



Skov & Landskab

Pyntegrøntserien
Nr. 22 • 2005

Vækstmodel for nordmannsgran- juletræer

– Biomasse og optagelse af næringsstoffer

Lars Bo Pedersen og Claus Jerram Christensen



Rapportens titel

Vækstmodel for nordmannsgranjuletræer
– Biomasse og optagelse af næringsstoffer

Forfatter

Lars Bo Pedersen og Claus Jerram Christensen

Udgiver

Skov & Landskab

Serietitel, nr.

Pyntegrøntserien nr. 22-2005

Ansvarshavende redaktør

Niels Elers Koch

Dtp

Karin Kristensen

Bedes citeret

Lars Bo Pedersen og Claus Jerram Christensen (2005): Vækstmodel for nordmannsgranjuletræer – Biomasse og optagelse af næringsstoffer. Pyntegrøntserien nr. 22, *Skov & Landskab*, Hørsholm, 2005. 42 s. ill.

ISBN

87-7903-252-4 (Papir)

87-7903-253-7 (Internet)

ISSN

0907-0354

Tryk

Prinfo, 9100 Ålborg

Oplag

200 eks.

Pris

125 kr. inkl. moms

Forsidefoto

Lars Bo Pedersen

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

I salgs- eller reklameøjemed er eftertryk og citering af rapporten samt anvendelse af *Skov & Landskab's* navn kun tilladt efter skriftlig tilladelse.

Rapporten kan bestilles på

www.SL.kvl.dk

eller ved henvendelse til

Samfundslitteratur KVL-bogladen

Thorvaldsensvej 40

DK-1871 Frederiksberg C

Tlf. 3815 3895

E-mail sl@sl.cbs.dk

Forord

Projektet »Optimeret gødskning med kvælstof, kalium og magnesium af nordmannsgranjuletræer« er det andet store gødningsprojekt¹ efter projektet »Optimal gødskning af nordmannsgran- og nobilisjuletræer«, hvor der grundlæggende er anvendt en helhedsanskuelse med vægt på både kvalitet og miljø ved brug af gødskning i den intensive dyrkning af kvalitetsjuletræer.

Denne rapport er en del af afrapportering af projektet »Optimeret gødskning med kvælstof, kalium og magnesium af nordmannsgranjuletræer«. Dette projekt var tre-strengt og belyser overordnet følgende:

1. Fordeling af biomasse og forbrug af næringsstoffer i nordmannsgranjuletræer.
2. Bestemmelse af nordmannsgranjuletræers behov for kvælstof, kalium og magnesium.
3. Juletræskvalitet og reduceret udvaskning ved en ændret udbringningsteknik.

Første del er belyst i rapporten »Gødningsrespons hos nordmannsgranprovenienserne Ambrolauri og Langesø afd. 6«, Pyntegrøntserien nr. 17. I denne rapport blev der lagt vægt på juletræskvaliteten hos to nordmannsgranprovenienser, deres samlede optag af næringsstoffer samt på fordelingen af næringsstoffer i træet i relation til forskellige gødningsniveauer. Nærværende rapport udspringer også af projektets første streng. Her er der lagt vægt på udviklingen i træernes biomasse samt optagelsen af næringsstoffer over en hel rotation gennem opbygning af en biomasse- og næringsstofmodel.

Projektet blev igangsat i 1998 med støtte fra Produktionsafgiftfonden for Juletræer og Pyntegrønt (PAF) og løb indtil 2005. *Skov & Landskab* har løbende ydet tilskud til projektet.

Vi vil gerne takke laboratoriefuldmægtig Mads Madsen Krag, laboratoriefuldmægtig Allan Overgård Nielsen, laboratoriefuldmægtig Xhavat Haliti, laboratoriefuldmægtig Lena Byrgesen og laboratoriefuldmægtig Preben Frederiksen, som har ydet en uvurderlig stor indsats i forbindelse med prøveindsamling og analyse. Derudover har Afdelingsleder Karsten Raulund Rasmussen (*Skov & Landskab*), direktør Kaj Østergård (Dansk Juletræsdyrkerforening), Keld Velling (KV Skovadministration) og Henrik Lüneborg-Nielsen (Hedeselskabet) været til gavn for projektet gennem deres råd og vejledning i projektets følgegruppe. Vi vil også gerne takke Inge Stupak Møller og Morten Ingerslev for kritisk gennemlæsning af udkastet til rapporten. De kemiske analyser er foretaget ved *Skov & Landskabs* laboratorium.

¹ Projektet er afrapporteret i rapporten »Bevoksning- og farvegødskning af nordmannsgranjuletræer – resultater fra 6 års forsøg på tidligere landbrugsjord«, Pyntegrøntserien nr. 16.

Vi takker også både Salten Langsø Skovdistrikt ved Skovrider Peter Dalsgård og Skovfoged Niels Bach, DDH Sjællands Skovdistrikt ved Skovrider Jens Zøfting-Larsen og Skovfoged Jens Rasmussen samt Hastrup Skovdistrikt ved Skovrider Niels Bjerg og Skovfoged Sten Egholm Møller for at have stillet arealer til rådighed og for deres velvillige indstilling over for projektet

Indhold

Forord	3
Indhold	5
Sammendrag	7
Summary	9
Indledning	11
Andre undersøgelser	11
Nærværende undersøgelse	12
Formål	13
Lokalitetsbeskrivelse	14
Tilførsel af næringsstoffer med deposition og gødning	15
Tab af næringsstoffer gennem udvaskning	17
Metoder til opgørelse af biomasse	18
Biomasseopgørelsen på Salten	18
Biomasseopgørelsen på Hastrup	19
Biomasseopgørelsen på Paludan	19
En hel omdrifts opbyggede biomasse og optag af næringsstoffer	21
Næringsstoffernes optag. Største og mindste optagelse	21
Lokalitets- og behandlingsforskelle	22
Stoflig bæredygtighed set ud fra omdriftbalancer	22
Effekt af øget gødskning	24
Forløbet af biomasseopbygningen og næringsstofoptagelsen over en hel juletræsomdrift	26
Biomasse	26
Næringsstofoptag	28
Gødskes der nok på de rigtige tidspunkter?	32
Kvælstof	33
Fosfor	34
Kalium	35
Magnesium	35
Kalcium	35
Svovl	35
Gødningssammensætning	36
Konklusion	38
Anbefalinger	40
Til praksis	40
Til forskning	41
Litteratur	42

Sammendrag

Den totale biomasseopbygning og det totale optag af næringsstofferne N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn og Zn er målt i tre gødningsforsøg på tidligere landbrugsjord med nordmannsgranjuletræer. I undersøgelsen er inddraget kontrolbehandlinger uden gødning samt gødningsbehandlinger med 150, 300, 600 og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år.

Undersøgelsen foregik over tre år og fulgte en tre-trinsraket fra intensive undersøgelser på den først undersøgte lokalitet til mere ekstensive undersøgelser på den sidst undersøgte lokalitet.

På baggrund af en tilnærmet beskrivelse af juletræerne som kegleformede og årlige registreringer af væksten, er der udarbejdet en vækstmodel, der har beregnet den løbende biomasseopbygning og næringsstofoptag over en omdrift på ni år. Tidligere målinger på de samme lokaliteter af atmosfærisk deposition og udvaskning har muliggjort en opstilling af de overordnede næringsstofkredsløb. Herved er det blevet muligt at vurdere juletræsproduktionens stoflige bæredygtighed.

Resultaterne peger på, at nordmannsgranens vækst og optag af næringsstoffer ikke er simpelt relateret til jordens næringsstofstatus. Formodentlig spiller jordens struktur, tekstur, dræningstilstand, temperatur, kalkholdighed mv. ind.

Den totale biomasseopbygning varierer i gennemsnit mellem ca. 26 tons/ha i kontrolbehandlingen til ca. 47 tons/ha i behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. Behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år, der er tæt på dagens praksis, gav på de tre lokaliteter i gennemsnit en biomasseopbygning på 43 tons/ha. Samme behandling gav et gennemsnitligt optag af N, P, K, Ca, S og Mg på henholdsvis ca. 360, 45, 177, 289, 31 og 34 kg/ha. Dette betyder, at optagelsen af makronæringsstoffer har fulgt rækken: $N > Ca > K > P > Mg > S$.

Op til en gødningstilførsel på ca. 300 kg NPK 23-3-7/ha/år steg biomasseopbygningen og næringsstofoptagelsen betydeligt. Herefter fremkom der en klar stagnation, der resulterede i ubetydelige forskelle mellem de to høje behandlinger (600 og 1200 NPK 23-3-7/ha/år).

Optagelsen af næringsstoffer var meget lille de første vækstår, men voksede eksponentielt i løbet af den ni-årige omdrift. I behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år betød dette for N's vedkommende en optagelse på ca. 1,5 kg/ha/år de to første år af omdriften. Ved en alder på ca. fem år steg optagelsen til ca. 24 kg/ha/år og efter ni år umiddelbart før afdrift til ca. 140 kg/ha/år. De øvrige næringsstoffer fulgte omtrent sammen forløb som N, men med tydelige niveauforskelle.

Resultaterne viste også, at det er nødvendigt at gødske intensivt dyrkede juletræsbevoksninger, hvis produktionen stofligt set skal være bæredygtig. Svovl tilføres dog i stort overskud. Samtidigt supplerer forvitringen af Ca på næringsrige jorde afgørende næringsstofoptagelsen. På mindre næringsrige lokaliteter er det nødvendigt at kalke for at opretholde jordens frugtbarhed.

Undersøgelserne peger endvidere på, at der gødskes for meget i de tidlige faser af juletræsodriften og for lidt i de sidste to år før afdrift. Dette forhold gælder navnlig for N og K. I det sidste år før afdrift var optagelsen i behandlingen 300 kg 23-3-7/ha/år af N og K i gennemsnit for de tre lokaliteter henholdsvis ca. 85- og 70 kg/ha/år større end tilførslen med gødning og atmosfærisk deposition.

Praksis anbefales derfor at bibeholde punktgødskningen i hvert fald i kulturstartens anden og tredje år. Det bør overvejes at ændre gødningstypen NPK 23-3-7 til gødningstyper med mere K, for eksempel NPK 21-3-10. Eventuelt kan NPK 14-3-18 anvendes de sidste 2-3 år før afdrift. Der bør i forbindelse med renafdrift/genplantning på sandede jorde eller jorde med lavt Rt (pH) tilføres jordbrugskalk eller dolomitkalk for at kompensere for det store udtag af Ca med juletræshøsten. Udover S i de nævnte gødningstyper bør der ikke tilføres ekstra S, med mindre der er sikre beviser for S mangel.

I forskningsmæssig sammenhæng bør der udfærdiges et valideringsgrundlag for modellen, ligesom der bør sættes ekstra ind for at belyse indflydelsen fra jordbunden på træernes næringsstofoptag. Endelig er der to vigtige faser i juletræsproduktionen, som slet ikke er belyst ud fra et vækst- og næringsstofmæssigt synspunkt:

1. Den tidligste vækstfase og
2. overgangsfasen fra afdrift til etablering af ny kultur.

Summary

The total biomass accumulation and the total uptake of the nutrients N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn and Zn were measured in three Nordmann fir fertilizer trials on former farmland. Besides the untreated control the investigation dealt with four fertilizer treatments applying 150, 300, 600 and 1200 kg NPK 23-3-7 ha⁻¹ year⁻¹ respectively.

Over the 3-year investigation period, the collection of plant material was gradually reduced from the first intensive site to a more extensive collection at the last site in the third year.

A growth model was developed for the 9-year rotation period based on yearly measurement and the assumption that the shape of Christmas trees can be described as approximated cones. Earlier investigations of atmospheric deposition and leaching on the same three sites made it possible to illustrate the overall nutrient cycling, hereby evaluating the sustainability of Christmas tree growing.

The results indicate that the growth and nutrient uptake by Nordmann fir Christmas trees are not directly related to the nutrient status of the soil. However, soil texture, soil structure, soil drainage, temperature and content of chalk probably plays a role.

The total amount of accumulated biomass varied between an average of 26,000 kg ha⁻¹ in the untreated control to 47,000 kg ha⁻¹ in the 1200 kg NPK 23-3-7 ha⁻¹ year⁻¹ treatment. The 300 kg NPK 23-3-7 ha⁻¹ year⁻¹ treatment, that is close to the common practice in Denmark, resulted in an average of 43,000 kg ha⁻¹ on the three sites. The average uptake of N, P, K, Ca, S, Mg in this treatment was approx. 360, 45, 177, 289, 31 and 34 kg ha⁻¹ giving the sequence of uptake as follows N>Ca>K>P>Mg>S.

An increase in biomass accumulation and nutrient uptake was significant until 300 kg NPK 23-3-7 ha⁻¹ year⁻¹. Further application of fertilizer resulted in only minor differences between the two high application rates (600 and 1200 kg NPK 23-3-7 ha⁻¹ year⁻¹).

The nutrient uptake was low in the beginning of the rotation but increased rapidly during the 9-year rotation period. In the 300 kg NPK 23-3-7 treatment this meant, that only 1.5 kg N ha⁻¹ year⁻¹ was taken up in the first two years of the rotation. At the age of five, the uptake increased to 24 kg N ha⁻¹ year⁻¹ and at the age of nine, in the end of the rotation, the uptake was 140 kg N ha⁻¹ year⁻¹. The other nutrients showed the same pattern, but at different levels.

From a nutrient resource point of view, the results also revealed, that the application of fertilizer is necessary to insure sustainability in the growing

of Christmas trees. However, S is applied in excess compared to the leaching and the demand of the trees and a substantial amount of Ca is added from weathering – especially on the nutrient rich soils. On poor soils liming is necessary to maintain the fertility of the soil.

From a rotation point of view, fertilizer application is too big in the beginning of the rotation and inadequate the last two years before harvest – especially for N and K. The last two years prior to harvest the uptake of N and K is respectively 85 and 70 kg ha⁻¹ year⁻¹ larger than the amount applied by the 300 kg NPK 23-3-7 ha⁻¹ year⁻¹ treatment together with the atmospheric deposition.

The Christmas tree growers are therefore recommended to use fertilization of individual trees in the second and third year of the rotation. Furthermore, the growers are generally recommended to change formulas from NPK 23-3-7 to i.e. NPK 21-3-10 to add more K. In the last to years growers may benefit from using NPK 14-3-18 to meet the high K demand at this age.

Between rotations growers at sandy soils or soils low in pH ought to consider application of lime to compensate the huge removal of Ca with the harvested trees. Besides the amount of S in the combined fertilizers mentioned above, additional S should not be applied unless S deficiency has been observed.

From a research point of view, the model ought to be validated and the impact from the soil on Christmas tree nutrient uptake should be investigated further. Furthermore, the early years of the rotation as well as the transition between rotations ought to be investigated further for growth, quality and nutrient cycling.

Indledning

Den intensive dyrkning af juletræer indebærer store krav til en optimal forsyning af næringsstoffer, der skal sikre træernes vækst og de høje krav til kvalitet. Blandt juletræsdyrkerne baseres gødskningen ofte på erfaringer, der tilsiger brug af mange forskellige gødningstyper og meget forskellige gødningsdoser. Således svinger gødningsdoserne fra 0 kg N/ha/år i planteåret til over 100 kg N/ha/år i årene før afdrift på de mest sandede lokaliteter. Det blev i projektet: »Optimal gødskning af nobilis- og nordmannsgran-juletræer« (Christensen et al. 2001a) dokumenteret, at der er stor risiko for, at over halvdelen af den tildelte kvælstof udvaskes uden at blive udnyttet af træerne og til samtidig gene for grundvandskvaliteten. Dette er på ingen måde hensigtsmæssigt, og hvis situationen skal forbedres, kræver det et nøjere kendskab til juletræernes behov og optag af næringsstoffer igennem en hel rotation.

Andre undersøgelser

Samtidig med denne undersøgelse har en anden gødningsundersøgelse (på lerjord) peget på, at sekventiel (delt) gødskning er en gødskningsmetode, der kan anvendes til samtidig at øge træernes næringsstofoptagelse og mindske tabet af kvælstof til omgivelserne (Pedersen et al. 2004). Undersøgelsen pegede dog samtidig på, at gødskning med samme dosering over en hel omdrift langt fra var ideel i alle aldersklasser.

Christensen et al. 2001b har foretaget og afrapporteret en dybdegående undersøgelse af biomasseopbygning og næringsstoffordeling i juletræer i relation til forskellige provenienser (Ambrolauri og Langesø afd. 6). Disse undersøgelser viste, at i salgsklare juletræer steg akkumuleringen af biomasse og optagelsen af næringsstoffer med øget tilførsel af gødning indtil ca. 300 kg NPK 23-3-7/ha/år, hvorefter både akkumulering af biomasse og optag af næringsstoffer stagnerede. Stagnationen gjaldt for langt de fleste plante-komponenter (nåle, grene, stammebark og stammeved mv.). Resultaterne antydede endvidere, at der var forskelle mellem provenienserne Ambrolauri og Langesø. Langesø havde således en tendens til større akkumulering af næringsstoffer i rødder, årnsåle, nåle i den øverste kronedel og stammebark.

Selvom gødningstilførsler op til 300 kg NPK 23-3-7/ha/år gav forøget optagelsen af næringsstoffer i træerne, resulterede dette ikke i et anderledes forhold mellem de enkelte næringsstoffer i trækomponenterne. Undersøgelsen viste også, at ca. 60 % af det optagne N befandt sig i nålene (heraf halvdelen i årnsålene), mens under 20 % sad i stammen og i rødderne. Øget gødningstilførsel gav navnlig større mængder af næringsstoffer i nålene, mens påvirkningen var mindre eller helt fraværende i stammen og rødderne.

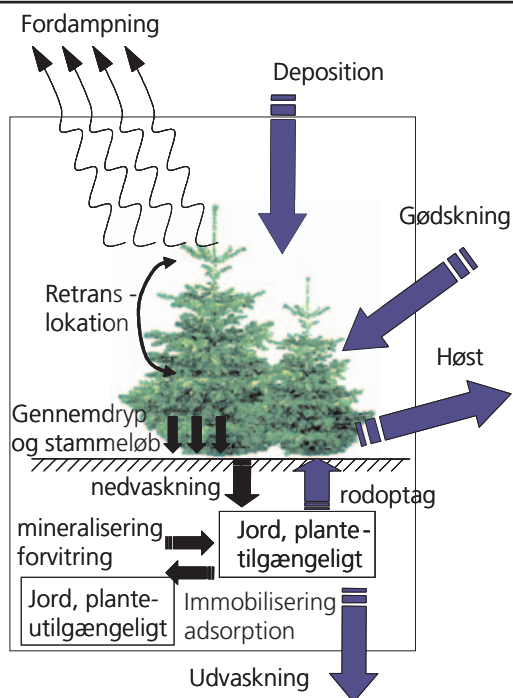
For P, K, S, Mg, Ca, Mn og Fe's vedkommende blev de største mængder næringsstoffer fundet i nålene og grenene, men en egentlig tydelig effekt af øget gødningstilførsel var vanskelig at få øje på for Ca og Mg, mens de øv-

rige næringsstoffer fremviste et mindre, men klart mer-optag. P skilte sig ud ved, at optagelsen direkte faldt ved gødningstilførsler over 300 kg NPK 23-3-7 (Christensen et al. 2001b).

Nærværende undersøgelse

Nærværende delprojekt bygger videre på disse undersøgelser ved at kvantificere biomassen og næringsstofoptaget på yderligere to lokaliteter, således at der kan opnås en bredere viden om nordmannsgranens optag af næringsstoffer. I delprojektet opbygges også en biomasse- og næringsstofmodel, der beskriver udviklingen fra kulturstart til afdrift. Herved opnås en mere systematisk indsigt i næringsstofoptagelsen fordelt til træernes alder under forskellige gødningsdoseringer.

Dette delprojekt afsluttes med en vurdering af næringsstofbalancen i traditionelt forårsgødskede bevoksninger. Det vil sige at næringsstoftilførslen fra den atmosfæriske deposition og fra gødskningen sammenstilles med tabet af næringsstoffer gennem udvaskning og afdrift af træerne (figur 1). Dette giver et billede af, om juletræsdyrkningen anvender for lidt eller for meget gødning, og om doseringen er optimalt fordelt over omdriften. Anvendelse af for meget gødning er en unødigt omkostning, og kan samtidig være en alvorlig belastning for miljøet. Anvendelsen af for lidt gødning kan føre til, at produktionen i stofflig forstand ikke er bæredygtig, fordi der med høsten af træerne tæres for meget på arealernes egen næringsstofkapital, uden at den genopbygges via gødskning.



Figur 1. Principskitse over stofstrømme i en juletræsbevoksning. Det er udelukkende de stofstrømme, der repræsenteres af de blå pile, som undersøgelsen belyser.

Formål

At udvikle en vækstmodel for nordmannsgran, som under varierede gødningstilførsler beskriver nordmannsgranens næringsstofoptag gennem biomassetilvæksten og den deraf følgende akkumulering af næringsstoffer.

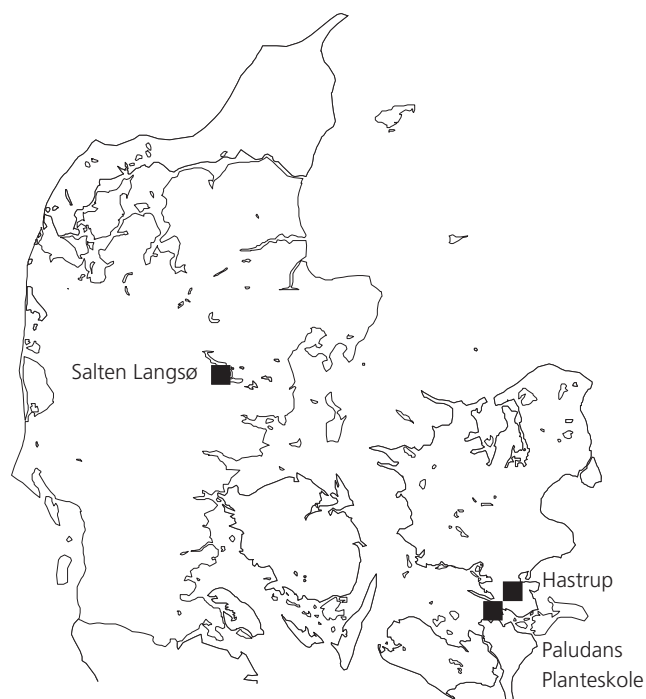
Dette ventes at bibringe erhvervet et øget kendskab til næringsstofforbrug og -behov i relation til bevoksningsalder og lokalitet. Herved øges forudsætningerne for en økonomisk og miljømæssig optimal gødskning, idet der opnås kendskab til gødningens »virkningsgrad« på de forskellige alderstrin.

Lokalitetsbeskrivelse

De involverede lokaliteter, Hastrup Skov, Paludans Planteskole og Salten Langsø Skovdistrikt (figur 2) er alle detaljeret beskrevet i Christensen et al. (2001a). Summarisk kan lokaliteterne dog beskrives som følger:

Hastrup Skov (Hastrup): Lokaliteten er beliggende på Sydsjælland nord for Vordingborg. Det er en tidligere agerjord på en meget næringsrig leret moræne (lerindhold 13-21 %, basemætning 99 %). Jordbearbejdningen har været dyb, ned til næsten 60 cm. Arealet blev tilplantet i foråret 1991 med 2/1 Ambrolauri proveniens på 1x1 m med sprøjtespor for hver 15. række. Dette svarer til et planteantal på ca. 10.000 stk./ha uden sporberegning og ca. 6.710 stk./ha med spor. Forsøgsarealet har været meget effektivt renholdt for ukrudt med herbicider. Der har været juletræshugst i forsøget i 1997 (68 træer) og i 1998 (127 træer). I foråret 1992 og 1993 blev der punktgødsket med henholdsvis ca. 17 og 22 g NPK 23-3-7 pr. plante. Fra 1994 til 1999, hvor slutmålingerne blev foretaget, blev der gødsket i behandlinger med henholdsvis 0 (kontrol), 150, 300, 600 (split) og 1200 kg NPK 23-3-7 (tabel 1).

Paludans Planteskole (Paludan): Lokaliteten ligger på Sydsjælland mellem Vordingborg og Næstved. Der har tidligere været planteskole. Jorden er en næringsrig moræne (lerindhold ca. 10 %, basemætning 99 %). Jordens pH er meget høj, og visse steder findes der frit kalk under 50 cm's dybde. Arealet blev tilplantet i foråret 1991 med 2/1 Ambrolauri proveniens på 1,1x1,1 m med sprøjtespor for hver 15. række. Dette svarer til et planteantal på 8.264 stk./ha uden sporberegning og 6.220 stk./ha med spor. Fra starten var forsøget effektivt renholdt med ukrudtsmidler. Ukrudtstrykket tiltog imidlertid



Figur 2. Kort over lokaliteternes beliggenhed

tydeligt under forsøgsperioden. Der blev ikke udtaget juletræer i forsøgsperioden. I foråret 1992 og 1993 blev der punktgødsket med henholdsvis 15 og 20 g NPK 23-3-7 pr. plante. Fra 1994 til 2000, hvor slutmålingerne blev foretaget, blev der gødsket i behandlinger med henholdsvis 0 (kontrol), 150, 300, 600 (split) og 1200 kg NPK 23-3-7.

Salten Langsø Skovdistrikt (Salten): Lokalteten ligger i Midtjylland mellem Salten og Gl. Ry. Arealet var tidligere agerjord. Jorden er en medium næringsrig smeltevandsaflejrings (lerindhold: 6-10 %, basemætning 85 %) med jordbrugs kalk i overfladen. Arealet er tilplantet i foråret 1990 med 2/1 Ambrolauri og Langesø proveniens på 1x1 m med sprøjtespor for hver 12. række. Dette svarer til et planteantal på ca. 9.091 stk./ha uden sporberegning og ca. 6.375 stk./ha med spor. Renholdelsen op til forsøgsanlæg tillod forholdsvis kraftig ukrudtsvegetation. I forsøgsperioden var arealet renholdt tilpas effektivt ved pletsprøjtning. I foråret 1991, 1992 og 1993 blev der punktgødsket med henholdsvis 15, 25 og 25 g NPK 14-3-18 pr. plante. Fra 1994 til 1997, hvor slutmålingerne blev foretaget, blev der gødsket i behandlinger med henholdsvis 0 (kontrol), 150, 300, 600 (split) og 1200 kg NPK 23-3-7 (tabel 1).

Tilførsel af næringsstoffer med deposition og gødning

De tre lokaliteter tilføres næringsstoffer fra den atmosfæriske deposition og fra gødning. Depositionen er tilførslen af stoffer fra atmosfæren gennem nedbøren (våd deposition) og ved afsætning af gasser og partikler (tør deposition).

Afhængigt af stof og beliggenhed samt alder på bevoksningen kan tørdepositionen udgøre en betragtelig andel af den totale deposition. Nåletræer i særdeleshed forøger tørdepositionen betragteligt, fordi de til stadighed filtrerer luftens gasser og partikler. Op til 50 % af den samlede atmosfæriske deposition er ikke ualmindelig i ældre nåletræsbevoksninger. En så stor andel forekommer dog ikke særlig sandsynlig i juletræsbevoksninger på grund af en stor sporandel og træernes meget lille højde, ikke mindst i de første vækstår.

Stoftilførslen med nedbøren målt i traditionelle nedbørsopsamlere (som i denne undersøgelse) indeholder imidlertid også tørdeponerede komponenter. Derfor skal der nok skønsvist ikke adderes mere end 10-20 % til de målte stoftilførsler for nå frem til det rigtige billede af den totale atmosfæriske deposition. Deposition og gødskning er der nøje gjort rede for i Christensen et al. (2001a), men gengives summarisk i nedenstående tabel 1. Depositionen er ikke målt i bevoksningernes tidlige år. For disse år benyttes undersøgelsens gennemsnitstal reguleret i forhold til nedbørsmængder og bevoksningshøjder.

Arealerne er gødsket meget præcist med hånden som følge af det forskningsmæssige aspekt. Der er anvendt gødningsbehandlinger med henholdsvis 0, 150, 300, 600 og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. Forsøgs-gødskningen blev påbegyndt i 1994. Gødningstilførsel i forsøgsperioden og tiden forinden er vist i tabel 1, der bedst modsvarer gødskning med flowmatic, hvor spildet på sporene kan negligeres.

Depositionen af næringsstoffer var størst på Paludan efterfulgt af Salten og Hastrup. Gødskningstilførslen var mindst på Salten, fordi denne bevoksning var et år ældre end de to andre. Den tidligere høst har således betydet, at der er »mistet« et års bredgødskning. Til gengæld har der været punktgødsket et år mere på denne lokalitet.

Gødskningen dominerer den totale tilførsel af N og P, mens den totale tilførsel af K, Ca, Mg og S, især for behandlingerne med de lavere gødningsdoser, domineres af depositionen.

Juletræer gødskes forskelligt i Danmark afhængig af jordbund, bevoksningernes alder, vejrlig, tradition, men også »trends« spiller ind i visse år. Hvis der findes en »normal« måde at gødke på, så afviger de valgte gødningsregimer generelt ved, at bredgødskningen måske er påbegyndt et til to år før normal praksis. Dette betyder, at gødningstilførslerne er i overkanten af det normale, måske med Salten som den lokalitet, der læner sig mest op af normalsituationen. I dag er der ingen der gødsker med hverken 0, 600 eller 1.200 kg NPK 23-3-7/ha/år. Derimod ligger doseringen på 300 NPK 23-3-7/ha/år tæt på dagens normaldosering. Når de andre behandlinger er medtaget, skyldes det, at disse er nødvendige for at dokumentere, hvordan bevoksninger med nordmannsgran ændrer optaget af næringsstoffer i relation til gødningstilførsel. Disse behandlinger er således nødvendige, når doseringens tilstrækkelighed og den potentielle miljøbelastning skal vurderes.

Tabel 1. Tilførsel af næringsstoffer gennem gødskning i ni år på forsøgslokaliteterne Hastrup (1991-99), Paludan (1991-99) og Salten (1990-98) i kg/ha.

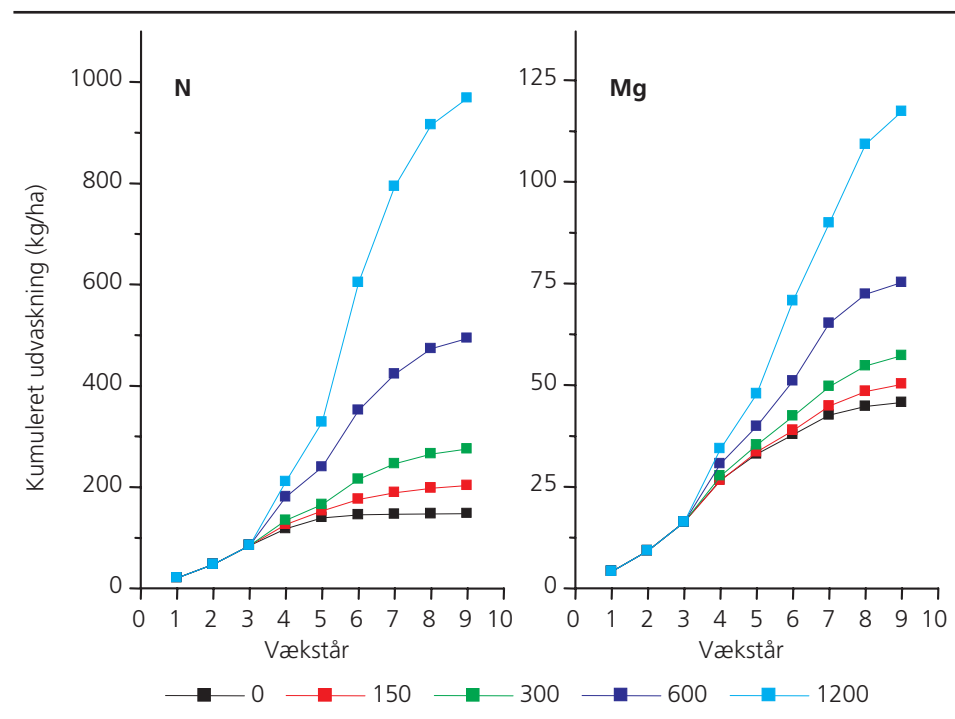
Lokalitet	Tilførselstype	N	P	K	Ca	Mg	S
Hastrup	Deposition 1991-99	119	1,7	21,8	33,6	16,8	74,8
	Punkt 1992	26	3,4	8	3,7	1,8	3,3
	Punkt 1993	34	4,4	10,4	4,8	2,3	4,3
	Kontrol 1994-99	0	0	0	0	0	0
	Bred 150 1994-99	203,4	23,4	59,4	28,8	14,4	26,4
	Bred 300 1994-99	406,8	46,8	118,8	57,6	28,8	52,2
	Bred 600 1994-99	813,6	93,6	237,6	115,2	57,6	104,4
	Bred 1200 1994-99	1627,2	187,2	475,2	230,4	115,2	208,8
Paludan	Deposition 1991-99	176	1,7	63	77,3	26,9	136,9
	Punkt 1992	22	2,8	6,5	3	1,5	1,8
	Punkt 1993	29	3,7	8,7	4	2	2,4
	Kontrol 1994-99	0	0	0	0	0	0
	Bred 150 1994-99	203,4	23,4	59,4	28,8	14,4	26,4
	Bred 300 1994-99	406,8	46,8	118,8	57,6	28,8	52,2
	Bred 600 1994-99	813,6	93,6	237,6	115,2	57,6	104,4
	Bred 1200 1994-99	1627,2	187,2	475,2	230,4	115,2	208,8
Salten	Deposition 1990-98	156	1,7	34,4	31,9	24,4	132,7
	Punkt 1991	13	2,9	17,2	3,1	1,5	4,4
	Punkt 1992	22	4,8	28,7	5,2	2,5	7,3
	Punkt 1993	22	4,8	28,7	5,2	2,5	7,3
	Kontrol 1994-98	0	0	0	0	0	0
	Bred 150 1994-98	169,5	19,5	49,5	24,0	12,0	22,0
	Bred 300 1994-98	339,0	39,0	99,0	48,0	24,0	43,5
	Bred 600 1994-98	678,0	78,0	198,0	96,0	48,0	87,0
Bred 1200 1994-98	1356,0	156,0	396,0	192,0	96,0	174,0	

Tab af næringsstoffer gennem udvaskning

Udvaskningen af næringsstoffer fra de tre lokaliteter er indgående beskrevet i Christensen et al (2001a) og beskrives ikke nærmere her. Udvaskningen er ikke målt i bevoksningernes tidlige leveår. For at fuldende hele omdriften er udvaskningen i disse år i stedet modelleret ud fra et nøje kendskab til arealernes tilplantnings- og gødningshistorie samt jordbundsforhold og nedbørsfordeling. Ligesom ved depositionen er der anvendt konkrete udvaskningstal i årene 1993 - 98, selvom for eksempel året 1996 bød på en usædvanlig lille nedsivning.

For at illustrere udvaskningsforløbet er der i figur 3 vist den kumulerede udvaskning af N og Mg i de fem gødningsbehandlinger. De første år, hvor behandlingerne endnu ikke er igangsat, og hvor gødskningen domineres af punktgødskning, er tabet af begge næringsstoffer lille. De etablerede bredgødningsbehandlinger i det fjerde år giver hurtigt ophav til en meget forskellig udvaskning. Især udvaskningen af N stiger stærkt ved de høje doseringer i de første tre behandlingsår, hvor træerne endnu er små. Herefter stagnerer kvælstofudvaskningen i takt med forøget vækst lige indtil afdriften i det 9. år. I behandlingen med 600 kg NPK 23-3-7 ses samme tendens, om end stagnationen er tydeligere her. Stagnationen bliver stadig tydeligere med faldende gødningsdosering og i kontrolbehandlingen er udvaskningen af N efter det 6. år allerede stærkt reduceret.

Forløbet af udvaskningen af de fleste næringsstoffer ligner udvaskningen af N. Det er Mg et godt eksempel på, men der er mindre forskelle. For eksempel synes udvaskningen af Mg ikke at stagnere så brat som N.



Figur 3. Kumuleret udvaskning af N og Mg i fem gødningsbehandlinger. Gennemsnit fra lokaliteterne Hastrup, Paludan og Salten. Behandlingerne 0, 150, 300, 600 og 1200 svarer til doseringen af handelsvaren NPK 23-3-7. Bredgødningsbehandlingen blev igangsat de fjerde vækstår.

Metoder til opgørelse af biomasse

Alle målinger er foretaget i forbindelse med et tidligere gødningsprojekt, hvis primære formål var at belyse virkningen af bevoksnings- og farvegødsning i nordmannsgran på vækst, kvalitet og miljø. Der blev ikke foretaget målinger igennem en hel omdrift. Det har derfor været nødvendigt at modellere depositionen, næringsstofoptaget og udvaskningen i de tidlige år for at få et så komplet billede af juletræsdyrkningens næringsstofbalance som muligt.

Der er foretaget biomasseopgørelse og høst på Salten i efteråret 1997, på Hastrup i 1999 og på Paludan i 2000. Der blev foretaget opgørelser i alle gødningsbehandlinger inklusiv kontrolbehandlingen. Af økonomiske hensyn blev biomasseopgørelserne planlagt således, at detaljeringsgraden faldt fra Salten over Hastrup til Paludan.

Biomasseopgørelsen på Salten

Den detaljerede opgørelse på Salten (Christensen et al. 2001b) bestod af tre træer pr. plot i tre forsøgsblokke = 45 træer. Desuden blev rodmassen for 17 træer opgravet med en radius på 1 m ud fra stammen til en dybde af 0,5 m. Det forsøgte at få alle finrødder med, men trods den grundige og arbejdskrævende opgravning var dette ikke fuldt ud muligt. Bestemmelsen af rodbiomassen må derfor betragtes om et minimum, idet skønsmæssigt 10 % af biomassen ikke blev medbestemt. »Biomassetræerne« blev udvalgt således, at de repræsenterede tre højdeklasser inden for hver behandling. I laboratoriet blev træerne opklippet i 7 forskellige trækompener; stammebark, stammeved, grene uden nåle, årsnåle, forrige års nåle, øvrige nåle og rødder.



Et udsnit af de opgravede rødder. Finrodmassen var betydelig for de ubehandlede kontroltræer, mens »elefant fod« og store vandhenterer dominerer udseendet for de velgødskede træer.

Alle trækomponenters tørvægt (biomassen) blev bestemt for hvert træ (tørring til konstant vægt ved 55°C). Nåle og grene fra de forskellige grenkranse og mellemgrene blev holdt adskilt ved tørvægtsbestemmelserne og den efterfølgende kemiske analyse således at mængden af biomasse og indholdet af næringsstoffer kunne bestemmes i udvalgte grenkranse. Efterfølgende blev der udtaget repræsentative delprøver fra de forskellige trækomponenter til kemisk analyse. For nåle og grene blev der kun udtaget delprøver fra første og femte grenkrans til kemisk analyse. I enkelte tilfælde er tredje, fjerde og femte grenkrans dog medtaget for at belyse vertikale koncentrationsgradienter i træet. For stammeved og stammebark er der udtaget en stammeskive mellem første og anden grenkrans og fjerde og femte grenkrans til kemisk analyse.

Biomasseopgørelsen på Hastrup

Opgørelsen fra Hastrup involverede også tre træer fra hver forsøgsparcel (i alt 45 træer) repræsenterende tre højdeklasser. Der blev i modsætning til på Salten ikke opgravet rødder, ligesom der ikke blev foretaget opdeling af biomassen, idet hele træet blev fliset med efterfølgende biomassebestemmelse og med udtag af repræsentative prøver til kemisk analyse. Eneste trækomponent, der blev udtaget selvstændigt, var prøver af årsnåle fra øverste grenkrans vendende mod syd.

Biomasseopgørelsen på Paludan

På Paludan blev der udvalgt fem træer, ét fra hver behandling. Træerne blev udvalgt således, at de helt matchede gennemsnitshøjder og kvalitet for de respektive behandlinger opgjort i det tidligere projekt (Christensen et al. 2001a). Træerne blev fliset hele, og der blev udtaget en repræsentativ prøve fra hvert træ. Desuden blev der udtaget selvstændige prøver af årsnåle fra øverste grenkrans vendende mod syd.

Den kemiske analyse af plantematerialet bestod efter endt neddeling, formaling og mikrobølge assisteret destruktion af plantematerialet af en bestemmelse af totalindholdet af C og N analyseret direkte ved en LECO CHN analyser (model 2000), mens Ca, K, Mg, P, S, Cu, Zn, Fe, Mn og Na blev målt ved en ICP Optima 3000 XL.

Størrelsen af de udvalgte »biomassetræer« var ikke altid identisk med den enkelte behandlings »gennemsnitstræ«. Dette er der foretaget en tilpasning gennem relationer mellem »biomassetræernes« gennemsnitlige højde og gennemsnitshøjden for alle forsøgstræerne i de respektive behandlinger. For at estimere biomassen og optaget af næringsstoffer i de enkelte år fra kulturstart til forsøgsafslutning er der endvidere udviklet en vækstmodel. Denne baserer sig på, at træerne i de enkelte år kan beskrives som modificerede kegler, hvor overfladens forløb beskrives vha. »anden-grads-polynomier«. Bredden på træerne er ikke blevet målt i de konkrete forsøg. Derfor er et højde/bredde-forhold fra andre intensive gødningsundersøgelser (dette projekts

del 2, jævnfør forordet) benyttet til at estimere »kegletræet« i de respektive behandlinger på de tre lokaliteter fra høståret bagud til kulturstarten.

Det er kendt, at formen på juletræer ændrer sig fra unge til salgsklare træer. Ovennævnte kegleform passer bedst på de salgsklare træer og afviger formodentlig mest fra de noget brede yngre juletræer, der ofte ses på de lerede jordbundstyper. Det er antaget, at denne afvigelse er af mindre betydning, men en egentlig verifikation mangler.

Modellen forudsætter også, at de målte koncentrationer af næringsstoffer i høståret kan overføres til de foregående år. Dette kan formodentlig uden de store problemer lade sig gøre for de fleste næringsstoffer. Koncentrationen af næringsstoffer i nålene varierer nemlig ikke meget de enkelte år imellem og nålebiomassen udgør samtidig 60 % af den totale biomasse. Kvælstof er dog en markant undtagelse, idet koncentrationen har vist sig at falde med træalderen (Christensen et al 2001a). Koncentrationen af N er derfor korrigeret i forhold til alder og gødskningsniveau jævnfør Christensen et al. 2001a. På grund af den gode vækst på Salten blev biomassetræerne allerede fældet efter otte års vækst.

Det har været hensigten at opbygge en vækstmodel, der involverer ni års vækst. Derfor er det 9. års vækst på Salten estimeret ud fra de foregående års vækstrytme på lokaliteten i kombination med de to øvrige lokaliteters vækstforøgelse fra det 8. til det 9. år.

Efter at biomassetræernes vækst er korrigeret i overensstemmelse med gennemsnitstræerne i de enkelte behandlinger, er der foretaget en opskalering af resultaterne fra træ til bevoksningsniveau. Dette er sket ud fra de faktisk forekommende sporandele og planteantal på de enkelte lokaliteter. For at forenkle modellen er der regnet med en renafdrift i november i det sidste vækstår.

En hel omdrifts opbyggede biomasse og optag af næringsstoffer

I tabel 2 er anført den opbyggede biomasse og det tilhørende optag af næringsstoffer efter 9 års vækst, hvor der i beregningerne ikke er taget hensyn til sporandele. Denne tabel viser naturligvis for høje værdier, men værdierne kan bruges af den enkelte juletræsproducent, hvis der ønskes et omtrentligt estimat af næringsstofforbrug gennem en korrektion med egne sporandele. Korrektionen foregår ganske simpelt ved at multiplicere forholdet mellem bevokset areal og totalareal med de angivne værdier. I tabel 3 er derimod opgivet den opbyggede biomasse og næringsstofoptaget med de faktiske forekomne sporandele i de respektive forsøg. Denne tabel er mere retvisende for praksis, men har altså den ulempe, at tallene ikke umiddelbart kan korrigeres til estimater, der kan bruges af den enkelte juletræsproducent.

Næringsstoffernes optag. Største og mindste optagelse

Mængdemæssigt dominerer N, Ca og K optaget af næringsstoffer i nævnte rækkefølge efterfulgt af P, S og Mg. Kalium er ikke i disse tilfælde, sådan som anført af Olsen et al. 2004, det næringsstof, der af juletræer optages i den næststørste mængde. Det er bemærkelsesværdigt, at uden gødskning overstiger optagelsen af Ca endda N på de to lokaliteter med næringsrig jordbund, med højt indhold af Ca. Optagelsen af mikronæringsstofferne Fe, Mn og Zn er mængdemæssigt 10–100 gange mindre end makronæringsstofferne.

Tabel 2. Opbygget biomasse (tons/ha) og samlet optag af næringsstoffer (kg/ha) i 9 år gamle bevoksninger. Uden sporandel i beregning.

	Behandling	Biomasse	N	P	K	Ca	S	Mg	Fe	Mn	Zn
Hastrup	0	32,9	225	35,0	192	299	25,9	24,4	8,6	3,5	0,6
	150	44,7	338	46,1	265	365	35,3	39,1	12,2	7,6	0,7
	300	70,4	587	70,8	396	501	52,0	54,7	18,6	13,4	0,9
	600	67,0	633	71,4	432	446	55,7	52,4	23,2	71,8	1,0
	1200	68,9	625	69,5	395	464	54,8	52,8	19,0	33,2	2,0
Paludan	0	23,4	129	17,4	96	149	14,1	13,4	9,9	0,9	0,4
	150	25,1	152	20,8	148	147	17,1	15,4	10,7	0,6	0,5
	300	33,3	242	26,1	153	232	22,9	20,7	10,7	0,6	0,4
	600	44,0	357	39,4	214	214	28,9	22,7	11,8	1,8	0,7
	1200	54,2	371	44,2	243	356	33,3	30,7	15,7	0,9	1,0
Salten	0	56,2	446	76,0	212	386	44,7	57,6	16,3	11	12,6
	150	70,3	654	91,1	286	472	62,4	67,9	16,8	21,9	14,2
	300	79,1	715	94,5	330	506	67,8	69,9	14,1	22,6	13,2
	600	76,3	739	90,9	321	468	67,5	66,3	14,2	30,4	14
	1200	79,4	800	100,2	340	534	74,0	75,2	18,1	27,8	14,5
Gennemsnit	0	37,5	267	42,8	167	278	28,2	31,8	11,6	5,1	4,5
	150	46,7	381	52,7	233	328	38,3	40,8	13,2	10,0	5,1
	300	60,9	515	63,8	293	413	47,6	48,4	14,5	12,2	4,8
	600	62,4	576	67,2	322	376	50,7	47,1	16,4	34,7	5,2
	1200	67,5	599	71,3	326	451	54,0	52,9	17,6	20,6	5,8

Lokalitets- og behandlingsforskelle

For de fleste næringsstoffer er der en snæver sammenhæng imellem optagelse under hele omdriften og den tilførte gødning. Indtil et vist niveau mellem behandlingerne 300 og 600 kg NPK 23-3-7 stiger optagelsen tydeligt. Behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år afviger kun lidt fra behandlingen med 600 kg NPK 23-3-7/ha/år. Optagelsen af zink afviger dog herfra ved svage eller helt fraværende forskelle imellem de enkelte behandlinger. Tilsvarende afviger optagelsen af Mn også, men kun på Paludan, hvor der ikke er nogen behandlingsforskelle.

Biomassen er klart størst på Salten, hvor kontrolbehandlingen næsten giver samme biomasse som behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år på Paludan, som er lokaliteten med den ringeste vækst.

Næringsstofoptagelsen er også klart størst på Salten, når der ses bort fra K, Fe og Mn i behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. Her ligger Hastrup højere. Salten har også en bemærkelsesværdig stor optagelse af Zn. Salten kendetegnes desuden af klart det mindste spænd i næringsstofoptagelsen mellem behandlingernes yderpunkter. Således mere end tre-dobles optagelsen af N på Paludan mellem kontrolbehandlingen og behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. På Salten sker der kun en fordobling. Et andet eksempel er K, hvor optaget på Salten øges med 60 % fra kontrollen til behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. På de to andre lokaliteter er den tilsvarende forøgelse på over 150 %.

Stoflig bæredygtighed set ud fra omdriftbalancer

Gødskningen er tilstrækkelig til at dyrkningen er *stoflig bæredygtig*, når den sammen med den atmosfæriske deposition kompenserer for udtaget af næringsstoffer gennem høsten. Det vil sige, at gødskningen erstatter tabet af næringsstoffer fra et givent areal, når juletræerne permanent fjernes. En sådan vurdering kan for eksempel foretages ved at sammenligne næringsstofoptagelsen i tabel 3 med næringsstoffilførslerne i tabel 1. I sidstnævnte tabel bør tallene for den atmosfæriske deposition dog korrigeres med ca. 10–20 % for at tage højde for manglende målt tørdeposition.

Set over hele omdriften har gødskningen i de fleste behandlinger og for de fleste næringsstoffer været tilstrækkelig. Men der er undtagelser. Uden gødskning fjernes der på alle lokaliteter mere N og P, end der tilføres med nedbøren. Dette gælder også for Salten, selv når der tilføres 150 kg NPK 23-3-7/ha/år, mens de større doser er tilstrækkelige. Ikke al tørdeposition opfanges af nedbørsmålerne. Af denne grund kan den totale tilførsel i denne behandling dog være tilstrækkelig for N's vedkommende.

For K's vedkommende er gødskningen med 150 og 300 kg NPK 23-3-7/ha/år utilstrækkelig på Hastrup. I alle andre behandlinger og på Paludan under ét gives der over en hel omdrift tilstrækkeligt med K i forhold til biomasseudtaget.

Indholdet af Ca i gødningen NPK 23-3-7 er kun på nogle få procent og tilførslen gennem nedbøren er også lille. Derfor overstiger juletræernes store optag af Ca klart tilførslerne i langt de fleste behandlinger. De kraftigt voksende træer på Salten får end ikke i behandlingen med 1200 kg 23-3-7/ha/år tilført nok Ca til at dække udtaget. På Hastrup er 600 kg/ha/år og på Paludan 300 kg NPK 23-3-7/ha/år ikke nok. De store udvaskningstal og jordbundsanalyser (Christensen et al 2001a) peger på, at forvitringen af Ca på Hastrup og Paludan leverer tilstrækkeligt med Ca. På Salten er jordbunden langt fattigere på Ca, og der findes slet ikke frit kalk som på Paludan. På Salten vil kalkning være nødvendig for at opretholde jordens frugtbarhed ved juletræsproduktion. Netop det store optag af Ca er blandt de vigtigste årsager til, at nordmannsgranen forsurer den jord som den gror i (det gør andre planter også, hvis deres biomasse fjernes fra voksestedet).

Tilsyneladende er det kun i kontrolbehandlingen på Salten at høsten af juletræer fjerner mere Mg, end der tilføres. I alle andre behandlinger og på de øvrige lokaliteter er tilførslen af Mg set over en hel omdrift tilstrækkelig.

Svovl er det stof, der tilføres i størst overskud. Hverken i kontrolbehandlinger eller i nogen af gødningsbehandlinger har der været utilstrækkeligt med svovl. I behandlinger med 300 kg NPK 23-3-7 tilføres der således i gennemsnit over 17 kg/ha/år mere, end træerne forbruger. Den atmosfæriske deposition spiller her en afgørende rolle, og selv i denne behandling er den atmosfæriske deposition ca. dobbelt så stor som tilførslen med gødning. Den atmosfæriske deposition af svovl er faldet med 50 % over de seneste 15-20 år (Heidam, 2000) til i gennemsnit ca. 6 kg/ha/år. Til trods for dette store fald overstiger tilførslen stadig langt optaget.

Tabel 3. Opbygget biomasse (ton/ha) og samlet optag af næringsstoffer (kg/ha) i 9 år gamle bevoksninger. *Med sporandel i beregning.*

	Behandling	Biomasse	N	P	K	Ca	S	Mg	Fe	Mn	Zn
Hastrup	0	22,1	151	23,5	73	201	10,6	16,4	5,8	2,3	0,4
	150	30,0	226	31,0	112	245	12,9	26,2	8,2	5,1	0,5
	300	47,3	394	47,5	116	336	17,2	36,7	12,4	9	0,6
	600	45,0	425	47,9	161	299	21,8	35,2	15,6	48,2	0,7
	1200	46,2	419	46,6	183	311	25,1	35,4	12,7	22,3	1,3
Paludan	0	17,7	97	13,2	110	112	16,1	10,1	7,5	0,7	0,3
	150	19,0	115	15,7	174	111	20,1	11,6	8,6	0,5	0,3
	300	25,3	183	19,7	188	175	28,1	15,6	8,6	0,5	0,3
	600	33,4	269	29,7	270	182	36,4	17,1	8,7	1,2	0,5
	1200	41,0	280	33,3	312	268	42,8	23,1	11,9	0,7	0,8
Salten	0	39,4	312	53,3	149	271	31,4	40,4	11,5	7,7	8,8
	150	49,3	459	63,9	201	331	43,8	47,6	11,8	15,4	10
	300	55,5	502	66,2	232	355	47,5	49,0	9,9	15,9	9,3
	600	53,5	519	63,7	225	328	47,4	46,5	10	21,3	9,8
	1200	55,7	561	70,3	238	375	51,9	52,7	12,7	19,5	10,2
Gennemsnit	0	26,4	186,7	30,0	111	195	19,4	22,3	8,3	3,6	3,2
	150	32,8	266,7	36,9	162	229	25,6	28,5	9,5	7,0	3,6
	300	42,7	359,7	44,5	177	289	30,9	33,8	10,3	8,5	3,4
	600	44,0	404,3	47,1	219	270	35,2	32,9	11,4	23,6	3,7
	1200	47,6	420,0	50,1	244	318	39,9	37,1	12,4	14,2	4,1

Effekt af øget gødskning

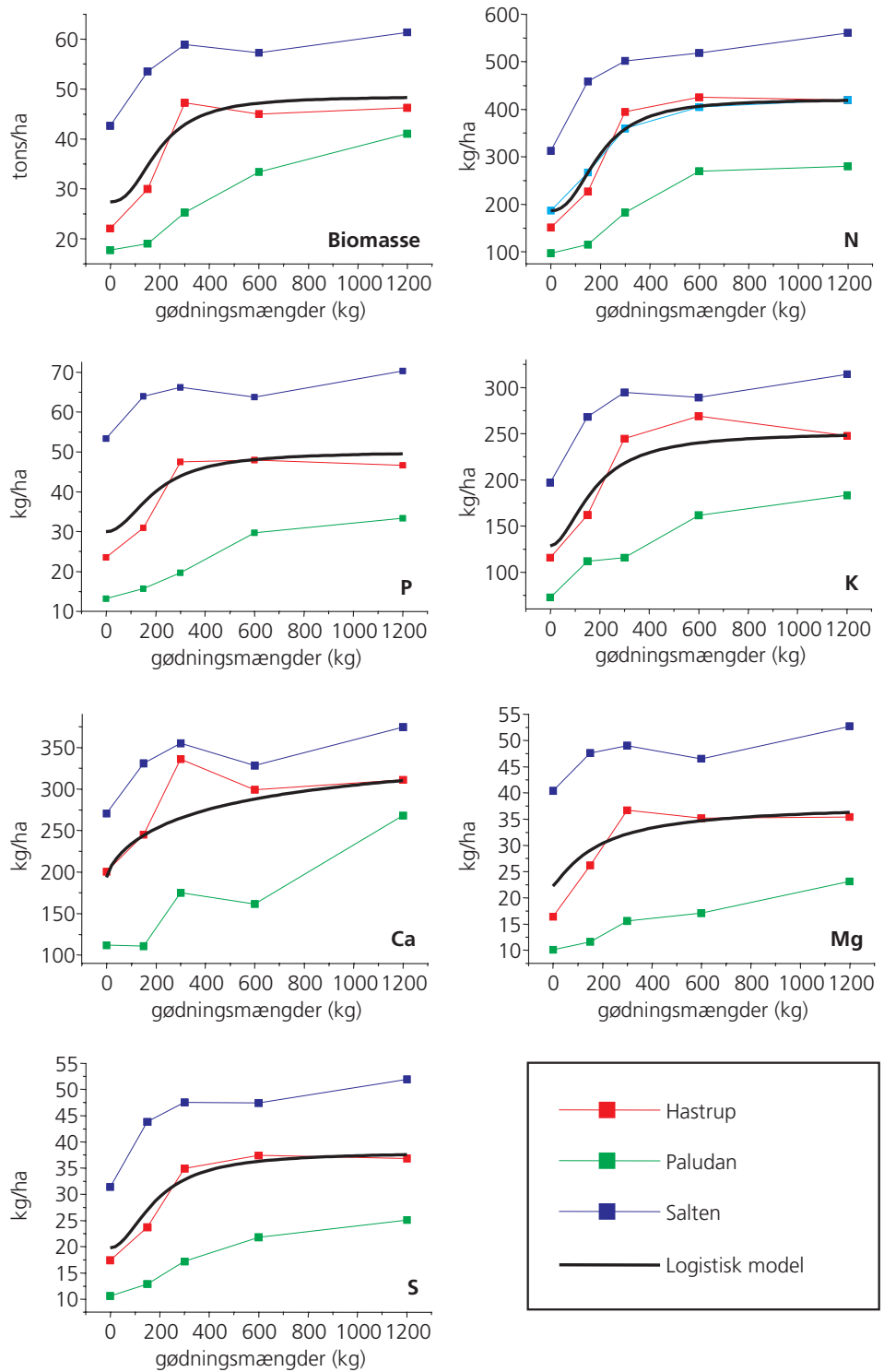
Gødningsdoseringens påvirkning af en hel omdrifts optag af næringsstoffer og biomasseakkumulation kan beskrives ved hjælp af sigmoidale modeller (logistisk vækstmodel), se figur 4. Gennemsnittet af den opbyggede biomasse vokser klart op til en dosis på 300 kg NPK 23-3-7, hvorefter forøgelsen kun øges relativt beskedent, og samme tendens synes også at gælde for de fleste næringsstoffer. Lignende resultater er også opnået for farveudviklingen (Christensen et 2001a). Selvom biomasseopbygningen kvantitativt set ikke er så stor på Paludan, så er der her en tendens til forsat øget vækst helt op til den højeste gødningsbehandling. På Hastrup og Salten synes der dog at være tale om en vis stagnation ved en gødningsdosering på omkring 300 kg NPK 23-3-7/ha/år.



Resultatet af forskellige gødningstilførsler af NPK 23-3-7 efter 6 vækstsæsoner på Hastrup. Fra højre er det kontrolbehandlingen. Derefter følger mod højre behandlingerne med 150, 300, 600 og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år.

Det er især tydeligt på to af lokaliteterne (Salten og Hastrup), at der nås en maksimal biomasseopbygning og næringsstofoptag for de fleste næringsstoffer, når gødningstilførslen øges. I gennemsnit nås dette punkt tæt på 600 kg NPK 23-3-7/ha/år med et maksimalt niveau lige under 50 tons tørstof/ha og 420 kg N/ha. Tilsvarende tal for P, K, Ca, Mg og S er på henholdsvis 50, 250, 375, 40 og 40 kg/ha.

Tilførslen på 300 kg NPK 23-3-7/ha/år synes at være grænsen for, hvornår næringsstofoptagelsen begynder at mindskes for hver enhed gødning, der tilføres. Alt andet lige, vil dette betyde, at det ideelle næringsstofoptag ved pågældende gødningsmetode befinder sig et sted mellem 300 og 600 kg NPK 23-3-7/ha/år. Ved en tilførsel på 300 kg NPK 23-3-7/ha/år optages der over den ni årige omdrift på hektarbasis i gennemsnit 360 kg N, 44 kg P, 220 kg K, 265 kg Ca, 32 kg Mg og 33 kg S. Det vil sige, at fordobles gødningstilførslen fra 300 til 600 kg eller 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år de sidste 4-5 år før afdrift, opnås der kun i omdriften et meroptag på hektarbasis på 60 kg N (17 %), 6 kg P (14 %), 30 kg K (14 %), 110 kg Ca (30 %), 8 kg Mg (25 %) og 7 kg S (21 %).



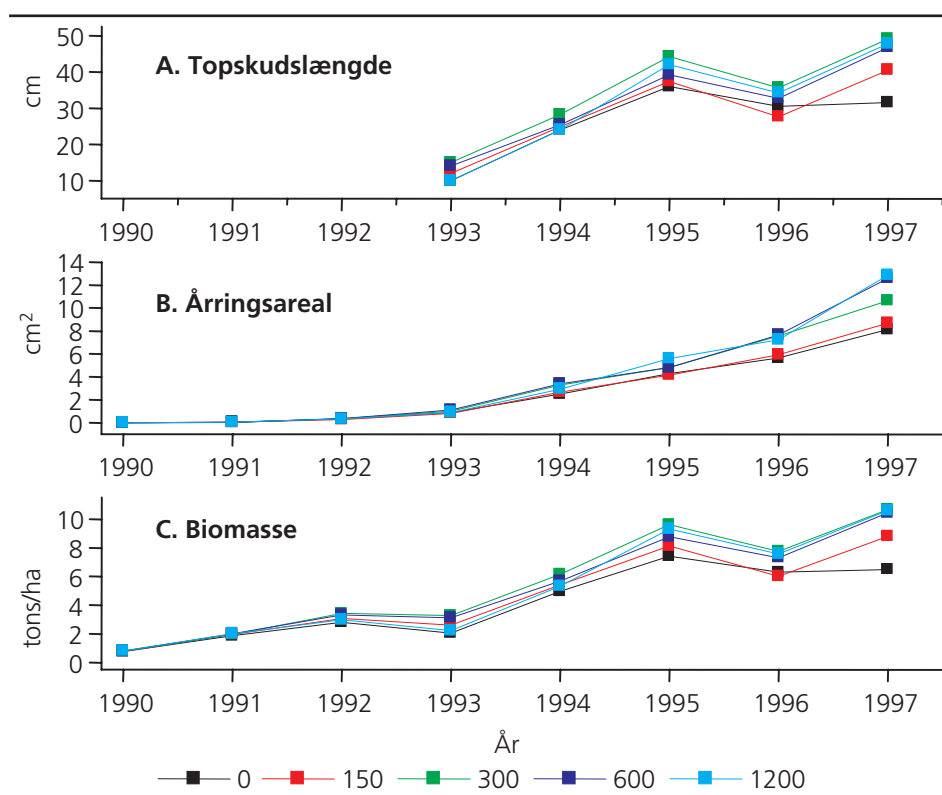
Figur 4. Næringsstofoptag og biomasseopbygning efter en omdrift på ni år som funktion af gødningstilførslen med handelsvaren NPK 23-3-7. I delfigurene er der også indlagt sigmoidale vækstmodeller, der bedst beskriver det gennemsnitlige forløb for de tre lokaliteter.

Forløbet af biomasseopbygningen og næringsstofoptagelsen over en hel juletræsodrift

Biomasse

I figur 5 er den modellerede udvikling af biomassen på Salten vist sammen med højdetilvæksten og »biomassetræernes« årringstilvækst. Der er en god overensstemmelse imellem de tre kurver, som må tages som udtryk for, at keglebeskrivelsen af træerne har været tilfredsstillende. Forløbet kendetegnes ved en langsom start med en meget lille tilvækst de første tre år - et forløb der let kan genkendes i de tre lokaliteters gennemsnit (figur 6). Variationen i tilvæksten de enkelte år på de forskellige lokaliteter kan i stort omfang forklares af nedbørsforskelle i vækstsæsonerne imellem de enkelte år. Således var 1993, men især 1996 år med meget lille sommernedbør.

I det første vækstår er forskellen imellem de enkelte behandlinger ikke så stor, men den tiltager mærkbart fra det fjerde år (figur 5), hvor kontrollen og behandlingen med den lille dosering på 150 kg NPK 23-3-7/ha/år skiller sig ud med dårligere vækst. I de følgende år uddybes denne forskel til kontrollen, mens behandlingen med 150 kg NPK 23-3-7/ha/år efterhånden også øger sin vækst i forhold til kontrollen, hvis vækst næsten er lineær.



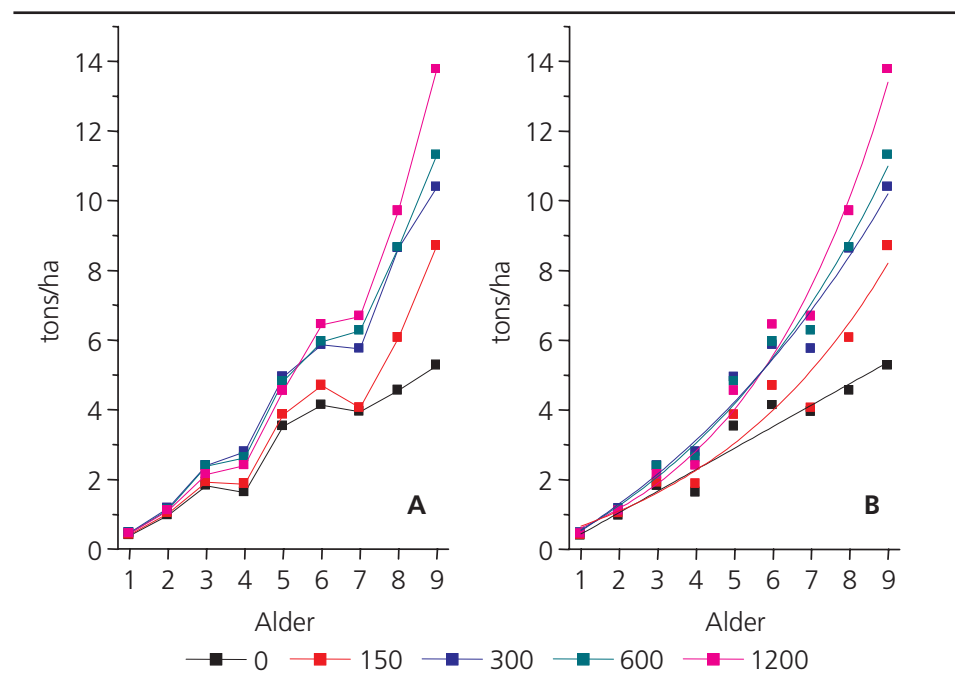
Figur 5. Årlig vækstforløb på Salten. **A.** Topskudslængde. **B.** Årringsarealet fra »biomassetræerne«. **C.** Den modellerede løbende biomasseopbygning.

De tre øvrige behandlinger (300, 600 og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år) har en biomasseudvikling med ganske små forskelle, der dog uddybes hen imod afdriften i det niende vækstår, hvor behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år efterhånden giver noget mere vækstkraftige træer end de to andre behandlinger.

Matematisk beskrives den løbende gennemsnitlige biomasseopbygning for alle lokaliteter i tons/ha/år med spor i de fem behandlinger bedst af eksponentielle vækstfunktioner:

Behandling	0	$-3745 + 3645 * e^{(\text{alder}/6073)}$	$R^2 = 0,95,$
Behandling	150	$-1,36 + 1,67 * e^{(\text{alder}/5,16)}$	$R^2 = 0,95,$
Behandling	300	$-5,48 + 5,34 * e^{(\text{alder}/8,36)}$	$R^2 = 0,98,$
Behandling	600	$-3,37 + 3,52 * e^{(\text{alder}/6,33)}$	$R^2 = 0,98,$
Behandling	1200	$-1,33 + 1,51 * e^{(\text{alder}/3,95)}$	$R^2 = 0,98,$

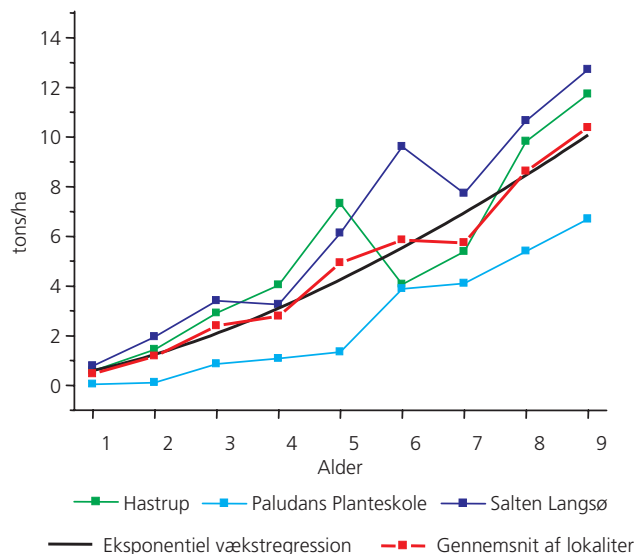
hvor parametrene i kontrolbehandlingen tydeligt har en karakteristisk helt anden størrelsesorden. Vækstfunktionerne er indlagt i figur 6, der i to delfigurer viser den løbende gennemsnitlige biomasseopbygning sådan som oprindeligt modelleret, og sådan som forløbet beskrives af ovennævnte matematiske regressioner.



Figur 6. Gennemsnitlig løbende biomasseopbygning på Hastrup, Paludan og Salten i relation til gødningstilførslen med NPK 23-3-7. **A.** Det oprindeligt modellerede forløb. **B.** Matematisk modelleret, løbende biomasseopbygning med eksponentielle vækstregressioner (matematisk beskrevet i teksten). Sporandel er indregnet i modellen svarende til et gennemsnitligt plantetal på 6.436.

Selvom tendensen i vækstforløbet er ens på de tre lokaliteter, så dækker gennemsnitskurverne og tilnærmelserne vha. deskriptive regressionsligninger over en vis variation mellem lokaliteterne (figur 7). Den sandede lokalitet Salten har tilsyneladende et lidt andet forløb af biomasseopbygningen, end den lerede lokalitet Hastrup har, men dette skyldes især at træerne på Salten var et år ældre. Derfor skal det reducerede vækstrespons i år 7 på denne lo-

kalitet (figur 7) i virkeligheden sammenlignes med det samme reducerede vækstrespons i det 6. vækstår på Hastrup. Paludan og Hastrup minder meget om hinanden, blot med en vis niveauforskydning. Lokalteterne ligger da også tæt på hinanden med et rimeligt ens klima. Jordbunden er dog klart forskellig.



Figur 7. Biomasseudviklingen i behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år på de tre lokaliteter i relation til alder fra anlæg. Indlagt gennemsnit for alle lokaliteter og den eksponentielle vækstregression.

Umiddelbart er der ingen tydelig sammenhæng mellem niveauet for forløbet af biomasseopbygningen og jordens indhold af næringsstoffer. Den løbende biomasseopbygning synes generelt for alle behandlinger at have forløb, der på Salten ligger et lille niveau højere end på Hastrup, mens begge disse to lokaliteter klart i alle år i alle behandlinger distancerer sig fra Paludan. Årsagen hertil er ikke klar, men højtstående grundvand og mindre god dræning i den underliggende kalkholdige jord og højt pH på Paludan kan være en af dem. Noget lignende kan også være forklaringen på forskellene mellem Salten og Hastrup, hvor sidstnævnte tunge lerjord er klart dårligere drænet og mere kold. Læforholdene på Hastrup er heller ikke så optimale som på Salten.

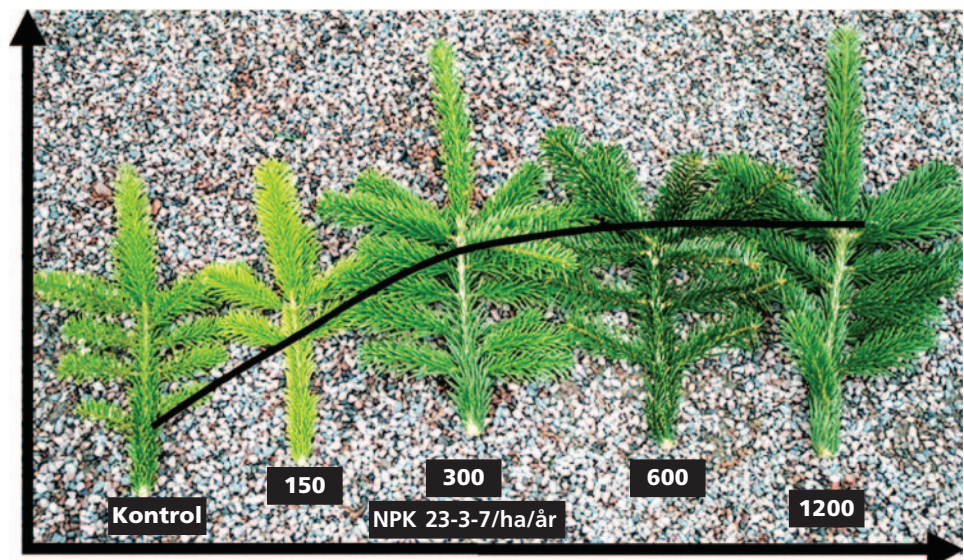
Næringsstofoptag

Når optaget af næringsstoffer skal relateres til markniveau, inkluderer beregningen arealet af sporene. Optagelsen af næringsstoffer er beskeden i de første år efter planteetableringen (figur 8), men begynder at tage fart omkring det 5. vækstår. Herefter sker der nærmest en eksponentiel stigning og i det sidste 9. vækstår er det stærkt øgede forbrug af næringsstoffer omtrent blevet fordoblet i forhold til året før. Selvom der er tale om niveauforskelle i optagelsen mellem de forskellige næringsstoffer, så er forløbet af optagelsen af næringsstofferne relativt ens.

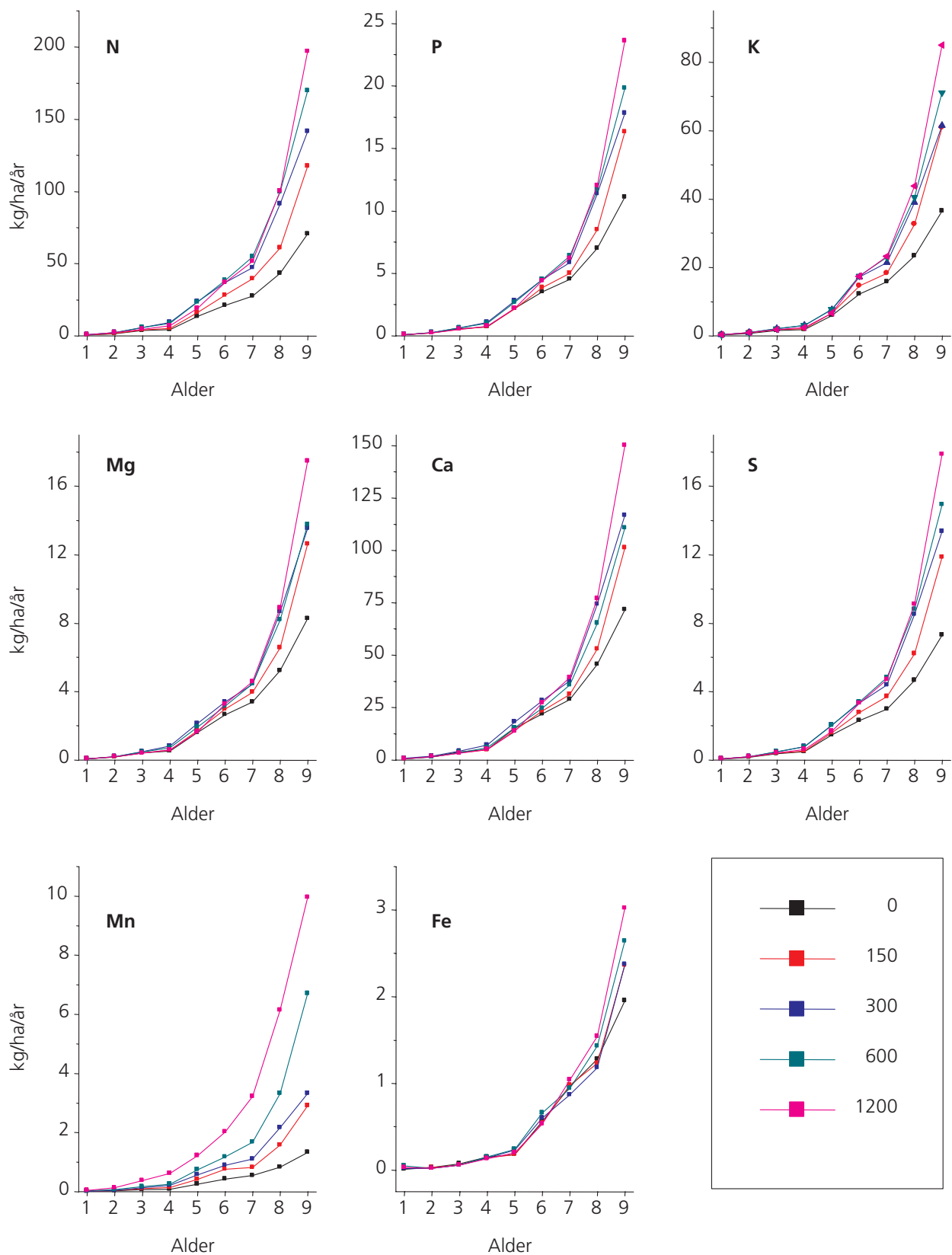
Først i år 4 igangsættes gødningsbehandlingerne, men det er først, for de fleste næringsstoffers vedkommende, efter seks års vækst, at forskellene i de

enkelte behandlinger tydeliggøres. Herefter øges forskellene i forbruget af næringsstoffer stadig mere mellem de enkelte behandlinger. Således er optagelsen af for eksempel N i behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år næsten tre gange så stor som i kontrolbehandlingen, men kun 40 % større end i behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år. Optagelsen af langt de fleste næringsstoffer følger hinanden tæt i behandlingerne med 300, 600 og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. Først i det sidste vækstår (9. år) synes behandlingen med 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år at udskille sig fra behandlingerne med 300 og 600 kg NPK 23-3-7/ha/år. Muligvis er træerne først på dette alderstrin blevet store nok til effektivt at udnytte den store næringsstofftilførsel, der foregår med denne behandling. Mikronæringsstoffet Fe er det eneste næringsstof, som er næsten uafhængigt af gødningsbehandlingerne.

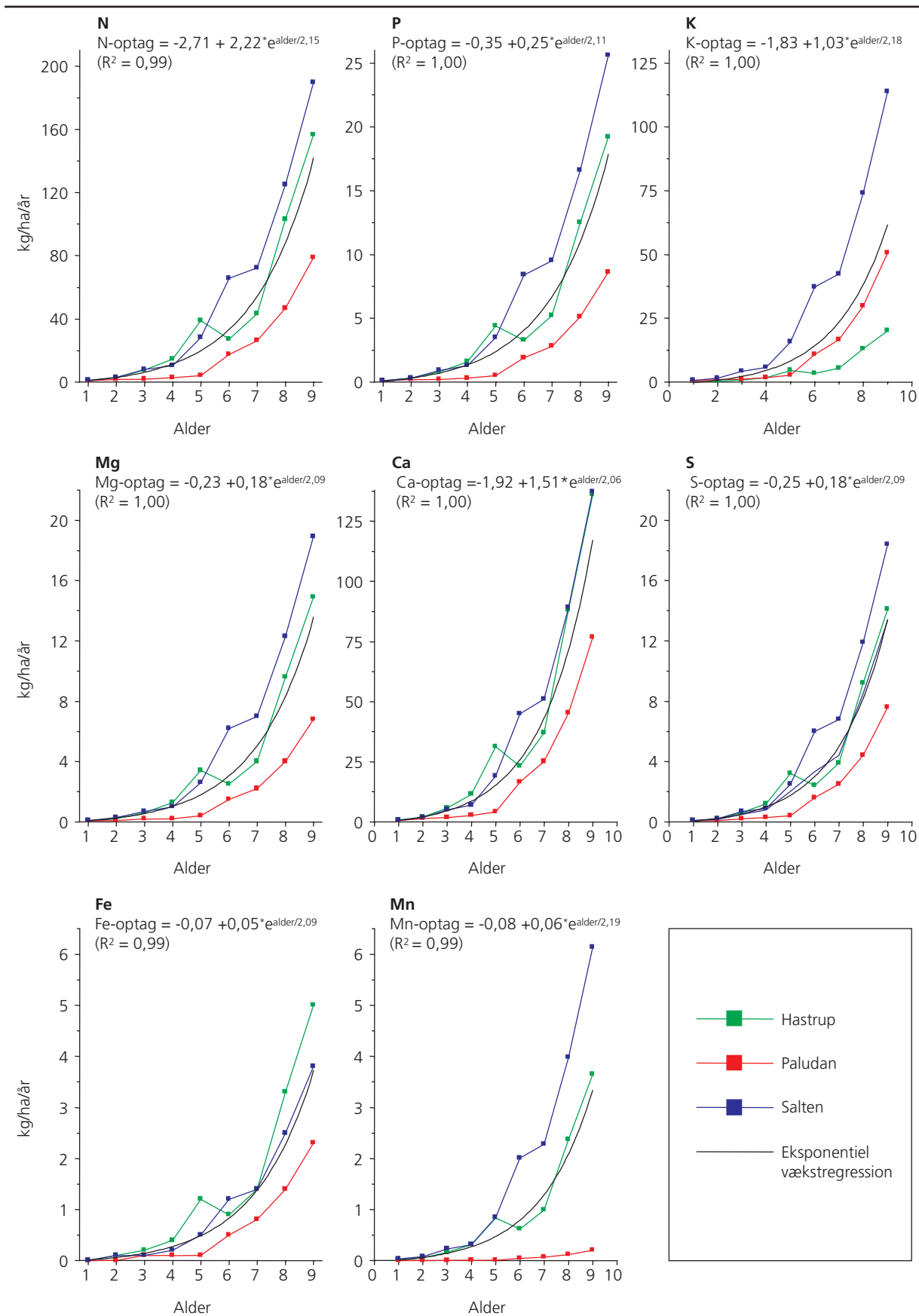
Behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år er tættest på dagens gødningspraksis. I figur 9 er vist næringsstofoptagelsen for denne behandling på de tre lokaliteter. Der er stor forskel mellem lokaliteterne, hvor Salten udmærker sig med det generelt største næringsstoffoptag, der omtrent er dobbelt så stort som på Paludan. Hastrup er placeret tæt på gennemsnittet af de to førstnævnte lokaliteter. Selvom væksten er mindst på Hastrup (figur 9), så afviger optagelsen af Ca på denne lokalitet ved at være lige stor som på Salten. Det skyldes meget høje Ca-koncentrationer i planterne som følge af tilstedeværelsen af høje koncentrationer i den næringsrige jord. Hastrup-lokaliteten afviger også ved et meget lille optag af K, formentlig fordi optagelsen er hæmmet af den store tilstedeværelse af Ca (induktiv hæmning). Desuden er optagelsen af Fe bemærkelsesværdig høj på denne lokalitet. Både optagelsen af Fe, men især Mn, er lav på Paludan igennem hele vækstforløbet. Formodentlig skyldes dette en lav tilgængelighed i jorden som følge af lokalitetens høje pH (Christensen et al 2001a).



Både nålefarve og indhold af N i såvel nåle som hele træet følger omtrent samme tendens når, gødningstilførslen øges.



Figur 8. De beregnede gennemsnitlige løbende næringsstofoptagelser på de tre lokaliteter; Hastrup, Paludan og Salten ved forårdsoseringer mellem 0 og 1200 kg NPK 23-3-7/ha/år. Sporandel er indregnet i modellen svarende til et gennemsnitligt plantetal på 6436.

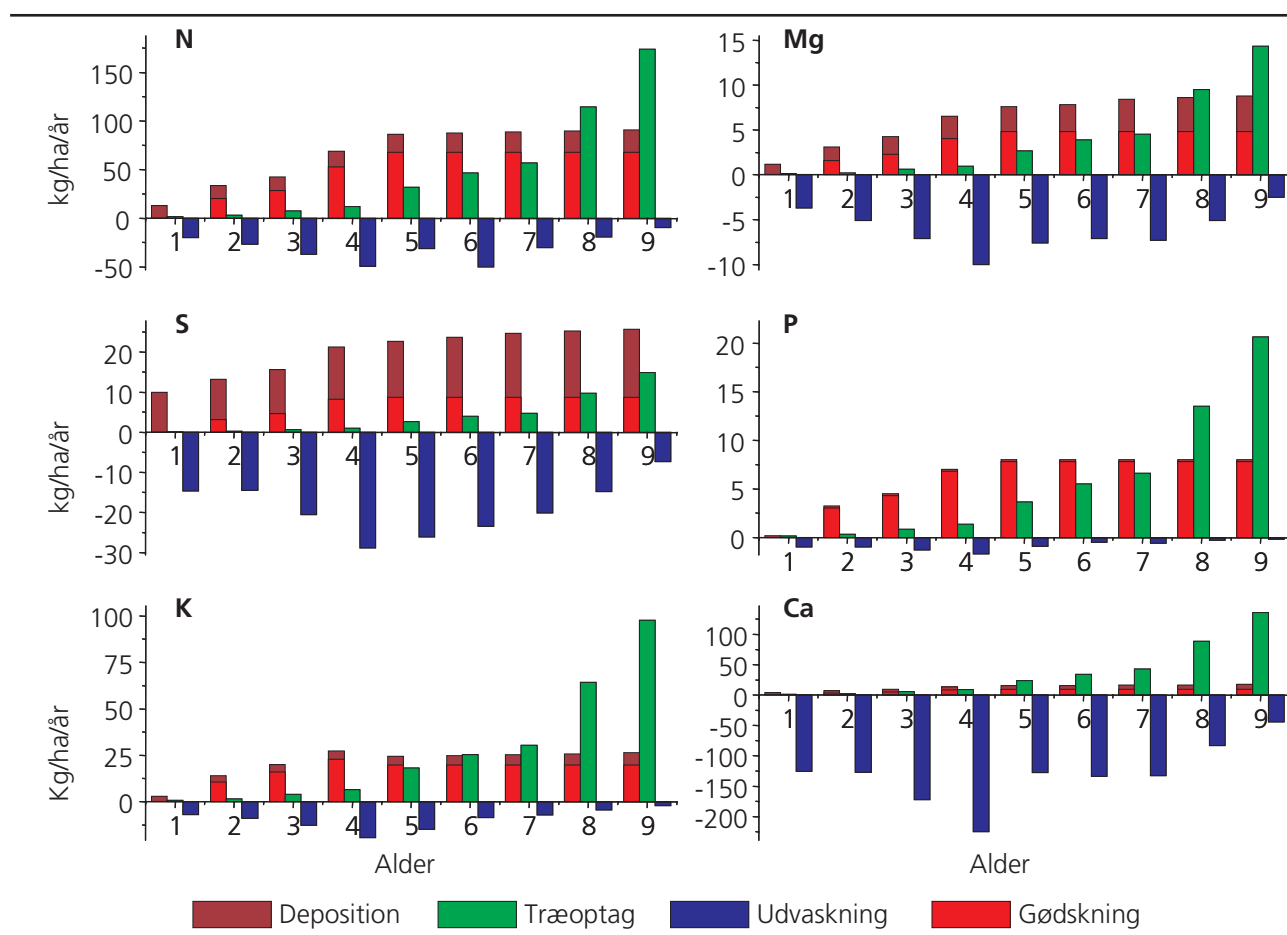


Figur 9. Modeller over den løbende næringsstofoptagelsen på tre lokaliteter; Hastrup, Paludan og Salten ved forårsdoseringen 300 kg NPK 23-3-7/ha/år. Den viste sorte kurve er en eksponentielt vækstregression lavet på gennemsnittet fra de tre lokaliteter. Plantetallet er 6.710, 6.222 og 6.375 på henholdsvis Hastrup, Paludan og Salten. Det gennemsnitlige plantetal er på 6.436.

Gødskes der nok på de rigtige tidspunkter?

Forløbet af næringsstofoptagelsen er navnlig interessant i forhold til, om der gødskes tilstrækkeligt, for lidt eller for meget på de rigtige tidspunkter i kulturens levetid. Et sådant regnestykke skal naturligvis inkludere den præcise gødningstilførsel på det areal, hvor bevoksningen gror, ligesom rodoptagelsen såvel som tabet også skal relateres hertil. Dette regnestykke bliver i denne sammenhæng – og i modsætning til ovennævnte optagelse, der er på markniveau - udført på parcelliveau, det vil sige uden sporberegning. Fordi biomassen fjernes fra juletræsarealet regnes, optagelsen som et tab for økosystemet. Optagelsen er fratrukket de næringsstoffer, der er lagret i rodsystemet, fordi rødderne typisk ikke fjernes ved afdrift. I dette afsnit er der udelukkende vist resultater fra behandlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år.

I figur 10 er vist det gennemsnitlige optag, tilførsel og udvaskningen af de vigtigste makronæringsstoffer i de tre undersøgte kulturer. De cirkulerede stofmængder, såvel som kredsløbenes mønster, er forskellig for de enkelte næringsstoffer. De enkelte stoffer gennemgås i de følgende afsnit.



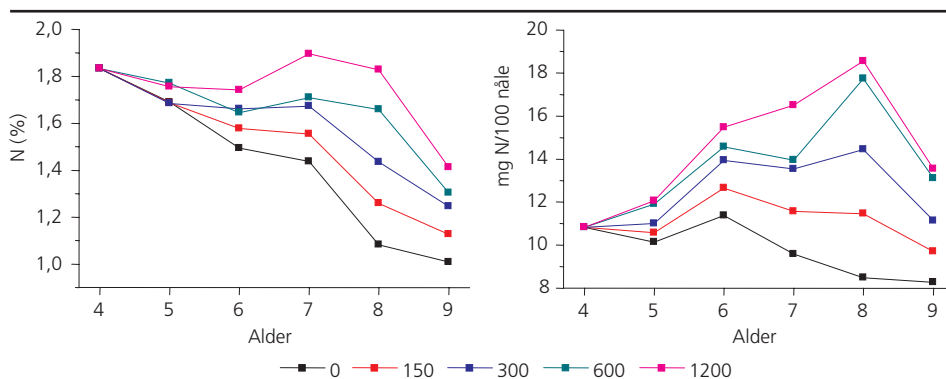
Figur 10. Modeller over den gennemsnitlige tilførsel, tab og optag af makronæringsstoffer på de tre lokaliteter; Hastrup, Paludan, og Salten over en omdrift på ni år. Alle stofstrømme er i kg/ha/år og relateret til undersøgelsens bevoksede parceller, det vil sige der er ingen fradrag fra sporandele indregnet. Kun behandlingen med 300 kg 23-3-7/ha/år.

Kvælstof

Kvælstof karakteriseres ved at være det næringsstof, der optages i størst mængde. Tilførslen med gødningen er betydelig, men den atmosfæriske N-deposition er også markant. Set over hele omdriften udgør den atmosfæriske deposition lidt over 35 % af tilførslen. Selvom depositionen stiger med træernes alder (jo større de bliver, desto flere gasser og partikler filtrerer de fra atmosfæren), så får den relativt mindre betydning, fordi gødningstilførslen stiger. I forhold til gødskningen, hvor alt N gives i vækstsæsonen, så tilføres omtrent halvdelen af den atmosfæriske deposition om efteråret og vinteren, hvor træerne ikke har et behov for næringsstoffer, eller hvor deres behov er meget lille. Kvælstof, der tilføres på dette tidspunkt af året, fikseres i jorden til partikler eller organismer, men er også meget udsat for udvaskning. Udvasningen af N er størst midt i omdriften (40-50 kg/ha/år). Her er træerne stadig relativt små, men der bredgødskes eller punktgødskes med store mængder gødning, som træerne ikke formår at optage på grund af et forholdsvist beskedent behov. Den modellerede udvaskning fra plantning til tre-fire års alderen er noget mindre (20-35 kg/ha/år) til trods for træernes ringere størrelse og mindre behov, men skyldes naturligvis en lille eller slet ingen dosering med punktgødskning. Noget af udvaskningen i de tidligste år stammer givetvis også fra arealernes tidligere anvendelse som intensivt landbrug med høj gødningstilførsel. Fra det 6. år efter plantning falder udvaskningen markant til 10-20 kg/ha/år. Her har bevoksningen lukket sig og væksten forøges ganske meget hvert år. Behovet for N vokser støt igennem hele omdriften fra ca. 1-3 kg/ha de første to år til ca. 175 kg/ha det sidste år før afdrift.

Det ses af figur 10, at der de sidste to år ikke tilføres nok N til at dække træernes behov. Når der stadig er en del udvaskning de sidste to år, skyldes dette givetvis en kombination af, at gødningen udelukkende er givet som forårsgødning, og at der i systemet er en vis »træghed«, hvor tilførte næringsstoffer det ene år (på grund af vejret mv.) godt kan »opholde« sig længere i systemet, for først at blive udvasket det efterfølgende år. I disse konkrete undersøgelser er forskellen mellem træernes optag af N og de tilførte mængder (gødskning + deposition) lidt over 150 kg N de sidste to år. Disse store mængder har træerne fået fra tidligere års tilført N, fra nedbrydning af ukrudtsvegetation og fra N, der er blevet mineraliseret i jorden. Selvom det gennemsnitlige N-underskud (deposition – (træoptag + udvaskning)) pr. år for de tre lokaliteter kun er på ca. 20 kg/ha/år, så er tilførslen tilsyneladende ikke fordelt optimalt. Der bør gives mindre N, når træernes behov er lille og mere, når deres behov er stort. Det er muligt, at der skal gives »rigeligt« det andet og tredje år for at få træerne hurtigt op, men de efterfølgende 2-4 år bør tildelingerne være mere moderate. Det »overskydende« N bør flyttes til de sidste to år før afdrift for at dække det store underskud, der er i de sidste vækstår. Dette er ikke bare nødvendigt for at højne juletræs kvaliteten, men det er også nødvendigt for at gøre produktionen bæredygtig i stoflig forstand. De sidste år før afdrift lukreres der således kraftigt på en opbygget N-kapital i jorden, et forhold der efter alt at dømme ikke er holdbart i længden, og som ikke kan afhjælpes blot ved at tilføre øgede mængder af mineralsk gødning i den næstkommende juletræsrotation.

Det forhold, at gødningstilførslen ikke matcher træernes stærkt stigende behov for N, illustreres tydeligt i figur 11. Her fremgår det, at såvel koncentration som indhold af N falder markant de(t) sidste vækstår. En høj koncentration af N er vigtig, fordi N er det næringsstof, der bidrager mest til træernes farveudvikling (Christensen et al. 2001a). Der bør derfor ske en omfordeling af N-tildelingen både af hensyn til træernes behov og kvalitet, men også for at beskytte miljøet bedre mod udvaskning af kvælstof.



Figur 11. Gennemsnitlig koncentration og indhold af N i førsteårsnåle på de tre lokaliteter; Hastrup, Paludan og Salten i relation til alder.

Fosfor

Fosfor er det næringsstof, der optages i fjerde størst mængde efter N, Ca og K. Fosfor kendetegnes ved en meget lille deposition, ofte under 0,5 kg/ha/år, men også af en meget lille udvaskning fordi stoffet bindes forholdsvis hårdt i jorden. Der gælder det samme for P som for N: Tildelingen matcher ikke behovet over tid. Der tilføres for store mængder tidligt i omdriften og for små mængder nær afdrift. Men til forskel fra kvælstof kan kulturen formentlig i større omfang benytte den tidligere spredte gødning, fordi P-udvaskningen er så lille. I alt er der tale om et underskud på ca. 2 kg/ha for en hel omdrift svarende til en manglende gødningstilførsel på knapt 0,2 kg P/ha/år, for at gødning og træoptag skal balancere. Et så lille tal ligger givetvis inden for modellens usikkerhed, og det må konkluderes, at tilførsel og udtag af fosfor er i balance.

Kalium

Kaliumkredsløbet kendetegnes ved, at der tilføres forholdsvis store mængder med gødningen og moderate mængder med depositionen. Udvasningen af K er beskeden, fordi optagelsen er meget effektiv, og fordi K let fikseres i jorden, bl.a. gennem ionbytning. Kalium er det næringsstof, der optages tredje mest af. Som for de øvrige næringsstoffer matcher optagelsen af K heller ikke tilførslen. Over en omdrift mangler der næsten 60 kg K/ha svarende til ca. 6,5 kg K/ha/år, før deposition og gødning balancerer med træoptaget. Samtidig tabes der ca. 9,5 kg K/ha/år gennem udvaskning svarende til 45 % af tilførslen. Det store optag i forhold til den begrænsede tilførsel vidner om en betydelig kompenserende forvitring. En mængdemæssig tilfredsstillende

tilførsel af K kan opnås ved at skifte fra NPK 23-3-7 til NPK 14-3-18. Her ved mere end fordobles tilførslen af K.

Magnesium

Der tilføres betydelige mængder Mg med den atmosfæriske deposition. Næsten 45 % af tilførslen stammer herfra, mens 55 % tilføres gennem gødskningen. Udvaskningen er også betydelig, idet der udvaskes lige så store mængder magnesium, som der optages, ca. 6 kg/ha/år. Den store deposition medvirker til, at tilførslen af magnesium over en omdrift er 50 % større, end hvad der optages og dermed fjernes ved afdrift. Tilførslen kan dog ikke helt balancere tabet, når udvaskningen også indregnes. Det mindre underskud er dækket gennem forvitring, som ved simpel subtraktion af input og output kan estimeres til ca. 0,5 kg Mg/ha/år. Tilførsel og optagelse balancerer næsten det næstsidste vækstår, mens optagelsen af Mg er klart størst det sidste år før afdrift.

Kalcium

Kalciumkredsløbet kendetegnes af et stort udvaskningstab. I gennemsnit blev der udvasket ca. 130 kg Ca/ha/år. Det store tab er for en stor dels vedkommende bestemt af beskaffenheden af de jorde, der indgik i undersøgelsen. Jordene havde enten et højt indhold af Ca, eller også var der tilført jordbrugskalk. I forhold til udvaskningen er planteoptaget ikke stort, men sammenlignet med de øvrige stoffer er træoptaget af Ca det næststørste. Forbruget er, som for de øvrige næringsstoffer, stærkt stigende med bevoksningernes alder. Gennemsnittet er på ca. 38 kg Ca/ha/år, ca. tre gange så meget som der tilføres med gødningen og depositionen. Dette kunne indikere en markant ubalance mellem tilførsel og forbrug af næringsstoffer, men forvitringen/tilførslen med jordbrugskalk kompenserer rigeligt for forskellen.

Svovl

Der tilføres moderate mængder med gødningen, mens den atmosfæriske deposition er stor. I gennemsnit tilføres der lidt over 20 kg S/ha/år fordelt til ca. 70 % fra den atmosfæriske deposition og 30 % med gødningen. Selv det sidste vækstår, hvor træoptaget er stort, overgår tilførslerne klart det forholdsvis beskedne optag. Den store tilførsel og det forholdsvis beskedne optag fører til, at det mobile svovl let udvaskes. Tilførslen balancerer derfor godt tabet gennem udvaskning og tab ved fjernelse af træerne ved afdrift. Det er vigtigt ikke at gødske med et alt for stort overskud af S, idet S i form af det meget mobile og negativt ladede sulfat (SO_4^{2-}) nærmest trækker andre næringsstoffer med sig ud af rodzonen.

Gødningssammensætning

Hidtil er nåleanalyser blevet benyttet som det bedste værktøj til at bestemme den ideelle gødningssammensætning til juletræer. Nåleanalyserne har den fordel, at de er nemme at få lavet, og at de afspejler mulige ændringer i næringsstofbehovet i løbet af omdriften, hvis de tages løbende. Til gengæld har de den svaghed, at de påvirkes betydeligt af den enkelte lokalitet, vejret (især hvis de tages i vækstperioden) og gødskningen.

En totalanalyse af næringsstofferne i hele træet udjævner sådanne fluktuationer, ligesom den indarbejder næringsstofferne i både, rødder, bark, stamme, grene og nåle. Totalanalyserne må ligesom nåleanalyserne også afspejle de enkelte lokaliteters karakteristika såvel som gødningshistorien.

Gødningssammensætningen er altid opgivet i procent. Den almindelige klorfattige allround gødning NPK 23-3-7 hentyder således til ca. 23 % N, 3 % P og 7 % K. I virkeligheden dækker navnet over en oprunding til hele procenter. Sammensætningen af denne gødningstype og andre almindeligt anvendte totalgødninger fremgår af tabel 4. I tabellen er samtidigt indsat den relative fordeling af næringsstofferne i nålene fra de tre lokaliteter.

Tabel 4. Forhold mellem næringsstoffer i eksempler på gødningstyper samt i træernes biomasse, deres nåle og i nåle fra andre intensive undersøgelser. De viste forhold for nåle er alle taget fra bevoksninger, der er gødsket med NPK 23-3-7. Eneste undtagelse er Klelund, hvor der er gødsket med NPK 14-3-15.

Emne	N	P	K	Mg	S
23-3-7 m/S, Mg	1	0,12	0,29	0,07	0,18
14-3-15 m/S, Mg	1	0,21	1,07	0,18	0,71
14-3-18 m/S, Mg	1	0,22	1,29	0,07	0,63
14-4-19 m/S, Mg	1	0,26	1,37	0,07	0,11
15-4-10 m/S, Mg	1	0,24	0,67	0,08	0,13
12-5-15 m/S, Mg	1	0,40	1,19	0,13	0,64
20-2-12 m/S	1	0,11	0,59	0,00	0,18
22-2-12 m/S, Mg	1	0,08	0,55	0,06	0,13
21-3-10 m/S, Mg	1	0,13	0,47	0,05	0,18
20-3-8 m/S, Mg	1	0,16	0,93	0,06	0,20
24-2-8 m/S	1	0,08	0,32	0,00	0,15
16-4-12 m/S, Mg	1	0,24	0,73	0,11	0,25
Biomasse fra denne undersøgelse	1	0,13	0,56	0,09	0,09
Nåle, GNS, denne undersøgelse	1	0,11	0,48	0,06	0,08
Nåle, Langesø Skovdistrikt (Fyn)	1	0,14	1,09	0,05	0,08
Nåle, Thy Statsskovdistrikt (Nordjylland)	1	0,15	0,66	0,07	0,09
Nåle, Klelund Plantage (Sydjylland)	1	0,15	0,70	0,05	0,09
Nåle, Salten II (Midtjylland)	1	0,15	0,80	0,06	0,09
Nåle, Skærbæk (Sydvestjylland)	1	0,15	0,63	0,05	0,09
Nåle, Teglstруп (Sydsjælland)	1	0,15	0,73	0,04	0,09
Nåle, GNS S&L's nåledatabase	1	0,14	0,73	0,05	0,09

Det fremgår af tabel 4, at nåleanalyserne giver næringsstofforhold, der ligger meget tæt på biomasseundersøgelsens forhold, hvorfor nåleanalyser må vurderes som velegnede, når gødningssammensætningen skal vurderes. Måske er der dog en tendens til et svagt afvigende Mg/N-forhold mellem biomasse og nålene. Tabellen viser også, at denne undersøgelses resultater tilsy-

neladende har et lidt lavere P/N-forhold og K/N-forhold i forhold til gennemsnitstallene for nåle.

Blandt de udvalgte gødninger i tabel 4 (de almindeligste blandt producenterne) er der ingen, som fuldstændig matcher juletræernes sammensætning. Her skal man også være opmærksom på, at træerne ikke er 100 % effektive i deres næringsstofoptag. Der vil altid være gødningsstoffer, der passerer trærødderne ud af rodzonen. Af de listede stoffer i tabel 4 er det navnlig Mg og S, der er udsat for udvaskning, idet de tilladelige N-kvoter, i hvert fald i ældre bevoksninger, kun tillader en lille udvaskning af N (i mellemaldrende bevoksninger, hvor der bruges bredgødskning, er der dog stor risiko for udvaskning af N). Der er tilsyneladende ikke problemer med S, der altid tilføres i rigelige mængder i forhold til N. Derimod synes tilførslen af Mg generelt at være lav i forhold til N.

På denne baggrund må det vurderes, at den traditionelt anvendte NPK 23-3-7 generelt har et for lavt indhold af K. Taget i betragtning at træernes optagelse af P er en anelse større end tilførslen, er det fristende at anbefale 22-2-12 m/S, Mg, men også 21-3-10 m/S, Mg ligger tæt på.

På Langesø (tabel 4) havde bevoksningen tydeligt mangel på Mg (Pedersen et al. 2004). Lades denne ude af betragtning, så ligger forholdet mellem K/Mg ca. mellem 8 og 12. Dette kunne også tale for de to ovennævnte gødningstyper, men også for gødningstyperne med sammensætningen 15-4-10 eller 12-5-15. Dog har disse gødningstyper et meget højt indhold P og/eller S.

Det må bemærkes, at ovennævnte er en generel vurdering, der givetvis vil passe til de fleste lokaliteter i de fleste år, men der kan sagtens være afvigelser i form af anderledes jordbundstyper, der fordrer en anderledes gødnings-sammensætning eller endda brug af specialprodukter. Typisk kan der, som ovenfor nævnt, i forsøget på Langesø være mangel på Mg, som bør rettes gennem tilførsel af for eksempel »Solumag« eller kieserit. Endelig kan variationen i det danske vejr også betyde, at nogle gødningstyper kan være mere anvendelige det ene år frem for det andet, ligesom visse gødningstyper er bedre end andre på givne tidspunkter af året. Typisk er organiske gødninger velegnede som grundgødning om foråret, mens eftersommerens farvegødskning skal ske med den mineralske gødning.

Konklusion

Nordmanngranens vækst er ikke simpelt koblet til jordens næringsstofstatus. Det var intensionen med denne undersøgelse at klarlægge jordbundens betydning noget mere, men uden held. Denne undersøgelse peger dog på, at biomasseopbygningen hos gødskede juletræer i de første ni vækstår indtil afdrift er størst på lettere sandede lokaliteter med god dræning sammenlignet med lerede næringsrige og/eller kalkholdige jorde, der ikke er veldræned.

Ved gødskning med NPK 23-3-7 øges biomasseopbygningen generelt stærkt indtil 300 kg/ha/år. Herefter øges biomasseopbygningen svagt for stort set ikke at stige, når gødskningen øges over 600 kg/ha/år. Biomasseopbygningen over en omdrift kunne tilfredsstillende beskrives med eksponentielle funktioner, der passer med en beskedent vækststart efterfulgt af en næsten lineær vækstforøgelse i midten af omdriften for til sidst at gå over i en meget stærk vækstforøgelse de sidste par år inden afdrift.

Optagelsen af næringsstoffer er generelt størst i rækkefølgen $N > Ca > K > P > Mg > S$ i juletræsbevoksninger med nordmannsgran. På knapt så næringsrige lokaliteter kan optagelsen af Ca være større end optagelsen N, når der ikke gødskes. Optagelsen af næringsstoffer er påvirket af den enkelte lokalitet. I denne undersøgelse varierede især optagelsen af K og Ca mellem de enkelte lokaliteter. Bevoksningerne på de tre undersøgte lokaliteter har også reageret forskelligt på gødning. På den lettere sandede lokalitet (hvor træerne voksede bedst) var forøgelsen i næringsstofoptagelsen generelt ikke så stor, sammenlignet med de ugødskede træer, som på de to næringsrige lokaliteter.

Der kan tilsyneladende være stor forskel på optagelsen af mikronæringsstoffer. I denne undersøgelse udviste især optagelsen af Zn og Mn stor variation imellem de enkelte lokaliteter, mens Fe ikke varierede så meget.

Effekten af øget gødskning på biomasseopbygningen og næringsstofoptagelsen har været ganske tydelig. Op til en tilførsel på ca. 300 kg NPK 23-3-7/ha/år har såvel biomasseopbygningen som optagelsen af langt de fleste næringsstoffer vokset tydeligt. Herefter fremkom der en klar stagnation, der resulterede i ubetydelige forskelle mellem de to høje behandlinger (600 og 1200 NPK 23-3-7/ha/år).

I den gødningsbehandling, der lå tættest op af »normal praksis« (300 kg NPK 23-3-7/ha/år), er der - set over en hel omdrift - tilført nok N, P, K, S og Mg til at kompensere for fjernelsen af juletræerne. Derimod svarer gødnings-tilførslerne i behandlingerne - set tidsmæssigt over omdriften - ikke til forbruget hos træerne. Ofte mistes der betydelige mængder gødningsstoffer gennem udvaskningen i de tidligere år.

Generelt blev der gødsket for meget i de tidlige faser af omdriften og for lidt i den sene. Det gælder navnlig de sidste to år før afdrift, hvor forbruget i be-

handlingen med 300 kg NPK 23-3-7/ha/år var langt større end tilførslen med gødningen og den atmosfæriske depositionen. Dette er især aktuelt for N og K. Fosfor tilføres også ubalanceret med mængder, der i de sidste to år af omdriften er for lave i forhold til træernes optag. Måske er dette ikke et problem da P bliver længere i systemet (stærkere bundet til jordens kolloider).

Flytning af noget af gødningstilførslen fra den mellemaldrende til den sene vækstfase vil formodentlig være en brugbar løsning på problemet i mange bevoksninger. Man skal dog være opmærksom på, at gødningsbehovet i juletræsbevoksninger er større end det faktiske optag, fordi alt gødning ikke optages. Ved at reducere tilførslen i den mellemaldrende fase, kan der måske opstå negative effekter i form af mindre farvetab og mindre vækst. Af denne grund vil et generelt hævet gødningsniveau fra 75 til 100 kg N/ha/år i juletræsbevoksninger også være en løsning. Effekten heraf på vækst, kvalitet og miljø er dog ikke tilstrækkeligt forskningsmæssigt undersøgt.

Tilsyneladende tilføres der generelt passende mængder Mg i hele omdriften, mens der øjensynligt tilføres alt for store mængder S på alle tidspunkter i omdriften, når depositionen indregnes. Her skal man dog være opmærksom på, at en stor del af depositionen af S foregår om vinteren, når træerne er i dvale og ikke har brug for det.

Optagelsen og udvaskningen Ca er meget større end tilførslen med den atmosfæriske deposition og med gødskningen. Her har forvitring og tilførsel af jordbrugskalk rigeligt kompenseret for udtaget af næringsstoffer med juletræshøsten.

Anbefalinger

Til praksis

Flyt noget af gødningen fra den mellemste fase i omdriften til de 2-3 sidste år før omdrift

Det betyder, at træerne får flere næringsstoffer til rådighed, de får en bedre vækst, sundhed og farve, og samtidigt mindskes miljøbelastningen fra kvælstofudvaskning til grund- og overfladevand; men vær opmærksom på eventuelle negative effekter på vækst og farve i mellemfasen.

Bibehold punktgødning i hvert fald i kulturstartens anden og tredje år

Ønsker man at »turbo-starte« sine planter, skal man punktgødske for at reducere de negative virkninger af udvaskning og ukrudt. Der er dog ingen forskningsmæssig dokumentation af betydelige gødningseffekter med barrodsplanter på tidligere markjord (Christensen, 1998).

Skift generelt gødningstype væk fra NPK 23-3-7

NPK 22-2-12 m/S, Mg, men også 21-3-10 m/S, Mg har en god sammensætning af makronæringsstoffer, men undersøg for eventuelle u hensigtsmæssige tilsætninger af mikronæringsstoffer.

Mere kalium lige før omdriften slutter

NPK 14-3-18 kan eventuelt anvendes de sidste 2-3 år af omdriften. Dette vil være tilstrækkeligt til at kompensere for det store forbrug af K i årene før afdrift.

Kalkning mellem omdrifter

Efter afdrift på sandede jordbundstyper eller jorde med lavt Rt (pH) bør der tilføres jordbrugskalk svarende til ca. 1,5 tons Ca/ha. Dette svarer til det gennemsnitlige tab i denne undersøgelse ved udvaskning og træoptag. 1,5 tons Ca svarer ca. til 2,7 tons jordbrugskalk eller 5,0 tons dolomitkalk. Dolomitkalk vil også medvirke til at hindre forsuring af jordbunden samt bibringe ekstra Mg til kulturene. På andre jordbundstyper bør pH og indhold af Ca undersøges efter hver afdrift.

Ikke behov for mere svovl

Tilfør ikke ekstra S, med mindre der er sikre beviser på svovlmangel. S'et bidrager bare gennem udvaskningen til at trække mere Ca, K og Mg ud af rodzonen.

Til forskning

Vækst- og næringsstofmodellen

Vækst- og næringsstofmodellen som præsenteret i rapporten her, bør valideres med en række ekstensivt foretagne stikprøver fra flere juletræsbevoksninger. Herved sikres en langt større sikkerhed og bredde i modellen og dermed også i den praksisnære anvendelighed.

Jordbundsforholdene er ikke nok inddraget i vækst- og næringsstofmodellen

Dette bør være muligt, men fordrer at der inddrages langt flere lokaliteter.

Vækst- og næringsstofmodellen hviler på en række forudsætninger

En del af disse knytter sig til juletræsbevoksningers tidligste vækstfase. Denne er meget dårligt belyst, både ud fra et vækst-, næringsstof- og miljømæssigt udgangspunkt.

Overgangsfasen fra afdrift til nyetablering af kultur er dårligt belyst

Hvordan opnås den bedste etableringssucces og plantekvalitet i den unge kultur i relation til de vækstbetingelser, som tilrettelæggelse af forskellige høst- og plantningsstrategier byder.

Litteratur

Christensen C.J. (1998):

Startgødskning af nordmannsgran kulturer på tidligere agerjord. Pyntegrøntserien nr. 8, 53 s.

Christensen C.J., Pedersen L.B. & Ege Friis (2001a):

Bevoksnings- og farvegødskning af nordmannsgranjuletræer - resultater fra 6 års forsøg på tidligere agerjord. Pyntegrøntserien nr. 16, 1-101.

Christensen C.J., Ingerslev M., Pedersen L.B. & Nielsen U.B. (2001b):

Proveniensbetingede forskelle i gødskningsrespons mellem nordmannsgranprovenienserne Ambrolauri og Langesø afd. 6 på Salten 1994-97. Pyntegrøntserien nr. 17, 1-64.

Heidam N.Z. (2000):

The background air Quality in Denmark 1978 – 1997. National Environmental Research Institute, Denmark. 192 p. – NERI Technical report no. 341.

Olsen, W., Thomsen I. M. & Christensen P. (2004):

Optimal ernæring og mangelsygdomme i nordmannsgran. Røde nåle (CSNN) i nordmannsgran. PAF-rapport.

Pedersen, L.B, Christensen, C.J., Nielsen, A.O. & Krag M. (2004):

Sekventiel udbringning af gødning til nordmannsgranjuletræer. Arbejdsrapport *Skov & Landskab* nr. 2, 2004, 1-55.