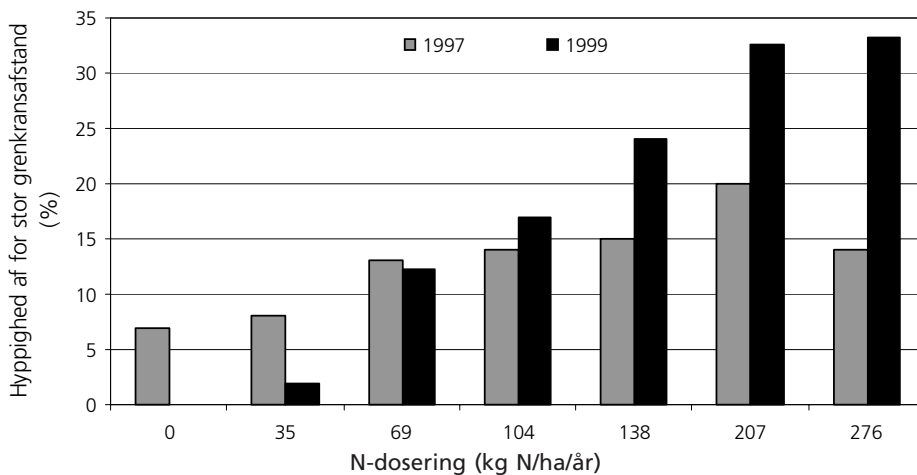
#### Topskudslængde

Efter fire års gødskning opnås en forøgelse i topskudslængden på næsten 40% ved den højeste N-dosering (figur 4.7) sammenlignet med kontrollen. I 1998 er topskuddene for 276 kg N/ha/år over dobbelt så lange som for kontrollen. For gødningsdoseringerne på 69- og 104 kg N/ha/år er forøgelsen efter fire år ca. 6,5 cm (30%) og ca. 8 cm (35%). For de tilsvarende gødningsdoseringer i forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødskning var der tilsvarende positive faktiske afvigelser fra kontrollen.



Figur 4.8 Forøgelser i topskudslængderne fra en vækstsæson til den næste fordelt på år og N-Dosering. Resultaterne bygger alene på Hastrup Skov og Paludans Planteskole, hvor træerne er over 1 meter høje.





Figur 4.9. Hyppighed af for stor grenkransafstand (over 40 cm) fordelt til N-dosering (kg N/ha/år) og år for B-serien i 1996-1997 og for Hastrup Skov og Paludans Planteskole i 1999.

Almindeligvis antages topskudslængderne at forøges med ca. 35% om året når træerne er mellem 1 og 2 meter høje (Olesen et al. 1998). Af figur 4.8 fremgår, at denne antagelse er meget følsom for vejrforholdene i vækstsæsonen. Således kan forøgelsen i topskudslængden være helt op mod 140% fra den tørre vækstsæson i 1997 til den nedbørsrige 1998-vækstsæson. Fra 1996 til 1997 opnås den største forøgelse med 207 kg N/ha, mens den største forøgelse fra 1997 til 1998 sker med 104 kg N/ha og 207 kg N/ha. Fra 1998 til 1999 ses den kraftigste forøgelse med 138 kg N/ha. I alle år ses en mere begrænset forøgelse for 276 kg N/ha/år end for 207 kg N/ha/år formentlig pga. en hæmmende virkning ved den meget høje gødningsdosering.

Udover den aldersbetingede stigning i hyppigheden af for stor grenkransafstand (figur 4.9) øges hyppigheden også med stigende N-dosering. For B-serien under ét falder hyppigheden dog igen ved den meget store N-tilførsel på 276 kg N/ha/år. Årsagen kan skyldes forgiftning, og at mange sprintere i 1996 og i 1997 er taget ud.

Bortset fra Hastrup Skov og Paludans Planteskole, er der selv i kontrolparcellerne mellem 5- og 10% af træerne, som har for stor grenkransafstand. For 207 kg N/ha/år vil hvert femte træ i 1997, og hvert tredje træ i 1999 kunne blive deklareret som følge af et for åbent udseende. Tilsvarende ville kun hvert syvende træ i 1997 og 1999 for 69- og 104 kg N/ha/år kunne blive deklareret. Generelt stiger hyppigheden af for åbne træer jf. nedenstående ligning:

$$y = 6,3 + 0,1 \times (\text{kg N/ha/år})$$

Hvor y er hyppigheden af for åbne træer (%), 6,3 er hyppigheden af for åbne træer, når der ikke gødskes (%) og 0,1 er stigningen i % af for åbne træer ved en forøgelse af N-inputtet med 1 kg. Således vil der som gennemsnit være 16,3% for åbne træer, når der gødskes med 100 kg N/ha/år.

### Knopper, grene, internodieskud og tæthed

I en vis udstrækning kan mange internodieskud mellem især 1. og 2. grenkrans kompensere for en stor grenkrans afstand og et åbent udseende. Antallet af knopper, grene, internodieskud samt antallet af internodieskud pr. 10 cm stamme fremgår af tabel 4.4.

Antallet af grenkransknopper stiger med doseringen, men forskellene er små sammenlignet med årsvariationerne, særligt i de første år. Kontrollen har gennemgående givet de færreste knopper, og antallet af anlagte knopper stiger med få undtagelser med stigende N-dosering. I praksis er forskellene dog små - typisk mindre end 1 ekstra anlagt knop ved den højeste dosering. I 1998 og 1999 er der dog for Hastrup Skov og Paludans Planteskole registreret 2 ekstra anlagte knopper ved 276 kg N/ha/år. Der er også en tendens til at grenantallet i øverste grenkrans stiger med N-doseringen. Forskellene er dog mindre end for knopper bl.a. som følge af knopdød.

Forskellene i antallet af internodieskud er mere påvirket af den anvendte N-dosering end knop- og grenantallet. Her kan anlægges op til det tredobbelte antal internodieskud ved de højeste N-dosering (tabel 4.4). Da topskudslængden jf. tidligere også stiger med stigende N-dosering, er det afgørende, om det tilsvarende forøgede antal internodieskud kan kompensere for de længere topskud gennem en større tæthed. Tætheden af internodieskud mellem 1. og 2. grenkrans stiger med stigende N-dosering, men forskellene er små. Det er således ikke muligt selv med den højeste dosering at få mere end 1 ekstra internodieskud pr. 10 cm stamme, hvilket antageligt (fra en markedsmæssig synsvinkel) er for lidt til at kompensere den større topskudsvækst.

### Farve

Nålefarven forbedres markant med stigende N-dosering (figur 4.10). Forskellene mellem N-inputtene øges med tiden og ses allerede efter et års

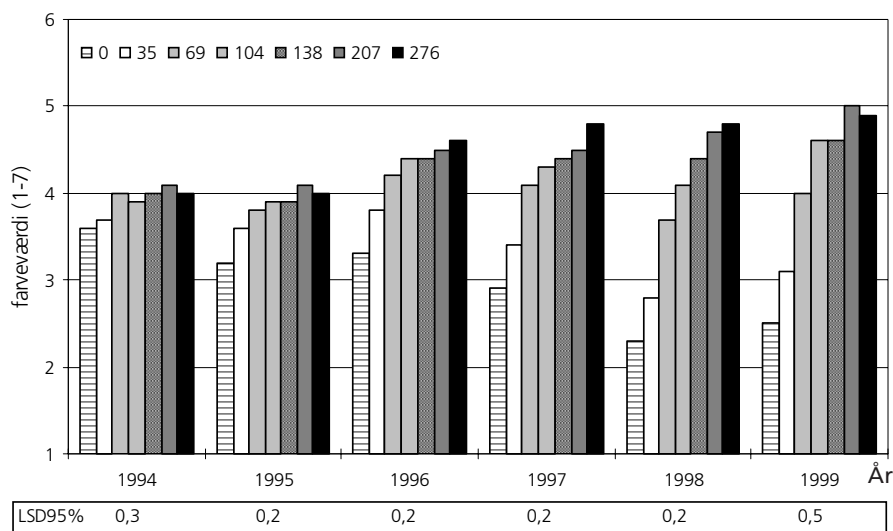
Tabel 4.4 Det gennemsnitlige antal sideknopper, grene i øverste grenkrans, internodieskud mellem 1. og 2. grenkrans og tæthed<sup>1</sup> i B<sup>2</sup>- og C<sup>3</sup>-serien. Usikkerheden er beregnet serievist for alle behandlinger under ét i det givne år som LSD95% (bilag 4).

Serie B/C	Dosering kg N/ha/år	Knopper foruden topknop						Grene i øverste grenkrans						Internodieskud				Tæthed <sup>1</sup>			
		1994	1995	1996	1997	1998	1999	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
B	0	4,3	5,5	4,7	4,3	4,1	3,9	4,0	4,2	4,9	4,6	3,8	4,1	7,6	4,9	1,9	2,8	3,1	2,4	1,6	1,6
B	35	4,5	5,5	5,0	4,6	4,6	4,7	4,1	4,3	5,4	4,9	4,1	4,6	8,3	5,4	2,6	4,7	3,3	2,5	1,8	2,0
B	69	4,4	5,6	5,0	4,8	5,3	5,7	4,0	4,2	5,5	4,7	4,4	5,2	9,2	6,2	3,8	6,9	3,4	2,7	2,1	2,2
B	104	4,6	5,8	5,1	5,0	5,4	6,4	4,2	4,3	5,6	4,8	4,7	5,4	9,4	6,5	4,7	7,5	3,4	2,8	2,3	2,3
B	138	4,3	5,7	5,0	5,0	5,7	6,0	4,1	4,2	5,6	4,8	4,6	5,6	9,9	6,8	4,6	8,8	3,8	2,9	2,3	2,4
B	207	4,5	5,9	5,0	5,1	5,6	6,2	3,9	4,4	5,8	4,9	4,5	5,5	10,9	7,2	4,6	8,4	3,8	3,0	2,2	2,3
B	276	4,5	5,7	4,9	5,1	6,1	6,3	4,0	4,4	5,8	4,6	4,8	6,2	10,1	6,6	5,4	9,9	3,9	2,9	2,4	2,5
B	Usikkerhed	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,8	0,6	1,0	1,5				
C	0	5,0	6,0	5,5	4,8			4,4	5,2	5,9	5,4			10,3	7,1			3,5	2,4		
C	51			5,4	4,8					5,8	5,4			10,3	7,3			3,5	2,6		
C	69	5,3	6,3	5,6	5,2			4,5	5,2	6,2	5,5			11,2	8,0			3,7	2,6		
C	104		6,3	5,7	5,2				5,2	6,2	5,6			11,5	8,3			3,8	2,6		
C	Usikkerhed	0,2	0,2	0,2	0,2			0,2	0,2	0,2	0,2			0,7	0,5						

<sup>1</sup> Tætheden er bestemt som det enkelte træs antal internodieskud/10 cm stamme mellem 1. og 2. grenkrans.

<sup>2</sup> 1998 og 1999-værdierne er alene baseret på registreringerne fra Hastrup Skov og Paludans Planteskole.

<sup>3</sup> I C-serien er der i 1994-opgørelsen kun medtaget led 0 og 2a og i 1997-opgørelsen på Veflinge er det uden farvegødsningsleddene.

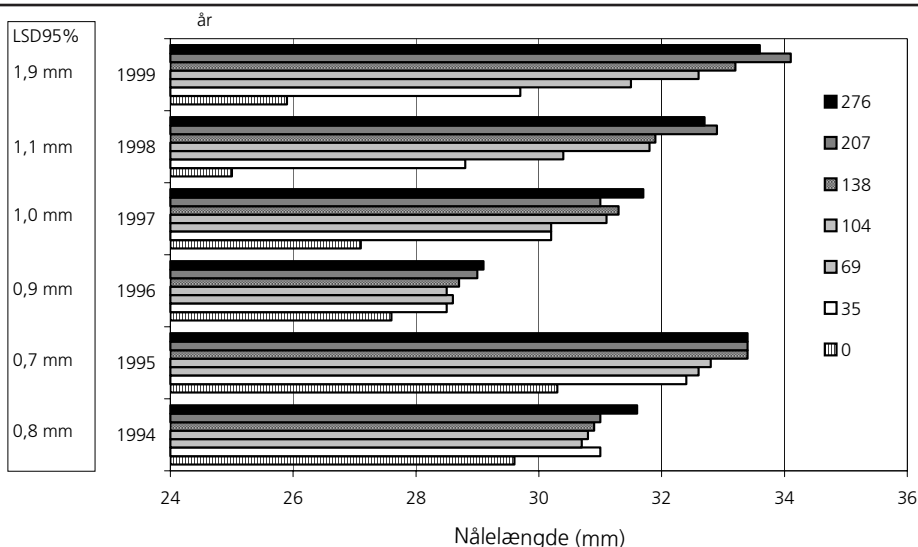


Figur 4.10. Farveværdier fordelt på N-dosering og år for B-serien i perioden 1994-1999. I 1998 og 1999 er søjlerne alene baseret på resultater fra Hastup Skov og Paludans Planteskole.

gødskning, idet kontrollen og den lave dosering med 35 kg N/ha/år skiller sig ud. Fra en salgsmæssig synsvinkel vil en farveværdi på 4 være tilstrækkeligt. Farveværdier lige under 4 vil også kunne sælges, når de ikke direkte sammenlignes med træer, der er klart mere mørkegrønne. Farveforskellene i forsøgene var/er meget lette at erkende visuelt, idet kontrollen og 35 kg N/ha/år skiller sig ud som gulgrønne hhv. lysegrønne. Doseringer på 69 kg N/ha/år (grønne) eller højere er farvemæssigt vanskelige at skelne fra hinanden i forsøgene.

#### Nålelængde

Forskellene i nålelængde er små mellem de forskellige N-doseringer i bevoksningernes første år. I det nedbørsfattige år 1996 reduceredes nålelæng-



Figur 4.11. Nålelængder fordelt på N-dosering og år for B-serien i perioden 1994 -1998. I 1998 og 1999 er tallene alene baseret på Hastup Skov og Paludans Planteskole.

den generelt og forskellene mellem N-doseringerne udviskedes næsten helt. De(t) følgende år øgedes forskellene igen mellem N-doseringerne, men forskellene var stadigvæk små (figur 4.11).

Det er vanskeligt at sætte en entydig grænse for den mindste acceptable nål-længde ud fra et salgsmæssigt synspunkt, men nåle kortere end ca. 25 mm vil ofte blive betragtet som for korte. Ses der bort fra 1998 og 1999 samt nål-længderne i kontrolbehandlingerne, er der meget begrænset forskel mellem behandlingerne. I C-serien var der ikke forskel på nål-længderne for 69- og 104 kg N/ha/år.

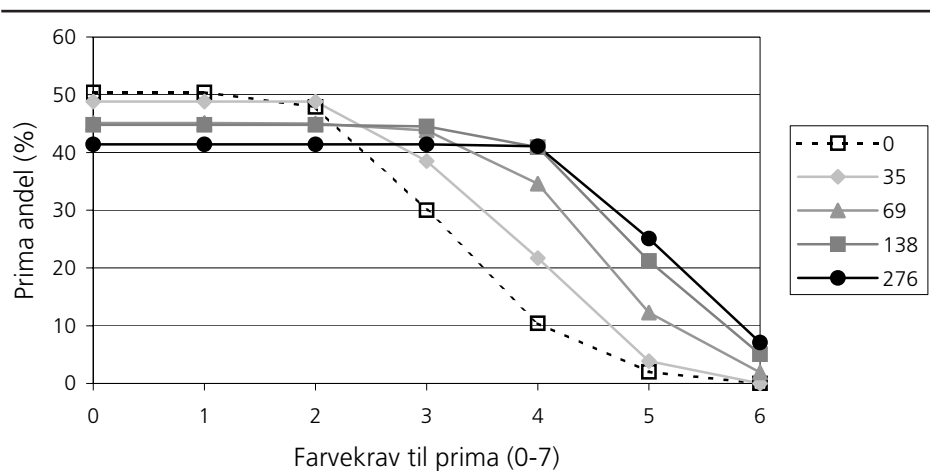
#### Vitalitet

Der var statistisk signifikante forskelle i træernes vitalitet mellem de forskellige N-input. Forskellene var dog små og uden praktisk betydning. Kontrolbehandlingerne havde gennemgående den laveste vitalitet, som efterfølgende steg svagt med stigende N-dosering.

#### Juletræsudbytte

Der var ikke umiddelbart statistisk sikre forskelle mellem de forskellige N-doseringer mht. prima, sekunda og vrag sorteringen, når farven ikke blev inddraget. Inddrages nålfarven derimod som en afgørende faktor i salgbarheden af træerne, kan man gennem en række separate beregningstrin opnå en vurdering af sorteringsudfaldet for af de enkelte N-doseringer afhængig af farve (figur 4.12).

Kontrolbehandlingerne uden gødning havde færrest skeletfejl (fleste primatræer), når farven ikke blev inddraget, men allerede et krav om farveværdien 3 (mellem gulgrøn og gennemsnitlig grøn) begyndte prima andelen at falde markant. Øges farvekravet til et ønske om en gennemsnitlig grøn farve, er der kun ca. 10% primatræer tilbage i kontrolbehandlingerne. For de øvrige behandlinger sker faldet i primaandelen først ved højere farvekrav. Faldet i primaandel under skærpede farvekrav afspejler de tilførte N-doseringer.



Figur 4.12 Prima andelens afhængighed af farvekrav fordelt på udvalgte N-doseringer for B-serien i 1997. Behandlingerne med 104- og 207 kg N/ha/år ligger henholdsvis intermediært mellem hhv. 69- og 138 kg N/ha/år samt 138- og 276 kg N/ha/år.



Figur 4.13 Forskellige doseringer med NPK 23-3-7 efter 6 vækstssæsoner i Hastrup Skov den 28/10 1999. Fra venstre er det kontrollen (0), 150-, 300-, 600- og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år.

For de viste sammenhænge mellem N-dosering og vækstparametrene, erkendes en stigende vækst med stigende N-dosering - også udover det ønskede, idet hyppigheden af topskud over 40 cm stiger med stigende dosering. Antallet af såvel knopper som internodieskud på stammen mellem 1. og 2. grenkrans stiger ganske vist også ved en øget dosering, men denne stigning er for lille til at kompensere for de væsentligt længere topskud. En N-dosering på 69-104 kg N/ha/år synes således her at give den bedste afvejning mellem ønsket om en hurtig vækst (tidligere høst), mange knopper/grene og ensartet til moderat stigende grenkransafstand, der har et passende antal internodier mellem grenkransene (figur 4.13). Både farve og særligt nålelængden synes for disse to N-doseringer at være nær det optimale, og set fra en salgsmæssig synsvinkel vil såvel farve som nålelængde her være fuldt tilfredsstillende.

#### 4.2.2 Gødningstyper

I dette afsnit behandles variationer mellem behandlingerne inden for den samme N-input, dvs. der fokuseres på gødningstype, gødningskonsistens og gødningstidspunkt.

Af behandlingsoversigten i tabel 2.3 fremgår de forskellige behandlingsled med en N-dosering på 69- eller 104 kg N/ha/år. Den statistiske analyse viste sikre forskelle for gødningstyper med samme N-dosering for: Højdevækst, topskudslængde, knopper, grene, internodieskud, farveværdi, nålelængde, vitalitet, juletræsfejl 5 (for stor grenkrans afstand) samt for juletræs-sorteringens prima og sekunda andel. Derimod blev der ikke fundet forskelle mht. træernes tæthed (internodier/10 cm stamme), antallet af skader eller de øvrige juletræsfejl.



### Højde og topskudlængde

Forsøgsserien med alternative gødningstyper og farvegødskning (C-serien) har generelt en større vækst end B-serien. Forskellene mellem de forskellige gødningstyper fremkommer derfor først i B-serien, hvor udpiningen af jorden går hurtigere og først efter flere år i C-serien.

Forskellene mellem 69- og 104 kg N/ha/år var små, men tendensen til en større hyppighed af en for stor grenkransafstand er tydelig ved 104 kg N/ha/år. Forårsgødskning med NPK 14-3-18 giver den største topskudslængde i gruppen med 69 kg N/ha/år og således kraftigere vækst end den almindeligst anvendte NPK 23-3-7 i foråret. Forøgelsen svarer stort set til, hvad der kan opnås med en dosering på 104 kg N/ha/år med NPK 23-3-7 (tabel 4.5). Disse resultater er i overensstemmelse med Christensen & Pedersen (1998), hvor tilsvarende er observeret for nobilisjuletræer. Den kraftige forøgelse af topskudslængden ved forårsgødskning med NPK 14-3-18 giver en større hyppighed af for åbne træer, men noget overraskende bliver denne hyppighed forøget mere ved forårsgødskning med NPK 23-3-7, som ikke har givet så lange gennemsnitlige topskud. En mulig forklaring kunne være, at NPK 23-3-7 udbragt om foråret i højere grad end forårsudbragt NPK 14-3-18 giver anledning til flere "sprintere", måske pga. af det relativt højere N-indhold. Såfremt denne forklaring er gyldig, skulle de rene N-gødninger give den største hyppighed af for åbne træer. Dette kan kun bekræftes for C-serien, mens B-seriens rene kvælstofgødninger kun har en lidt højere andel af for åbne træer end sommerbehandlingen med NPK 23-3-7. Mangel på andre næringsstoffer end N kan også tænkes at virke begrænsende i de parceller, der alene er gødsket med N.

Sammenlignes NPK 23-3-7 udbragt hhv. forår og sommer er der færrest åbne træer ved sommerbehandlingen, også selvom sommerbehandlingen i 1997 og 1998 gav lidt længere gennemsnitlige topskud end forårsbehand-

Tabel 4.5 Gennemsnitlig højdevækst, topskudslængde samt hyppighed af for stor grenkransafstand fordelt på serier og år i forskellige gødningstyper. Usikkerheden er beregnet serievist for alle behandlinger under ét i det givne år som LSD95% (bilag 4).

Serie B/C	N-dosering kg N/ha/år	Type N-P-K (tidspunkt)	Højdevækst							Topskudslængde						Afstand > 40cm <sup>2</sup>	
			1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1996	1997
B	0	kontrol	34,3	49,5	74,4	92,2	113,1	92,0	110,7	14,9	24,0	20,7	21,5	17,2	20,3	5,9	7,2
B	69	14-3-18-forår	35,4	51,9	80,3	98,5	126,5	121,7	162,6	16,7	27,5	23,1	29,2	33,2	43,1	9,7	14,3
B	69	23-3-7-forår	35,4	52,0	80,0	97,7	123,7	110,4	147,5	16,6	26,6	22,4	26,4	29,6	40,1	13,5	18,3
B	69	23-3-7-sommer	35,2	50,9	76,9	95,9	123,4	119,1	154,6	16,1	24,9	22,5	28,7	32,4	39,7	6,7	10,1
B	69	Ren N-forår <sup>1</sup>	35,7	52,5	80,4	98,3	124,5	116,8	153,3	16,8	26,6	23,0	27,4	29,6	39,3	7,5	10,6
B	104	23-3-7-forår	35,8	52,0	80,5	98,3	127,1	123,0	163,3	16,2	27,2	23,0	29,2	32,7	46,3	11,2	14,4
B		Usikkerhed	3,1	3,1	4,8	7,1	9,5	18,5	21,6	1,5	1,9	2,5	3,2	5,4	5,1	6,7	6,6
C	0	kontrol	41,0	60,6	89,6	120,1	142,6			19,6	28,6	29,4	28,4			11,0	12,7
C	69	10-2-8-sommer		60,3	88,9	117,9	145,6				28,6	29,6	31,8			10,1	14,1
C	69	19-2-4-sommer		59,5	89,1	116,7	144,7				29,6	29,7	31,8			9,2	13,1
C	69	23-3-7-forår	40,6	61,7	91,9	121,8	153,4			21,1	30,6	32,5	35,1			10,8	17,0
C	69	Ren N-forår <sup>1</sup>		61,2	92,2	122,2	151,7				31,0	31,5	33,6			12,8	19,8
C	104	16-3-8-forår		60,5	90,6	120,9	151,0				30,1	31,8	34,1			10,7	19,3
C	104	19-2-4-forår		61,6	91,2	121,0	150,1				29,6	30,8	33,0			11,8	18,0
C	104	23-3-7-forår		61,1	92,3	123,9	155,1				31,2	33,0	36,2			13,6	19,7
C	104	25-2-9-forår		59,2	89,0	118,6	147,6				29,8	31,5	32,9			11,8	23,3
C		Usikkerhed	4,5	4,5	6,2	8,5	12,4			1,6	2,5	2,5	3,0			5,8	9,3

<sup>1</sup> Behandlingerne med ren N omfatter både svovlsurammoniak (NS 21-24) og kalkammonsalpeter (N 27).

<sup>2</sup> Viser hyppigheden i % af en grenkransafstand over 40 cm. Selve topskuddet er ikke medtaget i det enkelte års opgørelse.

lingen. I C-serien har sommerbehandlingerne også givet færrest åbne træer (færre end ubehandlet i 1996!), men en sammenligning mellem forår- hhv- sommerbehandling i C-serien er vanskelig at tolke pga. et sammenfald mellem de tre gødningstypers forskellige N-form (nitrat-N, ammonium-N og/ eller amid-N) (se bilag 2).

Forskellen mellem fast og flydende gødning kan kun vurderes i C-serien for N-doseringen 104 kg N/ha/år. Her er der en tendens til en lidt mindre top-skudsvækst for den flydende gødning NPK 19-2-4 sammenlignet med de faste gødningstyper. Overordnet har dette næppe praktisk betydning, og flydende gødning kan derfor sidestilles med fast gødning, hvilket adskillige undersøgelser i landbruget også peger på (Knudsen, 1996).

#### Knopper, grene og internodieskud

I B-serien ses at forårsbehandling med NPK 14-3-18 har givet flest knopper, grene og internodieskud i gruppen med 69 kg N/ha/år. Forskellene er dog små, og kun kontrollen skiller sig væsentligt ud med færre knopper, grene og internodieskud (tabel 4.6). I C-serien, hvor NPK 14-3-18 ikke er anvendt, er forårsudbragt NPK 23-3-7 den gødningstype, som med 69 kg N/ha/år har givet flest knopper, grene og internodieskud.

Frem til og med 1997, hvor B-serien omfatter alle 4 lokaliteter, er der en svag tendens til færre internodieskud ved sommerbehandling sammenlignet med forårsbehandling under ét. Denne tendens bekræftes også i C-serien, hvor forårsbehandlingerne har lidt flere knopper, grene og internodieskud. Derimod viser tallene for 1998 og 1999 fra Hastrup Skov og Paludans Planteskole, at sommerbehandling er på niveau med de bedste forårsbehandlinger eller bedre for samme N-dosering. Resultaterne kan således hverken be- eller afkræfte den i praksis almindelige antagelse, at sommergødskning resulterer i flere knopper og grene end forårsbehandling. Vejrforholdene, og for-

Tabel 4.6 Antal sideknopper foruden topknoppen, antal grene i øverste grenkrans og antal internodieskud mellem 1. og 2. grenkrans fordelt på serier og år i forskellige gødningstyper. Usikkerheden er beregnet serievist for alle behandlinger under ét i det givne år som LSD95% (bilag 4).

Serie B/C	N-dosering kg N/ha/år	Type N-P-K (tidspunkt)	Knopper for uden topknop						Grene i øverste grenkrans					Internodieskud				
			1994	1995	1996	1997	1998	1999	1994	1995	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
B	0	kontrol	4,2	5,5	4,7	4,3	4,1	3,9	4,0	4,2	4,9	4,6	3,8	4,1	7,6	4,9	1,9	2,8
B	69	14-3-18-forår	4,4	5,7	5,1	5,0	5,4	5,7	4,0	4,3	5,7	4,8	4,7	5,3	9,7	6,6	4,5	7,4
B	69	23-3-7-forår	4,3	5,5	5,0	4,6	5,2	5,5	4,0	4,3	5,6	4,8	4,1	5,1	9,3	5,8	3,1	6,9
B	69	23-3-7-sommer	4,3	5,4	4,9	4,9	5,5	5,9	4,0	4,1	5,3	4,6	4,6	5,5	8,5	6,3	4,2	7,5
B	69	Ren N-forår <sup>1</sup>	4,3	5,7	5,0	4,7	5,0	5,6	4,1	4,2	5,5	4,7	4,3	5,0	9,2	6,0	3,4	5,9
B	104	23-3-7-forår	4,3	5,7	5,1	5,0	5,4	6,4	4,2	4,3	5,6	4,8	4,7	5,4	9,4	6,5	4,7	7,5
B		Usikkerhed	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	1,0	0,8	1,3	1,5
C	0	kontrol	5,0	5,9	5,5	4,8			4,4	5,2	5,9	5,4			10,3	7,1		
C	69	10-2-8-sommer		6,2	5,6	5,1				5,2	6,1	5,5			10,8	7,7		
C	69	19-2-4-sommer		6,1	5,5	5,1				5,2	6,0	5,4			10,3	7,8		
C	69	23-3-7-forår	5,3	6,5	5,8	5,3			4,5	5,2	6,4	5,7			11,9	8,2		
C	69	Ren N-forår <sup>1</sup>		6,4	5,6	5,1				5,3	6,4	5,6			11,8	8,2		
C	104	16-3-8-forår		6,4	5,8	5,2				5,3	6,3	5,7			11,5	8,3		
C	104	19-2-4-forår		6,1	5,6	5,1				5,1	6,1	5,6			10,8	8,2		
C	104	23-3-7-forår		6,5	5,6	5,4				5,2	6,4	5,7			12,3	8,6		
C	104	25-2-9-forår		6,0	5,7	5,2				5,1	6,1	5,5			11,5	7,9		
C		Usikkerhed	0,2	0,4	0,3	0,3			0,2	0,3	0,4	0,3			1,3	0,9		

<sup>1</sup> Behandlingerne med ren N omfatter både svovlsurammoniak (NS 21-24) og kalkammonsalpeter (N 27).



mentlig tidspunktet for nedbør, synes her at spille en afgørende rolle for betydningen af forårs- kontra sommerbehandling. Yderligere forsøg etableret i foråret 2000 søger at afdække sammenhængen mellem gødskningstidspunkt, vækst og frodighed.

#### Farve og nålelængde

Forskellene mellem de 2 serier mht. nålefarve og længde er meget små (tabel 4.7), og kun nålefarven udviser den forventede entydige forskel på gruppen med 69 kg N/ha/år og gruppen med 104 kg N/ha/år.

Der er gennemgående tale om små farveforskelle på nålene mellem de forskellige gødningstyper, men sommerbehandling synes helt generelt at give den bedste farve, antageligt fordi farven bedre kan holde sig til opgørelses-tidspunktet ved slutningen af året.

Nålelængden synes lidt mindre for sommerbehandlingerne end forårsbehandlingerne, måske fordi den tilførte gødning ikke når at påvirke nålenes strækningsvækst i samme grad, når tilførslen sker efter skudbrydningen. Undersøgelser på små nordmannsgrankulturer (Christensen, 1998) viser, at gødskning med ren N giver de længste nåle. Dette kan akkurat bekræftes i B-serien i de første 4 år, mens NPK 23-3-7 giver de længste nåle i C-serien.

#### Vitalitet

Vitalitetsforskellene mellem de forskellige gødningstyper er helt uden praktisk betydning, idet alle handlingerne inklusiv kontrollen lå tæt omkring en gennemsnitlig vitalitet. Bedst vitalitet havde NPK 23-3-7 i forårsudbringningen, dårligst var kontrollen.

Tabel 4.7 Farveværdi (1-7) og nålelængde (mm) fordelt på serier og år i forskellige gødningstyper. Usikkerheden er beregnet serievist for alle handlinger under ét i det givne år som LSD95% (bilag 4).

Serie B/C	N-dosering kg N/ha/år	Type N-P-K (tidspunkt)	Prima				Sekunda				Vrag			
			1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
B	0	kontrol	50,8	50,4	67,1	66,0	25,6	23,2	26,0	24,6	23,6	26,4	6,9	9,4
B	69	14-3-18-forår	44,0	46,5	69,9	69,8	36,6	34,7	25,7	24,1	19,4	18,8	4,4	6,1
B	69	23-3-7-forår	45,8	46,8	65,1	67,3	31,6	29,9	29,5	26,7	22,6	23,3	5,4	6,1
B	69	23-3-7-sommer	41,9	37,2	68,7	71,2	32,9	35,6	25,6	21,4	25,2	27,1	5,7	7,3
B	69	Ren N-forår1	50,9	50,3	71,6	70,0	29,9	27,9	18,8	20,3	19,2	21,8	9,6	9,2
B	104	23-3-7-forår	46,3	45,3	69,2	70,2	28,1	30,4	21,3	21,1	25,6	24,3	9,5	8,7
B		Usikkerhed	9,8	9,4	13,6	13,7	10,0	9,5	12,5	10,5	9,0	9,0	6,4	7,4
C	0	kontrol	76,2	78,0			14,6	13,1			9,2	8,9		
C	69	10-2-8-sommer	77,4	63,3			16,6	25,5			6,0	11,2		
C	69	19-2-4-sommer	78,5	62,1			14,9	28,9			6,6	9,0		
C	69	23-3-7-forår	80,4	80,7			14,0	11,2			5,6	8,1		
C	69	Ren N-forår1	80,4	73,5			13,2	17,3			6,4	9,2		
C	104	16-3-8-forår	76,2	75,0			17,7	14,7			6,1	10,3		
C	104	19-2-4-forår	77,2	72,6			13,9	18,5			8,9	8,9		
C	104	23-3-7-forår	74,6	76,2			19,1	17,1			6,3	6,7		
C	104	25-2-9-forår	71,4	66,1			19,6	21,8			9,0	12,1		
C		Usikkerhed	9,1	10,9			8,1	9,4			4,5	5,5		

<sup>1</sup> Behandlingerne med ren N omfatter både svovlsurammoniak (NS 21-24) og kalkammonsalpeter (N 27).

Tabel 4.8 Prima-, sekunda- og vrag skeletter i % fordelt på serier, år og forskellige gødningstyper. 1998 og 1999-tallene vedrører alene Hastrup Skov og Paludans Planteskole. Skeletvurderingen er uden hensyn til træets farve. Usikkerheden er beregnet serievist for alle behandlinger under ét i det givne år som LSD95% (bilag 4).

Serie B/C	N-dosering kg N/ha/år	Type N-P-K (tidspunkt)	Prima				Sekunda				Vrag			
			1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
B	0	kontrol	50,8	50,4	67,1	66,0	25,6	23,2	26,0	24,6	23,6	26,4	6,9	9,4
B	69	14-3-18-forår	44,0	46,5	69,9	69,8	36,6	34,7	25,7	24,1	19,4	18,8	4,4	6,1
B	69	23-3-7-forår	45,8	46,8	65,1	67,3	31,6	29,9	29,5	26,7	22,6	23,3	5,4	6,1
B	69	23-3-7-sommer	41,9	37,2	68,7	71,2	32,9	35,6	25,6	21,4	25,2	27,1	5,7	7,3
B	69	Ren N-forår <sup>1</sup>	50,9	50,3	71,6	70,0	29,9	27,9	18,8	20,3	19,2	21,8	9,6	9,2
B	104	23-3-7-forår	46,3	45,3	69,2	70,2	28,1	30,4	21,3	21,1	25,6	24,3	9,5	8,7
B		Usikkerhed	9,8	9,4	13,6	13,7	10,0	9,5	12,5	10,5	9,0	9,0	6,4	7,4
C	0	kontrol	76,2	78,0			14,6	13,1			9,2	8,9		
C	69	10-2-8-sommer	77,4	63,3			16,6	25,5			6,0	11,2		
C	69	19-2-4-sommer	78,5	62,1			14,9	28,9			6,6	9,0		
C	69	23-3-7-forår	80,4	80,7			14,0	11,2			5,6	8,1		
C	69	Ren N-forår <sup>1</sup>	80,4	73,5			13,2	17,3			6,4	9,2		
C	104	16-3-8-forår	76,2	75,0			17,7	14,7			6,1	10,3		
C	104	19-2-4-forår	77,2	72,6			13,9	18,5			8,9	8,9		
C	104	23-3-7-forår	74,6	76,2			19,1	17,1			6,3	6,7		
C	104	25-2-9-forår	71,4	66,1			19,6	21,8			9,0	12,1		
C		Usikkerhed	9,1	10,9			8,1	9,4			4,5	5,5		

<sup>1</sup> Behandlingerne med ren N omfatter både svovlsurammoniak (NS 21-24) og kalkammonsalpeter (N 27).

#### Juletræsudbytte

I tabel 4.8 fremgår de forskellige gødningstypers fordeling til prima-, sekunda- og vrag skeletter. Det forekommer umiddelbart overraskende, at kontroltræerne gennemgående har den højeste andel primaskeletter. Dette skyldes dels, at farven ikke indgår i sorteringen, hvorved såvel meget lysegrønne/gule træer som tofarvede træer kan blive primatræer, hvis blot træets skelet er i orden, dels at kontroltræerne gror langsommere, og derfor ikke så hyppigt deklasseres pga. for lange topkud.

Der er tale om marginale forskelle i sortimentsudfaldet for de forskellige gødningstyper, men NPK 14-3-18 synes at have få vragtræer, mens sommerbehandlingen med NPK 23-3-7 har lidt flere vragtræer. Den kraftige stigning i antallet af vragtræer for NPK 10-2-8 gødningen i 1997 skyldes, at der dette år blev introduceret en ny gødningsformulering (se bilag 2 og figur 4.14), der efterfølgende viste sig at give udbredte svidningsskader med efterfølgende nåletab.

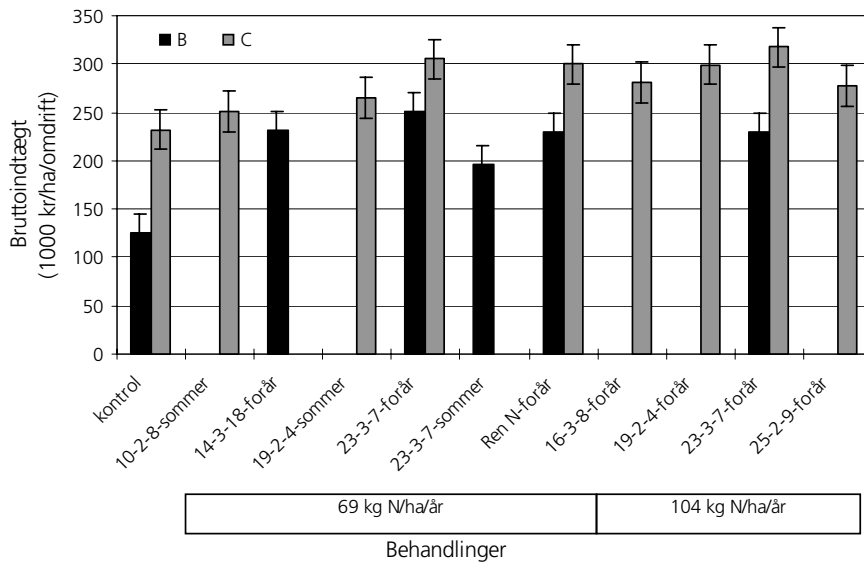
Sammenstilles de mange gødningstyper ud fra en økonomisk betragtning ved at kombinere træets højde og kvalitet i en samlet pris afhængig af høstår ses kontrol behandlingerne generelt at ligge lavt – særligt i B-serien (figur 4.15). De serievise forskelle (B kontra C-serien) i udbytte erkendes let for kontrolbehandlingerne, idet de maksimalt opnåelige gevinster ved gødskning er klart størst i B-serien. I begge serier og for begge N-doseringer ses forårsbehandling med NPK 23-3-7 at give det højeste bruttoudbytte, hvilket skyldes en kraftig (sprinter) vækst med deraf følgende tidlig hugst (hurtigere indtjening). Når den større hyppighed af ”for åbne” træer ved netop denne behandling (tabel 4.4) ikke får en negativ indflydelse på bruttoudbyttet, skyl-



Figur 4.14 Svidningsskader i Fasterlund med NPKS 10-2-12-9 den 30/11 1997.  
(Foto: Claus Jerram Christensen).

des det altovervejende, at en grenkransafstand på over 40 cm henregnes som en mindre betydende skeletfejl og derfor accepteres i primasorteringen (bilag 3b). Under skærpede markedsvilkår er det derfor tvivlsomt, om NPK 23-3-7 faktisk ville give det højeste udbytte. Det forekommer umiddelbart overraskende, at gødskning med N alene giver så gode udbytter i begge serier, men trods den billigere gødningspris må det frarådes at gødske så ensidigt over en hel omdrift, da der herved er fare for inducering af mangel på andre næringsstoffer. Den faste NPK 14-3-18 eller den flydende NPK 19-2-4 giver begge en mere balanceret næringsstofftilførsel og samtidigt et højt bruttoudbytte.

Gennemgangen af de forskellige gødningstyper med et N-niveau på 69-hhv. 104 kg/N/ha/år viser gennemgående sikre, men små forskelle for næsten alle egenskaber mellem de to N-kategorier når nålefarven undtages, men overordnet synes forårsbehandling at give lidt kraftigere (topskuds) vækst, længere nåle og i de fleste år lidt flere knopper/grene/internodieskud. Sommergødskning giver derimod bedre farve. Blandt forårsbehandlingerne med 69 kg N/ha/år synes NPK 14-3-18 at give den største vækst samt flest knopper, grene og internodieskud. Hyppigheden af topskud over 40 cm er dog ikke tilsvarende forøget for NPK 14-3-18 sammenlignet med f.eks. NPK 23-3-7. Længst nåle opnås med ren N-gødning. Den flydende gødning NPK 19-2-4 har givet en sammenlignelig effekt med de faste gødninger for samme N-dosering ved forårsudbringning. Højest bruttoudbytte er opnået ved forårgødskning med NPK 23-3-7, men trods små forskelle synes sommerbehandling gennemgående at give et lavere udbytte end forårsbehandling for samme gødningstype.

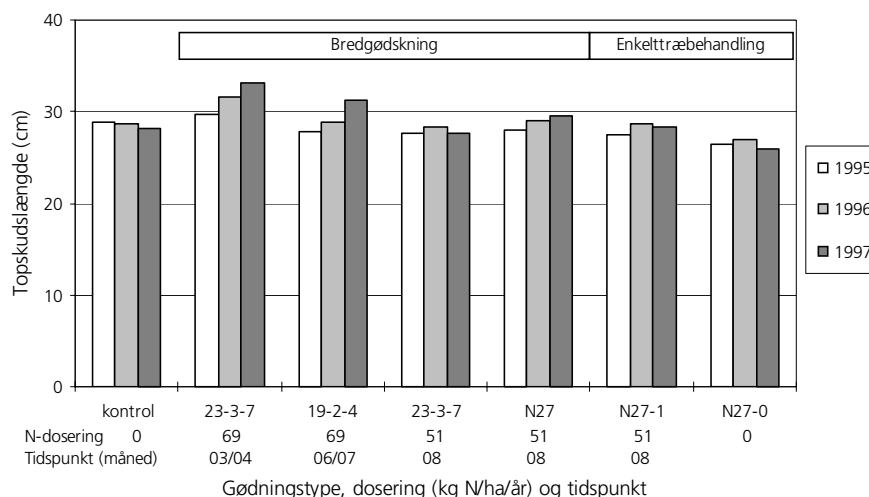


Figur 4.15. Status for bruttoindtægt ultimo 1997 (Rye Nørskov, Salten Langsø, Jægerspris, Clausholm, Fasterlund og Veflinge) eller ultimo 1999 (Hastrup Skov og Paludan Planteskole) fordelt på serier (B el. C), N-dosering og gødningstyper med et krav om mindst gennemsnitlig grøn farve (farveværdi=4) for primatræer. De viste fejllinjer er LSD95%.

#### 4.2.3 Farvegødsning

Farvegødsning dækker over den gødsning, som udbringes i august/sep-tember måned, hvis vigtigste formål er at få en tilstrækkelig grøn farve på salg- bare træer. Behovet for farvegødsning afhænger af vejrforholdene i vækstsæsonen, idet nedbørsrige somre kan give en gulfarvning af træerne. I C-serien gennemføres en mindre undersøgelse af farvegødsning. I 1994 og 1995 forblev 3 parceller pr. blok ubehandlet. Derefter blev der i sensom- meren 1996 igangsat farvegødsningsbehandlinger med 2 gødningstyper og 2 udbringningsmetoder (tabel 2.3). Alle 3 behandlingsled har således kun væ- ret gødsket 2 gange inden forsøgenes afslutning i vinteren 1997. Ved be- handlingernes start i sensommeren 1996 var træerne i alle henseender som kontrolplanterne. Den statistiske analyse for farvegødsningen under ét vi- ste sikre forskelle mht. topskudslængde, farve, nålelængde, for stor gren- kransafstand (kun i 1997) og en tendens til forskelle på knopantallet i 1997. Der var ikke sikre forskelle for de øvrige egenskaber. Når hverken gren- eller internodieskudsantallet udviste forskelle kan det skyldes, at den tidligst foretagne farvegødsningsbehandling ligger i august 1996 dvs. formentlig efter anlæggelsen af det følgende års antal internodie- og grenkransknopper. De 2 års gødsning/registrering udgør derfor et ufuldstændigt grundlag at vurdere effekten fuldt ud af farvegødsningsbehandlingen på særligt disse to egenskaber.

Der er generelt små forskelle i topskudslængderne (figur 4.16), men forårs- og sommerbehandlingerne skiller sig dog ud med en lidt større topskuds- længde end de farvegødskede træer. Farvegødsningen har tilsyneladende kun haft en begrænset effekt på topskudslængden i 1996, og selv i 1997 sy- nes topskudslængderne i de farvegødskede behandlinger at være mindre end

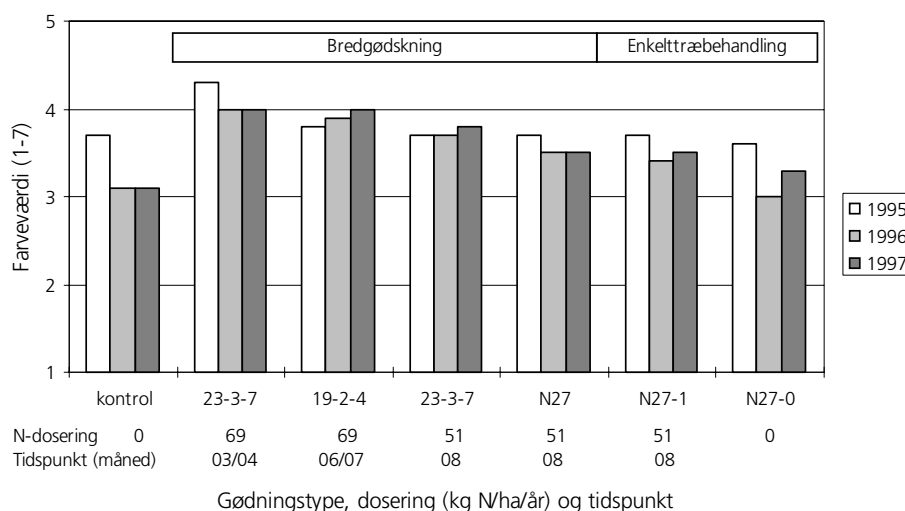


Figur 4.16. Topskudslængderne for de tre farvegødskningsbehandlinger i C-serien (undtaget Veflinge). Til sammenligning er medtaget hhv. en forårs- og sommerbehandling med 69 kg N/ha/år. Yderst til højre er vist resultaterne for enkelttræbehandling (7c): N27-1 viser gennemsnittet for de behandlede træer med NPK 27-0-0, mens N27-0 viser gennemsnittet for de ubehandlede træer i behandling 7c.

for forårs- og sommerbehandlingerne. Dette kan imidlertid også skyldes den mindre forskel i N-dosering

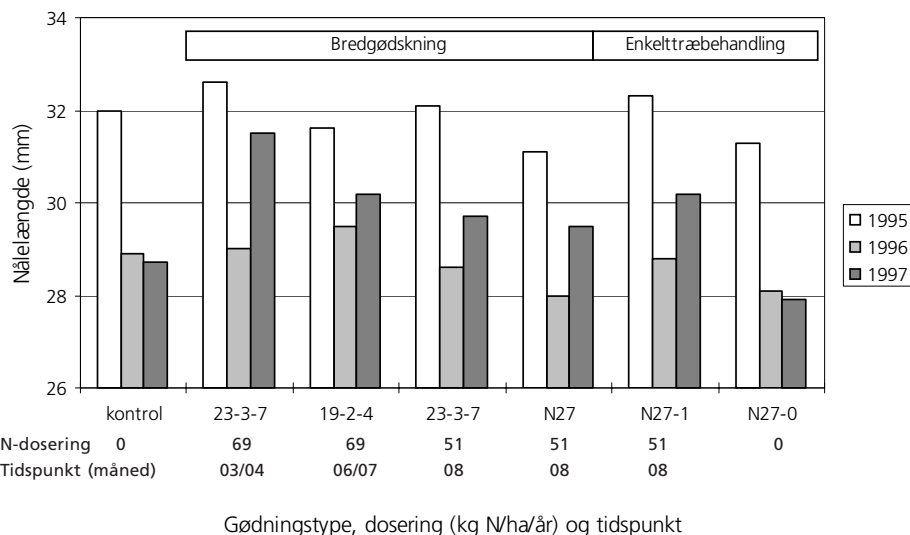
Kun i 1997 var der en tendens til forskel i knopantallet mellem de forskellige behandlinger i form af et aftagende knopantal ved et senere gødnings-tidspunkt.

I modsætning til de øvrige egenskaber giver farvegødskningen en forbedring af træernes farve allerede i det første behandlingsår (figur 4.17). Derimod giver ingen af farvegødskningsbehandlingerne en så grøn farve som der ses



Figur 4.17. Farve for de tre farvegødskningsbehandlinger i C-serien (undtaget Veflinge). Til sammenligning er medtaget hhv. en forårs- og sommerbehandling med 69 kg N/ha/år. Yderst til højre er vist resultaterne for enkelttræbehandling (7c): N27-1 viser gennemsnittet for de behandlede træer med NPK 27-0-0, mens N27-0 viser gennemsnittet for de ubehandlede træer.





Figur 4.18. Nålelængde for de tre farvegødskningsbehandlinger i C-serien (undtaget Veflinge). Til sammenligning er medtaget hhv. en forårs- og sommerbehandling med 69 kg N/ha/år. Yderst til højre er vist resultaterne for enkelttræbehandling (7c): N27-1 viser gennemsnittet for de behandlede træer med NPK 27-0-0, mens N27-0 viser gennemsnittet for de ubehandlede træer.

på de gennem fire år forårs- eller sommerbehandlede træer med 69 kg N/ha/år. En sandsynlig forklaring kan være forskelle i N-dosering. Træerne havde en for salg akkurat tilfredsstillende farve, selvom farveværdien er lidt mindre end gennemsnitlig grøn (4). Både i 1996 og 1997 var der forskel på de behandlede hhv. ubehandlede træer i behandling 7c, hvilket bekræfter muligheden for at udbringe farvegødningen som punktbehandling med godt resultat.

Nålelængderne i farvegødskningsbehandlingerne har i 1997 en længde, som er sammenlignelig med sommerbehandling med 69 kg N/ha/år (figur 4.18). Nålene bliver dog ikke så lange som ved forårsbehandlingen, og der er en svagt faldende nålelængde ved et senere gødskningstidspunkt.

Sammenfattende påvirker farvegødskning med 51 kg N/ha/år ikke top-skudslængden så kraftigt som forårs- eller sommerbehandling med 69 kg N/ha/år. Knopantallet (og siden grenantallet) er marginalt mindre jo senere på året der gødskes. Farven kan genvindes allerede det første år med farvegødskning, men den bliver ikke så god som ved 4 års forårsbehandling. Nålelængden bliver lidt mindre ved farvegødskning eller sen gødskning i øvrigt sammenlignet med forårsbehandlingen.

## 4.3 Nålekemi

I dette afsnit beskrives koncentrationerne og forholdet mellem næringsstofferne i nålene. Det er nemlig ikke tilstrækkeligt at fokusere på koncentrationen af næringsstofferne alene, når træernes sundhed og næringsstofstatus skal bedømmes. Forholdet mellem næringsstofferne er ligeså vigtigt, da dette kan afsløre ubalance i næringsstofftilførslen – især er forholdet til N vigtigt. Det er en generel opfattelse, at forholdet mellem næringsstofferne er meget ens hos de fleste højere grønne planter.

### 4.3.1 Variationer for år, lokalitet og dosering

En beregning af analyseresultaterne fra de årsvise indsamlinger i B-serien viste sikre års- og lokalitetsforskelle for alle koncentrationer og 100-nålevægt, og sikre behandlingsforskelle for N, P, Mn og 100-nålevægt samt en tendens til forskel for S og Ca. De afledte næringsstof forhold i forhold til N (P/N, K/N osv.) viste alle sikre behandlingsforskelle med undtagelse af Fe/N-forholdet. Næringsstofindholdet i nålene (mg stof/100 nåle) viste sikre behandlingsforskelle for alle kemiske elementer undtaget for indholdet af P. Gennemsnit fra nåleanalyserne er sammenfattet i tabel 4.9 (næringsstofkoncentrationer, side 48) og 4.10 (næringsstofforhold, side 49). Nederest i hver af de 2 tabeller er gengivet referenceværdier fra litteraturen.

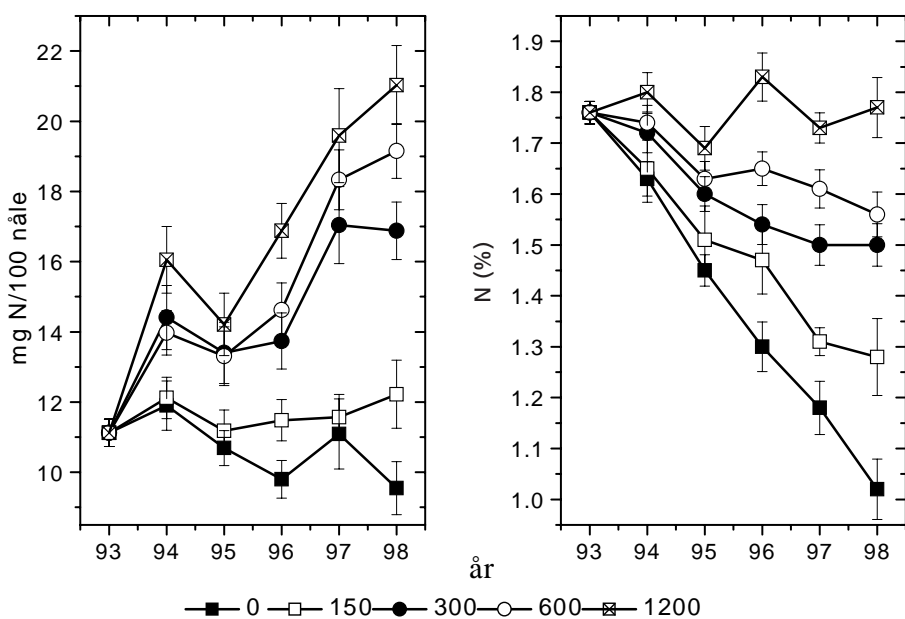
#### *Kvælstof (N):*

Af de såkaldte makro- og mikronæringsstoffer er N det næringsstof, som forekommer i de højeste koncentrationer i nålene. N er en af hovedbestanddelene i aminosyrerne, som igen er byggestenen i proteiner. N har utallige roller i planterne, lige fra at være en vigtig bestanddel i cellevæggen til at være regulerende for diverse kemiske reaktioner. Herudover er N også af central betydning for arvemassen, da N er en central komponent i kernesyrerne RNA og DNA. Mangel på N karakteriseres ved en generel gulfarvning af ældre nåle. Ved udtalt N-mangel kan misfarvningen også brede sig til de nye nåle. N-mangel fører også til nedsat vækst samt kortere nåle og mindre frodighed dvs. færre (internodie)grene.

Koncentrationen af N i nålene varierer mellem lokaliteterne, men navnlig over tiden og med den foretagne dosering af NPK 23-3-7 (figur 4.19). Bortset fra gødningsdoseringen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år falder nålenens koncentration af N markant med tiden. Faldet er størst for de ubehandlede træer. Forskellene mellem de enkelte behandlinger udbygges med tiden. Disse resultater er i overensstemmelse med Bondi et. al. (1995), som også observerer et aldersbetinget koncentrationsfald for N over en juletræsodrift i amerikanske douglas- og nobilisjuletræer.

N-koncentrationen i nålene ved de lave gødningsdoseringer falder markant over tiden, men samtidigt opretholdes der et næsten konstant indhold af N i de enkelte nåle (figur 4.19 tv.). Anderledes er det ved de høje doseringer, hvor N-koncentrationen falder mindre eller er konstant over tiden, samtidigt med at N i den enkelte nål øges ganske betydeligt. Dette skyldes bl.a., at der ved lave gødningsdoseringer ikke sker nogen udvikling over tiden i nålenes størrelse. Ved de større gødningsdoseringer forøges nålevægten derimod op





Figur 4.19. Indhold af N i nåle (til venstre) og koncentration af N i tørstoffet (til højre) fordelt til år og dosering med NPK 23-3-7/ha/år i B-serien.

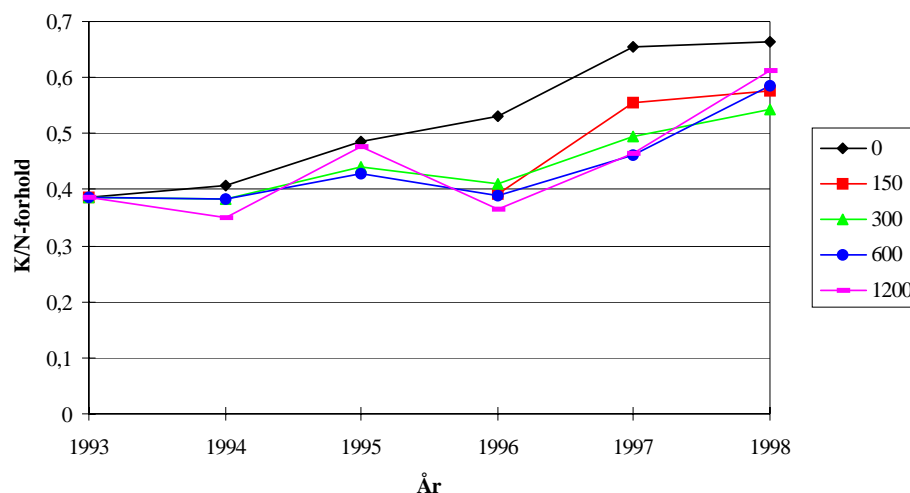
til det dobbelte. Denne udvikling skyldes formodentlig at kvælstoftilgængeligheden ved den forudgående punkt-gødskning i kulturfasen har været særdeles fordelagtig. Senere i forbindelse med bredgødskningen, mindskes N-tilgængeligheden for den enkelte plante ved de lave gødningsdoseringer, selvom der på arealbasis udbringes en større mængde gødning.

Der er en klar tendens til, at N-koncentrationen er højest i Hastrup Skov, og lavest i Paludans Planteskole og Rye Nørskov.

#### Fosfor (P):

P findes i forholdsvis høje koncentrationer i planterne, idet behovet ofte ligger på 10-15% af N. I planterne findes P hyppigt som uorganisk  $\text{PO}_4^{3-}$  eller bundet i sukker- og fedtstoffer. P spiller en afgørende rolle i planternes energitransporter gennem energirige P-forbindelser (ATP). P er desuden et vigtigt strukturelement i opbygningen af DNA og i cellemembranernes fedtstoffer. P-mangel er vanskelig at opdage uden nåleanalyser. Typisk er nålene mindre end normalt, og kan have et violet til blågrønt skær på de ældre nåleårgange. Samtidigt kan de nye nåleårgange beholde den grønne farve, måske med en begyndende gulgrøn nuance på nålespidsen.

Koncentrationen af P i nålene er forholdsvis lav, men næsten konstant gennem forsøgsperioden, og der erkendes kun mindre udsving for de enkelte behandlinger (tabel 4.9, side 48). Paludans Planteskole skiller sig ud med de laveste P-koncentrationer, især for de højeste doseringer - også lavere end den anførte optimumværdi. Sammenlignes forholdet mellem P og N (P/N-forholdet) i tabel 4.10 (side 49), er mange af de enkelte behandlinger på lokaliteterne tæt ved den nedre optimum grænse i visse år. Tendensen er stærkest for de kraftigst gødskede behandlinger i de sidste forsøgsår, hvor N-koncentrationen i nålene er høj i forhold til P-koncentrationen.



Figur 4.20. Forholdet mellem K og N fordelt til år og doseringer med NPK 23-3-7/ha/år. 1998-tallene stammer alene fra Hastrup Skov.

#### Kalium (K):

K er ofte kædet sammen med frost-, vind- og saltfølsomhed. Det skyldes de mange funktioner, som stoffet har, ikke mindst stoffets afgørende betydning i reguleringen af salt- og vandbalancen. K er aldrig fast bundet til organiske stoffer i planten, men fungerer ofte som et ladningsneutraliserende element for negativt ladede sukkerstoffer. K medvirker også i stabiliseringen af pH, og i enzymaktivering og er helt nødvendig for fototsyntesen. K-mangel kan forveksles med N-mangel. K-mangel karakteriseres ved en begyndende gulfarvning af nålespidsen uden markant overgang til det sunde grønne væv nær nålebasis. Efterhånden breder misfarvningen sig til den øvrige del af nålen. Misfarvningerne opstår typisk på gamle nåleårgange (grenkryds), men en mere udtalt K-mangel kan vise sig på årsskuddene som en gulspletning af de enkelte årsnåle. Generelt er K meget mobilt i planterne og i jorden. Optagelsen er som regel stor, men efterfølges også af en stor udvaskning fra nålene. Kraftig nedbør kan let udvaske K fra nålene, hvorefter det ikke altid er lige hensigtsmæssigt at analysere nålenes K-koncentration i de nedbørsrige efterårsmåneder.

K-koncentrationen i nålene afspejlede *ikke* jordbundsforholdene, idet de højeste koncentrationer fandtes på de næringsfattige jyske lokaliteter. Koncentrationen af K på de sjællandske lokaliteter er i visse år meget lav, muligvis som følge af en udbredt binding til jordpartiklerne. Kun på de jyske lokaliteter befandt K-koncentrationen sig inden for det optimale område.

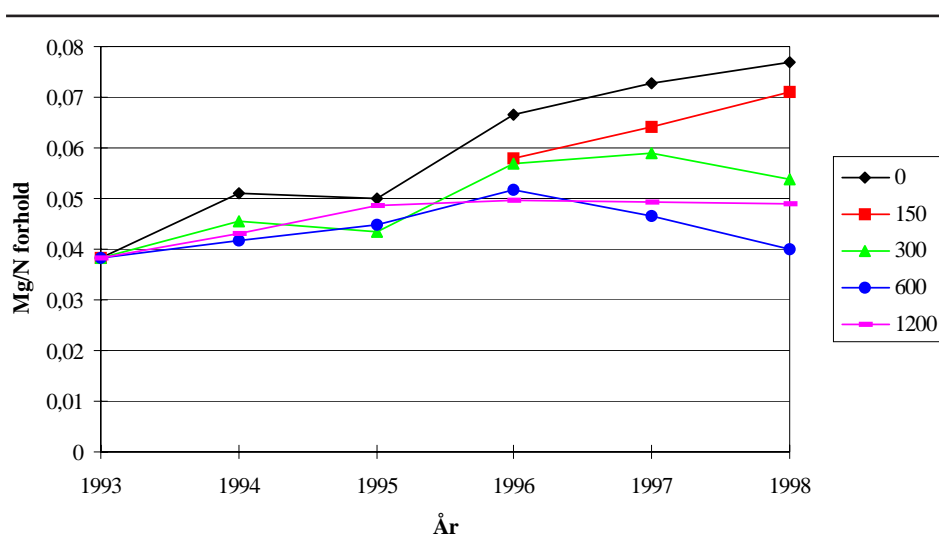
Forholdet mellem K og N (K/N) viste sikre behandlingsforskelle (figur 4.20). Netop dette forhold har i kontrollerede pottforsøg vist sig at have stor betydning for nordmannsgranens modtagelighed over for vinter- og forårsnattefrost skader. Således anbefaler Fremann & Nielsen (1997) en værdi mellem 0,5 og 0,6 for små planter for at få den bedste resistens mod vinter- og forårsnattefrost. Hvordan det forholder sig med større træer er uvist.

Det højeste K/N-forhold har typisk kontrolplanterne bla. som følge af en lav N-koncentration. Der er en klar tendens til stigende K/N-forhold med stigende plantealder, men i forsøgets tidlige år (1993, 94) lå alle gødskede behandlinger under dette niveau (0,5-0,6), når der ses bort fra Salten Langsø. I de første forsøgsår synes K-indholdet dog også noget højere i kontrolplanterne, men efter 2-4 år findes de højeste K-koncentrationer i behandlingen med den højeste dosering af NPK 23-3-7 - særligt på Salten Langsø og i Hastrup Skov. Stigningen i K/N-forholdet skønnes dog snarere at skyldes faldende N-koncentration end en tilpasning til frostresistens gennem et forøget K-optag.

#### Svovl (S):

Omsætningen af S i planterne minder meget om omsætningen af N, men behovet er meget mindre. S optages især som sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) gennem planterødderne og indlejres i aminosyrer og proteiner som sulfid ( $\text{S}^{2-}$ ). Mangel på S er ikke konstateret i danske juletræer bl.a. som følge af en betydelig tilførsel gennem den atmosfæriske forurening. Da S bindes stærkt i aminosyrer, vil evt. mangelsymptomer opstå på de yngste nåleårgange først, antageligt som en gulfarvning.

Selvom S ikke er deklareret for NPK 23-3-7 tilføres der henved 3% jf. bilag 2. Koncentrationerne af S i nålene er rimelige konstante, dog med en mindre stigning i 1994 efterfulgt af et jævnt fald. I overensstemmelse med gødningstilførslen har kontrolplanterne efter 3-4 år de laveste koncentrationer af S. Sammenholdt med Bondi et al. (1995) er der dog tale om gennemgående høje koncentrationer af S. Forholdet mellem S og N ligger omkring 0,10 med størst udsving i 1994 og 1998. I følge McEvoy (1992) (se nederst i tabel 4.10, side 49) bør S/N forholdet være større end 0,09, og det kan derfor ikke udelukkes, at der i de (med N) kraftigst gødskede planter kan være tale om et relativt underskud af S.



Figur 4.21. Mg/N-forholdet fordelt på behandlinger og år som gennemsnit for alle lokaliteter. 1998-tallene er alene baseret på Hastrup Skov.

#### *Magnesium (Mg):*

Mg har flere roller i planterne, men bedst kendt er næringsstoffets rolle som central atom i klorofyl-molekylet, hvor plantens fotosyntese foregår. Mg har også betydning for cellernes regulering af pH og i indlejringen af CO<sub>2</sub> i fotosyntesen. Desuden spiller Mg en vigtig rolle i forbindelse med enzym-aktivering. Mangel på Mg kendetegnes ved en begyndende gulfarvning af nålespiden. Da Mg ikke er særligt mobilt i planten opstår misfarvningerne typisk på ældre nåle. I forhold til K-mangel kendetegnes Mg-mangel af en karakteristisk skarp overgang mellem det sunde grønne væv ved nålebasis og det gule nekrotiske væv ved nålespiden. Mg udvaskes ikke nær så let fra nålene som K.

Mg-koncentrationen var lavest i 1993 -1995 og var gennemgående lavest på Rye Nørskov- særligt i 1995 (tabel 4.9). Træerne viste dog ikke tegn på Mg-mangel trods det lave niveau. Mg/N-forholdet (figur 4.21) var meget lavt for alle behandlinger frem til 1996. Der er her tale om moderat relativ mangel på Mg, som først "afhjælpes" fra 1996, hvor det generelle fald i N-koncentrationerne giver et bedre forhold mellem N og Mg. På Rye Nørskov og særligt Salten Langsø var der dog tale om alvorlig mangel på Mg i 1993 og 1994, hvor Mg/N forholdet kom under 0,04.

#### *Kalcium (Ca):*

Træernes optag og forbrug af Ca er stort. Ca optages af rødderne og transporteres med transpirationsstrømmen til nålene, hvor det ofte bindes meget hårdt. I modsætning til K vaskes Ca kun meget dårligt ud af nålene, og indeni træet er retranslokering til andre plantedele meget beskedent. Kalcium indgår i cellevæggene og membranerne, og har her især betydning for elasticitet og stabilitet af plantestrukturen, men er også afgørende for strækningsvæksten samt for røddernes optagelse af andre næringsalte. Mangel på Ca minder om mangel på N, men gulfarvningen er mere koncentreret på de yngste nåleårgange.

Helt i overensstemmelse med jordbundsforholdene har Hastrup Skov de højeste koncentrationer af Ca i nålene, mens Rye Nørskov og Salten Langsø har det laveste (tabel 4.9, side 48). Blandt behandlingerne er der kun marginale forskelle. Dog er der en svag tendens til, at behandlingen med 1200 kg har en lidt højere Ca-koncentration end de øvrige behandlinger. Tørkeåret 1996 udviser en klar tendens til et mindre indhold (pr. nål) af Ca, som måske kan skyldes en mindre transpirationsstrøm og dermed mindre transport af Ca til nålene. I kontrolbehandlingen og behandlingen med 150 kg NPK 23-3-7 er der en klar forøgelse i Ca/N forholdet som følge af det markante fald i N-koncentrationerne. For alle andre behandlinger er forholdet konstant over tid.

Tabel 4.9 Koncentrationer af N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn og Na samt 100 nålevægt fordelt til år, lokaliteter og dosering med NPK 23-3-7/ha/år.

Lokalitet	år	Behandling kg NPK/ha/år	N	P	K	S	Mg	Ca	Fe	Mn	Na	nålevægt g/100 nåle		
			%	%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg				
Rye Nørskov	1993		1,62	0,17	0,82	0,16	0,06	0,27	79	57	88			
		1994	0	1,53	0,17	0,70	0,17	0,09	0,57	59	58	84	0,90	
			300	1,64	0,16	0,68	0,16	0,08	0,57	54	51	67	1,07	
			600	1,68	0,16	0,70	0,16	0,07	0,52	68	46	79	0,90	
	1995	1200	1,79	0,15	0,81	0,15	0,07	0,57	50	76	73	1,24		
		0	1,45	0,17	0,83	0,17	0,06	0,25	71	54	85	0,81		
		300	1,55	0,15	0,68	0,15	0,05	0,23	67	43	68	0,93		
		600	1,52	0,15	0,75	0,15	0,06	0,30	76	49	86	0,81		
	1996	1200	1,45	0,14	0,78	0,13	0,06	0,27	77	66	83	0,94		
		0	1,14	0,18	0,76	0,11	0,08	0,42	65	54	80	0,96		
		300	1,32	0,16	0,63	0,11	0,08	0,44	70	59	71	1,15		
		600	1,53	0,17	0,70	0,12	0,08	0,42	60	62	92	0,99		
	1997	1200	1,55	0,16	0,66	0,12	0,09	0,47	62	92	70	0,99		
		0	1,48	0,15	0,83	0,13	0,09	0,54	48	72	116	1,20		
		300	1,75	0,17	0,89	0,14	0,08	0,51	62	64	51	1,39		
		600	1,69	0,16	0,81	0,13	0,07	0,54	57	85	83	1,14		
	Salten Langsø	1993	1200	1,79	0,16	0,87	0,14	0,08	0,49	66	139	90	1,39	
				1,75	0,23	0,67	0,13	0,06	0,45	144	165	75	0,72	
			1994	0	1,66	0,18	0,78	0,18	0,07	0,43	68	129	69	0,96
				300	1,93	0,20	0,83	0,20	0,07	0,50	61	163	64	1,01
600		1,73		0,18	0,85	0,18	0,07	0,47	63	199	73	1,02		
1995		1200	1,89	0,17	0,76	0,17	0,06	0,51	55	371	70	0,96		
		0	1,53	0,19	0,88	0,15	0,08	0,33	90	123	51	0,85		
		300	1,79	0,23	1,07	0,19	0,09	0,39	90	184	56	1,01		
		600	1,79	0,17	0,84	0,14	0,07	0,30	67	188	50	1,00		
1996		1200	1,98	0,24	1,25	0,19	0,10	0,49	87	573	63	0,98		
		0	1,30	0,20	0,79	0,12	0,09	0,48	64	175	38			
		150	1,34	0,18	0,63	0,12	0,07	0,48	62	173	27			
		300	1,62	0,24	0,83	0,14	0,08	0,48	69	207	40			
1997		600	1,74	0,18	0,80	0,13	0,07	0,44	65	281	33			
		1200	2,07	0,20	0,92	0,17	0,08	0,59	65	951	43			
		0	1,29	0,20	0,78	0,11	0,08	0,46	55	205	75	1,03		
		150	1,34	0,20	0,97	0,13	0,07	0,39	66	336	103	0,96		
Hastrup Skov		1993	300	1,55	0,21	0,89	0,12	0,10	0,54	84	307	220	1,17	
			600	1,50	0,19	0,84	0,14	0,07	0,48	72	604	108	1,33	
			1200	1,70	0,23	0,92	0,14	0,08	0,48	86	283	53	1,14	
			1,85	0,20	0,52	0,14	0,07	0,66	219	70	79	0,57		
	1994	0	1,77	0,17	0,53	0,18	0,09	0,61	102	96	154	0,60		
		300	1,72	0,17	0,60	0,18	0,08	0,62	107	98	168	0,65		
		600	1,86	0,16	0,58	0,17	0,08	0,53	86	93	167	0,67		
		1200	1,86	0,16	0,55	0,17	0,10	0,58	85	193	156	0,78		
		1995	0	1,31	0,14	0,51	0,11	0,07	0,34	100	51	172	0,70	
			300	1,50	0,14	0,53	0,12	0,07	0,41	106	62	193	0,71	
			600	1,55	0,16	0,64	0,14	0,08	0,44	244	74	233	0,73	
			1200	1,60	0,15	0,63	0,13	0,09	0,39	144	134	205	0,75	
		1996	0	1,69	0,20	0,56	0,14	0,09	0,69	64	93	105	0,58	
			150	1,73	0,18	0,54	0,14	0,11	0,78	59	110	129	0,67	
			300	1,74	0,17	0,53	0,13	0,11	0,73	53	100	114	0,77	
			600	1,73	0,16	0,50	0,13	0,10	0,67	48	127	116	0,72	
	1997	1200	1,86	0,17	0,60	0,13	0,10	0,69	53	271	102	0,89		
		0	1,20	0,15	0,53	0,10	0,09	0,62	49	72	119	0,72		
		150	1,31	0,14	0,51	0,11	0,10	0,58	60	79	152	0,76		
		300	1,48	0,15	0,61	0,12	0,10	0,63	69	118	137	0,97		
1998	600	1,74	0,15	0,63	0,14	0,09	0,60	66	191	143	1,00			
	1200	1,79	0,16	0,85	0,14	0,10	0,59	64	602	140	1,05			
	0	1,04	0,20	0,69	0,12	0,08	0,49	55	99	40	0,70			
	150	1,27	0,19	0,73	0,14	0,09	0,58	59	130	39	0,82			
Paludans Planteskole	1993	300	1,49	0,21	0,81	0,14	0,08	0,50	71	201	37	0,97		
		600	1,50	0,20	0,88	0,14	0,06	0,46	80	468	46	1,09		
		1200	1,63	0,23	1,00	0,15	0,08	0,48	80	924	36	1,10		
			1,80	0,22	0,68	0,15	0,08	0,75	2080	68	112	0,56		
	1994	0	1,54	0,21	0,62	0,22	0,08	0,56	81	47	76	0,48		
		300	1,58	0,18	0,54	0,19	0,08	0,51	93	34	92	0,58		
		600	1,70	0,18	0,53	0,19	0,07	0,53	88	35	78	0,64		
		1200	1,65	0,14	0,41	0,15	0,08	0,72	74	34	98	0,56		
		1995	0	1,51	0,18	0,61	0,12	0,08	0,47	82	49	66	0,59	
			300	1,56	0,16	0,58	0,12	0,07	0,39	66	33	89	0,74	
			600	1,65	0,15	0,55	0,13	0,08	0,46	77	30	62	0,89	
			1200	1,73	0,14	0,59	0,12	0,08	0,48	58	34	79	0,93	
		1996	0	1,09	0,17	0,57	0,10	0,08	0,48	62	51	60	0,55	
			300	1,49	0,17	0,52	0,11	0,08	0,44	47	29	49	0,58	
			600	1,61	0,17	0,56	0,12	0,09	0,50	53	31	44	0,71	
			1200	1,85	0,16	0,50	0,13	0,09	0,73	44	38	50	0,73	
	1997	0	0,75	0,16	0,76	0,08	0,07	0,39	49	45	34	0,59		
		300	1,20	0,14	0,58	0,10	0,07	0,37	49	23	71	0,92		
		600	1,49	0,14	0,66	0,12	0,07	0,37	45	26	100	1,09		
		1200	1,62	0,14	0,58	0,12	0,08	0,49	48	35	105	0,87		
Ravnsløkken, 1989abc			1,6-2,0	0,16-0,22	0,5-0,9		0,06-0,11	0,1-0,9	45-200	50-2500				

Tabel 4.10 forholdet mellem N og P, K, S, MG, Ca, Fe, Mn og Na fordelt til år, lokalitet og dosering med NPK 23-3-7/ha/år.

Lokalitet	år	Behandling kg NPK/ha/år	P/N %/%	K/N %/%	S/N %/%	Mg/N %/%	Ca/N %/%	Fe/N %/%*100	Mn/N %/%*100	Na/N %/%*100		
Rye Nørskov	1993		0,10	0,51	0,10	0,04	0,17	0,49	0,35	0,54		
		1994	0	0,11	0,46	0,11	0,06	0,37	0,39	0,38	0,55	
			300	0,10	0,41	0,10	0,05	0,35	0,33	0,31	0,41	
			600	0,10	0,42	0,10	0,04	0,31	0,40	0,27	0,47	
	1200	0,08	0,45	0,08	0,04	0,32	0,28	0,42	0,41			
	1995	0	0,12	0,57	0,12	0,04	0,17	0,49	0,37	0,59		
		300	0,10	0,44	0,10	0,03	0,15	0,43	0,28	0,44		
		600	0,10	0,49	0,10	0,04	0,20	0,50	0,32	0,57		
		1200	0,10	0,54	0,09	0,04	0,19	0,53	0,46	0,57		
	1996	0	0,16	0,67	0,10	0,07	0,37	0,57	0,47	0,70		
		300	0,12	0,48	0,08	0,06	0,33	0,53	0,45	0,54		
		600	0,11	0,46	0,08	0,05	0,27	0,39	0,41	0,60		
		1200	0,10	0,43	0,08	0,06	0,30	0,40	0,59	0,45		
	1997	0	0,10	0,56	0,09	0,06	0,36	0,32	0,49	0,78		
		300	0,10	0,51	0,08	0,05	0,29	0,35	0,37	0,29		
		600	0,09	0,48	0,08	0,04	0,32	0,34	0,50	0,49		
		1200	0,09	0,49	0,08	0,04	0,27	0,37	0,78	0,50		
	Salten Langsø	1993		0,13	0,38	0,07	0,03	0,26	0,82	0,94	0,43	
			1994	0	0,11	0,47	0,11	0,04	0,26	0,41	0,78	0,42
				300	0,10	0,43	0,10	0,04	0,26	0,32	0,84	0,33
				600	0,10	0,49	0,10	0,04	0,27	0,36	1,15	0,42
		1200	0,09	0,40	0,09	0,03	0,27	0,29	1,96	0,37		
		1995	0	0,12	0,58	0,10	0,05	0,22	0,59	0,80	0,33	
			300	0,13	0,60	0,11	0,05	0,22	0,50	1,03	0,31	
600			0,09	0,47	0,08	0,04	0,17	0,37	1,05	0,28		
1200			0,12	0,63	0,10	0,05	0,25	0,44	2,89	0,32		
1996		0	0,15	0,61	0,09	0,07	0,37	0,49	1,35	0,29		
		150	0,13	0,47	0,09	0,05	0,36	0,46	1,29	0,20		
		300	0,15	0,51	0,09	0,05	0,30	0,43	1,28	0,25		
		600	0,10	0,46	0,07	0,04	0,25	0,37	1,61	0,19		
1200		0,10	0,44	0,08	0,04	0,29	0,31	4,59	0,21			
1997		0	0,16	0,60	0,09	0,06	0,36	0,43	1,59	0,58		
		150	0,15	0,72	0,10	0,05	0,29	0,49	2,51	0,77		
		300	0,14	0,57	0,08	0,06	0,35	0,54	1,98	1,42		
		600	0,13	0,56	0,09	0,05	0,32	0,48	4,03	0,72		
1200		0,14	0,54	0,08	0,05	0,28	0,51	1,66	0,31			
Hastrup Skov		1993		0,11	0,28	0,08	0,04	0,36	1,18	0,38	0,43	
			1994	0	0,10	0,30	0,10	0,05	0,34	0,58	0,54	0,87
				300	0,10	0,35	0,10	0,05	0,36	0,62	0,57	0,98
				600	0,09	0,31	0,09	0,04	0,28	0,46	0,50	0,90
		1200	0,09	0,30	0,09	0,05	0,31	0,46	1,04	0,84		
	1995	0	0,11	0,39	0,08	0,05	0,26	0,76	0,39	1,31		
		300	0,09	0,35	0,08	0,05	0,27	0,71	0,41	1,29		
		600	0,10	0,41	0,09	0,05	0,28	1,57	0,48	1,50		
		1200	0,09	0,39	0,08	0,06	0,24	0,90	0,84	1,28		
	1996	0	0,12	0,33	0,08	0,05	0,41	0,38	0,55	0,62		
		150	0,10	0,31	0,08	0,06	0,45	0,34	0,64	0,75		
		300	0,10	0,30	0,07	0,06	0,42	0,30	0,57	0,66		
		600	0,09	0,29	0,08	0,06	0,39	0,28	0,73	0,67		
	1200	0,09	0,32	0,07	0,05	0,37	0,28	1,46	0,55			
	1997	0	0,13	0,44	0,08	0,08	0,52	0,41	0,60	0,99		
		150	0,11	0,39	0,08	0,08	0,44	0,46	0,60	1,16		
		300	0,10	0,41	0,08	0,07	0,43	0,47	0,80	0,93		
		600	0,09	0,36	0,08	0,05	0,34	0,38	1,10	0,82		
	1200	0,09	0,47	0,08	0,06	0,33	0,36	3,36	0,78			
	1998	0	0,19	0,66	0,12	0,08	0,47	0,53	0,95	0,38		
		150	0,15	0,57	0,11	0,07	0,46	0,46	1,02	0,31		
		300	0,14	0,54	0,09	0,05	0,34	0,48	1,35	0,25		
		600	0,13	0,59	0,09	0,04	0,31	0,53	3,12	0,31		
	1200	0,14	0,61	0,09	0,05	0,29	0,49	5,67	0,22			
Paludans Planteskole	1993		0,12	0,38	0,08	0,04	0,42	11,56	0,38	0,62		
		1994	0	0,14	0,40	0,14	0,05	0,36	0,53	0,31	0,49	
			300	0,11	0,34	0,12	0,05	0,32	0,59	0,22	0,58	
			600	0,11	0,31	0,11	0,04	0,31	0,52	0,21	0,46	
	1200	0,08	0,25	0,09	0,05	0,44	0,45	0,21	0,59			
	1995	0	0,12	0,40	0,08	0,05	0,31	0,54	0,32	0,44		
		300	0,10	0,37	0,08	0,04	0,25	0,42	0,21	0,57		
		600	0,09	0,33	0,08	0,05	0,28	0,47	0,18	0,38		
		1200	0,08	0,34	0,07	0,05	0,28	0,34	0,20	0,46		
	1996	0	0,16	0,52	0,09	0,07	0,44	0,57	0,47	0,55		
		300	0,11	0,35	0,07	0,05	0,30	0,32	0,19	0,33		
		600	0,11	0,35	0,07	0,06	0,31	0,33	0,19	0,27		
		1200	0,09	0,27	0,07	0,05	0,39	0,24	0,21	0,27		
	1997	0	0,21	1,01	0,11	0,09	0,52	0,65	0,60	0,45		
		300	0,12	0,48	0,08	0,06	0,31	0,41	0,19	0,59		
		600	0,09	0,44	0,08	0,05	0,25	0,30	0,17	0,67		
		1200	0,09	0,36	0,07	0,05	0,30	0,30	0,22	0,65		
	McEvoy, 1992			>0,10	>0,35	>0,09	>0,06	>0,05	>0,7	>0,4	>0,003	

#### *Jern (Fe):*

Fe er et mikronæringsstof. Optagelsen af Fe er lille og afhænger meget af jordens pH og iltforhold. Fe er især knyttet til reguleringen af cellernes iltningforhold pga. stoffets mange iltningstrin. Fe flyttes kun vanskeligt rundt mellem forskellige plantedele. Mangel på Fe kan forårsage gullige til gulgrønne nåle og kan ikke uden nåleanalyser adskilles fra mangel på Mn. Fe's ringe mobilitet betyder, at symptomerne viser sig på årsnålene.

Fe-koncentrationen i nålene falder svagt gennem forsøgsperioden. Rye Nørskov og Paludans Planteskole har gennemgående de laveste koncentrationer af Fe med undtagelse af den meget høje og uforklarlige koncentration i 1993 på Paludans Planteskole (tabel 4.9, side 48). Både koncentrationerne af Fe og forholdet mellem Fe og N er gennemgående lavt, hvilket antyder en generel mangel på Fe i B-serien. Tilgængeligheden af Fe styres bl.a. af jordens pH, som på alle lokaliteter er så høj, at tilgængeligheden af Fe må antages at være vækstbegrænsende i et vist omfang.

#### *Mangan (Mn):*

Mn er også et mikronæringsstof. Optagelsen udgør ofte under 1% af f.eks. K-optagelsen, men koncentrationen i nålene varierer meget. Koncentrationen afhænger af jordbundsforholdene, hvor et for højt pH mindsker tilgængeligheden af Mn. Mn's rolle i planterne er endnu ikke fuldt forstået, men Mn spiller en vigtig rolle for mange proteiners struktur og over afgørende indflydelse på reguleringen af iltningforholdene i fotosyntesen. Visuelt kan symptomerne på Mn-mangel og Fe-mangel ikke skelnes. Kun nåleanalyser kan afgøre mangeltypen. På træer med en ensidig beskygning vil gulfarvningen ved Mn-mangel være størst på de lyseksponterede nåle.

Mn-koncentrationerne i nålene stiger ganske svagt gennem forsøgsperioden, og afspejler også de tilførte mængder NPK-gødning, måske fordi den anvendte NPK-gødning virker svagt forsurende og dermed mobiliserende på Mn eller pga. et vist (ca. 0,05 %) indhold i gødningen. Salten Langsø skiller sig generelt ud med højere Mn-koncentrationer igennem hele forsøgsperioden. Især i forsøgsåret 1998, og særligt i de stærkt gødskede behandlinger, vokser Mn-koncentrationen meget drastisk i Hastrup Skov. Den meget lave Mn-koncentration i nålene på Rye Nørskov, der ellers har et forholdsvist lavt pH i jorden, kan muligvis skyldes et stort indhold af organisk stof i jorden, som kan binde Mn meget stærkt. Lokaliteten er endvidere tilført slam, som måske også har bundet en del Mn. Det ekstremt høje pH på Paludans Planteskole er her den sandsynligste årsag til træernes lave Mn-koncentration i nålene.

Forholdet mellem Mn og N indikerer en stærk relativ mangel på Mn på forsøgslokaliteten på Paludans Planteskole, men også Rye Nørskov har lave relative værdier. Derimod er forholdet langt over den nedre optimale grænse i både Hastrup Skov og på Salten Langsø.

#### *Natrium:*

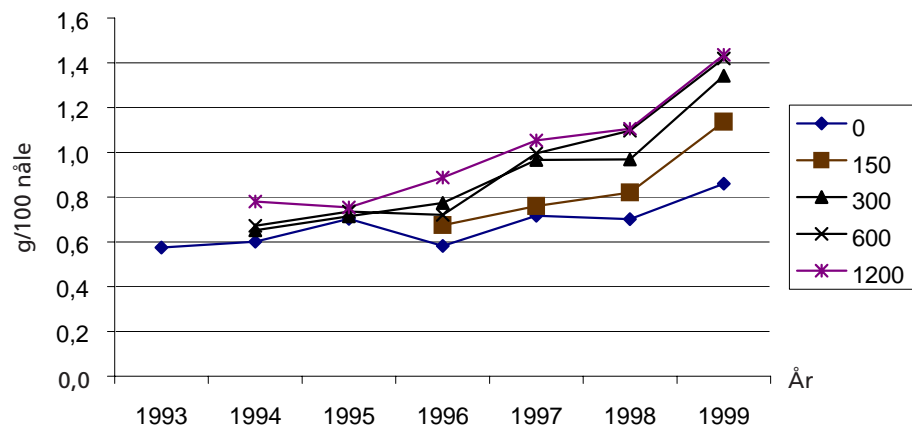
Na regnes almindeligvis ikke som et næringsstof, men er medtaget pga. stoffets store skadelige virkning ved for høje koncentrationer. Na indgår som en



plantegiftig komponent i vejsalt, og netop nærheden til større vejanlæg kan påvirke nålenes Na-koncentration. Således har Hastrup Skov (lige øst for E47/E55) ikke overraskende det højeste indhold af Na, mens Salten Langsø har det laveste.

#### 100-nålevægt:

De højeste nålevægte findes på Rye Nørskov og Salten Langsø og de mindste i Hastrup Skov og på Paludans Planteskole. Der er en tendens til, at 100-nålevægten vokser med plantealderen. Dette er især tydeligt i Hastrup Skov (figur 4.22) og delvist Salten Langsø (tabel 4.9, side 48), hvor 100-nålevægten stiger støt igennem hele forsøgsperioden. På Paludans Planteskole og Rye Nørskov er tendensen ikke så tydelig. Nålevægten påvirkes også tydeligt af gødningsdoseringerne. Påvirkningen er mest markant i Hastrup Skov, hvor der i 1998 ved behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7 opnåedes en forøgelse på 15% set i forhold til behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7. I 1997 falder 100-nålevægten derimod på *alle* lokaliteter, når doseringen øges fra 300 til 1200 kg NPK 23-3-7. I 1997 topper 100-nålevægten på Rye Nørskov ved en dosering på 300 kg NPK 23-3-7. På Salten Langsø og Paludans Planteskole nås den største nålevægt i behandlingen med 600 kg, mens nålevægten i Hastrup Skov først topper ved en dosering på 1200 kg NPK 23-3-7. Dette tyder på, at det generelt er vanskeligere at opnå større nåle på næringsrige lokaliteter sammenlignet med næringsfattige, og at der alt andet lige kræves en større gødningsdosering end på næringsfattige lokaliteter. Hypotesen lader sig dog ikke umiddelbart forklare vha. nålelængderne (figur 4.5, side 25) i alle år, antageligt fordi nedbøren her også spiller en afgørende rolle.



Figur 4.22. 100-nålevægt fordelt på år og behandlinger for Hastrup Skov.

#### 4.3.2 Effekt af gødningsformulering og gødningstidspunkt efter 4 år

Ved projektets afslutning i efteråret 1997 blev der indsamlet nåleprøver fra et større udvalg af de gennemførte behandlinger (tabel 4.11). En angivelse af næringsstofkoncentrationer fordelt til lokalitet, dosering og gødningstype fremgår af bilag 6a.

Tabel 4.11 Koncentration af N, P, K, S, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn og Na samt 100-nålevægt fordelt på serie, dosering og behandling i efteråret 1997. Nederst er angivet referenceværdier for nordmannsgran.

Serie B/C	N-dosering kg N/ha/år	Type NPK (tidspunkt)	N %	P %	K %	S %	Mg %	Ca %	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Na mg/kg	nålevægt g/100 nåle
B	0	kontrol	1,15	0,17	0,76	0,11	0,08	0,48	50	89	20	86	0,77
B	35	23-3-7-forår	1,33	0,17	0,74	0,12	0,09	0,49	63	208	35	128	0,86
B	69	14-3-18-forår	1,47	0,16	0,80	0,13	0,09	0,55	70	172	28	28	0,89
B	69	23-3-7-forår	1,49	0,16	0,70	0,12	0,09	0,53	66	124	24	90	0,02
B	69	23-3-7-sommer	1,46	0,16	0,69			0,52		1			0,89
B	69	Ren N <sup>1</sup> -forår	1,42	0,16	0,57	0,12	0,08	0,54	72	152	28	32	1,04
B	138	14-3-18-forår	1,68	0,16	0,77	0,14	0,08	0,55	65	222	31	30	0,97
B	138	23-3-7-forår	1,65	0,15	0,64	0,13	0,08	0,56	64	173	24	36	1,07
B	138	23-3-7-split	1,60	0,16	0,73	0,13	0,08	0,50	60	226	23	109	1,14
B	207	23-3-7-forår	1,71	0,15	0,76			0,59		4			0,87
B	276	23-3-7-forår	1,73	0,17	0,81	0,14	0,09	0,51	66	265	22	97	1,11
C	0	kontrol	1,25	0,17	0,67	0,10	0,07	0,37	55	157	27	39	0,89
C	51	23-3-7-farve	1,59	0,16	0,61	0,13	0,09	0,46	5	255	29	31	0,99
C	51	27-0-0-farve	1,43	0,16	0,65	0,11	0,07	0,37	51	142	24	34	1,07
C	69	23-3-7-forår	1,49	0,16	0,67	0,12	0,08	0,39	77	204	26	31	1,04
C	69	Ren N <sup>1</sup> -forår	1,47	0,15	0,58	0,11	0,08	0,41	60	220	34	31	1,08
C	104	16-3-8-forår	1,61	0,16	0,75	0,12	0,07	0,38	63	196	28	30	1,08
C	104	19-2-4-forår	1,52	0,16	0,61	0,12	0,07	0,38	79	332	26	26	0,91
C	104	23-3-7-forår	1,67	0,15	0,67	0,13	0,07	0,40	59	337	26	35	1,04
C	104	25-2-9-forår	1,73	0,16	0,69	0,13	0,07	0,39	64	462	27	28	0,94
Ravnsbæk 1989abc			1,6-2,0	0,16-0,22	0,5-0,9			0,06-0,11	0,1-0,9	45-200	50-2500	15-50	

<sup>1</sup> Behandlingerne med ren N omfatter både svovlsurammoniak (NS 21-24) og kalkammonsalpeter (N 27).

Forskelle i nålenes N-koncentration svarer generelt til den tilførte dosering i gødningen. Den generelt høje N-koncentration i farvegødsknings-behandlingerne i C-serien skyldes formodentlig den sene udbringning i august, hvor træerne når at optage meget N, men ikke når efterfølgende at opbygge tilsvarende kulstofmængder/nålemasse kombineret med en ringe retranslokation væk fra årsnålene. Den høje koncentration forklarer også den hurtige farvevirkning allerede det første udbringningsår. Når denne koncentration af N ikke resulterer i en stærkt forøget vækst må det skyldes, at den optagne mængde N ikke umiddelbart er til rådighed i træets maksimale skudstrækningsperiode i juni/juli året efter udbringningen. For forårsbehandlingerne synes et højt N indhold i gødningen (sammenlignet med de øvrige næringsstoffer) at resultere i høje N koncentrationer i nålene.

P-koncentrationen udviser ingen nævneværdige forskelle mellem behandlingerne efter fire år.

Med samme N-dosering er det muligt af øge koncentrationen af K ved at gå fra NPK 23-3-7 til NPK 14-3-18 (B-serien). Også splitgødning synes at kunne øge nålenens K-status. I C-serien har den organiske gødning NPK 16-3-8 givet den største K koncentration.

For S og Mg kan der ikke spores betydende behandlingsforskelle, ligesom forskellene i koncentrationerne af Ca er begrænsede. I behandlingerne med ren N, gav kalkammonsalpeter ikke overraskende en højere-Ca koncentration i nålene end svovlsurammoniak (resultater ej vist).

Blandt mikronæringsstofferne viste kun Mn tendens til behandlingsforskelle, idet koncentrationen af Mn i nålene afspejler de tilførte mængder gød-

Tabel 4.12 Forholdet mellem N og P, K, S, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, B og fordelt på serie, dosering og behandling i efteråret 1997. Nederst er vist en generel reference for næringsstofforhold i juletræer.

Serie	N-dosering	Type	P/N	K/N	S/N	Mg/N	Ca/N	Fe/N	Mn/N	Zn/N	Na/N
B/C	kg N/ha/år	NPK (tidspunkt)	%/%	%/%	%/%	%/%	%/%	%/%*100	%/%*100	%/%*100	%/%*100
B	0	kontrol	0,15	0,69	0,09	0,07	0,42	0,45	0,79	0,18	0,72
B	35	23-3-7-forår	0,13	0,57	0,09	0,06	0,37	0,48	1,56	0,18	0,96
B	69	14-3-18-forår	0,11	0,54	0,09	0,06	0,37	0,48	1,15	0,19	0,19
B	69	23-3-7-forår	0,11	0,47	0,08	0,06	0,36	0,44	0,82	0,16	0,61
B	69	23-3-7-sommer	0,11	0,47		0,06	0,35		0,93		
B	69	Ren N <sup>1</sup> -forår	0,11	0,40	0,09	0,06	0,38	0,50	1,07	0,20	0,22
B	138	14-3-18-forår	0,10	0,46	0,08	0,04	0,33	0,39	1,33	0,19	0,17
B	138	23-3-7-forår	0,09	0,39	0,08	0,05	0,34	0,39	1,06	0,14	0,21
B	138	23-3-7-split	0,10	0,46	0,08	0,05	0,31	0,37	1,45	0,14	0,68
B	207	23-3-7-forår	0,09	0,44		0,05	0,35		1,67		
B	276	23-3-7-forår	0,10	0,46	0,08	0,05	0,30	0,38	1,50	0,13	0,56
C	0	kontrol	0,14	0,53	0,08	0,06	0,31	0,47	1,37	0,20	0,33
C	51	23-3-7-farve	0,10	0,38	0,08	0,05	0,29	0,32	1,62	0,18	0,19
C	51	27-0-0-farve	0,11	0,45	0,08	0,05	0,27	0,36	1,07	0,16	0,24
C	69	23-3-7-forår	0,11	0,44	0,08	0,05	0,26	0,52	1,41	0,18	0,21
C	69	Ren N <sup>1</sup> -forår	0,10	0,39	0,08	0,06	0,28	0,41	1,56	0,23	0,22
C	104	16-3-8-forår	0,10	0,46	0,08	0,05	0,24	0,39	1,23	0,17	0,18
C	104	19-2-4-forår	0,10	0,39	0,08	0,05	0,25	0,52	2,24	0,17	0,17
C	104	23-3-7-forår	0,09	0,40	0,08	0,04	0,24	0,35	1,97	0,15	0,21
C	104	25-2-9-forår	0,09	0,40	0,07	0,04	0,22	0,37	2,62	0,16	0,16
McEvoy, 1992			>0,10	>0,35	>0,09	>0,06	>0,05	>0,7	>0,4	>0,03	>0,003

<sup>1</sup> Behandlingerne med ren N omfatter både svovlsurammoniak (NS 21-24) og kalkkammonsalpeter (N 27).

ning. Eneste undtagelse for sammenhængen mellem forøget dosering og højere Mn-koncentrationen i nålene synes at være NPK 16-3-8, som netop pga. den organiske oprindelse (hønsesøg) ikke har samme forurende virkning som NPK gødning.

Nålevægten af 100 tørrede nåle udviste en god sammenhæng med den tilførte mængde N. Størst vægt opnås med ren N (kun udbragt i en dosering svarende til 69 kg N/ha/år). Dette forekommer overraskende, idet N-koncentrationen i disse behandlinger ofte er blandt de laveste i gruppen med 69 kg N/ha/år. Resultatet svarer til lignende observationer i kulturgødskede nordmannsgranplanter (Christensen, 1998), hvor nålelængden også var størst ved ren N-gødskning. For de øvrige behandlinger synes både NPK 16-3-8 (104 kg N/ha/år) og splitbehandlingen med NPK 23-3-7 (138 kg N/ha/år) at give en større 100-nålevægt - måske netop pga. disse behandlings mere længerevarende næringsstoffrigivelse.

Forholdne mellem N og de øvrige næringsstoffer (tabel 4.12) viser lave værdier for K/N-, S/N-, Mg/N- og Fe/N forholdene. Dette svarer til de allerede nævnte forhold. Der findes lokalitetsvise resultater i bilag 6b.

Gennemgangen af de kemiske analyser afdækker et karakteristisk fald i nålenes koncentration af N i takt med en stigende plantealder, og kun ved den største dosering er det muligt at sikre en N-koncentration i nålene, som ligger indenfor det opgivne optimumområde. Gennemgangen viser også, at der særligt i træernes første år, når N-koncentrationen er høj, kan opstå relative mangeltilstande af særligt Mg og K, men også mikronæringsstofferne Mn og Fe. Farvegødskning forbedrer tilsyneladende nålenens N-koncentra-

tion uden effekt på nålestørrelsen. Med samme N-dosering ændres nålenes koncentrationen af N sig ikke med gødningsformuleringen. Træernes K-koncentration kan forbedres markant ved overgang fra NPK 23-3-7 til NPK 14-3-18.

### 4.3.3 Sammenhæng mellem kvalitetsparametre

Sammenhængen mellem juletræskvaliteten og koncentrationen af nåleindholdsstoffer er undersøgt på de 4 lokaliteter med økosystemundersøgelser. Resultaterne viser, at målte vækstparametre (topskudslængde, sideskudslængde, 100-nålevægt, nålefarve, stammediameteren målt mellem grenkransene sat i 1993 og 1994 og træets højde) ofte er indbyrdes tæt korreleret, men sammenhængen afhænger af lokalitet og år. Ligeledes er koncentrationen af de fleste stoffer i nålene også ofte tæt korreleret både indbyrdes og med kvalitetsparametrene. I nedenstående afsnit belyses disse sammenhænge i relation til topskudsvækst og træhøjde samt 100-nålevægt og nålefarve.

#### *Topskudsvækst og træhøjde*

Der er indenfor alle år og alle lokaliteter en tæt sammenhæng mellem top-skudets vækst og træets højde, som ikke ændres afgørende indenfor de enkelte behandlinger. Sammenhængen kan beskrives med modellen:

$$\text{Topskudsvækst (cm)} = 3,6 + 0,22 \times \text{træhøjde}, R^2=77,5\%,$$

hvor  $R^2$  er den andel (%) af variationen i topskudsvæksten, som modellen forklarer.

Topskudsvæksten er også tæt korreleret med sideskuddets længde i øverste grenkrans og kan på lignende vis forklares ud fra følgende sammenhæng:

$$\text{Topskudsvækst (cm)} = -12 + 2,02 \times \text{sideskudslængde}, R^2=77,0\%.$$

Sammenhængen mellem træernes diameter mellem 1993 og 1994 grenkransene og deres højdevækst kan ikke beskrives tilfredsstillende for alle lokaliteter på en gang, men hverken behandlinger eller de enkelte år har betydning for sammenhængen:

Rye Nørskov: Træhøjde (cm) =  $70 + 5,0 \times \text{grundfladen}$ ,  $R^2=79,9\%$ ,  
Saltan Langsø: Træhøjde (cm) =  $89 + 4,0 \times \text{grundfladen}$ ,  $R^2=80,7\%$ ,  
Hastrup Skov: Træhøjde (cm) =  $56 + 3,8 \times \text{grundfladen}$ ,  $R^2=90,4\%$ ,  
Paludans Planteskole: Træhøjde (cm) =  $31 + 4,7 \times \text{grundfladen}$ ,  $R^2=85,4\%$ .

På den enkelte lokalitet er der således en nøje og meget tæt sammenhæng mellem træhøjden og grundfladen. De reelle tal viser, at træerne på de næringsfattige lokaliteter, Rye Nørskov og Saltan Langsø, allokere mere af deres vækstkraft til højdevækst i forhold til diameter tilvækst end træerne på de næringsrige lokaliteter. Dette er helt i overensstemmelse med den generelle opfattelse, at træer på næringsrige lokaliteter har en langsommere start eller en længere stagnationsperiode efter udplantning.

### Nålevægt og nålefarve

100-nålevægten er knyttet til træernes vækst, men andre forhold medvirker også til nålevægtens variation. 100-nålevægten kan for samtlige lokaliteter og samtlige forsøgsår bedst beskrives, som en funktion af sideskudets- og top-skudets længde :

$$100\text{-nålevægt (g)} = 0,46 + 0,01 \times \text{skudlængden} + 0,006 \times \text{topskudslængden}, R^2=40,2\%.$$

Nålefarven er på 3 ud af 4 lokaliteter også korreleret til trævæksten og udviser en positiv sammenhæng med såvel træhøjde, topskudets længde som sideskudets længde, men relationen afviger fra lokalitet til lokalitet, bl.a. som følge af farvevurderingsmetoden:

Rye Nørskov: Ingen sammenhæng  
 Salten Langsø: Nålefarve =  $1,4 + 0,10 \times \text{sideskudslængde}$ ,  $R^2=33,9\%$ ,  
 Hastrup Skov: Nålefarve =  $0,7 + 0,15 \times \text{sideskudslængde}$ ,  $R^2=43,6\%$ ,  
 Paludans Planteskole: Nålefarve =  $2,2 + 0,09 \times \text{sideskudslængde}$ ,  $R^2=16,2\%$ .

### 4.3.4 Sammenhæng mellem kvalitetsmål og nålekemi

Det fremgår af korrelationskoefficienterne i tabel 4.13, at de fleste kvalitetsmål udviser en stærk indbyrdes kobling, og at koncentrationerne af N, P, K, S, Mn og Fe i nålene udviser en sikker positiv sammenhæng med samtlige kvalitetsmål. Med hensyn til kvalitetsmålene er det navnlig nålefarven, der udviser den dårligste kobling til de øvrige kvalitetsmål, mens diameter, træ-

Tr.-h = Træhøjde  
 To.-h = Topskudslængde  
 Si.-L = Sideskudslængde  
 Dia = trædiameter  
 T.-skud = Sideknopper  
 N.-vgt. = 100-nålevægt

Tabel 4.13. Korrelationsmatrice for diverse kvalitetsparametre og nåleindholdsstoffer gældende for B-seriens 4 lokaliteter i 1997. Værdier fremhævet med fed skrift er statistisk signifikante ( $P=0,01$ ). Antal analyser = 153. En perfekt positiv sammenhæng mellem to parametre giver en værdi på 1. En perfekt negativ sammenhæng mellem to parametre giver en værdi på -1. Ingen sammenhæng repræsenteres af værdier tæt på 0.

	Tr.-h	To.-h	Si.-L.	Dia	T.-skud	N.-vgt.	Farve	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Zn	Na
Tr.-h		<b>,86</b>	<b>,83</b>	<b>,85</b>	<b>,42</b>	<b>,48</b>	<b>,31</b>	<b>,33</b>	<b>,64</b>	<b>,56</b>	,00	,06	<b>,41</b>	<b>,44</b>	<b>,55</b>	<b>,67</b>	,12
To.-h	<b>,86</b>		<b>,83</b>	<b>,75</b>	<b>,52</b>	<b>,55</b>	<b>,40</b>	<b>,43</b>	<b>,55</b>	<b>,59</b>	-,07	-,04	<b>,46</b>	<b>35</b>	<b>,45</b>	<b>,54</b>	,13
Si.-L.	<b>,83</b>	<b>,83</b>		<b>,75</b>	<b>,44</b>	<b>,51</b>	<b>,46</b>	<b>,39</b>	<b>,49</b>	<b>,56</b>	-,12	-,06	<b>,41</b>	<b>,55</b>	<b>,46</b>	<b>,55</b>	,11
Dia	<b>,85</b>	<b>,75</b>	<b>,75</b>		<b>,48</b>	<b>,38</b>	<b>,39</b>	<b>,36</b>	<b>,58</b>	<b>,46</b>	,05	-,08	<b>,43</b>	<b>,49</b>	<b>,58</b>	<b>,62</b>	,18
T.-skud	<b>,42</b>	<b>,52</b>	<b>,44</b>	<b>,48</b>		,19	<b>,26</b>	<b>,20</b>	<b>,39</b>	<b>,31</b>	,01	,05	,15	,12	,16	<b>,31</b>	-,02
N.-vgt.	<b>,48</b>	<b>,55</b>	<b>,51</b>	<b>,38</b>	,19		<b>,42</b>	<b>,54</b>	<b>,23</b>	<b>,35</b>	-,05	-,08	<b>,42</b>	<b>,20</b>	<b>,27</b>	<b>,35</b>	,16
Farve	<b>,31</b>	<b>,40</b>	<b>,46</b>	<b>,39</b>	<b>,26</b>	<b>,42</b>		<b>,77</b>	<b>,28</b>	<b>,26</b>	,00	-,02	<b>,54</b>	<b>,33</b>	<b>,48</b>	<b>,28</b>	,00
N	<b>,33</b>	<b>,43</b>	<b>,39</b>	<b>,36</b>	<b>,20</b>	<b>,54</b>	<b>,77</b>		,19	<b>,24</b>	<b>,23</b>	,11	<b>,82</b>	<b>,24</b>	<b>,36</b>	<b>,28</b>	,13
P	<b>,63</b>	<b>,55</b>	<b>,49</b>	<b>,58</b>	<b>,39</b>	<b>,23</b>	<b>,28</b>	,19		<b>,60</b>	-,05	,02	<b>,36</b>	<b>,36</b>	<b>,36</b>	<b>,62</b>	-,04
K	<b>,55</b>	<b>,59</b>	<b>,56</b>	<b>,46</b>	<b>,31</b>	<b>,35</b>	<b>,26</b>	<b>,24</b>	<b>,60</b>		-,13	-,01	<b>,53</b>	<b>,43</b>	<b>,42</b>	<b>,48</b>	-,08
Ca	,00	-,07	-,12	,05	,01	-,05	,00	<b>,23</b>	-,05	-,13		<b>,73</b>	,19	,13	,01	<b>,35</b>	,14
Mg	,06	-,03	-,06	,08	,05	-,08	-,02	,11	,02	-,01	<b>,73</b>		,10	,11	,09	<b>,37</b>	,15
S	<b>,41</b>	<b>,46</b>	<b>,41</b>	<b>,43</b>	,15	<b>,41</b>	<b>,54</b>	<b>,82</b>	<b>,36</b>	<b>,53</b>	,19	,10		<b>,45</b>	<b>,36</b>	<b>,50</b>	,10
Mn	<b>,44</b>	<b>,35</b>	<b>,55</b>	<b>,49</b>	,12	<b>,20</b>	<b>,33</b>	<b>,24</b>	<b>,36</b>	<b>,43</b>	,13	,11	,45		<b>,50</b>	<b>,66</b>	,07
Fe	<b>,55</b>	<b>,45</b>	<b>,46</b>	<b>,58</b>	,16	<b>,27</b>	<b>,48</b>	<b>,36</b>	<b>,36</b>	<b>,42</b>	,01	,09	,36	,50		<b>,49</b>	<b>,38</b>
Zn	<b>,67</b>	<b>,54</b>	<b>,55</b>	<b>,62</b>	<b>,31</b>	<b>,35</b>	<b>,28</b>	<b>,28</b>	<b>,62</b>	<b>,48</b>	<b>,35</b>	<b>,37</b>	<b>,50</b>	<b>,66</b>	<b>,49</b>		,03
Na	,12	,13	,11	,18	-,02	,16	,00	,13	-,04	-,08	,14	,15	,10	,07	<b>,38</b>	,03	

højde og topskudslængde er meget tæt indbyrdes koblet, men også koblet med nålestørrelsen (vægten) og antallet af knopper på topskuddet. Dette betyder typisk, at træer med en stor højde har et langt topskud, et langt sideskud, en tyk stamme, mange grenkransknopper på topskuddet, lange og ”tunge” nåle på årsskudet og en god grøn farve.

N er tæt korreleret med S, formodentlig fordi optagelsen og anvendelsen af disse stoffer minder meget om hinanden. P er stærkt korreleret med K til trods for, at P kan hæmme optagelsen af K.

K er godt korreleret til Mn og Fe. Årsagen kan skyldes synergi mellem K- og Mn- samt Fe-optagelsen. K er også tæt koblet til S. Når Mn og Fe er så godt korreleret, skyldes det formodentlig, at tilgængeligheden af begge mikronæringsstoffer er stærkt styret af jordenes pH og ensartede optagelsesmekanismer.

Ca og Mg er stærkt indbyrdes korreleret. Derimod er stofferne praktisk taget ikke eller kun svagt korreleret med andre næringsstoffer. Dette skyldes, at stofferne kemisk set minder om hinanden, og at de transporteres ens i planten. Begge stoffer transporteres let med xylemstrømmen fra rødder til nåle, men de retranslokteres kun meget vanskeligt fra f.eks. årsnåle til ældre nåle.

Zn er overraskende stærkt korreleret til de fleste næringsstoffer. Stoffet ligner lidt Ca og Mg og optages på samme måde. Dette er måske forklaringen til den lave, men sikre korrelation til Ca og Mg. P har en markant antagonisk virkning på optagelsen af Zn, men den lave koncentration af P i nålene på alle lokaliteterne tyder på, at tilgængeligheden af P er lille. Måske er dette årsagen til, at P faktisk er stærkt positivt korreleret med Zn. Mangel på Zn fører til forkortelse af topskuddet og formindsket bladstørrelse. Den positive sammenhæng mellem Zn og alle kvalitetsparametrene antyder, at Zn ikke er begrænsende.

Den tætte kobling mellem N og nålefarven afspejles i, at N er det næringsstof, der er klart bedst korreleret med farven. Dertil kommer, at N tilsyneladende også er det næringsstof, der påvirker 100-nålevægten mest. Foruden N er Fe også stærkt korreleret med farven, hvilket formodentlig også dækker over at Fe reelt har stor betydning for farveudviklingen, ikke mindst på jorde med højt pH, hvor tilgængeligheden må antages at være lav. Når S også er godt korreleret til farven, skyldes dette ikke at S direkte påvirker farven i nogen af kulturerne, men snarere den tidligere omtalte kobling til N.

P, K, Zn og Mn er bedst korreleret med de deciderede vækstvariable; træhøjde, topskudslængde, antal grenkransknopper, sideskudslængde og stammediameter. P-mangel er bl.a. kendt for at give nålene en svagt blågrøn farve eventuelt med brunfarvning af bladrandene, men P-mangel kan også føre til et dårligt udviklet rodsystem og ringe knopsætning. P er det næringsstof, der er bedst korreleret med antal knopper på topskudet. K's påvirkning af nålefarven er velkendt.



Den tætte sammenhæng mellem nålekoncentrationerne og vækstparametre har gjort det muligt at udvikle lokalitetsspecifikke modeller for individuelle vækstår, der tilfredsstillende beskriver nordmannsgranens vækst. Nedenfor er angivet de bedste statistiske modeller for topskudsvækst i 1997:

Rye Nørskov:	$\text{Topskudslængde}_{97} = 0,18 \times \text{Træhøjde}_{96} + 167 \times P - 11$ $R^2 = 72,2\%$ ,
Salten Langsø:	$\text{Topskudslængde}_{97} = 0,31 \times \text{Træhøjde}_{96} + 8,1 \times N$ $+ 17 \times K - 18$ , $R^2 = 64,9\%$ ,
Hastrup Skov:	$\text{Topskudslængde}_{97} = 0,24 \times \text{Træhøjde}_{96} + 18,3 \times N +$ $19 \times K - 22 \times Ca - 25$ $R^2 = 82,9\%$ ,
Paludans Planteskole:	$\text{Topskudslængde}_{97} = 0,30 \times \text{Træhøjden}_{96} + 12,7 \times N$ $+ 29 \times K + 258 \times Fe - 185 \times P - 20 \times Ca - 14$ , $R^2 = 83,7\%$ ,

hvor topskudslængde<sub>97</sub> og træhøjde<sub>96</sub> er henholdsvis topskudslængden målt ultimo oktober 1997 og træhøjden målt ultimo 1996. I alle modellerne for topskudsvækst i 1997 indgår træhøjde for 1996 for at inddrage det forgangne års vækstpotentiale. De enkelte andre parametre i modellerne er koncentrationen af næringsstoffer målt i % for N, K, Ca og P's vedkommende. Fe derimod indgår i modellerne med koncentrationsangivelser i mg/g. Alle modeller (regressioner) er statistisk set meget sikre. På lignende vis kan der opstilles statistisk sikre modeller for vækstårene 1994, 1995 og 1996 samt for sideskudets længde og diametertilvæksten.

På alle lokaliteter har forrige års træhøjde betydning for årets topskudsvækst, hvilket viser, at træhøjden ved et givent vækstårs begyndelse er et udtryk for forrige års vækstpotentiale. På tre af de fire forsøgslokaliteter indgår koncentrationen af N i nålene ligeledes som en vigtig parameter, når topskudsvæksten skal forklares. N er det vigtigste makronæringsstof og næringsstoffets betydning for vækst i almindelighed genspejles således i regressionsligningerne. Det fremgår af ligningerne, at K også har stor betydning for tophøjden. K optages i meget store mængder af træerne. K transporteres i særlig stort omfang til træets vækstaktive punkter, hvor det bl.a. er med til at regulere vandbalancen og ikke mindst aktivering af adskillige enzymer, der har betydning for træets vækst. På en lokalitet, Paludans Planteskole, påvirker nålenes koncentration af Fe topskudsvæksten positivt, mens den negative påvirkning af nålekoncentrationen af P og Ca muligvis har sin årsag i netop denne lokalitets meget høje koncentration af P og Ca i jordvæsken. På Rye Nørskov kan det kun vises, at P har en sikker virkning på topskudsvæksten.

Bortset fra Rye Nørskov indgår der i de andre vækstår (1994, 1995 og 1996) altid forrige års træhøjde som en vigtig forklarende parameter. Også N indgår altid, mens der er en tendens til, at K får en større betydning med årene.

Der eksisterer også en tæt sammenhæng mellem koncentrationen af næringsstoffer i nålene og nålenes farve. I nedenstående ligninger er angivet, hvorledes nålefarve er knyttet til indholdsstofferne på de enkelte lokaliteter i 1997:

Rye Nørskov:	$\text{Nålefarve} = 3,9 \times \text{N} + 11,0 \times \text{Fe} - 14,0 \times \text{P} - 0,4$	$R^2 = 75,6\%$ ,
Salten Langsø:	$\text{Nålefarve} = 3,3 \times \text{N} + 6,6 \times \text{Fe} - 0,9$	$R^2 = 73,5\%$ ,
Hastrup Skov:	$\text{Nålefarve} = 3,4 \times \text{N} + 27,0 \times \text{Fe} - 1,0 \times \text{Ca} - 4,7$	$R^2 = 85,7\%$ ,
Paludans		
Planteskole:	$\text{Nålefarve} = 2,7 \times \text{N} + 28,0 \times \text{Fe} - 1,7 \times \text{Ca} - 0,3$	$R^2 = 82,9\%$ ,

På alle lokaliteter er det N, der har størst betydning for farveudviklingen, men også Fe indgår som en meget betydende parameter på alle lokaliteter. Fe's betydning er tilsyneladende større på de næringsrige lokaliteter (Hastrup Skov og Paludans Planteskole) med højt lerindhold og højt pH, mens betydningen er noget mindre på de mere næringsfattige lokaliteter med forholdsvis lavt pH (Rye Nørskov og Salten Langsø). På de to næringsrige lokaliteter har Ca en negativ virkning på farven. Årsagen er formodentlig ikke direkte, men snarere at Ca generelt har en antagonistisk virkning på optagelse af de fleste næringsstoffer, og at den afspejler jordens meget høje pH og dermed også den mindre tilgængelighed af en række næringsstoffer, bl.a. Mn, Fe, Bor (B) og P. På Rye Nørskov er der en tydelig negativ virkning af P på farven, hvilket står helt i modsætning til, at P som det eneste næringsstof netop på denne lokalitet har en markant positiv virkning på topskudsvæksten. Muligvis er der en sammenhæng med at lokaliteten, som den eneste før kulturetablering har fået tilført slam (25 tons/ha) svarende til bl.a. 500 kg P/ha eller ca. 50 gange så stor en mængde som den årlige dosis i behandlingen med 300 kg 23-3-7. Imidlertid viser de faktiske koncentrationer, at der ikke er tale om forgiftning.

Bortset fra Ca og Mg synes de fleste næringsstoffer generelt at have positiv virkning på træernes vækst og farve. Især N og K har haft en positiv virkning på træernes topskudsvækst, mens det især er N og Fe, der positivt påvirker nålenes farve. Påvirkningen varierer fra lokalitet til lokalitet og mellem de enkelte år.

## 4.4 Stofkredsløb

Stofkredsløbene er undersøgt for elementerne N, K, P, Ca, Mg, S, Na og Cl. De første 6 elementer udgør nogle af de vigtigste næringsstoffer, der har betydning både for træets vækst, sundhedstilstand og farve. Na og Cl regnes derimod ikke for at være vigtige næringsstoffer. Tværtimod er træernes behov for disse minimal. Na og Cl er dog vigtige kemiske elementer i stofkredsløbs-sammenhæng, idet de tilføres i meget store mængder fra havet. Na reagerer let med jordens partikler (ionbytning) og kan, hvis der er tale om store tilførsler, have afgørende betydning for bl.a. jordvæskens pH samt mængden og forholdet imellem de vigtigste næringsstoffer (Pedersen & Bille-Hansen, 1995).

De væsentligste næringsstofftilførsler til juletræsbevoksninger foregår gennem gødskning, atmosfærisk deposition samt mineralisering af organiske stof og forvitring af jordens mineraler. Bortfjernelsen af stoffer foregår især ved høst af juletræer og gennem udvaskning fra rodzonen. Det jordvand, der siver ud af rodzonen er særdeles vigtig fordi jordvandet rent kvan-

titativt bidrager til selve grundvandsdannelsen, men også fordi det har stor betydning for grundvandets kemiske sammensætning. Nedsivningsvandet fra rodzonen undergår flere kemiske reaktioner mellem rodzonen og de grundvandsførende geologiske lag. Hvor meget det nedsivende jordvand ændres afhænger af den oprindelige kemiske sammensætning, samt af de fysisk/kemisk forhold, der hersker i jordlagene mellem rodzonen og det egentlige grundvand (anon., 1998). Foruden at være en potentiel trussel for miljøet er udvaskningen af næringsalte tilført med gødning også et unødigt økonomisk driftstab.

#### 4.4.1. Tilførsel med atmosfærisk deposition

Fra atmosfæren tilføres der næringsstoffer med nedbøren (våddeposition) og ved afsætning af gasser og partikler (tørdeposition). Tørdepositionen er især stor for nåleskov, der har en stor overflade, der til stadighed filtrerer luften (Pedersen 1995, Pedersen & Beier 1996, Pedersen, Beier & Ingerslev, 1996). I denne undersøgelse er der kun målt ”bulk” – deposition, dvs. tilførslen målt med trakte opstillet på friland, som opfanger dels våddepositionen og dels en mindre andel af tørdepositionen. Derfor må de angivne værdier for den atmosfæriske deposition betragtes som en minimumsflux (tabel 4.14). Tilførslen fra atmosfæren afhænger af det enkelte næringsstof, af lokalitetens beliggenhed, men navnlig af selve nedbørmængderne. Den atmosfæriske deposition er ikke målt i hele perioden, men manglende observationer er estimeret ud fra nedbørmængder.

**pH.** I egne uden luftforurening er det i hovedsagen opløst  $\text{CO}_2$ , der sørger for at nedbørens pH altid er tæt på 5,6. Det noget lavere pH, der er målt på samtlige lokaliteter skyldes i alt overvejende grad tilførte forsurende komponenter. Selvom den målte nedbørs pH generelt er lav, er dette helt uproblematisk for dyrkning af juletræer.

**Kvælstof.** Tilførslen af N fra luften er i gennemsnit tæt på 20 kg/ha/år, men varierer betydeligt imellem de enkelte lokaliteter. Bortset fra Rye Nørskov foregår tilførslen især som  $\text{NH}_4\text{-N}$ . I økosystemer med lav vegetation (Hansen, 1997), er det vist, at tørdepositionen i Danmark er i størrelsesorden op til ca. 30% af våddepositionen, størst for  $\text{NH}_4\text{-N}$ , mindst for  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Typisk tilføres der således totalt set ca. 25 kg N/ha/år i juletræsbevoksninger, mest i ældre bevoksninger og mindst i yngre bevoksninger.

**Fosfor.** Af alle næringsstoffer varierer tilførslen af P mest, fra under 0,2 kg/ha/år til over 6 kg på Paludans Planteskole. På globalt niveau anfører Holtan et al. (1988), at den gennemsnitlige deposition er ca. 0,4 kg/ha/år

Tabel 4.14. Tilførsel af næringsstoffer med nedbøren (kg/ha/år). Gennemsnit for 1994 – 1998.

	pH	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	N-total	$\text{PO}_4\text{-P}$	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
Rye Nørskov	4,1	13,2	9,8	23,0	2,0	7,3	2,4	2,4	10,1	19,6	47,1
Salten Langsø	4,5	4,1	14,5	18,6	<0,2	4,1	3,8	2,9	15,8	16,4	29,9
Hastrup Skov	4,1	4,7	9,5	14,2	< 0,2	2,6	4,0	2,0	8,9	23,3	41,6
Paludans Planteskole	4,8	9,6	11,3	20,9	6,3	7,5	9,2	3,2	16,2	19,5	36,4
Middel	4,4	7,9	11,2	19,2	»2	5,8	4,9	2,6	13,3	19,7	38,8

med et spænd på 0,06 – 1,02 kg/ha/år. Senere undersøgelser i Vogeserne har vist endnu større tilførsler (2,0 kg/ha/år). Hovmand et al. (1993) anfører, at danske depositionsmålinger af P viser, at tilførslen fra atmosfæren ikke overstiger 0,1 kg/ha/år i Danmark. Samtidig anføres dog, at andre målinger indikerer, at depositionen godt kan være op til 5 gange større. På denne baggrund må de atmosfæriske tilførsler på Hastrup Skov og Salten Langsø (> 0,2 kg/ha/år) vurderes at være tæt på den normale tilførsel i Danmark, mens tilførslerne på Paludans Planteskole og Rye Nørskov må vurderes at være ud over det sædvanlige. Det kan ikke udelukkes, at den høje deposition skyldes kontaminering fra fugleklatte, der har ramt prøveopsamlingstragterne, men sandsynligheden herfor er ikke stor.

**Kalium, kalcium og magnesium.** Tilførslen af K svinger mellem ca. 2,5 og 7,5 kg/ha/år. Tilførsler over 5,0 kg/ha/år regnes for høje, mens tilførsler omkring 2,5 kg/ha/år er små. Tilførslen af Ca er lille og varierer mellem ca. 2,5 og 9,5 kg/ha/år. En væsentlig andel kan stamme fra jordstøv (Pedersen & Beier, 1996). Dette er nok årsagen til, at tilførslen er størst på Paludans Planteskole, hvor jorden har et højt indhold af Ca (bilag 1, tabel 4), og hvor der i de tilstødende områder findes mergel helt op til jordens overflade. Tilførslen er mindst på de jyske forsøgslokaliteter, hvor jordbunden også er betydeligt fattigere på Ca. En stor andel af tilførslen af Mg stammer fra havet (Pedersen, Beier & Ingerslev, 1996). Tilførslen af Mg er generelt beskedent og afspejler den store afstand, der er mellem lokaliteterne og det saltholdige Vesterhav. Når tilførslen til Paludans Planteskole er over 1 kg/ha/år større end i Hastrup Skov, skyldes det sandsynligvis en meget kort afstand til Avnø fjord.

**Svovl.** Tilførslen af S med frilandsnedbøren er faldet gennem de sidste årtier (Bille-Hansen et al. In prep.) fra ca. 12 kg SO<sub>4</sub>-S/ha/år i midten af 80'erne til ca. 6 kg SO<sub>4</sub>-S/ha/år. Det viser målingerne fra intensive undersøgte skovlokaliteter. På forsøgslokaliteterne svinger tilførslen mellem 9 og 16 kg/ha/år, hvilket især for Paludans Planteskole og Salten Langsø er væsentligt over normalen.

**Natrium og klorid.** Depositionen af disse kemiske elementer er forholdsvis beskedent og afspejler delvist afstanden til Vesterhavet. Depositionen af disse salte varierer betydeligt fra år til år afhængigt af frekvensen af vestenvindsstørme. Den største tilførsel af Na og Cl sker i Hastrup Skov og skyldes sandsynligvis, at der her også tilføres vejsalt fra den nærliggende motorvej E47/E55 (Pedersen et al. 1996).

Tabel 4.15. Stoftilførsel med gødningen. Alle værdier er angivet i kg/ha/år.

Formulering	Dosering	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl	Fe	Mn
Kontrol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPK 23-3-7	150	33,9	3,9	9,9	4,8	2,4	4,4	0,8	2,6	0,1	0,001
NPK 23-3-7	300	67,8	7,8	19,8	9,6	4,8	8,7	1,5	5,1	0,2	0,015
NPK 23-3-7	600	135,6	15,6	39,6	19,2	9,6	17,4	3,0	10,2	0,5	0,030
NPK 23-3-7	1200	271,2	31,2	79,2	38,4	19,2	34,8	6,0	20,4	1,1	0,060

(Ca=3,2%, Na=0,5%, Cl=1,7%, Fe=0,09%, Mn=0,005%)

#### 4.4.2. Tilførsel med gødning

Næringsstofftilførslen med gødningen (tabel 4.15) er et produkt af doseringen (tabel 2.3) og gødningsformuleringen (bilag 2). Den laveste dosering (150 kg 23-3-7 NPK) svarer for N, P og K's vedkommende til ca. det dobbelte af den atmosfæriske deposition. Tilførslen af Ca og Mg i den lave dosering svarer omtrent til den atmosfæriske tilførsel, mens tilførslen af S først i doseringen med 600 kg 23-3-7 NPK overgår den atmosfæriske tilførsel. Tilførslen af Na og Cl når ikke i nogen af doseringerne op på nær samme størrelse, som den atmosfæriske deposition.

#### 4.4.3 Jordvæskekoncentrationer

Den næringsrige jordbund på lokaliteterne i Hastrup Skov og på Paludans Planteskole afspejles i jordvæskens høje pH samt ledningsevne (tabel 4.16), som er et udtryk for jordvandets samlede ionstyrke. Den noget ringere jordbund på Rye Nørskov og Salten Langsø afspejler sig også særligt tydeligt i jordvandets lavere pH og ledningsevne på kontrolparcellerne. Ledningsevnen stiger markant med stigende gødningsdosering. Selvom ændringen ikke er stor, er der en klar tendens til, at pH i jordvæsken falder med stigende gødningsdosering.

**Fosfor.** Fosfor bindes normalt stærkt til jordens kolloider. Især er jordtyper med et højt indhold af kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) eller Al- og Fe-oxider forbundet med en betydelig tilbageholdelse af P (Frossard et al. 1995). Koncentrationer på under 0,1 mg/l, som i Hastrup Skov og på Salten Langsø, er almindelige selv i forbindelse med større gødningstilførsler. Det er derfor overraskende, at koncentrationen af  $\text{PO}_4\text{-P}$  overstiger 1 mg/l i de gødskede parceller på Paludans Planteskole, og at koncentrationen også vokser tydeligt med gødningsdoseringen. Samme tendens, omend med koncentrationsniveauer lavere end 0,5 mg/l findes på Rye Nørskov. De høje koncentrationer af  $\text{PO}_4\text{-P}$

Tabel 4.16. Jordvæskens kemiske sammensætning for lokaliteter i B-serien. Ledningsevnen er angivet i  $\text{mScm}^{-2}$ , mens alle stofkoncentrationerne er angivet i mg/l. Koncentrationen af  $\text{NH}_4\text{-N}$  er også målt rutinemæssigt, men koncentrationerne har i næsten alle tilfælde været under detektionsgrænsen på 0,1 mg/l.

Lokalitet	Behandling	pH	ledningsevne	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	K	Ca	Mg	$\text{SO}_4\text{-S}$	Na	Cl
Rye Nørskov	Kontrol	6,7	116	1,7	<0,1	3,1	23,2	1,0	5,4	5,3	16,5
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	6,8	176	14,3	0,4	3,9	25,9	1,3	6,4	5,9	18,9
	600	6,6	241	38,2	0,2	4,1	57,4	2,3	8,0	6,2	18,8
	1200	6,3	478	82,8	0,3	4,3	113,1	4,4	17,0	10,1	27,5
Salten Langsø	Kontrol	6,9	101	2,4	<0,1	2,8	4,5	0,9	4,1	3,0	7,5
	150	6,9	161	3,7	0,1	3,2	13,5	1,8	4,5	4,8	9,1
	300	6,8	168	10,7	<0,1	3,5	18,2	2,1	7,0	4,5	9,9
	600	6,8	331	31,2	<0,1	3,6	52,9	4,4	9,0	6,7	10,9
	1200	6,8	677	68,2	<0,1	8,4	122,6	11,5	13,1	8,3	15,8
Hastrup Skov	Kontrol	8,1	411	8,9	<0,1	0,3	77,4	2,7	6,3	6,6	17,9
	150	8,0	402	9,4	<0,1	0,5	68,4	3,5	10,8	7,6	19,3
	300	8,1	547	24,1	<0,1	0,4	97,4	3,4	12,0	7,5	20,2
	600	8,1	646	34,6	<0,1	0,4	117,7	4,1	14,1	9,2	23,4
	1200	8,0	895	75,4	<0,1	0,4	179,8	7,6	24,8	9,0	21,5
Paludans Planteskole	Kontrol	8,2	389	1,4	0,3	5,8	66,3	3,6	6,3	4,7	10,9
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	8,1	523	22,8	1,0	9,7	93,1	4,6	10,9	4,2	14,0
	600	8,0	680	49,5	1,2	10,9	126,2	6,6	15,5	5,7	16,7
	1200	8,0	975	96,6	1,4	15,8	202,3	9,0	23,8	5,8	21,0

P på Rye Nørskov og Paludans Planteskole er sammenfaldende med høje atmosfæriske tilførsler.

**Kalium.** På alle lokaliteter, bortset fra Hastrup Skov, vokser koncentrationen af K med gødningsdoseringsen. Den K-berigede slam (ca. 500 kg K/ha) udbragt på Rye Nørskov slår ikke umiddelbart igennem med forhøjede koncentrationer på denne lokalitet. Heller ikke jordbundsundersøgelserne peger på store udbyttelige mængder K på kolloiderne, så det må skønnes, at den overvejende del af det udbragte KCl hurtigt er blevet udvasket inden udvaskningsundersøgelserne blev igangsat i 1993. Når koncentrationen er omtrent dobbelt så høj på Paludans Planteskole sammenlignet med Rye Nørskov og Salten Langsø, skyldes det med stor sandsynlighed, at gødningsmængderne på de sjællandske lokaliteter opløses i den langt mindre mængde nedbør, der siver gennem jorden kombineret med jordens forholdsvis høje indhold af udbytteligt K (tabel 2.1). De meget lave koncentrationer på Hastrup Skov skyldes derimod, at den meget lerrige jordbund her tilsyneladende er i stand til at fiksere og/eller ionbytte K meget effektivt.

**Magnesium.** På alle lokaliteter vokser koncentrationen af Mg med gødningsdoseringsen. Koncentrationen af Mg i kontrolparcellerne viser, at den laveste koncentration findes på de to midtjyske lokaliteter, helt i overensstemmelse med de jordbundskemiske undersøgelser og de forholdsvis lave atmosfæriske tilførsler.

**Kalcium.** Koncentrationen af Ca vokser også med gødningsdoseringsen. Koncentrationen vokser mest på de midtjyske lokaliteter og mindst på de sjællandske lokaliteter. Dette skyldes, at de sjællandske lokaliteter som udgangspunkt er næringsrige lokaliteter med et højt indhold af Ca. De gennemsnitlige koncentrationer på Hastrup og Paludans Planteskole er meget ens. Derimod afviger koncentrationen på Salten Langsø fra Rye Nørskov ved at være betydeligt lavere.

**Svovl.** De højeste koncentrationer af  $\text{SO}_4\text{-S}$  i jordvæsken findes generelt på de sjællandske lokaliteter. Årsagen skyldes bl.a. den mere koncentrerede jordvæske som følge af mindre nedbør, og på Paludans Planteskole især den meget store tilførsel med nedbøren. Som for de fleste andre næringsstoffer stiger  $\text{SO}_4\text{-S}$ -koncentrationen i takt med gødningsdoseringsen, dog mest på næringsrige sjællandske jordbundstyper.

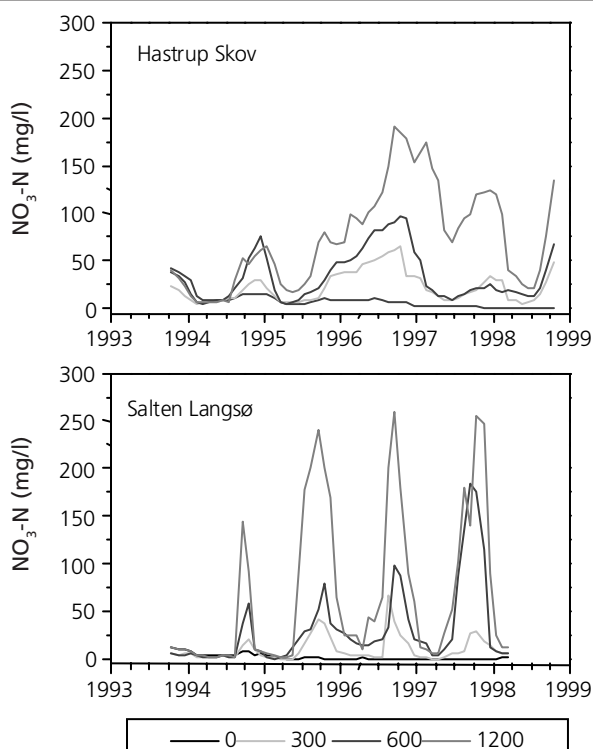
**Natrium og klorid.** Selv for Na og Cl's vedkommende er der en tendens til stigende koncentrationer med stigende gødningsdoseringsen. Årsagen skyldes, at gødningen indeholder både Na og Cl, selvom indholdet er lavt. I Hastrup Skov ses dog ikke nogen tydelig sammenhæng imellem gødningsdoseringsen og koncentrationen af Na og Cl i jordvæsken. Kulturen tilføres betydelige mængder vejsalt, der hovedsageligt består af Na og Cl, fra en nærtliggende motorvej, og det er formodentlig dette, der ødelægger sammenhængen. Koncentrationerne er dog generelt også de største på denne lokalitet. Niveaumæssigt ligger koncentrationen af Cl på Rye Nørskov noget højere end på Salten Langsø. Dette er i overensstemmelse med den atmosfæriske tilførsel. Det er vist i vejsaltsundersøgelser (Pedersen et al., 2000), at Cl ikke



udvaskes så hurtigt som hidtil antaget. Da koncentrationen af Na ikke er forøget tilsvarende, kan den store tilførsel af KCl måske også have haft en effekt på Rye Nørskov.

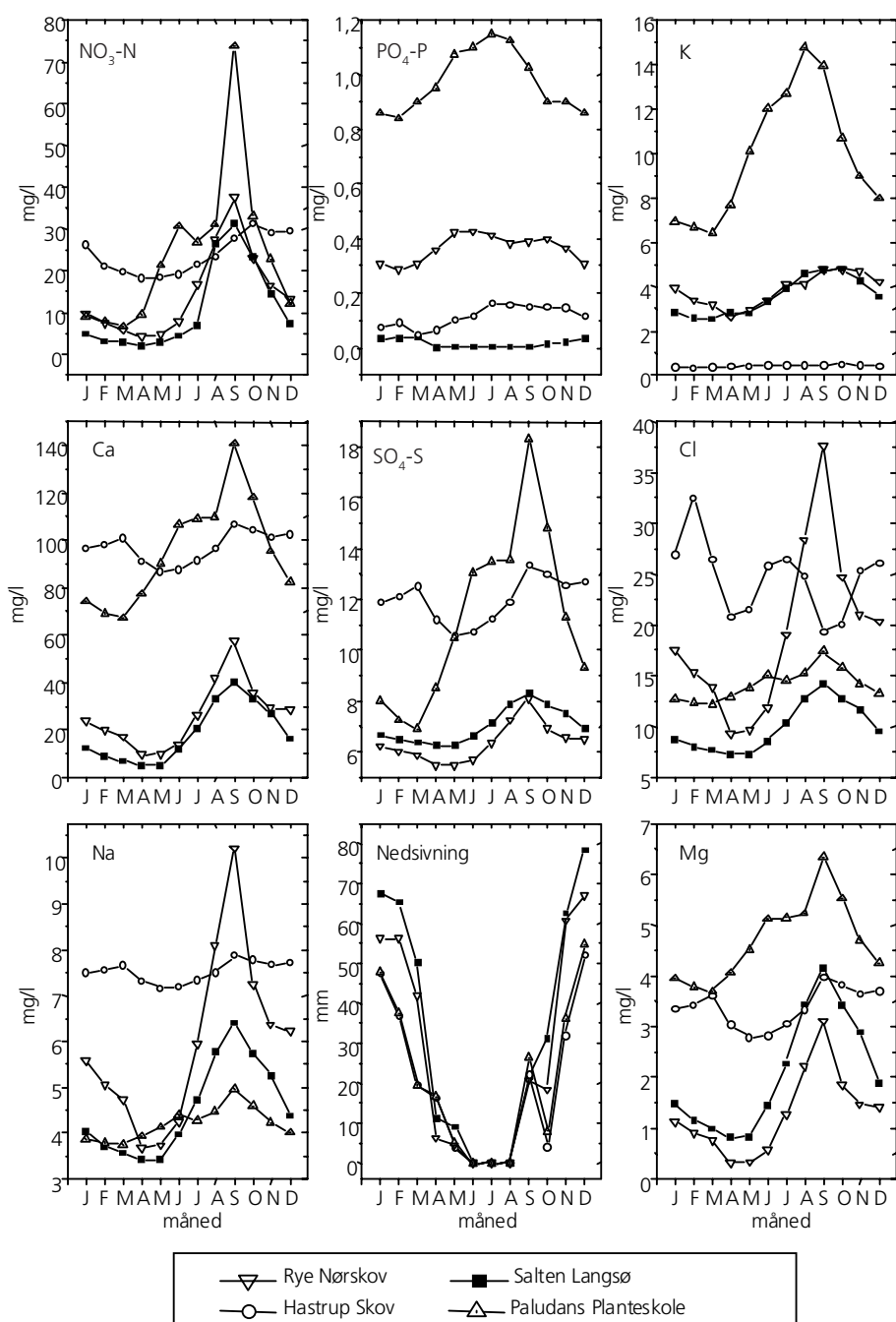
**NO<sub>3</sub>-N.** NO<sub>3</sub>-N-koncentrationerne i jordvæsken varierer betydeligt i forsøgsperioden. NO<sub>3</sub>-N koncentrationen varierer med gødningsdoseringen, men påvirkes også stærkt af den pågældende lokalitets vejr- og jordbundsforhold. I figur 4.23 er angivet hvorledes koncentrationen af NO<sub>3</sub>-N varierer i forsøgsperioden på to forsøgslokaliteter, der repræsenterer en sandet og en leret jordbundstype. Bortset fra behandlingen med 600 kg NPK 23-3-7, der er en splitbehandling (tabel 2.3), bredgødskes der i marts/april, første gang i 1994. På både den sandede (Salten Langsø) og den lerede (Hastrup Skov) lokalitet er koncentrationerne i jordvæsken allerede i 1993 relativt høje som følge af forårets punktgødsning (figur 4.23). I starten af 1994 og før behandlingerne igangsættes, falder koncentrationerne på begge lokaliteter til under 10 mg/l.

På Salten Langsø vokser koncentrationen generelt stærkt i løbet af sommerperioden til trods for et vist optag fra træerne. Det skyldes dels, at den tilførte gødning opløses, men også en opkoncentrering af næringsstofferne som følge af fordampning fra jorden. I efteråret falder koncentrationerne i jordvæsken pga. ”nedbørs-fortyndning” og udvaskning. I de fleste år falder koncentrationen drastisk om efteråret, men de laveste værdier nås først umiddelbart før der atter gødskes i foråret.



Figur 4.23. Koncentration af NO<sub>3</sub>-N i jordvæske under rodzonen på forsøgslokaliteterne Salten Langsø (sandet) og Hastrup Skov (leret). De anførte gødningsmængder er kg NPK 23-3-7/ha/år.

Det danske kvalitetskrav til drikkevand følger EU's drikkevandsdirektiv. Her opereres der med 2 grænseværdier for  $\text{NO}_3\text{-N}$  indhold (anon. 1999). Den vejledende grænseværdi er på 25 mg/l  $\text{NO}_3$ , svarende til 5,6 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Den højest tilladte er på 50 mg /l  $\text{NO}_3$  svarende til 11, 3 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ . I behandlingerne med mere end 300 kg NPK 23-3-7 er koncentrationen af  $\text{NO}_3\text{-N}$  i nedsvingsvandet i gennemsnit over 7 mg/l. I behandlingerne med 600 kg og 1200 kg NPK 23-3-7 er den i gennemsnit henholdsvis 14 og 35 mg/l. Dette betyder, at i behandlingen med 300 kg vil over 50% af nedsvingsvandet have koncentrationer, der overstiger den højest tilladte græn-



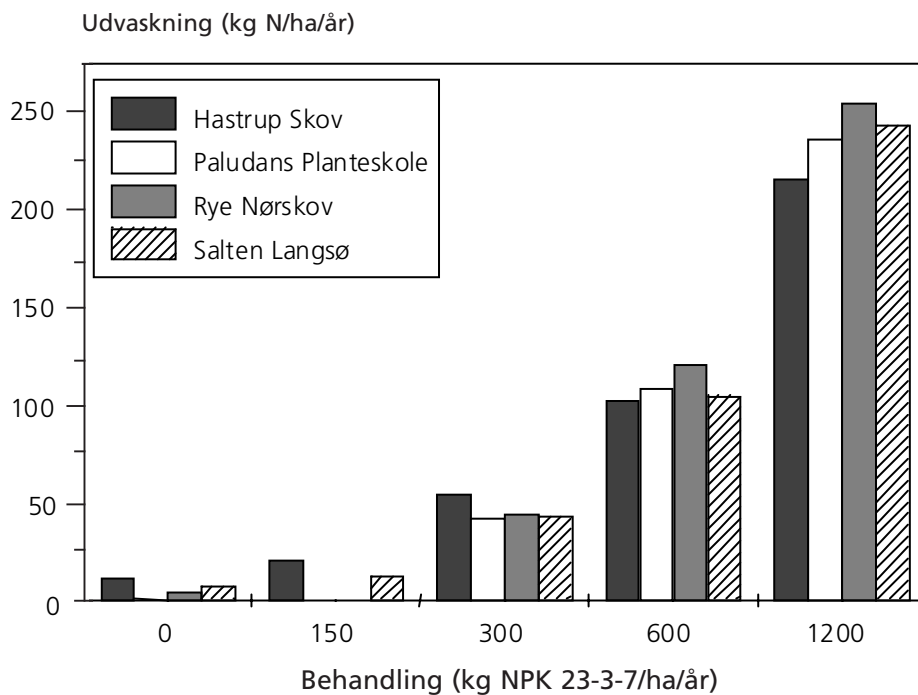
Figur 4.24 Koncentrationsforløb for de forskellige kemiske stoffer i jordvæsken. Gennemsnit for hele forsøgsperioden. Tallene vedrører kun behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7.

seværdi. Ved større doseringer har nedsvivningsvandet altid koncentrationer der overstiger denne grænseværdi.

På den sandede lokalitet minder de enkelte år meget om hinanden. Anderledes er det på den lerede lokalitet. Her udvaskes i 1995 gennemgående store andele af den tilførte kvælstof, som ikke blev optaget af træerne eller på anden måde fixeret i økosystemet. Dette sker ikke i de følgende år, hvor koncentrationen af  $\text{NO}_3\text{-N}$  til stadighed opbygges til højere og højere koncentrationer. Der er derfor al mulig grund til at antage, at den tilførte N-gødning, navnlig i 1997 har været overflødig. På den lerede Hastrup-lokalitet er koncentrationerne i nedsvivningsvandet i behandlinger med 300, 600 og 1200 kg 23-3-7 NPK på henholdsvis 19, 31 og 60 mg/l. Det betyder, at nedsvivningsvandet altid indeholder  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrationer, der overstiger den højest tilladte grænseværdi.

**Den årlige variation i nedsvivningen og jordvæskekoncentrationer.** Variationen i nedsvivningen og koncentrationen af de fleste kemiske elementer gentages forholdsvis regelret de enkelte år imellem. I figur 4.24 er vist den gennemsnitlige årsvariation i nedsvivningen af vand og stofkoncentrationerne i jordvæsken i 60 cm dybde af de målte kemiske elementer på 4 lokaliteter, dog kun for behandlingen med 300 kg 23-3-7 NPK. Nedsvivningen foregår hovedsageligt fra november til marts. I perioden herimellem er nedsvivningen enten lille eller helt ophørt (juni-august). Flere usædvanligt store nedbørshændelser i september har ført til en afvigende større nedsvivning end normalt i denne måned. Til gengæld har mindre nedbørsmængder end normalt i oktober ført til en tilsvarende mindre nedsvivning.

Når der ses bort fra Cl, afviger Hastrup Skov fra de øvrige lokaliteter ved årlige koncentrationsforløb, der har en tydeligt mere dæmpet variation. Dette skyldes en kombination af, at jordtypen ikke afdrænes så let, og at den næringsrige jordbund for visse stoffers vedkommende reagerer hurtigt med de næringsstoffer, der er opløst i jordvæsken. Et tydeligt eksempel herpå er K. Stofkoncentrationerne i jordvæsken på de mere sandede lokaliteter, som Rye Nørskov og Salten Langsø, men også på den kalkholdige lokalitet Paludans Planteskole, udviser en betydelig større variation. Den meget betydelige månedsvariation på netop Paludans Planteskole må tillægges en kombination af mindre input af nedbør samt det forhold, at der i jordbunden slet ikke foregår nær samme ionbytnings/fixering som på den nærliggende og mere lerede Hastrup Skov lokalitet. Generelt øges koncentrationen af næringsstoffer i jordvæsken fra lidt efter udbringningen i marts/april hen over sommeren til koncentrationsmaksimumet i det tidlige efterår. Tilsyneladende topper koncentrationen af  $\text{PO}_4\text{-P}$  et par måneder tidligere end de øvrige næringsstoffer, i selve sommerperioden. Selvom målinger er fra 60 cm dybde, afspejler koncentrationsforløbene i jordvæsken således generelt en øget tilgængelighed af næringsstoffer igennem hele vækstperioden. Især på Paludans Planteskole øges tilgængeligheden næsten lige efter udbringningen, mens der på de øvrige lokaliteter først sker en stigning i koncentrationen i løbet af den tidlige sommer. I løbet af det sene efterår fjerner det nedsvivende vand ret hurtigt næringsstofferne fra rodzonen således, at koncentrationerne er tæt på et minimum allerede ved indgangen til vinteren. Kun på



Figur 4.25. Gennemsnitlig udvaskning (kg N/ha/udvaskningssæson). Udvasningen er målt fra 1993 til 1998. Behandlingerne blev først igangsat maj 1994. Det første hydrologiske år, 1993/94, er derfor ikke inddraget i gennemsnitsberegningen.

den lerede Hastrup-lokalitet opretholdes det høje koncentrationsniveau for de fleste stoffer igennem det meste af vinteren.

#### 4.4.4. Udvasning fra de forskellige behandlinger med NPK 23-3-7.

Udvasningen af N vokser med gødningsdoseringen (figur 4.25). Udvasningen fra kontrollen varierer mellem 0 og 11 kg N/ha/år. Ved en dosering på 35 kg N/ha/år udvaskes 10-20 kg N/ha/år, ved en dosering på 69 kg N/ha/år udvaskes 40-50 kg N/ha/år, ved en dosering på 138 kg N/ha/år udvaskes 100-120 kg N/ha/år, og ved den højeste dosering på 276 kg N/ha/år udvaskes 210-250 kg N/ha/år. Dvs., at der udvaskes 10-65% af det tilførte N ved lave gødningsdoseringer (150 & 300 kg NPK 23-3-7/ha/år) og 70-85% ved høje gødningsdoseringer (600 & 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år) når den atmosfæriske deposition indregnes. Gødningens udnyttelsesgrad kendes først, når træernes reelle optag er kendt. Træernes optag af næringsstoffer er imidlertid ikke kendt på nuværende tidspunkt, men et nyligt igangsat projekt belyser denne del af stofkredsløbene på 2 af lokaliteterne, Hastrup Skov og Salten Langsø. Sættes udvasningen i relation til tilførslen fås et udtryk for hele økosystemets reaktion på stoftilførslerne, dvs. et samlet udtryk for jorden + træernes akkumulering eller tab af næringsstoffer.

På alle lokaliteter vokser udvasningen af alle næringsstoffer med gødningsdoseringen (tabel 4.17) undtagen K på Hastrup Skov. Udover rodoptaget, bliver P og K i varierende grad bundet til jordens kolloider, men især på den lerede Hastrup-lokalitet synes der at være tale om en meget stærkere immobilisering end på de øvrige lokaliteter. Det er bemærkelsesværdigt, at udvasningen af P på Paludans Planteskole i alle behandlinger er større end 4

Tabel 4.17. Udvaskning af næringsstoffer fra rodzonen i perioden 1994-1998 (kg/ha/år).

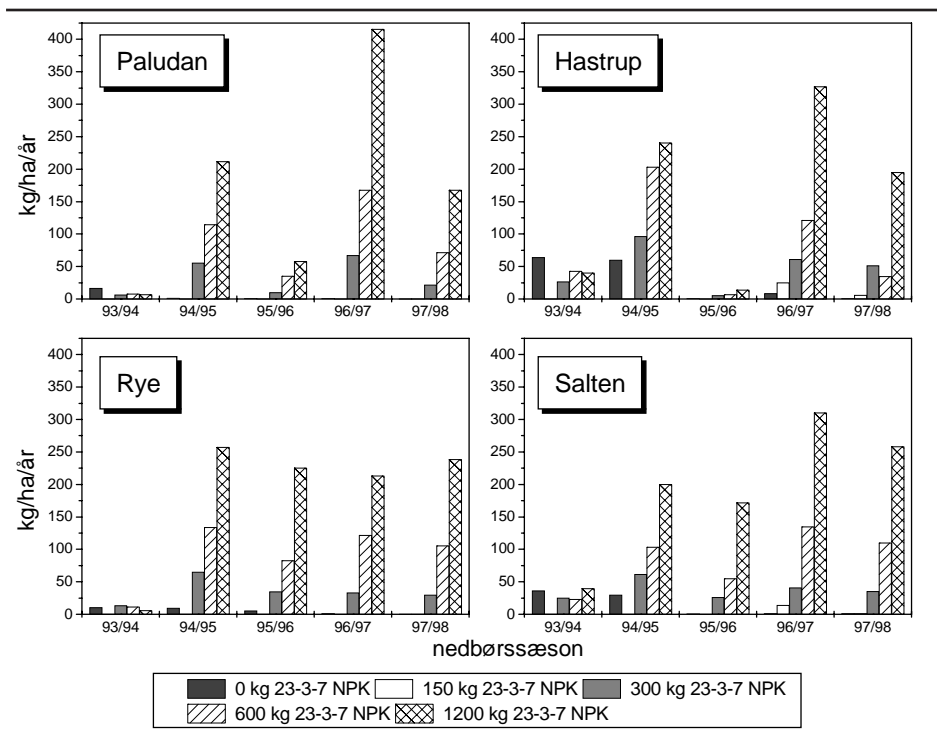
Lokalitet	Behandling	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
Rye Nørskov	Kontrol	4	<0,5	9	71	3	23	18	45
	150	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	44	6	11	78	4	29	19	50
	600	120	2	13	159	7	43	21	52
	1200	252	<0,5	15	311	13	61	28	72
Salten Langsø	Kontrol	7	<0,5	10	48	4	17	15	29
	150	12	<0,5	8	59	7	16	17	31
	300	42	<0,5	13	84	8	26	17	37
	600	104	<0,5	14	167	14	33	24	40
	1200	241	2	26	260	24	54	25	52
Hastrup Skov	Kontrol	11	<0,5	<1	166	6	14	15	34
	150	20	<0,5	<1	132	7	21	14	30
	300	54	1	1	226	8	28	17	39
	600	101	1	1	292	10	36	23	46
	1200	313	1	1	443	19	61	27	52
Paludans Planteskole	Kontrol	<0,5	4	13	171	9	11	12	29
	150	-	-	-	-	-	-	-	-
	300	42	13	21	211	11	25	12	34
	600	107	7	26	316	15	39	14	42
	1200	234	21	38	477	20	59	17	52
Middel	Kontrol	6	1	8	114	6	16	15	34
	150	16	<0,5	10	96	7	19	16	31
	300	46	5	12	150	8	27	16	40
	600	108	3	14	234	12	38	21	45
	1200	260	6	20	373	19	59	24	57

kg/ha/år, men også Rye Nørskov falder i øjnene med ganske høje udvaskningstal for P.

De store mængder N, i form af  $\text{NO}_3\text{-N}$ , der udvaskes fra økosystemernes rodzone følges af betydelige mængder Ca. Den resterende del af mængden af Ca, må på lokaliteterne med højt pH, Hastrup Skov og Rye Nørskov, antages at følges med bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) og  $\text{SO}_4\text{-S}$ . Det er i langt overvejende grad Na, der følger Cl-udvaskningen. Der er tilsyneladende en noget større udvaskning af Cl end af Na. Dette tyder på, at der i forsøgsperioden har foregået en binding af Na i jorden.

For Ca vedkommende udvaskes der langt større mængder, end der tilføres. På de sjællandske lokaliteter udvaskes der naturligt (fra kontrolparcellerne) omkring 175 kg Ca/ha/år, som øges rimeligt proportionalt med doseringen af NPK 23-3-7. På de jyske lokaliteter udvaskes der naturligt mellem 50 og 70 kg Ca/ha/år, som tilsyneladende øges i en noget større takt med doseringen set forhold til de sjællandske lokaliteter. Dette tyder på en omsætning af gødningen, der accelerer udtømmningen af Ca fra jorden med stigende gødningsmængder.

For Mg vedkommende kompenserer gødskningen først ved de aller højeste doseringer for det tab, som udvaskningen forårsager, selv når der korrigeres for tilførsel med atmosfærisk deposition. Udvaskningen af K og P overgår på intet tidspunkt tilførslerne med gødning.



Figur 4.26. Årsvariation i udvaskningen af N fordelt på lokaliteter og behandlinger.

#### 4.4.5 Års- og lokalitetsvariationen i udvaskningen af kvælstof

Der eksisterer en betydelig variation i udvaskningen af N mellem de forskellige hydrologiske år (figur 4.26). Variationen styres i stort omfang af nedbørsmængderne og nedbørsfordelingen, men påvirkes naturligvis også af jordens hydrauliske (tekstur, lejrning og kemi) egenskaber, gødningsdoseringen og af depositionen.

På den lerede lokalitet, Hastrup Skov, ledes nedbøren via nedsivning ikke så hurtigt ud af økosystemet. Dette betyder, at det i én sæson tilførte gødning på denne lokalitet ofte ”står over” til næste sæson. På de andre lokaliteter enten optages eller udvaskes stort set alt tilført kvælstof i den samme sæson. På den lerede lokalitet når det tilførte N sjældent helt at blive optaget eller udvasket, hvorved koncentrationerne til stadighed bygges op til højere og højere niveauer i jorden (figur 4.23, side 63).

De konstaterede udvaskninger fra kontrolparcellerne i 1994 og 1995, særligt i Hastrup Skov og på Salten Langsø, skyldes den tidligere punktgødskning forud for forsøgsanlægget. Denne udvaskning ophører da også fra 1996. Udvasningen af N er ikke tydeligt koblet til træernes vækst. Derimod spiller nedbørsforholdene tilsyneladende afgørende ind. Den meget lille nedbørsmængde på de sjællandske lokaliteter i nedsivningssæsonen 1995/96 bevirker øjensynligt også, at nedvasningen af N mindskes drastisk. Den efterfølgende nedsivningssæson, 1996/97, kompenserer tydeligt herfor ved meget store nedsivningstal forårsaget af det N, som er ophobet i jorden mellem de 2 nedsivningssæsoner. På de mere sandede jyske lokaliteter er udvasningen mellem årene meget mere ens som følge af langt større dræningsevne.



## 5. Konklusion

Resultater fra de 8 lokaliteter på tidligere landbrugsjord afdækker store forskelle i nordmannsgranens vækst afhængig af jordbund og vejrforhold. Bedst trivsel opnås tilsyneladende på jordtyper med en god dræning og et moderat lerindhold, idet stagnationsperioden (efter udplantningen) er mindst på disse jordtyper.

Resultaterne viser, at der i relation til 4-9 årige nordmannsgraners vækst, kvalitet og sundhed kan opnås en nær optimal gødningsløsning med et N-input på 69-104 kg N/ha/år. Størst vækst og frodighed (knop-, gren-, og internodieskudsantal) opnås med disse N-niveauer med gødningssammensætningen NPK 14-3-18 udbragt om foråret. Sommerudbringning giver generelt lidt mindre vækst, men bedre farve for samme N-input. Der er en tendens til lidt faldende frodighed ved at rykke gødningstidspunktet længere hen på året. Således vil sensommergødskning (farvegødskning) antageligvis give både mindre vækst og frodighed, men bedre farve på salgstidspunktet. Splitbehandling med tilpas hyppige udbringninger og doseringer kan måske være vejen frem mod en moderat vækst kombineret med god frodighed og farve. Dette undersøges i et nyt projekt på Langesø Skovdistrikt.

Analysen af nålenens indholdsstoffer i behandlinger med forskellig dosering af NPK 23-3-7 indikerer, at der særligt i bevoksningens første 4-5 år kan opstå relativ mangel på Mg, K, Mn og Fe, hvis N-koncentrationen er høj (1,8-2,0%). Undersøgelserne afdækker endvidere, at nålens N-koncentration falder markant med alderen, enten pga. et forøget C-indhold eller pga. en bedre næringsstoffilgængelighed fra forudgående punktbehandlinger. De gængse normer for N-koncentrationer i nordmannsgran (1,6-2,0%) bør derfor justeres til 1,4-2,0% for planter over 6 år, da det ellers kun er muligt at opretholde N-koncentrationen ved meget høje gødningsdoseringer. Dette er ikke nødvendigt på de undersøgte jordbundstyper ud fra en kvalitetsmæssig synsvinkel, hvor også træer med en N-koncentration på 1,4% giver en god kvalitet og farve. Topskudslængde og nålefarve kan beskrives tilstrækkeligt præcist ved at inddrage forrige års højdevækst og koncentrationer af næringsstoffer afhængig af lokalitet.

Udvaskningen af næringsstoffer, særligt kvælstof, fra nordmannsgranjuletræer gødsket med NPK 23-3-7, udviser meget store lokalitetforskelle i udvaskningsmønstret. Lette jordtyper har en meget kraftig, men kortvarig forøgelse af jordvandets koncentration af N, mens de mere lerede jordtyper har en mindre kraftig, mere langvarig forøgelse af jordvandets N-koncentration. Selvom træernes rodoptag til en vis grad stiger med en stigende gødningstildeling, falder den relative udnyttelsesgrad af gødningen samtidigt. Ved en dosering på 69 kg N/ha/år udnytter træerne og/eller fastlægger i jorden således kun ca. 35% af den tildelte gødning, mens resten udvaskes. For de højere doseringer udvaskes langt større mængder og nedsivningsvandet nærmer sig stærkt koncentrationer af nitrat, der altid er over den maksimale grænse i grundvand.

## 6. anbefalinger til praksis

Gødskning af nordmannsgranjuletræer indebærer ikke udelukkende en afvejning mellem de to modsatrettede hensyn: Kvalitet og miljø. For kraftig gødskning giver foruden en stor miljøbelastning også en for ringe juletræs-kvalitet – primært pga. en for kraftig vækst. Det er således muligt både at tage et miljøhensyn og samtidigt opnå en moderat vækst i kombination med sunde grønne kvalitetstræer.

Fra en praksisnær synsvinkel kan rapportens konklusioner indarbejdes i den daglige gødningspraksis ved at:

- Begrænse kvælstofdoserings til 70 kg N/ha/år ved bevoksningsgødskning.
- Ved 70 kg N/ha/år at bruge:
  - ❖ Forårsbehandling med NPK 14-3-18 i stedet for NPK 23-3-7 når der ønskes god vækst og frodighed.
  - ❖ Nøjes med ren kvælstof når ønsket er lange nåle eller en hurtig farve.
  - ❖ Sommerbehandling eller splitbehandling når for lange topskud bliver et problem eller når det primære problem er manglende farve.
  - ❖ Splitbehandling på næringsfattig jord uanset problemer med topskudslængde og farve. Gødskningen kunne deles med 60% i foråret og 40% i efteråret.
- Én gang farvegødskning med 50 kg N/ha/år kan redde lysegrønne træer, mens kortnålede gule træer kræver mindst 2-3 års udbringning.
- Bruge nåleprøver til diagnosticering af mangelsymptomer.
- Tage nåleprøverne uden for vækstsæsonen, dvs. 15/10 til senest 15/3 fra øverste grenkrans på sunde træer.
- Justere optimumområdet for N ned til 1,4% N i tørstoffet for juletræer med alderen 5-9 år fra anlæg.
- Anvende NPK 14-3-18, der bedre synes at ligne nålenes sammensætning mht. N, P og K end NPK 23-3-7.

På meget næringsfattig jord vil en splitbehandling med 70 kg N/ha/år måske ikke være tilstrækkeligt til at sikre den nødvendige kvalitet på træerne, og en forøgelse af dosering til maksimalt 104 kg N/ha/år kan komme på tale – stadigvæk som splitbehandling. Det skal dog understreges, at kvælstofnormen tilsiger maksimalt 75 kg N/ha/år - beregnet på ejendomsniveau.

## 7. Litteratur

*Anon., 1995:*

Produktionskontrollen – Årlige registreringer. Dansk Skovforenings PynTEGRØNTSEKTION, 12 pp.

*Anon., 1999:*

Drikkevandsudvalgets betænkning. Betænkning fra Miljøstyrelsen, nr. 1. 1-269.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 505, juletræsgødskning, Forsøg B1, Rye Nørskov Skovdistrikt, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 12 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 506, juletræsgødskning, Forsøg B2, Salten Langsø Skovdistrikt, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 12 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 507, juletræsgødskning, Forsøg B3, Hastrup Skovdistrikt, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 12 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 508, juletræsgødskning, Forsøg B4, Paludans Planteskole, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 12 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 509, alternative gødningstyper og farvegødskning, Forsøg C1, Jægerspris Skovbrug, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 10 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 510, alternative gødningstyper og farvegødskning, Forsøg C2, Clausholm Skovdistrikt, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 13 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 511, alternative gødningstyper og farvegødskning, Forsøg C3, ved E. Nygård, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 14 pp.

*Christensen, C.J. & Johansen, S.V., 1997:*

Anlægsrapport nr. 512, alternative gødningstyper og farvegødskning, Forsøg C4, Bakkehuset, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 12 pp.

*Christensen, C.J., 1998:*

Startgødskning af nordmannsgrankulturer på tidligere agerjord. PynTEGRØNTSERIEN nr. 8, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 53 pp ill.

- Christensen, C.J. & Pedersen, L.B., 1999:*  
Gødskning af nobilis juletræer på markjord. Pyntegrøntserien nr. 10, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 43 pp. ill.
- Christensen, C.J., Ingerslev, M. & Pedersen, L.B. 2001 in Prep.:*  
Proveniensbetingede forskelle i gødningsrespons mellem nordmanns granprovenienserne., Ambolauri og Langesø Afd. 6 på Salten Langesø.
- Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), 1995:*  
Danmarks klima 1994, København, 136 p.
- Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), 1996:*  
Danmarks klima 1995, København, 126 p.
- Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), 1997:*  
Danmarks klima 1996, København, 130 p.
- Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), 1998:*  
Danmarks klima 1997, København, 132 p.
- Fremann, M. & Nielsen, C.N., 1997:*  
Gødskningens virkning på resistens mod vinterfrost og forårsnattefrost hos nordmannsgranjuletræer, KVL, Upubliceret, 9s. + 15s bilag.
- Frossard, E., Brossard, M., Hedley, M.J. & Metherell, A., 1995:*  
Reactions Controlling The Cycling of P In Soils. I Tiessen, H.: Phosphorus In the Global Environment. John Wiley and Sons, Scientific scope 54, 107-137.
- Hansen B., 1997:*  
Nitrogen inputs to semi.natural ecosystems: atmospheric deposition and weathering. Aarhus Geoscience – Ph.D. Thesis. Geologisk Nyt, Department of Earth Sciences, University of Aarhus, 1-57.
- Holstener-Jørgensen, H. & Bartholin, T.S., 1969:*  
Gødningsforsøg i Kulturer af *Abies nordmanniana*- Foreløbig beretning. Statens forstlige Forsøgsvæsen. Stencil. 25pp.
- Holstener-Jørgensen, H., 1972:*  
Afgrødeanalyser i pyntegrøntbevoksninger af *Abies nobilis*. Beretninger fra Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark. Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark. 262;p. 52-73.
- Holstener-Jørgensen, H. & Christensen, P., 1983:*  
Et forsøg med sprøjtning mod mangan- eller jernmangel hos *Abies nordmanniana* på Knuthenborg. Beretninger fra Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark nr. 326:390-396.
- Holstener-Jørgensen, H. & Christensen, P., 1984:*  
Jernmangel hos *Abies nordmanniana* på Knuthenborg. Dansk Skovforenings Tidsskrift LXIX:297-301.

- Holstener-Jørgensen, H. & Skriver, E., 1986:*  
Farvegødskning af *Abies nordmanniana* på Skaføgaard - Præliminære resultater. Skoven PS 3:5-7.
- Holstener-Jørgensen, H. & Madsen Krag, M., 1987:*  
Farvegødskning af *Abies nordmanniana* på Skaføgaard - afsluttende beretning. Skoven PS 5:30-37.
- Holtan H. Kamp-Nielsen, L. & Stuanes A.D., 1988:*  
Phosphorus in soil, water and sediment, an overview. *Hydrobiologia*, 170, 19-34.
- Hovmand, M.F., Grundahl, L., Runge, E.H., Kemp, K. og Aistrup, W., 1993:*  
Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor. Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, 1-96.
- Knudsen, L., 1996:*  
Valg af gødning. Landbonyt nr. 1. Erhvervsjordbruget. Det Kgl. Landhusholdningsselskab, København. s. 32-34.
- Larsen, J.B., 1983:*  
Trockenresistenz, Wasserhaushalt und Wachstum junger Douglasien (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) und Küstentannen (*Abies grandis* Dougl. Lindley) in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung, Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark bd. 39, 1-82.
- Lüneburg-Nielsen, H. 1985:*  
Gødningseffekt og vinterfrostskafer, PS Nåledrys nr. 2, s. 22-23, Pyntegrøntsektionen, København.
- McEvoy, T.J., 1992:*  
Using Fertilizers in the Culture of Christmas Trees, Paragon Books,inc., Vermont, USA, 148 pp.
- Olesen, J.E. & Heidmann, T., 1990:*  
EVACROP. Et program til beregning af aktuell fordampning og afstrømning fra rodzonen. (version 1). AJMET Arbejdsnotat no. 9. Danmarks JordbrugsForskning.
- Olesen, M.L., Østergård, K. & Sørensen, S., 1998:*  
Topskudsforkortning af nordmannsgran. Status forår 1998. Pyntegrøntserien nr. 7, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 51s. ill.
- Pedersen, L.B., 1995:*  
Stofkredsløb i skove. Kalium. Videnblade skovbrug nr. 8.5-2, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2pp.
- Pedersen, L.B. & Beier C., 1996:*  
Stofkredsløb i skove. Kalcium. Videnblade skovbrug nr. 8.5-3, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2pp.

- Pedersen, L.B., Beier, C. & Ingerslev, M., 1996:*  
Stofkredsløb i skove. Magnesium. Videnblade skovbrug nr. 8.5-4, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2pp.
- Pedersen, L.B., Christensen, C.J. & Randrup, T.B., 1996:*  
Effekter af vejsaltning i juletræsbevoksninger. Skoven, 12, 532-535.
- Pedersen, L.B., Randrup, T.B. & Ingerslev, M., 2000:*  
Effects of road distance and protective measures on deicing NaCl deposition and soil solution chemistry in planted median strips. Journal of Arboriculture, 26(5), 238-245.
- Ravnsbæk, P.F.V., 1989a:*  
Nåleanalyser som middel til diagnosticering af næringsstofmangel i juletrækulturer af nordmannsgran, *Abies nordmanniana* (Stev.) Sparch., Hovedopgave på skovbrugsstudiet, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København, 93 pp + bilag 7 pp.
- Ravnsbæk, P.F.V., 1989b:*  
Nåleanalysers anvendelse ved juletræsdyrkning, PS Nåledrys 10/89, s.8-9, Dansk Skovforenings Pyntegrøntsektion, København.
- Ravnsbæk, P.F.V., 1989c:*  
Fremtidig anvendelse af nåleanalyser i gødningsplanlægningen, PS Nåledrys 10/89, s.10-11, Dansk Skovforenings Pyntegrøntsektion, København.
- Skre, O., 1988:*  
Frost resistance in forest trees: a literature survey, meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning 40.9, Norge.
- Van den Burg, 1990:*  
Foliar analysis for determination of tree nutrient status. A compilation of literature data. De Dorschkamp, Institute for Forestry and Urban Ecology, 51, 1-220.

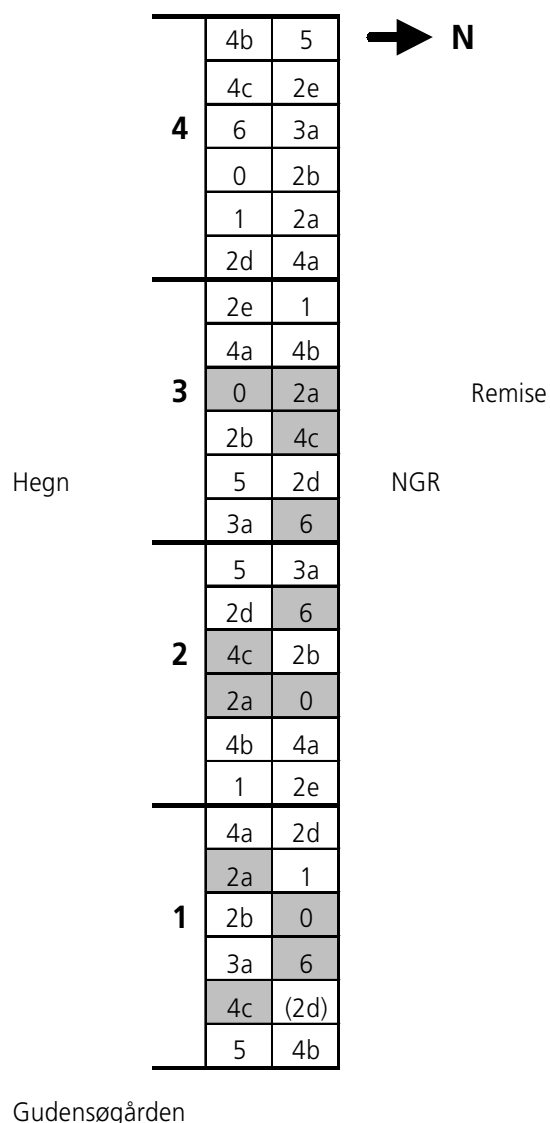


# Bilag 1. Lokalitetsbeskrivelse

## Rye Nørskov

Forsøget blev anlagt i Hejnæs Plantage afd. 302e i afdelingens sydøstlige hjørne ved Gudensøgården (UTM 32 E547366 m, N6213968 m). Arealet er fladt og tidligere agermark. Fra syd og øst er der læ fra hhv. ældre rødgran og nobilis. Mod nord og vest er der ensaldrende nordmannsgran uden nævneværdigt læ (figur 1). Arealet er (tråd)hegnet, og der er opsat fuglepinde. Lokaltiteten er lettere frostudsat.

### Rye Nørskov Hejnæs Plantage afd. 302e



Figur 1. Forsøgsanlægget på Rye Nørskov.

Tabel 1. Jordens teksturelle- og kemiske sammensætning på Rye Nørskov. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

Cambic podzol		Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi									
Horisont betegn.	dybde cm	humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %	
Ap1	0-12	2,9	5,8	9,5	81,8	0	4,7	2,0	118	54	16	1120	6,0	1,1	96	
Ap2	12-25	2,8	6,0	10,1	81,3	0	5,4	1,8	173	30	18	1120	9,0	1,2	98	
B1	25-40	1,8	4,7	5,7	88,0	0	4,9	1,3	52	18	9	457	8,0	3,7	88	
B2	40-60	0,7	2,9	2,0	94,6	0	4,9	0,6	43	14	2	1105	5,0	7,7	61	
C1	60-81	0,2	2,3	1,5	96,1	0	5,0	0,5	53	11	1	245	1,0	7,1	19	
C2	81-96	0,2	2,1	1,5	96,4	0	4,9	0,1	51	12	1	275	1,0	6,8	25	
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-	

Arealet blev plantet til i efteråret 1990 med 2/1 planter af Ambrolauri proveniens. Planterne blev sat på 1×1 meter med sprøjtespor for hver 12. række.

Forsøget ligger på groft næringsfattigt smeltevandssand med et lavt indhold af kalium (K), magnesium (Mg) og kalcium (Ca), men med et relativt højt indhold af organisk stof (tabel 1). Jordbunden er meget ensartet og havde ved forsøgsanlægget en meget løs struktur. Jordbunden var bearbejdet til ca. 25 cm's dybde. Jorden var frit drænet uden nogen tegn på vandstuvning. Den forholdsvis høje basemætning (BS) i jordens øverste 40 cm tyder på tidligere jordbrugskalkning, men der blev ikke fundet frit kalk. Inden arealet blev tilplantet, har der været udbragt slam fra husholdninger ca. 25 tons tørstof/ha (skønsvist 1000 kg N/ha og 500 kg P/ha), som efterfølgende er beriget med kalium (ca. 1000 kg KCl/ha) for at optimere næringsstofforholdet. Jordbundsanalyserne viser, at indholdet af ombytteligt K svarer til ca. 25 g/m<sup>2</sup> ned til 1 m's dybde. Analyserne indikerer således, at mindst halvdele af det udbragte K allerede var udvasket af rodzonen inden forsøgets start i efteråret 1993.

Ukrudtsbekæmpelsen har været både kemisk og biologisk, idet der forud for plantningen blev sprøjtet med Roundup (2-3 l/ha) samt Folar (2-3 l/ha). Efterfølgende er der sprøjtet med Atrazin (4-5 l/ha) i 1991. Herefter er der frem til 1996 brugt årlige Folar (2-3 l/ha) sprøjtninger samt pletvis sprøjtning med Matrigon. Fra anlæggelsen af kulturen i 1990 til forsøgsetableringen i 1993 har arealet sideløbende været renholdt med får.

Ved forsøgets etablering var der en ensartet ca. 3 cm høj ukrudtsvegetation bestående af hovedsagligt dueurt. Nordmannsgranplanterne var ca. 35 cm høje og ensartede med relativt små topkud i 1992 og 1993 (figur 2). I forsøgsperioden har ukrudt været et tilbagevendende problem. Der har ikke været høstet juletræer fra forsøget, som afsluttedes i 1997.

I forbindelse med behandlingen af forsøget i foråret 1994 opstod der en fejl, som nødvendiggjorde flytning af det måleudstyr, som indsamler jordvæske. Denne flytning betød en lukning for den kontinuerte jordvands-ekstraktion i perioden april til december 1994.



Figur 2 Forsøgslokaliteten på Rye Nørskov i foråret 1994. Man ser tydeligt den tætte og lave ukrudtsvegetation samt de moderate topskud. (Foto: Lars Kjærbølling)

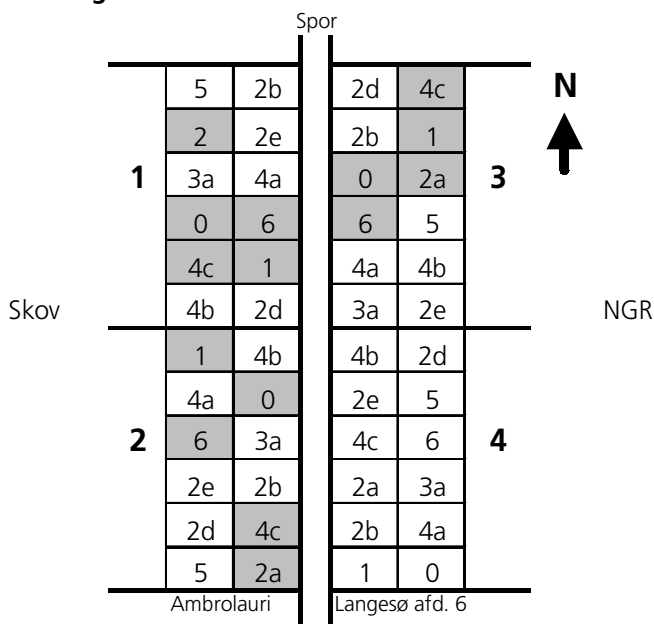
## Salten Langsø

Forsøget ligger på Salten Langsø Skovdistrikt afd. 56 g i det sydvestlige hjørne af kulturen (UTM 32 E537976 m, N6216302 m). Arealet er tidligere agerjord, som er lettere kuperet, overvejende hældende mod syd. Fra syd og vest ydes begrænset læ fra skov og læhegn, mens der ikke er nogen form for læ fra nord og øst (figur 3). Arealet er hegnet og ikke frostudsat.

I foråret 1990 blev arealet tilplantet med 2/1 nordmannsgranplanter af to provenienser: Langesø (afd. 6) og Ambrolauri (B-8375). Planterne er sat på 1×1 meter med sprøjtespor for hver 12. række. Blok 3 og 4 er tilplantet med Langesø proveniensen, mens blok 1 og 2 er med Ambrolauri.

Forsøget ligger på en forholdsvis næringsrig sandet smeltevandsaflejring dog med et lavt indhold af K og Mg (tabel 2). Jordbunden er forholdsvis ensartet, omend jordens horisontgrænser varierer noget afhængig af overfladepografien. Jorden havde en lidt bedre struktur end på Rye Nørskov – formentlig som følge af et noget større lerindhold. Der er fundet jordbrugs-kalk i pløjelaget (0-25 cm). I B-horisonten er der fundet diffuse Fe- og Mn-udfældninger, og i et profil er der konstateret våde og afblegede farver i den nedre C-horisont som følge af temporær vandstuvning. I 1991 blev kulturen punktgødsket med NPK 14-3-18, 15 g/plante og efterfølgende i 1992 og 1993 med NPK 14-3-18, 25 g/plante.

**Salten Langsø  
afd. 56g**



Figur 3. Forsøgsanlægget på Salten Langsø.

Der har været foretaget kemisk renholdelse for ukrudt med Roundup (3 l/ha) forud for plantningen og i årene 1991-93 er der brugt Atrazin (3-4 l/ha) og Velpar (2-3 l/ha). Der er brugt Roundup (3 l/ha) i efteråret 1993. Herefter er der kun pletsprøjtet med Roundup efter behov. I forsøgsperioden har renholdelsen været tilpas effektiv til at hindre kraftige opblomstringer af ukrudt.

Ved anlægget i 1993 var der dog en kraftig ukrudtsvegetation på ca. 30 cm bestående af diverse urter og græs med kandisk bakkestjerne, som den fremherskende. Juletræerne var ca. 45 cm høje og havde sat et pænt topskud i 1993 (figur 4). Der var ikke synlige forskelle mellem de to provenienser på anlægstidspunktet. Der blev høstet juletræer fra forsøget i 1995 (ca. 105 træer), i 1996 (ca. 146 træer) og i 1997, hvor forsøget dog blev målt inden hugsten.

Tabel 2. Jordens teksturelle- og kemiske sammensætning på Salten Langsø. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

Haplic luvisol		Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi								
Horisont betegn.	dybde cm	humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %
Ap1	0-11	1,9	5,8	16,0	76,4	0	5,1	1,2	107	56	33	566	2,7	1,2	94
Ap2	11-22	1,6	6,2	15,2	77,0	0	5,5	1,1	110	41	25	556	4,3	4,4	85
B1	22-37	0,9	9,1	16,4	73,8	0	5,3	0,4	60	45	18	487	4,0	1,9	91
B2	37-68	0,5	10,2	12,3	77,2	0	4,9	0,3	36	84	31	795	6,5	13,3	84
C	69-103	0,2	8,6	10,4	81,0	0	4,6	0,2	34	68	17	497	7,0	42,0	56
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-



Figur 4. Forsøgslokaliteten på Salten Langsø den 17/12 1996. I forgrunden og til højre ses de to blokke med Langesø provenienser. I baggrunden til venstre erkendes Ambrolauri proveniensen. (Foto: Lars Bo Pedersen)

## Hastrup Skov

Forsøget er placeret i Hastrup Skov afd. 1a i den nordøstlige del af kulturen (UTM 32 E 687661 m, N6109734 m). Arealet er tidligere agerjord (vinteraps), som skrånere let mod nord. Der er læ mod øst fra en ældre bøgebekvoksning og mod syd fra læhegn, men åbent mod nord og vest (figur 5). Omtrent 150 meter fra forsøgets vestkant støder kulturen op til motorvej E47/E55. Arealet er hegned og næppe frostudsat.

I foråret 1991 blev arealet tilplantet med 2/1 nordmannsgran planter af Ambrolauri proveniensen. Planterne er sat på 1×1 meter med sprøjtespor for hver 15. række.

Forsøget ligger på en næringsrig og leret moræne, som dog har forholdsvis beskedne K og Mg koncentrationer (tabel 3). Jorden bærer præg af en dybtgående jordbearbejdning. Visse steder når bearbejdningen ned til næsten 60 cm. Der er intet frit kalk, men i pløjelaget findes der rester efter tidligere jordbrugskalkning. I den nedre B-horisont er der konstateret diffuse Fe-udfældninger som tegn på temporær vandstuvning, der skyldes en knapt så

Tabel 3. Jordens teksturelle- og kemiske sammensætning i Hastrup Skov. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

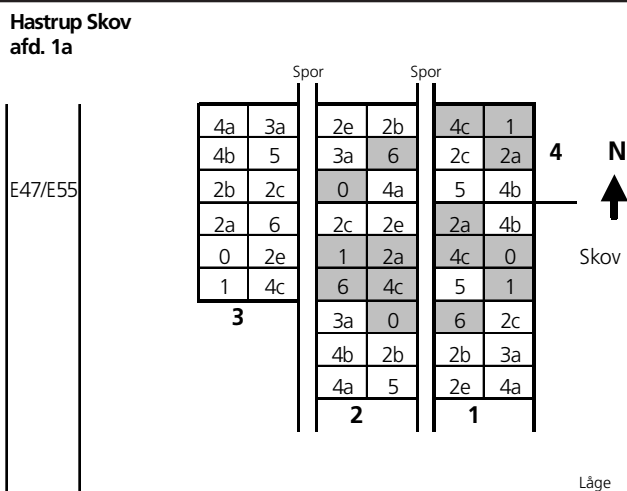
Haplic luvisol Horisont betegn.	dybde cm	Jordens teksturelle sammensætning						Jordbundskemi							
		humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %
Ap1	0-24	2,1	13,5	31,5	53,0	0,0	6,9	1,2	148	68	36	1870	10,5	0,2	99
Ap2	24-40	0,8	12,8	30,6	55,8	0,0	7,2	0,5	350	42	32	1460	7,0	0,0	99
B1	40-75	0,3	17,8	29,1	52,8	0,0	5,1	0,3	172	67	51	1690	10,0	3,7	97
B2	75-100	0,3	21,9	36,6	41,2	0,0	5,1	0,2	158	69	86	2140	17,0	1,5	99
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-



god dræning. I forårene 1992 og 1993 er der punktgødsket med NPK 23-3-7, i 1992 med ca. 17 g/plante og i 1993 med ca. 22 g/plante.

Der er brugt Roundup (5 l/ha) og Velpar (5 l/ha) forud for plantningen, og i de efterfølgende år frem til 1996 er der brugt Velpar (5-6 l/ha). I 1996 er der brugt Roundup (1 l/ha) og Gardoprim (6 l/ha), i 1997 Folar (2 l/ha) og Gardoprim (4,5 l/ha) samt i 1998 Roundup (1 l/ha) og Gardoprim (6 l/ha). Herudover er der i mindre omfang udført pletvis bekæmpelse med Matrigon. Den kemiske renholdelse har været meget effektiv i forsøgsperioden - så effektiv, at der i forsøgets kuperede del har måttet fræses for at undgå erosion.

I 1993 var arealet næsten fri for ukrudt (figur 6), kun meget få tidsler og dueurt. Træerne var ca. 30 cm høje og ensartede ved forsøgsanlægget i 1993. Der har været juletræshugst i 1997 (68 træer) og i 1998 (127 træer), hvor opgørelsen dog fandt sted inden hugst. I 1999 er der også taget træer, men årets opgørelse fandt sted før juletræshugsten.



Figur 5. Forsøgsanlægget i Hastrup Skov.



Figur 6 Forsøget i Hastrup Skov. Den effektive renholdelse har været gennemgående på denne lokalitet (Foto: Lars Kjærbølling)



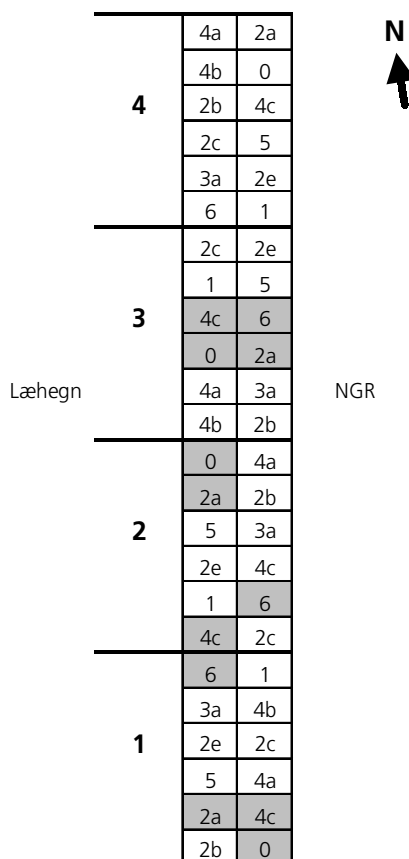
## Paludans Planteskole

Forsøget er placeret i Paludans Planteskole afd. 7b. Forsøgsarealet ligger centralt i kulturen mellem to kørespor (UTM 32 E682242 m, N6104621 m). Arealet er tidligere planteskolejord, som hælder svagt mod nord. I forsøgets sydlige ende er der læ fra levende hegn. Mod de øvrige verdenshjørner er der ensaldrende nordmannsgran, omend der ca. 25 m øst for forsøget, ca. 100 meter vest for forsøget og ca. 50 meter nord for forsøget er læ fra levende hegn (figur 7). Der er ikke hegnet mod råvildt, men i forsøgsperioden har der ikke været observeret vildtskader.

Arealet blev tilplantet i foråret 1991 med 2/1s nordmannsgranplanter af Ambrolauri proveniens på 1,1×1,1 meter. Der er i 1992 efterbedret med proveniens Arkhyz (B 4036) med færre end 1000 planter pr. ha. Der er ca. 15 meter mellem sprøjtesporene.

Jordbunden på Paludans Planteskole er en næringsrig moræne med et lerindhold omkring 10% og et højt pH i jordens dybere lag, men med beskedne koncentrationer af K og Mg (tabel 4). Jorden er varieret, og visse steder er der frit kalk under 50 cm's dybde. Jordbunden er generelt godt drænet, men visse steder tyder afblegede farver i ca. 100 cm's dybde på dårlige dræningsforhold. I foråret 1992 og 1993 blev der punktgødsket med hhv. ca. 15g og ca. 20g NPK 23-3-7 pr. plante.

Paludans Planteskole  
afd. 7b



Figur 7. Forsøgsanlægget i Paludans Planteskole.

Tabel 4. Jordens teksturelle- og kemiske sammensætning i Paludans Planteskole. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

Eutric cambisol Horisont betegn.	dybde cm	Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi									
		humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %	
Ap1	0-29	0,8	7,4	12,8	78,0	1,0	7,4	0,6	291	97	23	1130	3,0	0,0	99	
Ap2	29-47	0,8	17,5	19,7	62,0	0,0	7,3	0,5	162	120	48	1950	8,7	0,0	99	
B	47-73	0,5	9,9	18,0	56,7	14,8	7,1	1,9	226	51	12	1162	4,3	0,0	98	
C1	73-102	0,3	7,5	13,8	62,0	16,4	7,0	2,2	230	32	5	287	2,0	0,0	96	
C2	102-125	0,3	7,0	14,0	69,5	9,2	7,0	1,3	188	45	16	764	4,3	0,0	76	
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-	

Arealet er sprøjtet mod ukrudt med Simazin (5 l/ha) og pletsprøjtet med Matrigon (1,5 l/ha) i 1991, i 1992 samme behandling og i 1993 Holtox (5 l/ha) samt Karmex (1 kg/ha). I 1994 blev der sprøjtet med en blanding af Simazin (6 l/ha) og Roundup (4 l/ha). Fra 1995 og frem har den årlige behandling været Gardoprim (3 l/ha) og Karmex (0,75 kg/ha). Ukrudtsvegetationen var næsten helt fraværende ved forsøgsanlægget, men siden har der periodevist været problemer med diverse "problem-ukrudtsarter" som f.eks. kanadisk bakkestjerne og ager-snerle. Særligt i 1994 syntes ukrudtsmængden at afhænge af gødningsdoseringen (figur 8).

Planterne var 20-25 cm høje og ensartede ved forsøgets etablering, men der var nogen forskel i topskudslængderne for 1993. Enkelte steder så 4-5 planter i træk ringe ud. Der er endnu ikke taget juletræer fra kulturen.



Figur 8 Forsøget på Paludans Planteskole den 13/6 1994. Bemærk hvordan ukrudtet følger behandlingsgrænserne. (Foto: Lars Kjærboelling)

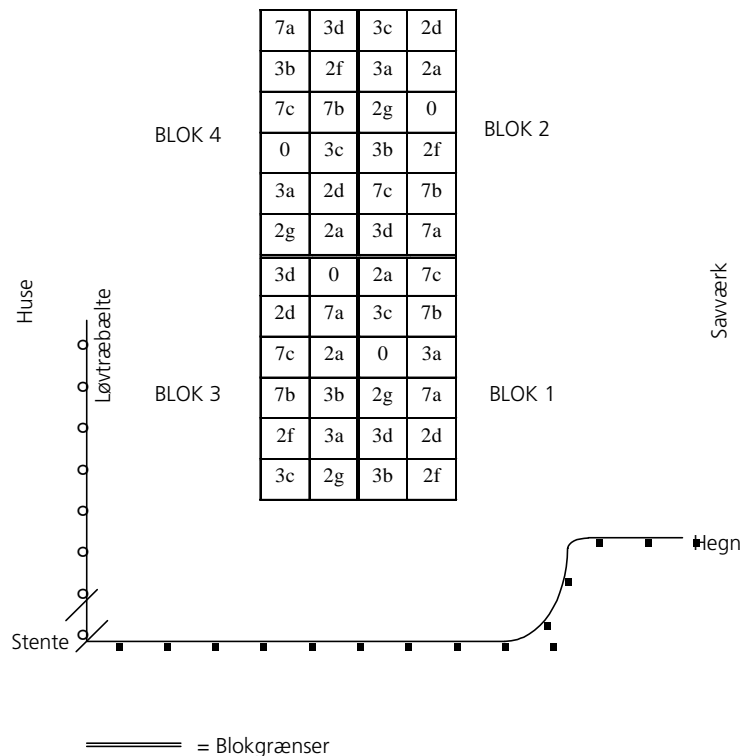
## Jægerspris

Forsøget er placeret i Fællesskoven afd. 69 i det sydlige hjørne (UTM 32 E683854 m, N6199882 m). Arealet, som er let kuperet, var tidligere tilplantet med østrigsk fyr fra 1970, som brændte i 1990. Herefter blev tomten ryddet. Mod syd og nord er der læ fra resterne af den oprindelige bevoksning med østrigsk fyr, mod vest er der ensaldrende egetræer og mod øst ensaldrende nordmannsgran, som dog ca. 100 meter fra forsøget grænser op til en ældre egebevoksning (figur 9). Arealet er heget og er noget frostudsat - særligt i lavningerne.

Kulturen blev plantet i efteråret 1991 med 2/2 Ambrolauri planter på 1,25×1,25 meter og sprøjtespor for hver 10. række.

Forsøget ligger på en gruset næringsfattig smeltevandsaflejring med lave koncentrationer af K og Mg (tabel 5). Jorden er veldrænet, men har en tydelig sur reaktion med et forholdsvis højt indhold af ombytteligt Al. Derfor er basemætningen lav. I foråret 1993 blev der punktgødsket med ca. 40 g NPK 23-3-7 pr. plante.

Jægerspris skovbrug  
Fællesskoven afd. 69



Figur 9. Forsøgsanlægget i Jægerspris.

Tabel 5. Jordens teksturelle- og kemiske sammensætning i Jægerspris. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

Haplic luvisol Horisont betegn.	dybde cm	Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi								
		humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %
A	0-10						4,7	1,0	248	55	21	311	5,6	20,3	82
Bs	10-28						5,0	0,3	230	32	10	183	5,2	14,3	73
C1	28-47						5,1		174	20	5	105	4,0	9,0	66
C2	47-100						4,7		393	21	2	40	2,3	11,9	16
C3	100-						4,7		483	32	3	62	1,8	10,4	52
GNS	0-30	1,0	4,7	8,4	85,8	0,0									
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-

Ukrudtsbekæmpelsen er foretaget med Roundup (6 l/ha) i efteråret 1991 forud for plantningen. I foråret 1992 er der sprøjtet med Atrazin (5 l/ha), mens der i foråret 1993 og 1994 er sprøjtet med Velpar (5-6 l/ha). I 1997 er der endeligt sprøjtet med Folar (7 l/ha). Ukrudtsvegetationen var ensartet bestående af kanadisk bakkestjerne, dueurt samt pletvist agersnerle og bjergørhvene. Bjergørhvene og græs har efterfølgende givet visse problemer i de gødskede parceller (figur 10) - i kontrolparcellerne har der kun været meget sporadisk ukrudt.

Planterne var 25 cm høje og ensartede ved forsøgets etablering. Der var spredt over arealet enkelte misfarvede og udgåede planter. Planterne havde gennemgående sat små topkud i 1993. Efter opgørelsen i efteråret 1997 overgik forsøget til anden forsøgsrække anvendelse. Der blev ikke taget juletræer i perioden frem til forsøgets afslutning i 1997.



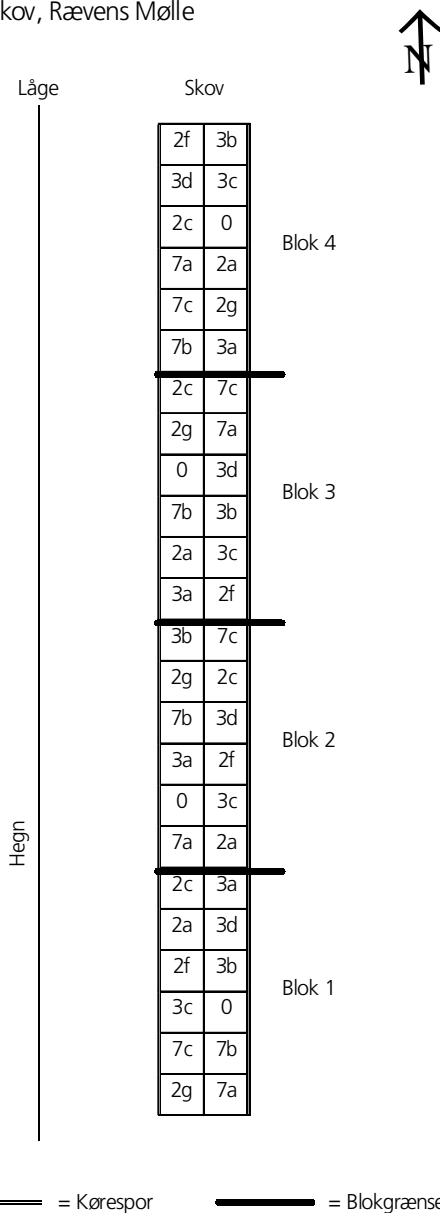
Figur 10 Forsøget i Fællesskoven ved Jægerspris den 2/12 1997. I forgrunden de ubehandlede træer, i baggrunden en mere velgødet behandling. (Foto: Claus Jerram Christensen).

## Clausholm

Forsøget ligger ved Mygind Skov - Rævens Mølle i det nordøstlige hjørne (UTM 32 E573224 m, N6248736 m). Forsøget afviger ved, at hver behandling kun repræsenteres ved 16 træer pr. gentagelse. Arealet er gammel agermark, og lettere bakket med hældning mod syd. Mod nord er der læ fra gammel bøgeskov, mod vest er der læhegn, mens der mod syd og øst er ensaldrende nordmannsgran (figur11). Der er hegned mod råvildt. Forsøget er ikke frostudsat.

Kulturen blev plantet i foråret 1990 med 2/1 Ambrolauri planter på 1,2×1,2 meter med 10 rækker mellem sprøjtesporene.

Clausholm Skovdistrikt  
v./ Mygind Skov, Rævens Mølle



Figur 11. Forsøgsanlægget på Clausholm.

Tabel 6. Jordens mekaniske- og kemiske sammensætning på Clausholm. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

Haplic luvisol Horisont betegn.	dybde cm	Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi								
		humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %
A1	0-5						4,9	0,9	192	185	72	883	10,0	14,8	95
A2	5-30						5,9	0,8	173	83	92	1282	13,2	0,8	99
Bt1	30-60						5,9	0,1	107	58	97	1635	19,9	0,8	99
Bt2	60-75						5,9	0,1	123	51	107	1512	20,2	1,0	98
Bt3	75-						6,0	0,1	162	52	223	1423	22,1	1,4	98
GNS	0-30	1,6	14,0	20,0	64,8	0,0									
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-

Jordbunden er en næringsrig moræneaflejring med høje koncentrationer af K og Mg (tabel 6). Jorden er knapt så veldrænet. Der er bredgødsket i foråret 1992 og 1993 med hhv. 150 kg/ha og 200 kg/ha begge gange med NPK 23-3-7.

Ukrudtsbekæmpelse blev i 1990 foretaget med Atrazin (3-4 l/ha) og i 1991-92 med både Atrazin (3-4 l/ha/år) og Velpar (3 l/ha/år). Fra 1992 og frem til forsøgets afslutning i 1997 har den årlige behandling været Karmex (1 kg/ha) og Gardoprim (4 l/ha). Der har ikke været ukrudtsproblemer i forsøgsperioden.

Ved forsøgets anlæg i 1993 var der kun sporadisk ukrudt og planterne var ca. 45 cm høje med pæne topkud i 1993. Der er høstet træer første gang i 1997. Juletræshugsten påvirker dog ikke resultaterne, idet hugsten fandt sted efter opgørelsestidspunktet i 1997, hvorefter forsøget blev nedlagt.

## Fasterlund

Forsøget ligger i Erling Nygårds plantage afdeling 1c i den nordlige del af kulturen (UTM 32 E475954 m, N6207846 m). Forsøget afviger ved, at hver behandling kun repræsenteres ved 16 træer pr. gentagelse. Arealet er gammel agerjord (hvede) og helt fladt. Der er ca. 6 meter høje læhegn af sitkagran mod øst og vest, men ingen læ fra nord og syd (figur 12). Der er ikke hegn mod råvildt, men der har ikke været bidskader i forsøget. Forsøget er ikke frostudsat.

Kulturen blev plantet til i foråret 1990 med 2/1 planter af Ambrolauri proveniens på 1×1 meter og 10 rækker mellem sprøjtesprorene.

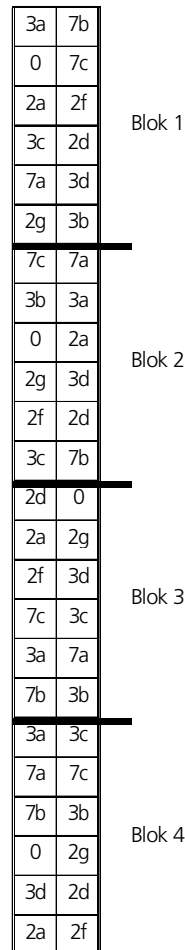
Jordbunden i Fasterlund er moræneler med høje koncentrationer af P og K (tabel 7). Jorden har et højt pH og stort indhold af Ca, hvilket giver en høj basemætning. Det høje siltindhold gør, at jorden er knap så veldrænet. Der i 1991, 1992 og 1993 bredgødsket med 400 kg NPK 21-4-10/ha/år.



Fasterlund  
Erling Nygårds Planttage, afd. 1c

Gård

Asfaldtvej



===== = Kørespor

————— = Blokgrænser

Figur 12. Forsøgsanlægget i Fasterlund.

Ukrudtsbekæmpelsen var med Roundup (3-4 l/ha) i efteråret 1990, herefter Atrazin (3-4 l/ha) og Karmex (2 kg/ha) i foråret 1992. I 1993 ligeledes 2 kg Karmex/ha og i 1994 Karmex (2 kg/ha) og Roundup (1 l/ha) samt Matrigon (1,5 l/ha). I 1995 Velpar (3 l/ha) og Karmex (2 kg/ha), i 1996 igen Karmex (2 kg/ha). I 1997 en blanding af Roundup (1,5 l/ha) og Flexidor (0,75 l/ha). Renholdelsen har været tilstrækkelig i forsøgsperioden.

Ved anlægget i 1993 var ukrudtet ensartet og ca. 5 cm højt. Planterne var ca. 45 cm høje og bundklippet i 1993. Der blev høstet få juletræer første gang i 1995 (21 træer), hvorefter der blev genindplantet i foråret 1996 (løbende indplantning). I 1996 var høsten meget kraftig (232 træer) og efterlod i visse parceller kun få af de oprindelige træer tilbage. I foråret 1997 var der igen genindplantet.

Tabel 7. Jordens mekaniske- og kemiske sammensætning på Fasterlund. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

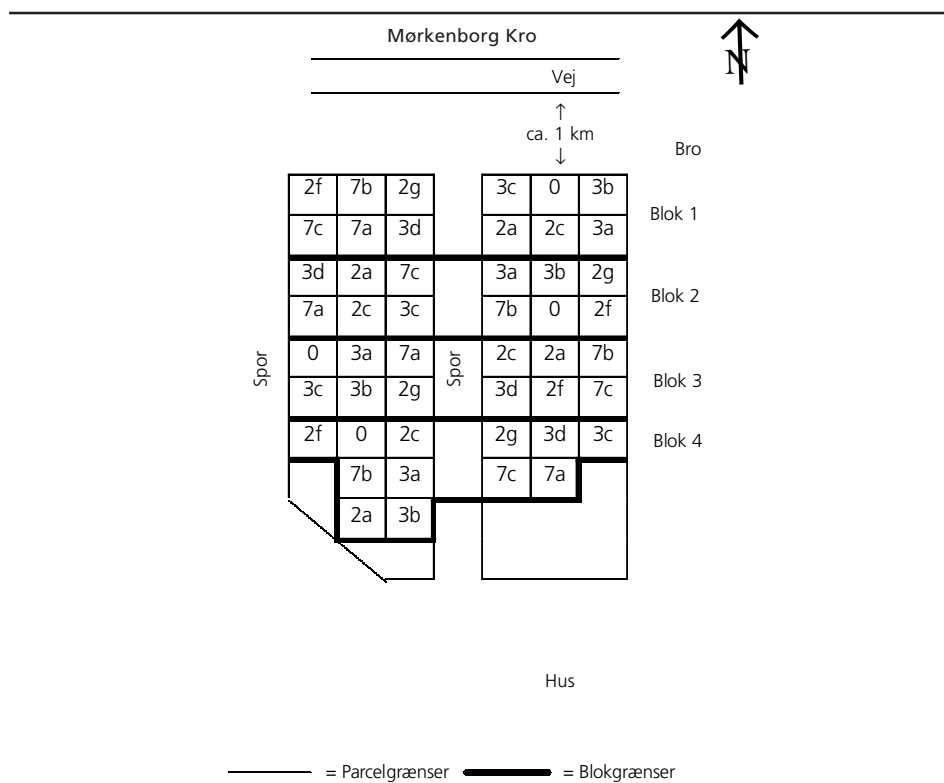
Eutric podzol Horisont betegn.	dybde cm	Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi								
		humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %
A1	0-8						6,5	2,2	378	138	61	2272	12,7	0,4	100
A2	8-33						6,9	2,3	423	86	64	2724	15,0	0,5	100
Bs	33-51						6,4	1,0	195	76	42	1245	16,1	0,5	100
C1	51-75						6,4	0,1	62	78	11	394	6,1	0,6	100
C2	75-						6,2	0,1	80	198	9	538	4,1	0,4	98
GNS	0-30	4,1	6,7	38,0	50,9	0,0									
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-

## Veflinge

Forsøget ligger hos Bakkehuset i Stillebæk afdeling V - den sydvestlige ende af kulturen (UTM 32 E571833 m, N6245098 m). Arealet er gammel agermark, som hælder mod syd. Mod vest er der læ fra ældre skov, mod de øvrige verdenshjørner er der ensaldrende nordmannsgran (figur 13). Der er hegnat mod råvildt. Der er ikke betydende frostrisiko på arealet.

Kulturen blev tilplantet i foråret 1990 med 2/1 Ambrolauri planter på 1×1 meter med 16 rækker mellem sprøjtesporene.

Jordbunden er næringsrig med et betragteligt lerindhold og en høj Mg-koncentration (tabel 8). Jordens pH er intermediær og basemætningen er høj pga. et forholdsvis højt indhold af Ca. Dræningsforholdene er moderate



Figur 13. Forsøgsanlægget i veflinge

som følge af det betragtelige lerindhold. Der er bredgødsket i foråret 1992 med NPK 14-4-17 (300 kg/ha) og i foråret 1993 med NPK 23-3-7 (300 kg/ha).

Der blev ikke foretaget nogen forudgående ukrudtsbekæmpelse inden anlægget, men i 1991 blev der brugt Kerb (4 kg/ha) og Gesaprim (10 l/ha). I 1992-95 blev der brugt Velpar (5-6 l/ha/år). I 1996 blev der brugt Gardoprim (6 l/ha) og i 1997 Karbetamex (3 kg/ha) udbragt med Microherbi. Renholdelsen har været meget effektiv, og har på den kuperede del af forsøget bidraget til skyllerender og jorderosion.

Ved forsøgsanlæggelsen var ukrudtsvegetation ca. 15 cm høj og ensartet i køresporene, men helt fraværende i parcellerne (figur 14). Planterne var ca. 40 cm høje ved forsøgsanlægget i 1993. Allerede inden den første totalopgørelse i efteråret 1995 blev der skovet et stort antal "baby"juletræer - yderligere juletræshøst forekom ikke i forsøgsperioden frem til og med 1997.

I august 1997 havde ejeren selv foretaget pletvis farvegødskning på hele arealet og farvegødsknings aspektet måtte derfor udelades på denne lokalitet i 1997. En hurtig opgørelse (3-4 dage efter ejerens farvegødskning) sikrede resultaterne fra de øvrige behandlinger.



Figur 14 Forsøget i Veflinge den 1/7 1994. Bemærk udkrudtet i køresporene, mens der er helt renholdt mellem træerne. (Foto: Lars Kjærbølling)

Tabel 8. Jordens mekaniske- og kemiske sammensætning på Veflinge. BS henviser til basemætningen, øverst t.v. i tabellen er angivet jordbundstypen efter FAO. Plantedirektoratet henviser til de vejledende værdier for landbrugsproduktion.

Eutric gleysol		Jordens teksturelle sammensætning					Jordbundskemi								
Horisont betegn.	dybde cm	humus %	ler %	silt %	sand %	kalk %	pH CaCl <sub>2</sub>	C %	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Na mg/kg	Al mg/kg	BS %
Ap	0-25						5,3	0,9	109	158	71	1192	7,7	3,5	98
B1tg	25-48						5,6	0,4	28	77	123	1985	16,7	1,1	99
B2tg	48-80						5,5	0,2	45	74	139	1712	16,6	1,2	98
B/C	80-115						5,4	0,1	63	73	183	1575	17,4	1,7	98
Cg	115-						5,4	0,1	64	120	492	2987	28,4	4,4	98
GNS	0-30	1,6	13,8	23,8	60,5	0,0									
Plantedirektoratet							-	-	120-240	70-100	40-80	500-5000	5-20	-	-

# Bilag 2. Deklarering af de anvendte gødningstyper

Betegnelse	NPK 23-3-7	NPK 14-3-18	NPK 25-2-9	NPKS 19-2-4-2	NPKS 10-2-8-1	NPKS 10-2-12-9	NPKS 27-0-0-4	Kalkammonsalpeter	Svovlsurramoniak	Grøn Binadan
Fabrikant	Kemira	Kemira	Kemira	Dangødhing	Dangødhing	Dangødhing	Dangødhing	Kemira	Kemira	Binadan AVS
Konsistens	Fast	Fast	Fast	Flydende, pH=6,7	Flydende, pH=6,8	Flydende, pH=7,0	Flydende, pH=7,9	Fast	Fast	Fast
Form	Granuleret	Granuleret	Granuleret	VF=1,23 -trykfri	VF=1,20 -trykfri	VF=1,33 -trykfri	VF=1,29 -trykfri	Granuleret	Pulver	Granuleret
Total N	22,6%	14,0%	24,6%	18,7%	9,7%	10,0%	26,7%	27,0%	21,0%	16,0%
Nitrat N	11,9%	9,4%	11,2%	1,2%	1,8%		6,2%	13,5%		
Ammonium N	10,7%	4,6%	13,4%	3,1%	3,1%	1,4%	8,1%	13,5%		
Amid N				14,4%	4,8%	8,6%	12,4%			
Citrat- og vandopløselig P	2,7%	3,0%	1,8%							
Citrat opløselig P										2,8%
Vandopløselig P	1,9%	2,1%	1,3%	1,7%	1,7%	1,7%				
Vandopløselig K	6,6%	17,6%	8,6%	3,7%	7,7%	11,9%				8,1%
Total S	2,9%	4,6%	2,4%							
Vandopløselig S	2,6%	4,1%	2,2%	1,7%	0,6%	9,4%	3,7%		24,0%	
Total Mg	1,6%	1,0%						2,7%		
Vandopløselig Mg	1,4%	0,9%						4,7%		0,4%
Total Ca										
Total Cu	0,1%	0,1%								
Total B	0,020%	0,020%								
Vandopløselig B	0,017%	0,017%								
Vandopløselig Na										0,2%
Bemærkninger	> 2% Cl	> 2% Cl				kun i 1997-klarfri	klarfri			Organisk, beriget

# Bilag 3a. Målemetoder

## Træets højde

Måles i cm fra jorden til topknoppen, eller hvis denne mangler til træets højeste levende punkt.

Et dødt træ tildeles værdien <0>, er træet tydeligvis fjernet f.eks. ved hugst af spor tildeles værdien <->, og pågældende planteplads udgår af beregningerne. Skæve træer måles lodret fra øverste levende punkt til jordoverfladen.

## Topskudslængde

Måles i hele cm fra øverste grenkrans til topknoppens spids.

Mangler topskuddet eller er det tydeligt beskadiget tildeles værdien <0>. Ved analyse af årets tilvækst fjernes disse.

## Sideknopper i topknop

Antallet af sideknopper i topknoppen tælles i stk.

Topknoppen defineres, hvor den ikke er tydelig, til topskuddets øverste 5 cm. Alle knopper (undtaget selve topknoppen) på dette stykke tælles med.

## Grene i øverste krans

Antallet af grene i øverste grenkrans opgøres.

Grenkransen begrænses af et 5 cm bredt stykke omkring centrum af grenkappe-fortykkelsen, således at velvoksne internodie "grene" kan substituere en eventuelt manglende grenkransgren. Hvor to "grene" sidder lige over hinanden, tælles kun den ene med. Typiske Sankt Hansskuds grene tælles *ikke* med. Udgøres grenkransen udelukkende af Sankt Hansskuds grene sættes værdien af antal grene i øverste grenkrans som <->.

## Sideskudslængde i øverste grenkrans

Måles i hele cm fra stammen til spidsen af hovedknoppen på sideskuddet.

Opgørelsen finder kun sted på et mindre antal træer.

## Internodieskud mellem 1. og 2. grenkrans: (fra 1996)

Antallet af stammeinternodier tælles på stammen mellem 1. og 2. grenkrans. Små internodiekviste placeret indenfor en afstand +/- 2 cm fra grenkransens midte tælles ikke med. Kan 1. og/eller 2. grenkrans ikke identificeres sættes stammeinternodierne til <->.

## Stammediameter

Måles på stammen midt mellem grenkransene fra 1993 og 1994 i mm. Opgørelsen finder kun sted på et mindre antal træer.

## Farve

Farve scores på anden grenkrans, dette års sideskud. Tre referencekviste vælges i 2.grenkrans - dette års sideskud: En gennemsnitlig grøn, en gulgrøn og en mørkegrøn kvist vælges, og træerne hvorfra de er taget afmærkes. Der anvendes særskilte referencekviste på de enkelte forsøg i forsøgsserien. Hvis de bliver slidte tages tilsvarende nye kviste fra tilsvarende gren på samme træ. Referencekvistene hjemtages med henblik på farvebestemmelse efter Munchells Color Charts for Plant Tissues ved FSL hurtigst

muligt. Indtil farvebestemmelse kan finde sted, opbevares kvistene i køleskab i en plastpose.

Der scores i 7 (8) kategorier:

0. Misfarvet. Rød.
1. Mere gul end gulgrønne referencekvist.
2. Som gulgrøn referencekvist.
3. Mellem gulgrønne og grønne referencekvist.
4. Gennemsnitlig (ligner gennemsnitlige referencekvist).
5. Mellem gennemsnitlig og mørkegrøn referencekvist.
6. Mørkegrøn (Som mørkegrønne referencekvist).
7. Mere mørkegrøn en mørkegrønne referencekvist.

### Nålelængde

Længste nål på sydvendt årsskud af første orden i 2. grenkrans

Måles i mm fra nålebasis til nålespids. Længste nål opsøges visuelt (normalt midt på skudet).

### Skade

Det vurderes subjektivt, om træet er skadet på en skala fra 0 til 10. Alle former for skader registreres. Formålet er at kunne udelukke beskadigede træer af den senere analyse. Hvis en særlig skadetype, f. eks. røde nåle eller nålefald, optræder hyppigt, og der er mulighed for, at skadens opståen eller omfang har relation til forsøgets behandling, gennemføres en selvstændig opgørelse af dette fænomen.

0 gives til det helt uskadede træ. 1-3 gives til det let skadede træ, dvs. træer, hvor det skønnes at skaden er uden praktisk eller økonomisk betydning. 4-6 gives til træer, hvor skaden forventes at reducere udbyttet/forsinke høsten og dermed øve indflydelse på økonomien i dyrkningen. 7-9 gives til svært skadede træer, hvor økonomien påvirkes drastisk. 10 gives til det helt døde træ. Beskadiget topskud medfører altid karakteren 5.

### Vitalitet

Træets vitalitet vurderes subjektivt på en skala fra 1 til 5. Formålet med vitalitetskarakteren er at beskrive træets habitus subjektivt. Det ”middelsunde” træ tildeles karakteren 3. Karakteren 1 gives til tydeligt svækkede træer. Karakteren 5 gives til det usædvanligt frodige træ. I vurdering indgår knopstørrelse og skudtykkelse og indirekte også farve.

### Juletræsegenthed: (fra 1996)

Træernes egenhed til juletræer vurderes ud fra nedenstående skelet - scoringsskala, hvor fejlenes numre noteres under indtastningen - f.eks. <139> for topfejl, fejl i 1./2.grenkrans og mekanisk skadet. Såfremt et træ måtte have samtlige juletræsfejl skrives blot <alle>. Skulle træet være fejlfrit skrives <0>.



1. Topfejl, dvs. aksebrud eller tveger indenfor de sidste to vækstsæsoner.
2. To eller flere ligeværdige toppe som resultat af topfejl der ligger mere end to år tilbage.  
To toppe er ligeværdige, når den mindstes topknop er placeret mellem 1/2 træhøjde og topknop på den største.
3. Manglende grene i 1. eller 2. grenkrans som medfører asymmetri.  
Ved 3 grene er kransen asymmetrisk når største vinkel er over 160 grader, ved 4 grene eller derover når største vinkel er over 135 grader. Kun en eller to grene giver altid fejl 3.
4. Manglende grene i 3. eller 4. grenkrans som medfører asymmetri.  
Ved 3 grene er kransen asymmetrisk når største vinkel er over 160 grader, ved 4 grene eller derover når største vinkel er over 135 grader. Kun en eller to grene giver altid fejl.  
4. grenkrans skal på ungt materiale, hvor 4.krans - vurderet på planten som helhed -er stærkt påvirket af ukrudt, scores som fejltipe 4 såfremt 4. grenkrans ikke kan erkendes eller er ukomplet.
5. For stor højdevækst, dvs. over 40 cm mellem grenkranse.
6. Betydende aksefejl der ligger mere end 2 år tilbage.  
En aksefejl regnes som betydende, når stammens øvre midtakse forskydes ud over siden på stammestykket nedenunder, således vil også udtalt "slange-vækst", hvor ingen egentlig topfejl findes, også kunne klassificeres under denne fejltipe.
7. Uens grenlængde der medfører asymmetri i de 4 øverste grenkranse.  
To grene er af uens længde når den korteste udgør mindre end 60% af længden af den længste gren. Hvor en internodie "gren" substituere en egentlig grenkransgren vil denne fejltipe være meget sandsynlig.
8. Nåletab i de øverste 3 grenkranse med en samlet længde på over i alt 30 cm skud.  
Nåletab på ældre "skelet-dele" såsom inderste kryds i 2. og 3. grenkrans medregnes også.
9. Mekaniske skader f.eks køreskader, fejning, bid, reoperationsklip m.v.  
Kan årsagen til reoperationsklippet fastslås (f.eks. to ligeværdige toppe, hvor den ene er fjernet), noteres den oprindelige fejltipe dvs. årsagen til, at der er foretaget reoperationsklip. Foruden den oprindelige fejltipe noteres fejltipe 9 for mekanisk skade.

## Bilag 3b. Prima-, sekund- og vrag-sortering

På baggrund af de viste skelet-fejltyper i bilag 3a, kan det enkelte træ grupperes som prima, sekund eller vrag.

**Prima:** Højest én mindre betydende fejl, dvs. én fejl blandt fejltyperne 4, 5, 6 eller 7.

**Sekunda:**

Enten: Højest en alvorlig fejl, dvs. én fejl blandt fejltyperne 1, 2 eller 3 og højest én fejl blandt de mindre betydende fejltyper 4, 5, 6, 7 eller 8.

Eller: Ingen alvorlige fejl og op til 3 mindre betydende fejl blandt fejltyperne 4, 5, 6, 7 eller 8.

**Vrag:** Træer, som har flere fejl end prima- og sekunda træerne.

For prima og sekunda gælder tillige, at træet skal have mindst 4 brugbare grenkranse.

Efter fordelingen til prima, sekunda og vrag er hvert træ tildelt priser og højdeklasser jf. Dansk Juletrædyrkerforenings vejledende prisliste for 2000 (Videnblad 10.1-2). Afviklingen af træerne har fulgt distriktets hugst, og hugsten i 1995 (som ikke er skeletvurderet) er fastsat som 50% prima, 50% sekunda.

Ved omregningen fra de parcelvise udbytte resultater er der regnet med en multiplikationsfaktor på 375 (7500 træer plantet/ha på arealet divideret med 20 træer pr. parcel).

## Bilag 4. Statistiske modeller

Alle data er vurderet vha. statistiske modeller, hvor der er anvendt varians-analyser, som beskrives i det følgende.

Til beregning af virkningerne fra de enkelte behandlinger er anvendt parcel-gennemsnittet for de 16-20 træer/behandling/blok. De otte lokaliteter er analyseret årsvist hver for sig med en to-sidet variansanalyse:

$$\text{MODEL 1: } Y = \mu + \text{beh.} + \beta + \varepsilon$$

hvor,

Y er den målte størrelse,

beh.(systematisk) behandlingsvirkning,

$\beta$  (systematisk) blokvirkning og

$\varepsilon$  tilfældig og normalfordelt variation.

Når hele datamaterialet i hver forsøgsserie skal analyseres, bruges en varians-analysemodel med vekselvirkning:

$$\text{MODEL 2: } Y = \mu + \text{lok.} + \text{blok(lok.)} + \text{beh.} + \text{beh.}\times\text{lok.} + \varepsilon$$

hvor,

lok. er lokalitetet,

blok(lok) er effekt af blok inden for lokalitet,

beh. er behandlingseffekt,

beh. $\times$ lok. er vekselvirkningen mellem behandling og lokalitet.

Lok., beh. og blok(lok) er systematiske effekter.

Når hele datamaterialet analyseres samlet og for hele forsøgsperioden (flere år) bruges en variansanalysemodel, som tager højde for gentagne målinger på de samme træer. Sidstnævnte opgørelse er overvejende foretaget på hver serie for sig pga. af den uens repræsentation af behandlingerne i de to serier.

Analysearbejdet er foregået i SAS 6.08-6.12 som GLM analyser uden transformationer af data. Analysen af årsvirkning er foretaget som GLM analyser under modifikationen nouni/repeated time. Der er foretaget test af modellernes forudsætninger. Varianshomogeniteten er vurderet ved at plote residualerne mod de predikterede værdier. Residualernes normalfordeling er testet ved et Kolomogorow D-test i proceduren UNIVARIATE.

I den efterfølgende beskrivelse af resultaterne er anvendt følgende terminologi med hensyn til signifikans niveauer:

- NS = Testvariablerne ikke forskellige.  
tendens = Testvariablerne forskellige med mindst 85% sandsynlighed.  
(\* ) = Testvariablerne forskellige med mindst 90% sandsynlighed.  
\* = Testvariablerne forskellige med mindst 95% sandsynlighed.  
\*\* = Testvariablerne forskellige med mindst 99% sandsynlighed.  
\*\*\* = Testvariablerne forskellige med mindst 99,9% sandsynlighed.

I teksten anføres LSD<sub>95%</sub> værdien, som udregnes som:

$$\text{MODEL 3: } \text{LSD}_{,95} = t_{,97,5} \times s \times (2/n)^{1/2}$$

hvor,

t = t-værdien for den pågældende fraktil (95%),

s = spredningen og

n = antal gentagelser af den undersøgte testvariabel.

I praksis angiver LSD<sub>95%</sub>-værdien den mindste signifikante forskel (95% sandsynlighed) mellem to middelværdier.

# Bilag 5. Faktiske farveværdier for referencekviste fordelt til år og lokaliteter

Oversigt over referencekvistenes faktiske værdier efter Munchells Color Charts for Plant Tissues

lokaltet	år	Gulgrøn referencekvist Farveværdi=2	Grøn referencekvist Farveværdi=4	Mørkegrøn referencekvist Farveværdi=6
Rye Nørskov	1994	2,5 GY 6/6	7,5 GY 5/6	2,5 G 4/4
	1995	2,5 GY 5/6	7,5 GY 4/6	2,5 G 3/4
	1996	2,5 GY 6/10	2,5 GY 5/8	5 GY 4/8
	1997	2,5 GY 5/8	5 GY 4/8	7,5 GY 4/4
Salten Langsø	1994	2,5 GY 6/6	7,5 GY 5/6	2,5 G 3/4
	1995	7,5 GY 5/6	-	2,5 G 4/4
	1996	2,5 GY 6/10	5 GY 4/8	7,5 GY 4/4
	1997	2,5 GY 5/8	5 GY 4/8	7,5 GY 4/4
Hastrup Skov	1994	2,5 GY 6/6	7,5 GY 5/6	2,5 G 3/4
	1995	2,5 GY 5/6	7,5 GY 4/6	2,5 G 3/4
	1996	2,5 GY 5/8	5 GY 5/6	7,5 GY 4/4
	1997	5 GY 5/10	7,5 GY 4/6	2,5 G 4/4
	1998	2,5 GY 6/10	5 GY 4/8	7,5 GY 4/4
Paludans planteskole	1994	2,5 GY 6/6	7,5 GY 5/6	2,5 G 3/4
	1995	2,5 GY 5/6	7,5 GY 4/4	7,5 GY 3/4
	1996	2,5 GY 6/10	5 GY 5/6	7,5 GY 4/6
	1997	2,5 GY 6/6	5 GY 4/6	7,5 GY 3/4
	1998	2,5 GY 6/10	5 GY 4/6	7,5 GY 5/4
Jægerspris	1994	2,5 GY 7/8	7,5 GY 5/6	2,5 G 3/4
	1995	2,5 GY 5/6	7,5 GY 4/6	7,5 GY 3/4
	1996	2,5 GY 6/6	5 GY 5/6	7,5 GY 4/4
	1997	2,5 GY 7/8	5 GY 5/6	5 GY 4/8
Clausholm	1994	2,5 GY 7/8	7,5 GY 5/6	2,5 G 3/4
	1995	2,5 GY 6/8	2,5 GY 5/6	7,5 GY 4/6
	1996	5 GY 6/8	5 GY 5/10	7,5 GY 4/4
	1997	2,5 GY 6/6	5 GY 4/8	7,5 GY 3/4
Fasterlund	1994	2,5 GY 7/8	7,5 GY 5/6	2,5 G 3/4
	1995	7,5 GY 5/6	7,5 GY 4/6	7,5 GY 3/4
	1996	5 GY 4/8	7,5 GY 4/6	7,5 GY 4/4
	1997	5 GY 4/8	7,5 GY 3/4	5 G 3/4
Veflinge	1994	2,5 GY 7/6	7,5 GY 5/6	7,5 GY 4/6
	1995	2,5 GY 5/6	7,5 GY 5/4	7,5 GY 4/4
	1996	2,5 GY 5/8	5 GY 5/6	7,5 GY 4/6
	1997	5 GY 6/8	7,5 GY 5/6	2,5 G 4/4

Fasterlund udviser i særlig grad en grøn farve, der i hele forsøgsperioden lå over gennemsnittet. Fasterlund kendetegnes i øvrigt af meget små farveforskelle mellem de forskellige behandlinger, et forhold der også ses af nåleanalyserne, hvor 4 års behandling ikke giver forskelle i nålenes koncentration af N.

# Bilag 6a. Næringsstofkoncentrationer

Table 1. Næringsstofkoncentrationer i nåle fordelt til lokaliteter og behandlinger i 1997.

År=1997 Lokalitet	Dosering kg N/ha/år	Type NPK (tidspunkt)	N %	P %	K %	S %	Mg %	Ca %	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Na mg/kg	nålevægt g/100 nåle	
Rye Nørskov	0	kontrol	1,46	0,15	0,82	0,13	0,09	0,53	48	72	24	116	1,07	
	69	14-3-18-forår	1,64	0,16	0,90	0,14	0,09	0,56	69	102	28	38	1,11	
	69	23-3-7-forår	1,66	0,17	0,83	0,14	0,08	0,57	62	79	25	51	1,30	
	69	23-3-7-sommer	1,53	0,15	0,76		0,10	0,55		86			1,20	
	69	27-0-0-forår	1,66	0,17	0,70	0,14	0,08	0,62	66	64	27	55	1,41	
	138	14-3-18-forår	1,78	0,15	0,93	0,14	0,07	0,55	63	93	22	44	1,13	
	138	23-3-7-forår	1,72	0,16	0,76	0,14	0,08	0,65	68	66	33	51	1,38	
	138	23-3-7-split	1,69	0,16	0,81	0,13	0,07	0,54	57	85	23	83	1,14	
	207	23-3-7-forår	1,80	0,16	0,86		0,09	0,58		140			1,07	
	276	23-3-7-forår	1,79	0,16	0,87	0,14	0,08	0,49	66	139	21	90	1,39	
	Salten Langsø	0	kontrol	1,08	0,20	0,85	0,11	0,08	0,44	55	170	25	75	0,88
		35	23-3-7-forår	1,34	0,20	0,97	0,13	0,07	0,39	66	336	29	103	0,96
		69	14-3-18-forår	1,52	0,19	1,05	0,13	0,08	0,51	67	424	37	30	0,97
69		23-3-7-forår	1,53	0,20	0,84	0,12	0,09	0,51	84	258	37	99	1,05	
69		23-3-7-sommer	1,60	0,20	0,80		0,08	0,45		317			1,02	
69		27-0-0-forår	1,42	0,19	0,63	0,12	0,09	0,47	92	220	31	30	1,02	
138		14-3-18-forår	1,63	0,20	0,95	0,15	0,07	0,49	81	455	40	34	1,03	
138		23-3-7-forår	1,56	0,17	0,73	0,12	0,06	0,36	72	343	26	35	1,12	
138		23-3-7-split	1,50	0,19	0,84	0,14	0,07	0,48	72	604	35	108	1,33	
207		23-3-7-forår	1,75	0,16	0,82		0,08	0,46		631			0,94	
276		23-3-7-forår	1,70	0,23	0,92	0,14	0,08	0,48	86	283	34	53	1,14	
Hastrup Skov		0	kontrol	1,19	0,16	0,54	0,10	0,09	0,62	49	68	21	120	0,59
		35	23-3-7-forår	1,31	0,14	0,51	0,11	0,10	0,58	60	79	20	152	0,76
	69	14-3-18-forår	1,47	0,14	0,55	0,12	0,10	0,81	81	111	34	27	0,72	
	69	23-3-7-forår	1,46	0,13	0,56	0,12	0,10	0,62	69	124	20	137	0,95	
	69	23-3-7-sommer	1,38	0,14	0,46		0,10	0,60		115			0,66	
	69	21-0-0-forår	1,40	0,15	0,48	0,11	0,09	0,61	70	286	42	24	0,92	
	138	14-3-18-forår	1,69	0,16	0,64	0,13	0,08	0,63	62	303	49	26	0,81	
	138	23-3-7-forår	1,74	0,15	0,58	0,13	0,10	0,71	64	257	24	40	0,81	
	138	23-3-7-split	1,74	0,15	0,63	0,14	0,09	0,60	66	191	20	143	1,00	
	207	23-3-7-forår	1,81	0,14	0,63		0,11	0,81		353			0,79	
	276	23-3-7-forår	1,80	0,16	0,85	0,14	0,10	0,59	64	602	22	140	1,05	
	Paludans Planteskole	0	kontrol	0,86	0,15	0,83	0,08	0,07	0,34	49	44	11	34	0,54
		69	14-3-18-forår	1,25	0,13	0,70	0,12	0,07	0,33	61	52	12	18	0,75
69		23-3-7-forår	1,31	0,14	0,57	0,10	0,08	0,43	49	34	13	71	0,78	
69		23-3-7-sommer	1,34	0,14	0,74		0,08	0,46		47			0,69	
69		21-0-0-forår	1,21	0,12	0,46	0,12	0,07	0,44	58	36	13	17	0,80	
138		14-3-18-forår	1,62	0,14	0,56	0,13	0,08	0,54	54	36	14	14	0,92	
138		23-3-7-forår	1,58	0,13	0,49	0,12	0,07	0,52	53	26	12	17	0,97	
138		23-3-7-split	1,48	0,14	0,65	0,12	0,07	0,36	44	25	12	100	1,07	
207		23-3-7-forår	1,49	0,14	0,71		0,09	0,52		52			0,69	
276		23-3-7-forår	1,62	0,14	0,58	0,12	0,08	0,49	48	35	12	105	0,87	



Tabel 1. (fortsat). Næringsstofkoncentrationer i nåle fordelt til lokaliteter og behandlinger i 1997.

År=1997 Lokalitet	Dosering kg N/ha/år	Type NPK (tidspunkt)	N %	P %	K %	S %	Mg %	Ca %	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Na mg/kg	nålevægt g/100 nåle
Jægerspris	0	kontrol	0,95	0,17	0,48	0,09	0,06	0,28	60	236	13	48	0,63
	51	23-3-7-farve	1,55	0,17	0,48	0,12	0,08	0,43	46	517	25	41	0,79
	51	27-0-0-farve	1,19	0,16	0,51	0,09	0,08	0,35	45	232	18	41	0,82
	69	23-3-7-forår	1,38	0,17	0,62	0,12	0,09	0,44	67	366	26	29	0,86
	69	27-0-0-forår	1,30	0,15	0,38	0,10	0,09	0,41	57	394	20	37	0,75
	104	16-3-8-forår	1,52	0,17	0,59	0,12	0,08	0,38	55	329	23	34	0,86
	104	19-2-4-forår	1,45	0,18	0,42	0,12	0,08	0,43	74	704	24	30	0,73
	104	23-3-7-forår	1,74	0,16	0,52	0,13	0,08	0,39	63	676	25	25	0,86
	104	25-2-9-forår	1,80	0,16	0,47	0,13	0,07	0,40	65	783	25	30	0,79
Clausholm	0	kontrol	1,07	0,15	0,62	0,09	0,08	0,39	47	78	18	20	0,94
	51	23-3-7-farve	1,52	0,14	0,53	0,12	0,09	0,45	46	101	24	19	1,20
	51	21-0-0-farve	1,38	0,14	0,62	0,11	0,07	0,39	48	96	21	15	1,17
	69	23-3-7-forår	1,50	0,15	0,52	0,12	0,07	0,35	103	105	23	23	1,10
	69	27-0-0-forår	1,44	0,13	0,53	0,11	0,08	0,41	62	158	40	23	1,19
	104	16-3-8-forår	1,58	0,13	0,63	0,12	0,08	0,39	58	93	23	16	1,24
	104	19-2-4-forår	1,46	0,13	0,59	0,11	0,07	0,36	97	124	22	24	1,04
	104	23-3-7-forår	1,58	0,15	0,61	0,12	0,06	0,34	60	95	18	23	1,16
104	25-2-9-forår	1,74	0,16	0,75	0,13	0,07	0,42	68	425	25	17	1,00	
Fasterlund	0	kontrol	1,73	0,20	0,90	0,13	0,08	0,45	59	157	50	49	1,09
	51	23-3-7-farve	1,71	0,16	0,81	0,14	0,09	0,50	62	148	39	32	0,98
	51	27-0-0-farve	1,71	0,17	0,83	0,12	0,06	0,38	61	97	32	45	1,21
	69	23-3-7-forår	1,60	0,16	0,86	0,13	0,07	0,38	62	141	30	42	1,17
	69	27-0-0-forår	1,69	0,17	0,89	0,13	0,07	0,42	59	169	36	42	1,17
	104	16-3-8-forår	1,74	0,17	1,02	0,13	0,06	0,37	76	165	38	39	1,13
	104	19-2-4-forår	1,66	0,16	0,81	0,12	0,06	0,35	65	168	32	25	0,95
	104	23-3-7-forår	1,69	0,15	0,85	0,14	0,08	0,46	53	239	34	58	1,10
104	25-2-9-forår	1,66	0,17	0,85	0,12	0,06	0,35	60	179	31	36	1,04	
Ravnsbæk, 1989abc			1,6-2,0	0,16-0,2	0,5-0,9		0,06-0,10	0,1-0,5	45-200	50-250	15-50		

# Bilag 6b. Næringsstofkoncentrationer og behandlinger

Tabel 1. Forhold mellem næringsstofkoncentrationer i nåle fordelt til lokaliteter og behandlinger i 1997.

År=1997 Lokalitet	Dosering kg N/ha/år	Type NPK (tidspunkt)	P/N	K/N	S/N	Mg/N	Ca/N	Fe/N	Mn/N	Zn/N	Na/N
Rye Nørskov	0	kontrol	0,10	0,56	0,09	0,06	0,36	0,33	0,49	0,16	0,79
	69	14-3-18-forår	0,10	0,55	0,09	0,05	0,34	0,42	0,62	0,17	0,23
	69	23-3-7-forår	0,10	0,50	0,08	0,05	0,34	0,37	0,48	0,15	0,31
	69	23-3-7-sommer	0,10	0,50		0,07	0,36	0,00	0,56		
	69	27-0-0-forår	0,10	0,42	0,08	0,05	0,37	0,40	0,39	0,16	0,33
	138	14-3-18-forår	0,08	0,52	0,08	0,04	0,31	0,35	0,52	0,12	0,25
	138	23-3-7-forår	0,09	0,44	0,08	0,05	0,38	0,40	0,38	0,19	0,30
	138	23-3-7-split	0,09	0,48	0,08	0,04	0,32	0,34	0,50	0,14	0,49
	207	23-3-7-forår	0,09	0,48		0,05	0,32	0,00	0,78		
	276	23-3-7-forår	0,09	0,49	0,08	0,04	0,27	0,37	0,78	0,12	0,50
	Salten Langsø	0	kontrol	0,19	0,79	0,10	0,07	0,41	0,51	1,57	0,23
35		23-3-7-forår	0,15	0,72	0,10	0,05	0,29	0,49	2,51	0,22	0,77
69		14-3-18-forår	0,13	0,69	0,09	0,05	0,34	0,44	2,79	0,24	0,20
69		23-3-7-forår	0,13	0,55	0,08	0,06	0,33	0,55	1,69	0,24	0,65
69		23-3-7-sommer	0,13	0,50		0,05	0,28	0,00	1,98		
69		27-0-0-forår	0,13	0,44	0,08	0,06	0,33	0,65	1,55	0,22	0,21
138		14-3-18-forår	0,12	0,58	0,09	0,04	0,30	0,50	2,79	0,25	0,21
138		23-3-7-forår	0,11	0,47	0,08	0,04	0,23	0,46	2,20	0,17	0,22
138		23-3-7-split	0,13	0,56	0,09	0,05	0,32	0,48	4,03	0,23	0,72
207		23-3-7-forår	0,09	0,47		0,05	0,26	0,00	3,61		
276		23-3-7-forår	0,14	0,54	0,08	0,05	0,28	0,51	1,66	0,20	0,31
Hastrup Skov	0	kontrol	0,13	0,45	0,08	0,08	0,52	0,41	0,57	0,18	1,01
	35	23-3-7-forår	0,11	0,39	0,08	0,08	0,44	0,46	0,60	0,15	1,16
	69	14-3-18-forår	0,10	0,37	0,08	0,07	0,55	0,55	0,76	0,23	0,18
	69	23-3-7-forår	0,09	0,38	0,08	0,07	0,42	0,47	0,85	0,14	0,94
	69	23-3-7-sommer	0,10	0,33		0,07	0,43	0,00	0,83		
	69	21-0-0-forår	0,11	0,34	0,08	0,06	0,44	0,50	2,04	0,30	0,17
	138	14-3-18-forår	0,09	0,38	0,08	0,05	0,37	0,37	1,79	0,29	0,15
	138	23-3-7-forår	0,09	0,33	0,07	0,06	0,41	0,37	1,48	0,14	0,23
	138	23-3-7-split	0,09	0,36	0,08	0,05	0,34	0,38	1,10	0,11	0,82
	207	23-3-7-forår	0,08	0,35		0,06	0,45	0,00	1,95		
	276	23-3-7-forår	0,09	0,47	0,08	0,06	0,33	0,36	3,34	0,12	0,78
Paludans Planteskole	0	kontrol	0,17	0,97	0,09	0,08	0,40	0,57	0,51	0,13	0,40
	69	14-3-18-forår	0,10	0,56	0,10	0,06	0,26	0,49	0,42	0,10	0,14
	69	23-3-7-forår	0,11	0,44	0,08	0,06	0,33	0,37	0,26	0,10	0,54
	69	23-3-7-sommer	0,10	0,55		0,06	0,34	0,00	0,35		
	69	21-0-0-forår	0,10	0,38	0,10	0,06	0,36	0,48	0,30	0,11	0,14
	138	14-3-18-forår	0,09	0,35	0,08	0,05	0,33	0,33	0,22	0,09	0,09
	138	23-3-7-forår	0,08	0,31	0,08	0,04	0,33	0,34	0,16	0,08	0,11
	138	23-3-7-split	0,09	0,44	0,08	0,05	0,24	0,30	0,17	0,08	0,68
	207	23-3-7-forår	0,09	0,48		0,06	0,35	0,00	0,35		
	276	23-3-7-forår	0,09	0,36	0,07	0,05	0,30	0,30	0,22	0,07	0,65

Tabel 1. (fortsat). Forhold mellem næringsstofkoncentrationer i nåle fordelt til lokaliteter og behandlinger i 1997.

År=1997 Lokalitet	Dosering kg N/ha/år	Type NPK (tidspunkt)	P/N	K/N	S/N	Mg/N	Ca/N	Fe/N	Mn/N	Zn/N	Na/N
Jægerspris	0	kontrol	0,18	0,51	0,09	0,06	0,29	0,63	2,48	0,14	0,51
	51	23-3-7-farve	0,11	0,31	0,08	0,05	0,28	0,30	3,34	0,16	0,26
	51	27-0-0-farve	0,13	0,43	0,08	0,07	0,29	0,38	1,95	0,15	0,34
	69	23-3-7-forår	0,12	0,45	0,09	0,07	0,32	0,49	2,65	0,19	0,21
	69	27-0-0-forår	0,12	0,29	0,08	0,07	0,32	0,44	3,03	0,15	0,28
	104	16-3-8-forår	0,11	0,39	0,08	0,05	0,25	0,36	2,16	0,15	0,22
	104	19-2-4-forår	0,12	0,29	0,08	0,06	0,30	0,51	4,86	0,17	0,21
	104	23-3-7-forår	0,09	0,30	0,07	0,05	0,22	0,36	3,89	0,14	0,14
	104	25-2-9-forår	0,09	0,26	0,07	0,04	0,22	0,36	4,35	0,14	0,17
	Clausholm	0	kontrol	0,14	0,58	0,08	0,07	0,36	0,44	0,73	0,17
51		23-3-7-farve	0,09	0,35	0,08	0,06	0,30	0,30	0,66	0,16	0,13
51		27-0-0-farve	0,10	0,45	0,08	0,05	0,28	0,35	0,70	0,15	0,11
69		23-3-7-forår	0,10	0,35	0,08	0,05	0,23	0,69	0,70	0,15	0,15
69		27-0-0-forår	0,09	0,37	0,08	0,06	0,28	0,43	1,10	0,28	0,16
104		16-3-8-forår	0,08	0,40	0,08	0,05	0,25	0,37	0,59	0,15	0,10
104		19-2-4-forår	0,09	0,40	0,08	0,05	0,25	0,66	0,85	0,15	0,16
104		23-3-7-forår	0,09	0,39	0,08	0,04	0,22	0,38	0,60	0,11	0,15
104		25-2-9-forår	0,09	0,43	0,07	0,04	0,24	0,39	2,44	0,14	0,10
Fasterlund	0	kontrol	0,12	0,52	0,08	0,05	0,26	0,34	0,91	0,29	0,28
	51	23-3-7-farve	0,09	0,47	0,08	0,05	0,29	0,36	0,87	0,23	0,19
	51	27-0-0-farve	0,10	0,49	0,07	0,04	0,22	0,36	0,57	0,19	0,26
	69	23-3-7-forår	0,10	0,54	0,08	0,04	0,24	0,39	0,88	0,19	0,26
	69	27-0-0-forår	0,10	0,53	0,08	0,04	0,25	0,35	1,00	0,21	0,25
	104	16-3-8-forår	0,10	0,59	0,07	0,03	0,21	0,44	0,95	0,22	0,22
	104	19-2-4-forår	0,10	0,49	0,07	0,04	0,21	0,39	1,01	0,19	0,15
	104	23-3-7-forår	0,09	0,50	0,08	0,05	0,27	0,31	1,41	0,20	0,34
	104	25-2-9-forår	0,10	0,51	0,07	0,04	0,21	0,36	1,08	0,19	0,22
McEvoy, 1992			>0,10	>0,35	>0,09	>0,06	>0,05	>0,7	>0,4	>0,03	>0,003