OZ-M

DET FORSTLIGE FORSØGSVÆSEN I DANMARK

THE DANISH FOREST EXPERIMENT STATION
STATION DE RECHERCHES FORESTIÈRES DE DANEMARK
DAS FORSTLICHE VERSUCHSWESEN IN DÄNEMARK

BERETNINGER UDGIVNE VED
DEN FORSTLIGE FORSØGSKOMMISSION

REPORTS WITH SUMMARIES IN ENGLISH
RAPPORTS AVEC DES RÉSUMÉS EN FRANÇAIS
BERICHTE MIT DEUTSCHER ZUSAMMENFASSUNG

Ola Zethner
FAO Forest Officer (Entomology)
UNDP/FAO Project PAK. 30
Forest Research Institute
Chittagong.

BIND XXVII

HÆFTE 3

INDHOLD

H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Undersøgelse af træarts- og aldersindflydelsen på grundvandstanden i skovtræbevokninger på Bregentved. (An Investigation of the Influences of various Tree-Species and the Ages of the Stands on the Level of the Groundwater-Table in Forest Tree Stands at Bregentved.) S. 233. (Beretning nr. 213).

KØBENHAVN
TRYKT I KANDRUP & WUNSCH'S BOGTRYKKERI
1961

Bd. XXI, H. 1: Nr. 169. C. H. Bornebusch †: Nørholm Hede. Tredje beretning. (Lande de Nørholm. Troisième rapport). S. 1 — Nr. 170. Niels Haarløv og Broder Beier Petersen: Temperaturmålinger i bark og ved af Sitkagran. (Measurements of temperature in bark and wood of Picea sitchensis). S. 43. — **H. 2**: Nr. 171. David Fog and Arne Jensen: General volume table for beech in Denmark. (Almindelig massetabel for bøg i Danmark). S. 93. — Nr. 172. H. A. Henriksen: Die Holzmasse der Buche. (Bøgens vedmasse). S. 139. — Nr. 173. H. A. Henriksen og Erik Jørgensen: Rodfordærverangreb i relation til udhugningsgrad. En undersøgelse på eksperimentelt grundlag. (Fomes annosus attack in relation to grade of thinning. An investigation on the basis of experiments). S. 215. — **H. 3**: Nr. 174. Carl Mar: Möller, D. Müller & Jörgen Nielsen: Loss of branches in European Beech. S. 253. — Nr. 175. Carl Mar: Möller, D. Müller & Jörgen Nielsen: Respiration in stem and branches of Beech. S. 273. — Nr. 176. D. Müller: Die Atmung der Buchenblätter. S. 303. — Nr. 177. D. Müller: Die Blätter und Kurztriebe der Buche. S. 319. — Nr. 178. Carl Mar: Möller, D. Müller & Jörgen Nielsen: Graphic presentation of dry matter production of European Beech. S. 327. — **H. 4**: Nr. 179. E. C. L. Løfting: Danmarks ædelgranproblem. (Denmark's Silver Fir Problem). S. 337. — Nr. 180. V. Gøhrn, H. A. Henriksen og B. Beier Petersen: Iagttagelser over Hylesinus (Dendroctonus) micans. (Observations of Hylesinus (Dendroctonus) micans Kug.). S. 383. — Nr. 181. Bent Søegaard: Fem søskendebestøvninger i europæisk lærk. (Controlled Pollination of Five Sister Trees of European Larch). S. 435. — Nr. 182. K. Brandt: Proveniensforsøg med skovfyr m. v. i Jørgensens plantage, Djursland. (Provenance Experiments with Scots Pine etc. in Jørgensen's Plantation, Djursland). S. 449.

Bd. XXII, H. 1: Nr. 183. Erik Holmsgaard: Årringsanalyser af danske skovtræer. (Tree-Ring Analyses of Danish Forest Trees). S. 1. — **H. 2**: Nr. 184. H. Holstener-Jørgensen: Floraundersøgelser i Mølleskoven. 3. beretning. (The Flora in Mölleskoven Forest. Third Report). S. 247. — Nr. 185. Broder Beier Petersen: Bladhvepsen Lygaeonematus abietinus Christ som skadedyr på rødgran i Sønderjylland. (Lygaeonematus abietinus Christ as a Pest on Norway Spruce in South Jutland). S. 275.

Bd. XXIII, H. 1: Nr. 186. V. Gøhrn: Proveniensforsøg med lærk. (Provenance Experiments with Larch). S. 1. — **H. 2**: Nr. 187. E. Oksbjerg: Rødgranens og nogle andre nåletræers jordbundsdannelse på fattig jord. (Soil Formation by Norway Spruce in Plantations on Heath, with Comments on Soil Formation by other Tree Species on poor Soil). S. 125. — **H. 3**: Nr. 188. H. A. Henriksen: Forsøgsvæsenets prøveflader i Abies-arter. (Sample Plots of Abies Species). S. 281 — Nr. 189. J. Lundberg: Proveniensforsøg med douglasgran. (Provenance Experiments with Douglas Fir). S. 345. — Nr. 190. H. Bryndum: Et hugstforsøg i eg. (A Thinning Experiment in Oak). S. 371. —

Z-M

DET FORSTLIGE FORSØGSVÆSEN I DANMARK

THE DANISH FOREST EXPERIMENT STATION
STATION DE RECHERCHES FORESTIÈRES DE DANEMARK
DAS FORSTLICHE VERSUCHSWESEN IN DÄNEMARK

BERETNINGER UDGIVNE VED
DEN FORSTLIGE FORSØGSKOMMISSION

REPORTS WITH SUMMARIES IN ENGLISH
RAPPORTS AVEC DES RÉSUMÉS EN FRANÇAIS
BERICHTE MIT DEUTSCHER ZUSAMMENFASSUNG

SYVOGTYVENDE BIND

XXVII

KØBENHAVN
TRYKT I KANDRUP & WUNSCH'S BOGTRYKKERI
1961

REDIGERET AF ERIK HOLMSGAARD

INDHOLD

Nr. 211. ERIK HOLMSGAARD, H. HOLSTENER-JØRGENSEN und A. YDE-ANDERSEN: Bodenbildung, Zuwachs und Gesundheitszustand von Fichtenbeständen erster und zweiter Generation. 1. Nord-Seeland. (Jordbundsdannelse, tilvækst og sundhedstilstand i rødgranbevoksninger af første og anden generation. 1. Nordsjælland.) ..... 1—167

Nr. 212. H. A. HENRIKSEN: A Thinning Experiment with Sitka Spruce in Nystrup Dune Forest. (Et udhugningsforsøg i Sitkagran i Nystrup plantage.) ..... 169—232

Nr. 213. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Undersøgelse af træarts- og aldersindflydelsen på grundvandstanden i skovtræbevoksninger på Bregentved. (An Investigation of the Influences of various Tree-Species and the Ages of the Stands on the Level of the Groundwater-Table in Forest Tree Stands at Bregentved) ..... 233—480

UNDERSØGELSE AF TRÆARTS- OG ALDERSINDFLYDELSEN PÅ GRUNDVANDSTANDEN I SKOVTRÆ-BEVOKSNINGER PÅ BREGENTVED

AN INVESTIGATION OF THE INFLUENCES OF VARIOUS TREE-SPECIES AND THE AGES OF THE STANDS ON THE LEVEL OF THE GROUNDWATER-TABLE IN FOREST TREE STANDS AT BREGENTVED

AF

H. HOLSTENER-JØRGENSEN

INDHOLD.

Side

Indledning 237

I. Litteraturoversigt 239
1. Indledning 239
2. Definition af grundvand 240
3. Hvordan opstår grundvandet? 240
4. Skovens indflydelse på grundvandstanden 245
5. Grundvandets indflydelse på skoven 253
a. Om grundvands indflydelse på tilvækst og form 254
b. Om grundvands indflydelse på skovtræernes sundhed 257
c. Indflydelse på stormfastheden 264
6. Om skovens vandforbrug 266

II. Resultaterne af en eksperimentel undersøgelse 276
1. Indledning 276
2. Undersøgelsesresultaterne 282

III. Om forskellige træarters indflydelse på grundvandstanden .. 286
1. Indledning 286
2. Metode 287
a. Udvælgelsen af bevoksningerne 287
b. Grundvandsbrøndenes placering m. m. 288
c. Jordbundsanalyser 290
d. Bestemmelse af koter for de enkelte prøveflader 296
e. Om sikkerheden på bestemmelsen af højeste, stabile vandstand 297
3. Kortfattet oversigt over jordbunds-, terræn- og grundvandsforhold i det undersøgte område 300
4. Træarternes indflydelse på grundvandstanden 307
a. Indledning 307
b. Om topografiens indflydelse på grundvandsforholdene 308
c. Bøgebevoksningernes indflydelse på grundvandstanden 319
d. Egebevoksningernes indflydelse på grundvandstanden 325
e. Rødgrans og sitkagrans indflydelse på grundvandstanden 330
f. Andre træarters indflydelse på grundvandstanden .. 338
g. Sammenligning af bøg og eg 344
h. Sammenligning af bøg og rødgran 346
i. Sammenligning af bøg og ask 349
j. Sammenligning af eg og rødgran 351
k. Sammenligning af eg og ask 353
l. Sammenligning af rødgran og ask 355
m. Teksturens indflydelse på grundvandsvingningerne .. 357
5. Diskussioner 359
a. Diskussion af eengangsundersøgelsen 359
b. Diskussion af litteraturen om skovens indflydelse på grundvandstanden 372

Side

IV. Om grundvandets indflydelse på skoven 376
1. Indledning 376
2. Metoder anvendt ved træmålingen 376
3. Tilvækstens og formens afhængighed af grundvandstanden i bøgebevoksningerne 378
a. Bearbejdningen af træmålingsresultaterne 378
b. Tilvækst og grundvandsforhold 382
c. Grundvandsforholdenes indflydelse på formen 385
d. Diskussion 385
4. Tilvækstens afhængighed af grundvandstanden i egebevoksningerne 387
a. Bearbejdningen af træmålingsresultaterne 387
b. Tilvækst og grundvandsforhold 390
c. Diskussion 394
5. Tilvækstens afhængighed af grundvandstanden i rødgran- og sitkagranbevoksningerne 394
a. Bearbejdningen af træmålingsresultaterne 394
b. Tilvækst og grundvandsforhold 398
c. Diskussion 402
6. Tilvækstens afhængighed af grundvandstanden i askebevoksningerne 403
a. Bearbejdningen af træmålingsresultaterne 403
b. Tilvækst og grundvandsforhold 405
c. Diskussion 410
7. Grundvandets indflydelse på sundhed og stabilitet 412

V. Om de undersøgte bevoksningers vandforbrug 418
1. Om den anvendte beregningsmetode 418
2. Vandforbruget i bøgebevoksningerne 423
3. Vandforbruget i egebevoksningerne 426
4. Vandforbruget i rødgran- og sitkagranbevoksningerne .. 426
5. Vandforbruget i bevoksninger af de øvrige træarter 428
6. Diskussion 429

VI. Om afvanding 438
1. Indledning 438
2. Om den biologiske begrundelse for afvanding 440
3. Om den tekniske mulighed for afvanding 443
4. Diskussion 446
5. Afvandingens indflydelse på afstrømningen 447

VII. Oversigt 452

VIII. *English summary* 459

Litteratur 472

Tabel I. 481

INDLEDNING.

De efterfølgende undersøgelser er en fortsættelse af forfatterens tidligere undersøgelser af skovens indflydelse på grundvandstanden på leret moræne.

Der foreligger i forvejen en del udenlandsk litteratur om dette emne, men der er langt fra enighed om, hvilken indflydelse skov har på grundvandsvingningerne.

Der har derfor været gode grunde til at undersøge

1) hvordan forholdene er på vore lerede morænejorder med højtstående grundvand. Disse jorder har en temmelig stor udbredelse i landets gamle skovegne.

2) om grundvandsvingningerne er forskellige under vore hovedtræarter.

3) om bevoksningsalderen influerer på grundvandsvingningerne.

Fra *Vaupells* tid har man vidst, at i hvert fald nogle træarter ikke tolererer højtstående grundvand. Det gælder f. eks. bøg. Imidlertid har denne viden ikke været talmæssigt underbygget. For også at få denne side af sagen belyst, er der gennemført en ekstensiv træmåling, og træmålingsresultaterne er sammenholdt med de indsamlede grundvandsdata.

Grundvandstandsvariationerne afspejler skovens vandforbrug. Det indsamlede materiale er derfor anvendt til at beregne, hvor stort vandforbruget har været i de enkelte bevoksninger.

For tiden synes afvanding at være på mode i skovbruget. Der foreligger, bortset fra moseafvandinger i vore nordlige nabolande, ikke egentlige undersøgelser over, om afvanding i skov er nødvendig. Det har derfor været nærliggende at anvende resultaterne af grundvandsundersøgelserne til at belyse, i hvilket omfang afvanding er biologisk ønskelig, og i hvilket omfang afvanding er teknisk gennemførlig.

Dansk Skovforening har bevilget mig 1000 kr. til aflønning af medhjælp i marken, og jeg er Studieudvalget tak skyldig for denne støtte.

Ejeren af Bregentved gods, kammerherre, hofjægermester, lensgreve *C. Moltke,* er jeg megen tak skyldig for de gode og frie arbejdsbetingelser for videnskabelige undersøgelser i Bregentveds skove.

Skovrider *H. C. Nissen* har beredvilligt givet tilladelse til, at undersøgelsen blev foretaget på Bregentved og ydet en betydelig hjælp ved udvælgelsen af egnede bevoksninger samt givet oplysninger om bevoksningerne. Skovfogederne *P. Christensen, J. H. Christiansen, J. Christiansen, P. Hartmann, F. Palmvang* og *E. Rasmussen* har ført kontrol med udvalgte brønde i efteråret 1959, hvor jeg i nogen tid var bortrejst. Ved markarbejderne har skovarbejder *O. Hansen* taget sin tunge del af sliddet med boringerne og forvalter *V. Madsen* har med stor interesse hjulpet med træmålingerne. Meteorologisk Institut ved statsmeteorolog *I. Sestoft* har stillet de anvendte nedbørstal til rådighed. Frk. *E. K. Andreasen,* frk. *I. Petersen* og *E. Worm* har hjulpet ved analysearbejder og kontrolberegninger, fru *E. Olsen* ved maskinskrivning og forstkandidat *H. J. Aagaard* ved tegnearbejder. Forsøgsassistent *H. C. Olsen* har tålmodigt besvaret spørgsmål vedrørende enkelte af de anvendte statistiske metoder. Jeg er alle de nævnte meget taknemmelig for deres hjælpsomhed, tålmodighed og venlighed.

Forstander, dr. agro. *E. Holmsgaard* skylder jeg megen tak for gode og frie arbejdsforhold og for værdifulde og hyggelige diskussioner.

Springforbi, den 1. november 1960.

I. LITTERATUROVERSIGT.

1. *Indledning.*

Litteratursammenstillingen er ikke fuldstændig, fordi de selvstændige undersøgelser som forelægges senere i beretningen, har relation til så mange forskellige emnekredse, at det ikke er hensigtsmæssigt at samle hele den ældre litteratur om de forskellige emner op ved denne lejlighed.

Der er i de seneste decennier sket meget betydelige videnskabelige fremskridt. Disse har medført, at man nu har helt andre forudsætninger ved bedømmelsen af en mængde problemer, end man havde for 60—70 år siden. Hermed være ikke sagt, at de hypoteser og konklusioner, som baseredes på forskning for 60—70 år siden, ikke har bidraget til vor nuværende opfattelse. Det er imidlertid ofte svært at vurdere tidligere undersøgelsers relevans, også i de tilfælde, hvor man i og for sig er enig i konklusionerne.

Dette kan belyses med et eksempel. Omkring århundredeskiftet påviste flere forskere, at vandindholdet i de øverste få cm af jorden gennem hele vækstperioden gennemgående er større i skov end på agermark. Måleenheden var vægtprocent vand. Umiddelbart sluttede man heraf, at det skyldes, at skovtræerne tærer mindre på dette jordlags vandkapital end agermarkskulturer. Imidlertid er det sådan, at planter kun kan udnytte en del af jordens vandindhold. Vand, som er bundet med meget store kræfter (visnegrænsevandindholdet), kan ikke optages af planter. Jo større en jords humusindhold er, desto større vandmængder indeholder den ved visnegrænsen, navnlig hvis man måler vandindholdet på vægtprocentbasis. I skoven er de øverste få cm af jorden meget humusrige i forhold til de fleste landbrugsjorder. Man må derfor vente, at selv når begge jordtyper er tømt for vand til visnegrænsen, så indeholder skovjorden betydelig større vandmængder end landbrugsjorden. Man vil derfor for-

stå, at det med vor nuværende viden er lidet tilfredsstillende simpelthen at citere, at den og den har målt større vandindhold på vægtprocent-basis i skovjordens humuslag under bøg end i agermarkens pløjelag under byg efter en lang tørkeperiode. Det er simpelthen ikke muligt at afgøre, hvad dette virkelig fortæller om vandhusholdningen i de to forskellige kulturer.

Bortset fra korte historiske strejftog er hovedvægten derfor lagt på en kritisk gennemgang af nyere litteratur, som har direkte tilknytning til mine egne undersøgelser.

2. *Definition af grundvand.*

Nærværende beretning behandler 1) skovtræbevoksningers indflydelse på grundvandstanden og 2) grundvandstandens indflydelse på skovtræbevoksninger. Som introduktion til den følgende fremstilling kan *Aslyngs* (1957, s. III, 1) definitioner tjene:

Jordvand: Vandet i jorden over grundvandspejlet. Trykpotentialet er negativt, og der er undertryk (tension) i vandet.

Grundvandspejl: Den flade i jorden, hvor trykpotentialet er nul. Væsketrykket er atmosfæretrykket.

Grundvand: Vandet ' de vandfyldte porer under grundvandspejlet. Trykpotentialet er positivt, der er overtryk i vandet.

3. *Hvordan opstår grundvandet?*

Ijjász (1938) har flere steder i sin monografi om grundvandsforholdene i det ungarske lavland behandlet problemet om, hvorledes grundvand opstår. Han har samtidig givet meget fyldige referater af den forudgående litteratur og i et vist omfang bearbejdet den kritisk. Der er derfor ikke grund til pårny at referere hele den meget svulmende og ofte meget svulstige litteratur om dette emne. I det følgende trækkes nogle hovedlinjer op. Bortset fra enkelte, særlig markante forfattere, henvises der til *Ijjász'* arbejde.

Ijjász skriver (1938 s. 165): „Die Bildung von Grundwasser ist schon seit ältester Zeit (Plato-Aristoteles) eine Streitfrage, die noch keine endgültige Lösung gefunden hat. Noch heute stehen zwei Theorien gegeneinander: die *Infiltrations-* oder *Ver-*

sickerungstheorie und die *Kondensations-* oder *Verdichtungstheorie*".

Platons og Aristoteles andel i striden dokumenteres ikke, og forfatteren har intetsteds, hvor der er søgt oplysninger, fundet bekræftelse på denne påstand.

Efter nutidige begreber dækker de to teorier over følgende:

Infiltrationsteorien eller nedsivningsteorien: Grundvandet er *nedbørsvand, som er sivet gennem de øvre jordlag* og fylder jordporerne over den faste undergrund eller lidet permeable lag, f. eks. tætlejrede lerlag eller lignende. Denne teori er lidet spekulativ og behøver formentlig ikke nærmere omtale.

Kondensationsteorien går i sin endelige form (jfr. *Ijjász,* 1938, s. 181) ud på følgende:

Mættede vanddampes partialtryk stiger med stigende temperatur. Ved 0° C er mættede vanddampes partialtryk f. eks. 4,6 mm kviksølv, ved 20° C 17,4 mm kviksølv o. s. v. (*Sundorph* 1931, s. 19). Ved hjælp af jordens temperatur i forskellig dybde til forskellige årstider kan man beregne teoretiske damptryksgradienter i jorden. Dampene diffunderer efter teorien fra steder med højere damptryk (høj temperatur) til steder med lavere damptryk (lav temperatur). Jordluften angives at være vandmættet eller næsten vandmættet, så længe jordens vandindhold er lig med eller overstiger visnegrænsevandindholdet (*Lebedeff,* 1928, og *Aslyng,* 1957). Der vil derfor til stadighed ske kondensationer, hvor jordtemperaturen er lavest.

Helt har man ikke forladt hypotesen om luftstrømningers andel i vanddamptransporten (se omtalen af *Volger* nedenfor), idet luftstrømninger antages at kunne forekomme ved at trykændringer i atmosfæren forplanter sig ned i jorden.

I hovedtrækkene har den historiske udvikling været følgende:

Efter *Lebedeff* (1928) skal *Marcus Polius Vitruvius* være den første, som har udmøntet infiltrationsteorien, nemlig i sit værk „De Architectura", der udkom i årene 35—10 f. kr. Efter *Volger* (1877) skal *Seneca* (ca. 0 til ca. 65) stå som den tidligste eksponent for kondensationsteorien, idet han har meddelt sine iagttagelser af, at nedbøren ikke kunne gennemfugte mere end de øverste lag af jorden i hans vinbjerge.

I det store og hele må det dog antages, at infiltrationsteorien har været herskende op til 1877. Efter *Volger* er den blandt andet

blevet støttet af *Perrault*'s (1613—1688, Frankrig), *Mariottes* (1620—1684, Frankrig) og *Daltons* (1766—1844, England) afstrømningsundersøgelser, som viste, at den årlige afstrømning via floder udgjorde en del af den årlige nedbør. *Volger* (1877, s. 491) samler resultaterne af disse undersøgelser i følgende passus: „dass die Menge des Regenwassers genüge, um alle Quellen zu nähren und die Flüsse zu füllen".

Volger går skarpt imod infiltrationsteorien. S. 487 siger han: „*Kein Wasser des Erdbodens rührt her vom Regenwasser*". I stedet opstiller han sin kondensationsteori, som dog på et væsentligt punkt afviger fra senere tiders opfattelse af kondensationsfænomenerne. Han antog, at vanddamptransporten sker ved luftstrømninger, men blev imødegået af *Hann* (1880, citeret efter Ijjász, 1938, s. 180).

Kondensationsteorien blev efter *Ijjász* (1938, s. 166) pány taget op af *Mezger* i 1908, og denne gang som ovennævnte diffusionsteori. Siden har den været sideordnet med infiltrationsteorien. Tilsyneladende har snart den ene været fremherskende, snart den anden, men det vil føre for vidt at forsøge at gøre rede for, hvornår den ene og hvornår den anden har haft overvægten. Dette er formentlig heller ikke muligt. Det må være tilstrækkeligt at konstatere, at grundvandseksperter lægger hovedvægten på infiltrationsteorien og anser kondensationer for eksisterende, men underordnede processer (se f. eks. *Koehne,* 1933, *Ijjász,* 1938 og *Wilde,* 1958).

Det bør nævnes, at der i litteraturen er omtalt endnu to slags jordvand.

Suess (1902, citeret efter Ijjász, 1938, s. 166) fremfører, at jordvandet dels kan stamme fra atmosfæren (såkaldt *vados*'t vand, kondenseret eller infiltreret), dels kan det stamme fra jordens indre (såkaldt *juvenilt* vand). Med *Ijjász* (1938, s. 166) må man antage, at dette sidste vand kun har kuriositetens interesse.

Endelig må det nævnes, at *Møller* (1956, s. 257) opstiller den hypotese, at en del af de dybere jordlags vandindhold over grundvandspejlet her i landet simpelthen er rester af de istidsfloder, som har aflejret de samme jordlag. Hypotesen er opstillet under den forudsætning, at vegetationen bruger hele årsnedbøren, hvilket ikke kan være tilfældet under vore klimabetingelser (jfr. senere afsnit i beretningen).

Før emnet forlades, kan der være grund til at forsøge at belyse, hvilken vægt man skal tillægge kondensationsteorien. Infiltrationen er uomtvistelig under humide forhold. Dels er den forlængst eftervist eksperimentelt, dels kan f. eks. kun infiltration forklare den nedadgående iontransport (udvaskning), som sker overalt under humide klimabetingelser.

Såvidt litteraturen om kondensationsteorien kan bedømmes, er forfatterne til denne litteratur ikke kommet ud over det spekulative stade. Dette skal belyses med et par eksempler.

Lebedeff (1928) mener at have påvist *vinter*kondensationer i de øvre jordlag (2 m) i steppeområdet i europæisk Rusland. Han har målt stigningen i jordens vandindhold i dette jordlag og har samtidig målt nedbøren og fordampningen (ved evaporimeter) i undersøgelsesperioden. Ved differensregning når han til, at 66 mm af den fundne stigning i jordens vandindhold må tilskrives kondensation af vand fra *dybere* jordlag. Som materialet er fremlagt, må man afvise det som hjernespind, idet også *Lebedeff* anerkender, at der sker infiltration. Da infiltreret vand ikke er udsat for den fordampning, som indgår i beregningerne (evaporimeterværdier), må det anses for umuligt overhovedet at opstille en balance. Undersøgelsen overbeviser ikke, og man er derfor skeptisk indstillet, når man som yderligere argument for hypotesen får præsenteret udsagn om, at øverste grundvandsetage ligger i samme dybde i hele det russiske steppeområde, nemlig hvor temperaturen i jorden er konstant. Et andet eksempel er, at man har konstateret tilstedeværelsen af et ferskt grundvandslag mellem to salte grundvandslag. *Lebedeff* mener, at det ferske lag er dannet ved kondensation. Sålænge eksperimentet (beviset) svigter, er man dog tilbøjelig til at lade geo-hydrologiske variationer være forklaringen på disse iagttagelser.

Ijjász (1938, s. 180—189) fortsætter traditionen fra tidligere forfattere. Ved hjælp af jordbundstemperaturer i forskellige dybder til forskellige årstider og lufttemperaturer på de samme årstider bidrager han med selvstændige hypoteser om „Anfeuchtungsschichten" og „Austrocknungsschichten" i jorden. Det første ligger højt i det tidlige forår og vandrer derefter ned i jorden, det andet ligger højt i det tidlige efterår og vandrer derefter ned i jorden. Påvisningen af disse hypotesers berettigelse ligger det dog tungt med. Hypoteserne er i modstrid med almindelige iagttagelser i naturen, hvilket *Ijjász* fuldt ud erkender:

„Nach der oben behandelten Gesetzmässigkeit der Dampfströmungen müsste das Grundwasser im Sommer steigen und im Winter fallen. Tatsächlich ist aber das Gegenteil der Fall". (l. c. s. 185).

Det lykkes dog *Ijjász* at finde et enkelt eksempel på en grundvandstigning i januar, som han mener må tilskrives kondensationsfænomener.

Helt op mod nutiden støder man på udsagn om kondensationernes betydning i vandbalancen. *Nikitin og Bredikhina* (1949) har undersøgt dugdannelsen i jordens øverste 7 cm i skov (incl. løvlaget) og på ager. De synes at have målt dugdannelser i skov om dagen, men om natten på ager, og de ekstrapolerer derefter deres iagttagelse og påstår, at dette må medføre kondensationer i større dybder, end de selv har undersøgt. Det fremgår iøvrigt ikke, om den registrerede dugdannelse er et rent overfladefænomen, eller om der er en rimelig fordeling i dybden indenfor de undersøgte 7 cm.

Köhn (1956) har foretaget fugtighedsbestemmelser gennem et år med gipsblokke. I dagene 25—29/4 1954 mener han at have påvist kondensationer i 2,5 og 10 cm dybde på bar mark, idet han har registreret døgnvariationer i modstandene. I 5 og 10 cm dybde er modstandene meget små, så man må antage, at jordfugtigheden er lig med eller større end markkapaciteten (grundvand?). I 2 cm dybde er modstandene store og fugtigheden lav, selvsagt på grund af evaporation. Fremfor at spekulere i kondensationer kunne man antagelig mere jordnært tænke i kapillær vandbevægelse. Det fremgår iøvrigt, at hans værdier er så stærkt temperaturkorrigerede, at det er tænkeligt, at de fundne forskelle kan være rene korrektionsfejl.

Der synes ikke at være ført bevis for, at kondensationer har overvældende betydning i vandbalancen ud fra en praktisk synsvinkel. De forekommer formentlig og har måske i lighed med dugdannelsen på plantedele betydning for vegetationens overleven i langvarige tørkeperioder. Produktionsmæssigt synes det derimod ikke sandsynligt, at de spiller nogen rolle. Infiltrationen er, så vidt man kan skønne, hovedsagen til grundvandsdannelsen.

Ved bearbejdningen af det foreliggende materiale er der da også udelukkende regnet med infiltrationen. Der er slet ikke taget hensyn til højst tvivlsomme vidnesbyrd om kondensationer.

4. Skovens indflydelse på grundvandstanden.

Hvis grundvandspejlet under iøvrigt ensartede hydrogeologiske forhold ligger dybere under skov end under tilgrænsende ager og eng, så kan det være forårsaget af, at skoven har et større vandforbrug (evapotranspiration) end de to sidstnævnte vegetationsformer.

Problemet, om skoven har en positiv eller negativ indflydelse på grundvandstanden, har gennem tiden været taget op til debat og undersøgelse af flere forskere.

Da *Ijjász* (1938/39) har refereret litteraturen op til 1938 meget omhyggeligt, nævnes kun de vigtigste arbejder fra denne periode i det følgende.

Ototzki's klassiske arbejder fra perioden ca. 1890 til ca. 1900 er skelsættende. Resultaterne af hans arbejder og samtidige undersøgelser af andre russere, som han har givet stødet til (*Nikitin, Morosow, Wyssotzky, Tolsky,* jfr. *Ebermayer* (1900), *Henry* (1903), *Guse* (1907), *Ijjász* (1938/39), *Thurman-Moe* (1941) m. fl.), kan sammenfattes i følgende punkter:

a) I det russiske steppeområde ligger grundvandspejlet ca. 10 m dybere under skov end under skovfri steppe (dyrket eller græsklædt).
b) Grundvandsænkningen er aldersafhængig, idet den er stigende med stigende bevoksningsalder.
c) Ved hugstindgreb stiger grundvandstanden.
d) Grundvandsænkningen mindskes med stigende klimatisk humiditet.

Ototzki fremhæver, at undersøgelsernes enkelte led er foretaget under sammenlignelige hydrologiske forhold.

De tre nederste punkter dækker hovedpunkter i alle senere undersøgelser, blandt andet de, som fremlægges her i beretningen. Jeg har ikke haft adgang til *Ototzki*'s originalafhandlinger og er derfor ude af stand til at afgøre, om disse konklusioner er baseret på tilstrækkeligt omfangsrige og sikre undersøgelser. Det er formentlig ikke tilfældet (jfr. nedenfor omtalen af *Engler* (1919) og *Rakhmanov* (1959)).

Af de øvrige forskere, som har beskæftiget sig med problemet, må følgende nævnes (i rækkefølge efter publikationsår):

Henry (1903) fandt ved en undersøgelse i Frankrig, at vandspejlet i 5 brønde i skov året rundt (månedlige aflæsninger

1900—1902) lå ca. 30 cm dybere end i 5 frilandsbrønde. Hans publicerede grundvandskurver for året er parallelle og viser en årstidsvariation på 100 cm.

Ebermayer og Hartmann (1904, citeret efter *Ijjász* 1939, s. 28) målte i årene 1900—1903 grundvandstande i skov og på friland 12 km syd for Nürnberg. De fandt med deres teknik ingen målelige forskelle, angiveligt fordi terrænforholdene betingede en stærk sideværts vandbevægelse.

I 1907 publicerede *Pearson* (citeret efter *Ijjász* 1939, s. 27) målinger, som var gennemført i årene 1904—06. Teakbevoksninger i Indien skulle efter hans mening sænke grundvandspejlet 4,7 m dybere end vegetationen på skovfri arealer.

I Sverige fulgte *Hesselman* (1917) i et par år grundvandsvingningerne under 1) en vækstlig, 60-årig lærkebevoksning med undervækst bl. a. af godt voksende rødgran, og 2) under en 60-årig, uvækstlig og forsumpet rødgranbevoksning. Lærkebevoksningen sænkede grundvandet betydeligt dybere i vækstperioden end granbevoksningen. *Hesselman* konkluderer, at det skyldtes lærkebevoksningens (artspecifikke) større vandforbrug. Det skal understreges, at også vintervandstanden er dybere under lærk end under rødgran. Arbejdet er iøvrigt, såvidt det er forfatteren bekendt, det eneste fra denne periode, som *Ijjász* ikke har fået med.

Bühler (1918, s. 348—349) har fra 1906 fulgt vandstandsvingningerne i 23 brønde (100—200 cm dybe) under forskellige bevoksningsforhold ved Stuttgart. I skoven (ædelgran og bøg) var hullerne gennemgående tørre „fast das ganze Jahr", mens de på friland (åbenbart under vekslende terrænforhold) viser en mere eller mindre høj vandstand, på vegetationsfri jord således hele året igennem. *Bühler* siger: „Die Austrocknung durch die Vegetation ältere Bäume ist sehr bedeutend".

Engler (1919) har gennemgået datidens litteratur om skovens indflydelse på grundvandstanden. Han vender sig navnlig mod *Ototzki*'s arbejder. Han beklager, at *Ototzki*'s publicerede oplysninger er yderst mangelfulde. Der mangler således angivelser af, på hvilken årstid målingerne er foretaget. Han fastslår, at de hydrogeologiske forhold i *Ototzki*'s steppeundersøgelser er så vidt forskellige i steppen og i skoven, at *Ototzki* ikke kan drage konklusioner om skovens vandforbrug. Skovene ligger på kanten af dybe floddale, hvor grundvandet skal ligge dybere end i den

bagved liggende steppe. Man må ved sammenlignende undersøgelser af grundvandstanden i skov og på friland i høj grad have opmærksomheden henledt på jordfordelingens historie (landbrug og skov).

I 1923 publicerede *Kokkonen* nogle finske målinger fra afgrøftede moser bevokset med skovfyr. I en tabel (l. c. s. 19) giver han tal, som viser, at august-vandstanden er højere, jo længere man fjerner sig fra en grøft. Grøftedybden er ikke anført. Samme tabel viser, at august-vandstanden er dybere i en ældre bevoksning end i en yngre. *Konklusion:* 1) Grøftning giver træerne mulighed for at sende rødder dybere ned i tørven. 2) Roddybden og dermed vandforbruget stiger med alderen.

Ijjász (1939) refererer som nævnt litteraturen fra perioden før 1939. Efter en kritisk bedømmelse konkluderer han (l. c. s. 37), at der i de hidtidige undersøgelser er forekommet tilfælde, 1) hvor skoven sænker grundvandet mere end vegetationen på skovfrit område, 2) hvor et skovfrit areal har dybere grundvandstand end et skovbevokset areal, og 3) hvor der er samme grundvandstand i skoven som på friland.

Tidligere forfattere (også senere jfr. nedenfor) tolkede resultaterne derhen, at forskellene skyldtes forskelle i grundvandets sideværts bevægelseshastighed. Skovens påvirkning skulle være stor ved stagnerende grundvand og usporlig, hvor grundvandet er i stadig sideværts bevægelse.

Ijjász har arbejdet på sandjorder, hvor grundvandstanden i over 50 km afstand er påvirket af flodvandstande (1938, s. 194). Det må være disse forhold, som får ham til at underkende eksistensen af (i praksis) stagnerende grundvand. Han kan ikke godtage tidligere forfatteres tolkning, men indfører en tolkning, som går ud på, at det er skovens påvirkning af grundvandsbalancen, som registreres. Hvori forskellen mellem *Ijjász* og forgængerne reelt består, er det dog vanskeligt at få øje på. Selv har *Ijjász* dels samlet nogle ældre ungarske undersøgelser op, som ikke tidligere har været publiceret, dels har han suppleret disse med egne iagttagelser. Han konkluderer (l. c. s. 58): „Wie aus den russischen, französischen und indischen Forschungen, ergibt sich im allgemeinen auch aus den ungarischen Untersuchungen, dass das Grundwasser unter Waldbestand meist tiefer liegt, als unter dem benachbarten Freiland". Hans materiale viser, hvor det er fyldigt nok gengivet, at afvigelserne

forekommer året rundt. De er relativt mindst udenfor vækstperioden og relativt størst i vækstperioden. (l. c. 1939, figur 25, side 38; figur 26, side 44; figur 27, side 47).

Ijjász har endvidere *et* eksempel på, at grundvandstanden under en robiniebevoksning (18-årig stødskudsbevoksning) gennemgående er højere end på friland. Udenfor vækstperioden er forskellen størst (ca. 50 cm), i vækstperioden mindre, og i eftersommeren er grundvandstanden undertiden dybest under robiniebevoksningen. Måleperioden er to år, nemlig 1934—35 (l. c. 1939, figur 26).

Man mærker sig, at denne ene iagttagelse generaliseres meget vidt, f. eks. kan citeres fra resuméet (afhandlingens visitkort!): „Der Einfluss des Robinienbestandes auf das Grundwasser in der ungarischen Tiefebene ist im allgemeinen positiv. Man kann daher die Robinienbestände als „Pflegestätten" des Grundwassers betrachten".

Endelig har *Ijjász* et eksempel, hvor skoven tilsyneladende ikke influerede anderledes end friland på grundvandet. Skoven bestod i dette tilfælde overvejende af *robinie* (!). Hans figur 30 (l. c. 1939, s. 56) viser et dybtliggende (7—8 m) grundvandspejl med et forholdsvis stærkt fald (0,50 m på 200 m).

I Norge har *Thurmann-Moe* (1941) undersøgt tyndingshuggsters indflydelse på grundvandstanden på moser med blandingsbevoksninger (gran, fyr, birk). Hans forsøgsplaner er forbilledlige, men det har været vanskeligt at finde velegnede forsøgsarealer. Efter *Thurmann-Moe* giver stærk hugst grundvandstigninger i vækstperioden, hvis grundvandet ikke er i hurtig sideværts bevægelse.

Dryuchenko (1941) skal have registreret en almindelig sænkning af grundvandspejlet i skove i forhold til friland. Efter det foreliggende referat skal han yderligere have observeret, at løvtræer sænker vandspejlet 1.5—2 gange dybere end fyr. Han advarer mod renafdrift på svære jorder. Undersøgelsen er russisk, og det samme gælder de to følgende arbejder.

Basov (1949) har målt grundvandstande i læbælter i steppeområder. I vinterens løb samles store snemængder ved vindens hjælp i læbælterne. Tøbruddet giver derfor betydelige grundvandstigninger under læbælterne, og *Basov* angives at antage, at disse grundvandsreserver senere kommer markerne mellem læbælterne tilgode ved tilsivning.

Labunski (1949) har målt, at grundvandet i Stalingrad-provinsens stepper er steget betydeligt fra 1893 til 1947. Da et omfattende skovrejsnings- og læplantningsprogram er realiseret i samme periode, slutter han, at skov og læ er skyld i stigningen. Hans slutning er baseret på 1893-mål og derefter mål i 1947. Man vil, ved at sammenholde med *Korobeinikov* (1959) se, at grundvandet i 1893 og de nærmeste år lå relativt dybt. I 1947 lå grundvandet meget højt. *Labunski* har altså registreret en dal og en top i grundvandets almindelige langtidsvariation.

I en yderst lapidarisk form fremlægger *Wilde og medarbejdere* (1953) nogle målinger, som efter forfatterne viser: 1) Somme tider sænker skov grundvandet mere end frilandsvegetationen, 2) somme tider gør den det ikke. Det må nævnes, at et eksperiment med renafdrift gav en grundvandstigning i vækstperioden.

Wilde og medarbejdere (1954) advarer mod renafdrift på lerjorder i Canada, idet det vil medføre en grundvandstigning, som vil resultere i højmosedannelse. Jorderne er „perfectly drained under a mature forest cover" (*Wilde,* 1958). Det er vanskeligt at afgøre, om denne autoritative empiri er rigtig. Man savner en tilsvarende omhyggelig problembelysning, som den man finder hos svenskerne (*Hesselman,* 1928 og *Malmström,* 1930). I Sverige frygter man ikke højmosedannelse under tilsvarende humide forhold.

I 1954 kommer fra U. S. A. en rapport om et eksperiment i Virginia (*Anonym,* 1954 og senere *Trousdell og Hoover,* 1955). Man har på svær jord med højtstående grundvand målt grundvandsvingninger på 1) en urørt parcel, 2) en stærkt hugget parcel, 3) en renafdrift. Såvel renafdriften som gennemhugningen gav grundvandstigninger.

Hoeve og Roos (1956) demonstrerer, at tilplantning med østrigsk og korsikansk fyr på et inddæmmet areal i Holland (Terschelling) har medført en grundvandsænkning i forhold til friland. Sænkningen er stigende med bevoksningsalderen. De arbejder med årsmiddeltal for grundvandstanden, og sænkningen andrager ved 40 års alder 22,5 cm. De har været nødt til at foretage så mange korrektioner, at det er vanskeligt at afgøre, hvor megen vægt man kan lægge på undersøgelsen.

Holstener-Jørgensen (1959 a) fulgte grundvandsvingningerne gennem tre år i tre bevoksninger af: Eg (48 år), bøg (63 år)

og rødgran (45 år). I vækstperioden sænkede træarterne grundvandet til følgende dybder: Eg ca. 300 cm, bøg 145 cm, rødgran 125 cm. På grund af jordbundsforskelle og forskelle i „højeste, stabile grundvandstand" var kun bøgebevoksningen og rødgranbevoksningen direkte sammenlignelige. Det konkluderedes, at forskellene skyldtes forskelligt vandforbrug. Grundvandsmålingerne blev sammen med nedbørsdata anvendt til beregning af bevoksningernes forskellige vandforbrug.

I en samtidig publikation (*Holstener-Jørgensen*, 1959 b) fremlagdes de første resultater af et forsøg i ca. 75-årig bøg. Efter et års „kalibrering" blev af arealets 4 parceller: 1 renafdrevet, 1 lysstillet og 2 ladt urørte. Det første egentlige forsøgsår viste, at renafdriften gav en stigning af dybeste grundvandstand på 2 m, og lysstillingen en tilsvarende stigning på 1 m.

Gordienko (1953) har refereret en del russisk litteratur, som overvejende går på melodien: *Ototzki* har taget fejl, hovedsagelig fordi hans målinger kun har løbet over en kort periode.

Et førstehåndsindtryk af russisk forskning får man gennem de russiske indlæg ved et symposium i Tyskland i eftersommeren 1959. Symposiets emne var „Water and Woodlands".

Korobeinikov (1959) meddeler data fra langtidige grundvandsmålinger i det russiske steppeområde. I perioden 1892—94 begyndtes læplantning og skovrejsning i området, og der har været registreret grundvandstande lige siden. Under læbælterne er de årlige grundvandsvingninger større end under ager. K. angiver, at det skyldes ophobningen af sne om vinteren. Grundvandstanden er desuden underkastet langtidsvariationer. Der har således været 5 maxima og 6 minima i perioden 1892—1959. Maximumsgrundvandstandene har været i ca. 4 m dybde og minimumsgrundvandstandene i ca. 8 m dybde. K. konkluderer: „the Kamennaya Steppe forest stripes cannot, therefore, cause undesirable phenomena of bogging up or drying off of the territory".

Grudinskaya og Shpak (1959) publicerer nye målinger fra skov og steppe i de samme områder, hvor de klassiske russiske målinger blev gennemført (Ukraine). Deres målinger er fra perioden 1954—1958 og omfatter registreringer af grundvandstande, jordfugtighedsmålinger m. m. Det bør nævnes, at mange af de anvendte grundvandsbrønde stammer helt fra *Ototzki*'s tid.

De finder en tilsvarende langtidsvariation som i ovennævnte arbejde af *Korobeinikov*. Efter bearbejdning af deres talmateriale konkluderer G. og S., at dette „fully substantiate the conclusions of P. V. Ototzky". Det er i denne forbindelse af betydelig værdi, at de har konstateret grundvandstigning efter renafdrift, til trods for, at grundvandet ellers var faldende. De vender sig iøvrigt skarpt mod *Labunski* (se ovenfor), og demonstrerer med målinger, at hans konklusioner er gale. De er med hensyn til vurderingen af læbælter helt på linie med *Korobeinikov*.

Rakhmanov (1959) har kritiseret en væsentlig del af den eksisterende litteratur om skovens indflydelse på grundvandstanden. Hans hovedkonklusion er, at alle fundne forskelle imellem grundvandstanden under skov og grundvandstanden på friland kan forklares ud fra hydrogeologiske synspunkter. Der er i intet tilfælde ført bevis for, at skoven qua et stort vandforbrug har fremkaldt en grundvandsdepression. En detailleret gennemgang af hans artikel og argumentation skal ikke gives her, idet den naturligt falder ind i de efterfølgende diskussioner. Flere af hans argumenter er tidligere fremført af *Engler* (1919).

Endnu et par arbejder med tilknytning til emnet skal nævnes:

White (1932) iagttog, at et højtstående grundvandspejl med tilløb fra siden steg og sank ganske regelmæssigt i løbet af døgnet i vækstperioden. Mellem kl. 9 og kl. 11 begyndte det at synke, indtil det nåede minimum mellem kl. 18 og kl. 19. Derefter steg det pány i løbet af natten. *White* satte bevægelserne i forbindelse med vegetationens vandforbrug. Amplituden var forskellig fra planteart til planteart. For luzerne var den f. eks. 6,3 cm, for sumpplanter 11,4 cm. Han kalibrerede sine iagttagelser med karforsøg og opstillede formler, efter hvilke evapotranspirationen kan beregnes, når man kender grundvandsvingningernes størrelse. *White*'s arbejder er gennemført i Utah.

Troxell (1936) har ud fra samme kriterier anvendt de daglige grundvandspejlsvingninger til beregning af vegetationens vandforbrug omkring kaliforniske floder.

Kausch (1957) viser, at daglige grundvandsvingninger under træer på jord med sideværts vandbevægelse er korreleret med evaporimeterværdier. Åbenbart uden kendskab til *White* og *Troxell* foreslår han at anvende svingningerne til beregning af plantedækkets daglige evapotranspiration.

De tre sidstnævnte arbejder er temmelig væsentlige. De trækkes med ind i senere diskussioner, men her skal det dog fremhæves, at de overflødiggør mange spekulative indlæg om lufttrykkets (jfr. også *Kausch*), kondensationers m. fl. faktorers indflydelse på grundvandstanden (se bl. a. *Ijjász,* 1938/39).

Helt komplet er ovenstående litteraturgennemgang ikke. Billedet må suppleres med, at man har brugt de alment kendte forsumpningsfænomener efter renafdrift som argumentation for skovens store vandforbrug. Endvidere fremhæves blandt andet det klassiske eksempel med virkningen af tilplantning af forsumpede landområder, som f. eks. de pontiske sumpe. Før tilplantningen var grøfterne året rundt vandfyldte, efter tilplantningen kun i korte perioder (*Zon,* 1927).

Det fremgår af den kortfattede gennemgang af nogle af de væsentlige arbejder om skovens indflydelse på grundvandstanden, at der endnu i dag er delte meninger om problemet.

Der er enighed om, at en sænkning af grundvandspejlet i vækstperioden skyldes evapotranspiration, hvis ellers nedbørsforholdene er sammenlignelige i vækstperioden og udenfor vækstperioden. Dermed synes det også uomtvisteligt, at *sammenlignende målinger af grundvandstande under forskellige bevoksningsforhold må kunne bidrage til løsningen af evapotranspirationsproblemer.* Dette er foreløbig det eneste sikre, som er kommet ud af mange års spredte undersøgelser og lidenskabelige debatter.

Såvel *Englers* som *Rakhmanovs* kritiske arbejder tyder på, at en væsentlig del af de ældre russiske arbejder ikke, trods påstanden om det modsatte, er gennemført under fornøden hensyntagen til, at man må kræve, at de hydrogeologiske forhold er ensartede indenfor undersøgelsesområdet. Hermed være ikke sagt, at forfatteren på alle punkter kan tiltræde *Rakhmanov*'s kritik.

Flere af de øvrige arbejders beviskraft må også bestrides, men for at dette kan gøres med vægt, må de undersøgelser, som fremlægges her i beretningen, drages med ind i diskussionen. En sådan generaldiskussion falder derfor naturligt senere i fremstillingen og er gennemført side 372—375.

Uden at foregribe denne diskussion og de af den flydende konklusioner tør man dog fastslå, at usikkerhedsmomenterne i

de hidtil foreliggende undersøgelser, herunder ikke mindst de modstridende resultater og opfattelser, gør det ønskeligt, at hele problemet underkastes en fornyet undersøgelse.

Det skal tilføjes, at en dybere sænkning af grundvandet under en træart end under en anden træart ikke ubetinget er ensbetydende med, at vandforbruget er størst, hvor sænkningen er størst. Det må afhænge af, om de to træarter udnytter vandkapaciteten i jorden over grundvandspejlet på samme måde. Hvis undersøgelser af grundvandstande skal fortælle noget om vandforbrug, må de derfor suppleres med andre målinger, som kan vise hvor stort vandforbruget er. En meget nærliggende metode er den, som forfatteren har foreslået i 1959 (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a).

5. *Grundvandets indflydelse på skoven.*

De selvstændige undersøgelser, som fremlægges i nærværende beretning, er iagttagelser af grundvandspejlsvingninger på moræneler. Det forsøges at korrelere disse iagttagelser med resultaterne af grove tilvækstbestemmelser for alle de undersøgte træarter og en primitiv formbedømmelse i bøgebevoksningerne.

Undersøgelsen omhandler et relativt begrænset fagligt område, og man kan derfor på forhånd udelukke en meget stor del af den forstlige grundvandslitteratur som værende uden betydning for de her omhandlede problemer. Det gælder f. eks. hele den gruppe af litteratur, som omhandler grundvandets kemiske sammensætning og dennes indflydelse på skovens vækst.

Noget lignende gælder også alle de arbejder, hvor man har undersøgt, hvilken indflydelse grundvand i sideværts bevægelse har på skovens trivsel. Her tænkes f. eks. på grundvandspejl, som har forbindelse med søer, floder og lignende store vandreservoirer.

Ved en sådan sortering af litteraturen støder man selvfølgelig på grænsetilfælde, hvor man ikke umiddelbart kan afgøre, om den pågældende undersøgelse er af interesse i forbindelse med ens egne undersøgelser. Det skyldes i reglen, at der mangler visse klassificerende oplysninger. Sådanne arbejder berøres kun periferisk i den efterfølgende fremstilling. Blandt disse under-

søgelser kan en enkelt gruppe nævnes: Undersøgelser på de såkaldte pseudogleijorder.

Forfatteren er overbevist om, at disse jorder og vækstforholdene på dem ikke adskiller sig fra ægte gleijorder og disses vækstforhold. Det er dog fundet rigtigst ikke at fortsætte en tidligere diskussion (se *Holmsgaard, Holstener-Jørgensen* og *Yde-Andersen*, 1961) i nærværende beretning.

Den litteratur, der har interesse for det foreliggende arbejde, kan deles i 3 hovedgrupper:

a) Undersøgelser og iagttagelser, som belyser grundvandets indflydelse på tilvækst og form.

b) Undersøgelser og iagttagelser som belyser grundvandets indflydelse på skovtræbevoksningers sundhed. I denne gruppe falder også en række undersøgelser, som viser, hvad oversvømmelser eller grundvandsænkninger betyder for skovtræerne.

c) Iagttagelser og undersøgelser som viser, at der er større risiko for stormfald på jorder med højtstående grundvand end på andre jordbundstyper.

a. Om grundvands indflydelse på tilvækst og form.

Der foreligger efter den ovenfor omtalte sortering ikke nogen særlig omfattende litteratur, som kan belyse, hvorledes tilvækst og form afhænger af grundvandstanden på svær jord med højtstående grundvand.

Vaupell (1863) har meget udførligt skildret, hvorledes bøgen lider under højtstående grundvand. Hans mange og gode iagttagelser har sat sit præg på hele den efterfølgende danske litteratur om emnet (se *Müller,* 1882, *Hauch og Opperman,* 1898—1902, *Hauch og Milthers,* 1928, *Bavngaard,* 1955, *Jagd,* 1960).

Vaupell har iagttaget, at bøgen gror bedst og har den bedste form på den dybgrundede jord, eller hvor kridtet når tæt til jordoverfladen. Hvor grundvandet står højt og jorden er leret, stagnerer bøgen, dens stamme bliver mosgroet og formen dårlig.

I fugtige år kan der indtræde katastrofer. Det nævnes, at en mængde 35—40 år gamle bøge døde på Christianssæde omkring 1840. På Knuthenborg blev jævnaldrende bøge reddet ved afgrøftning på samme tid (se også *Oppermann,* 1922, hvor der er klimaoplysninger).

Vaupell antager, at bøgen ikke kan udkonkurrere egen på svær jord med højtstående grundvand. Hans oplysninger er blandt andet baseret på en meget detailleret gennemgang af Bregentveds skove.

Müller (1882), (side 49—50 f. eks.), udtaler sig helt på linie med *Vaupell.*

Friis (1891) foreslår, at ask får en større udbredelse på den våde, svære lerjord. Han har erfaring for, at træarten klarer sig godt, hvis man sørger for en undervækst, som kan kvæle græs. Han foreslår blandt andre træarter også el.

Hauch og Oppermann (1892—1902) nævner foruden *Vaupell's* iagttagelser, at ask går i stampe på lerbund med højt grundvand (l. c. s. 338). De anbefaler avnbøg, der dog betegnes som de små arealers træart (l. c. s. 266).

Hauch og Milthers (1928) viser, at det artesiske grundvandspejl er højt blandt andet på Stevns og Lolland. Heraf slutter de, at grundvandstanden i de øvre jordlag er høj. De antager, at det er grunden til bøgens dårlige vækst og form. Rødgran påstås også at have dårlig form (meget grenede) og en kort levetid. Egen er den træart, som trives bedst under disse forhold. Der er et righoldigt billedmateriale, men f. eks. ingen tilvækstbestemmelser.

Holmsgaard (1955) har undersøgt årringsbreddens samvariation med nedbøren i vækstperioden. Man bemærker, at tilvæksten er negativt korreleret med augustnedbøren på Buderupholm og på Haderslev distrikt (Pamhule). Det kan skyldes, at der indgår nogle flader med højtstående grundvand, hvor en stor augustnedbør giver grundvandstigninger og roddrukning. Da der ikke er fundet noget tilsvarende på Vallø, kan man ikke tillægge forholdet nogen større vægt. *Holmsgaard* kommenterer det da heller ikke.

Henriksen (1958) påstår (l. c. s. 185), at grundvand kan være gunstigt for sitkagrans vækst. Han har et tilfælde, hvor en god vækst forklares ved, at der i efteråret 1955 er iagttaget grundvand i 180 cm dybde. Denne påstand er dog sideordnet med en påstand om, at sitkagran er grundvandsfølsom, idet *Henriksen* på et areal iagttog, at sitkagranerne groede bedst på grøftekanterne, og på et andet areal med højtstående grundvand fandt, at de dybeste rødder var druknede (l. c. s. 181, fig. 28).

Jagd (1960) har de samme erfaringer som *Vaupell* og *Hauch* om vækstbetingelserne på Bregentved. Han anser sitkagran for at være en lidet stabil træart under de givne forhold.

Blandt udenlandske arbejder har forfatteren heftet sig ved følgende:

En afhandling af *Bradfield og medarbejdere* (1934) omhandler frugttræers forhold på svær jord med højtstående grundvand. De har målt redoxpotentialet i jorden og fundet korrelation mellem denne størrelse og frugtudbyttet. Redoxpotentialet varierer med grundvandspejlets op- og nedgående bevægelser, hvilket de har vist i senere beretninger, som ikke skal refereres her.

Fraser (1956) har undersøgt årringstilvæksten hos Yellow Birch i Ontario. På de vådeste lokaliteter (højtstående grundvand, jfr. *Fraser,* 1957) begynder væksten senere end på tørre lokaliteter, og væksten er mindst på de våde lokaliteter.

Fritts (1956) har i 1952 målt radiustilvæksten hos bøg (*Fagus grandifolia*) i Columbus, Ohio. Han har arbejdet på tre lokaliteter. Det er navnlig af interesse, at på den ene lokalitet, hvor der er højtstående grundvand, begynder væksten senest, og den ophører tidligst. Samtidige jordfugtighedsmålinger viser, at væksten på alle lokaliteter er korreleret med jordfugtigheden. Hvor grundvandet er højt, er rodrummet fladt, og jordfugtigheden kommer tidligt i minimum.

Det skal nævnes, at der foruden den allerede gennemgåede litteratur findes en del amerikansk litteratur om undersøgelser, hvor man har korreleret væksten med forskellige jordbundsfaktorer. Nogle af disse faktorer er indikatorer for, at der findes grundvand på de pågældende lokaliteter. Det gælder f. eks. „Depth to mottling", det vil sige afstanden fra jordoverfladen til gleihorisonten, (se f. eks. *Ralston og Barnes,* 1955). Denne størrelse er antagelig temmelig snævert korreleret med højeste, stabile vandstand, men man kan ikke vide det uden at undersøge grundvandspejlsvingningerne. Der er derfor ikke taget hensyn til denne del af litteraturen ved nærværende undersøgelse.

Alt i alt får man det indtryk, når man gennemgår litteraturen, at der i høj grad savnes en talmæssig underbygning af de iagttagelser, som viser, at højtstående grundvand kan influere på skovens vækst og på træernes form.

b. Om grundvands indflydelse på skovtræernes sundhed.

En række forfattere har undersøgt, hvorledes *oversvømmelser influerer på skovtræer.*

Green (1947) har fulgt udviklingen ved en række kunstige damme ved Mississippi-flodens øvre løb. Alle træer, som stod 60 cm over dammenes vandspejl, overlevede, og i de fleste tilfælde øgedes væksten i 5-året efter vandspejlshævningen i forhold til i 5-året før opstemningen. I den første vækstperiode efter opstemningen var der eksempler såvel på øget som på mindsket tilvækst. Træer, som oversvømmedes, døde, men ikke i det første år. Nogle arter levede endog i 4 år. Der var ingen relation mellem vandspejlets højde over rodhalsen og den hastighed, hvormed træerne døde.

Yeager (1949) har, i forbindelse med etablering af en opstemmet sø i Illinois, fulgt virkningen af oversvømmelser på skovtræer. Arterne blev dræbt med forskellig hastighed. Enkelte arter levede i 8 år, efter at de var oversvømmet.

Kirwald (1950) har samlet den ældre europæiske litteratur om oversvømmelsers indflydelse på forskellige træarter. Man kan dele træarterne i følgende grupper:

Meget modstandsdygtige: kanadisk poppel, stilkeg, avnbøg.
Følsomme: ær, ask, hvidel, birk, rødgran, skovfyr.
Meget følsomme: fuglekirsebær, douglas, vintereg, bøg, lind, ædelgran.

Kirwald anser bøg og ædelgran for at være de mest følsomme træarter. Alle arterne tåler bedre oversvømmelse af vand i bevægelse end af stagnerende vand, og alle arter viser en stigende tålsomhed med stigende alder. *Kirwald* fremhæver, at vinteroversvømmelser ikke skader træer.

Babos (1953) giver følgende provisoriske tal for, hvor længe forskellige træarter kan tolerere oversvømmelser ved floder: „hybridpopler": 4 uger — „almindelige popler" og stilkeg: 6 uger — ask: 3 uger — *Juglans nigra:* 2 uger — robinie: 1—2 dage.

Brink (1954) meddeler, at en oversvømmelse i N. V.-amerika har dræbt eller skadet forskellige træer. Han nævner bl. a. sitkagran, *Tsuga heterophylla* og douglas, men han giver ingen oplysninger om oversvømmelsens varighed m. m.

Traunmüller (1954) har gjort iagttagelser ved en oversvømmelse ved Donau i juli 1954. Oversvømmelsen varede fra 3 til

16 dage. Pil og poppelarter var uskadte. Hvidel kastede løvet, men restitueredes hurtigt igen. Af ær døde 50 % og af lind og ask 10 %.

Hall og Smith (1955) har gennemført en virkelig god analyse af amerikanske løvtræarters tolerance overfor oversvømmelse omkring en opstemning. De har for perioden 1944—1952 beregnet, hvor mange dage i vækstperioden arealer med forskellige koter har været udsat for „flooding". Derefter undersøgte de, ved hvilken kote træarterne endnu levede, omend de var sygelige („dead line"), og ved hvilken kote træarterne så helt normale ud („healthy line"). Det fremgår af deres artsliste (39 arter), at amerikansk bøg og tulipantræ er meget følsomme overfor oversvømmelser. Forskellige amerikanske ege- og elmearter placerer sig midt i feltet. Askearter, *Quercus palustris* og *Salix nigra* er mindst følsomme. *Hall og Smith* har ikke selv gennemført tilvækstundersøgelser, men citerer *Green* (1947).

Ahlgren og Hansen (1957) har i et godt arbejde vist, at nordamerikanske nåletræarter har varierende tolerance overfor oversvømmelser i forsommeren. De viser, at der er en snæver sammenhæng mellem oversvømmelsens varighed og den skade, træerne lider. Dette er belyst ved iagttagelser såvel fra selve oversvømmelsesåret som fra året efter oversvømmelsen. De viser også, at højdetilvæksten nedsættes som følge af oversvømmelsen. Det fremgår ikke, om der er en sikker sammenhæng mellem tolerancen overfor oversvømmelse og bevoksningsalderen.

Efter *Farsky* (1957) kunne de fleste træarter tåle en kortvarig oversvømmelse af en flod i Tjekoslovakiet i vækstperioden 1954. Hvor vandet stagnerede i længere tid, overlevede kun pilearter. Elmearter var noget mere følsomme. Unge træer døde, mens ældre træer kastede løvet. De ældre træer fik normalt udseende i løbet af det påfølgende år.

Oversvømmelser ved floder og søer er ikke principielt forskellige fra underjordiske oversvømmelser forårsaget af stigende grundvand. Den litteratur, som foreligger om oversvømmelser, kan derfor tjene til at belyse danske træarters følsomhed overfor grundvand. Den refererede litteratur giver oplysninger af noget varierende værdi, men det kan fastslås, at der er grund til at antage, at *bøg er en meget grundvandsfølsom træart.*

For de øvrige træarter, som er undersøgt på Bregentved, og

for hvilke resultaterne fremlægges i det følgende, er det vanskeligt at afsige en kendelse på basis af litteraturstudierne. Det er således ikke klart, om stilkeg er mere tolerant end ask. Placeringen af rødgran og sitkagran kan heller ikke foretages på basis af litteraturen.

Endelig fremgår det helt klart, at unge træer er mere følsomme end ældre træer. Ældre træer er i besiddelse af en betydelig træghed mod ydre påvirkninger.

Undersøgelserne af skovtræers drukning under oversvømmelser er nogenlunde kontante. De giver dog gennemgående ingen oplysninger om, hvorfor træerne drukner.

Bergman (1959) har kompileret litteraturen om „Oxygen deficiency as a cause of disease in plants". Han uddrager den hovedkonklusion, at en meget stor del af de foreliggende undersøgelser ikke kan siges at have løst problemet. Kort sagt, nye, vel planlagte undersøgelser er nødvendige.

Hvis grundvand virker rodrumsbegrænsende, er det naturligt at tænke sig, at træer konstant eller i perioder kan være ude af balance på jorder med højtstående grundvand. Man kan forestille sig, at træerne disponeres for sygdoms- og insektangreb. En sådan hypotese kan man finde støtte for i følgende litteratur:

Copeland (1949) og *Campbell, Copeland og Hepting* (1953) har undersøgt den såkaldte „little-leaf disease" hos shortleaf og loblolly pine i de sydøstlige stater i U. S. A. Sygdommen skyldes efter forfatterne roddød, som antages at være forårsaget af *Phytophtora cinnamoni*. Sygdommen forekommer næsten udelukkende på eroderede jorder og på dårligt drænede jorder (grundvandsjorder med mottling = gleidannelse). Man mærker sig iøvrigt, at patologen i teamet påstår, at svampen kræver fugtige forhold for at producere sporer.

Rudd Jones (1951) har sat et dødbringende svampeangreb på *Chlorophora excelsa* i Tanganyika i forbindelse med høj grundvandstand.

Stone og medarbejdere (1954) har undersøgt sygnende bevoksninger af Red Pine i staten New York. Træerne har korte skud, korte nåle og (viste det sig) mange døde rødder. Der kan i almindelighed ikke påvises svampe på de døde rødder. Kun i to tilfælde blev der fundet svampe, og det var morsomt nok *Fo-*

mes annosus. De fåtallige svampeangreb anses for at være sagen uvedkommende. Jordbundsundersøgelser viste, at sygdommen er snævert korreleret med grundvandsforholdene. Jo kortere afstanden er til gleidannelse (= jo højere højeste, stabile vandstand er), desto værre er angrebene.

Stone og medarbejdere vender sig iøvrigt mod *Campbell og medarbejderes* (se ovenfor) påstande om, at svampeangrebet i deres materiale skulle være primært.

Mindre kontante, men ikke mindre inspirerende er *Day*'s (se litteraturlisten) mange iagttagelser af, at forskellige træarter har vanskeligt ved at klare sig og let får sygdomme på jorder med højtstående grundvand. Han har ikke målt grundvandstande men arbejder traditionelt med „drainage classes" og lignende begreber. Af hans undersøgelser kan man uddrage den konklusion, at bl. a. sitkagran er sygelig under sådanne forhold, og man mærker sig, at han omtaler rodsygdomme og roddød som primære årsager og tørkeår som en sekundær, udløsende faktor.

Godman (1958) slutter ud fra ekstensive grundvandsmålinger, at „top-dying" hos Yellow Birch er forårsaget af vandstandstigninger i nedbørsrige år.

Af danske undersøgelser kan nævnes følgende, som viser roddød og drukning på jorder med højtstående grundvand:

Vaupell's (1863) iagttagelser af druknende bøge på Christianssæde, Knuthenborg m. fl. steder stemmer smukt med den udenlandske litteratur om oversvømmelser.

Hauch og Oppermann (1898—1902) meddeler, at unge ædelgraner trives godt på Amager, hvor grundvandet står højt. Ældre ædelgraner sygner og bliver mos- og lavklædte. (l. c. s. 84—85). Rødgran kan efter disse forfattere frembringes på al jord; men på det stive, våde ler vil den hyppigt få Trametes (l. c. s. 398—400).

Hauch og Milthers (1928) slutter sig til *Vaupell*'s og *Hauch og Oppermann*'s iagttagelser.

Ladefoged (1938) har iagttaget roddød i dybere horisonter efter gennemhugning af bøgebevoksninger på moræneler. Han skriver: „om Aarsagen er et aftagende Porevolumen, et aftagende Iltindhold i de nederste Jordlag eller en stigende Grundvandstand o. s. v. (jfr. bl. a. *Engler* 1923 og *Koehne* 1928) maa fremtidige Undersøgelser søge nærmere opklaret". (l. c. s. 232

—233). Han fremhæver iøvrigt betydningen af grøftning (l. c. s. 237).

Ladefoged tager imidlertid ikke sin egen gode ide til efterretning. I 1959 publicerer han en undersøgelse, som med et meget stort materiale viser roddød i en rødgranbevoksning. Rødderne er dræbt efter fuldstændig horisontale snitflader, hvilket indicerer drukning (jfr. *Holmsgaard* 1959). *Ladefoged* nævner imidlertid ikke grundvand, men tilbyder følgende hypoteser:

1) Stigende jordfugtighed i dybden med deraf følgende reduktion af det luftfyldte porevolumen.
2) Øget iltforbrug i morlaget. Det kan efter *Ladefoged*'s mening medføre en mindsket ilttilgang til de dybere jordlag. Eventuelt medfører en kvældning af morlaget, at ilt slet ikke kan passere dette.
3) Nedslemmede humuspartikler tilstopper den øverste mineraljords porer, hvorved iltdiffusionen blokeres.

Ladefoged lægger iøvrigt stor vægt på, at roddøden følges af kraftige svampeangreb.

Henriksen (1958) har på en enkelt af sine prøveflader i sitkagran, hvor der er højtstående grundvand, iagttaget, at rodsystemernes dybere dele var druknede (l. c. s. 181, fig. 28). Som tidligere nævnt er hans stilling til grundvand dog ikke afklaret.

Holstener-Jørgensen (1958 b) iagttog døde rødder i de dybere jordlag på en del af forsøgsvæsenets bøgeprøveflader. Det konstateredes, at der var grundvand i rodrummet på disse prøveflader. Roddøden blev sat i forbindelse med grundvandstigninger i vækstperioden. Det indsamlede materiale tydede ikke på, at roddøden betød noget for f. eks. bevoksningernes tilvækst, idet der ikke var påviselige tilvækstforskelle mellem de grundvandspåvirkede prøveflader og de øvrige prøveflader.

Iøvrigt blev det senere vist, at kraftige hugstindgreb i bøgebevoksninger på jord med højtstående grundvand giver en betydelig stigning af grundvandspejlet, (*Holstener-Jørgensen*, 1959 b).

I litteraturen støder man på udsagn om, at grundvandsænkninger virker ugunstigt på skovtræbevoksninger. I en del artikler viser det sig, at sænkningen af grundvandspejlet skyldes sænkning af vandspejlet i nærliggende søer. I sådanne tilfælde

er der næppe tvivl om, at en sænkning kan have ugunstig virkning på tilvæksten hos træer, som vokser omkring søen.

Wilde og medarbejdere (1950) giver således et eksempel på, hvorledes åbning for vandet fra en bæverdam med deraf følgende sænkning af grundvandspejlet i omgivelserne medførte en stærk reduktion af væksten hos bævreasp.

I en hel del tilfælde får man imidlertid det indtryk, at det ikke primært er grundvandsænkninger, som forårsager tilvækstnedgang, trædød og meget andet.

Falck (1918) beskriver sygnende bevoksninger af stilkeg i Tyskland. Han konkluderer, at det primære er tørkesvækkelser, og disse medfører angreb af forskellige svampe og insekter. Man bemærker, at de bevoksninger, som *Falck* har undersøgt i Forstamt Lödderitz „liegen ausschliesslich im Auenwalde des Überschwemmungsgebietes. Die ausserhalb des Überschwemmungsgebietes gelegenen Eichenwälder sind gesund". (l. c. s. 123). Man kan forestille sig, at den særlige tørkefølsomhed er primær, fordi bevoksningernes rodrum altid er for småt på de pågældende lokaliteter. Man kan imidlertid også forestille sig, at sommeroversvømmelser har givet roddrukning med den deraf følgende sekundære tørkefølsomhed. (Se omtalen nedenfor af *Gassert*, 1934).

Oelkers og Meine (1923) meddeler, at mens stilkeg i stort omfang er døde i provinsen Hannover i de seneste år, er vintereg gået fri. Stilkeg (90-årige) vokser på de lave, fugtige lokaliteter. Forfatterne antager, at en almindelig grundvandsænkning i forbindelse med tørkeår er årsag til, at stilkegen dør.

Sinz (1924—25) har beskrevet, hvorledes rødgran klarer sig meget dårligt på Forstamt Naunhof ved Leipzig. De synlige skader er kulturvanskeligheder og senere først og fremmest insektangreb. Man mærker sig, at hele skoven var oversvømmet i 1834, altså samtidig med kalamiteterne på Lolland, som *Vaupell* (1863) har beskrevet. Endvidere lægger man mærke til, at skovfyr har flade rodsystemer på Naunhof, og at der klages over vækststagnation og topdød hos eg. *Sinz* angiver, at alle ulykkerne skyldes, at grundvandet er blevet sænket på grund af byen Leipzig's boringer i området. Iøvrigt er *Sinz*'s beskrivelser af skader ganske de samme, som *Wiedemann* (1923) giver i samtidige beskrivelser fra Sachsen.

Gassert (1934) beretter om enorme grundvandstigninger som følge af overnormal nedbør i perioden 1912—32. De fleste af disse står vel mere eller mindre direkte i forbindelse med, at de omtalte lokaliteter er præget af flodvandstande. Grundvandstigningerne har medført, at store arealer med skovfyr er gået ud. Sammenhængen mellem grundvandstigning og trædød er klarest, hvor grundvandet ligefrem danner søer på skovbevoksede arealer.

Gassert angiver en række tidligere perioder, hvor overnormal nedbør har givet eller må have givet grundvandstigning og drukning af skovtræbevoksninger (o. 1843, o. 1878). Alle disse perioder falder sammen med klager over tørkedød og andre tørkekalamiteter. Han understreger, formentlig med rette, at man ikke skal lade tidligere tiders afvandingsarbejder forfalde i tørre år, da de når som helst kan blive aktuelle påny.

Hartmann (1930) har ligeledes understreget, at fugtige år kan give kalamiteter, som man ofte tilskriver andre årsager, f. eks. afløvninger af insekter.

Jordan (1951) har undersøgt forholdene omkring en kanal i en skov mellem Heidelberg og Karlsruhe. Kanalen blev lavet i 1936. Den er 20 m bred og 5 m dyb og indrettet til opstemning af vand (tankgrav). Efter kanalens indretning har der været en betydelig afgang af træarter, enten ved at enkelttræer er døde eller ved stormfald. I 1949 undersøgte *Jordan* rodsystemerne af en del træer i forbindelse med et stormfald. Det viste sig, at der var en almen roddød i 60—80 cm dybde. Samtidige undersøgelser viste, at grundvandstanden i skoven var snævert korreleret med kanalvandstanden. *Jordan* antager, at roddøden skyldes grundvandsænkning, fordi sænkningen antages at have givet visse jordbundsændringer.

Man får en mistanke om, at i mange tilfælde, hvor der er klaget over, at grundvandsænkninger har medført sygelighed og trædød, har man konkluderet galt. Det har snarere været sådan, at grundvandstigninger har druknet bevoksningernes rodsystemer. Bevoksningerne har derfor ikke kunnet klare påfølgende tørkeperioder, og den fysiologiske svækkelse har muligvis disponeret træerne for svampe- og insektangreb.

Sammenfatning:

Litteraturen om grundvands indflydelse på skovtræernes sundhed viser, at *grundvandstigninger i vækstperioden kan dræbe træernes rodsystemer.* Grundvandstigninger forårsages, i hvert fald på visse jorder, af stærke hugstindgreb. Grundvandstigninger kan også forekomme i år med meget rigelig nedbør i vækstperioden.

Hvis roddøden er meget omfattende, er træerne dårligt stillede i senere tørkeperioder, idet *det reducerede rodrum medfører, at træerne får vandforsyningsvanskeligheder.*

Dette kan i sig selv være katastrofalt, men samtidig ser det ud til, at den fysiologiske svækkelse, som træerne er i, efter at større dele af rodsystemerne er blevet dræbt, *disponerer dem for visse svampeangreb og insektangreb.*

Der er iøvrigt en påfaldende lighed mellem sandjorder med ringe vandkapacitet og svære lerjorder med højtstående grundvand. De sidste er fysiologisk fladgrundede, og skovtræbevoksninger på sådanne jorder lider derfor ofte af tørke, ligesom de gør det på den lette jord.

Endelig skal det fremhæves, at *ældre træer er i besiddelse af en betydelig inerti.* Ofte reagerer de først efter lang tids forløb synligt på en fysiologisk svækkelse. Man vil derfor kunne komme ud for, at når man opdager, at der er noget i vejen med en bevoksning, så skyldes det en begivenhed, som er hændt for flere år siden.

c. Indflydelse på stormfastheden.

Nærværende beretning omfatter ikke undersøgelser vedrørende stormskader, men da bevoksninger på svære jorder med højtstående grundvand er særlig udsatte i stormvejr, falder det naturligt at nævne det ved litteraturgennemgangen. Af den nyere litteratur, som viser dette, kan nævnes:

Vité (1951) har analyseret de stormskader, der har været i rødgran i Bramwald i perioden fra 1935 til 1949. På „Molkenböden", det vil sige svære jorder med i hvert fald tidvis højtstående grundvand, havde rodvæltere flade rodsystemer (25 m^2 overflade, 12—18 cm dybde). Han beregnede, at rodklumpen efter væltning var på ca. 3,5 m^3. På mere dybgrundede jorder dækkede rodkagerne 15 m^2 i en dybde af 35—40 cm. På disse

jorder havde væltede træer en rodklump på 5,5 m^3 (og dybere tyngdepunkt!). Ved at sammenholde stormfaldene i den nævnte årrække med jordbundskort kunne *Vité* vise, at stormfald næsten udelukkende forekom på de vådeste jorder.

På disse våde, fladgrundede jorder har *Vité* iagttaget døde rødder i de dybere horisonter. Han meddeler samtidig, at han har iagttaget, at mineraljorden i stormvejr undertiden presses op gennem humuslaget på grund af træernes bevægelse.

Merkle (1951) advarer mod plantning af douglas på svær jord, hvor rodsystemet bliver fladt og risikoen for stormvæltning stor.

Ruth og Yoder (1953) har undersøgt fordelingen af stormfaldene i perioden 1948—52 i en forsøgsskov i Oregon. De fandt, at stormfaldet var størst på arealer med højtstående grundvand og i bevoksninger, hvor rodsystemerne var rådangrebne. Det fremgår ikke af det foreliggende referat, om disse to faktorer var korrelerede.

van Soest (1954) advarer mod at plante douglas på lokaliteter med højtstående grundvand. Hans udtalelse er baseret på en inventering af et stormfald.

Hasenmaier (1955) undersøgte fordelingen af et stormfald i rødgran på forskellige jorder i Württemberg. Han fandt de største stormfald på svære jorder.

Problemet er også velkendt her i landet. Julistormen i 1931, som var ledsaget af kraftige regnskyl, ramte således fortrinsvis bøgeskoven på de svære jorder med højtstående grundvand. *Larsen* (1956) skriver: „Mere objektivt er det, at regnstormen i 1931 navnlig gik ud over arealer, hvor afvandingen var mangelfuld". (l. c. s. 229).

Dette korte udpluk af litteraturen viser, *at på svær jord med højtstående grundvand er der en betydelig risiko for stormfald. Det skyldes i første række, at alle skovtræer har fladtstrygende rodsystemer under sådanne betingelser* (jfr. også *Köstler* 1956). *Det kan ikke udelukkes, at roddød som følge af grundvandstigninger kan øge stormfaldsrisikoen. Sådanne grundvandstigninger kan komme i forbindelse med hugstindgreb og i år med stor nedbør i vækstperioden.*

6. Om skovens vandforbrug.

Der er gennemført en del undersøgelser af, hvor stort vandforbruget er i sluttede skovtræbevoksninger. Litteraturen om emnet er meget svulmende, og man støder på så at sige alle kendte skovbrugsforskeres navne, om ikke andet så i en af de mange større eller mindre polemikker, som emnet har været genstand for.

Gennem tiden har man haft forskellig opfattelse af, hvor stort skovens vandforbrug er. Det kan belyses ved at gennemgå et par danske afhandlinger, idet svingningerne i den videnskabelige verdensopinion gennemgående har afspejlet sig i den danske litteratur.

Colding, Holten og Johnstrup (1875) har afgivet betænkning om skovenes indflydelse på vandbalancen under danske forhold.

Hovedpunkterne var:

1) Skov har efter danske undersøgelser ingen indflydelse på nedbørens størrelse og fordeling.
2) Ved rydning af skov øges fordampningen, så der sker en udtørring af kilder, åløb m. m.
3) Landbrugsafgrøders fordampning er større end skovs.
4) Afvandingsforanstaltninger medvirker til den almindelige udtørring.

Hovedkonklusionen af deres undersøgelse er altså, at skoven bruger mindre vand end landbrugsafgrøder. Man mærker sig, at *P. E. Müller* (1876) i et kompilatorisk arbejde „om Vegetationsvandet", når til samme hovedkonklusion. Derfor falder det helt naturligt, at Müller refererer ovennævnte betænkning meget omhyggeligt i 1877 (Tidsskrift for Skovbrug, bd. 2, s. 78—83).

Opfattelsen af skoven som et vandreservoir kommer også til udtryk i et foredrag om afvanding m. m. af *Schrøder* (1890).

Omkring århundredskiftet kom undersøgelserne af grundvandstande i Rusland og Frankrig m. fl. steder (se s. 245—253), som førte til konklusioner om, at skov har et meget stort vandforbrug. De blev imidlertid bestridt af samtidige forskere, og de synes ikke at have givet dønninger i den danske skovbrugslitteratur.

Her i landet synes man umærkeligt at være gledet over i den opfattelse, som *Møller* (1952—53) har givet udtryk for. Med

støtte i *Stålfelt*'s (1944) undersøgelser skriver *Møller* (1953, s. 6):

„Under alle omstændigheder vil i det i Danmark almindeligst forekommende tilfælde, hvor grundvandet findes i stor dybde, overfladen have sin egen fra grundvandet helt eller næsten helt adskilte vandøkonomi".

Det vil sige, at godt voksende skovtræbevoksninger forbruger hele årsnedbøren. *Møller* har først og fremmest tænkt på bevoksninger af rødgran.

Stålfelt har anvendt momentanmetoden til transpirationsmålinger og Ebermayer-lysimetre til måling af gravitationsvandets nedsivning i jorden. Han har også målt interception.

Fra en hydrologisk synsvinkel blev *Stålfelt*'s arbejde imødegået af *Tryselius* (1946). *Tryselius* hævdede, at de svenske afstrømningsundersøgelser viste, at skoven i det område, hvor *Stålfelt* har arbejdet, antagelig har et årligt vandforbrug på ca. 400 mm. (Se også *Kihlberg,* 1958).

Holstener-Jørgensen (1955 og 1956) imødegik *Stålfelt*'s arbejde ud fra en jordbundsfysisk synsvinkel (se også *Møller,* 1956 og *Stålfelt,* 1956). Konklusionen var:

Efter hidtidige undersøgelser synes der ikke at være rimelig grund til at antage, at skoven forhindrer, at der siver vand til grundvandet under vore klimabetingelser. (1955, s. 523 og 1956, s. 417).

Den omtalte diskussion har hentet væsentlige elementer fra *Penman*'s tanker, som er introduceret her i landet af *Aslyng* (1954). Samtidig har *Lyshedes* (1955) afstrømningsundersøgelser vist, at sjællandsk skov ikke kan bruge *meget* større vandmængder end sjællandsk agermark.

Hvis man forsøger at sammenfatte udviklingen i den danske opfattelse af skovens vandforbrug, bliver indtrykket følgende:

I sidste fjerdedel af forrige århundrede og formentlig et stykke ind i dette har man antaget, at skoven har et moderat vandforbrug i forhold til andre jorddyrkningskulturer („la forêt est la mère des sources", hedder det i Frankrig).

Senere er man svinget over i den opfattelse, at skovens vandforbrug er så betydeligt, at skoven ikke bidrager til grundvandsdannelsen.

I dag står man på en neutral middelvej. Skovens vandfor-

brug (aktuel fordampning) er mindre end den potentielle fordampning, og den er mindre end den årlige nedbør. Den aktuelle fordampning må afhænge af faktorer som jordbunds- og nedbørsforhold, skovens rodrum og vækstperiodens længde.

Efter dette korte historiske overblik kan det være nyttigt at foretage en lidt mere detailleret gennemgang af den nyeste litteratur. En sådan gennemgang og de konklusioner, som drages i denne forbindelse, danner bagrunden for diskussionen af de selvstændige undersøgelser, som fremlægges i beretningen.

Undersøgelserne af skovens vandforbrug kan deles i fire hovedgrupper:

1) Plantefysiologiske undersøgelser, hvor man måler transpirationen og, hvis man vil have en fuldstændig vandbalance, nedbør, interception med flere størrelser (se s. 268).
2) Undersøgelser af grundvandsvingninger. Disse undersøgelser er behandlet i det foregående afsnit: Skovens indflydelse på grundvandstanden (se s. 245).
3) Ligetidige undersøgelser af jordfugtigheden under forskellige bevoksningsformer (se s. 268).
4) Måling af afstrømningen fra afstrømningsområder med forskellig bevoksningstilstand (se s. 272).

Gruppe 1:

Undersøgelserne under gruppe 1 har bidraget væsentligt til at klarlægge visse fundamentale sammenhænge, såsom transpirationens afhængighed af klimafaktorer. Det er derimod vanskeligt at udnytte dem til realitetsbetonede skøn over bevoksningers årlige aktuelle vandforbrug. Hertil kræves med de hidtil kendte metoder en række usikre summationer. Med rette siger da også *Wittich* (1953, s. 148): „Aus den mit dieser Methode von den verschiedenen Forschern gewonnenen Ergebnissen kann man sich aussuchen, was man gerade braucht . . .“.

Gruppe 3:

I sidste fjerdedel af forrige århundrede er man begyndt at gennemføre ligetidige målinger af jordfugtigheden i forskellige bevoksninger. Stort set førte de til den hovedkonklusion, at skovtræbevoksninger har et større vandforbrug end f. eks. landbrugs-

afgrøder, og at bevoksningernes vandforbrug stiger med bevoksningsalderen (se *Ebermayer*, 1900).

Som omtalt i indledningen (s. 239—240) er det vanskeligt at vurdere rækkevidden af disse tidligere undersøgelser. Det samme gælder de af nedennævnte målinger, hvor det er angivet, at målingerne er på ren vægtprocentbasis.

Albert (1915) fastslår på basis af jordfugtighedsmålinger (vægtprocent), at gennemhugning og risdækning giver større jordvandmængder i vækstperioden. Hans materiale virker ikke rigtig overbevisende, og de værdier, han finder, er meget små. En risdækning skulle således øge jordvandmængden i dybden 0—40 cm med 30.000 l/ha eller 3 mm (l. c. s. 247) i vækstperioden. En sådan forskel kan ikke være signifikant.

Kmonitzek (1930) har målt, at jordens vandindhold i vægtprocent er mindre i skovfyrbevoksninger med bøgeunderplantning end i rene skovfyrbevoksninger. De værdier, som han har publiceret, viser, at det er tilfældet både den 20/4 1929, på tre måledatoer i vækstperioden 1929 og den 8/10 1928. Da bøgeundervæksten ikke skulle kunne påvirke jordvandforrådet om foråret (20/4) i den nævnte dybde (0—90 cm), må man betvivle, at undersøgelsen virkelig viser en sådan forskel.

Ganssen (1934) fandt ikke signifikante forskelle i jordens vandforråd (vægtprocent) i ulige stærkt tyndede bøgebevoksninger, eller i bøgebevoksninger med eller uden undervækst. I lighed med *Kmonitzek* finder han mindst jordfugtighed *gennem hele året* i skovfyrbevoksninger med bøgeundervækst i forhold til rene skovfyrbevoksninger. Hans undersøgelser bør derfor heller ikke føre til en endelig konklusion.

Alle disse tre afhandlinger er anerkendte i den forstlige litteratur (se f. eks. *Dengler,* 1944 eller *Wittich,* 1953).

Heinrich (1936) har gennem flere år undersøgt vandforrådet (*volumenprocent*) i nordtyske sandjorder. Hans omfangsrige og omhyggelige undersøgelser viser, at sluttede, ældre fyrrebevoksninger bruger mere vand end kulturer. Vandforbruget er mindst i renholdte kulturer. Han anbefaler, at man på sandjorder anvender renafdrifter og kulturrensning.

Heinrichs arbejde ligger på overgangen til de nyere undersøgelser, hvor man arbejder på volumenbasis, og hvor man først og fremmest interesserer sig for forrådet af plantetilgængeligt vand i jorden. Blandt disse arbejder må følgende nævnes:

Smith (1940) har foretaget ugentlige bestemmelser af de plantetilgængelige vandmængder i de øverste 7,5 cm af jorden 1) i en sluttet white pine bevoksning, 2) i en lysstillet white pine bevoksning og 3) på en renafdrift. I 1) var vandindholdet under visnegrænsen i flere uger, forholdene var noget bedre i 2), og på 3) var vandindholdet kun undtagelsesvis under visnegrænsen. Undersøgelsen løb i to år.

Wilm (1943) har undersøgt jordvanddeficitet ved vækstperiodens afslutning i et tyndingsforsøg (lodge-pole pine). Deficitet er stigende med stigende bevoksningstæthed. Han påstår, at transpirationen + evaporationen fra jordoverfladen er ens i alle parceller (5 inclusive en renafdreven), idet summen af de nedbørsmængder, som har nået jorden, svarer til deficiterne (indenfor fejlgrænserne). Forskellen skulle altså skyldes fordampning af interceptionsvand.

Veihmeyer (1953) fulgte i en årrække fugtighedsvariationerne i jorden under tre forskellige bevoksningstyper i Californien: 1) naturlig buskvegetation, 2) græstæppet efter rydning af buskene og 3) helt bar jord efter brænding. Vandforbruget var størst under 1), noget mindre under 2) og meget lille på 3).

Veihmeyer giver tal, som viser, at den samlede fordampning fra jordoverfladen i løbet af *fire år* er mindre end den vandmængde, som en 5 år gammel fyr bruger på *fire dage* (potentiel fordampning).

Zahner (1955) fulgte fugtighedsvariationerne i en egebevoksning og en fyrrebevoksning i Sydøst-Amerika. Han konkluderer, at de to bevoksningstyper (indenfor fejlgrænserne) har samme vandforbrug.

Köhn (1956) har brugt gipsblokke til bestemmelse af jordfugtigheden i 2, 5, 10, 20, 50 og 100 cm dybde, 1) i en douglasbevoksning, 2) på en eng og 3) på et vegetationsløst areal. Hans tal viser størst vandforbrug på engen, noget mindre i douglasbevoksningen og mindst fra det vegetationsløse areal. Da han kun har et målested på hver af arealerne, må materialets værdi betvivles.

I Californien har man forsøgt at afløve den naturlige buskvegetation ved sprøjtning. I det første år efter afløvningen fandt man, at jordvandkapitalen var 250 mm større efter vækstperiodens afslutning. (*Anonym*, 1957).

Zahner (1958) har fjernet løvtræundervæksten (ved sprøjtning) i en 50 år gammel fyrrebevoksning (loblolly pine + shortleaf pine) i Arkansas. Måling af jordfugtighedsvariationerne gennem fire år viste, at fjernelsen af undervæksten medførte, at vandforbruget blev 50 mm mindre pr. år. Jorden blev undersøgt til 120 cm dybde.

Lull og Axley (1958) har foretaget jordfugtighedsbestemmelser (gravimetriske) gennem en vækstperiode i 5 forskellige bevoksningstyper i New Jersey, U. S. A. Der var 3 gentagelser af hver type. Typerne var: 1) en ca. 32-årig egebevoksning, 2) 100-årig shortleaf pine med undervækst af eg og andre løvtræer, 3) 15-årig shortleaf pine, 4) 2 m høj fyrrebevoksning blandet med egestødskud, 5) vegetationsfri jord (sprøjtet med *Telvar*). Jordbunden var sand. Ved hjælp af jordfugtighedsmålingerne er det totale vandforbrug for hver af vegetationstyperne beregnet. Materialet er bearbejdet statistisk. Forfatterne konkluderer: Bevoksningerne 1), 2) og 4) brugte vand helt fra 360 cm dybde, bevoksning 3) kun til 240 cm dybde. Det vegetationsfri areal brugte mindst vand, nemlig 430 mm. De træbevoksede arealer brugte i gennemsnit 550 mm. Forskellen (430—550) er ikke signifikant.

De nævnte tal virker lidet troværdige. Man kan f. eks. dårligt forestille sig en evaporation fra vegetationsfri jord på 430 mm, hvis grundvandspejlet ligger i nogen dybde, som forfatterne påstår. Hele arbejdet virker mistænkeligt. Det fremgår blandt andet af, at grundvandsforhold m. m. er meget dårligt oplyst. Forfatterne skriver: „Upland sites where, for most soil-moisture sampling plots, the water table did not affect the moisture content of the upper 5 feet of soil" (l. c. s. 4). „The general topography of the area was flat; plots ranged in elevation from about 90 to 110 feet above sea level" (l. c. s. 4).

„Simultaneous recharge from the soil surface and the water table might be explained by a general rising of the water table due to recharge of adjacent swamps by rainfall" (l. c. s. 15).

De gennemgåede arbejder viser en vis slagside i den hidtidige forskning. Resultaterne har først og fremmest foryngelsesteknisk interesse. Det er demonstreret, at jordens vandreserver øges ved stærk hugst, ved borthugning af undervækst og (selvfølgelig) ved renafdrift. Derimod savnes der undersøgelser, som kan belyse

forskellige træarters vandforbrug (se dog *Zahner,* 1955). Ligeledes savner man en undersøgelse, som kan belyse, om bevoksningers vandforbrug ændres med bevoksningsalderen.

Gruppe 4:

Afstrømningsmålinger kan, hvis de omfatter hele afstrømningen fra undersøgelsesområdet, fortælle, hvor stor fordampningen i området er, idet

fordampningen = nedbøren — afstrømningen.

Det er et gennemgående træk i den hydrologiske litteratur, at der er lagt stor vægt på erosions- og oversvømmelsesproblemer. Hverken erosion eller fare for oversvømmelse er problemer af praktisk betydning her i landet. I den følgende kortfattede gennemgang af litteraturen om afstrømningsundersøgelser udnyttes derfor kun den side af undersøgelserne, som fortæller noget om forskellige bevoksningsformers vandforbrug.

Afstrømningsundersøgelser har i princippet været foretaget på to måder:

a) Man har sammenlignet afstrømningen fra områder med forskellige bevoksningsforhold, men samme klima- og jordbundsforhold.
b) Man har efter en kalibreringsperiode ændret bevoksningsforholdene i det ene af to iøvrigt ensartede afstrømningsområder.

Ad a) De schweiziske undersøgelser i Sperbelgraben og Rappengraben er klassiske (*Engler,* 1919, *Burger,* 1934, 1943 og 1956, *Casparis,* 1959). De har vist, at afstrømningen fra området med den største skovprocent (Sperbelgraben) er noget mindre end fra et næsten skovfrit område (Rappengraben). *Penman* (1959) har fornylig bearbejdet materialet kritisk og fundet, at „there are thus discrepancies between published fact and reasonable expectation, and they are important enough to be worth an attempt at resolution". Efter de schweiziske undersøgelser er fordampningen nemlig 25—50 % større, end man måtte vente ved energibalancebetragtninger. *Penman* anser dog, at „it may be that the well-wooded Sperbelgraben has an evaporation loss some 10 to 15 % greater than that of the dominantly grassland Rap-

pengraben" (l. c. s. 108). Man vil forstå, at det er vanskeligt at drage værdifaste konklusioner på det foreliggende grundlag.

Danske undersøgelser (*Lyshede,* 1955) førte til følgende konklusion:

„The example of the Værbækken and the Harrested å seems to show that whatever regulating effect woodland may have on runoff, it is but slight compared with the other factors which decide the course of runoff in Danish watercourses". (l. c. s. 107—109).

Den hydrologiske forskning i Rusland er tilgængelig i et par kongresbidrag fra 1959.

Bochov (1959 b) demonstrerer, at afstrømningen i russiske floder er korreleret med 1) skovprocenten i afstrømningsområdet, og 2) med afstrømningsområdets geografiske breddegrad. Endvidere er skovprocenten stigende med stigende breddegrad. Hans figurer viser, at korrelationen afstrømning/skovprocent er strammest. Ifølge hans konklusion betyder det, at afstrømninger skulle være 20 til 60 % større fra et 100 % skovdækket område end fra et skovfrit område. Fordampningen er altså mindre fra skov end fra landbrugsområder.

I konsekvens heraf vender russerne sig skarpt mod den schweiziske undersøgelse og navnlig mod de amerikanske, eksperimentelle undersøgelser (se *Bochov,* 1959 a, *Bochov,* 1959 b, *Sokolovsky,* 1959). Et hovedargument i diskussionen er, at man må arbejde med store afstrømningsområder for at få relevante resultater. Det har man ikke gjort i de schweiziske og amerikanske undersøgelser.

Det er dog i denne forbindelse værd at notere sig, at *Rakhmanovs* (1959) kritik af grundvandstandsundersøgelser med lige så stor gyldighed kunne rettes mod de russiske hydrologiske undersøgelser. Når *Rakhmanov* ikke gør det, skyldes det formentlig, at hans forskningsindsats blandt andet har været at foretage sammenstillinger af afstrømningsmålinger, som giver samme resultat som *Bochov's* (se litteraturlisterne m. m. f. eks. hos *Bochov,* 1959 b). Ved at anvende *Rakhmanov*'s kritik når man ti' følgende:

Det er en kendt sag, at de geohydrologiske forhold i de russiske skove er forskellige fra de geohydrologiske forhold i de

skovfri områder. Bochov's (og Rakhmanov's) undersøgelser kan derfor ikke vise noget om fordampningen fra skov i forhold til fordampningen fra skovfri arealer.

Ad b) Den ældste eksperimentelle undersøgelse af skovs indflydelse på afstrømningen er, såvidt det er forfatteren bekendt, amerikansk (*Bates og Henry,* 1928). Fra to skovklædte afstrømningsområder i Colorado hver på ca. 200 acres, blev afstrømningen fulgt fra 1910—19 (kalibreringsperioden). Derefter blev det ene renafdrevet. Fra 1919 til 1926 var afstrømningen i middel 25 mm større pr. år fra det renafdrevne område end fra det skovklædte område. Undersøgelsen viser altså, at fordampningen fra sluttet skov var 25 mm større end fra et areal med renafdriftsflora.

Denne undersøgelse blev fulgt op af en serie tilsvarende undersøgelser, først og fremmest i U. S. A. (se *Anonym,* 1940, *Hoover,* 1945, *Croft og Monninger,* 1953, *Johnson og Kovner,* 1956, for at nævne nogle). Arbejdet er imidlertid også taget op i andre lande, f. eks. Tyskland (*Delfs og medarbejdere,* 1958), Japan (*Katsumi,* 1956) og Sverige (*Kihlberg,* 1958).

Denne række af undersøgelser viser entydigt, at hvor jorden er rimeligt dybgrundet, vil renafdrift, fjernelse af undervækst (*Johnson og Kovner,* 1956) og lignende foranstaltninger øge afstrømningen, fordi fordampningen mindskes.

Johnson og Kovner viser iøvrigt, at afstrømningen pány mindskes, når undervæksten (rhododendron) reetableres ved stødskud.

Sammenfattende tør man formentlig antage, at afstrømningsundersøgelser kan være et nyttigt supplement til andre undersøgelser af skovens vandforbrug. Først og fremmest kan man vente flere gode resultater af eksperimenter i små afstrømningsområder. Enkelte spørgsmål kan dog vanskeligt løses ad denne vej, det gælder f. eks. sammenlignende undersøgelser af forskellige træarters vandforbrug.

Der er grund til at berøre endnu et emne: *interceptionens betydning.* Der er ofret mange tryksider i forstlig litteratur på omtale af interceptionsundersøgelser, og den læge læser kan meget let få det indtryk, at interception er et specifikt forstligt problem. Uden iøvrigt at tage stilling til nytten af interceptionsundersøgelser kan det sikkert være gavnligt at fastslå to ting:

1) Sålænge interceptionsvand fordamper, kan spalteåbningerne stå åbne, så der er fri passage for CO_2. Interceptionsvand er altså også nyttigt.

2) Også i landbrugsafgrøder har man interception. Man kan f. eks. efter en amerikansk undersøgelse (*Clark*, 1940) skønne, at den i mange landbrugsafgrøder er af samme størrelsesorden som i forstlige.

Sammenfattende kan følgende siges:

Litteraturen om skovens vandforbrug viser, at sluttet, ældre skov har et større vandforbrug end unge kulturer. Der synes ligeledes at være visse holdepunkter for at antage, at hugstindgreb mindsker vandforbruget. Man mærker sig også, at underplantning øger vandforbruget, mens hugst af undervækst mindsker det. De nævnte punkter er ikke lige godt underbyggede, men de synes dog trods alt at være temmelig sikre.

Derimod savner man bedre oplysninger om, hvorvidt der er forskel mellem forskellige træarter med hensyn til deres vandforbrug, når de vokser i *forstligt normalt behandlede bevoksninger*. Endvidere savner man oplysninger om, hvorvidt sluttede, unge bevoksninger har det samme vandforbrug som sluttede, ældre bevoksninger.

II. RESULTATERNE AF EN EKSPERIMENTEL UNDERSØGELSE.

1. Indledning.

I to tidligere publikationer har forfatteren behandlet undersøgelser vedrørende grundvandsvingninger i skov på lerjord (*Holstener-Jørgensen,* 1959 a og 1959 b). Den første af disse behandlede undersøgelser gennem tre år på tre prøveflader, en bevokset med eg, en bevokset med bøg og en bevokset med rødgran. Det viste sig, at grundvandet i hvert af de tre år blev sænket til meget nær samme maksimale dybde (l. c. 1959 a, figur 8, 9 og 10, s. 245—46). Tidspunktet, hvor denne maksimale dybde blev nået, var ikke det samme hvert år. Det afhang øjensynlig af de forskellige års nedbørs- og fordampningsbetingelser. De indsamlede data ledte imidlertid ganske naturligt til den konklusion, at den maksimale grundvandsdybde klart afspejlede den maksimale roddybde, idet grundvandet ved kapillær hævning sænkedes 20—30 cm under dybeste rodspids. Samtidig blev det fremhævet (l. c. s. 225), at mens bøg og rødgran sænkede grundvandet i løbet af 3—4 måneder, blev grundvandet under eg sænket i løbet af 2—6 uger. Blandt andet på grund af visse jordbundsforskelle m. m. kunne der ikke gives en endelig forklaring på fænomenet. Der blev tilbudt følgende hypoteser: 1) Eg har større rodintensitet end bøg og rødgran i dybden, 2) Egens dybtgående rødder er mere virksomme end bøgs og rødgrans.

I den følgende publikation (*Holstener-Jørgensen,* 1959 b) blev det vist, at hugstindgreb (lysstilling, renafdrift) påvirkede grundvandstanden i en bøgebevoksning. Undersøgelsen blev i sin tid tilrettelagt sådan, at man fulgte grundvandstanden i bevoksningen i et år (1956), før man foretog hugstindgreb. Dybeste grundvandstand i de enkelte brønde blev i året efter indgrebet

sammenlignet med dybeste grundvandstand i de samme brønde året før hugstindgrebet. Det viste sig, at dybeste grundvandspejl i middel var 50 cm højere i den lysstillede parcel og 140 cm højere i den renafdrevne parcel, mens det i middel var 54 cm dybere på de urørte parceller. Om den konstaterede mersænkning på de urørte parceller blev der sagt: „Der kan ikke i øjeblikket gives nogen tilfredsstillende forklaring på dette forhold" (l. c. s. 296).

Det kan der nu, efter at der er indsamlet større materialer, og navnlig efter at der har stået et materiale til rådighed, som stammer fra et tørkeår.

Figur 1 a, b, c og d viser grundvandskurverne fra 1956 til og med 1959 for 3 af brøndene på det sidst omtalte faste forsøgsareal. Brøndene er nabobrønde i de ubehandlede parceller. Hvis man betragter kurverne for 1959, lægger man først og fremmest mærke til en ting: Sænkningen sker i vækstperioden efter en ret linie. De enkelte punkter afviger kun meget lidt fra en tænkt udjævningslinie. Ganske det samme billede viser alle de øvrige grundvandsbrønde på arealet i 1959. Pladshensyn tillader imidlertid ikke, at alle grundvandskurverne publiceres.

Det er klart, at man kan beregne de rette linier, *grundvandsregressionerne*. Det er gjort for alle 31 brønde på forsøgsarealet. Som „udgangspunkt" er anvendt grundvandstanden den 18/4 1959, og som uafhængig variabel er anvendt antallet af dage mellem datoen for de enkelte grundvandstande og den 18/4. Korrelationskoefficienterne for de enkelte regressioner angiver, hvor stramme de enkelte korrelationer er. De kan derfor på en mere pladsbesparende måde end figurer dokumentere, at der virkelig med god tilnærmelse er tale om rette linier med en meget ringe spredning. I tabel 1 er disse korrelationskoefficienter anført for alle 31 grundvandsbrønde. Samtidig er angivet, hvor mange iagttagelser der indgår i de enkelte beregninger.

Det kan måske undre, at der er en meget stor variation i antallet af iagttagelser. Det skyldes ikke, at der er udskudt iagttagelser. I årets løb skete det jævnligt, at en brønd blev tør. Samme dag, som man målte i de øvrige brønde, blev de tørre brønde boret dybere, og de fik derefter lov til at stå 2—3 dage, før de pany blev målt. Da grundvandet sænkedes hurtigt (regressionskoefficienten stor), skete det, at man, når de nævnte 2—3 dage var gået, konstaterede, at brønden pany var tør. Processen

måtte så gentages. Det medførte, at der blev huller i målerækken for nogle brønde. Endvidere er det bor, som er placeret på arealet, kun 3 m langt. Denne længde tillader boring til 270—280 cm. Denne dybde er i almindelighed tilstrækkelig; men i 1959 blev grundvandet i et flertal af brøndene sænket under denne dybde, og så blev målerækken selvfølgelig kort.

Rækken af korrelationskoefficienter viser en meget snæver sammenhæng i alle grundvandsbrøndene. Den laveste, 0.904 er fra brønd 24, hvor der kun har været 5 iagttagelser til rådighed. Det skal tilføjes, at alle korrelationskoefficienterne er afrundet nedad.

Hvis man betragter grundvandskurverne for de øvrige år på figur 1, ser man, at fra det tidspunkt i foråret, hvor sænkningen

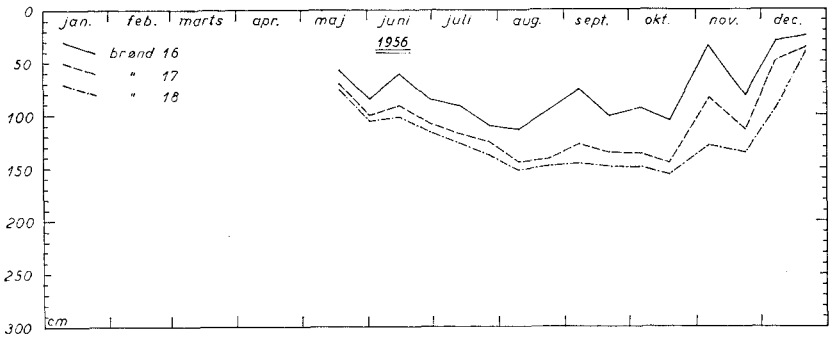

Fig. 1 a.

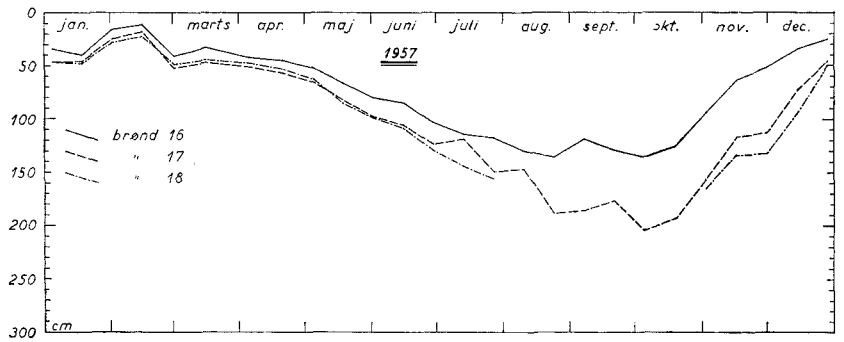

Fig. 1 b.

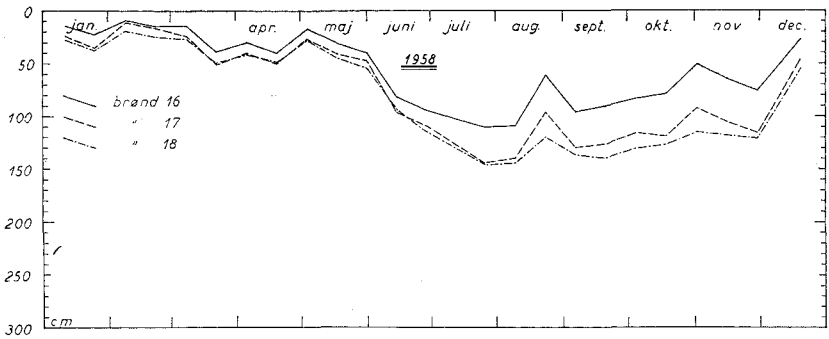

Fig. 1 c.

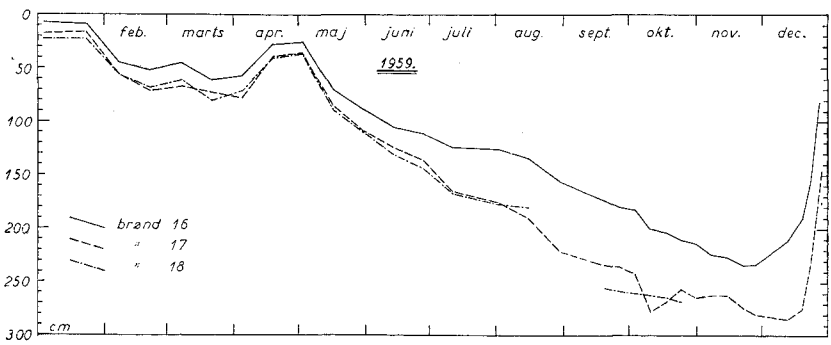

Fig. 1 d.

Fig. 1 a, b, c, d. Grundvandskurverne for brøndene nr. 16, 17 og 18 på det faste forsøgsareal på Bregentved i årene:

a = 1956
b = 1957
c = 1958
d = 1959

Fig. 1 a, b, c, d. Curves of the water-tables in wells nos. 16, 17 and 18 in the permanent experimental area at Bregentved for the years:

a = 1956
b = 1957
c = 1958
d = 1959 (brønd = *well)*

T a b e l 1. Oversigt over vandstande, brøndes afstande fra grøfter, og korrelationskoefficienter for grundvandsregressioner i 1959 på det faste forsøgsareal i Ganneskov, Bregentved.

T a b l e 1. A survey of water-tables, distances of wells from ditches, and correlation coefficients for ground-water regressions in 1959 in the permanent experimental area in Ganneskov, Bregentved.

Behandling *Treatment*	Brønd nr. *Well no.*	Grundvandstande, cm *Water-tables* 1957 1/3	1956 24/8	1957 10/8	1958 9/8	1959 15/8	Afstand m til grøft *Distance m to ditch*	Korrelationskoefficienter 1959 *Correlation coefficients 1959*	Antal iagttagelser 1959 *Number of observations*
Ubehandlet	14	57	104	112	97	121	8	0.975	24
No treatment	15	65	138	—	121	141	2	0.975	21
	16	41	95	130	109	133	15	0.989	21
	17	52	141	147	140	190	15	0.979	21
	18	49	149	—	144	180	13	0.985	16
	19	55	130	149	110	164	4	0.994	16
	20	61	131	163	131	180	4	0.977	19
	21	54	131	157	124	190	8	0.987	9
	22	40	108	156	118	162	11	0.980	9
	23	66	138	181	149	185	3	0.991	12
	24	54	296	—	134	—	15	0.904	5
	25	52	254	—	210	—	24	0.987	6
	26	57	293	—	198	—	30	0.985	6
	27	43	282	212	187	271	23	0.990	10
Lysstillet	28	50	242	174	153	230	19	0.992	10
Shelterwood-cut	29	47	295	165	150	218	12	0.991	10
	30	80	212	204	180	260	2	0.990	9
	31	92	292	167	111	241	2	0.985	9
	1	43	289	168	145	200	10	0.992	13
	2	50	209	188	149	205	5	0.995	12
	3	69	263	214	179	230	12	0.995	12
	4	123	211	166	149	181	2	0.981	24
	5	78	198	115	100	133	4	0.992	24
Renafdrevet	6	59	203	101	90	126	9	0.991	24
Clear-cut	7	49	191	69	54	114	14	0.989	24
	8	42	202	72	70	125	16	0.984	24
	9	71	202	96	109	151	9	0.996	24
	10	81	294	103	111	167	6	0.994	24
	11	89	213	101	101	154	6	0.986	24
	12	44	226	83	79	130	16	0.988	24
	13	44	191	87	75	115	12	0.977	24

begynder, til omkring midten af august, er kurven tilnærmet retliniet. På et eller andet tidspunkt i august kommer der grundvandstigninger, eller kurven ændrer retning mod en linie parallel med jordoverfladen. Senere kommer efterårsstigningen, som er mere eller mindre stejl. Kort sagt, man øjner i forsommeren og højsommeren den samme retliniede sænkning, som er så karakteristisk i den tørre sommer 1959. I mindre tørre år end 1959 afbrydes sænkningen i den normalt regnrige august måned.

Det kan altså fastslås, at sænkningen af grundvandet er forskellig fra år til år. Dybeste grundvandstand er ikke under givne bevoksningsforhold en lokalitetskonstant, som de første iagttagelser gav grund til at tro (*Holstener-Jørgensen,* 1959 a). Forfatteren burde formentlig selv have kunnet se igennem det på et tidligere tidspunkt, blandt andet fordi det er påfaldende, at dybeste vandstand falder på forskellige tidspunkter i de tre år. Endvidere viser egeprøvefladen meget klart forskellige regressionskoefficienter i alle tre år. Det medførte, at grundvandsbrøndene ikke kunne bores dybe nok i to af årene. For disse to år skønnenedes, at dybeste vandstand nok var meget nær den samme, som i det år, hvor grundvandstandens svingninger kunne følges gennem hele året. Denne ekstrapolation har formentlig været forkert.

En genundersøgelse af den tidligere undersøgte bøgeprøveflade (nu flade 19, se s. 320), viste, at grundvandstanden den 20/8 1959 var 182 cm. Her var dybeste vandstand tidligere bestemt til at være ca. 145 cm (*Holstener-Jørgensen,* 1959 a, s. 254). Der er følgelig en forskel i den retning, som man måtte vente.

Foreløbig synes det stadig at have størst praktisk interesse at arbejde med højeste og dybeste grundvandstand under de forhold, som man har på Bregentved. Sideordnet med sådanne „absolutte" mål kan det dog utvivlsomt være nyttigt at arbejde med grundvandsregressionernes stejlhed, det vil sige med regressionskoefficienterne til den tilnærmet retliniede del af grundvandskurverne. De giver tilsyneladende under visse betingelser væsentlige oplysninger om vandbalancen under forskellige bevoksningsforhold. En stejl grundvandskurve (regressionskoefficienten til grundvandsregressionen er stor) viser et stort forbrug af jordvand, mens en mindre stejl grundvandskurve (lille regressionskoefficient) viser et lille forbrug af jordvand. Ud fra denne

synsvinkel fremlægges i det følgende en nybearbejdning af resultaterne fra det faste forsøgsareal på Bregentved (jfr. *Holstener-Jørgensen,* 1959 b).

2. Undersøgelsesresultaterne.

I indledningen er givet nogle oplysninger om forsøgsarealet. Forsøget blev anlagt i foråret 1956. I en bevoksning af 75-årig bøg indlagdes 4 parceller, hver på ca. 0,7 ha. Grundvandsvingningerne følges i 31 brønde. I november 1956 blev 1 parcel renafdrevet for i april 1957 at blive tilplantet med rødgran. Samtidig lysstilledes 1 parcel, og den underplantedes i det påfølgende forår med bøg. De to sidste parceller er foreløbig „kontrolparceller". Med hensyn til yderligere detailler må der henvises til den tidligere publikation (*Holstener-Jørgensen,* 1959 b).

Regressionskoefficienterne til grundvandskurvens retliniede del kan findes ved fuldstændige regressionsanalyser. Ved en simplere metode kan man imidlertid finde et tilnærmet udtryk for regressionskoefficienterne. Den uafhængige variable i en sådan regressionsanalyse er antallet af dage fra sænkningen begynder, til den ophører. De afhængige variable er de målte grundvandstande. Målingerne af grundvandstande er ligetidige på forsøgsarealet. Man finder datoen for sidste registrerede grundvandstand, før grundvandsregressionen afbrydes i den brønd, hvor afbrydelsen sker tidligst. For de enkelte brønde benytter man grundvandstandene på denne dato som liniernes ene endepunkt. Grundvandstandene og datoer i de fire år er angivet i tabel 1. For at få mest muligt styr på linierne er der stræbt efter at ramme en dato i august (så sent som muligt), hvor der forelå mål fra de to behandlede parceller. Det har medført, at der mangler enkelte mål fra de ubehandlede parceller. Disse brønde er udskudt ved bearbejdningen, også i de år, hvor mål foreligger. Ved at vælge mål fra august måned er, foruden at få den længst mulige periode, opnået, at variationen i måledatoer fra år til år influerer mindst muligt på resultaterne, hvis man vil sammenligne årene. Som liniens andet endepunkt er valgt det bedste skøn for højeste, stabile vandstand. Ved en gennemgang af alle grundvandskurverne viste det sig, at grundvandstanden den 1. marts 1957, som foreligger for alle brønde, på det nærmeste svarede til det resultat, som en grafisk interpolation ville give. Denne grundvandstand er anvendt og anført i tabel 1.

I tabellen er brøndene ordnet, således at brønde fra samme parcel er samlet. Samtidig er brøndenes løbenumre anført.

Et udtryk for den *ligetidige* sænkning i alle brøndene er differencen mellem vandstanden den 1/3 1957 og vandstanden i august i de enkelte år. Hvis man vil undersøge hugstindgrebenes indflydelse på sænkningen, må man undersøge, hvilke ændringer der sker i sænkningen i de enkelte år i forhold til sænkningen i kalibreringsåret 1956. Denne ændring finder man ved at danne differensen mellem sænkningen i på den ene side 1956 og på den anden side 1957, 1958 og 1959. Et eksempel kan belyse fremgangsmåden for brønd (1):

sænkning i 1956 = 289 cm — 43 cm = 246 cm
„ i 1957 = 168 cm — 43 cm = 125 cm
„ i 1958 = 145 cm — 43 cm = 102 cm
„ i 1959 = 200 cm — 43 cm = 157 cm,

ændring fra 1956—1957 = 125 cm — 246 cm = — 121 cm
„ fra 1956—1958 = 102 cm — 246 cm = — 144 cm
„ fra 1956—1959 = 157 cm — 246 cm = — 89 cm

I det foreliggende tilfælde viser ændringerne, at grundvandet i august 1957, 1958 og 1959 er 121 cm, 144 cm og 89 cm højere end i august 1956.

Middeltallene af ændringerne i de enkelte år for de tre behandlingsled er vist i tabel 2. Tallene kan ikke uden videre sam-

Tabel 2. Oversigt over middeltal af ændringer i grundvandssænkning (cm) fra 1956 til de nævnte årstal.
+ = større sænkning
— = mindre sænkning

Table 2. A survey of the arithmetical means for changes in the lowering of the water-table (cm) from 1956 until the years stated.
+ = increased lowering
— = decreased lowering

Behandling *Treatment*	Antal brønde *Number of wells*	1956	1957	1958	1959
ubehandlet *no treatment*	9	0	+ 16	— 11	+ 36
lysstillet *shelterwood-cut*	9	0	— 73	— 99	— 35
renafdreven *clear-cut*	8	0	—126	—129	— 80

menlignes med tidligere publicerede tal vedrørende dybeste vandstand. På renafdriften vil regressionen blive afbrudt før end på kontrolparcellerne, og forskellen mellem renafdrift og kontrolparceller bliver derfor større, når der arbejdes med dybeste grundvandstand, end når der arbejdes med regressioner.

Forskellen mellem middeltallene kan testes ved t-test eller tilnærmede t-test. Tabel 3 giver en oversigt over de beregnede t-værdier. Indeks til t angiver antallet af frihedsgrader. Under tabellen er anført de vigtigste grænseværdier for t ved forskellige sandsynligheder.

Tabel 3. Oversigt over t-værdier for forskellene mellem de tre behandlinger på forsøgsarealet på Bregentved.

Table 3. A survey of t-values for the differences between the three types of treatment in the experimental area at Bregentved.

Differens *Difference*	1957	1958	1959
ubehandlet — lysstillet *no treatment — shelterwood-cut*	$t_{16} = 4.62$	$t_{16} = 4.50$	$t_{12} \simeq 4.46$
ubehandlet — renafdrift *no treatment — clear-cut*	$t_{15} = 8.88$	$t_{15} = 7.88$	$t_{15} = 10.50$
lysstillet — renafdrift *shelterwood-cut — clear-cut*	$t_{15} = 2.79$	$t_{15} = 1.54$	$t_{15} = 2.67$

Ved 99.9 % sandsynlighed er $t_{16} = 4.02$; $t_{15} = 4.07$; $t_{12} = 4.32$
At probability
„ 99 % „ „ $t_{15} = 2.95$
„ 98 % „ „ $t_{15} = 2.60$
„ 95 % „ „ $t_{15} = 2.13$
„ 90 % „ „ $t_{15} = 1.75$
„ 80 % „ „ $t_{15} = 1.34$

Det fremgår, at forskellene mellem ubehandlet og lysstillet og mellem ubehandlet og renafdrift alle er højt signifikante. Der er i alle tilfælde mere end 99,9 % sandsynlighed for forskel.

Noget anderledes stiller det sig med forskellene mellem lysstillet og renafdrift. I 1957 er forskellen signifikant (sandsynligheden 98 % $< p <$ 99 %). I 1958 er den ikke signifikant (80 % $< p <$ 90 %), men i 1959 er den det påny (98 % $< p <$ 99 %).

Af de nævnte år var navnlig 1958 meget fugtigt. Det fremgår f. eks. af, at nedbørssummen for maj, juni og juli var 198 mm på Højbakkegård. I den samme periode måltes med fordampningsmåler en potentiel fordampning på 202 mm. I de tre må-

neder var der altså et nedbørsdeficit på 4 mm. I de samme tre måneder var nedbørsdeficitet i 1956 = 159 mm, i 1957 = 115 mm og i 1959 = 124 mm. (*Aslyng og Hansen,* 1960).

Man kan tænke sig, at det er balancen mellem nedbør og fordampning i de enkelte år, som afspejler sig i de fundne regressionsværdier og i forskellene mellem dem. Man kan dog først, når der foreligger talmateriale fra en længere årrække få sagen rigtig belyst.

Tabel 3 kan ikke tjene til at vise, at forskellene mellem lysstillet og renafdrift er ved at udviskes. Hertil kræves en betydelig længere iagttagelsesrække.

Det er ligeledes for tidligt at udtale sig om, hvorvidt forskellen mellem ubehandlet og lysstillet og mellem ubehandlet og renafdrift er ved at udjævne sig. Tallene, som foreligger, tyder på det, men også i dette tilfælde er tre års iagttagelser for lidt, til at man kan slutte noget rigtigt af dem.

Det fremlagte materiale viser, at grundvandet sænkes med forskellig hastighed ved de tre forskellige behandlinger. Herved er det bekræftet, at hugstindgrebene medfører mindre vandforbrug, og at virkningen holder sig i hvert fald i tre år. Materialet viser også, at selve den hastighed, hvormed vandet sænkes, er forskellig fra år til år. Det hænger formentlig sammen med, at vandforbrugsbetingelserne varierer fra år til år, men der kan endnu ikke udtømmende gøres rede for denne side af sagen.

Til slut skal det fremhæves, at forskellen (udslaget) mellem de tre behandlinger er af samme størrelsesorden fra år til år, selv om sænkningens karakter veksler.

III. OM FORSKELLIGE TRÆARTERS INDFLYDELSE PÅ GRUNDVANDSTANDEN.

1. *Indledning.*

Der er i det foregående kapitel gjort rede for, hvorledes stærke hugstindgreb (lysstilling, renafdrift) influerer på grundvandsvingningerne på lerjord med højtstående grundvand. Det er ligeledes vist, at de ændringer, som forårsages ved hugstindgrebene, holder sig i hvert fald i tre år. Det omtalte forsøg er anlagt i en bøgebevoksning.

På længere sigt vil forsøget kunne oplyse, om den rødgranbevoksning, som er anlagt på renafdriften, efterhånden vil sænke grundvandet til samme dybde i vækstperioden, som den forudgående bøgebevoksning. Hvis det ikke bliver tilfældet, vil man få opklaret, hvilke forskelle der i det lange løb er mellem de to træarter.

Endvidere vil man på langt sigt få oplyst, hvor længe det varer, før den nyetablerede bøgebevoksning på den lysstillede parcel sænker grundvandet i samme takt og til samme dybde, som den forudgående bøgebevoksning.

Endelig vil man, når man til sin tid afvikler de to kontrolparceller, få nye oplysninger. Den ene parcel skal efter de foreløbige planer tilkultiveres med eg, den anden med bøg.

Et forsøg af denne karakter er imidlertid langvarigt. Det er derfor nærliggende at forsøge at få nogle af oplysningerne og supplerende oplysninger på anden måde. Ud fra et sådant ønske er den undersøgelse, som der skal gøres rede for i det følgende, planlagt.

Denne undersøgelse er en engangsundersøgelse, som skulle give oplysninger om følgende forhold:

1) Er der under sammenlignelige forhold (jordbund og grundvand) forskel i de almindelige skovtræarters evne til at sænke grundvandet i vækstperioden?
2) Er der for de almindelige skovtræarter en sammenhæng mellem bevoksningsalderen og grundvandsænkningen i vækstperioden?

Undersøgelsen kan laves som en engangsundersøgelse, selv om sænkningen er forskellig fra år til år. Det er i det foregående kapitel vist, at forskellen mellem forskellige behandlinger på det nærmeste er den samme fra år til år, selv om sænkningernes karakter varierer. Man kan derfor med nogen ret antage, at en forskel mellem forskellige træarter eller mellem bevoksninger med varierende alder vil være meget nær den samme fra år til år uanset, at sænkningernes karakter varierer.

Ved engangsundersøgelsen er det valgt at arbejde på Bregentved skovdistrikt, fordi:

1) Store dele af distriktet ligger på ensartet moræneflade, hvor jorden har et højt lerindhold.
2) Grundvandstanden er høj i området, og det er i forvejen kendt, at grundvandet ikke er sideværts bevæget (se *Holstener-Jørgensen*, 1959 a og 1959 b).

2. *Metode.*

a. *Udvælgelsen af bevoksningerne.*

Bevoksningerne blev udvalgt i samarbejde med skovrider *H. C. Nissen*. Der blev forlods stillet følgende krav til materialet:

1) Alle de undersøgte bevoksninger skulle vokse på jord med højtstående grundvand.
2) For hovedtræarterne eg, bøg og rødgran ønskedes så vidt muligt mindst to bevoksninger midt i hver 10-års aldersklasse. Det vil sige, at de udvalgte bevoksninger skulle have aldre på ca. 5 år, ca. 15 år, ca. 25 år o. s. v.
3) For alle de øvrige træarter var kravene principielt de samme. Imidlertid indtager de øvrige træarter kun mindre arealer på distriktet, så de er i de fleste tilfælde kun repræsenteret ved én eller ganske få bevoksninger.

Udvælgelsen foretoges i stuen, idet skovrider *Nissen* ud fra sit lokalkendskab foreslog en række bevoksninger, som efter hans mening opfyldte de stillede krav. Bevoksningerne blev besigtigede af forfatteren.

Endelig blev der under selve markarbejdet udtaget endnu en række bevoksninger, som lå nabo til bevoksninger, som var fundet anvendelige ved den første udvælgelse. Disse sidste bevoksninger blev taget med, fordi man må antage, at der med større sandsynlighed er sammenlignelige jordbundsforhold og grundvandsforhold under nabobevoksninger af forskellige træarter end under bevoksninger, som ligger langt fra hinanden. Endvidere var det f. eks. ønskeligt at have en undersøgelse af bøgebevoksningen (flade 8), som ligger nabo til avnbøgebevoksningen (flade 98) i Kæderup Tykke.

Det må antages, at sikkerheden på undersøgelsens resultater vokser med antallet af bevoksninger, som inddrages i undersøgelsen. På den anden side er der ret snævre grænser for, hvor mange bevoksninger der kan tages med. Fastlæggelsen af „højeste, stabile vandstand" må under normale klimatiske betingelser ske på basis af boringer indenfor ca. 1 uge i slutningen af marts og begyndelsen af april (se *Holstener-Jørgensen*, 1959 a og b). Dybeste vandstand må man vente at finde i slutningen af august og begyndelsen af september, afhængig af nedbør og bevoksningstilstand. Det vil sige, at man ved en engangsundersøgelse højst har ca. 3 uger til arbejdet i eftersommeren. Indenfor 3 uger kan man højst arbejde i ca. 100 bevoksninger, og så skal man endda have gode klimaforhold for at få relevante talstørrelser at arbejde med.

Figur 2 giver en oversigt over fladernes beliggenhed i Bregentveds forskellige skove. Fladenumrene er anført på figuren. Nærmere oplysninger om fladerne finder man i de forskellige tabeller, som viser vandstandsmålingernes resultater m. m. (Hovedtabel I*) og tabel 4, 6, 8, 10, 12, 20, 21, 22 og 23).

b. Grundvandsbrøndenes placering m. m.

Der er ved undersøgelsen anvendt borede brønde af samme dimensioner som ved tidligere undersøgelser (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a og b). Da der er tale om en engangsundersøgelse er

*) Hovedtabel I findes bag i afhandlingen.

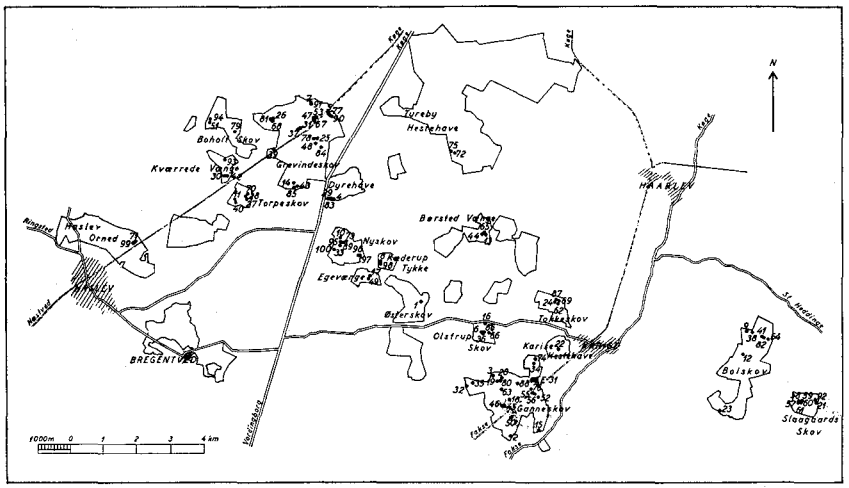

Fig. 2. Kort over undersøgelsesområdet. Kortet viser de enkelte fladers beliggenhed i de forskellige skove.

Fig. 2. Map of the investigated area. The map shows the situation of the individual sample plots in the various forests.

brøndene dog ikke sikret foroven ved betonmufferør, men står som jordskakte med 10 cm diameter. Brøndene er placeret mindst 10 m fra nærmeste grøft (se side 443 om grøfters indflydelse på grundvandstanden). Der er stræbt efter, at de er placeret i typiske partier af bevoksningen. Endvidere er de boret i ca. ⅔ kroneradius afstand fra et middeltræ.

Boringerne er gennemført i tre etaper (se hovedtabel I):

1. I begyndelsen af april boredes alle brønde til ca. 150 cm's dybde. I perioden umiddelbart herefter foretoges vandstandsmålinger til bestemmelse af „højeste stabile" vandstand.
2. I august boredes alle hullerne så dybt, at grundvandet med sikkerhed var nået. Dog blev der maksimalt boret til 350 cm. Vandstandsmålinger foretoges sidst i august.
3. På grund af den ekstraordinære tørke i 1959 fortsatte grundvandet med at synke betydelig længere end normalt. I begyndelsen af december blev der derfor pány boret i alle huller, og hvor det var muligt, boredes der, til grundvandet igen var nået, dog maksimalt 440 cm. Vandstanden er derefter målt.

Der skal ikke her gøres rede for de tekniske vanskeligheder ved at foretage boringer af denne art. Der skal kun peges på, at i Bregentveds svære lerjorder skal der kun en lille sten til for i bedste fald at sinke en boring betydeligt, i værste fald helt umuliggøre den. Ved august-boringen har boretiden svinget mellem 20 minutter og 4 timer.

Hvis man vil gennemføre et boreprogram af den omhandlede størrelsesorden indenfor en given tid, må man derfor ved et subjektivt skøn over fysisk indsats, medgået tid ved det enkelte hul m. fl. faktorer, afgøre, om det enkelte hul bør opgives, og til hvilken dybde man vil bore.

De nævnte maksimaldybder er alene fastlagt ved sådanne subjektive skøn.

Endelig skal det anføres, at vandstandsmålinger foruden i de allerede nævnte perioder er gennemført gennem hele december 1959, januar, februar og marts 1960 for at registrere, hvornår grundvandet påny nåede højeste, stabile stand.

Hovedtabel I giver en fuldstændig oversigt over boredatoer, boredybder*), måledatoer og vandstande for alle de undersøgte flader.

Det skal understreges, at der ved målingerne af vandstande er stræbt efter samtidighed. Den maksimale tidsafstand mellem målingerne i første og sidste hul ved hver målerunde andrager 29 timer.

Ved boringer i finporet ler må man i reglen bore et godt stykke ned under vandspejlet, før man med sikkerhed kan afgøre, at man er nede i grundvandet. Efter boringen stiger vandet langsomt i brønden, jo langsommere, jo mere finporet jorden er. Endvidere falder stighastigheden jo nærmere vandstanden i brønden nærmer sig grundvandstanden. I dybe huller (grovporeindholdet falder ned gennem jorden, jfr. figur 4, side 301), og på svær jord kan man derfor først måle vandstanden nogen tid efter boring. Disse forhold er taget i betragtning, idet vandstanden først er målt 5—6 dage efter boringen (se tabel I).

c. Jordbundsanalyser.

I forbindelse med borearbejdet udtoges et antal jordprøver til mekanisk analyse og pH-bestemmelse.

---

*) Boredybderne er skønnede ved hjælp af faste mål på boret (25 cm intervaller). Det medfører, at en påfølgende registrering af huldybden med tommestok kan give et mål, som afviger lidt fra den anførte boredybde.

De mekaniske analyser er gennemført efter den af *Jensen og Kjær* (1948) publicerede metode. Før analysen blev alt organisk stof forbrændt med brintoverilte (se *Aslyng*, 1952). Ved analyserne er kun materialet mindre end 2 mm (hulsigte) taget i arbejde.

pH er bestemt i de lufttørre prøver ved elektrometrisk måling med glaselektrode. Der er bestemt pH såvel i vandig opslemning som i en opslemning i 1.0 n KCl.

Analyseresultaterne er samlede i tabel 4.

Ved prøveudtagningen har følgende kriterier været retningsningsgivende:

1. For hver af de træarter, som indgår i undersøgelsen, skulle der udtages så mange prøver, at repræsentationen var af samme karakter fra træart til træart.
2. De udtagne jordprøver skulle være ligeligt fordelt indenfor hele det spand af bevoksningsaldre, som forekommer for de enkelte træarter.
3. Det var rimeligt at stræbe efter, at de enkelte skovområder indenfor distriktet blev ligeligt repræsenteret.
4. Det var ønskeligt at få jorden undersøgt i alle de dybder, som boringerne gav lejlighed til at undersøge.

Der blev ikke på forhånd lagt en fast plan for prøveudtagningen. Det er under selve markarbejdet før boringen i hvert enkelt tilfælde besluttet, om der skulle udtages en jordprøve og i hvilken dybde. Ved en sådan fremgangsmåde kan man først, når analyseresultaterne foreligger, afgøre, om materialet er repræsentativt udtaget. I det følgende skal det ganske kort vises, at dette synes at være tilfældet. Forinden skal der gøres opmærksom på, at jordprøverne falder i 3 grupper efter udtagningstidspunkt.

a. De første prøver er udtaget under forårsboringerne. Denne gruppe omfatter i det væsentligste alle prøver fra jordlagene i 0 til 150 cm's dybde (se tabel 4).
b. De næste prøver er udtaget under augustboringerne. Denne gruppe omfatter prøver fra 150—350 cm's dybde (se tabel 4).
c. De sidste prøver er udtaget ved boringerne i december måned. Denne gruppe omfatter prøver fra 300—430 cm's dybde. Der er altså nogen overlapning mellem de sidste to grupper.

Tabel 4. Oversigt over jordanalyseværdierne.
Table 4. A survey of the soil analysis values.

Flade nr. *Plot no.*	Dybde cm *Depth*	Kornstørrelsesfordeling *Distribution on particle sizes* 0—2 μ	2—20 μ	20—200 μ	> 200 μ	pH H_2O	KCl
2	280	22.3 %	21.6 %	38.1 %	18.0 %	7.4	6.9
4	120	20.0 %	23.5 %	40.5 %	16.0 %	8.1	7.1
5	150	6.0 %	6.6 %	51.9 %	35.5 %	7.9	7.2
5	300	25.9 %	28.1 %	30.0 %	16.0 %	8.0	7.2
10	160	18.0 %	19.5 %	42.5 %	20.0 %	8.3	7.2
11	150	14.4 %	12.8 %	46.3 %	26.5 %	8.5	7.8
11	350	29.6 %	26.4 %	31.0 %	13.0 %	8.4	7.5
12	150	22.5 %	21.7 %	37.8 %	18.0 %	8.5	7.3
15	330	21.2 %	21.8 %	39.0 %	18.0 %	8.4	7.1
16	150	20.0 %	20.1 %	42.9 %	17.0 %	7.8	7.4
20	150	27.0 %	13.1 %	43.9 %	16.0 %	8.3	7.3
22	130	17.4 %	16.5 %	46.1 %	20.0 %	8.3	7.4
26	150	13.0 %	15.0 %	45.0 %	27.0 %	8.4	7.3
27	160	42.0 %	41.0 %	12.0 %	5.0 %	8.2	7.5
31	150	23.2 %	24.8 %	33.0 %	19.0 %	8.5	7.2
33	150	16.4 %	16.6 %	39.0 %	28.0 %	8.2	7.0
35	100	14.5 %	12.4 %	58.1 %	15.0 %	7.7	7.4
39	300	40.5 %	41.5 %	13.5 %	4.5 %	8.1	7.3
39	430	32.0 %	40.0 %	20.0 %	8.0 %		
40	150	32.1 %	42.7 %	22.2 %	3.0 %	8.3	7.6
40	380	45.8 %	39.2 %	12.0 %	3.0 %	8.2	7.4
47	150	16.0 %	19.8 %	40.3 %	23.9 %	8.4	7.3
48	200	3.0 %	1.8 %	45.7 %	49.5 %	8.3	7.4
49	430	35.9 %	50.1 %	11.0 %	3.0 %	8.1	7.4
56	210	20.3 %	21.7 %	38.1 %	19.9 %	8.2	7.2
58	110	21.6 %	21.9 %	37.5 %	19.0 %	8.3	7.2
62	200	24.5 %	21.5 %	37.0 %	17.0 %	8.1	7.3
62	230	26.8 %	21.3 %	36.7 %	15.2 %	8.5	7.6
63	130	21.3 %	20.7 %	39.0 %	19.0 %	8.3	7.1
68	285	24.3 %	27.8 %	36.9 %	11.0 %	8.1	7.5
70	385	50.1 %	40.0 %	6.9 %	3.0 %	8.1	7.5
71	150	16.7 %	21.5 %	41.8 %	20.0 %	8.4	7.4
73	200	15.8 %	20.2 %	43.8 %	20.2 %	8.3	7.1
74	150	19.5 %	20.4 %	40.0 %	20.1 %	8.2	7.1
79	150	29.1 %	30.7 %	29.7 %	10.5 %	8.5	7.2
79	300	29.0 %	33.0 %	33.0 %	5.0 %	8.2	7.6
82	150	22.1 %	21.9 %	38.0 %	18.0 %	8.1	7.4
85	150	22.1 %	17.9 %	44.0 %	16.0 %	8.4	7.1
85	240	19.6 %	20.4 %	39.5 %	20.5 %	8.3	7.4
86	340	37.5 %	42.5 %	15.0 %	5.0 %	8.2	7.2
87	150	19.3 %	19.3 %	41.9 %	19.5 %	7.6	6.9

Tabel 4 (fortsat).
Table 4 (continued).

Flade nr. *Plot no.*	Dybde cm *Depth*	Kornstørrelsesfordeling *Distribution on particle sizes* 0—2 μ	2—20 μ	20—200 μ	> 200 μ	pH H_2O	KCl
88	330	20.0 %	22.0 %	39.0 %	19.0 %	8.0	7.2
90	210	29.5 %	36.0 %	25.0 %	9.5 %	8.1	7.2
93	370	40.2 %	44.8 %	10.5 %	4.5 %	7.7	7.0
94	140	37.2 %	42.3 %	12.5 %	8.0 %	8.5	7.3
94	250	24.9 %	23.1 %	35.0 %	17.0 %	8.2	7.5
95	260	7.3 %	2.6 %	83.1 %	7.0 %	8.2	7.7
96	400	29.9 %	26.0 %	29.6 %	14.5 %	8.1	7.4
97	150	19.4 %	22.5 %	40.1 %	18.0 %	8.2	7.1
98	320	26.8 %	23.2 %	35.5 %	14.5 %	8.0	7.3
98	400	26.0 %	23.0 %	35.9 %	15.1 %	8.0	7.3
99	150	42.0 %	43.0 %	10.0 %	5.0 %	8.5	7.2
100	300	5.7 %	4.2 %	86.1 %	4.0 %	8.1	7.5

De konstaterede lerindhold varierer efter tabel 4 mellem 3.0 % (flade 48) og 50.1 % (flade 70). Fordeler man til klasser, får man følgende oversigt:

0—10.0 %	ler:	4 prøver
10.1—20.0 „	„ :	16 „
20.1—30.0 „	„ :	22 „
30.1—40.0 „	„ :	5 „
40.1—50.0 „	„ :	5 „
> 50.0 „	„ :	1 „
Ialt		53 prøver

Ved en fuldstændig tilfældig stikprøveudtagning må man vente, at prøvernes fordeling til lerindholdsklasser bliver en binomialfordeling. Den foreliggende fordeling er meget nær det ønskede mål.

Prøveudtagningsdybderne varierer efter tabel 4 mellem 100 cm og 430 cm. En fordeling af prøverne til udtagningsdybder giver følgende resultat:

Udtagningsdybde	0—150 cm:	24 prøver
„	151—300 cm:	17 prøver
„	301—430 cm:	12 prøver
	Ialt:	53 prøver.

De 53 jordprøver stammer fra 44 af de undersøgte prøveflader. Der er altså udtaget to prøver på samme prøveflade i 9 tilfælde.

Da der ialt er undersøgt 99 prøveflader, svarer ovennævnte tal til, at der er udtaget jordprøver i 44 % af tilfældene. En fordeling af prøverne efter træart giver følgende resultat:

Der er udtaget prøver på

11	af 26	bøgeflader	(42 %)
10	af 29	egeflader	(35 %)
9	af 23	rødgran/sitkaflader	(39 %)
6	af 10	askeflader	(60 %)
8	af 11	flader med andre træarter	(73 %)

For de første tre træarter (hovedtræarterne) er repræsentationen meget nær den samme.

Ask står i reglen på forholdsvis lav bund, og da der er relativt få iagttagelser, er det rimeligt, at repræsentationen er noget større, da det er vigtigt at sikre sig, at ask ikke står på en jord med anden tekstur end de øvrige træarter.

Indenfor gruppen andre træarter er der i de fleste tilfælde tale om en enkelt flade af en enkelt træart (se tabel 12, side 339); så her er det naturligt, at der er taget relativt mange jordprøver.

Man kan også undersøge, hvordan jordprøvernes antal fordeler sig i de enkelte aldersgrupper. En sammenstilling giver følgende resultat, idet alle træarter betragtes under et:

Aldersklassen 0—20 år: Der er ialt 24 flader og jordprøver fra 9 (38 %). Ved at udskyde gruppen „andre træarter" får man 19 flader, hvor der er jordprøver fra 8 (42 %).

Aldersklassen 21—40 år: Der er ialt 35 flader og jordprøver fra 21 (60 %). Ved at udskyde gruppen „andre træarter" får man 29 flader og jordprøver fra 14 (48 %).

Aldersklassen 41—60 år: Der er ialt 22 flader og jordprøver fra 8 (36 %). I denne og de følgende aldersklasser er gruppen „andre træarter" ikke repræsenteret.

Aldersklassen 61—80 år: Ialt er der 9 flader, og der er jordprøver fra 3 (33 %).

Aldersklassen 81—100 år: Der er ialt 7 flader (kun bøg), og der er jordprøver fra 2 (29 %).

Aldersklassen > 100 år: Der er 2 bøgeflader og jordprøve fra 1 (50 %).

Hvis man slår de sidste to klasser sammen, får man 9 flader og jordprøver fra 3 (33 %).

Endelig kan man anlægge det synspunkt, at det er ønskeligt, at den geografiske repræsentation er ensartet. For at undersøge, om det er tilfældet, kan man sammenligne det totale antal af flader med antallet af flader, hvor der er udtaget jordprøver for eksempel for to grupper af skove: 1) Skove øst for hovedvej 2 og 2) skove vest for hovedvej 2.

1. Øst for hovedvejen er undersøgt 65 flader, og der er jordprøver fra 26 (40 %).

2. Vest for hovedvejen er undersøgt 34 flader, og der er jordprøver fra 18 (53 %).

Ovenstående oversigter tyder ikke på, at der er betydende skævheder i det indsamlede jordprøvemateriale. De fundne forskelle mellem de aktuelle fordelinger og de teoretisk ønskelige fordelinger er små, og forskellene er i intet tilfælde signifikante. *Det er derfor tilladeligt at antage, at prøverne er repræsentative.*

Man kan endelig spørge, om antallet af jordprøver er tilstrækkeligt. Det fremgår af det følgende, at de udtagne jordprøver anvendes til at vise, at jorden ikke er signifikant forskellig under de forskellige træarter. Dermed har det givne antal prøver dækket det egentlige formål med jordbundsundersøgelsen.

Man kan indvende, at den store spredning på analyseresultaterne kan dække sammenhænge eller forskelle, som ikke kan demonstreres ved nærværende undersøgelse. Hvis der var udtaget 4 gange det nuværende prøveantal, ville man have opnået, at spredningen blev halveret, og dermed kunne yderligere sammenhænge måske være blevet afsløret. Hertil er kun at sige, at analysearbejde er temmelig bekosteligt. Med de anvendte analysemetoder må analysearbejdet pr. prøve antages at koste ca. 50 kr. (lavt skøn). Udgiften for yderligere ca. 120 prøver (3 × det nuværende prøveantal for bøg, eg, rødgran og ask) er altså af størrelsesordenen 6000 kr. På denne baggrund synes det mere rime-

ligt at undersøge teksturens eventuelle yderligere indflydelse på grundvandsvingninger ved specialundersøgelser, som falder udenfor rammerne af nærværende undersøgelse.

d. Bestemmelse af koter for de enkelte prøveflader.

De topografiske forhold indenfor undersøgelsesområdet kan tænkes at influere på grundvandsvariationerne i området. Groft kan dette illustreres ved følgende tankegang:

Hvis man undersøger to flader, som ligger meget nær hinanden, og som har en betydelig koteforskel, er det muligt, at grundvandsænkningen i vækstperioden på det højestliggende areal vil være meget større end grundvandsænkningen på det lavestliggende areal. Hvis det er tilfældet, må det skyldes, at der er en bortsivning af grundvandet i området, og at denne bortsivning netop manifesterer sig i vækstperioden, hvor vegetationens vandforbrug hindrer, at der sker nedsivning til grundvandet, så vintergrundvandstanden vedligeholdes. Ved at benytte ordet bortsivning er der ikke taget stilling til, om der er tale om en horisontal eller en vertikal grundvandsbevægelse. Bortsivning kan dække over resultanten af grundvandsbevægelserne.

En betragtning som ovenstående er selvfølgelig ganske grov. Det er antaget, at jordbunden er homogen, og der er set bort fra afstande til vandskel, afstande til grundvandsrecipienter og andre faktorer, som kan tænkes at have indflydelse på grundvandspejlvariationerne.

Hvis man vil undersøge topografiens indflydelse på grundvandsvingningerne, kan dette gøres ved at knytte alle de undersøgte flader sammen ved et nivellement. Forfatteren er imidlertid veget tilbage for en sådan løsning, som vil være temmelig tidsrøvende og bekostelig.

En anden mulighed er det, at man udnytter det nivellement, som er udført af Geodætisk Institut, og som er publiceret i form af målebordsblade. På målebordsbladene er topografien beskrevet ved højdekurver. Højdekurvernes vertikale afstand er 2.5 m.

Forfatteren har valgt denne udvej og fulgt følgende fremgangsmåde:

De enkelte fladers beliggenhed kan med ret stor sikkerhed lokaliseres på målebordsbladene, og dermed er deres beliggenhed i forhold til kortenes højdekurver givet. Hvor en grundvands-

brønd ligger på selve højdekurven eller i en afstand af 5—10 m fra denne, er fladens kote antaget at være lig med kurvens kote. I alle andre tilfælde er en flades kote ansat som middelværdien mellem de to kurver, den er beliggende imellem. Hvis f. eks. en flade ligger mellem 20 m-kurven og 22.5 m-kurven, er dens kote ansat til 21.3 m.

En sådan fremgangsmåde indebærer selvsagt, at koterne for de enkelte flader bliver beheftet med en forholdsvis stor fejl. Forskellen mellem en flades sande kote og den ansatte kote må dog være en hel del mindre end forskellen mellem to niveaukurver. Endvidere må fejlene være af tilfældig natur, og ved sammenligning af grupper af flader (f. eks. bøg kontra eg) må middelfejlen på de middeltal, man sammenligner, blive lille, skønsvis af størrelsesordenen 10—20 cm. Fejl af denne størrelsesorden er betydningsløse i forhold til den variation i koter, der arbejdes med i undersøgelsen (13.8 m til 41.3 m).

De ansatte koter for de enkelte prøveflader er angivet i tabellerne 6, 8, 10 og 12.

Endelig skal det bemærkes, at der ikke er taget hensyn til topografien ved bearbejdningen af samvariationen mellem træarter og grundvandsdata. De topografiske forholds betydning er der gjort rede for i et særskilt afsnit (side 308—318).

e. Om sikkerheden på bestemmelsen af højeste, stabile vandstand.

Højeste, stabile vandstand er i forfatterens tidligere undersøgelser altid blevet bestemt ved hjælp af kurver, som viser grundvandets svingninger gennem mindst et helt år. I den foreliggende undersøgelse er det ud fra kendskabet til grundvandsvingningernes natur antaget, at vi måtte kunne få et anvendeligt skøn for højeste, stabile grundvandstand ved en enkelt måling nogle dage efter en nedbørsperiode i april. Målingen er gennemført den 21—22/4 1959 og *er i beretningen betegnet som 21/4-vandstanden.*

Målingerne blev fortsat gennem vintermånederne 1959/60, og det viste sig, at der i april 1960 opstod en tilsvarende situation som i april 1959. Efter en regnrig periode (9—15/4, jfr. tabel 5) kom en tørvejrsperiode. En måling den 20. og 21. april 1960 skulle give samme vandstand som 21/4-vandstanden i 1959. Ved at sammenligne de to målinger kan man skønne over sikkerheden

Tabel 5. Nedbøren i undersøgelsesområdet i april 1959 og april 1960.

Table 5. The precipitation in the investigated area in April 1959 and April 1960.

Dato *Date*	1959			1960		
	Haslev mm	Tureby mm	Karise mm	Haslev mm	Tureby mm	Karise mm
1.						
2.	1.8	3.1	1.4			
3.						
4.						
5.						
6.	4.1	4.4	4.4			
7.	4.5	4.9	3.7			
8.	2.6	5.5	3.7			
9.	9.8	7.4	10.6	16.6	14.5	15.9
10.	0.3	0.1	0.3	0.2		
11.	18.2	20.9	19.9	10.0	11.9	11.5
12.		3.1		3.0	4.1	3.6
13.	2.0	2.9	1.5	2.5	5.4	2.6
14.	0.1			4.3		2.4
15.						
16.						
17.						
18.						
19.	0.5	0.7				
20.						
21.						
22.	0.2	0.4				

på bestemmelsen af højeste, stabile grundvandstand ved engangsundersøgelsen. Det siger sig selv, at man kun kan anvende resultaterne fra de flader, hvor højeste, stabile vandstand er nået i april 1960.

For bøg stiller forholdet sig sådan, at 23 af de 26 flader er anvendelige ved sammenligningen. På disse 23 flader var 21/4-vandstanden i 1959 7 ± 1.6 cm dybere end 21/4-vandstanden i 1960.

I egebevoksningerne er 27 af de 29 bevoksninger brugelige ved sammenligningen. Her var 21/4-vandstanden i 1959 5 ± 1.2 cm dybere end i 1960.

I nåletræbevoksningerne (rødgran og sitkagran) er 19 af de

23 bevoksninger anvendelige ved sammenligningen. I disse 19 bevoksninger var 21/4-vandstanden i 1959 16 ± 1.9 cm dybere end 21/4-vandstanden i 1960.

De 4 bevoksninger af el er alle anvendelige, og det viser sig, at 21/4-vandstanden i 1959 var 5 ± 3.1 cm dybere end i 1960.

Alle 10 askebevoksninger er ligeledes anvendelige til undersøgelsen. I 1959 var 21/4-vandstanden 7 ± 3.5 cm dybere end i 1960.

Det fremgår af tallene, at de fundne middelafvigelser er af samme størrelsesorden i løvtræbevoksningerne. I sidste halvdel af april vil den potentielle fordampning være af en betragtelig størrelsesorden, og man kan forvente nogen fordampning fra bundvegetationen. Den ensidige afvigelse, som er fundet i løvtræbevoksningerne, kan meget vel forklares ved fordampning, og det indebærer kun en forskel i vandindhold i profilen på 1—2 mm nedbør.

I nåletræbevoksningerne er differensen en del større. Da afvigelsernes størrelse i løvtræbevoksningerne i forvejen er kendt, og da det uden videre kan ses, at nåletræbevoksningerne på dette punkt afviger signifikant fra løvtræbevoksningerne, falder det naturligt at sætte afvigelserne i forbindelse med et større vandforbrug i nåletræbevoksningerne i foråret 1959. Det hele er dog næppe værd at hæfte sig ved. Det kan, som det senere vises (side 431), betyde, at nåletræbevoksningernes vandforbrug beregnes et par mm for lavt for perioden 21/4-59—21/4-60.

Ved den foreliggende undersøgelse er det hovedsagen, at skønnet for højeste, stabile vandstand er lige godt på alle de undersøgte flader. Den gode overensstemmelse mellem de to år tillader, at der konkluderes, *at de højeste, stabile vandstande, som der arbejdes med, er tilstrækkelig gode til formålet.* Hvis de ligger forskudt i forhold til „sand værdi", som kunne være fundet ved en mere omhyggelig og dermed betydeligt mere tidsrøvende undersøgelse, må det antages, at forskydningen er lille, og at den er af samme størrelsesorden i alle løvtræbevoksninger, ligesom den er ensartet inden for gruppen af nåletræbevoksninger. En parallelforskydning ændrer intet ved værdien af de korrelationer, som er påvist.

3. Kortfattet oversigt over jordbunds-, terræn- og grundvandsforhold i det undersøgte område.

De Bregentved-skove, som omfattes af nærværende undersøgelse, ligger på en moræneflade. Det er bundmorænen fra en af landets yngste isstrømme. Isen er kommet fra syd-øst, og den var af baltisk oprindelse (se *Milthers*, 1942, s. 81—83 og s. 117). I store træk er morænefladen jævn, hvilket dog ikke er ensbetydende med, at der ikke er koteforskelle i undersøgelsesområdet. De vestlige skove ligger højest, med koter over havoverfladen,

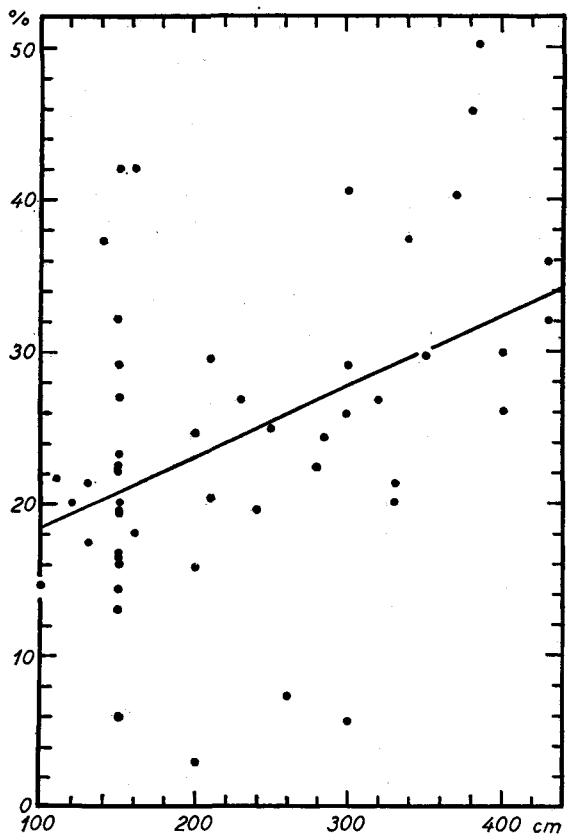

Fig. 3. Lerindholdet (%) lagt op over udtagelsesdybden (cm) for de prøveflader, hvor der er gennemført jordbundsanalyser. Den beregnede regressionslinie er indtegnet.

Fig. 3. The clay content (%) superimposed on the depth of sampling (cm) for the plots in which soil analyses have been made. The computed regression line has been sketched in.

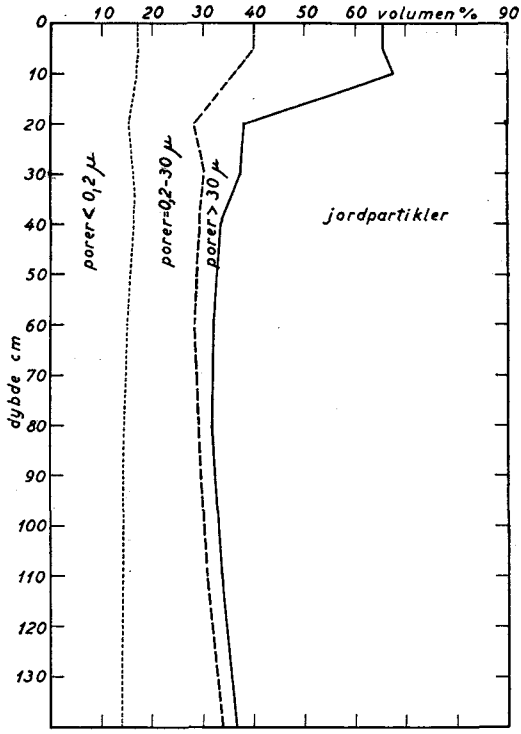

Fig. 4. Jordens poreforhold på en rødgranprøveflade i Ganneskov (jfr. Holstener-Jørgensen, 1959 a). Porer med diametre større end 30 µ er grovporerne, som omtales i teksten.

Fig. 4. The pore conditions in the soil of a Norway spruce sample plot in Ganneskov (cf. Holstener-Jørgensen, 1959 a). The pores with a diameter exceeding 30 µ are the macropores mentioned in the text. — (dybde = *depth;* jordpartikler = *earth particles*).

som når op på omkring 40 m, mens de østligste skove ligger lavest, med koter, som når ned omkring 13 m. I gennemsnit er faldet fra vest mod øst af størrelsesordenen 15 m over en strækning på omkring 20 km. Det gennemsnitlige fald er altså mindre end 1 ‰. Helt jævnt er dette fald dog ikke. Eksempelvis har man i Grevindeskovens nordvestlige del koter på omkring 35 m mod koter omkring 20 m i den sydlige del. Det giver et fald på 15 m over en strækning på ca. 2 km, altså omkring 7—8 ‰.

Moræneaflejringen er gennemgående finkornet. De mekaniske analyser, som må anses for at være repræsentative for undersøgelsesområdet (jfr. s. 290—296) viser, at aflejringen er vekslende lerrig og sandet, men leraflejringerne er fremhersken-

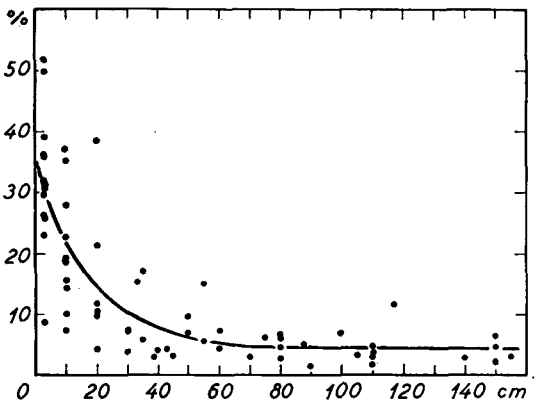

Fig. 5. Jordens grovporeindhold (%) i forskellig dybde (cm) for 6 profiler i Ganneskov (se Holstener-Jørgensen, 1959 a). Udjævningskurven er en frihåndskurve.

Fig. 5. The content of macropores (%) at various depths of the soil (cm) for 6 profiles in Ganneskov (see Holstener-Jørgensen, 1959 a). The correction curve is a free-hand curve.

de. I middel for alle de undersøgte prøver er lerindholdet 24.3 %. *Mertz* (1928) angiver et lerindhold på 23.6 % for typisk „fedt" moræneler.

Tabel 4 viser, at jordprøverne er udtaget i forskellig dybde. I figur 3 er prøvernes lerindhold lagt op over udtagelsesdybden. Indenfor det dybdeinterval, som er undersøgt, stiger lerindholdet i dybden.

Den indtegnede regressionslinie har ligningen:

$$(\%\ \text{ler}) = 13.9 + 0.046\ (\text{cm dybde})$$

Korrelationskoefficienten er 0.438, og den er med 99.8 % sandsynlighed forskellig fra 0.

Figur 4 viser et eksempel på porefordelingen i en profil fra *Ganneskov*. På undersøgelsestidspunktet var bevoksningen 45-årig rødgran (se *Holstener-Jørgensen*, 1959 a). Man ser, hvorledes grovporeindholdet (porer $> 30\ \mu$) er højst i jordens øvre lag og falder ned gennem profilen. Fra omkring 40 cm's dybde er det på det nærmeste konstant.

Grovporeindholdet er af særlig interesse ved undersøgelser af grundvandsvingninger, idet grundvandet ved sideværts eller lodret dræning må antages at bevæge sig i grovporerne. Til en lidt nærmere belysning af, hvorledes jordens grovporeindhold varierer med dybden i jorden, er i figur 5 grovporerne i volumen-

procent lagt op over dybden for seks profiler, som har været omtalt i en tidligere publikation (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a).

Denne figur viser lige som figur 4, at grovporeindholdet er højest i de øverste jordlag. Fra ca. 60 cm's dybde er grovporeindholdet på det nærmeste konstant. Det må antages, at en væsentlig del af spredningen omkring den kurvegren, som fremstiller forholdene i dybden, skyldes teksturforskelle.

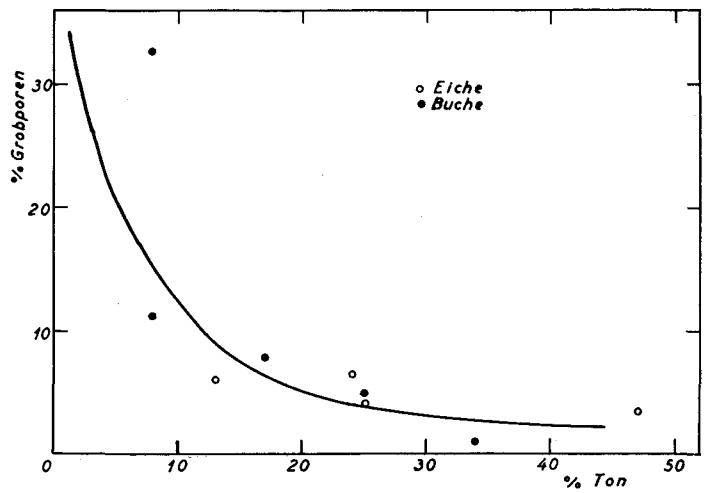

Fig. 6. Grovporeindholdet i 70 cm's dybde lagt op over jordens lerindhold for bøge- og egebevoksninger på Bregentved. Den indtegnede kurve er udjævningskurven for et større antal rødgranbevoksninger i Nordsjælland (se iøvrigt Holmsgaard, Holstener-Jørgensen og Yde-Andersen, 1961).

Fig. 6. The content of macropores at the depth of 70 cm superimposed on the clay content of the soil for beech and oak stands at Bregentved. The sketched-in curve is the correction curve for a considerable number of Norway spruce stands in North Zealand (see also Holmsgaard, Holstener-Jørgensen and Yde-Andersen, 1961). — (Grobporen = *macropores;* Eiche = *oak;* Buche = *beech*).

I figur 6 er grovporeindholdet i 70 cm's dybde i nogle ege- og bøgebevoksninger på Bregentved lagt op over de samme prøvers lerindhold. På figuren er indtegnet en frihåndsudjævningskurve for et større materiale (31 iagttagelser) af 1. og 2. generations rødgran fra Nordsjælland (*Holmsgaard, Holstener-Jørgensen* og *Yde-Andersen*, 1961, s. 36). Som man ser, er jorden i 70 cm's dybde, hvad angår grovporeindholdet, ikke forskellig under de tre træarter bøg, eg og rødgran (1. og 2. generation). Endvidere

ser man, at grovporeindholdet i jordens dybere lag i høj grad er korreleret med lerindholdet.

Heraf fremgår det da, at en meget væsentlig faktor ved undersøgelse af grundvandsvingninger under forskellige træarter m. v. er jordens tekstur. Ved en sådan undersøgelse må man først og fremmest sikre sig, at jordens lerindhold ikke er forskelligt fra træart til træart eller fra aldersklasse til aldersklasse. Det er derfor med god grund, at det alene er jordens lerindhold, som er undersøgt ved engangsundersøgelsen.

Ved at sammenholde de tre figurer 4, 5 og 6 kan man slutte sig til, at grovporeindholdet gennemgående falder svagt gennem hele den undersøgte dybde på Bregentved. Der er dog antagelig en nedre grænse, som ikke underskrides, idet grovporeindholdet både efter figur 5 og efter figur 6 nærmer sig asymptotisk til en konstant grænseværdi, som er større end 0.

Grundvandsforholdene i undersøgelsesområdet er tidligere blevet beskrevet af *Hauch og Milthers* (1928). På basis af brøndboringer på egnen har de fremstillet et kort, som viser beliggenheden af det artesiske vandspejl. Det artesiske grundvandspejl er „den Vandstandshøjde, til hvilken Vandet fra et vandførende Lag, underkastet Tryk, kan stige i et Borerør eller anden vandførende Kanal." (*Hauch og Milthers* l.c. s. 3—4). Deres undersøgelse viser, at det artesiske vandspejl gennemgående ligger højt i Bregentvedområdet.

De skriver (l.c. s. 4—5): „I et fladt Landskab som f. Eks. Lolland, Stevns og tilgrænsende Moræneflader kan dette Overtryk (nemlig i de vandførende lag) ikke hidrøre fra udenfor liggende Højdedrag, men maa stamme fra Vandtrykket i Fladerne selv. For at den artesiske Grundvandstand her skal naa nær op til Jordoverfladen, maa Jordlagenes Porer i den omgivende Flade være vandfyldt endnu nærmere op mod Overfladen."

Heri har de utvivlsomt ret, og man tør formentlig antage, at de grundvandspejl, som behandles i nærværende beretning, i de fleste tilfælde indicerer vandmætning ned gennem alle underliggende jordlag. Der er altså ikke grund til at tro, at der er arbejdet med en øvre grundvandsetage, hvor grundvandet hviler på et højtliggende vandstandsende lag.

Det kan dog ikke helt udelukkes, at der i visse tilfælde er arbejdet med en sådan øvre grundvandsetage. *Hauch og Milthers'*

kort (l.c. tavle 1, mellem side 6 og 7) viser, at det artesiske vandspejl ligger i 5—10 m's dybde i den nordvestlige del af Grevindeskoven (fladerne: 7, 91, 26, 68, 81), i den østlige del af Boholte skov (flade 79), i Kværede Vænge (flade 30, 42, 93), i Torpeskov (flade 11, 27, 28, 40, 70), i den sydøstre del af Ganneskov (flade 15), i den nordlige del af Bolskov (flade 9, 12, 38, 41, 64, 82) og i en del af Slaagaard skov (flade 21, 92). 23 af de undersøgte 99 flader er altså under mistanke i denne henseende.

Imidlertid må det antages, at det artesiske vandspejl viser et endnu stærkere udjævnet billede af terrænforholdene end grundvandspejlet i de øvre jordlag (*Hauch og Milthers* l. c. s. 3). Det nævnte kort er derfor behæftet med en betydelig arbejdsusikkerhed, idet udgangsdataene er 1) artesisk vandspejl, som det er fundet ved et begrænset antal målinger, og 2) terrænkoterne. Selvom det ikke ved dybdeboringer og/eller piezometermålinger er godtgjort, at der ikke er tale om flere grundvandsetager, må det antages, at det kun kan være tilfældet på meget få flader. I denne forbindelse vejer det tungt, 1) at grundvandet har kunnet følges under hele grundvandsregressionen, og 2) at grundvandsvingningerne ikke kan vises at være afhængige af de topografiske forhold (se side 308—318).

Det er en nærliggende tanke, at højeste, stabile vandstand må afhænge af teksturen. Højeste, stabile vandstand er den vandstand, som man har, når efter en stor nedbør i det tidligste forår, vandet over denne vandstand er sivet sideværts til grøfterne. Det er tidligere vist, at højeste, stabile vandstand afhænger af, hvor tykke de øvre, grovporerige jordlag er (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a). Da grovporeindholdet stiger med faldende lerindhold (figur 6), kunne man vente, at højeste, stabile vandstand lå dybere på sandede jorder end på mere lerede jorder.

I figur 7 er 21/4-vandstanden (∞ højeste, stabile vandstand) lagt op over jordens lerindhold for de flader, hvor der er udtaget jordprøver til mekanisk analyse. Lerindholdene er korrigeret til samme dybde (200 cm) ved hjælp af ovenstående regressionsligning for lerindhold/dybde, og hvor der er to jordprøver fra samme flade, er middellerindholdet anvendt. På figuren er der ved forskellige signaturer skelnet mellem de forskellige træarter. Det bemærkes, at gruppen „nål" omfatter træarterne rødgran, sitkagran og Abies grandis, mens den ene flade med japansk lærk som løvfældende er placeret i gruppen „andre".

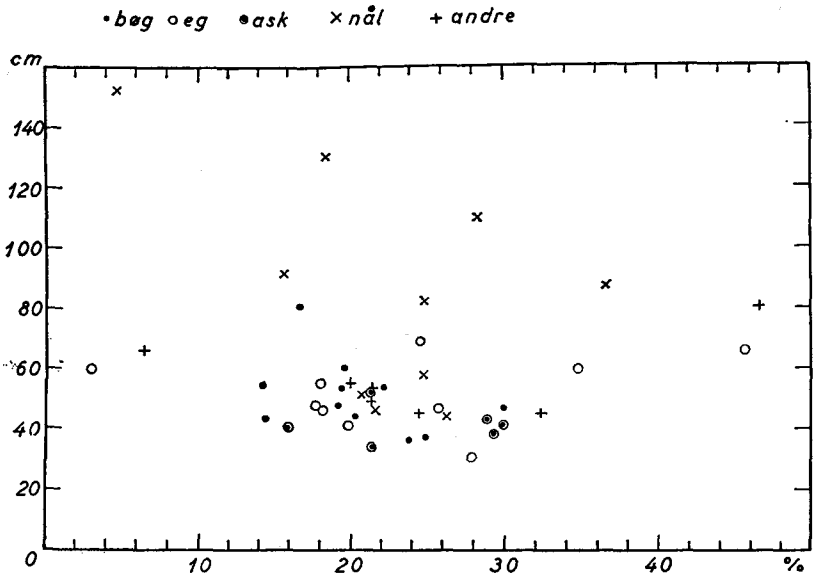

Fig. 7. 21/4-vandstandene (cm) i de 44 bevoksninger, hvor der er foretaget jordbundsanalyser, lagt op over jordens lerindhold (%) i 200 cm's dybde. Lerindholdet i denne dybde er beregnet ved hjælp af regressionen i fig. 3.

Fig. 7. The 21/4-water-tables (cm) in the 44 stands in which analyses of the soil have been made superimposed on the clay content of the soil (%) at the depth of 200 cm. The clay content at this depth has been computed by means of the regression in Fig. 3. — (bøg = *beech;* eg = *oak;* ask = *ash;* nål = *conifers;* andre = *other species*).

Figuren viser, at nåletræerne gennemgående har dybere 21/4-vandstande end løvtræerne. Det vises senere, at det er de ældste nåletræbevoksninger, der har dybe 21/4-vandstande. Helhedsindtrykket af figuren er iøvrigt, at der er en tendens til højere 21/4-vandstande med stigende lerindhold, altså en tendens i den retning, som man måtte vente. Tendensen er dog ikke overbevisende, hvis man ser bort fra nåletræbevoksningerne.

Sammenfatning af de generelle jordbunds-, terræn- og grundvandsforhold:

Ovenstående gennemgang af jordbunds-, terræn- og grundvandsforholdene i undersøgelsesområdet på Bregentved kan resuméres i følgende punkter:

1) Geologisk er der tale om en moræneflade. Morænen er af baltisk oprindelse, og den består overvejende af fedt moræneler.

2) De vestligste skove ligger højest med koter på indtil 40 m, mens de østligste ligger lavest med koter så lave som 13 m.

3) Undersøgelser af jordbundens poreforhold viser, at jordens grovporeindhold under højeste, stabile grundvandstand i første række afhænger af jordens lerindhold. Ved stigende lerindhold mindskes grovporefraktionen. Grovporeindholdet er endvidere svagt faldende med dybden i jorden. I 70 cm's dybde kan der ikke under iøvrigt lige forhold (tekstur) påvises forskelle i grovporeindholdet under forskellige træarter.

4) Det er sandsynligt, at jorden er vandmættet i alle dybder under de registrerede grundvandspejl. Det kan dog ikke afgøres fuldt ud, om der på enkelte flader findes mere end en grundvandsetage.

5) Højeste, stabile grundvandstand er måske svagt negativt korreleret med jordens lerindhold. Korrelationen er dog ikke overbevisende.

4. *Træarternes indflydelse på grundvandstanden.*

a. *Indledning:*

Som undersøgelsen var planlagt, måtte man vente, at man fik et materiale, som kun ville give et tilnærmet billede af de forhold, som ønskedes belyst. Imidlertid artede klimaet i 1959 sig sådan, at man dels gennem allerede løbende undersøgelser fik nye iagttagelser til belysning af grundvandsvingningernes natur, og dels fik bedre oplysninger ved engangsundersøgelsen end forventet.

Det springende punkt ved en engangsundersøgelse er, om man er i stand til indenfor en nogenlunde kort periode af eftersommeren at bestemme dybeste vandstand både på kulturarealer og i sluttede bevoksninger. Det er tidligere vist (*Holstener-Jørgensen*, 1959 b), at grundvandstigningen på et kulturareal i 1957 kom i slutningen af august (l. c. figur 2 c), mens grundvandsænkningen på et areal bevokset med 75-årig bøg først sluttede i begyndelsen af oktober (l. c. figur 2 a). Hvis engangsundersøgelsen var gennemført i 1957 med måling af vandstanden i sidste halvdel af august, ville man have fået et udjævnet billede af forskellene mellem kulturarealer og sluttede bevoksninger.

De ovenfor gennemgåede iagttagelser på det faste forsøgs-

areal på Bregentved (side 282) viser imidlertid, at netop et tørkeår er velegnet til belysning af grundvandsvingningerne under forskelligaldrende bevoksninger og under forskellige træarter (side 276).

Nedbørstallene for Bregentved-området (tabel 5) viser, at der faldt en stor nedbør i dagene 6/4—13/4 1959. Som mål for „højeste stabile" vandstand er der derfor i det følgende anvendt vandstanden den 21—22/4. Den er i tabellen anført som 21/4-vandstand.

Som mål for dybeste vandstand er anvendt målingerne den 19.—20. og 25/8. I tabellerne er den angivet som 20/8-vandstanden.

Ved bearbejdningen er der ikke taget hensyn til variationen i måletidspunkterne.

Der er ved den statistiske behandling af materialet anvendt metoder, som har været beskrevet i håndbøger i matematisk statistik. Kilderne har først og fremmest været arbejder af *Hald* (1957) og *Ezekiel* (1947). I det følgende henvises der kun i specielle tilfælde til disse arbejder.

b. Om topografiens indflydelse på grundvandsforholdene.

I forbindelse med redegørelsen for, hvorledes koter er ansat for de enkelte flader, er det nævnt, at man ved sammenligning af to naboflader med forskellig kote kan tænke sig, at grundvandspejlet viger mest i løbet af vækstperioden på fladen med den højeste beliggenhed. Det kan skyldes, at en eventuel bortsivning af grundvand er størst på det højestliggende areal.

I det følgende undersøges det rent grafisk, om en sådan indflydelse gør sig gældende i det indsamlede materiale.

Fladernes makrotopografiske forhold, udtrykt ved koterne ifølge målebordsbladene, kan tænkes at have indflydelse på de to grundvandstande, som indgår i den senere bearbejdning: 21/4-vandstanden og 20/8-vandstanden.

I figurerne 8, 9, 10 og 11 er bevoksningsaldrene på de enkelte flader lagt op over fladernes koter. Materialet er af hensyn til overskueligheden holdt adskilt efter træart. For bøg, eg og ask ses der ikke at være nogen sikker sammenhæng mellem de topografiske forhold og bevoksningsaldrene. Der er altså ikke noget, som tyder på, at de ældste bevoksninger er plantet på højere

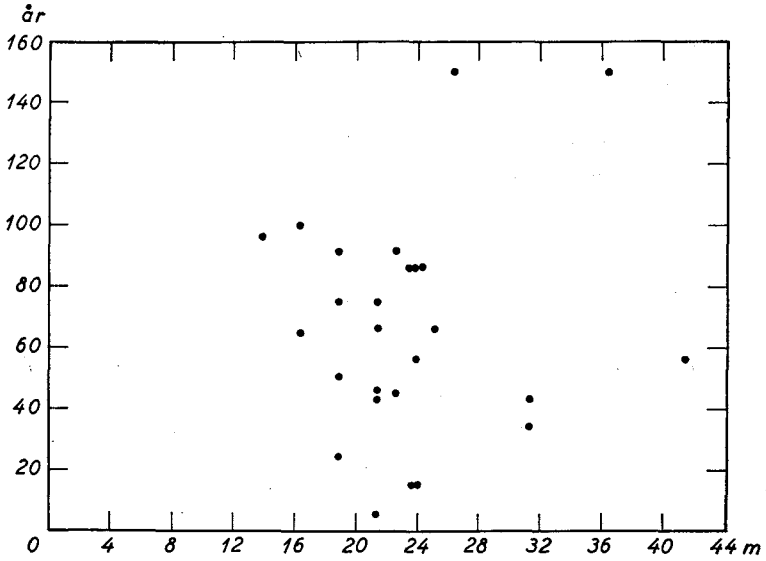

Fig. 8. Bøgebevoksningernes aldre (år) lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

Fig. 8. The ages of the beech stands (år = years) superimposed on the contour lines from the official basic maps of the stands (m).

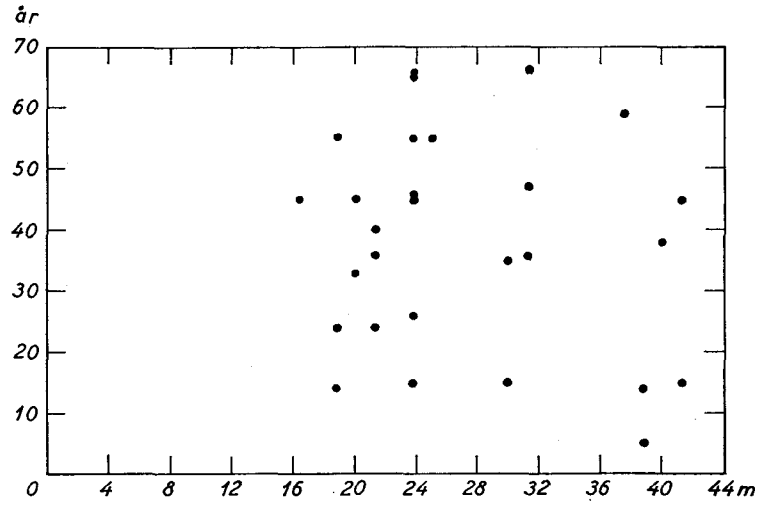

Fig. 9. Egebevoksningernes aldre (år) lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

Fig. 9. The ages of the oak stands (år = years) superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m).

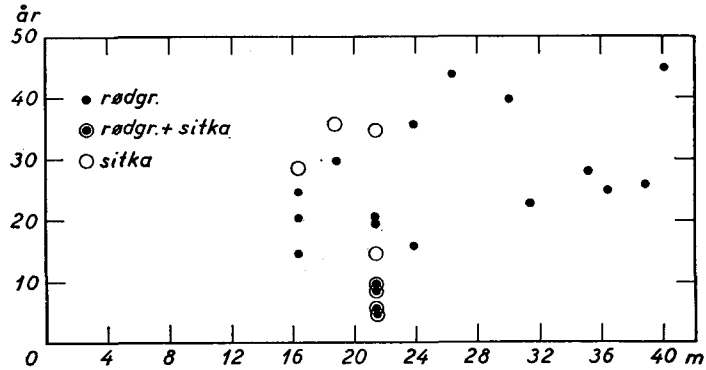

Fig. 10. Nåletræbevoksningernes aldre (år) lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

*Fig. 10. The ages of the conifer stands (*år *= years) superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m).* — (rødgr. *= Norway spruce).*

bund end de yngste, eller omvendt. På basis af figurerne ser man også umiddelbart, at de tre træarters fordelinger til de forskellige koter er temmelig ensartet. Man vil ikke på det foreliggende grundlag kunne afsløre nogen statistisk sikker forskel mellem træarterne.

For bevoksningerne af rødgran-sitkagran (figur 10) ses der derimod at være en ganske klar tendens. De ældste bevoksninger

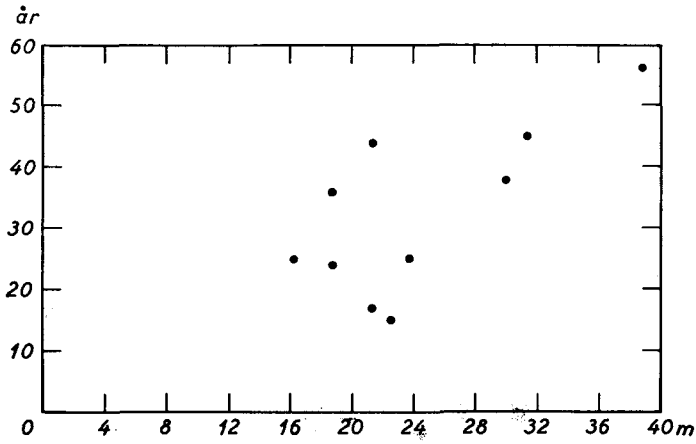

Fig. 11. Askebevoksningernes aldre (år) lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

*Fig. 11. The ages of the ash stands (*år *= years) superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m).*

står på lokaliteter med høje koter. Det kan være dette forhold, der manifesterer sig ved, at der er en snæver sammenhæng mellem 21/4-vandstandene og bevoksningsaldrene (jfr. figur 30, side 332 og tilhørende tekstbehandling). Forholdet er dog ikke helt afklaret, hvilket fremgår af det følgende.

Det næste trin i undersøgelsen er en sammenligning af 21/4-vandstande og koter. Figurerne 12, 13, 14 og 15 viser, hvorledes en sådan sammenligning falder ud for de enkelte træarter. Ingen af disse figurer viser nogen sikker sammenhæng mellem 21/4-vandstand og koter. Endvidere er det ganske klart, at selvom man så bort fra træartsforskelle og slog hele materialet sammen, ville der ikke kunne produceres en sammenhæng på det foreliggende grundlag (bemærk forskellen i målestoksforhold mellem på den ene side figur 14 og på den anden side figurerne 12, 13 og 15). Det eneste, som kan undre i denne forbindelse er, at der ikke for rødgran-sitkagran er en synlig samvariation mellem 21/4-vandstanden og kote, når der er sikre sammenhænge mellem 21/4-vandstande og bevoksningsaldre henholdsvis mellem be-

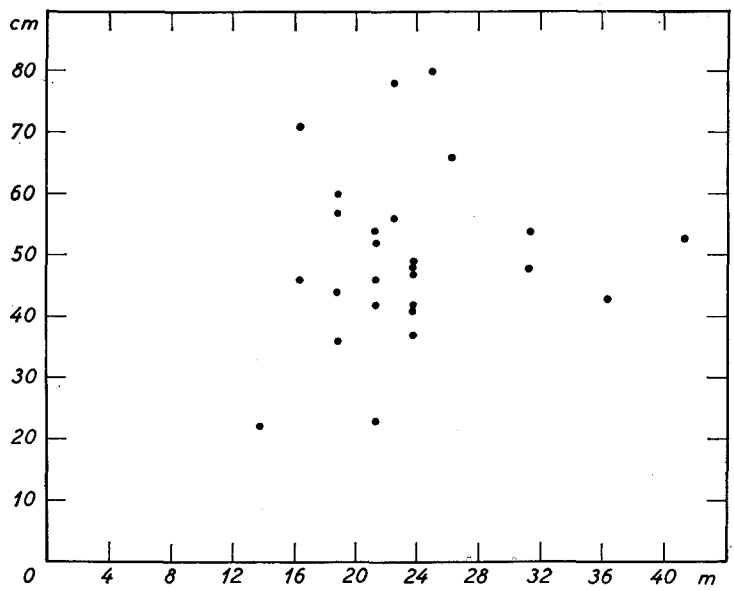

Fig. 12. 21/4-vandstandene (cm) i bøgebevoksningerne lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

Fig. 12. The 21/4-water-tables (cm) in the beech stands superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m).

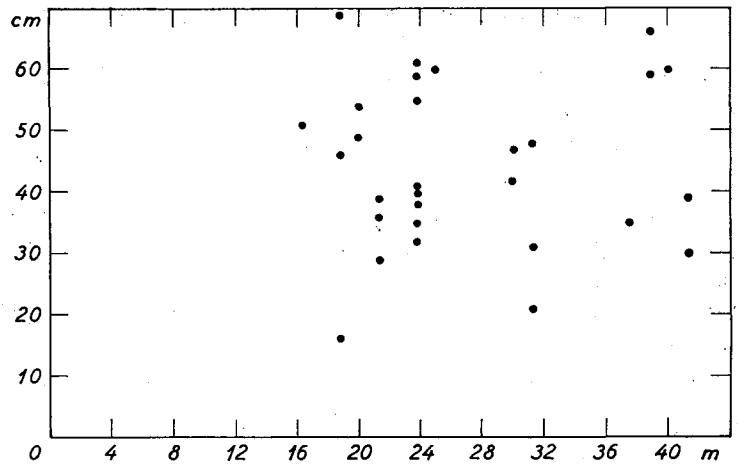

Fig. 13. 21/4-vandstandene (cm) i egebevoksningerne lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

Fig. 13. The 21/4-water-tables (cm) in the oak stands superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m).

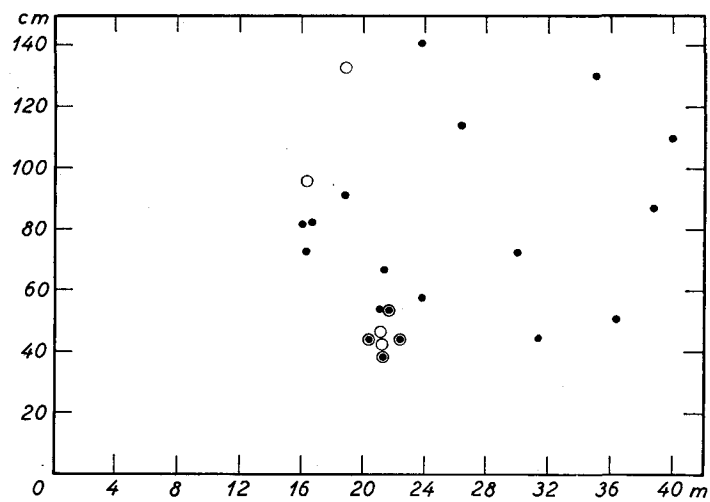

Fig. 14. 21/4-vandstandene (cm) i nåletræbevoksningerne lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m). Signaturer som på fig. 10.

Fig. 14. The 21/4-water-tables (cm) in the conifer stands superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m). Signs as in Fig. 10.

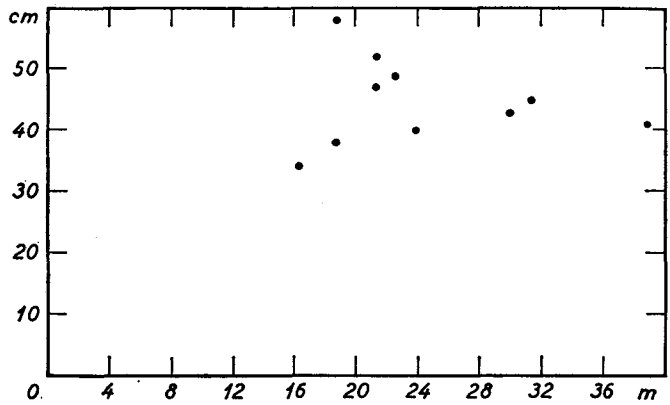

Fig. 15. 21/4-vandstandene (cm) i askebevoksningerne lagt op over koterne efter målebordsblade for bevoksningerne (m).

Fig. 15. The 21/4-water-tables (cm) in the ash stands superimposed on the contour lines from basic maps of the stands (m).

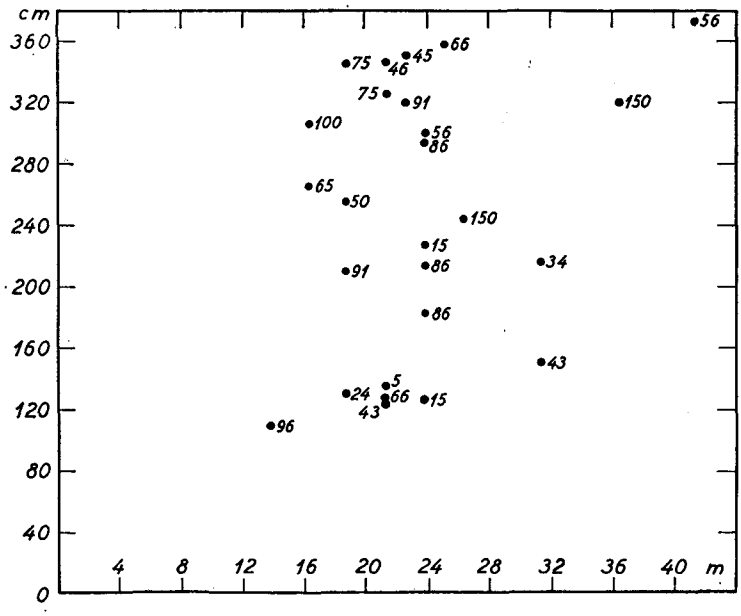

Fig. 16. 20/8-vandstandene i bøgebevoksningerne (cm) lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). De enkelte bevoksningers aldre er angivet som indeks til punkterne.

Fig. 16. The 20/8-water-tables in the beech stands (cm) superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). The ages of the individual stands have been indicated for each point.

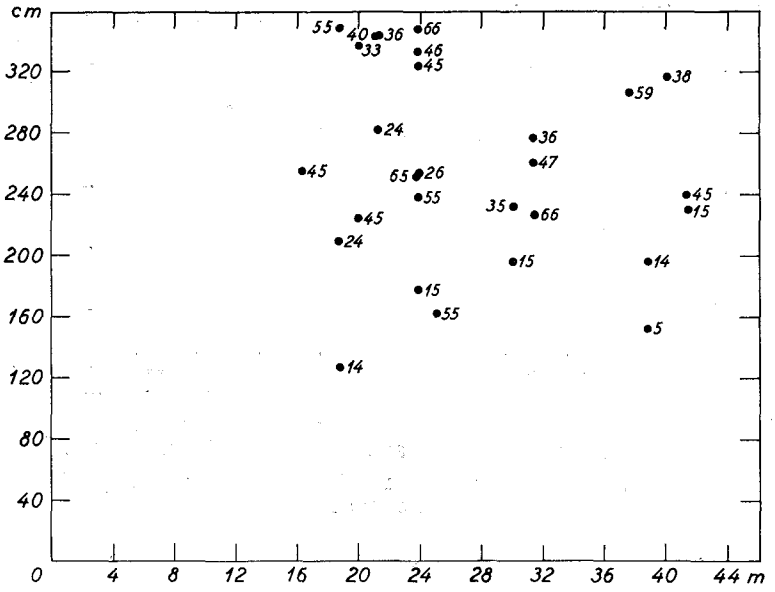

Fig. 17. 20/8-vandstandene i egebevoksningerne (cm) lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). De enkelte bevoksningers aldre er angivet som indeks til punkterne.

Fig. 17. The 20/8-water-tables in the oak stands (cm) superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). The ages of the individual stands have been indicated for each point.

voksningsaldre og koter. Herpå kan der ikke gives nogen sandsynlig forklaring. Det hele tyder dog på, at kotens indflydelse er af meget underordnet karakter.

I figurerne 16, 17, 18 og 19 er 20/8-vandstanden sammenlignet med koterne. Ved hvert punkt er som indeks anført bevoksningsalderen, idet man på forhånd må have en mistanke om, at bevoksningsalderen er en af de faktorer, som influerer på grundvandsænkningen (jfr. resultatet af renafdrift). Ved sammenligning af ligealdrende prøveflader viser det sig, at i nogle tilfælde er 20/8-vandstanden dybest på fladen med den største kote, det vil sige på den højestliggende flade. I andre tilfælde er det omvendt, 20/8-vandstanden er dybest på den lavestliggende flade. Ved at gennemgå alle fire figurer når man det resultat, at der ikke er nogen entydig tendens i det indsamlede materiale. De makrotopografiske forhold i undersøgelsesområdet kan ikke vises at have indflydelse på grundvandsvingningerne, sådan som undersøgelsen er tilrettelagt.

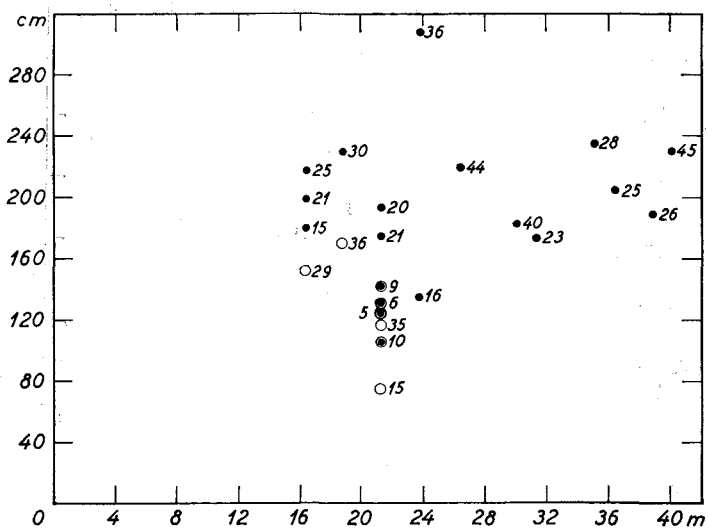

Fig. 18. 20/8-vandstandene i nåletræbevoksningerne (cm) lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). Træartssignaturer som på fig. 10. Bevoksningsaldrene er angivet som indeks til punkterne.

Fig. 18. The 20/8-water-tables in the conifer stands (cm) superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). Signs for the tree-species as in Fig. 10. The ages of the individual stands have been indicated for each point.

Alle de figurer, som er gennemgået i det foregående, tyder på, at fladerne af de forskellige træarter er blandet sådan med hinanden, at man kan tale om „randomisering". Det er derfor tænkeligt, at terrænforholdenes indflydelse på grundvandsvingningerne er fuldstændig skjult af andre korrelationer i materialet. I det følgende vises det træart for træart, at 20/8-vandstanden er korreleret med bevoksningsalderen og mere eller mindre med 21/4-vandstanden. For hver træart er beregnet en regressionsligning med 20/8-vandstanden som afhængig variabel og alder og 21/4-vandstand som uafhængige variable. Restspredningen omkring disse funktioner kan skyldes mange faktorer, blandt andet de makrotopografiske forhold.

I figurerne 20, 21, 22 og 23 er 20/8-vandstandenes afvigelser fra funktionerne (20/8-målt — 20/8-udjævnet) lagt op over koterne. Hvis de makrotopografiske forhold skulle have nogen væsentlig indflydelse på grundvandsvingningerne, måtte man vente, at 20/8-vandstandenes afvigelser var positive og store for de

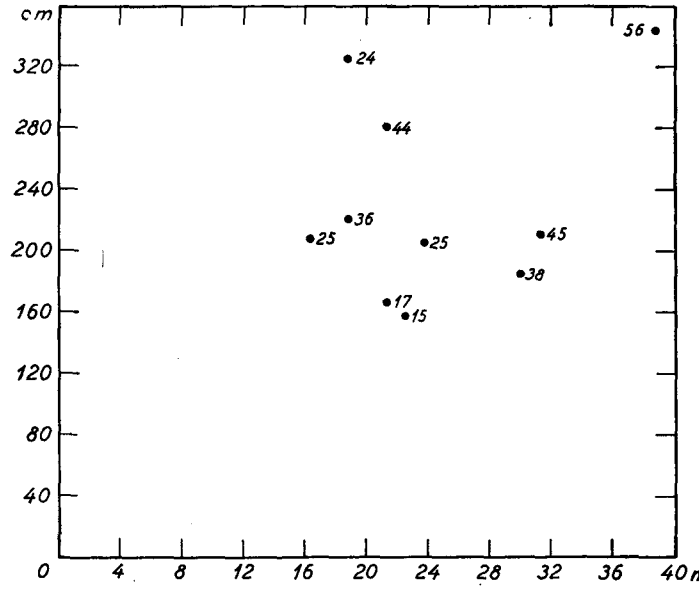

Fig. 19. 20/8-vandstandene i askebevoksningerne (cm) lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). Bevoksningsaldrene er angivet som indeks til punkterne.

Fig. 19. The 20/8-water-tables in the ash stands (cm) superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). The ages of the stands have been indicated for each point.

højestliggende flader og negative for de lavestliggende flader. Ingen af de fire figurer viser en klar tendens i denne retning.

Den sidste del af undersøgelsen over koternes indflydelse på grundvandsvingningerne har foregrebet de efterfølgende undersøgelser vedrørende bevoksningsalderens, 21/4-vandstandens og træarternes indflydelse på grundvandsvingningerne. *Ved disse beregninger er der overhovedet ikke taget hensyn til topografiens eventuelle indflydelse, og det er efter ovenstående grafiske bedømmelse fuldstændig berettiget at se bort fra de topografiske forhold.*

Det skal dog understreges, at man vel kan tillade sig at se bort fra de makrotopografiske faktorer, men det kan ikke på det foreliggende grundlag afvises, at lokaltopografiske forhold, som ikke kan aflæses på målebordsbladene, kan influere på grundvandsvingningerne. Alle de foregående figurer (8—23) viser, at der er meget betydelig variation i koterne. Det er uden videre klart, at der ikke kan påvises signifikante forskelle mel-

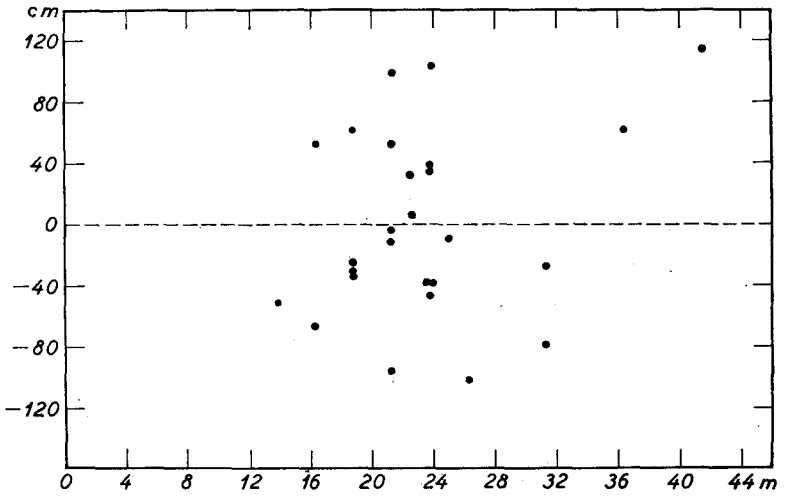

Fig. 20. 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra det beregnede regressionsplan for bøgebevoksningerne lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 20. The deviations of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression plane for the beech stands superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). Deviation = measured value — regression value.

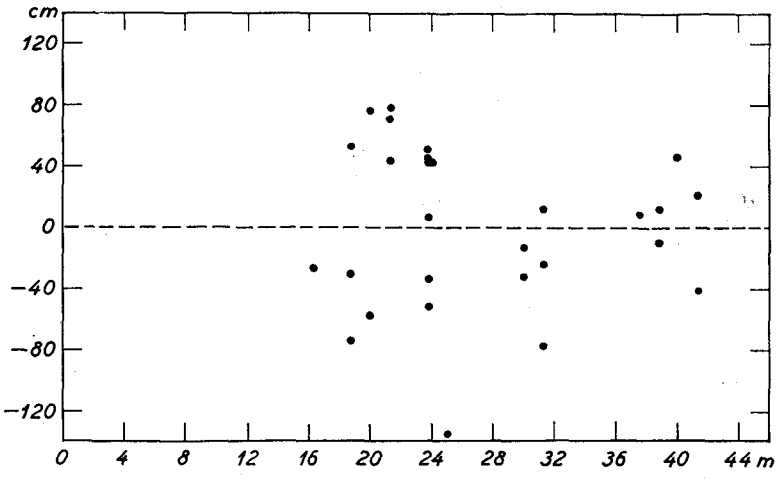

Fig. 21. 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra det beregnede regressionsplan for egebevoksningerne lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 21. The deviations of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression plane for the oak stands superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). Deviation = measured value — regression value.

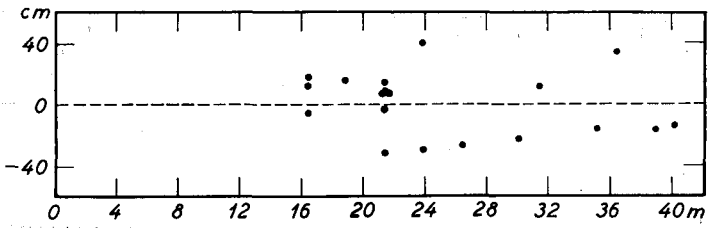

Fig. 22. 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra det beregnede regressionsplan for rødgranbevoksningerne lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 22. The deviations of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression plane for the Norway spruce stands superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). Deviation = measured value — regression value.

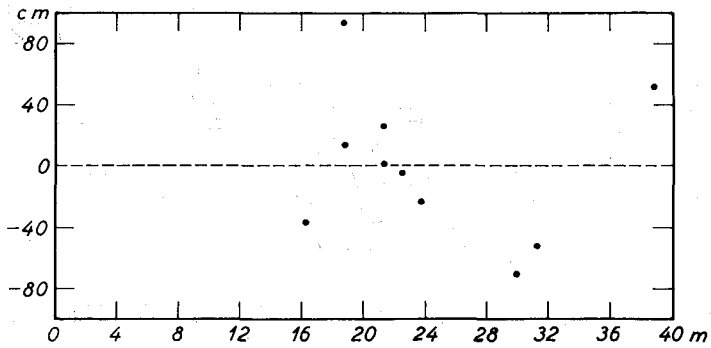

Fig. 23. 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra det beregnede regressionsplan for bevoksningerne af ask lagt op over bevoksningernes koter efter målebordsblade (m). Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 23. The deviations of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression plane for the ash stands superimposed on the contour lines of the stands according to basic maps (m). Deviation = measured value — regression value.

lem middelkoterne for de enkelte træarter. Ikke desto mindre ved enhver praktiker, at hvor man for eksempel har ask og bøg sammen, vil asken fortrinsvis findes i små grupper og bevoksninger på den lidt lavere bund, mens bøgen danner sammenhængende bevoksninger på den højere bund. Koteforskellene er måske 50 cm, og de kan ikke aflæses på målebordsbladene. Spørgsmålet om, hvorvidt sådanne koteforskelle spiller en rolle for grundvandsvingningerne, besvares indirekte af de efterfølgende undersøgelser, og de tages op til debat i diskussionen på side 359.

c. Bøgebevoksningernes indflydelse på grundvandstanden.

Indledning.

Materialet omfatter fladerne 1—26. Tabel 6 viser aldersfordelingen, vandstanden d. 21/4 og vandstanden d. 20/8. Fladernes beliggenhed fremgår af figur 2, og tabel 4 giver en oversigt over jordens mekaniske sammensætning på nogle af fladerne og pH-værdierne for de samme jordprøver.

Det fremgår, at de anvendte bøgebevoksninger er godt fordelt over Bregentved distrikt (figur 2). Aldersfordelingen (tabel 6) viser, at bevoksningerne har aldre mellem 5 år og 150 år. Fordelingen er nogenlunde jævn. Mellemaldrende bevoksninger er dog bedst repræsenterede, og der er et kedeligt spring fra den 100-årige bevoksning til de to bevoksninger på 150 år. Det er endvidere værd at mærke sig, at de forskellige aldersklasser er jævnt fordelt over distriktet.

Af tabel 4 fremgår det, at jævnt fordelt mellem fladerne er undersøgt jordprøver, som stammer fra dybder vekslende mellem 120 cm (flade 4) og 350 cm (flade 11). I middel har udtagelsesdybden været 198 cm ± 23 cm for de 13 prøver, som er udtaget.

Lerindholdet varierer mellem 6.0 % (flade 5, 150 cm) og 29.6 % (flade 11, 350 cm). Det må bemærkes, at der indenfor materialet fra alle flader er korrelation mellem udtagelsesdybden og lerindholdet (figur 3, side 300 og tekstbehandlingen side 302). Indenfor bøgematerialet er middel-lerindholdet i prøverne 19.8 % ± 1.75 %. Fordelingen til aldersgrupper synes at være jævn.

Om pH skal kun bemærkes, at alle prøverne er svagt basiske. På alle fladerne er kalkgrænsen altså passeret.

Orienterende bearbejdning af bøgematerialet.

I figur 24 er 21/4-vandstanden lagt op over alderen. Det fremgår umiddelbart af figuren, at der ikke er nogen sammenhæng mellem 21/4-vandstanden og bevoksningsalderen. Der er altså næppe historisk betingede forskelle i afvandingstilstanden for bevoksninger af forskellige aldre.

Figur 25 viser for alle bevoksninger ældre end 30 år (sluttede bevoksninger) sænkningen fra 21/4 til 20/8 som funktion af vandstanden den 21/4. Der er her en klar positiv korrelation.

Ved at beregne en regressionslinie med vandstanden den 21/4

T a b e l 6. Oversigt over grundvandsvingningerne i bøgebevoksningerne.

T a b l e 6. A survey of the water-table fluctuations in the beech stands.

Flade nr. *Plot no.*	Kote m *Level*	Alder f. 1959 *Age in 1959*	Skov *Forest*	Afd. *Dept.*	Vandstand *Water-table* 21/4-59 cm	Vandstand *Water-table* 20/8-59 cm	Beregnet vandstand cm 20/8-59 *Computed water-table*
1	21.3	5	Østerskov	24	46	135	138
2	23.8	15	Ganneskov	23	48	227	188
3	23.8	15	„	76	42	126	165
4	18.8	24	Tureby Dyrehave	5	36	130	161
5	31.3	34	Grevindeskov	24	54	216	243
6	21.3	43	Olstrup	10	23	123	134
7	31.3	43	Grevindeskov	94	48	150	229
8	22.5	45	Kæderup Tykke	4	78	(350)	344
9	21.3	46	Bolskov	47	52	346	247
10	18.8	50	Nyskov	24	60	255	280
11	41.3	56	Torpe Skov	7	53	373	258
12	23.8	56	Bolskov	10	37	300	197
13	16.3	65	Børsted	21	71	265	332
14	21.3	66	Grevindeskov	44	42	127	223
15	25.0	66	Ganneskov	36	80	358	367
16	21.3	75	Olstrup	1	54	(325)	273
17	18.8	75	Egevænge	12	57	346	285
18	23.8	86	Ganneskov	57 a	49	294	260
19	23.8	86	„	74	41	182	229
20	23.8	86	„	75	47	214	252
21	22.5	91	Slaagaard	5	56	(320)	288
22	18.8	91	Karise Hestehave	3	44	210	243
23	13.8	96	Bolskov	34	22	109	161
24	16.3	100	Tokkeskov	8 a	46	306	254
25	26.3	150	Grevindeskov	16	66	244	346
26	36.3	150	„	80	43	320	258

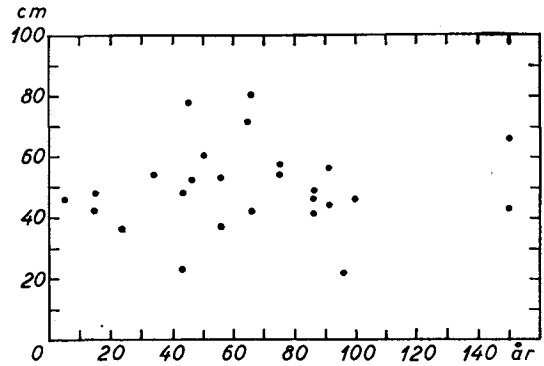

Fig. 24. 21/4-vandstandene (cm) i bøgebevoksningerne lagt op over bevoksningsaldrene.

Fig. 24. The 21/4-water-tables (cm) in the beech stands superimposed on the ages of the stands. — (år = years).

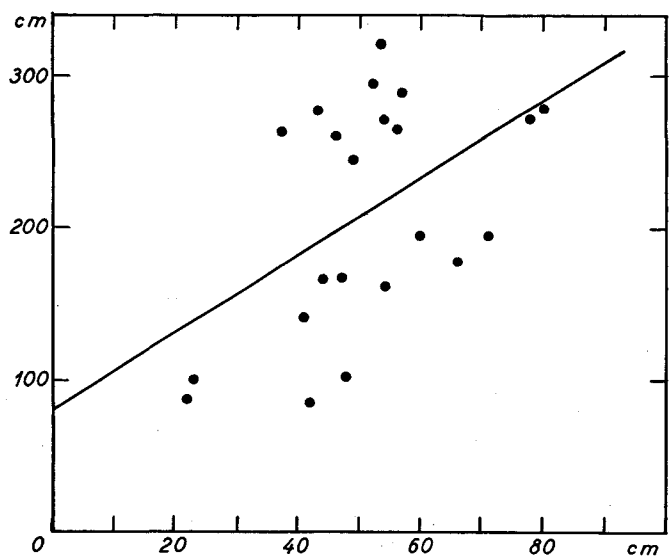

Fig. 25. Sammenhængen mellem 21/4-vandstand (abscisse, cm) og vandstandsænkning fra 21/4—20/8 i bøgebevoksninger, som er ældre end 30 år.

Fig. 25. The correlation between the 21/4-water-tables (abscissa, cm) and the lowering of the water-table from 21st April through 20th August in beech stands older than 30 years.

som uafhængig variabel, finder man en ligning med følgende form:

(cm sænkning 21/4—20/8) = 80.4 + 2.53 (vandstand 21/4),

hvor et t-test viser, at regressionskoefficienten med 98 % sandsynlighed er forskellig fra 0.

En nærmere undersøgelse af materialet tyder ikke på, at denne korrelation er påvirket af bevoksningsaldre eller fladernes beliggenhed på distriktet.

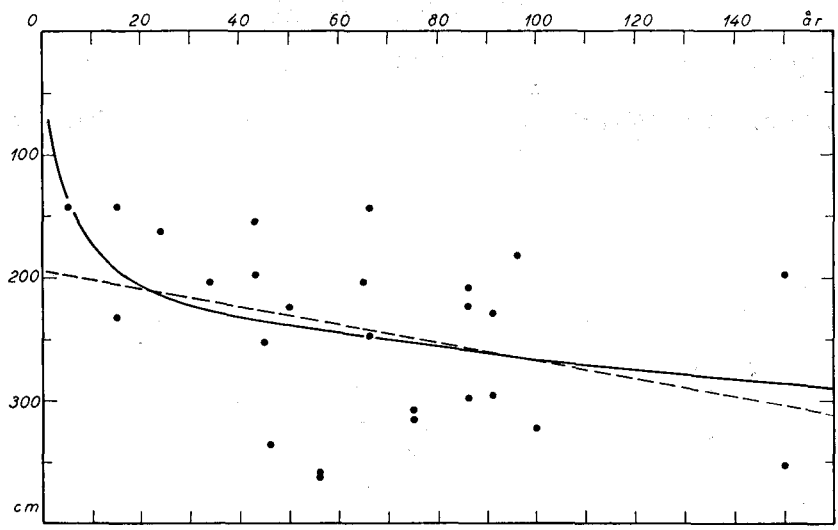

Fig. 26. Sammenhængen mellem bevoksningsalder og 20/8-vandstand (cm) i bøgebevoksningerne efter korrektion for 21/4-vandstandens indflydelse. På figuren er indtegnet en beregnet regressionslinie, som ikke er signifikant, og en eksponentialkurve, som er signifikant.

Fig. 26. The correlation between the ages of the stands and the 20/8-water-table (cm) in the beech stands after correction has been made for the influence of the 21/4-water-table. A computed regression line, which is not significant, and an exponential curve, which is significant, have been sketched in. — (år = years).

Det kan derfor fastslås, at der indenfor materialet er en sammenhæng mellem vandstanden den 21/4 og den dybde, vandet sænkes til indtil den 20/8. Jo dybere grundvandet er under jordoverfladen i foråret, des større er sænkningen i løbet af vækstperioden.

I figur 26 er abscissen bevoksningsalderen, mens ordinaten er vandstanden den 20/8 korrigeret for den lige påviste sam-

menhæng mellem vandstanden den 21/4 og sænkningen 21/4—20/8. Ved korrektionen er der anvendt en 21/4-vandstand på 50 cm under jordoverfladen.

Figur 26 viser, at afstanden fra jordoverfladen til grundvandspejlet den 20/8 gennemgående bliver større, jo ældre bevoksningerne bliver.

Ved at anvende alderen (år) som uafhængig variabel og forudsætte lineær sammenhæng, finder man korrelationskoefficienten $r = 0.369$. Der er 93 % sandsynlighed ($t_{24} = 1.946$) for, at r er forskellig fra 0. Der er altså ikke en signifikant, retliniet sammenhæng mellem vandstanden d. 20/8 og de undersøgte bøgebevoksningers aldre. Den beregnede regressionslinie er indlagt som en stiplet linie på figur 26.

Der forsøgtes dernæst at anvende en eksponentialfunktion som udjævningskurve for punktsværmen. Ved at anvende log.-alder i stedet for alder giver en regressionsanalyse følgende udjævningslinie:

(korrigeret vandstand 20/8 cm) = 73.77 + 97.54 (log. alder).

Korrelationskoefficienten er $r = 0.449$ og r er med 97.5 % sandsynlighed forskellig fra 0 ($t_{24} = 2.46$).

Udjævningskurven er indtegnet med fuld streg i figur 26.

Forskellen mellem korrelationskoefficienterne for den rette linie og for eksponentialkurven i figur 26 er ikke signifikant. Der kan ikke lægges synderlig vægt på, at eksponentialkurvens korrelationskoefficient er lidt bedre end den rette linies. Når der alligevel vælges at arbejde videre med eksponentialfunktionen ved den samlede regressionsberegning, er det, fordi de endelige funktioner for de forskellige træarter må være af samme karakter, hvis man ønsker at sammenligne træarternes påvirkning af grundvandet.

Samlet regressionsberegning for bøgebevoksninger.

Det er vist, at for det indsamlede materiale afhænger 20/8-vandstanden såvel af vandstanden den 21/4 som af bevoksningsalderen. Der kan følgelig beregnes et regressionsplan med 20/8-vandstanden som afhængig variabel og 21/4-vandstanden som den ene uafhængige variable, og logaritmen til alderen som den anden uafhængige variable.

Ligningen for dette plan er:

(cm vandstand 20/8) = — 98.45 + 89.07 (log alder) + 3.79 (cm vandstand 21/4).

Koefficienten til log alder er med en sandsynlighed på mellem 95 % og 98 % forskellig fra 0.

Koefficienten til 21/4-vandstanden er forskellig fra 0 med mere end 99.9 % sandsynlighed.

Den multiple korrelationskoefficient er R = 0.719, og den er signifikant på 99.9 %'s-niveauet. Den fundne funktion gør rede for 52 % af variationen i 20/8-vandstanden, idet $R^2 = 0.518$ (*Ezekiel*, 1947).

Regressionskoefficientens størrelse siger ikke noget om, hvor stor betydning hver af de to uafhængige variable har for variationerne i den afhængige variable. Man har søgt at finde frem til en relevant bedømmelse ved at beregne forskellige andre størrelser og er efter *Ezekiel* (1947) blevet stående ved de såkaldte β-koefficienter. β-koefficienternes kvadrater (β^2) giver oplysning om de uafhængige variables relative betydning.

For log alder er $\beta^2 = 0.1121$ og for 21/4-vandstanden er $\beta^2 = 0.3625$. Heraf må vi slutte, at 21/4-vandstanden har ca. 3 gange så stor betydning for 20/8-vandstanden som log alder.

Tabel 7. 20/8-vandstanden i bøgebevoksningerne beregnet ved hjælp af 21/4-vandstand, bevoksningsalder og funktionen side 324.

Table 7. The 20/8-water-table in the beech stands computed by means of 21/4-water-table, age of stand, and the function on page 324.

21/4-vandstand, cm *21/4-water-table, cm*	20	40	60	80
Alder, år *Age, years*				
5	40	115	191	267
10	66	142	218	294
20	93	169	245	321
40	120	196	272	347
60	136	212	287	363
80	147	223	298	374
100	155	231	307	383
120	163	238	314	390
140	169	244	320	396
160	174	249	325	401

I tabel 7 er givet en oversigt over nogle samhørende værdier af 20/8-vandstand — 21/4-vandstand — alder. Regressionsværdierne for de enkelte flader er anført i tabel 6, så man kan sammenligne de målte værdier med de udjævnede værdier.

Konklusion.

Bøgens indflydelse på grundvandstanden afhænger i første række af højeste, stabile vandstand. I løbet af vækstperioden sænkes grundvandet mindre, hvor højeste, stabile vandstand er høj, end hvor den er dyb. Samtidig er der en aldersafhængighed. I løbet af vækstperioden sænkes grundvandet mindre i unge bevoksninger end i ældre bevoksninger.

d. Egebevoksningernes indflydelse på grundvandstanden.

Indledning.

Materialet omfatter fladerne 27—56. Aldersfordelingen, vandstanden d. 21/4 og vandstanden d. 20/8 fremgår af tabel 8. Figur 2 viser de enkelte fladers beliggenhed på distriktet, og i tabel 4 er resultaterne af de mekaniske analyser og pH-bestemmelserne samlet.

Også egebevoksningerne er godt fordelt på distriktet (figur 2). De undersøgte bevoksningers aldre varierer mellem 5 år og 66 år (tabel 8). Indenfor dette interval er de forskellige alderstrin ligeligt repræsenterede. Når der ikke er undersøgt bevoksninger, som er ældre end 66 år, skyldes det, at sådanne bevoksninger ikke findes. Først for 66 år siden er man begyndt at frembringe rene bevoksninger af eg. Ældre eg findes kun som spredt indblanding i bevoksninger af andre træarter, først og fremmest bøg.

Ved at sammenholde opgivelserne i tabel 8 med kortet figur 2 ser man, at de enkelte aldersklasser er jævnt fordelt indenfor hele undersøgelsesområdet.

Det fremgår af tabel 4, at der, jævnt fordelt mellem fladerne, er undersøgt 12 jordprøver, som stammer fra dybder vekslende mellem 100 cm (flade 35) og 430 cm (fladerne 39 og 49). Lerindholdet i de undersøgte prøver varierer mellem 3.0 % (flade 48, 200 cm's dybde) og 45.8 % (flade 40, 380 cm's dybde). I de undersøgte egebevoksninger er udtagelsesdybden i middel 234 ± 34.4 cm, og lerindholdet er i middel 26.8 ± 3.81 %. Der synes ikke at være en ujævn fordeling af prøverne til aldersgrupperne.

Tabel 8. Oversigt over grundvandsvingningerne i egebevoksningerne.
Table 8. A survey of the water-table fluctuations in the oak stands.

Flade nr. *Plot no.*	Kote m *Level*	Alder f. 1959 *Age in 1959*	Skov *Forest*	Afd. *Dept.*	Vandstand *Water-table* 21/4-59 cm	Vandstand *Water-table* 20/8-59 cm	Beregnet vandstand cm 20/8-59 *Computed water-table*
27	38.8	5	Torp	3	66	152	140
28	38.8	14	„	4	59	197	207
29	18.8	14	Tureby Dyrehave	3	16	128	203
30	41.3	15	Kværede Vænge	6 c	30	230	209
31	30.0	15	Grevindeskov	65	47	197	210
32	23.8	15	Ganneskov	7	61	178	212
33	18.8	24	Nyskov	20	46	210	241
34	21.3	24	Ganneskov	65 b	29	282	239
35	23.8	26	Ganneskov	4	55	254	247
36	20.0	33	Olstrup	5 a	49	338	262
37	30.0	35	Grevindeskov	64	42	233	265
38	21.3	36	Bolskov	46 b	39	345	267
39	31.3	36	Grevindeskov	59	31	278	266
40	40.0	38	Torp	5	60	318	272
41	21.3	40	Bolskov	53	36	344	273
42	41.3	45	Kværede Vænge	4	39	240	281
43	20.0	45	Grevindeskov	41	54	225	283
44	16.3	45	Børsted	17	51	256	283
45	23.8	45	Ganneskov	55	32	(324)	281
46	23.8	46	„	56	40	334	283
47	31.3	47	Grevindeskov	71	48	261	285
48	25.0	55	„	15	60	162	297
49	18.8	55	Egevænge	3	69	(350)	297
50	23.8	55	Ganneskov	29	35	339	294
51	37.5	59	Boholte	13	35	307	299
52	23.8	65	Ganneskov	43	38	253	305
53	31.3	66	Grevindeskov	67	21	227	305
55	23.8	66	Ganneskov	44	59	—	—
56	23.8	66	„	44	41	349	307

Også i egebevoksningerne er kalkgrænsen i jorden passeret i alle de tilfælde, hvor der er udtaget jordprøver til analyser. Det fremgår af tabel 4, at alle de undersøgte prøver er svagt basiske.

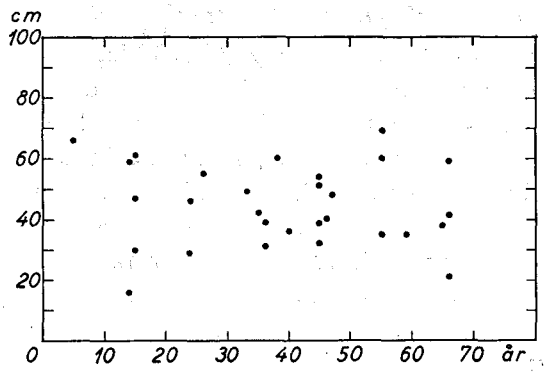

Fig. 27. 21/4-vandstandene (cm) i egebevoksningerne lagt op over bevoksningsaldrene.

Fig. 27. The 21/4-water-tables (cm) in the oak stands superimposed on the ages of the stands. — (år = years).

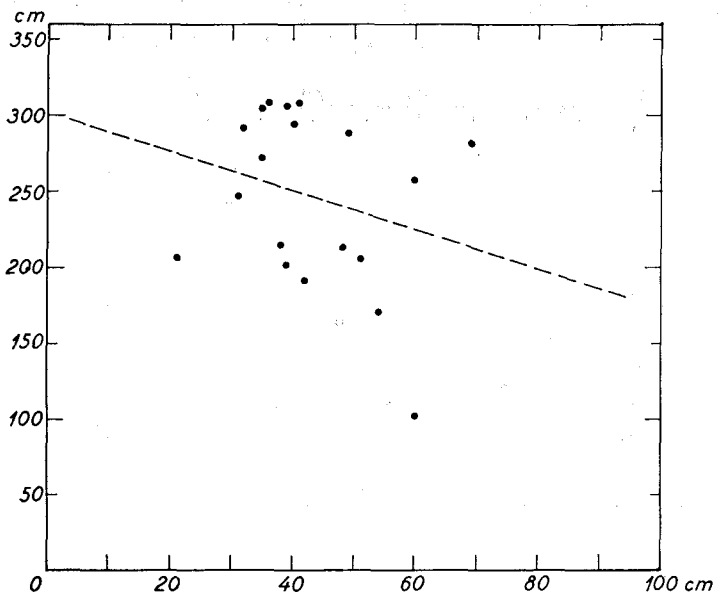

Fig. 28. Vandstandsænkningen (ordinat, cm) fra 21/4 til 20/8 i de egebevoksninger, som er ældre end 30 år, lagt op over 21/4-vandstanden. Den ikke-signifikante regressionslinie er indtegnet.

Fig. 28. The lowering of the water-table (ordinate, cm) from 21st April through 20th August in the oak stands which are more than 30 years old superimposed on the 21/4-water-table. The non-significant regression line has been sketched in.

Orienterende bearbejdning af egematerialet.

I figur 27 er vandstanden den 21/4 1959 lagt op over alderen. Som man ser, er der ingen korrelation mellem disse to størrelser.

I figur 28 er vandstandsænkningen fra den 21/4 til den 20/8 lagt op over vandstanden den 21/4 for alle bevoksninger ældre end 30 år. Der er tendens til, at vandstandsænkningen er faldende med stigende afstand til vandspejlet den 21/4. Korrelationskoefficienten er — 0.27, men den er ikke signifikant forskellig fra 0. Hvis man foretager en regressionsanalyse (vandstand d. 21/4 = uafhængig variabel) får man følgende regressionsligning:

(cm sænkning 21/4—20/8) = 301.7 — 1.30 (vandstand 21/4).

Et t-test viser, at regressionskoefficienten (— 1.30) ikke er signifikant forskellig fra 0 (en sandsynlighed på 72.5 %).

Figur 29 viser grundvandstanden den 20/8-59 som funktion af bevoksningsalderen. Man ser, at grundvandspejlet ligger dybest under de ældste bevoksninger. Det fremgår af figuren, at

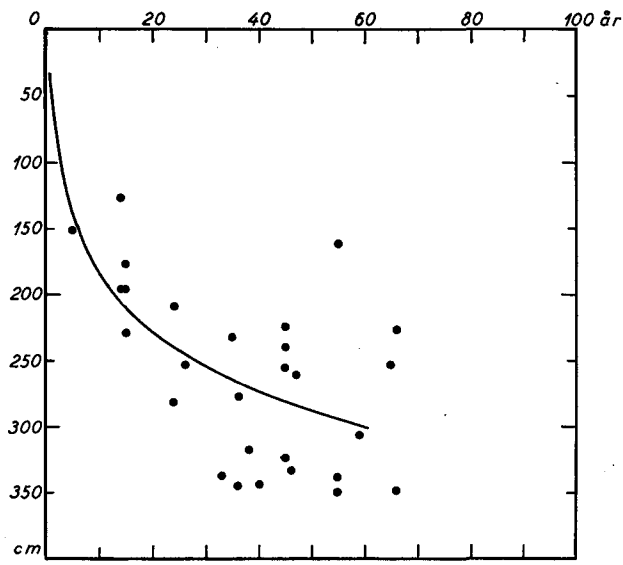

Fig. 29. Sammenhængen mellem 20/8-vandstand (cm) i egebevoksningerne og bevoksningsalderen. Den beregnede eksponentialkurve er indtegnet.

Fig. 29. The correlation between the 20/8-water-table (cm) in the oak stands and the ages of the stands. The computed exponential curve has been sketched in. — (år = years).

punktsværmen bedst udjævnes ved en krum kurve. Hertil er valgt en eksponentialfunktion.

Med log alder som uafhængig variabel finder man følgende regressionsligning:

$$(\text{cm vandstand } 20/8) = 34.2 + 149.66 \ (\text{log alder}).$$

Korrelationskoefficienten er $r = 0.607$, og den er højt signifikant ($t_{26} = 3.90 \backsim$ sandsynligheden $p > 99.9$ %). Udjævningskurven er indtegnet på figur 29.

Samlet regressionsberegning for egebevoksningerne.

Det fremgår af ovenstående orientering i egematerialet, at der er signifikant korrelation mellem bevoksningsalderen (logaritmisk) og 20/8-vandstanden. Derimod ses der ikke at være nogen sikker sammenhæng mellem 20/8-vandstanden og 21/4-vandstanden. Af hensyn til sammenligningen af egematerialet med bøgematerialet og rødgranmaterialet (se nedenfor) er det dog rimeligt at beregne et regressionsplan på linie med, hvad der er gjort for de øvrige træarter.

Ligningen for dette plan er:

$$(\text{cm vandstand } 20/8) = 28.42 + 150.66 \ (\text{log alder}) + 0.10 \ (\text{cm vandstand } 21/4).$$

Koefficienten til log alder er med mere end 99.9 % sandsynlighed forskellig fra 0. Derimod er koefficienten til cm vandstand 21/4 ikke signifikant forskellig fra 0.

Den multiple korrelationskoefficient er $R = 0.608$, og den er signifikant med mellem 99 og 99.9 % sandsynlighed. Funktionen gør rede for 37 % af variationen i materialet.

For de to regressionskoefficienter er β-koefficienternes kvadrat:

$b(\text{log alder}) \backsim \beta_1^2 = 0.3742$

$b(\text{cm vandstand } 21/4) \backsim \beta_2^2 = 0.0004.$

Forholdet mellem de to kvadrater $\frac{\beta_1^2}{\beta_2^2} = 944$, hvoraf det må sluttes, at alderens indflydelse på 20/8-vandstanden er henved 1000 gange større end 21/4-vandstandens indflydelse. Rent praktisk kan man uden videre se bort fra 21/4-vandstandens indflydelse.

Tabel 9. 20/8-vandstanden i egebevoksningerne beregnet ved hjælp af 21/4-vandstand, bevoksningsalder og funktionen side 329.

Table 9. The 20/8-water-table in the oak stands computed by means of 21/4-water-table, age of stand, and the function on page 329.

21/4-vandstand, cm *21/4-water-table, cm*	20	40	60	80
Alder, år *Age, years*				
5	136	138	140	142
10	181	183	185	187
20	226	228	230	232
40	272	274	276	278
60	298	300	302	304

Tabel 9 giver en oversigt over nogle sammenhørende værdier af 20/8-vandstand, 21/4-vandstand og alder. Endvidere er regressionsværdierne for de enkelte flader beregnet, og disse værdier er anført i tabel 8, hvor man altså kan sammenligne de målte værdier med regressionsværdierne.

Konklusion.

Egebevoksningers indflydelse på grundvandstanden er overvejende en funktion af bevoksningsalderen. I løbet af vækstperioden sænkes grundvandet mindre i unge bevoksninger end i ældre bevoksninger. Højeste, stabile vandstand kan ikke vises at have indflydelse på sænkningen.

e. Rødgrans og sitkagrans indflydelse på grundvandstanden.

Indledning.

I undersøgelsen indgår 15 rene rødgranbevoksninger, 4 kulturer, som består af rødgran i blanding med sitkagran (⅔ rødgran + ⅓ sitka), og 4 bevoksninger af ren sitkagran.

Materialet af ren sitkagran er for lille til, at det lader sig behandle som en selvstændig gruppe (4 iagttagelser). De 4 kulturer, som overvejende består af rødgran (⅔), er det naturligt at betragte som rødgranbevoksninger ved den statistiske bearbejdning. Som det fremgår af det efterfølgende, er der intet, som tyder på, at dette er uforeneligt med materialets karakter. Det er nærliggende at sammenligne sitkagran med rødgran, og det

Tabel 10. Oversigt over grundvandsvingningerne i rødgran- og sitkagranbevoksninger.

Table 10. A survey of the water-table fluctuations in Norway spruce and sitka spruce stands.

Flade nr. *Plot no.*	Kote m *Level*	Alder f. 1959 *Age in 1959*	Skov *Forest*	Afd. *Dept.*	Træer *Trees*	Vandstand *Water-table* 21/4 1959 cm	Vandstand *Water-table* 20/8 1959 cm	Beregnet vandstand cm 20/8-59 *Computed water-table*
57	21.3	5	Slaagaard	6	Rdgr.+ Sitka	42	125	117
58	21.3	6	„	6	„	44	131	124
59	21.3	9	„	6	„	54	142	145
60	21.3	10	„	6	„	44	106	138
61	21.3	15	„	6	Sitka	44	75	—
62	16.3	15	Tokkeskov	9d	Rdgr.	82	180	186
63	23.8	16	Ganneskov	73b	„	58	135	165
64	21.3	20	Bolskov	42	„	67	194	180
65	16.3	21	Børsted	18	„	73	199	187
66	21.3	21	Olstrup	2a	„	54	175	168
67	31.3	23	Grevindeskov	66	„	45	174	162
68	36.3	25	„	81	„	51	204	170
69	16.3	25	Tokkeskov	9b	„	82	218	200
70	38.8	26	Torp Skov	2	„	87	189	206
71	35.0	28	Haslev Orned	69b	„	130	235	251
72	16.3	29	Tureby Hestehave	19	Sitka	96	152	—
73	18.8	30	Nyskov	21	Rdgr.	91	230	214
74	21.3	35	Ganneskov	66a	Sitka	46	116	—
75	18.8	36	Tureby Hestehave	19a	„	133	170	—
76	23.8	36	Ganneskov	48	Rdgr.	141	308	268
77	30.0	40	Grevindeskov	25	„	73	183	205
78	26.3	44	„	27	„	114	220	247
79	40.0	45	Boholte	1a	„	110	230	244

Rdgr. = *Norway spruce*

falder bedst ind i fremstillingen at gennemføre denne sammenligning samtidig med, at der gøres rede for rødgranmaterialet.

Materialet, der behandles i det efterfølgende, omfatter derfor 23 prøveflader. De er jævnt fordelt over Bregentved skovdistrikt (figur 2, side 289). Tabel 10 giver en oversigt over bevoksningsaldre og vandstande den 21/4 og 20/8. Rødgranbevoksningernes aldre varierer mellem 5 år og 45 år, og fordelingen er jævn til aldersgrupperne.

Af tabel 4 ses det, at der jævnt fordelt mellem fladerne er undersøgt 11 jordprøver (1 i flade 74, sitkagran, og resten i rødgranbevoksningerne). For de 11 prøver varierer udtagelsesdybden mellem 110 cm (flade 58) og 385 cm (flade 70), og den er i middel 208 ± 25.6 cm. For de samme prøver varierer lerindholdet mellem 15.8 % (flade 73, 200 cm) og 29.1 % (flade 79, 150 cm), og det er i middel 25.3 ± 2.82 %. Der ser ikke ud til at være en ujævn fordeling til aldersgrupperne.

Orienterende bearbejdning af rødgran- og sitkagranmaterialet.

Figur 30 viser 21/4-vandstanden for alle rødgran- og sitkagranfladerne lagt op over bevoksningsaldrene. Der er skelnet mellem træarterne ved forskellige signaturer.

Det er tydeligt, at 21/4-vandstanden er en funktion af bevoksningsalderen i de undersøgte bevoksninger. For alle bevoksningerne er 21/4-vandstanden lineært korreleret med alderen med korrelationskoefficienten $r = 0.68$. Et t-test giver $t_{21} = 4.27$ svarende til en sandsynlighed $p > 99.9$ %.

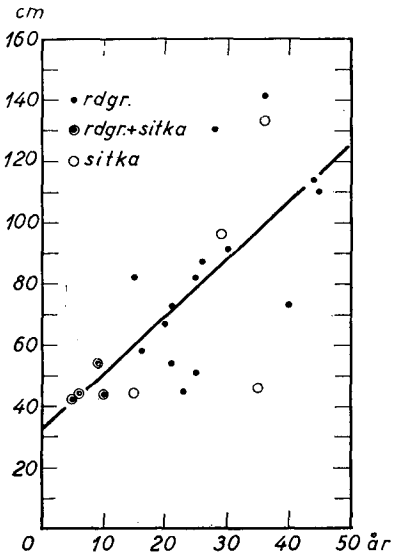

Fig. 30. Sammenhængen mellem 21/4-vandstandene (cm) i nåletræbevoksningerne og bevoksningsaldrene (år). Den beregnede regressionslinie er indtegnet.

Fig. 30. The correlation between the 21/4-water-tables (cm) in the Norway spruce stands and the ages of the stands (år = years). The computed regression line has been sketched in. — (rdgr. = Norway spruce).

Udjævningsliniens formel er:

(cm vandstand 21/4) = 31.35 + 1.86 · alderen.

Denne linie er indtegnet på figuren.

Når de 4 rene sitkabevoksninger udskydes, bliver korrelationskoefficienten r = 0.73. Denne funktion skal bruges ved senere korrektioner (s. 398). Regressionsligningen er:

(cm vandstand 21/4) = 32.79 + 1.84 · alderen.

Man mærker sig iøvrigt, at sitkagranbevoksningernes beliggenhed i figur 30 tyder på, at der for denne træart er sammenhæng mellem bevoksningsalder og 21/4-vandstand. Da der kun er 4 iagttagelser, er sammenhængen imidlertid ikke signifikant.

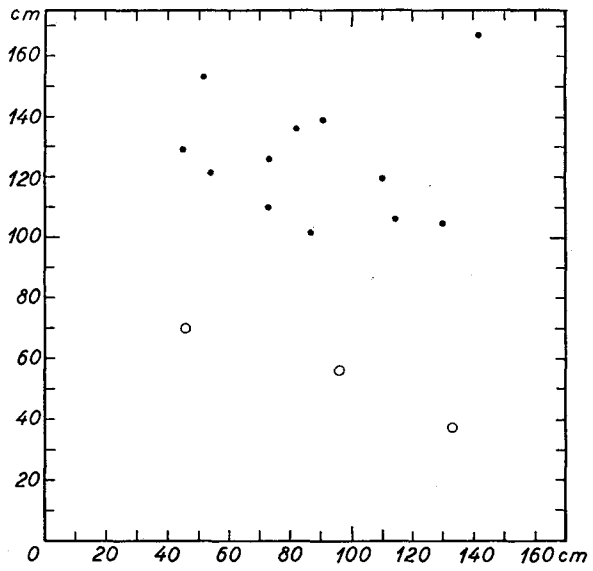

Fig. 31. Vandstandsænkningen (cm) fra 21/4 til 20/8 i de rødgranbevoksninger og sitkagranbevoksninger, som er ældre end 20 år, lagt op over 21/4-vandstandene (abscisse, cm). Signaturer som på fig. 30.

Fig. 31. The lowering of the water-table (cm) from 21st April through 20th August in the Norway spruce stands and the sitka spruce stands which are more than 20 years old superimposed on the 21/4-water-tables (abscissa, cm). Signs as in Fig. 30.

I figur 31 er vandstandsænkningen i perioden fra 21/4 til den 20/8 lagt op over vandstanden d. 21/4 for de bevoksninger, som er ældre end 20 år, det vil sige bevoksninger, som er sluttede. Der synes at være en tendens til, at sænkningen bliver mindre,

jo dybere vandspejlet befinder sig i jorden den 21/4. Tendensen er dog meget svag (betydningsløs), idet en regressionsanalyse ikke giver holdepunkter for hypotesen. For rødgranbevoksningerne er korrelationskoefficienten så lav som $r = -0.01$. Selv efter en udskydning af flade 76 (punktet øverst til højre i figuren) er korrelationen ikke signifikant. Korrelationskoefficienten bliver $r = -0.56$. Et t-test giver $t_9 = 2.00$ svarende til sandsynligheden $p \sim 92$ %

For fuldstændighedens skyld skal her anføres, at korrelationskoefficienten for de tre sitkagranbevoksninger i figur 31 er $r = -0.98$. Et t-test giver i dette tilfælde $t_1 = 5.69$, svarende til en sandsynlighed på $p = 88.5$ %.

Figuren viser, at sitkagranbevoksningerne sænker grundvandet mindre end rødgranbevoksningerne. Da tendenserne til korrelation mellem 21/4-vandstand og sænkning ikke er signifikante, kan man teste forskellen i grundvandsænkning imellem de to træarter ved at teste differenserne mellem middeltallene for træarterne.

Sitkagranbevoksningerne over 20 år har i middel en 21/4-vandstand, som er 91.7 cm under jordoverfladen. Rødgranbevoksningerne over 20 år har i middel en 21/4-vandstand, som er 87.6 cm under jordoverfladen. Differensen er 4.1 cm, og et t-test på differensen giver $t_{13} = 0.19$ svarende til en sandsynlighed på $10\ \% < p < 20\ \%$. Det må derfor antages, at sitkagran- og rødgranbevoksningerne i middel har samme 21/4-vandstand.

Sænkningen af grundvandet i perioden 21/4—20/8 er i middel 54.3 cm i sitkagranbevoksningerne og 126.2 cm i rødgranbevoksningerne. Differensen er 71.9 cm med en t-værdi på $t_{13} = 5.69$ svarende til, at sandsynligheden for forskel er $p > 99.9$ %.

Det foreliggende materiale viser altså, at under de givne betingelser (jordbund — grundvand) sænker rødgranbevoksninger grundvandet betydeligt dybere i vækstperioden end bevoksninger af sitkagran. I 1959 (tørkeår!) er forskellen af størrelsesordenen 70 cm.

I figur 32 er vandstandsænkningen fra den 21/4 til den 20/8 lagt op over alderen for *alle* de undersøgte bevoksninger af rødgran og sitkagran. Den forskel i sænkning, som ovenfor er påvist mellem rødgran og sitkagran, fremgår også med al ønskelig tydelighed af denne figur. Man mærker sig, at den 15-årige sitka-

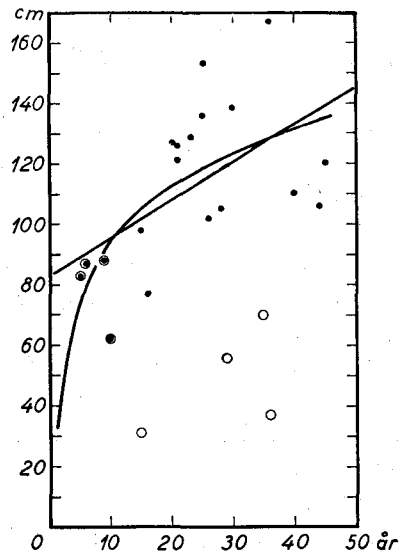

Fig. 32. Vandstandsænkningen (cm) fra 21/4—20/8 i rødgran-, rødgran + sitkagran- og sitkagranbevoksningerne. Signaturerne er de samme som på fig. 30. På figuren er indtegnet en regressionslinie og en eksponentialkurve, som begge er beregnet på basis af rødgran- og rødgran + sitkagranbevoksningerne.

Fig. 32. The lowering of the water-table (cm) from 21st April through 20th August in the Norway spruce, Norway spruce + sitka spruce, and sitka spruce stands. The signs are the same as in Fig. 30. A regression line and an exponential curve has been sketched in. They are both computed on the basis of the Norway spruce and the Norway spruce + sitka spruce stands. — (år = years).

granbevoksning passer smukt ind i billedet. Endvidere viser figuren, at der ikke synes at være noget til hinder for at lade de 4 kulturer, som består af en blanding af rødgran (⅔) og sitkagran (⅓), indgå som rødgranbevoksninger ved bearbejdelsen af materialet.

For rødgranbevoksningerne (inclusive de fire kulturarealer) er sænkningen 21/4—20/8 lineært korreleret med alderen med korrelationskoefficienten $r = 0.55$. Et t-test giver en t-værdi på $t_{17} = 2.71$ svarende til sandsynligheden $98.0 < p < 99.0$ %.

Udjævningslinien, som er indtegnet på figur 32, har ligningen:

(cm sænkning 21/4—20/8) = 83.53 + 1.23 · alderen.

På figur 32 er endvidere indtegnet en beregnet eksponentialkurve, som har ligningen:

(cm sænkning 21/4—20/8) = 32.27 + 61.63 (log alder).

Ved overgang til logaritmisk system bliver korrelationskoefficienten r = 0.629, med t-værdien t_{17} = 3.33, hvilket svarer til en sandsynlighed på 99.4 %.

For rødgran finder man altså i lighed med, hvad der blev fundet for bøg, at korrelationen bliver noget bedre ved at lade alderen indgå logaritmisk. Forskellen mellem korrelationskoefficienterne er ikke signifikant, men den viser dog, at man ikke begår vold mod materialet ved at anvende en logaritmefunktion. Af sammenligningsgrunde er det som tidligere nævnt ønskeligt at have funktioner af samme type, og ved den endelige regressionsberegning vælges derfor en logaritmisk funktion.

Man mærker sig iøvrigt, at vandstandsænkningen fra d. 21/4 til d. 20/8 er korreleret med alderen. Endvidere er 21/4-vandstand og alder korreleret. Derimod er der ikke signifikant sammenhæng mellem 21/4-vandstand og sænkning 21/4—20/8 (figur 31). Tendensen går i retning af, at sænkningen er negativt korreleret med 21/4-vandstanden. Imidlertid kan man ikke uden videre konkludere, at sænkningen er uafhængig af 21/4-vandstanden endsige negativt korreleret med denne. Først når man ved en multipel regressions-analyse har fået elimineret kovariansen alder/21/4-vandstand, kan man se, hvilken indflydelse 21/4-vandstanden har på 20/8-vandstanden. Af det følgende fremgår det, at den endelige regressionsberegning giver resultater, som man ikke uden videre kunne forudse ved en orienterende bearbejdning som ovenstående.

Samlet regressionsberegning for rødgranbevoksningerne.

I rødgranbevoksningerne er sænkningen 21/4—20/8 og dermed vandstanden den 20/8 en funktion såvel af 21/4-vandstanden som af logaritmen til bevoksningsalderen. Et beregnet regressionsplan har følgende ligning:

$$(\text{cm vandstand } 20/8) = 31.82 + 63.16\ (\text{log alder}) + 0.98\ (\text{cm vandstand } 21/4).$$

Koefficienten til log alder er med mellem 95 og 98 % sandsynlighed forskellig fra 0, medens koefficienten til cm vandstand 21/4 er forskellig fra 0 med en sandsynlighed, som er større end 99.9 %.

Den multiple korrelationskoefficient er R = 0.90, og den er

signifikant med en sandsynlighed p > 99.9 %. Funktionen gør rede for 81 % af den fundne variation.

β-koefficienternes kvadrater er følgende for de to regressionskoefficienter:

$$b(\text{log alder}) \backsim \beta_1^2 = 0.1296$$
$$b(\text{cm vandstand } 21/4) \backsim \beta_2^2 = 0.3754$$

Kvotienten er $\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2} = 2.9$ og viser, at 21/4-vandstanden har henved 3 gange større betydning for 20/8-vandstanden end alderen.

Tabel 11. 20/8-vandstand i rødgranbevoksningerne beregnet ved hjælp af 21/4-vandstand, bevoksningsalder og funktionen side 336.

Table 11. The 20/8-water-table in the Norway spruce stands computed by means of 21/4-water-table, age of stands, and the function on page 336.

21/4-vandstand, cm *21/4-water-table, cm*	20	40	60	80	100	120	140
Alder, år *Age, years*							
5	96	115	135	154	174	194	213
10	115	134	154	173	193	213	232
20	134	153	173	192	212	232	251
30	145	164	184	204	223	243	262
40	153	172	192	211	231	251	270
50	159	178	198	218	237	257	276
60	164	183	203	223	242	262	281

I tabel 11 er samlet et repræsentativt udvalg af sammenhørende værdier af 20/8-vandstand, 21/4-vandstand og bevoksningsalder. Endelig er der beregnet regressionsværdier for de enkelte prøveflader. Værdierne er anført i tabel 10, så man kan sammenligne dem med de målte værdier.

Til slut skal det fremhæves, at den strammeste multiple korrelation er fundet i rødgranmaterialet.

Konklusion.

Rødgrans indflydelse på grundvandstanden er først og fremmest en funktion af højeste, stabile vandstand. I vækstperioden er grundvandstanden højere, hvor højeste, stabile vandstand er høj, end hvor den er dyb.

Samtidig er der en aldersafhængighed. I løbet af vækstperioden sænkes grundvandet mindre i unge bevoksninger end i ældre bevoksninger.

Der er undersøgt så få bevoksninger af sitkagran, at disse ikke kan bearbejdes selvstændigt. Da disse bevoksninger vokser på samme jord som rødgranbevoksningerne, og da grundvandsforholdene også er de samme (samme højeste, stabile vandstand), kan det dog fastslås med meget stor sikkerhed, at sitkagran sænker grundvandet mindre i vækstperioden, end rødgran gør.

f. Andre træarters indflydelse på grundvandstanden.

Indledning.

Der er gennemført undersøgelser i bevoksninger af følgende andre træarter: rødel (4 prøveflader), ask (10 prøveflader), ær (2 prøveflader), poppel (1), kirsebær (1), avnbøg (1), japansk lærk (1), Abies grandis (1). Tabel 12 giver en oversigt over aldre, beliggenhed (skov og afdeling) og vandstanden d. 21/4 og d. 20/8. Fladerne er indtegnet på kortet over Bregentved-området (figur 2), og jordbundsanalysernes resultater er samlet i tabel 4.

Man kan ikke forvente at få meget ud af et enkelt års ekstensiv undersøgelse af vandspejlsvingninger på en enkelt prøveflade med en træart. Når disse enkeltiagttagelser for nogle træarter og fåtallige iagttagelser for andre træarter er taget med i afhandlingen, skyldes det da også kun, at sålænge et stof eller et fagområde er temmelig uopdyrket, har selv få eller enlige iagttagelser interesse, fordi de kan inspirere til mere indgående studier.

I det følgende gennemgås materialet for de nævnte 8 træarter, idet fremstillingen gøres noget mere kortfattet end for de allerede gennemgåede træarter.

Ask:

Som nævnt er der gennemført undersøgelser i 10 bevoksninger (flade 84—93) af denne træart. Aldrene varierer fra 15 til 56 år. Der er undersøgt 7 jordprøver. Udtagelsesdybderne varierer mellem 150 cm og 370 cm. Middeldybden er 256 ± 34.6 cm. Lerindholdet varierer mellem 19.3 % (flade 87, 150 cm) og 40.2 % (flade 93, 370 cm). I middel er lerindholdet i de undersøgte prøver 26.9 ± 3.37 %. Jordprøverne er alle svagt basiske.

Tabel 12. Oversigt over grundvandsvingningerne under andre træarter.
Table 12. A survey of the water-table fluctuations below other tree-species.

Flade nr. *Plot no.*	Kote m *Level*	Alder f. 1959 *Age in 1959*	Skov *Forest*	Afd *Dept.*	Træart *Tree-species*	Vandstand *Water-table* 21/4 1959 cm	Vandstand *Water-table* 20/8 1959 cm	Beregnet vandstand cm 20/8 1959 *Computed water-table*
80	23.8	2	Ganneskov	74	Rødel *Common alder*	49	116	
81	36.3	3	Grevindeskov	80	„ +ær *+Sycamore*	45	136	
82	21.3	5	Bolskov	41c	„	45	134	
83	17.5	11	Tureby Dyrehave	3	„	39	160	
84	22.5	15	Grevindeskov	5d	Ask *Ash*	49	158	163
85	21.3	17	„	42	„	52	166	165
86	18.8	24	Olstrup	3b	„	38	326	232
87	16.3	25	Tokkeskov	8b	„	34	209	246
88	23.8	25	Ganneskov	61b	„	40	206	229
89	18.8	36	Nyskov	22a	„	58	221	208
90	30.0	38	Grevindeskov	25	„	43	185	255
91	31.3	45	„	94c	„	45	211	263
92	21.3	44	Slaagaard	4b	„	47	281	255
93	38.8	56	Kværede Vænge	12b	„	41	344	292
94	36.3	15	Boholte	12	Ær *Sycamore*	45	230	
95	18.8	36	Nyskov	22b	„	66	255	
96	18.8	22	Nyskov	12	Poppel *Poplar*	49	134	
97	18.8	24	Nyskov	12	Kirsebær *Cherry*	53	150	
98	21.3	21	Kæderup Tykke	10	Avnbøg *Hornbeam*	55	313	
99	35.0	26	Haslev Ornede	69b	Jap. lærk *Japanese larch*	80	250	
100	18.8	37	Nyskov	3a	Abies grandis	152	234	

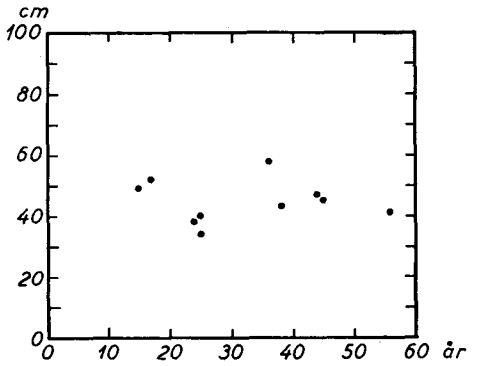

Fig. 33. 21/4-vandstand (cm) i askebevoksningerne lagt op over bevoksningsalderen.

Fig. 33. The 21/4-water-table (cm) in the ash stands superimposed on the ages of the stands. — (år = years).

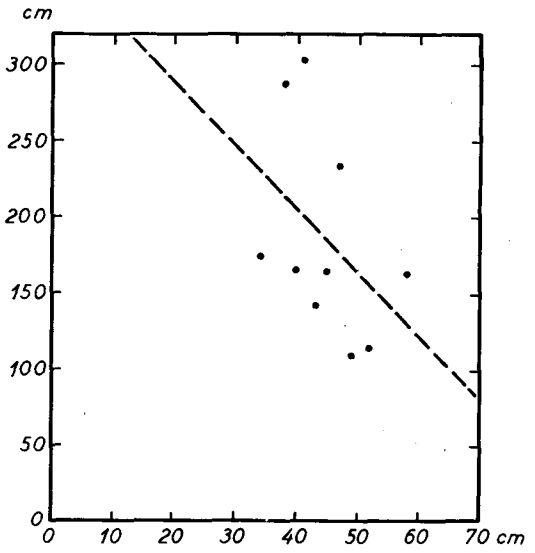

Fig. 34. Vandstandsænkningen (cm) fra 21/4 til 20/8 i askebevoksningerne lagt op over 21/4-vandstanden (abscisse, cm). Den indtegnede regressionslinie er ikke signifikant.

Fig. 34. The lowering of the water-tables (cm) from 21st April through 20th August in the ash stands superimposed on the 21/4-water-table (abscissa, cm). The sketched in regression line is not significant.

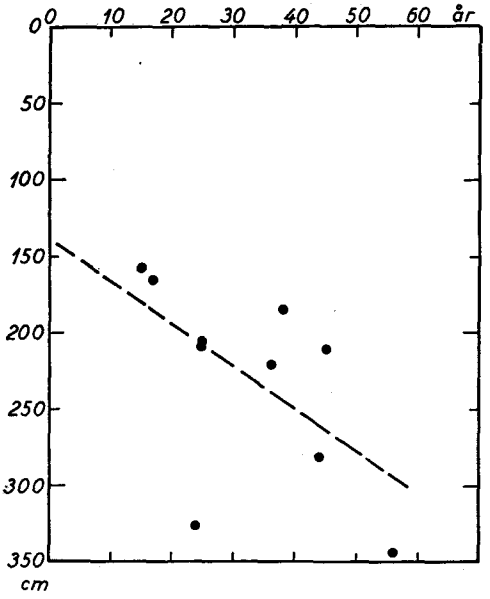

Fig. 35. Sammenhængen mellem 20/8-vandstand (cm) og alder i askebevoksningerne. Den indtegnede regressionslinie er ikke signifikant.

Fig. 35. The correlation between the 20/8-water-table (cm) and the ages of the stands in ash stands. The sketched in regression line is not significant. — (år = years).

Der ser efter figur 33 ikke ud til at være nogen sammenhæng mellem 21/4-vandstanden og bevoksningsalderen i askebevoksningerne.

I figur 34 er vandstandsænkningen fra den 21/4 til den 20/8 lagt op over vandstanden den 21/4. Der øjnes en tendens til en negativ korrelation. Korrelationskoefficienten r = — 0.439 er imidlertid ikke signifikant (t_8 = 1.38 ∞ sandsynligheden p = 80 %). Den beregnede regressionslinie er indtegnet på figuren.

Figur 35 viser sammenhængen mellem vandstanden den 20/8 og bevoksningsalderen. Tendensen til, at afstanden til vandspejlet d. 20/8 stiger med bevoksningsalderen, er kun en tendens, som følgende viser:

x	y	r_{xy}
alder	20/8-vandstand	0.581
log alder	„	0.567

De to korrelationer er af samme styrke, og der er kun omkring 91 % sandsynlighed for, at korrelationskoefficienterne reelt er forskellige fra 0.

Hvis man vil kunne sammenligne forholdene i askebevoksningerne med forholdene i bevoksningerne af de tidligere gennemgående træarter, er man trods manglende signifikans nødt til at beregne et regressionsplan af samme form som de tidligere beregnede.

Dette plan har følgende ligning:

(cm 20/8-vandstand) = 81.66 + 185.72 (log alder)
— 2.80 (cm 21/4-vandstand).

Ingen af regressionskoefficienterne er signifikant forskellige fra 0. Den multiple korrelationskoefficient er R = 0.449 (ikke signifikant).

T a b e l 1 3. 20/8-vandstand i askebevoksningerne beregnet ved hjælp af 21/4-vandstand, bevoksningsalder og funktionen side 342.

T a b l e 1 3. The 20/8-water-table in the ash stands computed by means of 21/4-water-table, age of stand, and the function on page 342.

21/4-vandstand, cm *21/4-water-table, cm*	20	40	60	80
Alder, år *Age, years*				
5	206	200	195	189
10	262	256	251	245
20	318	312	306	301
40	374	368	362	357
60	406	401	395	390

Tabel 13 giver en repræsentativ oversigt over regressionsværdier, og i tabel 12 viser sidste kolonne regressionsværdierne for de enkelte bevoksninger til sammenligning med de målte værdier.

Rødel.

Der er undersøgt 4 rødelbevoksninger (flade 80—83). De er alle unge (2—11 år), og man har derfor ikke megen glæde af en omhyggelig bearbejdning af denne del af materialet. Figur 36 viser sammenhængen mellem 20/8-vandstanden og alderen. Der er intet, som tyder på, at bevoksninger af rødel ikke påvirker

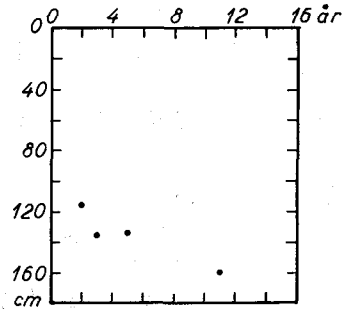

Fig. 36. 20/8-vandstanden (cm) i bevoksningerne af rødel lagt op over bevoksningsaldrene.

Fig. 36. The 20/8-water-table (cm) in the common alder stands superimposed on the ages of the stands. — (år = years).

grundvandet på samme måde som de øvrige undersøgte træarter. I figur 36 er der en klar tendens til, at 20/8-vandspejlets afstand fra jordoverfladen stiger med bevoksningsalderen.

De øvrige træarter.

Som nævnt er disse kun taget med i beretningen som eksempler. Her skal kun gøres en enkelt bemærkning vedrørende flade 96 (poppel). Tabel 12 viser, at 21/4-vandstanden var 49 cm. 20/8-vandstanden var 134 cm svarende til en sænkning på 85 cm. En boring i december gav ikke vand i 423 cm's dybde. Fra 20/8—12/12 sænkedes grundvandet altså mere end 289 cm. Denne sænkning er ekstraordinær stor og forholdsvis enestående i materialet. Den nærmeste flade (flade 97, fuglekirsebær) havde med en 21/4-vandstand på 53 cm en sænkning fra 21/4—20/8 på 97 cm, altså af samme størrelsesordenen som på poppelprøvefladen. Sænkningen fra 20/8—12/12 var på flade 97 75 cm.

Noget tyder altså på, at poppel adskiller sig fra andre træarter ved sin opførsel på svær jord med højtstående grundvand. Det må dog understreges, at andet og mere end en hypotese kan det ikke blive.

Konklusion.

Der er undersøgt så få askebevoksninger, at resultaterne af undersøgelsen er usikre. Det kan dog fastslås, at askebevoksningers indflydelse på grundvandstanden er af samme karakter som

egebevoksningers. Bevoksningsalderen har den afgørende indflydelse på, hvor dybt grundvandet sænkes i løbet af vækstperioden.

De øvrige træarter kan man ikke sige noget sikkert om.

g. Sammenligning af bøg og eg.

Der er udtaget 13 jordprøver i de undersøgte bøgebevoksninger. Udtagelsesdybden har i middel været 198 ± 23 cm, og middellerindholdet i prøverne var 19.8 ± 1.8 % (se tabel 4).

I egebevoksningerne udtoges 12 jordprøver med et middellerindhold på 26.8 ± 3.8 %, og udtagelsesdybden var i middel 234 ± 34.4 cm.

Spredningerne på middeldybderne er ikke signifikant forskellige for de to træarter, og et t-test viser, at differensen mellem middeldybderne ikke kan antages at være forskellig fra 0 ($t_{23} = 0.88$ svarende til sandsynligheden 50 % $< p <$ 70 %).

Spredningerne på middellerindholdene er forskellige for de to træarter. Varianskvotienten $\frac{s^2\,(eg)}{s^2\,(bøg)} = 4.39$, og der er mellem 99 % og 99.9 % sandsynlighed for forskel. Differensen mellem middellerindholdene er derfor testet ved et tilnærmet t-test (se *Hald* 1957, s. 397). Det viser sig, at der kun er mellem 80 % og 90 % sandsynlighed for forskel ($t_{15} \simeq 1.67$).

Det er derfor tilladeligt at regne med, at bøgebevoksninger og egebevoksninger er direkte sammenlignelige forsåvidt angår jordens tekstur.

Vandstanden den 21/4 1959 er i middel 49.8 ± 2.73 cm i bøgebevoksningerne og 43.9 ± 2.53 cm i egebevoksningerne. Differensen mellem disse to middeltal, 5.9 cm, er kun med 89 % sandsynlighed forskellig fra 0 ($t_{52} = 1.59$), hvorfor man kan antage, at bøgebevoksningerne står på jord med grundvandsforhold, som er sammenlignelige med grundvandsforholdene i egebevoksningerne.

I det foregående er der beregnet følgende regressionsplaner for de to træarter:

Bøg: (cm vandstand 20/8) = — 98.45 + 89.07 (log alder)
+ 3.79 (cm vandstand 21/4)

Eg: (cm vandstand 20/8) = 28.42 + 150.66 (log alder)
+ 0.10 (cm vandstand 21/4)

Spredningerne på regressionsværdierne kan antages at være ens for de to træarter, og alle forskelle mellem de to træarter kan følgelig testes ved t-test.

Regressionskoefficienterne til (log alder), der for begge træarter er signifikant forskellige fra 0 (jfr. s. 324 og s. 329), er ikke signifikant forskellige indbyrdes (t_{48} = 1.10 svarende til sandsynligheden 60 % < p < 80 %). Til trods for en stor numerisk forskel kan der altså ikke påvises en signifikant forskel i aldersindflydelse imellem bevoksninger af de to træarter.

For bøgebevoksningerne er koefficienten til (cm vandstand 21/4) signifikant forskellig fra 0 (jfr. s. 324). Dette er ikke tilfældet for egebevoksningerne (jfr. s. 329). De to koefficienter er signifikant forskellige (t_{48} = 3.03 svarende til sandsynligheden 99 % < p < 99.8 %).

Forskellen mellem de sidste to regressionskoefficienter betyder ikke, at der i alle tilfælde er signifikante forskelle mellem sammenhørende regressionsværdier. Ved sammenhørende re-

Tabel 14. Oversigt over differenserne mellem sammenhørende regressionsværdier (beregnet 20/8-vandstand) for eg og bøg og de beregnede t-værdier for disse differenser.
(eg — bøg)

Table 14. A survey of the differences between connected regression values (computed 20/8-water-table) for oak and beech and the computed t-values for these differences.
(oak — beech)

Ved 95 % sandsynlighed er t_{48} = 2.01
At probability
„ 99 % „ „ t_{48} = 2.68
„ 99.9 % „ „ t_{48} = 3.51

21/4-vandstand *21/4-water-table* cm	Alder, år *Age, years*				
	50	30	20	10	5
10	195 cm	181 cm	170 cm	152 cm	133 cm
	t_{48}=4.12	t_{48}=3.76	t_{48}=3.34	t_{48}=2.55	t_{48}=1.87
30	121 cm	107 cm	96 cm	78 cm	59 cm
	t_{48}=4.53	t_{48}=3.91	t_{48}=3.04	t_{48}=1.78	t_{48}=1.02
50	47 cm	33 cm	22 cm	4 cm	—15 cm
	t_{48}=2.46	t_{48}=1.99	t_{48}=0.92	t_{48}=0.10	t_{48}=0.27
70	—27 cm	—41 cm	—51 cm	—70 cm	—141 cm
	t_{48}=0.77	t_{48}=1.18	t_{48}=1.39	t_{48}=1.51	t_{48}=2.37

gressionsværdier forstås de to regressionsværdier, som man finder ved at indsætte samme alder og samme 21/4-vandstand i de to ligninger.

For at give overblik over, i hvilket omfang der er signifikante forskelle mellem de to planer, er der indsat et udvalg af uafhængige variable i de to ligninger. Differenserne mellem de fundne regressionsværdier er testet ved t-test. De uafhængige variable er valgt sådan, at de falder indenfor den variationsbredde, som findes i det indsamlede materiale. Der er altså ikke foretaget store ekstrapolationer, selv om dette kunne være fristende.

Tabel 14 viser disse differenser (eg — bøg) og under hver differens de beregnede t-værdier.

Konklusion.

For grundvandsænkningen i vækstperioden betyder højeste, stabile vandstand mere i bøgebevoksninger end i bevoksninger af eg.

Alderens indflydelse på grundvandsænkningen kan ikke vises at være forskellig i bevoksninger af bøg og i bevoksninger af eg.

I praksis betyder det, at hvor højeste, stabile vandstand er dyb (f. eks. 70 cm) og bevoksningerne er unge, sænker bøg grundvandet dybere end eg. Ved høj højeste, stabile vandstand og høj alder sænker egen derimod grundvandet dybere end bøgen.

Under de forhold, som er repræsenteret i materialet, er grundvandsænkningen gennemgående størst under eg. Sammenligner man 50-årige bevoksninger (ca. ½ omdriftsalder) ved en højeste, stabile vandstand på 50 cm (middelforhold), er mersænkningen i egebevoksninger af størrelsesordenen 50 cm i 1959.

h. Sammenligning af bøg og rødgran.

Der er indenfor bøgematerialet udtaget 13 jordprøver. I middel har udtagelsesdybden været 198 ± 23 cm, og prøverne havde et middellerindhold på 19.8 ± 1.8 % (se tabel 4).

I de undersøgte rødgranbevoksninger er udtaget 11 jordprøver. Udtagelsesdybden har i middel været 208 ± 26 cm. Prøvernes lerindhold var 25.3 ± 2.8 %.

Hverken forskellen mellem de anførte middeldybder eller forskellen mellem de anførte middellerindhold er signifikant for-

skellig fra 0. Det må derfor antages, at jordens tekstur er så nær ens under de to træarter, at det er tilladeligt at sammenligne grundvandsforholdene. I denne forbindelse skal også understreges, at pH-værdierne (se tabel 4) er meget ensartede.

Det må erindres, at der er en sikker sammenhæng mellem bevoksningsalderen og 21/4-vandstanden i rødgranbevoksningerne. Der synes ikke at være en sådan sammenhæng i bøgebevoksningerne. Den påviste korrelation i rødgranbevoksningerne gør det meningsløst at sammenligne 21/4-vandstandene for de to træarter.

For de to træarter er ovenfor beregnet følgende regressionsligninger:

Bøg: (cm vandstand 20/8) = — 98.45 + 89.07 (log alder)
+ 3.79 (cm vandstand 21/4)

Rødgran: (cm vandstand 20/8) = 31.82 + 63.16 (log alder)
+ 0.98 (cm vandstand 21/4)

Variansen på regressionsværdierne er ikke ens for de to træarter. For bøg er variansen 4002 (23 frihedsgrader), mens den for rødgran er 491 (16 frihedsgrader). Varianskvotienten er 8.15, og den viser, at der er mere end 99.9 % sandsynlighed for, at de to varianser er forskellige. Tabeller over varianskvotienter viser ved 99.9 % sandsynlighed og $\begin{smallmatrix}23\\16\end{smallmatrix}$ frihedsgrader værdien 4.91.

Et t-test forudsætter, at varianserne ikke er signifikant forskellige. Når varianserne, som her, er forskellige, må man anvende et tilnærmet t-test (se *Hald* 1957, s. 398 og s. 574). Testet skal ikke gennemgås, men det skal dog anføres, at man beregner det tilnærmede t's frihedsgrader af varianserne og de vægte, som benyttes ved sammenvejningen af varianserne. Dette medfører, som det også fremgår af det følgende, at antallet af frihedsgrader varierer fra test til test indenfor det samme materiale. Endelig skal det bemærkes, at der i alle tilfælde er rundet nedad ved beregningen af frihedsgraderne (f. eks. er 26.7 rundet af til 26).

Sådanne tilnærmede t-test anvendt på regressionskoefficienterne viser, at koefficienterne til (log alder) ikke er signifikant forskellige for de to træarter. Sandsynligheden for reel forskel ligger helt nede på mellem 40 % og 50 % ($t_{37} \simeq 0.552$).

Derimod er der en signifikant forskel mellem koefficienterne til (cm vandstand 21/4), hvor $t_{26} \simeq 2.96$. En tabel over t-værdier

viser ved 99 % sandsynlighed $t_{26} = 2.779$ og ved 99.9 % sandsynlighed $t_{26} = 3.707$.

Vandstanden den 21/4 1959 har en signifikant større indflydelse på vandstanden den 20/8 1959 i bøgebevoksninger end i rødgranbevoksninger.

Der er forskel imellem de to regressionskoefficienter, men det er ikke ensbetydende med, at der i alle tilfælde er signifikante forskelle mellem sammenhørende regressionsværdier for bøg og rødgran. Ved sammenhørende regressionsværdier forstås der de to regressionsværdier, som man finder ved at indsætte samme alder og samme 21/4-vandstand i de to ligninger.

For at få et overblik over, i hvilket omfang det er muligt at påvise signifikante forskelle mellem de to planer, er der indsat et udvalg af uafhængige variable i de to ligninger. Differenserne mellem de fundne regressionsværdier er testet ved *tilnærmede* t-test.

Tabel 15. Oversigt over differensen mellem sammenhørende regressionsværdier (beregnet 28/8-vandstand) for bøg og rødgran og de beregnede, tilnærmede t-værdier for disse differenser (bøg — rødgran).

Table 15. A survey of the differences between connected regression values (computed 20/8-water-table) for beech and Norway spruce and the computed approximate t-values for these differences (beech — Norway spruce).

Ved 95 % sandsynlighed er $t_{20} = 2.09$
At probability
„ „ „ „ $t_{30} = 2.04$
„ „ „ „ $t_{40} = 2.02$

21/4-vandstand *21/4-water-table* cm	Alder, år *Age, years*		
	40	20	5
10	—60.7 cm	—68.3 cm	—84.1 cm
	$t_{36} \simeq 1.36$	$t_{30} \simeq 1.56$	$t_{25} \simeq 1.54$
30	—4.5 cm	—12.3 cm	—27.9 cm
	$t_{39} \simeq 0.16$	$t_{31} \simeq 0.42$	$t_{26} \simeq 0.61$
50	51.7 cm	43.9 cm	28.3 cm
	$t_{37} \simeq 2.66$	$t_{29} \simeq 1.97$	$t_{27} \simeq 0.64$
70	107.9 cm	100.1 cm	84.5 cm
	$t_{31} \simeq 4.24$	$t_{24} \simeq 3.40$	$t_{27} \simeq 1.69$

Tabel 15 viser disse differenser og — under hver differens — de beregnede t-værdier. Tabellen giver dermed de nødvendige oplysninger til en bedømmelse af, fra hvilken alder eller 21/4-vandstand en funden forskel i 20/8-vandstand er signifikant.

Konklusion.

Højeste, stabile vandstand betyder mere for grundvandsænkningen i vækstperioden i bevoksninger af bøg end i bevoksninger af rødgran.

Alderens indflydelse på grundvandsænkningen er ikke signifikant forskellig i bevoksninger af de to træarter.

Det indsamlede materiale tyder på, at rødgran sænker grundvandet dybere end bøg, hvor højeste, stabile vandstand er meget høj. I denne ende af skalaen er forskellene mellem træarterne dog ikke sikre. Derimod er det helt sikkert, at hvor højeste, stabile vandstand er dyb, sænker mellemaldrende bevoksninger af bøg grundvandet dybere end ligealdrende rødgranbevoksninger.

I 40 år gamle bevoksninger og ved en højeste, stabile vandstand på 50 cm er mersænkningen i bøgebevoksninger af størrelsesordenen 50 cm.

i. Sammenligning af bøg og ask.

Middeludtagelsesdybden for de 13 jordprøver, som udtoges i bøgebevoksningerne, var 198 ± 23.1 cm, og prøverne havde et middellerindhold på 19.8 ± 1.75 %.

I askebevoksningerne udtoges 7 jordprøver i middeldybden 256 ± 34.6 cm. Disse prøver havde et middellerindhold på 26.9 ± 3.37 %.

Hverken forskellen mellem middeldybderne eller forskellen mellem middellerindholdene er signifikant forskellige fra 0. For middeldybderne er den beregnede t-værdi $t_{18} = 1.43$ svarende til sandsynligheden 80 % $< p <$ 90 %, og for middellerindholdene er $t_{18} = 2.08$ svarende til 90 % $< p <$ 95 %. Det skal dog anføres, at den sidste differens ligger nær grænsen, idet $t_{18} = 2.10$ svarer til $p = 95$ %.

I bøgebevoksningerne var 21/4-vandstanden i middel 49.8 ± 2.73 cm, i askebevoksningerne 44.7 ± 2.25 cm. Differensen mellem de to træarter (5.1 cm) er ikke signifikant forskellig fra 0 ($t_{34} = 1.10$ svarende til sandsynligheden 70 % $< p <$ 80 %).

Jordbunds- og grundvandsforholdene kan derfor antages at være ens under de to træarter.

Ligningerne for de to regressionsplaner er:

Bøg: (cm vandstand 20/8) = — 98.45 + 89.07 (log alder) + 3.79 (cm vandstand 21/4)

Ask: (cm vandstand 20/8) = 81.66 + 185.72 (log alder) — 2.80 (cm vandstand 21/4).

Begge de beregnede regressionskoefficienter er signifikant forskellige fra 0 for bøgebevoksningerne (jfr. s. 324). For askebevoksningerne er ingen af de beregnede regressionskoefficienter signifikant forskellige fra 0, vel nok fordi antallet af iagttagelser er for lille.

Koefficienterne til (log alder) er ikke signifikant forskellige. Den beregnede t-værdi er $t_{30} = 0.810$ svarende til en sandsynlighed 50 % < p < 60 %. Foreløbig må det antages, at alderens

Tabel 16. Oversigt over differenserne mellem sammenhørende regressionsværdier (beregnet 20/8-vandstand) for bøg og ask og de beregnede t-værdier for disse differenser.
(ask — bøg)

Table 16. A survey of the differences between connected regression values (computed 20/8-water-table) for beech and ash and the computed t-values for these differences.
(ash — beech)

Ved 95 % sandsynlighed er $t_{30} = 2.04$
At probability
„ 99 % „ „ $t_{30} = 2.75$
„ 99.9 % „ „ $t_{30} = 3.65$

21/4-vandstand *21/4-water-table* cm	Alder, år *Age, years*			
	60	40	20	5
10	286 cm $t_{30} = 2.46$	269 cm $t_{30} = 2.38$	240 cm $t_{30} = 2.05$	182 cm $t_{30} = 1.19$
30	154 cm $t_{30} = 2.50$	137 cm $t_{30} = 2.52$	108 cm $t_{30} = 1.80$	50 cm $t_{30} = 0.45$
50	22 cm $t_{30} = 0.49$	5 cm $t_{30} = 0.17$	—24 cm $t_{30} = 0.62$	—82 cm $t_{30} = 0.82$
70	—109 cm $t_{30} = 1.20$	—126 cm $t_{30} = 1.50$	—155 cm $t_{30} = 1.83$	—214 cm $t_{30} = 1.74$

indflydelse på grundvandsænkningen i vækstperioden er den samme for bøg og ask.

Koefficienten til (cm vandstand 21/4) er i bøgebevoksningerne signifikant større end i askebevoksningerne, idet $t_{30} = 2.09$ svarer til 95 % $< p <$ 98 %.

Indsættes repræsentative værdier af uafhængige variable i de to ligninger, får man sammenhørende regressionsværdier for træarterne, som kan testes. I tabel 16 er vist differenserne mellem nogle beregnede regressionsværdier, og under hver differens er anført t-værdien for denne differens. Tabellen giver de nødvendige oplysninger til en bedømmelse af, fra hvilken alder eller 21/4-vandstand en beregnet forskel i 20/8-vandstand er signifikant.

Konklusion.

I bøgebevoksninger betyder højeste, stabile vandstand med sikkerhed mere for grundvandsænkningen i vækstperioden end i askebevoksninger. Hvor højeste, stabile vandstand er høj, er grundvandsænkningen derfor størst i askebevoksninger.

Der kan ikke påvises nogen forskel i alderens indflydelse på grundvandsænkningen i vækstperioden.

Tabel 16 viser, at ved en 21/4-vandstand på 10 cm og i 60-årige bevoksninger er mersænkningen i askebevoksninger af størrelsesordenen 280 cm, altså ganske betydelig. Det er værd at lægge mærke til, at der ikke er nogen signifikant forskel mellem træarterne under middelforhold, det vil sige, hvor højeste, stabile vandstand er ca. 50 cm.

j. Sammenligning af eg og rødgran.

I egebevoksningerne udtoges 12 jordprøver fra middeldybden 234 ± 34.4 cm. I middel havde disse jordprøver et lerindhold på 26.8 ± 3.81 %. 11 jordprøver, som blev udtaget i 208 ± 25.6 cm's dybde i rødgranbevoksningerne, havde et middellerindhold på 25.3 ± 2.82 %.

For differenserne mellem middeldybderne er t-værdien $t_{21} =$ 0.598 svarende til sandsynligheden 30 % $< p <$ 50 %. Tilsvarende findes for differensen mellem middellerindholdene $t_{21} =$ 0.31 svarende til sandsynligheden 20 % $< p <$ 30 %.

Da ingen af disse differenser er signifikant forskellige fra 0,

kan man roligt antage, at eg og rødgran vokser på sammenlignelig jordbund.

En sammenligning af 21/4-vandstandene er uden interesse, fordi der er påvist en korrelation mellem alder og 21/4-vandstand i rødgranbevoksningerne, medens en sådan korrelation tilsyneladende ikke findes i egebevoksningerne.

Ligningerne for de beregnede regressionsplaner er følgende:

Eg: (cm vandstand 20/8) = 28.42 + 150.66 (log alder) + 0.10 (cm vandstand 21/4)

Rødgran: (cm vandstand 20/8) = 31.82 + 63.16 (log alder) + 0.98 (cm vandstand 21/4).

For egeplanet er variansen 2996, for rødgranplanet 491. Varianskvotienten er 6.10. Tabeller over varianskvotienter viser ved 99.9 % sandsynlighed og $\frac{25}{16}$ frihedsgrader $v^2 = 4.85$. Spredningerne omkring de to planer er følgelig med meget stor sandsynlighed forskellige, og der må i stedet for t-test arbejdes med tilnærmede t-test.

Differensen mellem koefficienterne til (log alder) er ikke signifikant forskellig fra 0, idet $t_{39} \simeq 1.82$ svarende til sandsynligheden 90 % $< p <$ 95 %. Man mærker sig dog, at sandsynligheden for forskel i aldersindflydelse er større for eg/rødgran end ved nogen af de øvrige sammenligninger. Det er muligt, at en signifikant forskel kunne afsløres ved en udvidelse af materialet.

Koefficienterne til (cm vandstand 21/4) er heller ikke signifikant forskellige. Et tilnærmet t-test på differensen giver $t_{29} \simeq 1.05$ svarende til sandsynligheden p = 70 %.

Der er altså ingen sikker forskel i de to regressionsplaners hældninger. Det betyder imidlertid ikke, at der ikke er forskel i egens og rødgranens evne til at sænke grundvandet. Ved ovenstående er det kun de enkelte regressionskoefficienter, som er testede. Der er ikke taget hensyn til de to konstanter, og testene oplyser heller ikke noget om, hvorledes begge regressionskoefficienter taget under et for hvert plan virker.

I lighed med tidligere er der indsat et repræsentativt udvalg af uafhængige variable i de to ligninger. Tabel 17 viser differenserne mellem de således beregnede sammenhørende regressionsværdier, og under hver differens er anført den beregnede tilnær-

Tabel 17. Oversigt over differenserne mellem sammenhørende regressionsværdier (beregnet 20/8-vandstand) for eg og rødgran og de beregnede, tilnærmede t-værdier for disse differenser.
(eg — rødgran)

Table 17. A survey of the differences between connected regression values (computed 20/8-water-table) for oak and Norway spruce and the computed approximate t-values for these differences.
(oak — Norway spruce)

Ved 95 % sandsynlighed er $t_{20} = 2.09$
At probability
„ „ „ „ $t_{30} = 2.04$
„ „ „ „ $t_{40} = 2.02$

21/4-vandstand *21/4-water-table* cm	Alder, år *Age, years*		
	40	20	5
10	128 cm $t_{41} \simeq 3.49$	102 cm $t_{36} \simeq 2.82$	49 cm $t_{28} \simeq 0.99$
30	110 cm $t_{34} \simeq 4.64$	84 cm $t_{39} \simeq 3.78$	31 cm $t_{30} \simeq 0.78$
50	93 cm $t_{36} \simeq 4.97$	66 cm $t_{38} \simeq 4.18$	14 cm $t_{32} \simeq 0.38$
70	75 cm $t_{33} \simeq 2.85$	49 cm $t_{27} \simeq 2.03$	—4 cm $t_{33} \simeq 0.10$

mede t-værdi. Det fremgår, at bortset fra de tilfælde, hvor 21/4-vandstanden er meget dyb (70 cm) er forskellen mellem de to planer signifikant for alle bevoksninger, som er ældre end 20 år. For mellemaldrende bevoksninger er forskellen af størrelsesordenen 1 m.

Konklusion.

I vækstperioden sænkes grundvandet med sikkerhed dybere i sluttede bevoksninger af eg end i jævnaldrende rødgranbevoksninger, når de vokser på leret moræne med højtstående grundvand.

k. Sammenligning af eg og ask.

Middeludtagelsesdybden for de 12 jordprøver fra egebevoksningerne var 234 ± 34.4 cm, og middellerindholdet var 26.8 ± 3.81 %. 7 jordprøver i askebevoksningerne udtoges i middeldybden 256 ± 34.6 cm og havde et middellerindhold på 26.9 ± 3.37 %.

Tabel 18. Oversigt over differenserne mellem sammenhørende regressionsværdier (beregnet 20/8-vandstand) for eg og ask og de beregnede t-værdier for disse differenser.
(eg — ask)

Table 18. A survey of the differences between connected regression values (computed 20/8-water-table) for oak and ash and the computed t-values for these differences.
(oak — ask)

Ved *At*	70 %	sandsynlighed *probability*	er $t_{32} = 1.06$
„	80 %	„	„ $t_{32} = 1.31$
„	90 %	„	„ $t_{32} = 1.69$
„	95 %	„	„ $t_{32} = 2.03$

21/4-vandstand *21/4-water-table* cm	Alder, år *Age, years*			
	60	40	20	5
10	—87 cm $t_{32} = 0.84$	—80 cm $t_{32} = 0.80$	—70 cm $t_{32} = 0.67$	—77 cm $t_{32} = 0.56$
30	—29 cm $t_{32} = 0.52$	—22 cm $t_{32} = 0.47$	—12 cm $t_{32} = 0.23$	9 cm $t_{32} = 0.09$
50	29 cm $t_{32} = 0.69$	36 cm $t_{32} = 1.32$	46 cm $t_{32} = 1.44$	67 cm $t_{32} = 0.76$
70	87 cm $t_{32} = 104$	94 cm $t_{32} = 1.21$	104 cm $t_{32} = 1.37$	125 cm $t_{32} = 1.15$

Et t-test på differensen mellem de nævnte dybder giver $t_{17} = 0.42$ svarende til en sandsynlighed 30 % $< p <$ 50 %. For differensen mellem lerindholdene ser man umiddelbart, at der ikke er nogen forskel. Der er således ingen grund til at antage, at der jordbundsmæssigt er sådanne forskelle mellem de undersøgte egebevoksninger og de undersøgte askebevoksninger, at man ikke kan tillade sig en sammenligning.

Vandstanden d. 21/4-59 var i middel 43.9 ± 2.53 cm i egebevoksningerne og 44.7 ± 2.25 cm i askebevoksningerne. Man behøver ikke noget test for at konstatere, at differensen på 0.8 cm mellem de to træarter ikke er signifikant forskellig fra 0. Også med hensyn til grundvandsforholdene ser det ud til at være tilladeligt at sammenligne de to træarter.

Ligningerne for regressionsplanerne for grundvandsvingningerne under disse to træarter var følgende:

Eg: (cm vandstand 20/8) = 28.42 + 150.66 (log alder) + 0.10 (cm vandstand 21/4)

Ask: (cm vandstand 20/8) = 81.66 + 185.72 (log alder) — 2.80 (cm vandstand 21/4).

Der erindres om, at kun koefficienten til (log alder) er signifikant forskellig fra 0 for egeplanet. Ingen af regressionskoefficienterne for askeplanet er signifikant forskellige fra 0.

Differensen mellem koefficienterne til (log alder) er ikke signifikant forskellig fra 0, idet $t_{32} = 0.32$ svarende til sandsynligheden $20\ \% < p < 40\ \%$. Heller ikke differensen mellem koefficienterne til (cm vandstand 21/4) er signifikant forskellig fra 0. I dette tilfælde er $t_{32} = 1.03$ svarende til $60\ \% < p < 70\ \%$.

Et repræsentativt antal uafhængige variable er indsat i de to regressionsligninger. Tabel 18 viser differenserne mellem de sammenhørende regressionsværdier for de to træarter. Under hver differens er anført den beregnede t-værdi. Tabellen viser, at indenfor den variation i de uafhængige variable, som forekommer i det indsamlede materiale, er der ikke signifikante forskelle i den grundvandsænkning, som er målt under eg og ask. Tendensen går i retning af større sænkning under ask end under eg ved høje forårsvandstande og større sænkning under eg end under ask ved dybereliggende forårsvandspejl.

Foreløbig må det antages, at der ikke er nogen betydende forskel mellem ask og eg i denne henseende.

l. Sammenligning af rødgran og ask.

I de undersøgte rødgranbevoksninger udtoges 11 jordprøver fra en middeldybde på 208 ± 26 cm. Prøvernes lerindhold var 25.3 ± 2.82 %.

I askebevoksningerne udtoges 7 jordprøver i middeldybden 256 ± 35 cm. Disse prøver havde et middellerindhold på 26.9 ± 3.37 %.

Spredningen på de nævnte dybder og lerindhold er ikke signifikant forskellig for de to træarter. Differensen mellem middeldybderne er ikke signifikant forskellig fra 0. Den beregnede t-værdi er $t_{16} = 1.13$ svarende til sandsynligheden $70\ \% < p <$

Tabel 19. Oversigt over differenserne mellem sammenhørende regressionsværdier (beregnet 20/8-vandstand) for ask og rødgran og de beregnede, tilnærmede t-værdier for disse differenser.
(ask — rødgran)

Table 19. A survey of the differences between connected regression values (computed 20/8-water-table) for ash and Norway spruce and the computed approximate t-values for these differences.
(ash — Norway spruce)

Ved 95 % sandsynlighed er $t_7 = 2.37$
At probability
„ „ „ „ $t_8 = 2.31$
„ „ „ „ $t_{10} = 2.23$

21/4-vandstand *21/4-water-table* cm	Alder, år *Age, years*		
	40	20	5
10	208 cm $t_7 \simeq 1.87$	171 cm $t_7 \simeq 1.51$	98 cm $t_7 \simeq 0.67$
30	133 cm $t_8 \simeq 2.45$	96 cm $t_7 \simeq 1.70$	22 cm $t_7 \simeq 0.21$
50	57 cm $t_{10} \simeq 1.69$	20 cm $t_7 \simeq 0.61$	—53 cm $t_7 \simeq 0.57$
70	—18 cm $t_7 \simeq 0.70$	—55 cm $t_7 \simeq 0.67$	—129 cm $t_7 \simeq 1.02$

80 %. Ej heller er differensen mellem lerindholdene signifikant forskellig fra 0, idet den beregnede $t_{16} = 0.36$ svarende til 20 % $< p <$ 30 %.

De jordbundsfaktorer, som er målt, er så nær ens under de to træarter, at man uden videre kan sammenligne grundvandsforholdene.

Heller ikke i dette tilfælde tjener det noget formål at sammenligne 21/4-vandstandene for de to træarter, fordi denne vandstand er korreleret med bevoksningsalderen i rødgranbevoksningerne, men ikke i askebevoksningerne.

For de to træarter er beregnet følgende regressionsplaner for grundvandsænkningen fra d. 21/4 til d. 20/8.

Rødgran: (cm vandstand 20/8) = 31.82 + 63.16 (log alder) + 0.98 (cm vandstand 21/4)

Ask: (cm vandstand 20/8) = 81.66 + 185.72 (log alder) — 2.80 (cm vandstand 21/4).

Begge regressionskoefficienterne i rødgranligningen er signifikant forskellige fra 0, mens ingen af regressionskoefficienterne i askeligningen er det.

Aldersindflydelsen på 20/8-vandstanden er ikke sikkert forskellig i aske- og rødgranbevoksninger. Da spredningerne på de to regressionsligninger er forskellige, må dette testes ved et tilnærmet t-test. For forskellen mellem koefficienterne til (log alder) er $t_7 \simeq 1.03$, hvilket svarer til en sandsynlighed $50\% < p < 70\%$. Heller ikke forårsvandstandens indflydelse på 20/8-vandstanden er med sikkerhed forskellig for de to træarter. Her bliver, når forskellen mellem koefficienterne til (cm vandstand 21/4) testes, $t_7 \simeq 1.22$ svarende til $70\% < p < 80\%$.

Også for disse to træarter er der indsat et antal repræsentative værdier af de uafhængige variable i de to ligninger. Tabel 19 viser differenserne mellem de sammenhørende regressionsværdier og under differenserne de tilhørende tilnærmede t-værdier.

Kun en enkelt af differenserne afviger signifikant fra 0 (21/4-vandstand = 30 cm og alderen 40 år).

Tendensen går iøvrigt i retning af, at ask sænker grundvandet mere end rødgran ved stigende alder og/eller højere forårsvandstand.

Det skal endelig understreges, at også i dette tilfælde får spredningen på askefunktionen stor vægt, fordi der indgår så få askebevoksninger i undersøgelsen.

m. Teksturens indflydelse på grundvandsvingningerne.

Sandjorder har en mindre plantetilgængelig vandkapacitet end lerjorder. Når de øvre jordlag tømmes for plantetilgængeligt vand i vækstperioden, fjernes der derfor større vandmængder fra en lerjord end fra en sandjord, og der skal følgelig større nedbørsmængder til at erstatte fordampet vand på lerjord end på sandjord, når jordmagasinet påny fyldes. Under givne ensartede klimabetingelser kan det måske oftere ske, at en stor nedbør i vækstperioden kan fylde jordmagasinet på en sandjord end på en lerjord. Hvis begge jordtyper har højtstående grundvand, vil der måske hyppigere forekomme grundvandstigninger i vækstperioden på en sandjord end på en lerjord. I vækstperioden kan grundvandstigninger give roddrukning, og foreliggende tal har derfor tidligere ført forfatteren ind på den tankegang, at alt an-

det lige måtte skovtræer få mindre dybtsøgende rodsystemer på sandjord med højtstående grundvand end på lerjord med højtstående grundvand (se f. eks. *Holstener-Jørgensen,* 1959 d, side 522). Hvis det er tilfældet må man vente, at 20/8-vandstanden er højere, hvor jorden er sandet, end hvor den er leret.

Ved den foreliggende undersøgelse skulle man vente, at en sådan sammenhæng kunne bekræftes. I figur 37 er 20/8-vand-

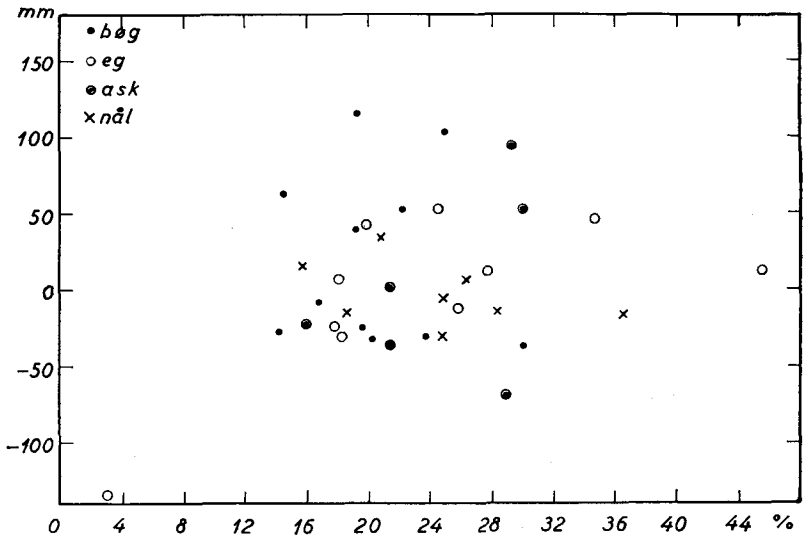

Fig. 37. 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra de beregnede regressionsplaner lagt op over de beregnede lerindhold i 200 cm's dybde (%) (jfr. fig. 3). Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 37. The deviation of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression planes superimposed on the computed clay content at the depth of 200 cm (%) (cf. Fig. 3). Deviation = measured value — regression value. (bøg = *beech;* eg = *oak;* ask = *ash;* nål = *conifers).*

standenes afvigelser fra de beregnede regressionsplaner lagt op over lerindholdene i 200 cm's dybde. Disse lerindhold er beregnet ved hjælp af grundmaterialet og regressionsligningen på side 302. For flader, hvor der er to jordprøver, er anvendt middeltallet af disse to efter korrektionen. Som man ser, er der ingen klar sammenhæng i denne figur. Kun for egebevoksningerne er der en tendens i den ventede retning, nemlig at de målte 20/8-vandstande er mindre end de udjævnede 20/8-vandstande på sandjord og større på lerjord. Tendensen skyldes imidlertid kun en

iagttagelse, og er derfor ganske uden betydning, ikke mindst hvis man tager hensyn til alle de øvrige træarter.

Når en sammenhæng af den nævnte karakter ikke kan påvises i det foreliggende materiale, kan det skyldes, at materialet ikke er egnet til at eftervise en sådan sammenhæng. Det kan dog også være, at udgangssynspunktet er galt, og at de tidligere iagttagelser er mistydet. Forfatteren er nærmest af den sidste anskuelse. De tidligere iagttagelser er fåtallige. For sandjord drejer det sig kun om en bevoksning, og det er uheldigvis sitkagran (*Henriksen*, 1958), som efter det foregående synes at sænke grundvandet meget lidt i vækstperioden. Jo mindre grundvandet sænkes i vækstperioden, desto hyppigere vil man få grundvandstigninger i nedbørsperioder, fordi der kun vil være tynde jordlag, som tømmes mere eller mindre for plantetilgængeligt vand.

I øjeblikket må man konkludere, at det ikke er muligt at afgøre, hvilken indflydelse teksturen har på grundvandsbevægelserne i vækstperioden på lokaliteter med højtstående grundvand.

5. *Diskussioner.*

a. *Diskussion af eengangsundersøgelsen.*

Ved hele den forudgående fremstilling er der i lighed med tidligere (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a og 1959b) skrevet:

Grundvandet *sænkes* af den og den bevoksning.

Heri ligger en forudsætning om, at en given grundvandstand på Bregentved er udtryk for balancen mellem skovens vandforbrug og nedbøren. Der er regnet med, 1) at der ikke sker nogen nedsivning og dyb afstrømning, 2) at der, når grundvandet er under højeste, stabile vandstand, ikke sker sideværts vandbevægelse, og 3) at der ikke trykkes vand op på grund af et hydrostatisk overtryk i de dybere liggende grundvandshorisonter.

Man behøver kun at snuse til håndbogslitteraturen om grundvand for at komme stærkt i tvivl om, at sådanne forudsætninger er holdbare. Mest sandsynlighed ville de have for sig på helt homogene, svære lerjorder. Sådanne homogene idealforhold kommer man imidlertid ikke ud for i danske moræneaflejringer. Analyseresultaterne (tabel 4) vidner om, hvordan teksturen veksler ned gennem profilerne. I svære lerlag kan være indlejret lommer eller lag af mere eller mindre groft materiale, og omvendt kan der i sandaflejringer være indlejret lag af meget finkornet materiale.

Når lejrings- og teksturforhold i jorden er så kaotiske, øjner man en arbejdsmark med muligheder for at ophobe store talmaterialer baseret på f. eks. piezometermålinger, som mere eller mindre detailleret kan oplyse om grundvandets bevægelser som funktion af nedbør, fordampning, teksturforhold, topografi med mange flere faktorer.

Forfatteren vil ikke afvise de detaillerede undersøgelsers berettigelse. I det indsamlede materiale forekommer der også et par tilfælde, hvor en omhyggelig detailundersøgelse kunne være på sin plads. Det gælder f. eks. forholdene på flade 26, 150-årig bøg i Grevindeskov, afd. 80. Her var grundvandsænkningen helt normal, og fladen er uden betænkelighed taget med ved beregningen af regressionsplanet for grundvandsænkning. Allerede ved den første store nedbør i efteråret opførte brønden sig unormalt (se Hovedtabel I). Grundvandet steg helt til toppen af brønden for derefter ret hurtigt at falde igen. Derefter fortsatte brønden med at vise store udsving i forbindelse med enhver nedbør. Brønden er derfor udskudt ved beregningen af bevoksningernes vandforbrug. Det skal bemærkes, at grundvandsvingningerne i de to nærmeste brønde (flade 68 og flade 81) har været helt normale. Afstandene mellem de tre brønde er 30—50 m.

Imidlertid har det været meningen med undersøgelsen at beskrive det generelle og (måske) tage detaillerne op senere. Ingen vil formentlig bestride, at når der kun er en enkelt væsentlig afvigelse blandt de ca. 100 iagttagelser, så bekræfter det, at alle de øvrige iagttagelser har størst almen interesse, hvad enten man betragter undersøgelsen fra en hydrologisk synsvinkel eller fra skovdyrkerens synsvinkel.

Efter forfatterens skøn tyder resultaterne på, at forudsætningen om, at grundvandstanden i undersøgelsesområdet er et udtryk for balancen mellem fordampning og nedbør, er holdbar. Den efterfølgende diskussion skal belyse dette lidt nærmere.

Som udgangspunkt for en diskussion kan man opstille en vandbalanceligning for det undersøgte område (se *Koehne*, 1928 og *Lyshede*, 1955):

$$\varphi h = N - F - (A_o + A_u) + t,$$

hvor

φ = den vandmængde, som frigøres pr. volumenenhed jord ved sænkning af grundvandspejlet. (Spezifische Wasserlieferung, specific yield).

h = mm ændring af grundvandstanden
N = mm nedbør i undersøgelsesperioden
F = mm fordampning fra jord og vegetation
A_o = mm overfladisk afstrømning gennem de øvre porøse jordlag til grøfter og andre vandløb
A_u = mm afstrømning i jordens dybere lag i form af en grundvandsafstrømning
t = mm grundvandstilstrømning til området.

Man bemærker, at enhederne er de samme i alle tilfælde som ved nedbørsmålinger, nemlig mm pr. fladeenhed.

h = mm ændring i grundvandstanden er den størrelse, som er observeret ved undersøgelsen, idet den er differensen mellem 21/4-vandstanden og 20/8-vandstanden (målt i cm).

Problemet er, hvilken indflydelse vandbalanceligningens øvrige led har på denne størrelse *i undersøgelsesperioden*. Dette skal der tages stilling til i det følgende, idet ligningens led gennemgås et for et.

1. *N = nedbøren:* Det undersøgte område er så stort, at man ikke kan forvente, at de enkelte prøveflader har fået ganske samme nedbør i perioden. I selve området ligger tre meteorologiske stationer, som måler nedbør: *Karise, Haslev* og *Tureby*. Stationerne Karise og Haslev ligger ved byerne af samme navn (figur 2, side 289). Station Tureby ligger ved skovfogedboligen i Grevindeskovens vestkant, omtrent midt mellem flade 65 og flade 39. Tabel 24, side 421, giver en oversigt over månedsnedbøren i 1959/60 for disse stationer. I månederne april til august 1959, som er af interesse i denne forbindelse, er nedbøren med en undtagelse temmelig ensartet i området. Undtagelsen er juli måned, hvor Haslev og Tureby har fået 76 mm og 89 mm, mens Karise har fået 34 mm. Inspektion af nedbørstallene i 1959/60 for et større antal stationer end de tre anvendte, har ikke givet indtryk af, at der findes meget klare lovmæssigheder for nedbørsfordelingen i området i 1959, så det synes ikke muligt at foretage en korrektion for nedbørsulighederne.

Man kan dog spore en tendens i materialet, som eventuelt kan tydes som en virkning af nedbørsvariationen i området. Hvis man nemlig tænker sig området delt i to delområder, et med stor julinedbør (Tureby-Haslev-nedbør) og et med lille julinedbør

(Karise-nedbør), må man vente, at 20/8-vandstanden er højest, hvor julinedbøren er størst. Til en grov belysning af sagen kan man lade hovedvej 2 være skel og undersøge, hvorledes de målte 20/8-vandstande er i forhold til de beregnede 20/8-vandstande henholdsvis øst for hovedvej 2 (lille julinedbør) og vest for hovedvejen (stor julinedbør).

Det viser sig, at øst for hovedvejen har 30 flader dybere vandstand end ventet efter de beregnede 20/8-vandstande for bøg, eg, rødgran og ask, mens 22 flader har højere 20/8-vandstand.

Vest for hovedvejen har 11 flader dybere vandstand, mens 20 flader har højere vandstand.

Når disse klare forskelle i fordelingerne kun tydes som en tendens i den ventede retning, skyldes det dels, at der ikke kan findes klare lovmæssigheder i nedbørsfordelingen, dels at fordelingerne er baseret på beregnede størrelser, som er påvirket af nedbørsfordelingen.

På den anden side er der ikke grund til at antage, at nedbørsulighederne har influeret på de endelige beregningsresultater, alder — 21/4-vandstand — 20/8-vandstand — regressionerne for de enkelte træarter. En sådan indflydelse kunne ventes, hvis træartsfordelingen eller aldersfordelingen for de enkelte træarter var ensidig indenfor området. Det er ikke tilfældet, hvilket man let kan overtyde sig om ved en detailleret gennemgang af figur 2 (side 289).

2. A_0 = *overfladisk afstrømning.* Betegnelsen „overfladisk afstrømning" anvendes her i landet om den sideværts afstrømning gennem de øvre, grovporerige jordlag til grøfter og videre gennem disse til vandløb, som leder vandet til havet (jfr. *Lyshede,* 1955). Denne afstrømning må ikke forveksles med afstrømning, f. eks. i tøperioder eller under stærke regnskyl, hvor vandet løber ovenpå jordoverfladen til naturlige vandløb eller vandløb, som opstår i forbindelse med aftøningen eller regnskyllet (vildbække). Den sidste form for afstrømning er almindeligvis uden betydning her i landet (*Lyshede,* 1955), specielt gælder det meget flade områder som de midtsjællandske moræneflader med ringe terrænhældninger.

Tidligere iagttagelser (*Holstener-Jørgensen,* 1959 a) har klargjort, at under Bregentved-betingelser vil grundvandet i vinterperioden ofte stå meget højt lige efter nedbør eller smelt-

ning af snelag, men i løbet af få dage vil vandstanden falde som følge af sideværts afstrømning gennem de øvre, grovporerige jordlag til grøfterne. Vandstanden synker kun til en bestemt dybde (en grænseværdi), som af forfatteren er betegnet som højeste, stabile vandstand. Denne dybde er sammenfaldende med en horisontgrænse i jorden, hvor grovporeindholdet bliver lavt. Når denne vandstand er nået, ophører lokale stikgrøfter med at være vandførende, og de fører først vand igen, når grundvandstanden overstiger højeste, stabile vandstand.

Sådan som den overfladiske afstrømning er opfattet her, kan den ikke have nogen indflydelse på 20/8-vandstanden, og den brug, som i det foregående er gjort af denne størrelse.

3. A_u = *undergrundsafstrømningen* = *nedsivningen*. Ved at fjerne en del af den fordampende vegetation på et skovbevokset areal, f. eks. ved en kraftig tynding eller ved en renafdrift, ændres grundvandsregressionen i vækstperioden, også i år, hvor nedbøren i vækstperioden er så lille, at den på intet tidspunkt kan fylde rodrummet med vand til grundvandspejlet, så der kommer en grundvandstigning. Det fremgår af eksperimentet med lysstilling og renafdrift, som er beskrevet foran (side 276—285). Der kan således ikke være tvivl om, at hvor grundvandet som på Bregentved er højtstående, der har fordampningen fra vegetationen en andel i grundvandspejlets nedadgående bevægelse i vækstperioden.

På forhånd må man vente, at en del af grundvandsænkningen skyldes nedsivning.

I lighed med *Hauch og Milthers* (1928 s. 4—5) antager forfatteren, at den moræneflade, som Bregentvedskovene ligger på, har sin egen selvstændige grundvandsøkonomi, som er uafhængig af udenfor liggende højdedrag.

En række punkter kan belyse, om der er en væsentlig nedsivning til en dybtgående grundvandstrøm i området, og af hvilken størrelsesorden en sådan nedsivning er.

a. Såfremt nedsivning var af større betydning i området, måtte man vente, at grundvandspejlet veg med større hastighed på de højestliggende flader end på de lavestliggende flader. I afsnittet om topografiens indflydelse på grundvandsvingningerne er det demonstreret, at der ikke er en klar sammenhæng mellem

de makrotopografiske forhold og grundvandsvingningerne (side 308, ff.).

I det nævnte afsnit er der lagt vægt på at skelne mellem makrotopografien (aflæsning på målebordsblade) og lokaltopografien, som ikke kan beskrives ved hjælp af målebordsblade.

De lokaltopografiske forhold har spillet en betydelig rolle ved driftsplanlægningerne på Bregentved, og der har været fulgt en fast linie med hensyn til træartsvalget, lige siden *L. A. Hauch* i 1886 tiltrådte stillingen som forstinspektør på distriktet. De lokaltopografiske forhold må have ganske samme betydning for nedsivningen, om de har nogen, som de makrotopografiske forhold. Som følge af udjævningen af de hydrostatiske kræfter må man vente en forholdsvis mindre grundvandsænkning på mindre, lave partier end på de omgivende højere partier. På Bregentved har hovedsynspunkterne ved træartsvalget været, at bøgen skulle placeres på de forholdsvis højtliggende arealer, som er mindst vandlidende, mens egen med tiden skulle glide ind på de lavere, mere vandlidende arealer. Ask har overvejende været de små arealers træart og er anvendt i holme på lav bund i bøgeskoven og rødgranskoven (se *Jagd*, 1960). Når man betænker, at denne linie har været fulgt for hovedparten af det alderspand, som er undersøgt (1886—1959 = 0—73 år), må man medgive, at de lokaltopografiske forhold ikke kan have synderlig stor indflydelse på grundvandstandene. Man måtte nemlig i så tilfælde vente, at 20/8-vandstandene for eksempel var højere under eg end under bøg, og det modsatte er med stor sikkerhed tilfældet. Træarternes indflydelse på grundvandsvingningerne overskygger altså ganske en eventuel nedsivning.

b. Eksperimentet med renafdrift og lysstilling af en bøgebevoksning (side 276—285) viser, at både renafdrift og lysstilling giver et mindsket vandforbrug. Såfremt nedsivning betød noget væsentligt i grundvandsbalancen, ville man vente en udjævning af forskellene mellem de forskellige parceller i et tørkeår, hvor nedsivningen måtte være det væsentligste led i slutningen af vækstperioden. Det større hydrostatiske tryk på de behandlede parceller end på kontrolparcellerne måtte bidrage til en sådan udjævning. De foreliggende tal tyder ikke på, at der sker en sådan udjævning.

c. Når der ikke kan påvises en klar sammenhæng mellem terrænforhold og 20/8-vandstande, må det hænge sammen med, at jordbundsforholdene ikke tillader nævneværdige vandbevægelser. Dette bekræftes af følgende iagttagelse i marken:

En grøft, som afvander en afdeling, hvor grundvandet stiger tidligt, kan gennem lang tid føre vand gennem en række afdelinger, uden at der sker grundvandstigninger i disse. Det er for eksempel iagttaget i Olstrup skov. På flade 6 blev 21/4-vandstanden nået omkring d. 28/12 1959. Resten af vinteren var hovedgrøften fra denne bøgeafdeling vandførende. Grøften passerer gennem flade 36 (eg) i ca. 10 m's afstand fra grundvandsbrønden, men først den 8/3 1960 er der registreret en grundvandstigning på denne flade (Hovedtabel I).

Sammenfattende tør man efter ovenstående antage, at leddet A_u = undergrundsafstrømningen ikke kan være af større betydning i det undersøgte område. Størrelsesordenen tages op til diskussion ved omtalen nedenfor af φ.

4. t = *grundvandstilstrømning:* Under omtalen af A_u er det med støtte hos *Hauch og Milthers* (1928) fastslået, at det undersøgte område må have sin egen grundvandsøkonomi. Grundvandstilstrømningen må derfor betragtes som et lokalt fænomen i denne forbindelse.

Man kunne tænke sig, at der skete en grundvandstrømning fra højereliggende partier til lavereliggende partier. Imod denne tankegang strider alle de argumenter, som er fremført ovenfor under omtalen af A_u.

Derudover kan fremføres endnu et argument. Hvis de beregnede ligninger for sammenhængen mellem 20/8-vandstande, 21/4-vandstande og bevoksningsaldre er udtryk for „middelforholdene" i undersøgelsesområdet, så kan man forestille sig, at hvor målt 20/8-vandstand er dybere end beregnet 20/8-vandstand, der er der sket en nedsivning. I de tilfælde, hvor målt 20/8-vandstand er højere end beregnet, kunne man forestille sig, at der var sket en grundvandstilstrømning. Med andre ord, spredningerne om vandstandsfunktionerne skulle for en væsentlig del være udtryk for A_u og t.

Ved de følgende undersøgelser af, hvor meget vand, der bruges til at fylde jorden op, så grundvandet når 21/4-vandstanden efter vækstperioden, er det vist, at vandforbruget er korreleret

med 20/8-vandstanden. Jo dybere 20/8-vandstand, desto større vandforbrug. Efter udjævning (se figurerne 74—77) er der en restspredning omkring frihåndskurverne, som man ligeledes kan tænke sig dækker over henholdsvis nedsivning (afstrømning) og tilstrømning af grundvand. Hvor det observerede vandforbrug er større end ventet efter frihåndskurverne, kan det skyldes nedsivning og afstrømning, hvor det observerede vandforbrug er mindre end ventet efter frihåndskurven, kan det være udtryk for, at der er sket en tilstrømning af grundvand.

Hvis hypotesen er rigtig, må afvigelser i 20/8-vandstande og afvigelser i „vandforbrug" være positivt korrelerede.

I figur 38 er vandforbrugsafvigelserne (målt værdi — værdi efter frihåndskurve) lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser fra regressionsværdierne for træarterne eg, bøg og rødgran. Det bemærkes, at for egebevoksningerne er der tale om vandforbrugsafvigelserne fra bøgeudjævningskurven (jfr. figur 75). Det be-

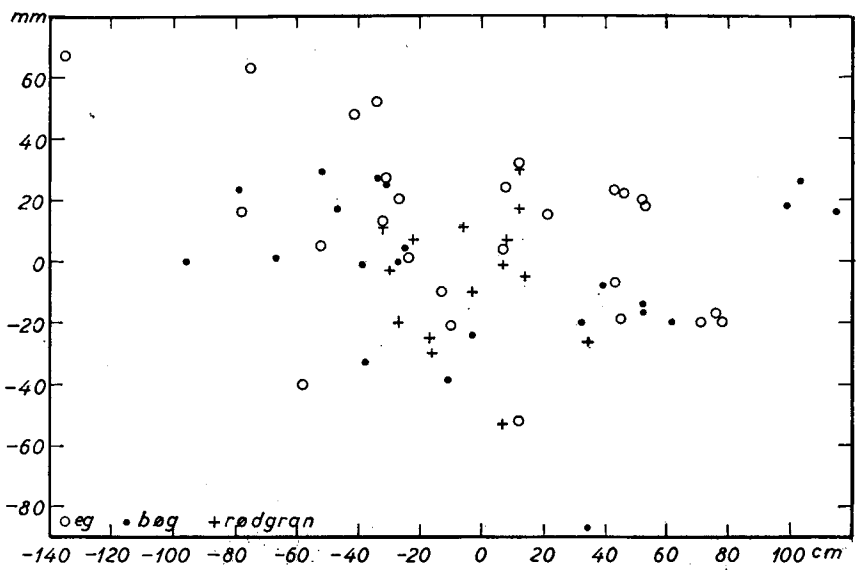

Fig. 38. De beregnede vandforbrugs afvigelser fra udjævningskurverne (mm) lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser fra de beregnede regressionsplaner. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 38. The deviations of the computed water consumptions from the correction curves (mm) superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables from the computed regression planes. Deviation = measured value — regression value. (eg = *oak;* bøg = *beech;* rødgran = *Norway spruce).*

tyder, at punkterne for egebevoksningerne ligger lidt for højt i forhold til bøge- og rødgranbevoksningerne.

Figuren viser, at der ikke er nogen klar korrelation for bøg og rødgrans vedkommende. For eg er der en negativ korrelation. Tager man alle træarter under et, er der en svag negativ korrelation. *Det vil sige, at hele tendensen i materialet er i modstrid med, hvad man måtte vente, hvis grundvandstilstrømninger og grundvandsafstrømninger havde nogen væsentlig indflydelse.*

5. φ = *„spezifische Wasserlieferung"*. Som det fremgår af ovenstående udredninger under punkt 3 og punkt 4 er der ikke i materialet holdepunkter for, at dyb afstrømning (nedsivning) eller tilstrømning af grundvand influerer væsentligt på 20/8-vandspejlets beliggenhed i jorden. Efter forfatterens mening kan man i og for sig uden videre efter det foreliggende negligere de to faktorer. Det kan imidlertid være nyttigt ganske kort at se på, hvilken størrelsesorden de nævnte størrelser kan have.

Koehne (1928, s. 20) angiver eksempelvis, at en lerjord har en φ-værdi på ca. 2 %. Det betyder, at for at sænke grundvandspejlet 10 cm (100 mm) skal der fjernes vand svarende til 2 mm nedbør. *Holstener-Jørgensen* (1958 b, side 190—191) demonstrerer, at for jord med samme tekstur som på Bregentved er φ af størrelsesordenen 1 %, det vil sige, at fjernelse af 1 mm vand giver en grundvandsænkning på 10 cm.

Ganske bortset fra, at det ikke er lykkedes at sandsynliggøre, at der er dyb grundvandsafstrømning eller grundvandstilstrømning i undersøgelsesområdet, kan det fastslås, at sådanne fænomener kun betyder lidt i vandbalancen. Hvis grundvandspejlet viger 10 cm pr. måned som følge af nedsivning, betyder det, at der hvert år forsvinder 10—15 mm nedbør fra området ved dyb grundvandsafstrømning. Værdier af denne størrelsesorden er uden praktisk betydning f. eks. i forhold til beregnede vandforbrug ved vegetationens fordampning af størrelsesordenen 300—500 mm pr. år.

6. *F = fordampning fra jord og vegetation.* Dette led i vandbalanceligningen er gemt til sidst. I det foregående er det vist, at hvis de øvrige af ligningens led overhovedet har nogen indflydelse på grundvandsænkningen, så er denne indflydelse meget ringe.

For praktiske formål og for de videre betragtninger tør man derfor regne med:

at en given grundvandstand på Bregentved (og i lignende områder) er udtryk for balancen mellem enkeltbevoksningernes vandforbrug og nedbøren.

Det må herefter antages, at 20/8-vandstandene er mål for bevoksningernes forskellige evne til at udnytte jordvandsreserver, det vil sige, at de er mål for de *effektive rodrums* dybder i de undersøgte bevoksninger.

Man kunne vente et forbehold i retning af, at resultaterne kun gælder for tørkeåret 1959. Hvis man tænker i absolutte værdier, er et sådant forbehold nødvendigt. Det er ikke tænkeligt, at den absolutte roddybde i en bevoksning ændrer sig meget fra år til år som følge af skiftende klimatiske forhold. Derimod er der næppe tvivl om, at det relative forhold mellem træarterne, mellem bevoksninger med forskellig højeste, stabile vandstand og mellem forskelligaldrende bevoksninger har almen gyldighed. En sådan antagelse støttes af tidligere undersøgelser (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a). Endvidere kan der peges på, at i eksperimentet med lysstilling og renafdrift (se s. 276—285) bevares forholdet mellem de forskellige parceller fra år til år. Endelig skal det nævnes, at undersøgelserne i de 99 bevoksninger på Bregentved, som er gennemført i det følgende år (1960/61), giver resultater på linie med de, som publiceres i nærværende beretning.

Undersøgelsen har altså vist, at det effektive rodrum bliver dybere jo ældre bevoksningerne bliver. Dette gælder for alle de træarter, hvor materialet har været stort nok til en sikker statistisk bedømmelse. Resultatet, kan man dog med sindsro antage, gælder for alle andre træarter.

Dette er i overensstemmelse med de resultater, som er fundet ved undersøgelser af rodsystemers udvikling i dybden i bevoksninger med forskellige aldre. Der er kun få gode undersøgelser af denne art.

Preston (1942) har undersøgt rodudviklingen i plantager af lodgepole pine. Han fandt en snæver korrelation mellem rodudviklingen (såvel i dybden som den totale rodlængde) og bevoksningsalderen. De undersøgte bevoksningers aldre varierede mellem 1 år og 15 år. Han har altså arbejdet i det aldersinterval,

hvor der her i beretningen er fundet den kraftigste (fra år til år) dybdeudvikling.

Kalela (1950) har fundet ganske den samme udvikling i bevoksninger af rødgran og bevoksninger af skovfyr i Finland. I fyrrebevoksningerne (16) varierer alderen imellem 10 år og 100 år, i rødgranbevoksningerne (19) mellem 25 år og 135 år. Hans materiale, som ikke er statistisk bearbejdet, viser, at dybdeudviklingen er dybere og længerevarende (stejlere kurve) i skovfyrbevoksningerne end i rødgranbevoksningerne. Det svarer til forholdene for f. eks. eg overfor bøg i nærværende materiale.

Blandt de godt underbyggede undersøgelser kan også nævnes et arbejde af *Erteld* (1942). Han viser, at der i bevoksninger af forskellig alder er en temmelig snæver korrelation mellem træhøjden og største roddybde hos træarterne skovfyr, birk og hvidel. Det vil formentlig sige, at der er en temmelig snæver korrelation mellem alder og roddybde; men en sådan korrelation lader sig dog ikke med fuld sikkerhed drage ud af artiklen.

Ud over, at undersøgelserne viser den nævnte aldersafhængighed, viser de også visse karakteristiske forskelle mellem ligealdrende træarters rodrumsdybde på den undersøgte lokalitet. Det skal først slås fast, at der ikke på dette sted i beretningen skal diskuteres problemer som stormfasthed og sundhedsforhold. Disse ting tages op til debat andetsteds i afhandlingen (s. 412—417).

Egens og *askens* rodrumsdybde synes overvejende at være en funktion af bevoksningsalderen. Der er ikke nogen væsentlig forskel mellem disse to træarter. Under middelbetingelser i undersøgelsesområdet, det vil sige ved en højeste, stabile vandstand på 50 cm, har *egen* det dybeste rodrum af de træarter, for hvilke der er et rimeligt antal iagttagelser. *Egens* rodrum er dybere end rødgranens indenfor hele den variationsbredde af højeste, stabile vandstande, som er undersøgt. Eg og ask synes ikke at være særlig grundvandsfølsomme.

Bøgen er en grundvandsfølsom træart. Dens rodrumsdybde er i første række afhængig af, hvordan højeste, stabile vandstand er. Under middelbetingelser følger den efter *eg* med hensyn til rodrumsdybde. Man mærker sig, at hvor højeste, stabile vandstand er dyb (70 cm f. eks.), er der ingen sikker forskel mellem de to træarter. Tendensen går i retning af, at bøgens rodrum er dybere end egens under disse forhold.

Som den næste i rækken følger *rødgranen*. Den er også grundvandsfølsom, idet dens rodrumsdybde som bøgens er en funktion af højeste, stabile vandstand. Den synes imidlertid at være noget mindre følsom end bøgen, idet der er en tendens til, at dens rodrum er dybere end bøgens, netop hvor grundvandsforholdene er mest ugunstige. Dette rimer meget godt med, at rødgran i reglen klarer sig ganske godt på moser, hvor bøgen ikke kan trives.

Det er rimeligt, som man almindeligvis gør, at anse rødgranen for en træart med et relativt fladt rodsystem i forhold til andre træarter. Under det, man vil anse for gunstige grundvandsbetingelser på svær jord, det vil sige ved en dyb højeste, stabile vandstand, er rødgranens rodrum fladere end de træarters, som er nævnt først i rækken.

Sitkagran kommer ind som den sidste i rækken. Dens rodrum er væsentlig fladere end rødgranens under de givne betingelser. Det må derfor også antages, at den er den mest grundvandsfølsomme træart af de her nævnte.

I hovedtrækkene strider denne rækkefølge med hensyn til rodrumsdybder og grundvandsfølsomhed ikke mod de almindelige forstlige forestillinger. Der er derfor ikke grund til at trække en række litterære arbejder om dette og beslægtede emner ind i diskussionen.

Der er dog grund til at nævne et par ting.

Ask angives af flere forfattere at have et stort antal overfladiske, fladtstrygende rødder (*Friis*, 1891 og *Jagd*, 1960). En enkelt (*Ladefoged*, 1956, s. 500) går så vidt som til at konstatere: „På lerjord har egen pælerod og bøgen hjerterod, der begge søger i dybden, hvorfor en relativt stor del af rødderne vokser i de dybereliggende jordlag, der forholdsvis sent udtørres.

På lerjord har asken derimod en udpræget skiverod med hovedparten af rødderne i de øverste 10—20 cm af jorden, der relativt hurtigt kan udtørres".

Her føler man trang til endnu et citat. *Coile* (1952, s. 336) skriver: „A considerable volume of material has been written into textbooks of forest ecology and silvics in attempts to classify the root systems of trees into deep-rooted, shallow-rooted, with or without tap roots, and intermediate classes. This has been done without much quantitative evidence".

Det er rimeligt, at asken i lighed med alle andre træarter har

mange fladtstrygende rødder på svær, våd jord. Det er muligt, at askens overfladerødder er særlig sejge og derfor særlig generende ved kulturarbejder (jfr. *Friis*, 1891). Ud fra en økologisk synsvinkel (vandbalance) er der imidlertid ikke tvivl om, at asken *under sammenlignelige forhold* har et dybere, effektivt rodrum end bøg på våd, svær lerjord og vel nærmest er på højde med egen. I denne forbindelse er „the quantitative evidence" også den, at vandforbruget i vækstperioden er en direkte funktion af rodrumsdybden (jfr. s. 433).

Henriksen (1958) lægger i sin monografi om sitkagran stor vægt på, „at sitkagranens vækstmæssige udvikling ofte er uberegnelig, formentlig på grund af dens evne til dybdeudnyttelse" af jorden (l. c. s. 357). Formeningen er baseret på en enkelt iagttagelse i Gludsted plantage. Iagttagelsen er af noget tvivlsom værdi, og den bør næppe ekstrapoleres til at gælde i mere end dette ene tilfælde.

På Bregentveds lermoræne med højtstående grundvand er sitkagrans effektive rodrum uomtvisteligt mindre dybt end rødgrans i undersøgelsesåret 1959.

Endelig skal endnu et punkt omtales. Der er for rødgranbevoksningerne fundet en snæver korrelation mellem bevoksningsalderen og 21/4-vandstanden. Man kunne forestille sig, at det skyldes, at 21/4-vandstanden ikke er et godt udtryk for højeste, stabile vandstand. Hvis nemlig de ældste rødgranbevoksninger havde et meget større vandforbrug end de yngste i vinteren og det tidlige forår før den 21/4 1959, kan det have medført, at 21/4-vandstanden afveg fra højeste, stabile vandstand, og at afvigelsen var stigende med bevoksningsalderen.

Imidlertid er der en snæver korrelation mellem 21/4-vandstanden i 1959 og den tilsvarende vandstand i foråret 1960. 1960-vandstanden er lidt højere (16 $\pm$ 1.9 cm), men alle afvigelserne har samme fortegn. Man kan dårligt tænke sig, at situationen var ganske den samme i foråret 1959 og i foråret 1960, hvis ikke det skyldes, at begge disse vandstande er gode udtryk for højeste, stabile vandstand.

De ældste rødgranbevoksninger vokser altså på jord, som fra naturens hånd er bedre drænet end den jord, som de yngste bevoksninger vokser på.

Det er interessant, fordi det betyder, at man ikke ud fra dyrkningsresultatet i de ældste bevoksninger (produktion, kvalitet,

stormfasthed, sundhed) kan forudsige dyrkningsresultatet i de yngre og yngste bevoksninger. Med andre ord er de lokale erfaringer (jfr. *Jagd*, 1960) ikke helt værdifaste, hvis de hviler på en sådan prognose.

b. Diskussion af litteraturen om skovens indflydelse på grundvandstanden.

Efter gennemgangen af litteraturen om skovens indflydelse på grundvandstanden blev der lovet en diskussion af de ældre undersøgelsers relevans. Når den blev udskudt, var det, fordi en sådan diskussion uden kendskab til resultaterne af de her fremlagte undersøgelser ville få et noget for spekulativt præg.

Der kan gennemføres nogle grænsebetragtninger vedrørende muligheden for at løse problemet om skovens indflydelse på grundvandstanden. Man kan først tænke sig det tilfælde, at grundvandet står højt, og at nærliggende vandreservoirer (søer, floder, højereliggende arealer med grundvandsreserver) og jordbundsforholdene (sand) betinger, at det ved evapotranspirationen forbrugte grundvand erstattes ved tilflydning fra siden. Under sådanne betingelser kan man ikke gøre sig synderligt håb om, at man kan måle dybere vandstand i vækstperioden under en skovtræbevoksning end under en landbrugsafgrøde. *White* (1932), *Troxell* (1936) og *Kausch* (1957) har imidlertid vist vej. Ved at måle størrelsen af de daglige grundvandsvariationer vil man efter fornøden bearbejdning kunne få værdier til belysning af forskellige bevoksningers evapotranspiration under varierende fordampningsbetingelser.

Ebermayer og Hartmann (1904, cit. efter Ijjàsz), og *Ijjàsz* (1938/39) og formentlig også andre har ret, når de under visse betingelser ikke finder målelige forskelle i vækstperioden mellem grundvandstanden under skov og grundvandstanden på friland. Deres teknik har imidlertid været forkert. Man undrer sig over, at *Ijjàsz* ikke har udnyttet sit kendskab til *White*, men blot citerer hans undersøgelse i afhandlingens indledende afsnit (l. c. 1938, s. 172). Nærmere betegnet er det i afsnittet om lufttrykkets indflydelse på grundvandstanden. Man aner i hans figur 1 og 2 (l. c. 1938, s. 170—171) dagvariationer, som kan sættes i forbindelse med evapotranspirationen. *Ijjàsz* søger dog kun virkningen af lufttryksændringer og (l. c. 1938, s. 186) kondensationer.

Man kan derefter gå over til at undersøge problemet på en lokalitet, hvor grundvandstanden er høj, og hvor grundvandet er stagnerende eller i meget langsom bevægelse. Situationen er kendt fra lerjorder og fra tørv. På sådanne lokaliteter vil nogle træarters vækst og „evne" til at sænke grundvandet afhænge af højeste, stabile grundvandstand. I det fremlagte materiale gælder det med sikkerhed bøg og rødgran. *Det betyder, at det er nødvendigt at kende højeste, stabile vandstand for overhovedet at kunne foretage sammenligninger*, hvilket man ikke tidligere har været opmærksom på. Det er her i beretningen videre vist, at sænkningen af vandspejlet er en funktion af bevoksningsalderen.

Vil man, som f. eks. *Hesselman* (1917) sammenligne to træarter (lærk og rødgran), kan man derfor ikke blot ved et nivellement sikre sig sammenlignelighed. Sammenligning er i hans tilfælde ikke tilladelig, fordi højeste, stabile vandstand, som det fremgår af hans vintervandstande, må antages at være højere i rødgranbevoksningen end i lærkebevoksningen. Den fundne forskel mellem lærk og rødgran i sommervandstand kunne man lige så godt have fundet, hvis lærkebevoksningen havde været en rødgranbevoksning. Det er i denne forbindelse en yderligere støtte for antagelsen om oprindelige vandstandsforskelle, at grænsen mellem lærkebevoksningen og rødgranbevoksningen er meget ujævn. En virkelig „kulturgrænse" ville formentlig være retliniet.

Det er muligt, at *Kokkonen*'s undersøgelse (1923) lider under de samme svagheder. Her mangler imidlertid det fornødne materiale til en bedømmelse. Det er trods alt nærliggende at ekstrapolere iagttagelser på Bregentved. Rødgranmaterialet viste en signifikant korrelation mellem 21/4-vandstand og alder. De ældste rødgranbevoksninger er plantet på tørrere jorder end de yngste. De finske moseundersøgelser er foretaget på udgrøftede moser. Mosegrøftningen har været landvinding, og ved landvinding løser man først de letteste (og billigste) opgaver. Man kan nære mistanke om, at *Kokkonens* ældste bevoksning er startet på et andet (bedre) grundlag end den yngste.

Rakhmanov (1959) demonstrerer, at *Henry*'s (1903) grundvandskurver for skov og friland forløber med lige stor afstand og konstaterer, at så er der ikke den fornødne hydro-geologiske sammenlignelighed mellem de to arealer. Allerede *Huffel* (1904)

har været inde på samme tankegang. Grundvandspejlet ligger temmelig dybt på *Henry*'s lokaliteter. På friland er højeste vandstand f. eks. i det ene tilfælde ca. 2 m og dybeste vandstand ca. 3 m. De tilsvarende værdier for sammenligningsfladen i skov er 4 m og 5 m. Hvis man kan anlægge samme synspunkter på et så dybtliggende grundvand som på det højere grundvand på Bregentved, så viser *Henry*'s målinger eventuelt en *stærkere grundvandsregression* på friland end i skoven. Iøvrigt kan man ikke helt sidde en bemærkning af *Ijjász* (1939, s. 34) overhørig. Han mener med rette, at *Henry*'s grundvandspejl er flodpåvirkede. I så fald må man anvende den tidligere gennemgåede metodik: sammenligning af døgnvariationer.

Vanskeligst at vurdere er de klassiske russiske undersøgelser i steppeområdet, som nu er suppleret med nyere iagttagelser (*Grudinskaya og Shpak*, 1959). Den svære jord (30—50 % korn mindre end 1 μ efter *Grudinskaya og Shpak*) gør det efter danske erfaringer ikke videre sandsynligt, at hele grundvandsregressionen under skov kan forklares ad hydro-geologisk vej, som *Rakhmanov* og *Engler* vil gøre det. Det er dog umuligt at vurdere undersøgelserne uden et meget indgående kendskab til klimaforhold og jordbundsforhold.

Rakhmanov's påstand (1959, s. 194), at renafdrifts indflydelse på grundvandstanden (forsumpning) ikke kan tages som bevis for skovs udtørring af jorden, gælder under hans forudsætninger. Han forudsætter, at den renafdrevne flade er vegetationsfri i flere år. Noget sådant er imidlertid ikke tilfældet f. eks. på Bregentved. Her vil jorden senest efter et års forløb være dækket af et meget yppigt græstæppe. Græsarterne er sådanne, som tages som tegn på en forsumpning.

Forfatterens kommentarer har hele tiden forudsat, at det med den rigtige teknik altid vil være muligt at påvise forskelle i forskellige bevoksningers påvirkning af grundvandspejlet. Det er ikke tilfældet.

Forskellig sænkning er ensbetydende med forskelligt aktuelt vandforbrug. Forskelle i aktuelt vandforbrug kan forekomme, hvis to bevoksninger har forskelligt effektivt rodrum. Jo dybere effektivt rodrum, desto større er det aktuelle vandforbrug. Det er ved denne tankegang forudsat, at det aktuelle vandforbrug er mindre end det potentielle. Det potentielle vandforbrug er det

vandforbrug, som en afgrøde har, hvis planterne hele tiden har optimal vandforsyning.

På visse lokaliteter og i hvert fald i visse år med stor nedbør må det aktuelle vandforbrug være lig med det potentielle vandforbrug. Hvis man ser på et kort over nedbørsdeficiter i Europa (*Mohrmann og Kessler*, 1959) vil man f. eks. bemærke, at nedbørsdeficiterne mindskes, jo længere man kommer mod nord. Det betyder, at man på nordlige lokaliteter vil få et lille eller umåleligt udslag ved grundvandsundersøgelser i f. eks. to forskelligaldrende bevoksninger, simpelthen fordi den aktuelle fordampning uanset roddybder vil være meget nær den potentielle fordampning. Den russiske konklusion (se litteraturoversigten side 245) om faldende grundvandsregression med stigende humiditet er uomtvistelig, selv om den måske er baseret på et dårligt materiale.

Af ovenstående fremgår det, at man alt i alt, bortset fra *White* og *Troxell*'s arbejder, ikke kan have megen tiltro til de tidligere undersøgelser.

I det store og hele har konklusionerne, som er baseret på disse undersøgelser, været rigtige, men det kan betegnes som et held, idet undersøgelserne er beheftet med store svagheder.

På den anden side må man medgive forskerne, dels at de formentlig har været i god tro, dels at de har indlagt sig fortjeneste ved at rejse problemet.

IV. OM GRUNDVANDETS INDFLYDELSE PÅ SKOVEN.

1. *Indledning.*

Der er i det foregående gjort rede for grundvandsænkningen under bevoksninger af forskellige træarter og forskellige aldre. Der opstilledes funktioner for hver træart, som viste, at den målte sænkning var en funktion såvel af bevoksningsalderen som af forårsvandstanden. Funktionerne var forskellige for de forskellige træarter. De påviste sammenhænge og forskellene mellem træarterne indicerer, at det, som registreres ved grundvandsmålingerne, er forskelle i træarternes evne til dybdeudnyttelse af jorden, kort sagt forskelle i roddybde. Det er den mest nærliggende årsagssammenhæng.

Erkendelsesteoretisk er det af værdi at kende en sådan årsagssammenhæng, men praksis kan ikke stille meget op med den, hvis det ikke samtidig kan vises, at træernes vækst afspejler den påviste sammenhæng enten kvalitativt eller kvantitativt. Hvis det er tilfældet, opstår problemet, om praksis kan udnytte denne viden ved særlige dispositioner på lokaliteter som de undersøgte. Sådanne dispositioner kan være træartsvalg, afvandingsforanstaltninger, sygdomsbekæmpelse m. fl.

For at få klaret nogle af disse problemer er der gennemført en ekstensiv træmåling, og i det følgende gøres der rede for resultaterne af disse målinger, og de sammenholdes med resultaterne af grundvandsmålingerne.

2. *Metoder anvendt ved træmålingen.*

Træmålingen er gennemført i april 1960. For at sikre, at de indsamlede data virkelig havde relation til grundvandsmålingerne, kunne der kun måles på træer lige omkring hver brønd. Ved at måle træer i nogen afstand fra brøndene, ville man i man-

ge tilfælde få træer med, som stod under noget andre grundvandsbetingelser. Tænker man sig f. eks., at man tager en bøg med, som står 20 m fra brønden, så kan den højeste grundvandstand, som eventuelt influerer på den målte bøgs vækst, udmærket være 20 cm dybere end den grundvandstand, som er registreret i brønden. Der behøver blot at være en koteforskel i terrænet på 20 cm, og en sådan koteforskel lader sig ikke uden videre registrere med det blotte øje. På forhånd måtte kravene ved træmålingen derfor være, at afstanden fra brønden til de målte træer blev mindst mulig. Det betyder, at antallet af træer, som det ud fra ovenstående betragtninger er rimeligt at lade indgå i målingen, er størst i de yngste bevoksninger og mindst i de ældste bevoksninger. Der blev under selve målearbejdet ved et skøn baseret på alder, aktuel træafstand m. fl. faktorer, i hvert tilfælde taget stilling til, hvor mange træer der kunne tages med.

I alle yngre bevoksninger er der målt 10 tilfældigt udtagne træer omkring brøndene, i ældre bevoksninger i almindelighed de nærmeste 5 træer. På hvert træ er målt diameteren i brysthøjde (stålklup) og højden (Løvengreens højdemåler).

For hver bevoksning er derefter beregnet den aritmetiske middeldiameter og middelfejlen på denne, samt den aritmetiske middelhøjde og middelfejlen på denne. Det er middeldiametrene og middelhøjderne, som er anvendt ved den videre bearbejdning.

Træmålingen giver først og fremmest et kvantitativt udtryk for vækstforholdene. Det var imidlertid rimeligt at antage, at grundvandsforholdene også påvirker træernes form (jfr. litteraturen om denne side af emnet). Ved hver af de talrige målinger af grundvandstandene havde forfatteren dannet sig en formodning om, at en sådan sammenhæng eventuelt eksisterer for bøgens vedkommende. For de øvrige træarter er der derimod en meget ringe formvariation. Da en personlig ækvation dårligt kan udelukkes ved en simpel formbedømmelse, når man på forhånd kender grundvandsforholdene godt, besluttedes det at lade målemedhjælperen ved træmålingen, forvalter *V. Madsen*, foretage en simpel formbedømmelse. *Madsen* havde ikke tidligere været på nogen af bøgearealerne og fik som hjælp ved bedømmelsen kun opgivet bevoksningsalderen. Ved bedømmelsen anvendtes kun to klasser 1) god, 2) dårlig, og kun træerne omkring brønden inddroges i bedømmelsen. Karakteren for hver enkelt bøgebevoksning findes i tabel 20's sidste kolonne.

3. *Tilvækstens og formens afhængighed af grundvandstanden i bøgebevoksningerne.*

a. *Bearbejdningen af træmålingsresultaterne.*

Tabel 20 giver en oversigt over træmålingsresultaterne for bøgebevoksningerne.

I figur 39 er middelhøjderne lagt op over aldrene. Punktsværmen er udjævnet grafisk ved den fuldt optrukne kurve. Endvidere er alders/højde-kurverne for bon. I og III efter de

Tabel 20. Oversigt over træmålingsdata for bøg.
Table 20. A survey of forest mensuration data for beech.

Flade nr. *Plot no.*	Alder år f. 1959 *Age years in 1959*	Antal træer målt *Number of trees measured*	Middeldiameter cm f. 1960 *Mean diameter cm in 1960*	Middelhøjde m f. 1960 *Mean height m in 1960*	Formbedømmelse *Characterization of form*
1	5	10		0.3 ± 0.05	dårlig
2	15	10	4.7 ± 0.33	5.0 ± 0.28	dårlig
3	15	10	2.4 ± 0.26	3.1 ± 0.23	dårlig
4	24	10	9.1 ± 0.51	7.8 ± 0.18	dårlig
5	34	10	12.5 ± 0.86	13.7 ± 0.18	god
6	43	5	14.0 ± 0.71	12.5 ± 0.21	dårlig
7	43	10	21.6 ± 1.24	17.4 ± 0.30	dårlig
8	45	5	21.6 ± 1.83	18.2 ± 0.30	dårlig
9	46	10	21.3 ± 1.02	17.9 ± 0.23	dårlig
10	50	10	26.5 ± 1.78	21.3 ± 0.41	dårlig
11	56	5	31.0 ± 1.14	21.8 ± 0.24	dårlig/god
12	56	10	32.8 ± 0.98	23.5 ± 0.33	god
13	65	5	33.4 ± 0.81	25.4 ± 0.34	god
14	66	10	33.1 ± 1.93	22.3 ± 0.24	god
15	66	5	43.2 ± 1.07	26.4 ± 0.25	god
16	75	5	36.6 ± 2.01	25.1 ± 0.36	god
17	75	5	36.2 ± 1.16	25.7 ± 0.27	god
18	86	5	41.2 ± 1.60	24.1 ± 0.36	dårlig
19	86	5	33.8 ± 0.97	22.5 ± 0.79	dårlig
20	86	5	37.4 ± 1.60	23.9 ± 0.78	dårlig
21	91	5	50.0 ± 1.42	25.1 ± 0.50	god
22	91	5	43.4 ± 2.94	26.8 ± 0.39	dårlig/god
23	96	10	34.6 ± 1.15	23.9 ± 0.23	dårlig
24	100	5	31.8 ± 4.39	21.9 ± 0.83	dårlig
25	150	8	68.8 ± 6.30	26.4 ± 0.82	dårlig

dårlig = *bad* god = *good*

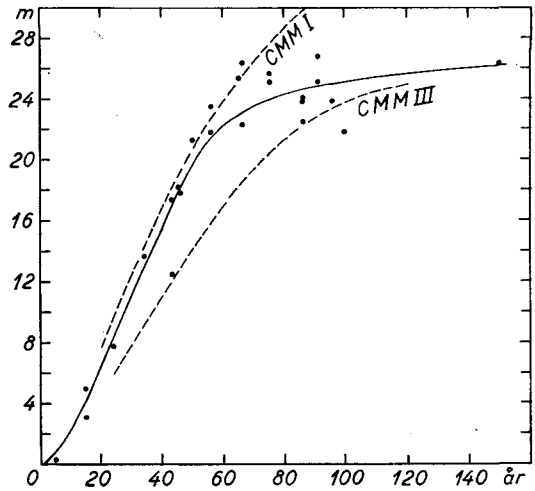

Fig. 39. Højdekurve for de undersøgte bøgebevoksninger (fuldtoptrukket). Endvidere er indlagt højdekurverne for bonitet I og bonitet III efter Møller (1933).

Fig. 39. Height curve for the investigated beech stands (fully inked). Besides, the height curves have been entered for Site Class I and Site Class III according to Møller (1933). — (CMM = *Site Class;* år = *years).*

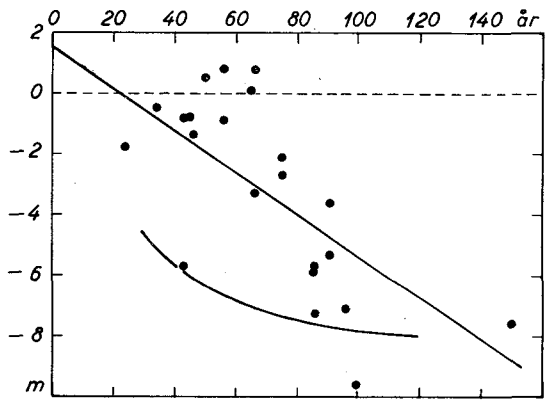

Fig. 40. Bøgebevoksningernes højdeafvigelser (m) fra bonitet I lagt op over bevoksningsaldrene (år). Den beregnede regressionslinie er indtegnet, og kurven er bonitet III's afvigelse fra bonitet I.

*Fig. 40. The height deviations of the beech stands (m) from Site Class I superimposed on the ages of the stands (*år = *years). The computed regression line has been sketched in, and the curve shows the deviation of Site Class III from Site Class I.*

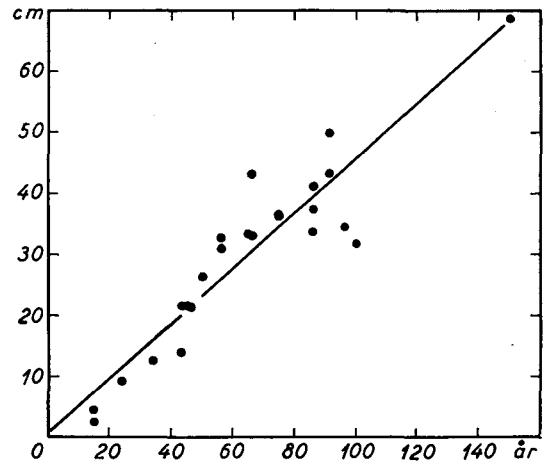

Fig. 41. Alder/diameter-regressionen for de undersøgte bøgebevoksninger.

Fig. 41. The age/diameter regression for the investigated beech stands. — (år = years).

danske bonitetsoversigter for bøg indtegnet (*Møller*, 1933). Op til ca. 60 år afviger højdekurvens retning for Bregentved-bevoksningerne ikke væsentligt fra bonitetskurvernes retning. De unge bevoksninger har i middel en højdebonitet, som ligger mellem bon. I og bon. II. Fra ca. 60 år knækker Bregentved-materialets højdekurve skarpt af. Fra dette tidspunkt er højden betydelig mindre end forudsat i de bonitetsvise oversigter. Ved vurderingen af forløbet må det dog bemærkes, at frihåndskurven er indstyret af kun en iagttagelse ved alderen 150 år.

Forholdet er lidt nærmere belyst i figur 40. I denne figur er middelhøjdernes afvigelser fra bon. I-højdekurven lagt op over bevoksningsaldrene. Endvidere er bonitet III's afvigelse fra bonitet I tegnet ind som kurve på figuren. Man bemærker, at bonitet III's afvigelse er stadig stigende indenfor det gengivne interval, men det ser ud til, at kurven ved høje aldre nærmer sig asymptotisk til en linie pårallel med 0-linien. Det vil sige, at ved høje aldre bliver bonitetshøjdekurverne omtrent parallelle.

Punktsværmen ser ud til med god tilnærmelse at kunne udjævnes ved en ret linie. En sådan ret linie har ligningen:

$$(\text{m højdeafvigelse}) = 1.52 - 0.069\ (\text{alder}).$$

Korrelationskoefficienten er $r = -0.643$, og den er med mellem 99 % og 99.9 % sandsynlighed signifikant forskellig fra 0.

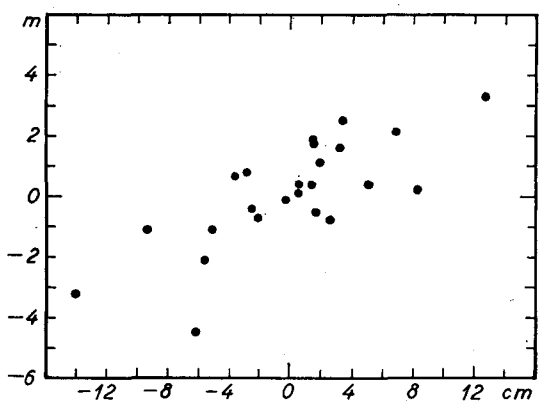

Fig. 42. Højdernes afvigelse fra højdekurven (m) lagt op over diametrenes afvigelse fra alder/diameter-regressionen (cm) for bøgebevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 42. The deviation of the heights from the height curve (m) superimposed on the deviation of the diameters from the age/diameter regression (cm) for the beech stands. Deviation = measured value — regression value.

Regressionslinien er indtegnet på figur 40. Det foreliggende materiale er for lille til meget omfattende kommentarer; men det tyder dog på, at bøgebevoksninger på Bregentveds lerede jorder med højtstående grundvand i ungdommen har en højde, som svarer til bonitet I, mens de med stigende alder afviger stedse mere fra bonitet I.

Herved er gjort den forudsætning, at frihåndshøjdekurven på figur 39 er en reel alders/højdekurve og ikke påvirket af andre faktorer. Denne forudsætning omtales nærmere i diskussionen side 385—387.

I figur 41 er middeldiametrene for bøgebevoksningerne lagt op over alderen. Der ses ikke at være noget til hinder for at udjævne denne punktsværm ved en ret linie (diameterudviklingen som funktion af alderen under Bregentved-forhold). Regressionslinien, som er indtegnet på figuren, har ligningen:

$$(\text{cm diameter}) = 0.8 + 0.45\ (\text{alder}).$$

Før der gås over til en behandling af grundvandsforholdenes indflydelse på væksten, kan der være grund til at undersøge, om der i materialet er overensstemmelse mellem højde- og diameterudvikling som funktion af bevoksningsalderen. En sådan overensstemmelse er formentlig til stede, hvis den enkelte bevoks-

nings middelhøjde og middeldiameter afviger i samme retning fra henholdsvis den grafisk udjævnede højdekurve og regressionslinien i alder-diameter-diagrammet.

I figur 42 er højdeafvigelserne lagt op over diameterafvigelserne. Sammenhængen er tydelig, og selv om sammenhængen eventuelt er svagt krum, kan man få et begreb om dens styrke ved at beregne korrelationskoefficienten. Denne er r = 0.759, og den er højt signifikant (sandsynligheden p > 99.9 %).

b. Tilvækst og grundvandsforhold.

Ved bearbejdningen af de grundvandsdata, som er indsamlet i bøgebevoksningerne, viste det sig, at grundvandsænkningen i perioden 21/4—20/8 1959, er en funktion, dels af bevoksningsalderen, dels af vandstanden den 21/4. Den sidste af de to uafhængige variable har størst indflydelse på sænkningen. Det er derfor naturligt at tænke sig, at det først og fremmest er vandstanden den 21/4, som har indflydelse på vækstforholdene.

I figur 43 er højdeafvigelserne fra den grafiske udjævning (målt højde — udjævnet højde) lagt op over 21/4-vandstandens afvigelse fra middelvandstanden den 21/4 (målt-middel). Der er

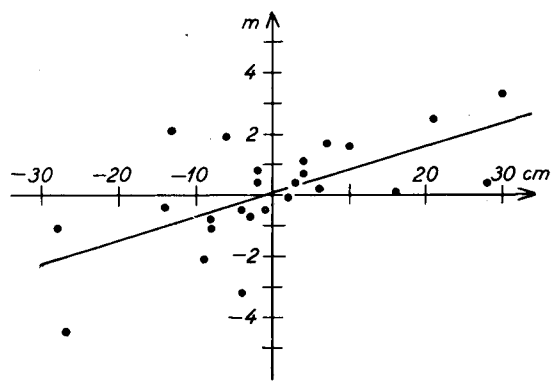

Fig. 43. Bøgebevoksningernes højdeafvigelser (m) fra frihåndshøjdekurven (fig. 39) lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (cm) fra middel-21/4-vandstanden for alle bevoksninger. Den beregnede regressionslinie er indtegnet. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 43. The height deviation of the beech stands (m) from the freehand height curve (Fig. 39) superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (cm) from the mean 21/4-water-table for all stands. The computed regression line has been sketched in. Deviation = measured value — regression value.

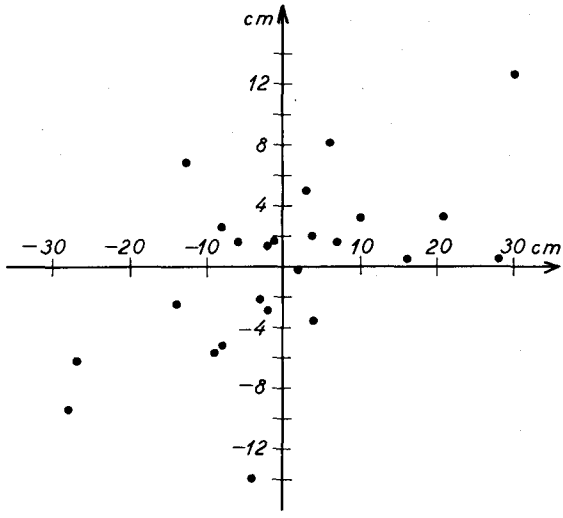

Fig. 44. Diametrenes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen for bøgebevoksningerne lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra middel-21/4-vandstanden for alle bøgebevoksninger. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 44. The deviations of the diameters (cm) from the age/diameter regression for the beech stands superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (abscissa, cm) from the mean 21/4-water-table for all beech stands. Deviation = measured value — regression value.

herved ikke taget hensyn til aldersvariationen, men det er vist, at der ikke er nogen sammenhæng mellem 21/4-vandstand og alder (figur 24, side 321). Figur 43 fremstiller derfor den reelle sammenhæng mellem vandstandsafvigelser og højdeafvigelser. Man ser, at der er en klar positiv korrelation, som kan antages at være retliniet. Korrelationskoefficienten er r = 0.628. Den er højt signifikant (sandsynligheden p > 99.9 %). Ligningen for regressionslinien er følgende:

(m højdeafvigelse) = 0.08 + 0.08 (cm vandstandsafvigelse).

Regressionslinien er indtegnet på figuren. Hvis det antages, at linien gælder for middelaldrende bevoksninger, fortæller regressionen, at for hver 10 cm, højeste, stabile vandstand er dybere end 50 cm (rigtig = 49.8), vil højden i 60-årige bøgebevoksninger (rigtig = 62.6 år) stige ca. 80 cm.

I figur 44 er diameterafvigelserne (målt middeldiameter — diameter efter regression, jfr. figur 41) lagt op over vandstandsafvigelserne. Der er efter figuren en klar positiv sammenhæng.

Korrelationskoefficienten er r = 0.566, og den er signifikant (sandsynligheden 99 % < p < 99.9 %).

Man kunne tænke sig, at 21/4-vandstandens indflydelse på højden var stigende med alderen, fordi der gennem tiden sker en summering af variationerne i højdetilvækst. Hvis det var til-

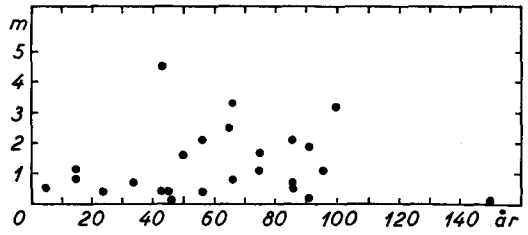

Fig. 45. Den numeriske højdeafvigelse (m) fra højdekurven for bøgebevoksningerne lagt op over bevoksningsalderen.

Fig. 45. The numerical height deviation (m) from the height curve for the beech stands superimposed on the ages of the stands. — (år = years).

fældet, måtte man vente, at de målte højders afvigelser fra højdekurven var stigende med alderen. En sådan sammenhæng synes ikke at være tilstede i det indsamlede materiale.

I figur 45 er de numeriske højdeafvigelser lagt op over bevoksningsaldrene. Der er ikke nogen klar sammenhæng, og en korrelationsanalyse giver da også kun en korrelationskoefficient på r = 0.068.

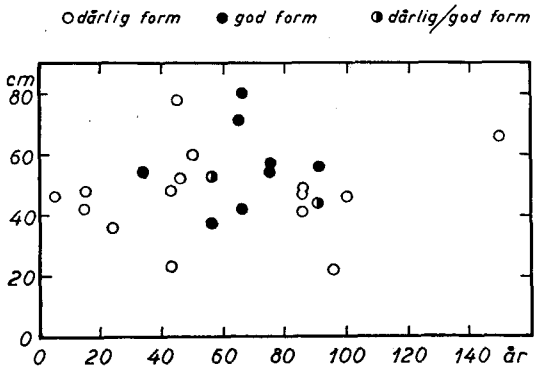

Fig. 46. Bøgens formkarakterer lagt ind i et diagram, hvor akserne er bevoksningsalder (år) og 21/4-vandstand (cm).

Fig. 46. A characterization of the form of the beeches given in a diagram the horizontal and vertical dimensions of which indicate age of stand (år) and 21/4-water-table (cm). — (dårlig = bad; god = good).

c. Grundvandsforholdenes indflydelse på formen.

Sidste kolonne i tabel 20 viser formkarakererne for hver enkelt bevoksning. I figur 46 er de enkelte bevoksningers formkarakterer lagt ind i et diagram, hvor man dels går ind for bevoksningsalderen, dels for 21/4-vandstanden.

Det fremgår umiddelbart af figuren, at der ikke er nogen klar sammenhæng mellem formkarakererne og 21/4-vandstandene.

d. Diskussion.

Ud fra det fremlagte materiale må det antages, at bøgens tilvækst (højde- og diametertilvækst) på grundvandsnære, svære jorder afhænger af højeste, stabile vandstand. Det er vist, at vandstand*sænkningen* i vækstperioden i bøgebevoksninger er snævert korreleret med højeste, stabile vandstand. Den mest nærliggende forklaring på denne sidste sammenhæng er, at bøgebevoksningers effektive roddybde er mindre ved en høj højeste, stabile vandstand end ved en dybere højeste, stabile vandstand (se diskussionen side 359—372), og at forskellen imellem de effektive roddybder er større end forskellen imellem de højeste, stabile vandstande. Senere i beretningen vises det, at der er en snæver sammenhæng mellem 20/8-vandstanden (index for effektiv roddybde) og den nedbørsmængde, som falder i perioden fra vandstandsænkningen begynder om foråret til vandstanden efter vækstperioden pany når højeste, stabile vandstand. Denne nedbørsmængde svarer til bevoksningernes vandforbrug.

Den egentlige årsagssammenhæng bag korrelationen mellem højeste, stabile vandstand og tilvæksten i bøgebevoksninger må derfor antages at ligge i vandforsyningsmulighederne. Jo bedre vandforsyningsmulighederne er, des bedre bliver tilvæksten. Jo dybere det effektive rodrum er, des bedre bliver vandforsyningsmulighederne.

Resultatet er på linie med tidligere undersøgelser af bøgens vækstmuligheder her i landet. *Holmsgaard* (1955) har vist, at bøgens tilvækst er snævert korreleret med nedbøren i vækstperioden. *Holstener-Jørgensen* (1958 b) viser, at bøgens tilvækst er snævert korreleret med jordens plantetilgængelige vandkapacitet.

Resultatet er ligeledes i overensstemmelse med de iagttagelser, som tidligere er gjort her i landet. Der tænkes først og frem-

mest på *Vaupells* publikation „De danske Skove" (1863), men også på arbejder af *Hauch* (f. eks. *Hauch og Milthers*, 1928) og *Jagd* (1960). I de tre nævnte publikationer har forholdene på Bregentved spillet en fremtrædende rolle. For dem gælder det, at de indeholder inspirerende og gode iagttagelser, men ikke nogen egentlig bevisførelse. *Hauch og Milthers* har gjort sig dette klart, idet de (l. c. s. 2) skriver: „Hvis man derfor skulde tilvejebringe en fuldt detailleret Undersøgelse af Vandstandsforholdene inden for et Omraade, vilde dette kræve baade et stort Antal Maalesteder samt Maalinger udførte igennem et langt Tidsrum . . ., men en planmæssig Undersøgelse af den Art er sikkert nødvendig for at faa fuld Klarhed over de Forhold, som nærværende Arbejde drejer sig om".

Den fulde klarhed er vel ikke nået, men vi er kommet et væsentligt skridt videre. Der er endnu mange spørgsmål, som må belyses. Et af de mere påtrængende er spørgsmålet om, hvorvidt det er muligt og økonomisk forsvarligt at søge at bedre vækstforholdene ved afvanding. Afvanding vil i denne sammenhæng sige sænkning af højeste, stabile vandstand. Dette spørgsmål vil blive taget op til diskussion senere i afhandlingen (se side 438—447).

Før spørgsmålet om bøgens tilvækst og dens afhængighed af grundvandstanden forlades, skal der kort vendes tilbage til figur 39. Den viste højde/alder sammenhængen for de undersøgte prøveflader. I de yngre bevoksninger var højdeudviklingen den samme som i de danske bonitetsoversigter. De ældre bevoksninger afviger derimod signifikant fra bonitetskurvernes forløb (jfr. figur 40 og tekstbehandlingen af denne).

Man kunne tænke sig, at dette forløb har rent historiske årsager. Hvis nemlig skovtilstanden bliver stadig bedre op mod vor egen tid, vil man få en udvikling, som i hovedtrækkene svarer til den, som figur 39 viser. En bedring af skovtilstanden kan på Bregentved være resultatet af en bedret afvanding. Det kan også være resultatet af andre forhold, som måske en bedring af humustilstand m. m. (jfr. *Holstener-Jørgensen*, 1958 a og *Sabroe*, 1958).

Endelig kan Bregentvedbevoksningernes højdeudvikling være *lokalitetstypisk*. Der er en vis lighed mellem højdeudviklingen og udviklingen af rodsystemet i dybden (sammenlign figur 39 og figur 26 s. 379 og s. 322). Denne sammenhæng behøver ikke

at være udtryk for en årsagssammenhæng, men vækker alligevel til eftertanke. Man kan tænke sig, at lige stærke hugstindgreb, hvorved forstås fjernelse af lige store transpirerende og intercepterende løvmasser, har forskellig virkning i unge og i gamle bevoksninger. I unge bevoksninger fjerner man mange træer jævnt fordelt over arealet. I ældre bevoksninger fjernes få træer, som efterlader betydelig større huller i kronetaget, end tilfældet er i unge bevoksninger. Det kan måske medføre, at man i ældre bevoksninger i højere grad end i unge bevoksninger får grundvandstigninger efter hugstindgreb med roddød som følge. Selv om de kun forekommer lokalt i bevoksningen, nemlig omkring hullerne efter de borthuggede træer, vil virkningen af grundvandstigninger i løbet af korte åremål (2—3 hugstmellemrum?) være jævnt fordelt i bevoksningen. Grundvandstigningerne indskrænker rodrummet, og visse ekstreme tilfælde tyder på, at højdevæksten også retarderes.

Foreløbig må man dog blive stående ved, at der kan være to forklaringer på den fundne højdeudvikling. Den *kan være historisk betinget*, og en sådan antagelse støttes af den almindelige udvikling her i landet. Den kan også *være lokalitetsbetinget*. Denne sidste antagelse støttes i øjeblikket kun af ovenstående spekulationer. Det er altså udelukkende en arbejdshypotese, som ikke kan være vejledende for praksis (f. eks. med hensyn til hugststyrke), før den er bekræftet.

4. *Tilvækstens afhængighed af grundvandstanden i egebevoksningerne.*

a. *Bearbejdningen af træmålingsresultaterne.*

Træmålingsresultaterne for egebevoksningerne er samlet i tabel 21.

I figur 47 er middelhøjderne lagt op over aldrene. Den fuldt optrukne kurve fremstiller en grafisk udjævning af punktsværmen, mens den stiplede kurve er højdekurven for bonitet I (*Møller*, 1933). Det fremgår, at indenfor det undersøgte aldersinterval har egebevoksninger på Bregentveds fede moræneler med højtstående grundvand en højdeudvikling, som svarer meget nøje til bonitetsoversigternes. Det lidt forskellige forløb af den grafiske udjævning og bonitetskurven giver ikke differenser, som på nogen måde er signifikante, idet der er en betydelig spredning på det indsamlede materiale.

Tabel 21. Oversigt over træmålingsdata for eg.
Table 21. A survey of forest mensuration data for oak.

Flade nr. *Plot no.*	Alder, år f. 1959 *Age, years in 1959*	Antal træer målt *Number of trees measured*	Middeldiameter, cm 1960 *Mean diameter, cm in 1960*	Middelhøjde, m 1960 *Mean height, m in 1960*
27	5	10		0.6 ± 0.07
28	14	10	2.8 ± 0.21	2.8 ± 0.14
29	14	10	6.6 ± 0.68	4.9 ± 0.13
30	15	10	4.2 ± 0.30	4.5 ± 0.13
31	15	10	4.6 ± 0.47	5.0 ± 0.22
32	15	10	4.0 ± 0.33	4.9 ± 0.16
33	24	10	13.6 ± 0.88	13.5 ± 0.19
34	24	10	7.5 ± 0.45	7.6 ± 0.24
35	26	10	10.6 ± 0.56	10.8 ± 0.17
36	33	5	12.4 ± 0.59	12.2 ± 0.26
37	35	10	14.3 ± 0.76	13.8 ± 0.27
38	36	10	18.8 ± 1.28	14.6 ± 0.11
39	36	10	17.4 ± 0.62	14.7 ± 0.16
40	38	10	18.8 ± 0.83	14.5 ± 0.35
41	40	10	19.3 ± 0.79	14.9 ± 0.70
42	45	5	25.4 ± 1.12	15.9 ± 0.68
43	45	6	27.2 ± 0.91	19.5 ± 0.30
44	45	5	24.0 ± 1.31	18.0 ± 0.20
45	45	5	21.6 ± 0.92	17.9 ± 0.34
46	46	5	20.6 ± 0.59	16.8 ± 0.81
47	47	10	11.4 ± 0.76	11.0 ± 0.53
48	55	5	36.0 ± 1.34	23.3 ± 0.38
49	55	5	33.4 ± 0.67	20.2 ± 0.29
50	55	5	24.6 ± 1.47	18.0 ± 0.47
51	59	4	34.3 ± 1.66	20.3 ± 0.27
52	65	5	35.2 ± 2.71	20.3 ± 0.70
53	66	5	38.4 ± 1.56	19.5 ± 0.44
55	66	5	22.8 ± 1.60	21.1 ± 0.19
56	66	5	34.6 ± 2.18	20.3 ± 0.37

I figur 48 er middeldiameteren for de undersøgte bevoksninger lagt op over bevoksningsalderen. Der er en retlinet sammenhæng, som kan udtrykkes ved ligningen:

$$(\text{cm diameter}) = -4.1 + 0.59\ (\text{alder}).$$

Også i egebevoksningerne er der korrelation mellem højdeafvigelserne fra udjævningskurven og diametrenes afvigelser fra

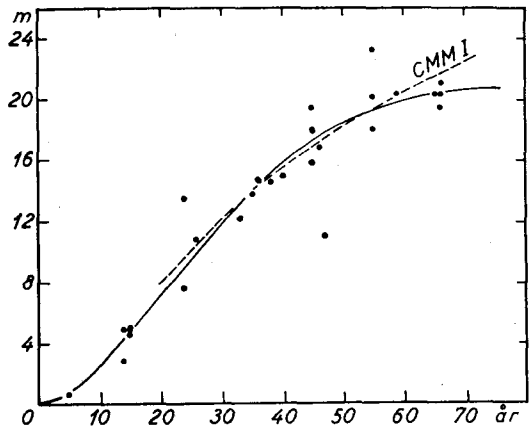

Fig. 47. Frihåndsudjævnet højdekurve for de undersøgte egebevoksninger (fuldt optrukket). Højdekurven for bonitet I er indlagt som den stiplede kurve (efter Møller, 1933).

Fig. 47. Free-hand smoothed height curve for the oak stands investigated (fully inked). The height curve for Site Class I is entered in a dotted line (according to Møller, 1933). — (CMM = *Site Class;* år = *years).*

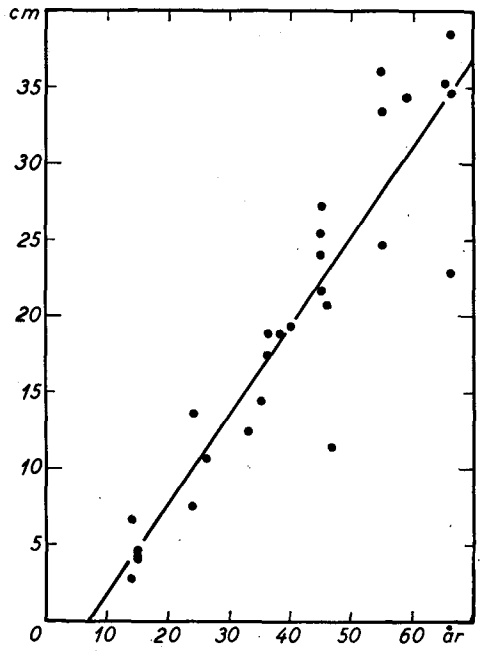

Fig. 48. Diameter (cm)-alder diagram for de undersøgte egebevoksninger. Den beregnede regressionslinie er indtegnet.

Fig. 48. Diameter (cm) / age (år) diagram for the oak stands investigated. The computed regression line has been sketched in.

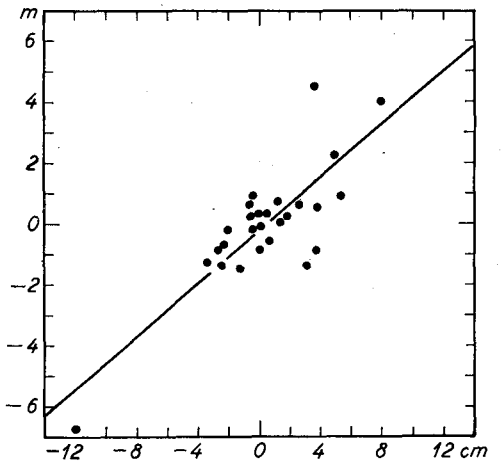

Fig. 49. Egebevoksningernes afvigelser (m) fra frihåndshøjdekurven lagt op over diametrenes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 49. The deviations of the oak stands (m) from the free-hand height curve superimposed on the deviations of the diameters (cm) from the age/diameter regression. Deviation = measured value — regression value.

regressionslinien (figur 49). Korrelationskoefficienten, r = 0.814, er højt signifikant (sandsynligheden p > 99.9 %). Det må altså antages, at højde- og diameterudvikling er parallelt forløbende.

b. Tilvækst og grundvandsforhold.

I egebevoksningerne kunne der ikke påvises nogen signifikant sammenhæng mellem 21/4-vandstand og grundvandsænkning i vækstperioden. Derimod var der en signifikant korrelation mellem bevoksningsalderen og grundvandsænkningen. Der er derfor ikke synderlig grund til at vente, at egens tilvækst er korreleret med 21/4-vandstanden.

I figur 50 er højdeafvigelserne fra den grafiske udjævning (målt højde — udjævnet højde) lagt op over 21/4-vandstandens afvigelse fra middelvandstanden i egebevoksningerne d. 21/4 (målt — middel). Der ses, som ventet, ikke at være nogen korrelation mellem disse to størrelser. Derimod er det bemærkelsesværdigt, at højdeafvigelsernes spredning omkring abscisseaksen er betydelig større ved positive vandstandsafvigelser end ved negative.

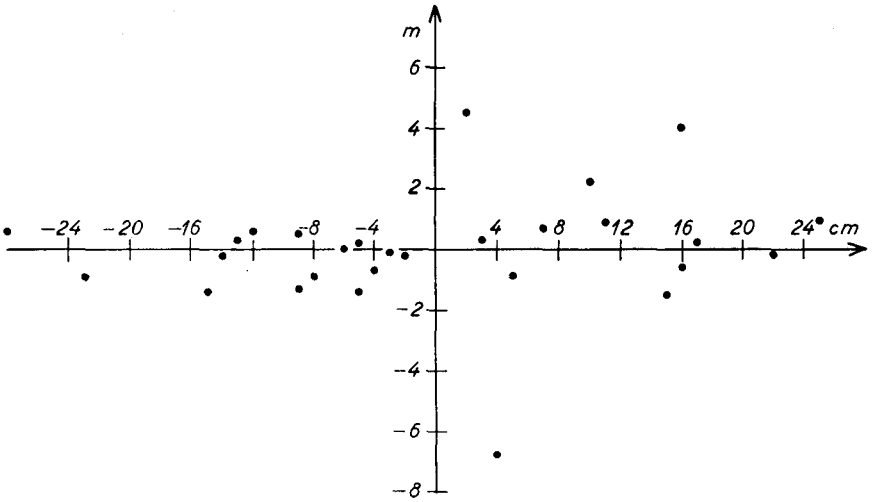

Fig. 50. Højdernes afvigelser (m) fra frihåndshøjdekurven for egebevoksningerne lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (cm) fra middel-21/4-vandstanden i bevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 50. Deviations of the heights (m) from the free-hand height curve for the oak stands superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables from the mean 21/4-water-table in the stands. Deviation = measured value — regression value.

Denne forskel er signifikant. Bruger man koordinatsystemets 0-punkt som grænse, det vil sige middelvandstanden i de undersøgte bevoksninger, finder man nemlig:

Højdeafvigelsernes *kvadratsum* divideret med *antallet-1* er $s_1^2 = 7.75$ for positive vandstandsafvigelser, det vil sige, hvor 21/4-vandspejlet ligger dybere end middel. Her er 12 frihedsgrader.

Ved negative vandstandsafvigelser, det vil sige, hvor 21/4-vandspejlet ligger højere end middel, er $s_2^2 = 0.64$ med 14 frihedsgrader.

Varianskvotienten $= \frac{s_1^2}{s_2^2} = 12.11$, og den er større end den kvotient på 6.1, som svarer til en sandsynlighed på 99.9 %.

Det kan altså fastslås, at højderne i de undersøgte egebevoksninger spreder signifikant mere om højdekurven, når 21/4-vandstanden er dyb, end når 21/4-vandstanden er høj.

I figur 51 er diameterafvigelserne fra alder-diameterregressionslinien (målt middeldiameter — diameter efter regression)

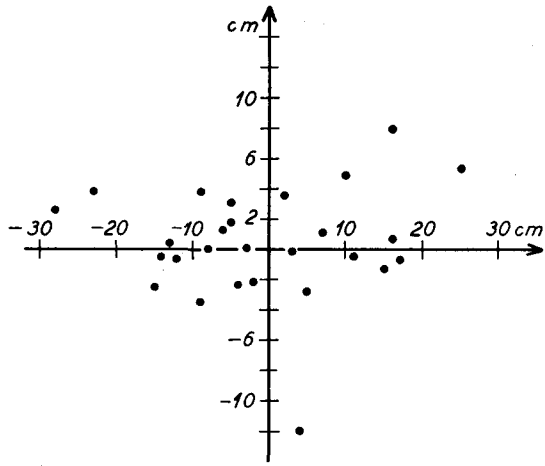

Fig. 51. Diametrenes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen for egebevoksningerne lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra middel-21/4-vandstanden for bevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 51. The deviations of the diameters (cm) from the age/diameter regression for the oak stands superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (abscissa, cm) from the mean 21/4-water-table for the stands. Deviation = measured value — regression value.

lagt op over vandstandsafvigelserne. Heller ikke i dette tilfælde ses der at være nogen sammenhæng, men også i dette tilfælde er der større spredning ved positive vandstandsafvigelser end ved negative vandstandsafvigelser.

Tilsvarende beregninger som ved højderne giver:

$$\frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{25.76}{5.61} = 4.59.$$

Her har s_1^2 11 frihedsgrader og s_2^2 14 frihedsgrader. Ved 99.5 % sandsynlighed er den teoretiske varianskvotient = 4.51.

Der er følgelig en højt signifikant forskel i spredningerne. Hvor 21/4-vandstanden er dyb, er diameterafvigelserne større, end hvor 21/4-vandstanden er høj.

Hvad de påviste forskelle indebærer, er det vanskeligt at se igennem. At de går i samme retning er klart, idet der er korrelation mellem højdeafvigelserne og diameterafvigelserne.

Det er nærliggende at tænke sig, at der er en årsagssammenhæng, men forholdet bør formentlig undersøges yderligere, før man anser det for givet.

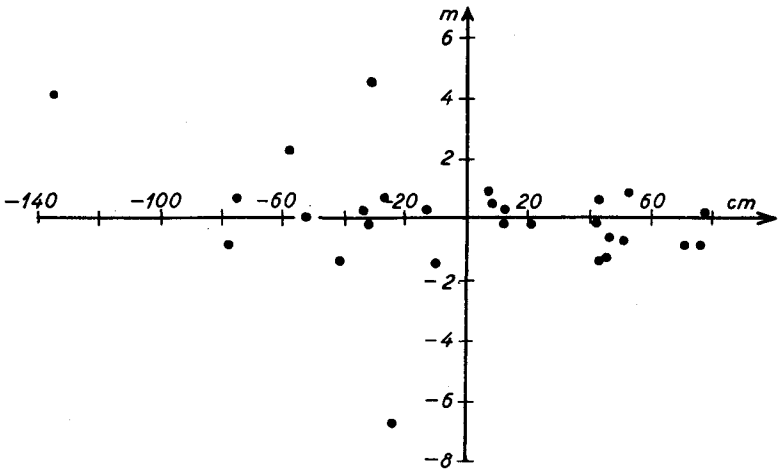

Fig. 52. Højdernes afvigelser (m) fra frihåndshøjdekurven for egebevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra det beregnede regressionsplan. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 52. Deviations of the heights (m) from the free-hand height curve for the oak stands superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression plane. Deviation = measured value — regression value.

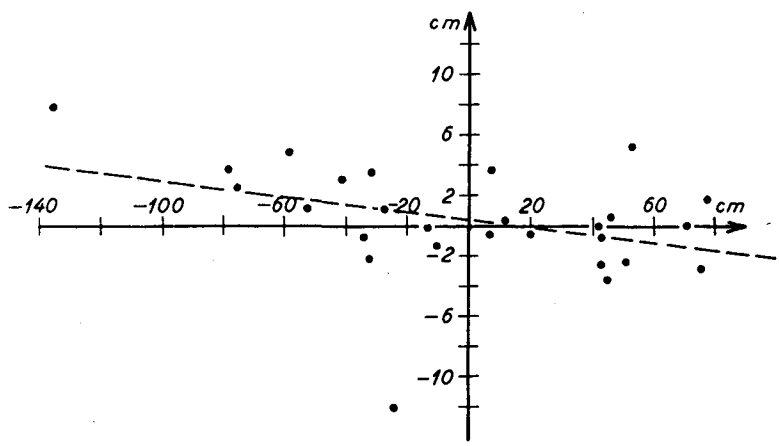

Fig. 53. Diametrenes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen for egebevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra det beregnede regressionsplan. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 53. The deviations of the diameters (cm) from the age/diameter regression for the oak stands superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables (abscissa, cm) from the computed regression plane. Deviation = measured value — regression value.

I figur 52 er højdeafvigelserne lagt op over 20/8-vandstandens afvigelser fra regressionsplanet (målt vandstand — vandstand efter regression). En korrelationsregning giver en korrelationskoefficient på r = — 0.286. Den er ikke signifikant.

Diameterafvigelserne er lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser i figur 53. I dette tilfælde giver korrelationsregning en korrelationskoefficient på r = — 0.371. Den er heller ikke signifikant, men så nær ved at være det, at den er værd at nævne. Et t-test giver t_{25} = 1.99 svarende til sandsynligheden p = 94.3 %.

Regressionslinien, som er indtegnet stiplet på figuren, har ligningen:

(cm diameterafvigelse) = 0.39 — 0.026 (cm vandstandafvigelse).

c. Diskussion.

Det synes at fremgå af det foregående, at der *ikke* er nogen sammenhæng mellem tilvæksten og grundvandsforholdene i de undersøgte egebevoksninger. De tendenser, som er fundet, er ikke umiddelbart til at forklare.

Der må derfor konstateres, at problemerne må undersøges nærmere, før der opstilles en endelig konklusion.

5. Tilvækstens afhængighed af grundvandstanden i rødgran- og sitkagranbevoksningerne.

a. Bearbejdningen af træmålingsresultaterne.

Træmålingsresultaterne fra rødgranbevoksningerne og bevoksningerne af sitkagran er samlet i tabel 22. I to af de undersøgte bevoksninger var det ikke muligt at gennemføre højdemålingen, fordi sigtebetingelserne var for dårlige. Det drejer sig om flade nr. 61, sitkagran, og flade nr. 70, rødgran. De anførte højder er dog ikke rene skøn. I begge tilfælde kunne der sigtes udefra henover bevoksningen, således at middelhøjden kunne ansættes med temmelig stor nøjagtighed. Det viser sig da også, at ingen af de således ansatte højder afviger bemærkelsesværdigt fra højdekurven for rødgranbevoksningerne.

Figur 54 viser middelhøjderne lagt op over aldrene. Ved forskellige signaturer er skelnet mellem rene sitkagranbevoksninger og bevoksninger af rødgran. Punkterne er udjævnet ved den fuldt optrukne kurve. Endvidere er højdekurven for rødgran

T a b e l 2 2. Oversigt over træmålingsdata for rødgran og sitkagran.
T a b l e 2 2. A survey of forest mensuration data for Norway spruce and sitka spruce.

Flade nr. *Plot nr.*	Alder, år f. 1959 *Age, years in 1959*	Antal træer målt *Number of trees measured*	Træart *Tree-species*	Middeldiameter, cm f. 1960 *Mean diameter, cm in 1960*	Middelhøjde, m f. 1960 *Mean height m in 1960*
57	5	10	Rødgran	—	0.3 ± 0.03
		10	Sitka	—	0.3 ± 0.02
58	6	10	Rødgran	—	0.9 ± 0.05
		10	Sitka	—	0.8 ± 0.04
59	9	10	Rødgran	—	1.9 ± 0.06
		10	Sitka	—	2.2 ± 0.03
60	10	10	Rødgran	—	2.5 ± 0.04
		10	Sitka	—	2.8 ± 0.06
61	15	—	Sitka	—	6.0 —
62	15	10	Rødgran	6.3 ± 0.47	5.9 ± 0.22
63	16	10	„	6.8 ± 0.39	6.0 ± 0.22
64	20	10	„	9.4 ± 0.47	8.2 ± 0.30
65	21	10	„	9.3 ± 0.54	9.1 ± 0.23
66	21	10	„	10.5 ± 0.65	9.9 ± 0.20
67	23	10	„	11.9 ± 1.16	10.4 ± 0.41
68	25	10	„	11.7 ± 0.52	10.4 ± 0.39
69	25	10	„	13.0 ± 0.79	13.7 ± 0.39
70	26	—	„	— —	10.6 —
71	28	8	„	13.3 ± 0.79	12.6 ± 0.47
72	29	10	Sitka	17.3 ± 0.94	16.3 ± 0.81
73	30	10	Rødgran	16.8 ± 0.87	15.9 ± 0.33
74	35	6	Sitka	21.7 ± 1.40	18.2 ± 0.30
75	36	10	„	21.5 ± 0.68	20.1 ± 0.19
76	36	10	Rødgran	20.3 ± 1.38	18.7 ± 0.37
77	40	10	„	26.0 ± 0.82	19.9 ± 0.24
78	44	10	„	25.2 ± 1.44	22.5 ± 0.43
79	45	10	„	26.8 ± 1.94	23.3 ± 0.24

Rødgran = *Norway spruce*

bonitet I (*Møller,* 1933) indlagt som den stiplede kurve. Denne sidste kurves punkterede del er ekstrapoleret.

Figuren viser, at de undersøgte bevoksninger gennemgående følger bonitet I. Mellem 20 år og 50 år er afvigelserne mindst. Ved aldre mindre end 20 år er afvigelserne større, men her er sammenligningsgrundlaget en usikker ekstrapolation af bonitetskurven. Endelig bemærker man, at de undersøgte bevoksninger

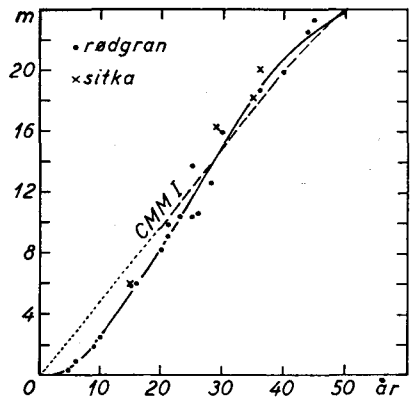

Fig. 54. Frihåndshøjdekurve for de undersøgte rødgranbevoksninger. Med særlig signatur er de 4 bevoksninger af sitkagran indlagt. Den stiplede kurve er højdekurven for rødgran bonitet I efter Møller (1933).

Fig. 54. Free-hand height curve for the Norway spruce stands investigated. The 4 sitka spruce stands are indicated by a special sign. The dotted curve is the height curve for Norway spruce Site Class I according to Møller (1933). — (rødgran = *Norway spruce;* CMM = *Site Class;* år = *years).*

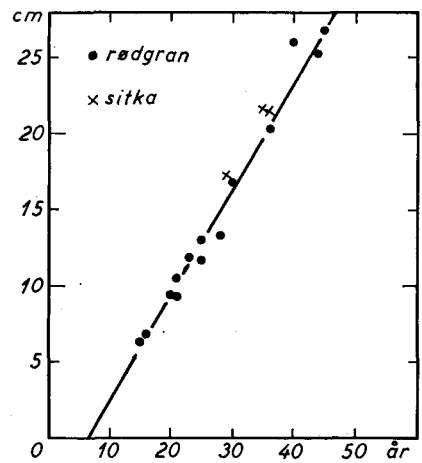

Fig. 55. Alder/diameter-regression for de undersøgte rødgranbevoksninger. De 3 bevoksninger af sitkagran er indlagt med særlig signatur.

Fig. 55. Age/diameter regression for the Norway spruce stands investigated. The 3 sitka spruce stands are indicated by a special sign. — (rødgran = *Norway spruce;* år = *years).*

af ren sitkagran temmelig nøje har samme højdeudvikling som rødgranbevoksningerne.

I figur 55 er middeldiametrene for de enkelte bevoksninger lagt op over bevoksningsalderen. Der er en snæver retliniet korrelation mellem disse to størrelser. Sammenhængen har følgende regressionsligning:

$$(\text{cm diameter}) = -4.8 + 0.71\ (\text{alder}).$$

Regressionslinien er indtegnet på figuren.

Sitkabevoksninger indgår ikke i disse beregninger. Det fremgår af figuren, at deres diameterudvikling følger rødgranbevoksningernes.

I figur 56 er højdeafvigelserne (bevoksningsmiddelhøjde — udjævnet højde) lagt op over diameterafvigelserne (middeldiameter — regressionsdiameter). Man bemærker, at der er en enkelt bevoksning, som afviger væsentligt fra den ventede sammenhæng. Dens højdeafvigelse er — 0.8 m, og dens diameterafvigelse er + 2,5 cm. Dens fladenummer er 77, og den ligger i Grevindeskoven. Der kan ikke gives nogen plausibel forklaring på forholdet.

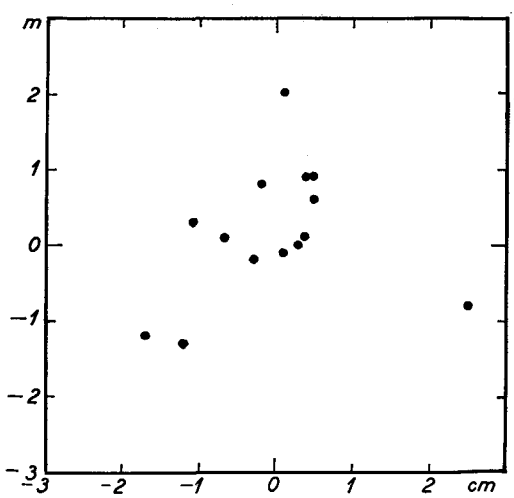

Fig. 56. Højdernes afvigelse fra højdekurven (m) lagt op over diametrenes afvigelse fra alder/diameterregressionen (cm) for rødgranbevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 56. The deviation of the heights from the height curve (m) superimposed on the deviation of the diameters from the age/diameter regression (cm) for the Norway spruce stands. Deviation = measured value — regression value.

Følgen er, at der ikke er nogen signifikant sammenhæng mellem højdeafvigelserne og diameterafvigelserne. Korrelationskoefficienten er så lav som 0.214.

b. Tilvækst og grundvandsforhold.

I rødgranbevoksningerne er 21/4-vandstanden korreleret med alderen. Man kan derfor ikke vente at få meget ud af at undersøge, om der er en sammenhæng mellem væksten og 21/4-vandstandens afvigelser fra middelvandstanden for alle bevoksningerne. I stedet kan man anvende 21/4-vandstandens afvigelser fra alder — vandstandsregressionen (s. 333).

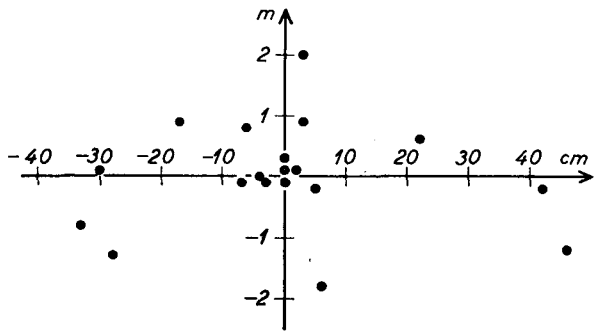

Fig. 57. Rødgranbevoksningernes afvigelser (m) fra frihåndshøjdekurven lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (cm) fra regressionslinien alder/21/4-vandstand. (Se fig. 30). Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 57. The deviations of the Norway spruce stands (m) from the free-hand height curve superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (cm) from the regression line age / 21/4-water-table. (See Fig. 30). Deviation = measured value — regression value.

I figur 57 er de enkelte bevoksningers højdeafvigelse fra højdekurven (målt — kurveværdi) lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser fra den nævnte regressionslinie (målt — regression). Figuren tyder ikke på, at der er nogen sammenhæng mellem disse to størrelser.

Figur 58 viser diameterafvigelserne lagt op over 21/4-vandstandens afvigelser. Figuren tyder ikke på, at der er korrelation mellem disse to størrelser.

Man kunne dernæst tænke sig, at væksten er korreleret med 20/8-vandstanden, der jo på sin side er korreleret med bevoksningernes vandforbrug (jfr. s. 426). I figur 59 er højdeafvigel-

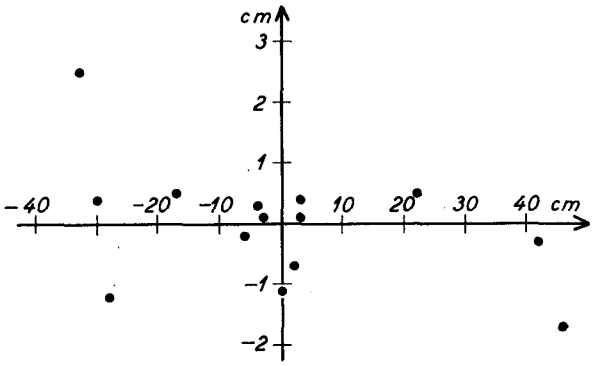

Fig. 58. Rødgranbevoksningernes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra regressionslinien alder/21/4-vandstand. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 58. The deviations of the Norway spruce stands (cm) from the age/diameter regression superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (abscissa, cm) from the regression line age / 21/4-water-table. Deviation = measured value — regression value.

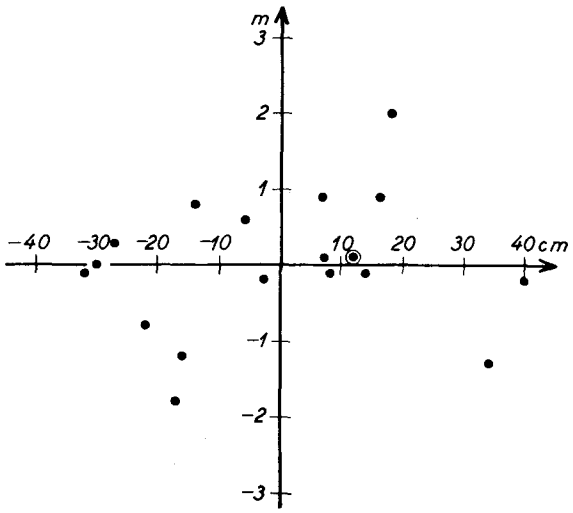

Fig. 59. Rødgranbevoksningernes afvigelser (m) fra frihåndshøjde-kurven lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser fra regressions-planet. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 59. The deviations of the Norway spruce stands (m) from the free-hand curve superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables from the regression plane. Deviation = measured value — regression value.

serne lagt op over afvigelserne i 20/8-vandstande (målt — regression). Her øjner man, hvis man er optimist, en meget svag tendens til stigende højde for stigende dybde af 20/8-vandspejlet. Det vil sige (jfr. s. 426), stigende højde med stigende aktuelt vandforbrug i 1959. Korrelationskoefficienten er imidlertid så lav som r = 0.162, og den er langt fra signifikant.

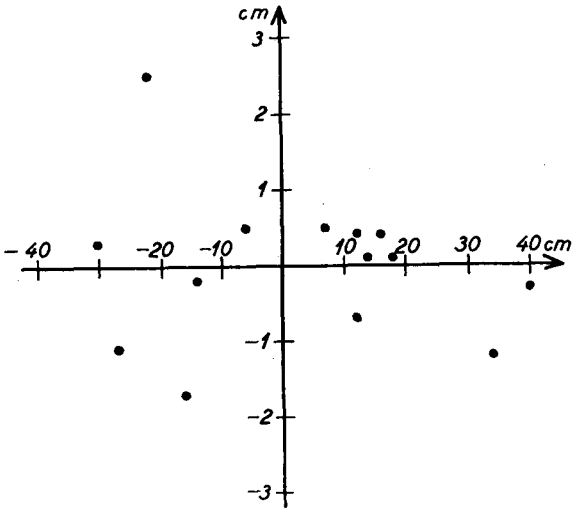

Fig. 60. Rødgranbevoksningernes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra regressionsplanet. Afvigelse = målt værdi — regressionsværdi.

Fig. 60. The deviations of the Norway spruce stands (cm) from the age/diameter regression superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables (abscissa, cm) from the regression plane. Deviation = measured value — regression value.

I figur 60 er diameterafvigelserne lagt op over afvigelserne i 20/8-vandstand. Der ses ikke at være nogen klar sammenhæng mellem disse to størrelser.

Det er altså ikke lykkedes at demonstrere, at tilvæksten i rødgranbevoksninger er korreleret med grundvandsforholdene. Der kan være to årsager hertil, enten er der virkelig ingen sammenhæng, eller også er det indsamlede materiale uegnet til at vise en sådan sammenhæng.

Lad os et øjeblik vende tilbage til figur 54. Figuren viser bevoksningshøjderne, som er lagt op over bevoksningsaldrene. Endvidere er på figuren indtegnet højdekurven for bonitet I

efter bonitetsoversigterne (*Møller*, 1933). Der er et iøjnefaldende træk ved denne figur. Når bevoksningerne er ældre end 30 år, er deres højder større end højderne for bonitet I. Bevoksninger, som er yngre end 30 år, har højder, som er mindre end højderne for bonitet I. Hvis man kan antage, at bonitetsoversigterne giver et sanddru billede af højdeudviklingen under forskellige vækstforhold, så er det meget nærliggende at antage, at de ældste bevoksninger har en højere bonitet end de yngste. Det vil sige, at de ældste bevoksninger har bedre vækstbetingelser end de yngste.

Nu kommer højeste, stabile vandstand igen ind i billedet. 21/4-vandstanden er korreleret med bevoksningsalderen. De ældste bevoksninger har dybere 21/4-vandstand end de yngste, og det er nærliggende at antage, at de ældste bevoksninger i sin tid er plantet på tørrere bund end de yngste (jfr. s. 371).

Bonitetsoversigternes højdekurver udgår desværre fra 20 år. For at få de 6 yngste bevoksninger med ved en vurdering af hypotesen, må man ekstrapolere bonitetshøjdekurven. Det er på figuren gjort ved den punkterede del af bonitetskurven. Ekstrapolationen er formodentlig ikke helt rigtig. Man ville vente, at bonitetskurven blev svagt s-formet i lighed med den fuldt op-

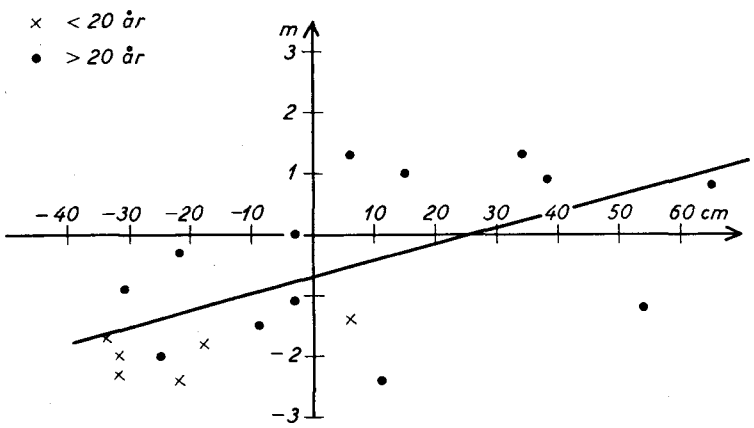

Fig. 61. Rødgranbevoksningernes afvigelser (m) fra bonitet I lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (cm) fra middel-21/4-vandstand for alle bevoksninger. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 61. The deviations of the Norway spruce stands (m) from Site Class I superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (cm) from the mean 21/4-water-table for all stands. Deviation = measured value — regression value. — (år = years).

trukne udjævningskurve. Ekstrapolationen kan dog ikke være helt gal, og den medfører i værste fald, at de unge Bregentvedbevoksningers afvigelser fra bonitetsoversigterne bliver lidt for store.

I figur 61 er de enkelte bevoksningers højdeafvigelse fra bonitet I (målt højde — bonitetshøjde) lagt op over 21/4-vandstandens afvigelser fra middel — 21/4-vandstanden for alle bevoksningerne. På figuren er anvendt to signaturer, en for bevoksningerne, som er ældre end 20 år, og en for bevoksningerne, som er yngre end 20 år.

Figuren viser, at der er sammenhæng mellem højdeboniteten og 21/4-vandstanden. En regressionsanalyse giver korrelationskoefficienten r = 0.604, og r er signifikant med mere end 99 % sandsynlighed. Regressionsligningen bliver:

(m afvigelse fra bon. I) = — 0.8 + 0.027 (cm afvigelse i 21/4-vandstand).

Regressionslinien er indtegnet på figuren.

For fuldstændighedens skyld skal det anføres, at hvis man udskyder de 6 bevoksninger, som er yngre end 20 år, så er der ikke mere signifikant korrelation mellem de to faktorer. Korrelationskoefficienten bliver r = 0.247.

c. *Diskussion.*

Rødgran antages at være meget følsom overfor vandmangel (jfr. *Holmsgaard*, 1955). Det har ikke rigtig kunnet vises i det foreliggende materiale. Det er vist, at højdeboniteten efter lidt ekstrapolation er korreleret med højeste, stabile vandstand. Det effektive rodrum er indenfor materialet stigende med stigende vandspejlsdybde den 21/4 1959. Alt andet lige må træerne have større jordvandsreserver til rådighed med stigende dybde af rodrummet. Det viser sig da også, at det aktuelle vandforbrug i 1959 er korreleret med 20/8-vandstanden (jfr. s. 426). Det er rimeligt at antage, at korrelationen mellem 21/4-vandstand og bonitet dækker over en korrelation mellem bonitet (∾ tilvækst) og vandforsyningsmuligheder.

Det har, som sagt, knebet med at vise denne korrelation i det indsamlede materiale. Det skyldes formentlig, at materialet ikke er velegnet på grund af korrelationen mellem 21/4-vandstand

og bevoksningsalder. Man må derfor være lidt forsigtig med at drage endelige konklusioner på nærværende tidspunkt. Rødgranens forhold til grundvand er ikke løst, problemet må undersøges nærmere ved indsamling af nye og bedre egnede iagttagelser.

6. *Tilvækstens afhængighed af grundvandstanden i askebevoksningerne.*

a. *Bearbejdningen af træmålingsresultaterne.*

Tabel 23 viser træmålingsresultaterne fra askebevoksningerne.

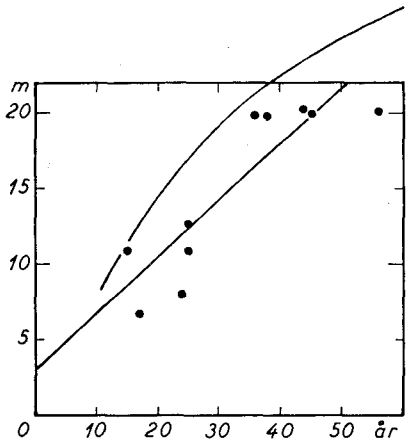

Fig. 62. Askebevoksningernes højder (m) lagt op over bevoksningsalderen. Punkterne er udjævnet ved en beregnet regressionslinie. Kurven er højdekurven for ask bonitet I efter Møller og Nielsen (1959).

Fig. 62. The heights of the ash stands (m) superimposed on the ages of the stands. The points are corrected by a computed regression line. The curve is the height curve for ash Site Class I according to Møller and Nielsen (1959). — (år = *years*).

I figur 62 er middelhøjderne lagt op over bevoksningsaldrene. Punktsværmen er udjævnet ved den beregnede regressionslinie, som er indtegnet på figuren, og desuden er indtegnet højdekurven for ask af bonitet I efter *Møller og Nielsen* (1959).

Den beregnede højderegression har korrelationskoefficienten r = 0.879. Liniens ligning er:

$$(\text{m højde}) = 3.0 + 0.37\ (\text{alder}).$$

Tabel 23. Oversigt over træmålingsdata for andre træarter.
Table 23. A survey of forest mensuration data for other tree-species.

Flade nr. *Plot no.*	Alder, år f. 1959 *Age, years in 1959*	Antal træer målt *Number of trees measured*	Træart *Tree-species*	Middeldiameter, cm f. 1960 *Mean diameter, cm in 1960*	Middelhøjde, m f. 1960 *Mean height, m in 1960*
80	2	10	Rødel *Common alder*	—	1.1 ± 0.04
81	3	10	Ær *Sycamore*	—	0.8 ± 0.07
		10	Rødel *Common alder*	—	1.3 ± 0.07
82	5	10	Rødel	—	1.2 ± 0.13
83	11	10	Rødel	7.9 ± 0.24	9.4 ± 0.17
84	15	10	Ask *Ash*	9.7 ± 0.33	10.9 ± 0.24
85	17	10	Ask	4.7 ± 0.37	6.7 ± 0.30
86	24	10	Ask	6.5 ± 0.47	8.0 ± 0.17
87	25	10	Ask	8.9 ± 0.98	10.9 ± 0.23
88	25	10	Ask	13.3 ± 0.68	12.7 ± 0.19
89	36	5	Ask	23.2 ± 1.30	19.8 ± 0.38
90	38	10	Ask	26.9 ± 1.20	19.8 ± 0.31
91	45	5	Ask	30.8 ± 1.40	19.9 ± 0.41
92	44	5	Ask	27.6 ± 1.03	20.2 ± 0.41
93	56	2	Ask	33.5 ± 1.42	20.0 ± 0.40
94	15	10	Ær *Sycamore*	8.1 ± 0.48	9.9 ± 0.24
95	36	5	Ær	27.0 ± 1.31	20.3 ± 0.46
96	22	5	Poppel *Poplar*	22.8 ± 1.36	17.7 ± 0.34
97	24	10	Kirsebær *Cherry*	11.8 ± 0.47	11.7 ± 0.16
98	21	10	Avnbøg *Hornbeam*	10.8 ± 0.94	10.3 ± 0.17
99	26	10	Jap. lærk *Japanese larch*	13.0 ± 0.86	12.1 ± 0.30
100	37	5	Grandis *Abies grandis*	33.0 ± 0.78	25.4 ± 0.97

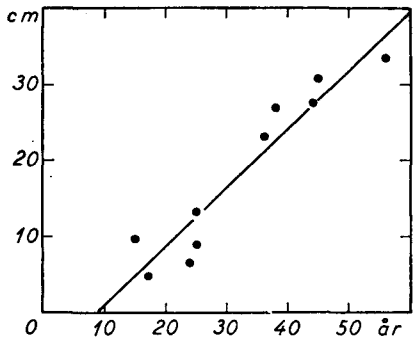

Fig. 63. Alder/diameter-regressionen for de undersøgte askebevoksninger.

Fig. 63. The age/diameter regression for the ash stands investigated. (år = *years*).

I figur 63 er askebevoksningernes middeldiametre lagt op over bevoksningsaldrene. Punktsværmen er udjævnet ved den indtegnede rette linie, som har ligningen:

$$(\text{cm diameter}) = -6.8 + 0.78\ (\text{alder}).$$

Figur 64 viser sammenhængen mellem de målte middelhøjders afvigelser fra alder/højde-regressionslinien og middeldiametrenes afvigelser fra alder/diameter-regressionslinien. Sammenhængen er tydelig, og den er karakteriseret ved en korrelationskoefficient på r = 0.876, der er signifikant med mere end 99.9 % sandsynlighed.

b. Tilvækst og grundvandsforhold.

Der er undersøgt så få askebevoksninger, at der ikke kunne påvises signifikante sammenhænge imellem på den ene side alder og 21/4-vandstande og på den anden side 20/8-vandstande. Hovedtendensen i materialet er dog, at ask i sit forhold til grundvand synes at ligne eg meget.

Selv om der ikke ud fra grundvandsmålingerne kan siges noget definitivt om askens forhold til grundvand, har det dog interesse at undersøge, om tilvæksten samvarierer med grundvandsforholdene på den ene eller på den anden måde.

I figur 65 er højdeafvigelserne fra alder/højde-regressionslinien lagt op over 21/4-vandstandens afvigelser fra middel —

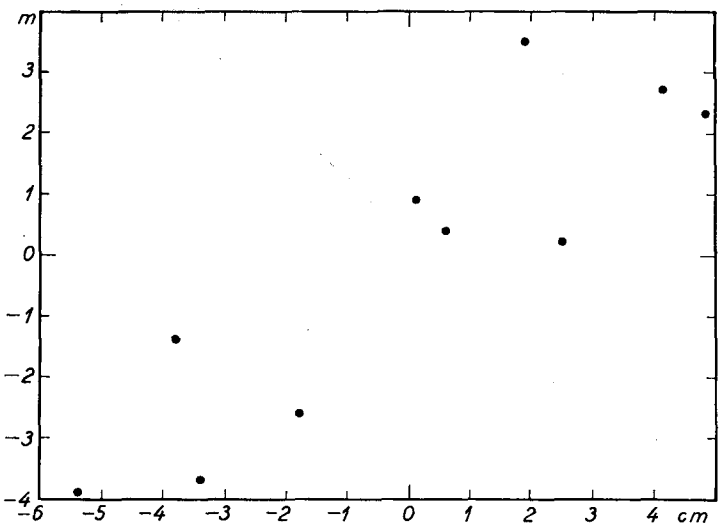

Fig. 64. Højdernes afvigelser (m) fra alder/højde-regressionen lagt op over diametrenes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen for askebevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 64. The deviations of the heights (m) from the age/height regression superimposed on the deviations of the diameters (cm) from the age/diameter regression for the ash stands. Deviation = measured value — regression value.

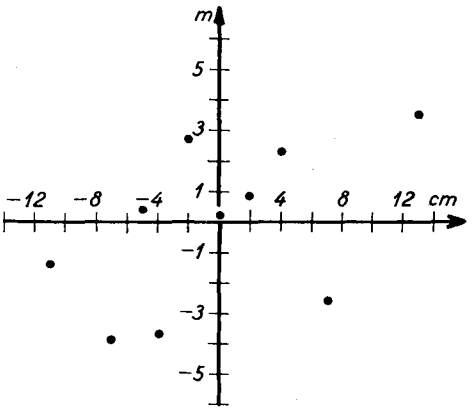

Fig. 65. Askebevoksningernes afvigelser (m) fra alder/højde-regressionen lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (cm) fra middel-21/4-vandstanden i bevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 65. The deviations of the ash stands (m) from the age/height regression superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (cm) from the mean 21/4-water-table in the stands. Deviation = measured value — regression value.

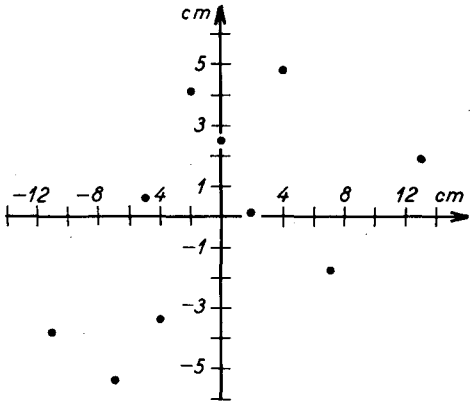

Fig. 66. Askebevoksningernes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra middel-21/4-vandstanden i askebevoksningerne. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 66. The deviations of the ash stands (cm) from the age/diameter regression superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (abscissa, cm) from the mean 21/4-water-table in the ash stands. Deviation = measured value — regression value.

21/4-vandstanden i alle askebevoksningerne. Man øjner her en tendens til stigende højdebonitet, hvor 21/4-vandstanden er dyb. En korrelationsanalyse giver r= 0.520. Korrelationskoefficienten er ikke signifikant. Et t-test giver $t_8 = 1.72$ svarende til sandsynligheden 80 % $< p <$ 90 %.

Figur 66 viser diameterafvigelserne lagt op over afvigelserne i 21/4-vandstand. Der øjnes i denne figur en tilsvarende tendens til stigende diameter for stigende afstand til 21/4-vandspejlet. I denne figur er korrelationskoefficienten r = 0.513, og den er ikke signifikant.

Nu var 20/8-vandstanden i højere grad afhængig af bevoksningsalderen end af 21/4-vandstanden, hvis man overhovedet tør tale om samvariation, når der ikke er påvist signifikante korrelationer. A priori vil man derfor ikke vente signifikante sammenhænge mellem tilvækstfaktorer og 21/4-vandstande. Ved dernæst at betragte tilvækst og 20/8-vandstande nås følgende:

I figur 67 er højdeafvigelserne lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser fra det beregnede regressionsplan. I denne figur øjnes en negativ korrelation mellem højdeafvigelser og vandstandsafvigelser. Korrelationskoefficienten er r = — 0.561, og den er ikke signifikant.

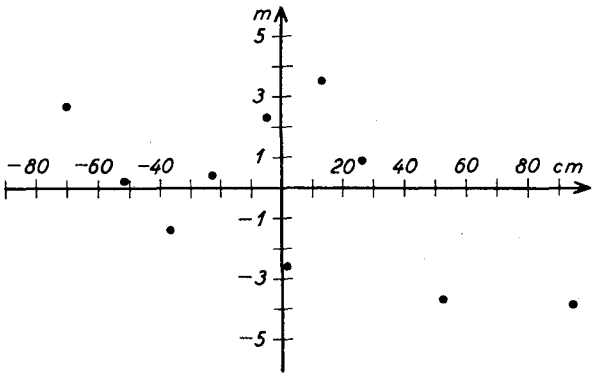

Fig. 67. Askebevoksningernes afvigelser (m) fra alder/højde-regressionen lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser (cm) fra det beregnede regressionsplan. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 67. The deviations of the ash stands (m) from the age/height regression superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables (cm) from the computed regression plane. Deviation = measured value — regression value.

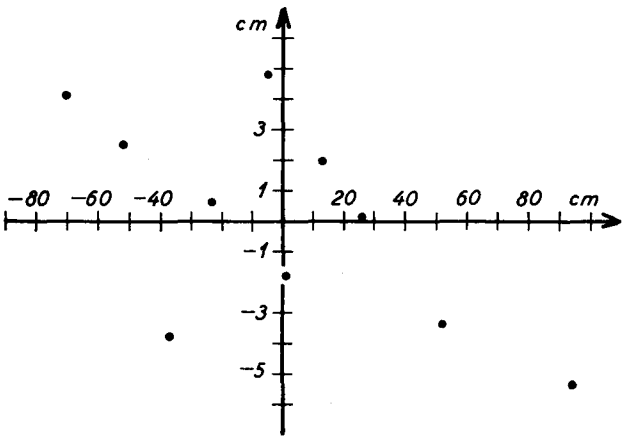

Fig. 68. Askebevoksningernes afvigelser (cm) fra alder/diameter-regressionen lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser (abscisse, cm) fra det beregnede regressionsplan. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 68. The deviations of the ash stands (cm) from the age/diameter regression superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables (abscissa, cm) from the computed regression plane. Deviation = measured value — regression value.

I figur 68, hvor diameterafvigelserne er lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser fra regressionsplanet, ses den samme tendens til negativ korrelation som i figur 67. Her er korrelationskoefficienten r = — 0.631, og den er ikke signifikant, men meget nær ved at være det (t_8 = 2.30 svarende til p = 94.9 %).

Ved udjævningen af askebevoksningernes højder anvendtes en ret linie, selvom det ikke er en ideel udjævning. Mod hele den foregående fremstilling kan derfor indvendes, at denne udjævning strider i den grad imod materialets karakter, at man får skjult alle eksisterende korrelationer mellem tilvækst og grundvandsforhold. For at komme uden om sådanne indvendinger, kan man gå en anden vej. Askebevoksningernes afvigelser fra bonitet I kan sammenlignes med grundvandsforholdene.

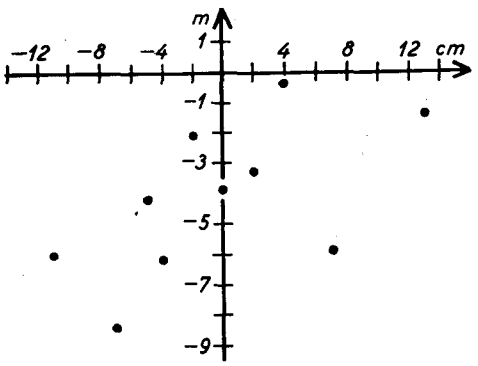

Fig. 69. Askebevoksningernes højdeafvigelser (m) fra bonitet I lagt op over 21/4-vandstandenes afvigelser (cm) fra middel-21/4-vandstanden for alle bevoksninger. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 69. The height deviations of the ash stands (m) from Site Class I superimposed on the deviations of the 21/4-water-tables (cm) from the mean 21/4-water-table for all stands. Deviation = measured value — regression value.

I figur 69 er højdeafvigelserne fra bonitet I (middelhøjde — bonitet I's højde) lagt op over afvigelserne i 21/4-vandstand. Her er en positiv korrelation, det vil sige stigende højdebonitet med stigende afstand til 21/4-vandspejlet. Korrelationen er dog ikke signifikant. Korrelationskoefficienten er r = 0.598. Et t-test giver t_8 = 2.11 svarende til sandsynligheden 90 % < p < 95 %.

Endelig er i figur 70 højdeafvigelserne fra bonitet I sammenlignet med 20/8-vandstandenes afvigelser fra regressionsplanet.

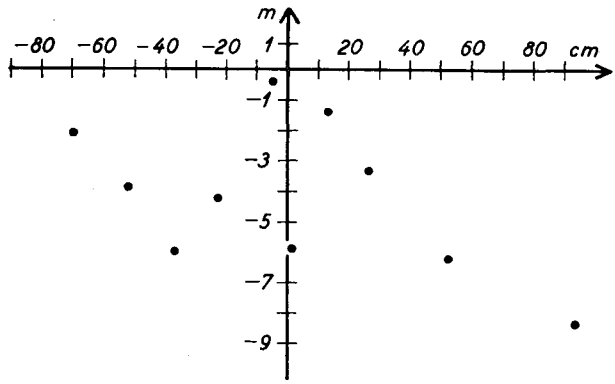

Fig. 70. Askebevoksningernes højdeafvigelser (m) fra bonitet I lagt op over 20/8-vandstandenes afvigelser fra det beregnede regressionsplan. Afvigelse = målt værdi — udjævnet værdi.

Fig. 70. The height deviations of the ash stands (m) from Site Class I superimposed on the deviations of the 20/8-water-tables from the computed regression plane. Deviation = measured value — regression value.

I denne figur går tendensen i retning af en negativ korrelation, det vil sige, at højdeboniteten skulle være lavest, hvor 20/8-vandstanden var dybere end forudsagt ved grundvandsregressionen. Korrelationskoefficienten er r = — 0.504, og den er ikke signifikant.

c. Diskussion.

Ved hele behandlingen i de foregående afsnit er det valgt at regne en forskel eller sammenhæng for signifikant, hvis sandsynligheden for forskellen eller sammenhængen var større end eller lig 95 %. Man kan derfor med rette indvende, at det er en belastning af fremstillingen, når der slæbes 6 figurer med, som ikke viser nogen signifikant sammenhæng. Imidlertid kan det være af betydning både at vise, at der ikke er nogen sammenhæng, og også at demonstrere sammenhænge, som ikke er fuldt signifikante. Det sidste gælder navnlig i tilfælde, hvor der kun er få iagttagelser til rådighed. I sådanne tilfælde kan en ikke fuldt signifikant sammenhæng give basis for en god arbejdshypotese med henblik på indsamling af nye og større materialer.

En hypotese baseret på f. eks. 10 iagttagelser og 90 % sandsynlighed må under alle omstændigheder være af større værdi end en hypotese baseret på en enkelt iagttagelse. Hypoteser af

den sidstnævnte karakter er desværre ikke noget særsyn i den forstlige litteratur (se f. eks. litteratursammenstillingen side 239—275).

Man må altså gøre sig klart, at de resultater, som er nået ved tilvækst-grundvandsundersøgelsen for de 10 askebevoksninger, ikke er så sikre, at de kan betragtes som andet end et udgangspunkt for hypotesemageri med henblik på mere indgående undersøgelser.

Der er fundet to hovedtendenser:

1) Tilvæksten stiger, når 21/4-vandspejlet er dybt.
2) Tilvæksten falder, når 20/8-vandspejlet er dybere end beregnet efter regressionsligningen for grundvandsænkning.

De to tendenser er ikke modstridende. I regressionsligningen for grundvandsænkningen indgår 21/4-vandstanden med en negativ, partiel regressionskoefficient, som ganske vist ikke er signifikant. I dette tilfælde er tendensen, at høj 21/4-vandstand giver stor grundvandsænkning. Efter 2) kan man vente lav tilvækst ved stor grundvandsænkning, eller følgelig lav tilvækst ved høj 21/4-vandstand. Hermed er vi tilbage i 1).

Zöttl (1958) har fundet, at jordbundstemperaturen i foråret og forsommeren er lavere, hvor jorden er dårligt drænet (høj 21/4-vandstand), end hvor jorden er bedre drænet (dyb 21/4-vandstand).

Holmsgaard (1955) undersøgte årringsvariationerne for 7 askebevoksninger på Vallø og fandt, at diametertilvæksten var positivt korreleret med temperaturen i månederne februar — marts — april. Det må antages, som også *Holmsgaard* gør det, at det er en korrelation mellem jordtemperatur og tilvækst, som viser sig på denne måde.

Foreløbig må det antages, at sammenhængen mellem vækst og grundvandsforhold på Bregentved kan indicere en sammenhæng mellem vækst og jordbundstemperatur. Det er dog meget påkrævet, at forholdet bliver undersøgt yderligere. Det må jo nemlig ikke glemmes, at nok fandt *Holmsgaard* en sammenhæng mellem vintertemperatur og vækst, men juni + juli-nedbøren var af større betydning for tilvæksten. Denne vand-vækst-korrelation ses ikke at manifestere sig i nærværende undersøgelse.

7. *Grundvandets indflydelse på sundhed og stabilitet.*

I litteraturoversigten er samlet en del artikler, i hvilke forskellige forfattere redegør for, hvorledes grundvandet kan influere på træbevoksningers sundhed og stabilitet.

Højtstående grundvand gør jorden fysiologisk fladgrundet. Hvis grundvandet på grund af stærk hugst eller overnormal nedbør stiger over den normale stand i vækstperioden, vil træers rodsystemer eller dele af deres rodsystemer kunne drukne. Drukningen er en „fysiogen plantesygdom", og den må influere på tilvækstforholdene. Indflydelsen må være størst, hvor det er store dele af rodsystemet, som er druknet.

Litteraturen giver endvidere visse holdepunkter for, at den fysiologiske svækkelse, som træerne kommer i på grund af roddøden, disponerer dem for andre sygdomme.

Efter litteraturen må det antages, at der er en betydelig risiko for stormfald med rodvæltere på jord, hvor træerne har et fladt rodsystem på grund af fysiologisk fladgrundethed.

Det er ikke ved undersøgelserne på Bregentved søgt at få belyst patologiske forhold. Imidlertid kan en iagttagelse på Mårum statsskovdistrikt bidrage til at klargøre, at jordbunds- og grundvandsundersøgelser kan have plantepatologisk interesse.

Kgl. skovrider *Allerup* henvendte sig i sommeren 1960 til forsøgsvæsenet for at få opklaret, hvorfor nogle ældre bøgebevoksninger på distriktet så meget sygelige ud. I det følgende gøres der rede for de undersøgelser, som forsøgsvæsenet foretog på et af disse arealer, Valby Hegn, afd. 53.

Det drejer sig om en bevoksning af ca. 116 år gamle bøge iblandet en del formentlig jævnaldrende ask. På arealet findes en temmelig tæt opvækst. Den består overvejende af ær, og den er 2—4 m høj.

Terrænet er bølget. Jorden er leret. I figur 71 er vist finhedskarakteristikken for en jordprøve fra 100 cm's dybde.

Boringer forskellige steder på arealet viste, at der er højtstående grundvand.

Bøgene havde i juli måned et stærkt varierende udseende. Enkelte var så godt som uden løv. Andre var tilsyneladende helt normale. Mellem disse yderpunkter var der alle mulige overgange. Navnlig bemærkede man, at mange træer havde normalt udseende vanris, mens toppen var næsten løvløs.

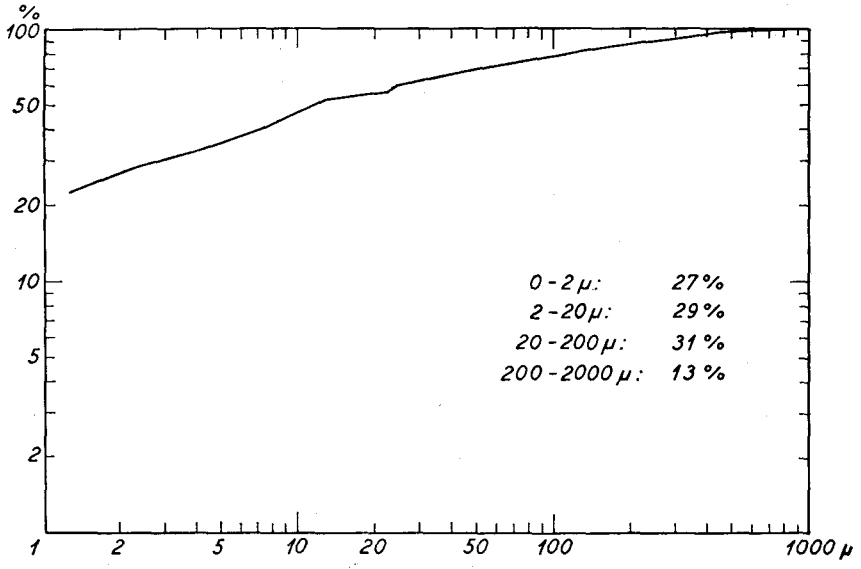

Fig. 71. Finhedskarakteristik for en jordprøve fra ca. 100 cm's dybde fra bøgearealet i Valby Hegn.

Fig. 71. Determination of fineness in a soil sample drawn from a depth of abt. 100 cm in the beech stand in Valby Hegn.

Askene havde derimod alle et ganske normalt udseende, og undervæksten viste heller ikke tegn på unormal vækst.

Gravning ved forskellige bøge viste, at kun en meget øverlig del af træernes rodsystemer var levende. Fra 10 cm's dybde var alle rødder døde. Overfladerødderne var døde i ca. 1 m's afstand fra træet. Et sundt udseende træ på kanten af en vejgrøft dannede en undtagelse. Også dette træs dybtgående rødder var døde, men først fra 20—25 cm's dybde, og de øverlige rødder var først døde 1.5—2.0 m fra stammen på den side af træet, som vendte bort fra grøften.

For at få lidt bedre indblik i, hvor omfattende roddøden var, blev det besluttet at vælte 1 à 2 træer ved velvillig assistance fra CF-kolonnen i Hillerød.

Den 11. juli blev to bøge væltet.

Den første af disse var en af de mindst beløvede på arealet. Træets højde var 26 m, diameteren i brysthøjde var 34 cm. Som ventet havde det ingen levende rødder under 10 cm's dybde. Her var der et tæt net af døde rødder til en dybde af ca. 140 cm. Det længste levende rodstykke i overfladesystemet var 120 cm. De

levende overfladerødders korteste udstrækning var 56 cm. Træets øjeblikkelige rodrum var af en udstrækning på ca. $\frac{\pi}{4}(120+56)^2 \cdot 10$ cm³ eller ca. 0.24 m³. Toppen havde få og små blade og ingen frugter.

Det andet af de to væltede træer havde døende top og mange normalt udseende vanris. Træets højde var 26 m og dets brysthøjdediameter 32 cm. Dets rodsystem var dødt fra ca. 10 cm's dybde, men overfladerodkagen var i dette tilfælde noget større, idet den største radiære udstrækning var ca. 200 cm, den mindste ca. 150 cm. Dette træs øjeblikkelige rodrum var altså ca. $\frac{\pi}{4}(200+150)^2 \cdot 10$ cm³ eller ca. 0.96 m³. På dette træ var beløvningen i toppen noget rigeligere, og det var meget tæt besat med frugter.

Det er af nogen interesse at sammenligne ovenstående tal med tilsvarende tal fra et bøgerodsystem, som i 1955 blev taget op på Bregentved (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a). Prøvetræets diameter var 35 cm, bevoksningens middelhøjde var 23.8 m og alderen ca. 65 år. Dette træs rodkage havde en gennemsnitsdiameter på ca. 6 m, og roddybden var ca. 115 cm. Bregentvedtræets rodrum var følgelig ca. $\frac{\pi}{4} \cdot 6^2 \cdot 1.15$ m³ eller ca. 32.5 m³.

De tre træer kan ikke uden videre sammenlignes, men man kan få et begreb om, hvor meget rodrummet er reduceret som følge af roddøden i Valby Hegn.

Figur 72 viser årringsbredderne på borepropper fra tre træer. Figurens *træ a* er det ovenfor omtalte, normalt udseende træ på kanten af vejgrøften. *Træ c* er det dårligste af de to væltede træer. *Træ b* er et nabotræ til *træ c*, og dets udseende var som træ *c's*.

Alle tre træer havde meget smalle årringe i 1956, som var et forholdsvis tørt år. I årene 1957, 1958 og 1959 havde *træ a* årringe af samme størrelsesorden som i årene før 1956. *Træ b* og *træ c* havde derimod fortsat meget smalle årringe.

Det er en nærliggende tanke at forestille sig, at der er sket noget med bevoksningen omkring 1956/57. Det viste sig da også, at der i vinteren 1956/57 blev foretaget en kraftig gennemhugning netop i de sygnende partier. En skovløber på skovparten kunne erindre, at det i den påfølgende sommer var umuligt at

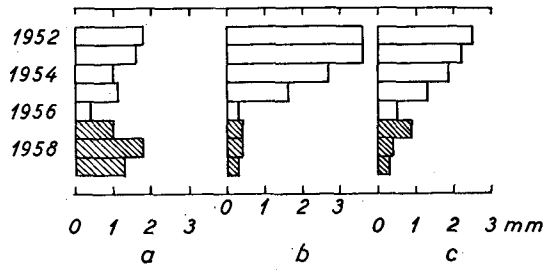

Fig. 72. Årringsbredder for tre bøge på arealet i Valby Hegn. Træ a er et normalt udseende træ på kanten af en vejgrøft. Træ b er et tilsyneladende døende træ, som står nabo til træ c, der også var døende, og som blev væltet. Se iøvrigt teksten.

Fig. 72. Widths of the annual rings in three beech trees from the stand in Valby Hegn. Tree a is a normally-looking tree on the edge of a roadside ditch. Tree b is an apparently dying tree standing next to Tree c, which was also dying, and which was overturned. For further details, see text.

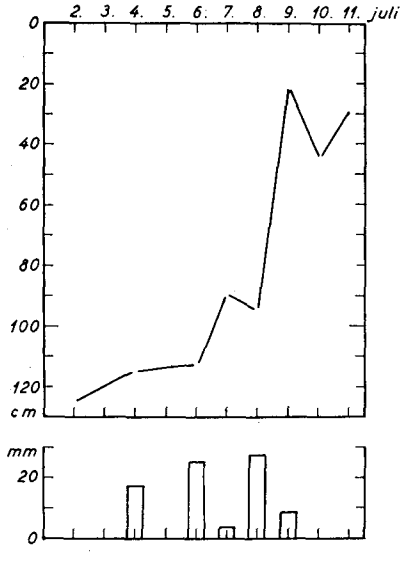

Fig. 73. Grundvandstanden (øverst) de første dage i juli i den undersøgte bøgebevoksning i Valby Hegn. Derunder nedbør de samme dage i Springforbi.

Fig. 73. The ground-water-table (above) during the first days of July in the investigated beech stand in Valby Hegn. Below, the rainfall on the same days in Springforbi.

færdes med træsko i denne del af afdelingen. Bevoksningen sejlede.

Bevoksningen sejler stadig. I figur 73 er gengivet grundvandskurven fra en brønd lige ved *træ c* fra de første dage i juli. Efter den tørre forsommer var grundvandstanden d. 2. juli 125 cm under jordoverfladen. Regnen i begyndelsen af juli gav imidlertid en øjeblikkelig grundvandstigning, og antagelig har grundvandet stået højt i resten af den fugtige sommer og eftersommer (målingerne afsluttedes i juli).

Der skal mindes om, at undersøgelserne på Bregentved (*Holstener-Jørgensen,* 1959 b og her i beretningen s. 276—285) har vist, at et kraftigt hugstindgreb gav en stigning af dybeste grundvandstand på 1 m i den påfølgende vækstperiode. Det nævnte hugstindgreb var nok en lysstilling, men grundfladereduktionen var trods alt ikke på mere end 32 %. Hvis afvandingsforholdene (naturlige eller kunstige) er dårlige, og der følger en meget nedbørsrig sommer eller sommerperiode efter hugstindgrebet, kan grundvandstigningen og dermed roddøden meget let blive endnu større end på Bregentved.

Mon man gætter meget galt, hvis man antager, at rødderne er druknet i sommeren 1957?

Man er henvist til at gætte, fordi undersøgelserne ikke har kunnet foretages samtidig med begivenhederne. Træerne har først rigtig klart vist, at der var noget galt i foråret 1960. Det er et kendt fænomen ved undersøgelser af oversvømmelsers betydning, at ældre træer har en vis inerti. Først efter nogle års forløb reagerer de på drukningen (se litteraturen om emnet side 257—264).

Man mærker sig iøvrigt, at det synlige udslag i det foreliggende tilfælde er kommet efter tørkeåret 1959. Det kan friste til at tro, at vækstforholdene i 1959 er årsagen til roddøden. Bøgerødder kan ikke (efter forfatterens erfaringer) dateres ved årringstælling. Det har derfor ikke været muligt at datere roddøden. De døde rødder var imidlertid så stærkt formuldede i jordens øvre horisonter, at det kan udelukkes, at roddøden er sket i 1959. Tørken i 1959 har muligvis virket udløsende, slidt de sidste reserver op; men årsagen til katastrofen er drukning.

Billedet i Valby Hegn minder stærkt om det, man i U.S.A. har beskrevet som „little-leaf-disease" hos amerikanske nåletræarter (se omtalen på s. 259 af arbejder af *Copeland* (1949),

Campbell og medarbejdere (1953) og *Stone og medarbejdere* (1954)). Ganske det samme billede kender man fra toptørre bøgeoverstandere på svær jord.

Endelig mærker man sig, at bevoksningens ask er sunde, og det samme gælder opvæksten. Det stemmer smukt med resultaterne af undersøgelserne på Bregentved. Ask synes at være en lidet grundvandsfølsom træart, og den unge opvækst har endnu ikke så dybtgående rodsystemer, at den generes synderligt af højtstående grundvand. Samtidig må det antages, at opvækstens vandforbrug (og -behov) endnu er forholdsvis beskedent på grund af bøgenes skærmvirkning.

Konklusion:

Iagttagelsen på Mårum statsskovdistrikt maner til forsigtighed med hugstindgreb. På svære jorder med højtstående grundvand bør man ved udhugning følge den gammelkendte forholdsregel: lidt, men tit. Det gælder i første række mellemaldrende og ældre bevoksninger.

V. OM DE UNDERSØGTE BEVOKSNINGERS VANDFORBRUG.

1. Om den anvendte beregningsmetode.

I et par tidligere arbejder har forfatteren anvendt grundvandsvingninger og nedbørsdata til beregning af bevoksningers vandforbrug (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a og 1959 b). I et tredie arbejde (*Holstener-Jørgensen*, 1959 c) er det på basis af de data, som er publiceret i de to nævnte beretninger, foreslået i højere grad end hidtil at benytte grundvandstandsmålinger til løsning af vandbalanceproblemer. På svære lerjorder med højtstående grundvand er den anvendte metode nem og billig at arbejde med.

De nævnte arbejder var baseret på relativt få iagttagelser, idet undersøgelserne kun omfattede fire bevoksninger. Der var derfor grund til at gøre nærværende undersøgelse så omfattende, at den også kunne tjene til at belyse denne side af sagen. Det er grunden til, at grundvandspejlets bevægelser blev fulgt gennem vinteren 1959/60.

Metoden, som benyttes ved beregningen af bevoksningernes vandforbrug, er baseret på følgende tankegang:

Før vækstperioden begynder, er jorden vandmættet. Grundvandstanden er lig med den højeste, stabile vandstand undtagen i kortere perioder, efter at der er faldet nedbør eller smeltet sne. I sådanne perioder er grundvandstanden højere, og der sker en afstrømning gennem de øvre, grovporerige horisonter til grøfter og via disse til hovedvandløb og havet.

I løbet af vækstperioden tømmes jorden delvis for vand i rodrummet, og nedbøren bruges ligeledes helt, hvis arealet er bevokset med skovtræer og anden vegetation med et nogenlunde dybt rodrum, og hvis vækstperioden ikke er meget nedbørsrig. Samtidig sænkes grundvandspejlet.

Når vækstperioden slutter, fyldes jordmagasinet påny. Fyldningen sker fra oven, idet de øverste jordlag mættes til fuld, na-

turlig vandkapacitet, før der siver vand til de dybere lag. Først, når hele jordlaget over grundvandspejlet er fyldt til naturlig vandkapacitet, vil grundvandspejlet begynde at stige. Ved fuld, naturlig vandkapacitet forstås i denne forbindelse en tilstand, hvor jordvandet over grundvandspejlet er i balance med grundvandspejlet. Når denne tilstand er nået, skal der, navnlig for de dybere lags vedkommende, kun tilføres små nedbørsmængder for at give store grundvandstigninger (jfr. behandlingen af φ = „spezifische Wasserlieferung" på side 367). Det vil derfor ofte forekomme, at grundvandet stiger fra sin dybeste stand til forårsvandstanden i løbet af ganske få dage. Det ses f. eks. meget typisk på figur 1 d, side 279.

Når grundvandet har nået sin højeste, stabile stand, vil yderligere nedbør strømme af, bortset fra de små mængder vand, som fordamper i det sene efterår og om vinteren. I denne afstrømningsperiode er den aktuelle fordampning iøvrigt lig med den potentielle fordampning, som er lille.

Det aktuelle vandforbrug i en bevoksning er den nedbørsmængde, som er faldet i perioden fra den dag i foråret, hvor sidste højeste, stabile vandstand er registreret til den dag efter vækstperioden, hvor grundvandet påny når højeste, stabile vandstand. Hvis man vil beregne vandforbruget for et helt hydrologisk år (f. eks. 1/4—1/4), må der hertil lægges den nævnte fordampning i afstrømningsperioden.

Ved ovennævnte tankegang er der helt set bort fra en dybtgående grundvandsafstrømning. Hvis en sådan forekommer, må den trækkes fra det vandforbrug, som er beregnet ved en metode som ovenstående. For den del af Bregentved-området, som er undersøgt, er der tidligere gjort rede for, at en sådan afstrømning ikke kan påvises ved hjælp af de indsamlede data, og at den, hvis den overhovedet forekommer, kun andrager nogle få mm nedbør pr. år.

Grundlaget for metoden er, at man nøje får registreret, hvornår højeste, stabile vandstand passeres under grundvandspejlets bevægelser op og ned. Det kræver anskaffelse af et større antal selvregistrerende instrumenter, hvis man vil have helt eksakte mål for et større antal brønde. I praksis kan man imidlertid gøre det, at man måler grundvandstanden f. eks. med 14-dages intervaller. Grundvandstandene lægges op på datopapir, og når forbindelseslinien mellem to punkter skærer niveauet for højeste,

stabile vandstand, anvender man skæringspunktets dato som skæringsdato for nedbørssummen, som angiver bevoksningens vandforbrug.

En sådan fremgangsmåde giver selvsagt en vis spredning på beregningsresultaterne for en række bevoksninger. For eksempel kan det forekomme, at den „rigtige" skæringsdato ligger nær ved den ene eller den anden måledag. Det medfører, at en betydelig del af 14-dages periodens nedbør fejlagtig indregnes eller udelades i nedbørssummen.

En anden spredning på resultaterne får man i de år, hvor højeste, stabile vandstand først nås i løbet af vinteren. Her vil stigningen ofte komme i forbindelse med smeltning af mere eller mindre svære snelag. Disse snelag er eventuelt summeret nedbør fra en længere periode, og der må gennemføres et betydeligt analysearbejde, hvis man vil undersøge, hvor meget vand et restsnelag indeholder, når højeste, stabile vandstand er nået. I nogenlunde normale år med hensyn til nedbør nås højeste, stabile vandstand her i landet før sneperioden (se *Holstener-Jørgensen*, 1959 a). I tørkeår som 1959 er det ikke tilfældet; men i vinteren 1959/60 vekslede frost og tø så ofte, at de helt store spredninger som følge af lange, snerige frostperioder er undgået.

Hvor der er mulighed for snefygning, vil der lokalt kunne ophobes betydelige snemængder, som ikke står i forhold til den nedbør, som stedet har fået efter nedbørsmålingerne på en nærliggende nedbørsstation.

Endelig må det nævnes, at man må vente at få de bedste resultater, hvis nedbøren bestemmes nær ved grundvandsbrønden. Hvis man anvender en nedbørsstation, som ligger langt fra målebrønden, vil der være en vis uoverensstemmelse mellem nedbøren ved målebrønden og nedbøren på nedbørsstationen.

Det fremgår, at der er en hel serie faktorer, som kan forårsage fejl på opgørelsen af bevoksningers vandforbrug. Ved den foreliggende undersøgelse er som mål for højeste, stabile vandstand anvendt vandstanden d. 21/4 1959. Der er foran i beretningen (side 297—299) gjort rede for, hvor godt denne vandstand kan antages at være i overensstemmelse med den rigtige højeste, stabile vandstand.

Der er, som det fremgår af hovedtabel I, målt vandstande med intervaller på ca. 14 dage i hele den periode, hvor jorden efter sommertørken efterhånden påny bliver mættet med vand.

Tabel 24. Oversigt over nedbør i forsøgsområdet.
Table 24. A survey of the precipitation in the experimental area.

		Haslev mm	*Tureby* mm	*Karise* mm	Middel mm *Mean*	Middel 1886-1925 *Haslev* mm *Mean 1886-1925*
April	1959	68	77	72	72	41
Maj	„	14	17	20	17	42
Juni	„	16	14	13	14	47
Juli	„	76	89	34	66	69
August	„	53	43	37	44	78
September	„	3	7	3	4	56
Oktober	„	54	41	53	49	67
November	„	22	22	22	22	55
December	„	62	54	74	63	62
Januar	1960	59	60	66	62	49
Februar	„	45	35	75	52	33
Marts	„	9	7	13	10	44
April	„	41	43	41	42	41

Datoen, hvor højeste, stabile vandstand er nået efter vækstperioden, er bestemt grafisk som ovenfor beskrevet.

For alle brøndene har de anvendte nedbørssummer været middeltallet af summerne for Meteorologisk Instituts stationer *Karise, Tureby* og *Haslev*. Stationerne dækker undersøgelsesområdet godt, idet stationerne *Haslev* og *Karise* ligger lige ved disse byer, som er indtegnet på figur 2. Stationen *Tureby* er placeret på skovfogedstedet i *Grevindeskovens* vestkant (se figur 2).

Månedsnedbøren for de tre nævnte stationer er anført i tabel 24, som altså giver en vis mulighed for at skønne over nedbørsvariationen.

Det bemærkes, at der er en temmelig god overensstemmelse mellem de tre stationers nedbør i vækstperioden. Den største variation forekommer i juli, hvor *Karise* har fået en særlig lille nedbør. Ved at summere nedbøren for de enkelte stationer for månederne maj-september (begge incl.), nås følgende værdier: Haslev: 162 mm, Tureby: 170 mm, Karise: 107 mm. Middelværdien er 143 mm. Man vil forstå, at der kan forekomme fejl på vandforbrugsberegningerne, som kan blive af størrelsesordenen 40—50 mm, først og fremmest på flader med fladt rodrum, hvor grundvandet stiger tidligt efter vækstperioden. Nedbørstallene

T a b e l 2 5. Oversigt over interpolerede datoer i vinteren 1959/60, hvor højeste, stabile vandstand er nået, og nedbørssummerne fra 21/4 1959 til disse datoer.

T a b l e 2 5. A survey of interpolated dates at which highest stable water-table was reached during the winter of 1959/60, together with the rainfall from 21st April, 1959, till each of these dates.

Flade nr. *Plot no.*	Træart *Tree-species*	Dato *Date*	Nedbørssum, mm *Rainfall, mm*	Flade nr. *Plot no.*	Træart *Tree-species*	Dato *Date*	Nedbørssum, mm *Rainfall, mm*
1	bøg	2.1.	305	49	eg	15.4.	464
2	„	25.2.	402	50	„	8.3.	426
3	„	17.1.	318	51	„	21.4.	464
4	„	24.1.	350	52	„	8.3.	426
5	„	2.3.	403	53	„	8.3.	426
6	„	25.12.	276	57	rødgran	3.2.	367
7	„	9.2.	369	58	„	15.1	314
9	„	19.4.	464	59	„	9.2.	369
10	„	7.3.	426	60	„	21.1.	348
11	„	19.4.	464	61	sitka	22.1.	349
12	„	16.4.	464	62	rødgran	5.3.	426
13	„	5.4.	428	63	„	6.2.	368
14	„	18.1.	321	64	„	3.3.	422
16	„	8.3.	426	65	„	18.4.	464
17	„	7.3.	426	66	„	28.2.	410
18	„	25.1.	350	67	„	6.3.	426
19	„	21.2.	395	68	„	28.2.	410
20	„	10.2.	369	70	„	23.2.	398
21	„	3.3.	422	71	„	31.3.	428
22	„	7.3.	426	72	sitka	8.2.	369
23	„	19.1.	324	74	„	29.2.	412
24	„	7.3.	426	75	„	4.3.	426
27	eg	30.12.	296	77	rødgran	4.3.	426
28	„	10.2.	369	78	„	6.4.	428
29	„	17.2.	385	80	el	27.12.	281
30	„	8.3.	426	81	„	10.1.	311
31	„	15.2.	380	82	„	27.12.	281
32	„	5.3.	426	83	„	1.2.	366
33	„	6.3.	426	84	ask	9.2.	369
34	„	8.3.	426	85	„	21.1.	348
35	„	6.3.	426	86	„	6.3.	426
36	„	30.3.	428	87	„	8.3.	426
37	„	8.3.	426	88	„	8.3.	426
38	„	8.3.	426	89	„	4.3.	426
39	„	21.4.	464	90	„	21.2.	395
40	„	21.4.	464	91	„	11.2.	369
41	„	8.3.	426	92	„	28.3.	427
42	„	21.4.	464	93	„	9.3.	426
43	„	7.2.	369	94	ær	9.3.	426
44	„	11.4.	443	95	„	7.3.	426
45	„	20.4.	464	96	poppel	7.4.	428
46	„	20.4.	464	97	kirsebær	19.2.	389
47	„	9.3.	426	98	avnbøg	8.3.	426
48	„	5.3.	426	99	jap. lærk	2.3.	419

for *Karise* viser, at der i december er faldet 10—20 mm mere på denne station end på de to andre, i januar 6—7 mm mere og i februar 30—40 mm mere. Det betyder, at en del af fladerne, nemlig hvor rodrummet er dybt, og hvor grundvandet stiger sent, bliver behæftet med mindre fejl end de førnævnte 40—50 mm. Alt i alt ses der ikke at være grund til at forsøge at korrigere for fejl. Korrektionen kræver et godt kendskab til de faktorer, som influerer på nedbørsfordelingen i et landskab som det undersøgte. Inspektion af nedbørstallene i 1959/60 for et større antal stationer end de tre, som er anvendt, har ikke givet indtryk af, at der findes meget klare lovmæssigheder, og det falder udenfor opgavens rammer at gennemføre et større studium af den normale nedbørsfordeling i området.

Opmærksomheden skal henledes på, at højeste, stabile vandstand ikke er nået i alle bevoksninger i foråret 1960. Endvidere erindres der om, at flade 26 (bøg) er udskudt ved beregningen af vandforbrug (se s. 360).

På det foreliggende grundlag er der altså beregnet „aktuelle vandforbrug" for de undersøgte bevoksninger. Tabel 25 giver en oversigt over de interpolerede skæringsdatoer og de beregnede vandforbrug for alle bevoksningerne. I det følgende gøres der nærmere rede for resultaterne for de enkelte træarter.

2. *Vandforbruget i bøgebevoksningerne.*

Det må antages, at vandforbruget i en bevoksning er korreleret med, hvor dybt rodsystemerne går ned i jorden. Det er tidligere antaget og begrundet, at 20/8-vandstanden er et udtryk for det effektive rodrum i bevoksningen. Det falder derfor naturligt at sætte det beregnede vandforbrug i de enkelte bevoksninger i relation til 20/8-vandstandene i de samme bevoksninger. Det er gjort i figur 74.

Figuren viser, at der er en meget klar sammenhæng mellem 20/8-vandstandene og de beregnede vandforbrug. På figuren er

---

bøg = *beech*
eg = *oak*
rødgran = *Norway spruce*
sitka = *sitka spruce*
el = *alder*
ask = *ash*
ær = *sycamore*
poppel = *poplar*
kirsebær = *cherry*
avnbøg = *hornbeam*
jap. lærk = *Japanese larch*

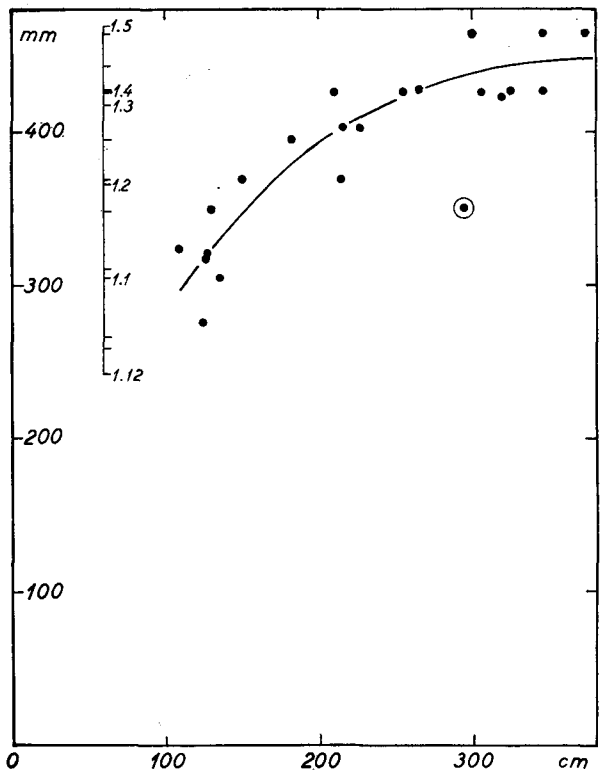

Fig. 74. Beregnet vandforbrug (mm) i bøgebevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandene (cm). Flade 18 er fremhævet ved en cirkel. På figuren er endvidere indlagt en datolinie for perioden 1.12.1959 til 1.5.1960. Ved hjælp af denne kan man skønne over, hvornår 21/4-vandstanden er nået pårny efter vækstperioden for de enkelte bevoksninger.

Fig. 74. Computed water consumption (mm) in the beech stands superimposed on the 20/8-water-tables (cm). Plot no. 18 has been set off by a circle. Furthermore, a date-line for the period 1st December, 1959, through 1st May, 1960, has been inserted in the figure. From this it is possible to estimate for the individual stands when the 21/4-water-table was reached again after the growing season.

indtegnet en frihåndsudjævningskurve. Spredningen omkring denne er lille.

Kun et punkt, flade nr. 18, falder udenfor dette snævre bælte. Forfatteren kan ikke give nogen sikker forklaring på, at denne flade skiller sig ud fra de andre. Der ses dog ikke at være tungtvejende grunde til en specialundersøgelse på den.

Det indtegnede kurveforløb støttes af forholdene i bevoksningerne af de øvrige træarter.

Kurven viser, at jo dybere 20/8-vandstanden er, desto større er vandforbruget. Det vil sige, at jo dybere rodrummet er, desto større er vandforbruget. I praksis betyder det, at bøgebevoksningers vandforbrug stiger med alderen, idet rodrummet bliver dybere, når bevoksningerne bliver ældre. Der er imidlertid ikke proportionalitet mellem rodrumsdybde og vandforbrug. Mervandforbruget er faldende for hver 10 cm, 20/8-vandstanden bliver dybere. Kurven for bøgebevoksningerne benyttes i det følgende til sammenligning med de øvrige træarter.

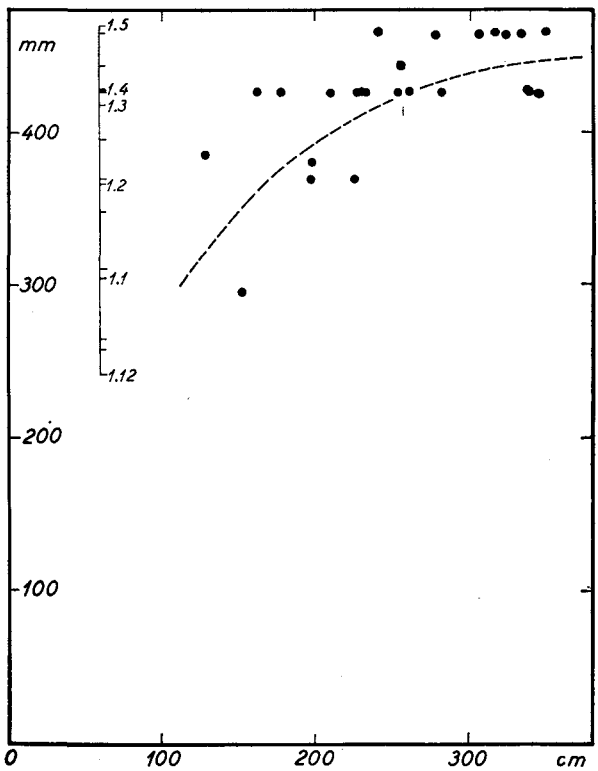

Fig. 75. Beregnet vandforbrug (mm) i egebevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandene (cm). Udjævningskurven for bøgebevoksningerne er indtegnet stiplet. Se iøvrigt teksten til fig. 74.

Fig. 75. Computed water consumption (mm) in the oak stands superimposed on the 20/8-water-tables (cm). The freehand curve for the beech stands has been entered as a dotted curve. See also the text of Fig. 74.

3. Vandforbruget i egebevoksningerne.

I figur 75 er det beregnede vandforbrug i egebevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandene. Udjævningskurven fra figur 74 (bøgebevoksningerne) er indtegnet stiplet.

Det første, man bemærker i denne figur, er, at man ved en frihåndsudjævning af punktsværmen ville have fået en kurve, som lå lidt højere. En sådan udjævningskurve ville have fået nogenlunde samme form som bøgekurven. Der kan dog ikke påvises nogen signifikant forskel i kurveniveauet mellem eg og bøg.

Den formodede forskel kan testes ved et χ^2-test. Det antages, at bøgepunkternes fordeling omkring kurven i figur 74 er den teoretisk rigtige fordeling. Der er 11 punkter, som ligger over eller på kurven, og 11 punkter, der ligger under kurven. Flade 18 er med i denne beregning. Fordelingen er altså en 1:1 fordeling.

Egepunkterne fordeler sig med 18 punkter over og på bøgekurven og 9 punkter under kurven. Testet giver følgende værdi:

$$\chi^2 = 3.00,$$

og den svarer til, at der er en sandsynlighed på mellem 90 % og 95 % for, at der er en forskel mellem de to fordelinger. Den gennemsnitlige forskel mellem egebevoksningernes vandforbrug og vandforbruget i bøgebevoksningerne kan altså ikke tillægges større vægt.

4. Vandforbruget i rødgran- og sitkagranbevoksningerne.

I figur 76 er det beregnede vandforbrug i rødgran- og sitkagranbevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandene. Signaturerne er de samme som på figur 30 (s. 332). Den stiplede kurve på figuren er bøgekurven, mens punktsværmen er frihåndsudjævnet ved den fuldt optrukne kurve.

Det fremgår, at udjævningskurven for disse nåletræbevoksninger ligger væsentlig højere end udjævningskurven for bøg. Et χ^2-test afslører, at forskellen mellem træarterne er højt signifikant.

Der gås igen ud fra, at 1:1 fordelingen for bøgebevoksningerne omkring bøgekurven er den teoretisk rigtige, og det undersøges, om nåletræbevoksningernes fordeling om bøgekurven kan antages at være forskellig fra bøgefordelingen.

Af nåletræbevoksningerne falder 18 over (eller på) bøge-

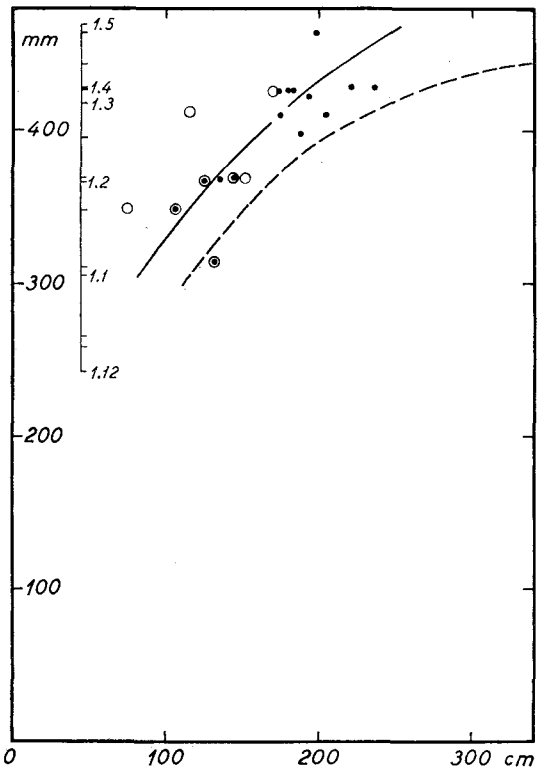

Fig. 76. Beregnet vandforbrug (mm) i rødgran- og sitkagranbevoksningerne lagt op over 20/8-vandstandene (cm). Signaturer som på fig. 30, side 332. Punktsværmen er frihåndsudjævnet ved den fuldt optrukne kurve. Udjævningskurven for bøgebevoksningerne er indtegnet stiplet. Se iøvrigt teksten til fig. 74.

Fig. 76. Computed water consumption (mm) in the Norway spruce and sitka spruce stands superimposed on the 20/8-water-tables (cm). Signs as in Fig. 30, page 332. The cluster of points is free-hand corrected in the fully inked curve. The correction curve for the beech stands has been entered as a dotted curve. See also the text of Fig. 74.

kurven, mens 1 falder under bøgekurven. Den beregnede χ^2-værdi bliver:

$$\chi^2 = 15.211,$$

og den viser, at der er mere end 99.9 % sandsynlighed for, at de to fordelinger er forskellige.

Det indsamlede materiale viser altså, at der i nåletræbevoksningerne for samme effektive roddybde er brugt mere vand end i bøgebevoksningerne til at fylde jorden til den tilstand, som

den havde den 21/4 1959. Det må antages, at forskellen skyldes et større vandforbrug i nåletræbevoksningerne end i bøgebevoksningerne i perioden fra 21/4 1959 til dagen, hvor jordmagasinet er fyldt.

5. Vandforbruget i bevoksninger af de øvrige træarter.

Figur 77 viser vandforbruget i bevoksningerne af de øvrige træarter. Kurven for bøg er indtegnet stiplet. Det fremgår af figuren, at sammenhængen mellem vandforbrug og 20/8-vand-

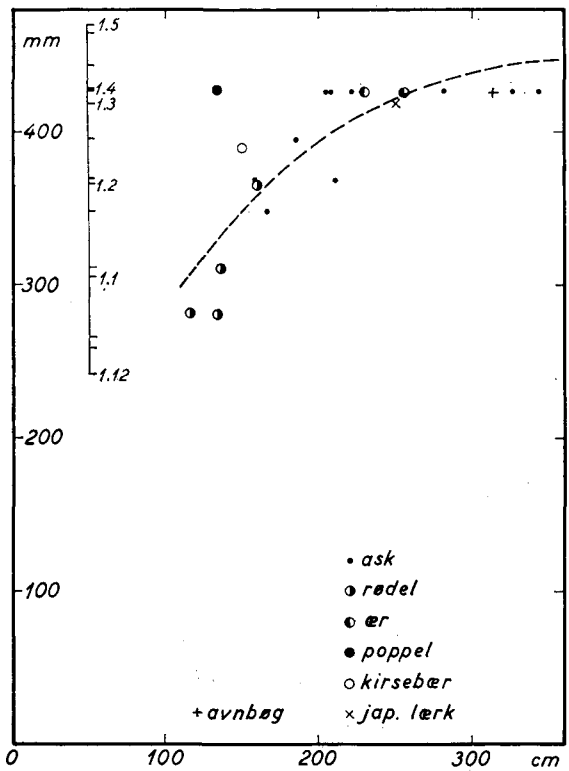

Fig. 77. Det beregnede vandforbrug (mm) i bevoksninger af forskellige træarter (jfr. signaturerne) lagt op over 20/8-vandstandene (cm). Udjævningskurven for bøgebevoksningerne er indtegnet stiplet. Se iøvrigt teksten til fig. 74.

Fig. 77. The computed water consumption (mm) in stands of various tree-species (cf. the signs) superimposed on the 20/8-water-tables (cm). The correction curve for the beech stands has been entered as a dotted curve. See also the text of Fig. 74. (avnbøg = *hornbeam;* ask = *ash;* rødel = *common alder;* ær = *sycamore;* poppel = *poplar;* kirsebær = *cherry;* jap. lærk = *Japanese larch).*

stand er af ganske samme karakter for de øvrige træarter som for bøg. Der skal kun fremhæves en enkelt detaille. Poppelbevoksningens vandforbrug ligger meget langt fra udjævningskurven. Denne bevoksning (flade 96) havde en meget stor vandstandsænkning i perioden fra 20/8—12/12 1959 (se s. 343), og det kan altså nu på basis af figur 77 konstateres, at den også har haft et ekstraordinært stort vandforbrug.

6. Diskussion.

Ved en diskussion af ovenstående resultater må der erindres om de forudgående diskussioner af grundvandsænkningens forskellige karakterer under de forskellige træarter. Da jordbundsforholdene og grundvandstandene om foråret praktisk taget var de samme for alle træarter, kunne det med stor sandsynlighed antages, at de signifikante forskelle i sænkningen var udtryk for,

> *at det effektive rodrum var af forskellig dybde under de forskellige træarter, og at vandforbruget derfor var forskelligt hos de forskellige træarter, fordi bevoksningerne disponerede over varierende jordvandmængder.*

Disse antagelser bekræftes af de påviste sammenhænge imellem beregnet vandforbrug og vandstandsænkning.

Først lidt om *hele niveauets sandsynlighed.* I den egentlige vækstperiode (maj-september, begge inclusive) faldt der på de tre nedbørsstationer i gennemsnit 143 mm nedbør. Hvis man forlods forskyder kurven på figur 74 143 mm ned, skulle den parallelforskudte kurve stort set vise de gennemsnitlige tilgængelige jordvandreserver i de undersøgte bøgebevoksninger. Før forskydningen spænder kurven over området fra ca. 300 mm til ca. 450 mm. Den forskudte kurve spænder over området fra ca. 150 mm til ca. 300 mm.

Tal af denne størrelsesorden lyder meget fornuftige. I en tidligere publikation (*Holstener-Jørgensen,* 1959 a) viser 6 analyser af jordbundsprofiler på Bregentved (bøg, rødgran og eg, l. c. s. 240—242) en variation i den plantetilgængelige vandkapacitet i jordens øverste 70 cm på fra 100 mm til 204 mm. Gennemsnitlig for de 6 profiler er den plantetilgængelige vandkapacitet fra 0—70 cm 130 mm. Under disse betingelser vil der være 150 mm jordvand til rådighed, hvis rundt regnet de øverste 100 cm

af jorden tømmes helt for plantetilgængeligt vand i vækstperioden. Når det erindres, at 20/8-vandstandene i de yngste bevoksninger lå omkring 120—130 cm, og at der efter 20/8 skete en yderligere sænkning, virker beregningsresultaterne troværdige.

Ikke desto mindre kan der være grund til ganske kort at overveje, om værdierne og dermed kurverne er beheftede med ensidige fejl. Sådanne fejl kan i det foreliggende tilfælde skyldes 3 årsager:

a. Ved at anvende d. 21/4-59 som begyndelsesdato for nedbørssummeringen er der måske fejlagtigt medregnet nedbør i de sidste dage af april og begyndelsen af maj, som ikke er fordampet men delvis afstrømmet.

b. Vandforbrugene er ifølge sagens natur en funktion af tiden, fordi slutdatoerne ved nedbørssummeringerne varierer mellem sidste halvdel af december 1959 og sidste halvdel af april 1960.

c. Endelig vil en eventuel nedsivning i forbindelse med dyb afstrømning af grundvand øge de beregnede vandforbrug.

ad a. Fra den 21/4 1959 til den 30/4 1959 faldt der følgende nedbørsmængder på de tre anvendte stationer: Haslev: 24 mm; Tureby: 24 mm; Karise: 27 mm.

Det kan ikke afvises, at en del af denne nedbør er forsvundet som overfladeafstrømning og ikke ved fordampning. Da hovedmængderne af nedbøren er faldet sent i måneden (28. og 29. april), og da bundvegetationen i det milde forår allerede var temmelig godt udviklet i sidste halvdel af måneden, kan det kun være en del af nedbøren, som er strømmet af. Bundvegetationen må have en temmelig betydelig fordampning på denne årstid. Landbrugsforskere regner med en potentiel fordampning af størrelsesordenen 2 mm pr. dag i sidste halvdel af april. For løvskovens bundvegetation kommer man vel ikke op på så store fordampninger, fordi de bladløse skovtræer i et vist omfang skærmer mod fordampning. I nåletræbevoksninger må det antages, at den potentielle fordampning er af samme størrelsesorden som den, landbruget regner med. Da jorden er vandfyldt, er den aktuelle fordampning = den potentielle fordampning. Alt i alt må det dog fastslås, at det ikke er muligt at foretage korrektioner på det forhåndenværende grundlag. Af nedbøren i den

nævnte periode kan kun en mindre del være strømmet af. En sådan afstrømning må have været mindre i nåletræbevoksningerne end i løvtræbevoksningerne.

En eventuel lille afstrømning vil gøre, at kurveniveauerne er nogle få mm for høje. Samtidig vil den bidrage til, at forskellen mellem på den ene side løvtræbevoksninger og på den anden side nåletræbevoksninger er nogle få mm større end figur 76 viser.

Undersøgelsen af sikkerheden på bestemmelsen af højeste, stabile vandstand viste, at der var en god overensstemmelse for løvtræbevoksningerne (se side 297—299). I nåletræbevoksningerne var der derimod en temmelig stor, ensidig afvigelse. Differensen mellem april-vandstanden i 1959 og april-vandstanden i 1960 er 16 $\pm$ 1.9 cm. Differensen svarer til en forskel i vandindhold i jorden på 2—5 mm. Muligvis er de beregnede vandforbrug for nåletræbevoksningerne beheftede med en ensidig fejl af denne størrelsesorden. Såfremt det er tilfældet, vil forskellene mellem løvtræbevoksninger og nåletræbevoksninger blive endnu lidt større, idet vandforbrugene i figur 76 (og tabel 25) i så fald er 2—5 mm for små.

ad b. Højeste, stabile vandstand nås på forskellige tidspunkter efter vækstperioden. Tidspunktet afhænger af træarten, bevoksningsalderen og 21/4-vandstanden. Fra de bevoksninger, hvor 21/4-vandstanden nås tidligst, er der måske senere en nettofordampning, som ikke indgår i de beregnede vandforbrug. Hvor 21/4-vandstanden nås sent, er der en eventuel nettofordampning af samme størrelsesorden, men den indgår i beregningerne. Den eventuelle nettofordampning er forskellig for nåletræer og for løvtræer.

Det er med hensigt, at der anvendes ordet nettofordampning. Man ved nemlig uhyre lidt om, hvor stor denne størrelse er. Her skal blot peges på et par ting, som gør et skøn meget usikkert.

I vinterperioden er der forholdsvis store kondensationer, som ikke kommer til udtryk i nedbørsmålingerne. Kondensationer af en meget betydelig størrelsesorden forekommer for eksempel i snelag under smeltningen.

Endvidere er fordampningen fra en løvdækket løvskovbund meget lille.

Marts 1960 var nedbørsfattig (se tabel 24), og grundvandsmålene (tabel I) kan i flere brønde tydes derhen, at der har væ-

ret en mindre fordampning i perioden fra 8.—9. marts til 23.—24. marts.

Virkningen af en hypotetisk vinterfordampning ville være, at vandforbruget i bevoksninger, hvor 21/4-vandstanden nås sent, beregnes relativt for stort i forhold til vandforbruget i bevoksninger, hvor 21/4-vandstanden nås tidligt. Ved en korrektion ville kurverne i figurerne 74—77 blive drejet, så stigningen blev lidt mindre. Der er imidlertid ikke gode holdepunkter for en sådan korrektion.

ad c. Selvom forfatteren er overbevist om, at der ikke er nedsivning og dyb afstrømning i undersøgelsesområdet, skal det dog nævnes, at en sådan ville give lidt for høje kurveniveauer, men kurvehældningerne ville ikke blive ændret væsentligt. Det sidste, fordi tidsforskellen mellem den dag i vinteren 1959/60, hvor 21/4-vandstanden nås i den første bevoksning, og den dag, hvor 21/4-vandstanden nås i den sidste bevoksning, rundt regnet er ¼ af hele undersøgelsesperioden.

Ved at sammenfatte ovenstående gennemgang af ensidige fejls eventuelle indflydelse nås følgende:

De målte vandforbrug er muligvis behæftede med en mindre ensidig fejl, sådan at forbrugene er få mm for store. De skøn, som denne antagelse er baseret på, er imidlertid behæftede med så store usikkerheder, at det ikke er muligt at foretage en korrektion.

Det fremgår af figurerne, at der er en temmelig stor spredning omkring udjævningskurverne. En beregning af middelfejlen på kurverne viser, at denne ligger omkring 30 mm for alle 4 figurer. Det vil sige, at man ved at anvende kurverne, f. eks. ved de senere betragtninger vedrørende afvandings indflydelse på fordampningen, må tage en fejl af denne størrelsesorden i regning.

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at afgøre, om nåletræbevoksningernes større vandforbrug for samme roddybde skyldes et større forbrug i månederne maj-november, eller om det skyldes et forbrug i vintermånederne. Vinteren 1959/60 havde vekslende klima med flere tøperioder, således at der har været fordampningsmuligheder (jfr. *Holstener-Jørgensen*, 1959 a).

Hvis der har været et vintervandforbrug, hvad meget taler

for, kan det heller ikke afgøres, om forbruget er sket ved transpiration eller ved fordampning af interceptionsvand. Transpiration er dog påvist hos stedsegrønne i milde vinterperioder, så det er rimeligt at antage, at en del af fordampningen er sket som transpiration.

Hovedsagen er imidlertid, at der er konstateret et merforbrug i undersøgelsesperioden. Forskellen mellem bøgebevoksningers og nåletræbevoksningers vandforbrug er af størrelsesordenen 40 mm.

Det skal understreges, at disse 40 mm ikke er en „naturkonstant". Det er allerede tidligere vist, at det kun er i nogle år, at nåletræbevoksningers vandforbrug er større end løvtræbevoksningers (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a, tabel 3, s. 251).

De tidligere undersøgelser (l. c. 1959 a) viste ikke med sikkerhed nogen forskel i vandforbrug, som kunne tilskrives, at de undersøgte bevoksninger havde rodrum af forskellig dybde. Undersøgelserne førte til følgende konklusion (*Holstener-Jørgensen*, 1959 d, s. 520):

„Vi har i øjeblikket ingen holdepunkter for, at dybtgående rodsystemer er ensbetydende med en effektiv forøgelse af bevoksningers vandoptagelsesmuligheder."

Det nye materiale viser, at vandforbruget stiger, når det effektive rodrum øges. Det er vist, at bøgens vækst er korreleret med højeste, stabile vandstand, og at vandstandsænkningen i bøgebevoksninger er korreleret med højeste, stabile vandstand. Det kan kun forklares ved, at bøgens vækst er afhængig af de tilgængelige vandmængder, og at disse stiger med stigende rodrumsdybde. *Det må med andre ord antages, at bøgens vækst langtidigt er korreleret med rodrumsdybden.*

Endvidere skal det fremhæves, at skovtræbevoksningers vandforbrug er en funktion af bevoksningsalderen, fordi rodrummets dybde er en funktion af alderen. Alt andet lige har gamle bevoksninger større vandforbrug end unge.

Der er i de seneste år arbejdet med to begreber ved undersøgelser over vandforbrug:

a) Potentiel fordampning
b) Aktuel fordampning.

De defineres på følgende måde af *Aslyng* (1959):

„Ved *potentiel* fordampning forstås den mængde vand i mm, der i en given periode fordamper fra en kort, tæt, ensartet, grøn og voksende afgrøde, som dækker jorden på et betydeligt areal og er velforsynet med vand."

„Ved *aktuel* fordampning forstås den fordampning, der virkelig finder sted."

Da vandforsyningen her i landet normalt begrænser vandforbruget, er den aktuelle fordampning mindre end den potentielle. Den aktuelle fordampning er imidlertid også mindre end nedbøren i normale år, således at der er et nedbørsoverskud i vinterhalvåret. At det også er tilfældet i et tørkeår som 1959 viser sig ved nærværende undersøgelse. Blandt 25 bøgebevoksninger er højeste, stabile vandstand ikke nået den 22/4 1960 i 1 bevoksning. For eg er de tilsvarende tal 29 og 2 bevoksninger, for rødgran og sitkagran 23 og 4 bevoksninger og for de øvrige træarter 21 og 1 bevoksning. Blandt 98 undersøgte bevoksninger jævnt fordelt over aldersklasser og træarter er der altså kun 9 bevoksninger, hvor der ikke har været nedbørsoverskud efter den tørre sommer 1959, og for disse 9 gælder det, at der i hovedparten af tilfældene er begyndt en grundvandstigning. Nedbørsunderskuddet kan altså kun være nogle få mm på disse prøveflader.

Det kunne være af nogen interesse at sætte de målte vandforbrug i Bregentvedområdet i relation til den potentielle fordampning i det samme område. Endvidere vil der sikkert hos mange læsere opstå det spørgsmål: hvordan er de fundne vandforbrugs størrelse i forhold til vandforbruget fra andre afgrøder (landbrugsafgrøder, havebrugsafgrøder). Forfatteren føler imidlertid ingen trang til at foretage sådanne sammenligninger på det grundlag, som foreligger indtil nu. Dette skal begrundes lidt nærmere ved kort at gennemgå et par afsnit af den nyeste litteratur.

Penman har opstillet en fysisk energibalanceligning til beregning af potentiel fordampning. Her i landet er den introduceret af *Aslyng,* som anvender den i forbindelse med sine undersøgelser på Landbohøjskolens klima-vandbalancestation. (Se f. eks. *Aslyng,* 1959).

Penman (1959) anvender ved beregningen af den potentielle fordampning fra de schweiziske afstrømningsområder Rappengraben og Sperbelgraben reflektionskoefficienten 0.24 for enge og andre permanente græsarealer og 0.15 for skov (blandet nåle- og løvskov). Herved bliver den potentielle evapotranspiration fra Rappengraben med rundt regnet ⅓ skov og ⅔ permanent græs 88—89 % af den potentielle evapotranspiration fra Sperbelgraben, hvor der er 99 % skov. *Penman* skriver (1959, s. 107): "The difference between the estimates is almost entirely due to the assumed difference in the reflexion coefficients of the catchments". Iøvrigt noterer man sig, som tidligere nævnt (side 272), at den aktuelle fordampning i gennemsnit for 25 år er målt at være 25—50 % større end den potentielle fordampning, som *Penman* beregner, dels ved hjælp af sin egen teoretiske formel, dels ved hjælp af to delvis empiriske formler (*Turc*'s formel og *Thornthwaite*'s formel). *Penman* siger om disse betydelige forskelle imellem observationer og beregninger (l. c. s. 108):

"They are important enough to be worth an attempt at resolution. In any such attempt the long record itself will be the most valuable weapon available."

Aslyng (1959) anvender tilsyneladende en reflektionskoefficient på 0.2 for al grøn vegetation. Det fører ham til følgende konklusion (l. c. s. 48):

„En tæt, homogen skov og en tæt, ensartet græsmark med samme klima og vandforsyning har således samme vandforbrug."

Umiddelbart kan man få det indtryk, at *Aslyng* lige ud antager, at de to bevoksningstyper ved optimal vandforsyning har samme vandforbrug. Muligvis er det dog ikke hans mening, idet der kan ligge mange forbehold i ordene „tæt, homogen" og i forudsætningen om „samme klima".

I *Penman*'s energibalanceligning indgår en faktor, som er produktet bl. a. af daglængde- og stomatalfaktoren (se nærmere hos *Aslyng*, 1959). *Penman* har foreslået en årstidsvariation omkring en middelværdi på 0.75 for denne faktor. *Aslyng* skriver (1959, s. 47):

„Vi anvender nu ofte 0.8 hele året, hvilket endog synes at reducere for meget i sidste halvdel af året, da planterne ofte er våde, og fordampningen er som fra en vandoverflade. Fra grøn

vegetation er reflektionen dog ca. 20 % af indstrålingen, medens den fra en vandoverflade kun er ca. 5 %."

En analyse af dette citat giver stof til megen eftertanke. Lad mig nøjes med at konstatere, at flere af balanceligningens led for tiden er underkastet betydelige ændringer, efterhånden som man får kontrolleret ligningen ved fordampningsforsøg.

I øjeblikket beregner man ikke alene den potentielle evapotranspiration, man forsøger også at måle den. Det er i og for sig ikke noget nyt, men der kan dog være grund til at kaste et blik på en af de nyeste målinger.

Målingen kan f. eks. ske ved hjælp af græsbevoksede kar, som er nedgravede, og i hvilke man holder en konstant, høj grundvandstand, som skal sikre *optimal* vandforsyning. Fordampningen fra disse såkaldte evapotranspirometre må ifølge sagens natur være potentiel fordampning. For tiden antages det, at den potentielle fordampning rundt regnet er 0.8 · fordampningen fra en fri vandoverflade.

På Landbohøjskolens klima- og vandbalancestation har fordampningen fra evapotranspirometre uden ekstra vanding i gennemsnit for 3 år været 9 % større end fra skærmede fordampningsmålere, hvis fordampning er nær 80 % af fordampningen fra en fri vandoverflade. Fra evapotranspirometre, der er vandet fra oven med samme vandmængder, som er tilført de skærmede fordampningsmålere, har evapotranspirationen gennemsnitlig været 28 % større end fra de skærmede fordampningsmålere i samme 3-års periode.

Det er ganske påfaldende, at fordampningen fra de vandede evapotranspirometre ligger meget nær fordampningen fra en fri vandoverflade (128 % · 80 % = 102,4 % af fordampningen fra fri vandoverflade). Vandingen af evapotranspirometrene er sket tre gange ugentlig i lighed med, hvad praksis er for de skærmede fordampningsmålere. Man kan dårligt tænke sig, at den store fordampning fra de vandede evapotranspirometre alene kan tilskrives, at græsset er vådt. Dette kan jo kun være tilfældet nogle timer mere pr. uge for de vandede end for de uvandede evapotranspirometre. Man får en mistanke om, at den konstante grundvandstand, som skal sikre græsbestanden i evapotranspirometrene optimal vandforsyning, ligger for dybt og måske ikke fuldt ud kan vedligeholdes. Kort sagt, at teknikken i evapotranspirometrene ikke er tilstrækkeligt gennemarbejdet. Måske giver de

vandede evapotranspirometre i realiteten de rigtigste mål for den potentielle evapotranspiration. Forfatteren er ikke blind for, at afvigelserne fra de teoretisk-hypotetiske værdier (skærmet fordampningsmåler) til en vis grad kan skyldes klimafaktorer (små anlæg i tørre omgivelser (jfr. *Aslyng og Hansen,* 1960)). Den frie vandoverflade på 12 m^2, som bruges til sammenligning, ligger dog i samme milieu, og det samme gør de skærmede fordampningsmålere.

Disse spredte udsnit af den nyeste litteratur viser, at der endnu hersker en ikke ubetydelig usikkerhed om, hvad den potentielle fordampning er i enkelte år og i dele af enkelte år. Det gælder, hvad enten der anvendes foreliggende beregningsformler eller regulære målinger. Derfor føler forfatteren ingen trang til at sætte de målte aktuelle vandforbrug i relation til en eller anden potentiel fordampning for Bregentvedområdet i 1959.

Hvad en sammenligning med fordampningen fra for eksempel landbrugsafgrøder angår, så ville en sådan kun være rimelig, hvis der forelå samtidige målinger fra området, og det gør der, så vidt det er forfatteren bekendt, ikke.

VI. OM AFVANDING.

1. *Indledning.*

Afvanding er almindelig i skov. Fra vore nordlige nabolande kendes et stort antal beretninger om afvanding af mosearealer, ofte med god effekt (se f. eks. *Lundberg*, 1926). Her i landet har mosearealer ikke væsentlig betydning i skoven. Her har man først og fremmest interesseret sig for afvanding af svære lerjorder med højtstående grundvand. Disse jorder har en ganske betydelig udbredelse i det danske moræneskovbrug. Et flertal af de danske moræneskove er da også gennemkrydset af grøfter, og i mange er man i dag i gang med at intensivere afgrøftningen. Samtidig med at man investerer i afvanding, gøres der nogle steder en indsats for at modernisere afvandingssystemet ved at rørlægge såvel nye som ældre grøfter. Herved opnår man blandt andet, at skoven lettere kan befærdes med traktorer, og endvidere sparer man fremover vedligeholdelsesudgifter (grøfteoprensning). (Se f. eks. *Bavngaard*, 1955, *Flor*, 1956, og *Larsen*, 1956).

Netop for tiden bevæger dansk skovbrug sig, så vidt man kan skønne, omkring eller på vej mod toppen af en almindelig afvandingsbølge i skovbruget. Det kommer dels til udtryk i litteraturen (jfr. ovenstående tre publikationer), dels diskuterer man afvanding på ekskursioner (Forstkandidatforeningen på Graasten skovdistrikt, sept. 1959, Nordisk Skovunions 6-mands ekskursioner i Sønderjylland, sept. 1959). Afvanding er en investering, og det kunne vel egentlig forventes, at der var solide, biologiske, tekniske og økonomiske forskningsresultater, som kunne begrunde sådanne investeringer.

Det synes imidlertid ikke at være tilfældet.

Biologisk har man kunnet referere til *Vaupell* (1863), der for eksempel iagttog, at bøgen klarede sig dårligt på fugtig bund.

Müller (1882) skitserer, hvorledes fysiologisk fladgrundet jord (f. eks. jord med højtstående grundvand) giver mindre produktion end dybgrundet jord. *Hauch* (*Hauch og Milthers,* 1928) og *Jagd* (1960) beretter også om bøgens og rødgranens dårlige vækst på moræneler med højtstående grundvand. Egentlige mål skorter det dog i høj grad på, og man finder også udsagn, som går i den stik modsatte retning. *Anthon* (1907) skriver: „Hovedbetingelsen for en vellykket Egekultur synes mig derfor først og fremmest at være Valget af en for Eg passende Jordbund, nemlig grusblandet Ler eller lerblandet Grus med ikke for højtstaaende Grundvand ... Er Jordbunden derimod stærkt bindende, rent Ler aldeles uden iblandet Grus og med højtstaaende Undergrundsvand, saaledes som i de fleste af Gjorsløv Skove, vil vistnok en med sine Rødder mere fladtstrygende Træart som Bøgen være at foretrække, hvilket ogsaa kan ses i Gjorsløv Skove".

Selv i de seneste arbejder savnes en velunderbygget biologisk begrundelse for afvanding. *Bavngaard* (1955) viser en dårligt formet 120-årig bøg, som står på kanten af en 60 cm dyb grøft. Jævnaldrende bøge på højbunden lige ved siden af angives at være 4 m højere. Eksemplet skal begrunde en dybere afvanding end de 60 cm. Endvidere gives regnskabstal fra to afdelinger, en dårligt afvandet og en godt afvandet, som antages at bevise, at en afvanding vil være en strålende forretning.

I de fleste tilfælde nøjes man med at konstatere, at „Stadige Nyanlæg og Vedligeholdelser af Grøfter og Rørledninger er en absolut Forudsætning for al rationel Skovdyrkning" (*Flor,* l. c. s. 249). Eller der sammenlignes med landbrugets (formodede) rationelle afvanding, og det antages, at med hensyn til afvanding „står skovbruget i dag vel nærmest på et stade, som svarer til de sammenpløjede agres tid" (*Bavngaard,* l. c. s. 394).

Det bør nævnes, at afvanding også har sine modstandere (se f. eks. *Schrøder,* 1890, jfr. citatet s. 447, *Møller,* 1938 og 1956a).

Man skal ikke underkende praktiske erfaringer og iagttagelser, men der synes dog at være grund til at forsøge at få lidt mere fast grund under fødderne med hensyn til den biologiske nødvendighed af afvandingsforanstaltninger.

Det er et gennemgående træk i den foreliggende litteratur, at man har interesseret sig meget for *afvandingens teknik.* Debatten har for en stor del drejet sig om grøftesiders anlæg m. m. På et

tidligt tidspunkt har man også diskuteret faskingrøfters og drænledningers fortrin fremfor åbne grøfter (se *Prytz*, 1907). Denne debat er nylig taget op igen (*Larsen*, 1956).

Søger man efter talmateriale, som viser en given afvandings virkning på grundvandstanden, kommer man derimod til kort. Forfatteren kender fra den danske skovbrugslitteratur kun spredte og delvis modstridende bemærkninger til belysning af spørgsmålet. Det gælder f. eks. de svar, som *Prytz* (1907) fik på sine forespørgsler vedrørende erfaringer med åbne grøfter og lukkede grøfter med faskiner eller drænrør. Skovrider *Wegge* (Boller) meldte om gode erfaringer med faskingrøftning, men „Derimod ere Faskindrænene efter min Erfaring helt virkningsløse i det meget almindelige Tilfælde, hvor det drejer sig om hurtigt at bortskaffe Overfladevand paa stærkt lerede Jorder" (*Prytz*, 1907, s. 154). Skovrider *Holm* (Christianssæde og Pederstrup) udtaler, at „Risdrænene i den fugtige Sommer 1907 have gjort fortrinlig Fyldest" (l. c. s. 158).

Afvandingsteknikken, det vil sige grøftedybder, grøfteafstande m. m., er formentlig i høj grad udviklet på basis af praktiske erfaringer, som lige så lidt som biologiske iagttagelser, kan underkendes. Ikke desto mindre synes der at være grund til at undersøge, hvor meget en afvanding af given intensitet influerer på grundvandstanden under danske forhold. I denne forbindelse er det i første række forholdene på lermorænerne, som er af praktisk interesse.

Hvad endelig den *økonomiske* effekt af en afvanding angår, så kan man dårligt vurdere den, før man har nøje kendskab til såvel udgifter som indtægter. Denne side af sagen må derfor foreløbig hvile. Man bemærker iøvrigt, at skovøkonomernes bidrag til belysning af sagen har været af rent abstrakt karakter (se *Hermansen*, 1956), hvad de jo nødvendigvis må blive, når man ikke kender afvandingens tekniske effekt.

2. *Om den biologiske begrundelse for afvanding.*

Før man tænker på at investere penge i en afvanding, bør man gøre sig klart, om en afvanding vil gavne nutidige og/eller fremtidige bevoksninger. Vil en afvanding øge rodrummet i dybden, og vil bevoksningen kvittere for det dybere rodrum med en

øget vækst, en bedre kvalitet, en bedre sundhedstilstand eller en større stormfasthed?

Undersøgelserne på Bregentved kan tilsyneladende besvare nogle af disse spørgsmål for træarterne bøg, eg og rødgran og tildels for ask og sitkagran. Forbeholdet i *tilsyneladende* vendes der tilbage til i diskussionen side 446*).

Bøg: Sænkningen af grundvandspejlet i vækstperioden er korreleret med højeste, stabile vandstand. Vandforbruget er korreleret med dybeste vandstand. Det betyder, at jo dybere højeste, stabile vandstand er, desto større vandmængder står der til rådighed for bevoksningen. Bøgens vækst er i høj grad afhængig af de jordvandmængder og nedbørsmængder, som står til rådighed i vækstperioden, og en temmelig ekstensiv træmåling viste da også, at såvel højdeboniteten som diameterudviklingen er korreleret med højeste, stabile grundvandstand. Variationer på 10 cm i højeste, stabile grundvandstand svarer i det indsamlede materiale til variationer i højden i 60-årige bevoksninger på 80 cm. Ved 60 år viser bonitetsoversigterne (*Møller*, 1933), at højdeforskellene mellem to boniteter er 2.9 m. Det vil sige, at man skal op på forskelle i højeste, stabile vandstand på 35—40 cm for at finde højdeforskelle svarende til en bonitetsgrad. Undersøgelsen tyder altså på, at man ved at sænke grundvandspejlet kan øge tilvæksten i bøgebevoksninger.

Endelig viser iagttagelsen på Mårum distrikt, at hvor grundvandsforholdene er ugunstige, kan en fugtig sommer i forbin-

---

*) Ved hele denne fremstilling og ved de følgende diskussioner er der alene tænkt på effekten af afvanding i sluttede bevoksninger. Skovdyrkningsmæssigt og i skovøkonomisk henseende er denne side af afvandingsproblemet af størst interesse.

Det skal dog ikke glemmes, at afvanding også kan være et rent kulturteknisk problem. Denne side af sagen kan ikke belyses fyldestgørende ved nærværende undersøgelses resultater. Ganske kort skal det bemærkes, at en overfladisk afvanding på kulturtidspunktet antagelig altid er nødvendig under Bregentvedforhold. Hvis en sådan udelades, kan man få kortere eller længere varende oversvømmelser i vækstperioden, som kan blive katastrofale for alle træarter. Der skal i denne forbindelse mindes om, at unge planter er særlig følsomme overfor oversvømmelser i vækstperioden. At det forholder sig som skitseret, vil man let kunne overtyde sig om ved gennemgang af kulturer på svær lerjord med højtstående grundvand. Selv hvor afvandingsintensiteten synes helt tilfredsstillende, vil der ofte kunne iagttages små områder, hvor kulturtræarten ikke trives. I de fleste tilfælde vil en overfladisk rende til den nærmeste grøft og gennemgravning af grøfteoprensningsvolden gøre underværker.

delse med en stærk gennemhugning udløse en katastrofe. Grundvandet stiger, og rodsystemerne drukner, så bevoksningen bliver meget sårbar i efterfølgende tørkeår. Det er klart, at en katastrofe lettere udløses, hvis bevoksningen i forvejen er sårbar. Det vil den være, hvis højeste, stabile vandstand er høj, og det er derfor nærliggende at regne med, at en grundvandsænkning kan virke præventivt.

Eg: Indenfor materialet af egebevoksninger kan der ikke påvises nogen sikker sammenhæng mellem egens tilvækst og grundvandsforholdene. Det er karakteristisk, at grundvandsænkningen i vækstperioden ikke er signifikant korreleret med højeste, stabile vandstand. Bedømt ud fra Bregentvedforhold er der derfor ikke synderlig grund til at vente, at egebevoksninger vil reagere på afvanding.

Rødgran: Grundvandstanden i vækstperioden er korreleret med højeste stabile vandstand. Der kan ikke påvises nogen helt sikker sammenhæng mellem tilvækst og grundvandsforhold. Det er troligt, at dette skyldes, at materialet er dårligt egnet, idet der er korrelation mellem bevoksningsalderen og højeste, stabile vandstand. Det kan derfor først efter yderligere undersøgelser siges med tilstrækkelig sikkerhed, om tilvæksten afhænger af højeste, stabile vandstand. Da rødgranens tilvækst her i landet i høj grad er afhængig af de tilgængelige vandmængder i vækstperioden, er det dog en solid arbejdshypotese, hvis man går ud fra eksistensen af en sådan sammenhæng, og dermed også venter en reaktion på afvanding.

Sitkagran har et endnu fladere rodrum end rødgran, og der er ting, som tyder på, at den er endnu mere grundvandsfølsom end rødgran. Det er derfor også nærliggende at *tro* på, at sitkagran vil kvittere for afvanding med bedre vækst, bedre sundhedstilstand og større stormfasthed.

Ask ligner i sit forhold til grundvand egen. Det indsamlede materiale er for lille til en sikker bedømmelse. Det kan ikke udelukkes, at en afvanding kan bedre jordtemperaturforholdene og dermed medføre en øget vækst.

3. Om den tekniske mulighed for afvanding.

Der er, som det fremgår af det foregående, ting, som tyder på, at nogle træarter under Bregentvedforhold vil få forbedrede vækstforhold, hvis grundvandstanden bliver sænket. Spørgsmålet er så, kan grundvandstanden sænkes, og hvilken teknisk indsats kræves der for at sænke den?

Lad os først se på, hvorledes grundvandsforholdene er på et areal, som har været afgrøftet gennem nogle år. Det er højeste, stabile grundvandstand, som interesserer os. Grundvand *over* denne vandstand vil i henhold til definitionen i løbet af kort tid sive sideværts bort. Grundvand under højeste, stabile vandstand synes der ikke i første omgang at være grund til at interessere sig for, idet bevoksningerne selv sænker det i vækstperioden.

På det tidligere omtalte faste forsøgsareal på Bregentved (se side 276—285) er der som overalt på distriktet mange grøfter. Ved grøftegravning lader man grøfterne følge terrænets laveste steder. Grundvandspejlet afspejler terrænets overflade. Ved at sammenholde højeste, stabile grundvandstand i arealets 31 brønde med brøndenes afstand fra nærmeste grøft, får man der-

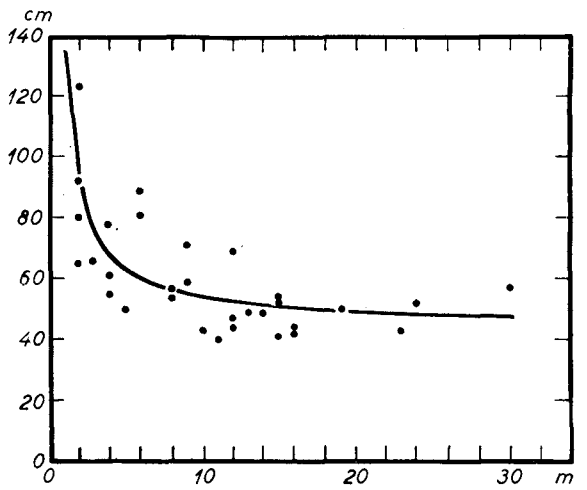

Fig. 78. Sammenhængen mellem højeste, stabile grundvandstand (cm) og grundvandsbrøndens afstand fra nærmeste grøft (m) på det faste forsøgsareal i Ganneskov. Udjævningskurven er en beregnet hyperbel.

Fig. 78. The correlation between highest stable water-table (cm) and the distance of the ground-water-well from the nearest ditch (m) in the permanent experimental area at Ganneskov. The correction curve is computed hyperbolically.

for et billede af, hvorledes grøfterne kan tænkes at påvirke grundvandstanden. I tabel 1 (side 280) er anført højeste, stabile grundvandstand (= grundvandstanden d. 1/3 1957) for hver brønd, og brøndens afstand i m fra nærmeste grøft.

I figur 78 er højeste, stabile vandstand lagt op over brøndenes afstand fra nærmeste grøft. Der er en klar sammenhæng. Nær grøfterne er højeste, stabile vandstand dyb. Når brønden er langt fra en grøft, er vandstanden højere. På figuren er punktsværmen udjævnet ved en hyperbelgren, som er beregnet efter mindste kvadraters metode. Kurven ses ikke „at gøre vold på materialet".

Hyperbelgrenens ligning er:

$$(\text{cm vandstand}) = 45.0 + \frac{89.4}{(\text{m afstand fra grøft})}$$

Korrelationskoefficienten er r = 0.718, og den er signifikant på 99.9 % niveauet.

Kurven viser, at grøfternes virkning er størst, når afstanden er mindre end 5 m. Når afstanden er større end 10 m, er virkningen i praksis 0.

Nu er det begrænset, hvor megen vægt der kan lægges på en undersøgelse af ovenstående karakter. Det er imidlertid så heldigt, at den kan suppleres med en undersøgelse af mere eksperimentelt tilsnit.

I foråret 1953 blev der på et areal på Knuthenborg drænet i stor dybde. Arealet er fladt, og jorden er moræneler med et lerindhold, som i gennemsnit er 20 % i 50 cm's dybde. Bevoksningen er bredkronede, gamle ege med spredt undervækst af hassel, tjørn og enkelte andre arter. Samtidig med at dræningsarbejderne blev udført, lagde forsøgsvæsenet en linie ud mellem to parallelle drænledninger, der har en afstand på 125 m. I linien boredes grundvandsbrønde med afstandene 2.5 m, 5 m, 10 m o. s. v. fra drænledningerne. I disse brønde er grundvandstanden siden blevet fulgt ved målinger med intervaller på 4 uger. Blandt disse måledata er udvalgt målingerne fra begyndelsen af 1958. Den første er foretaget den 17. januar, den sidste den 19. maj. For hver brønd er beregnet middel af de ialt 5 vandstande, og middelvandstanden er indtegnet på figur 79.

Figuren viser et vertikalt snit gennem arealet. Ved den venstre ordinatakse ligger i 105 cm's dybde en 3″ drænledning, og

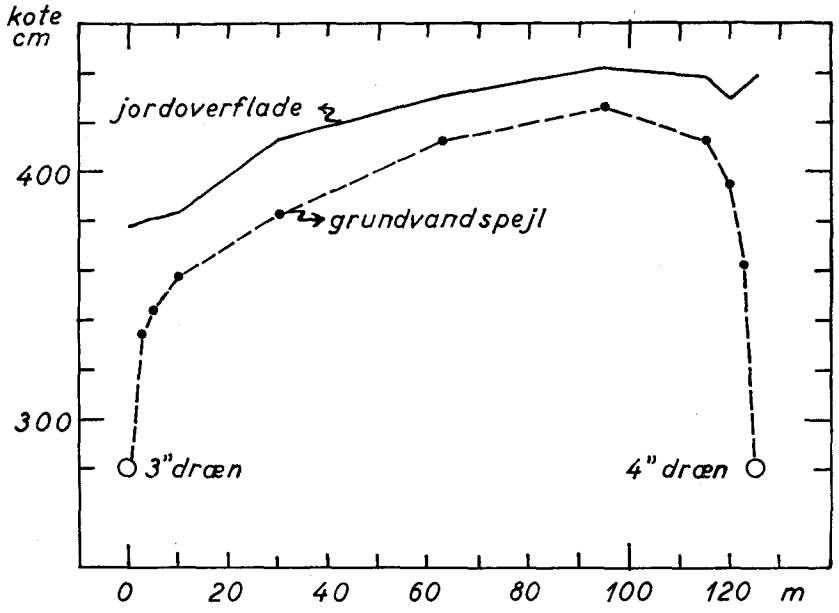

Fig. 79. Middelvandstanden fra 17. januar til 19. maj, 1958 på et drænet forsøgsareal på Knuthenborg. Koterne er højde over dansk normal nul.

Fig. 79. The average water-table from 17th January through 19th May, 1958, in a drained off experimental area at Knuthenborg. The levels are heights above Danish ordnance datum. — (kote = *level;* jordoverflade = *surface of the ground;* grundvandspejl = *ground-water-table;* dræn = *drain-pipe).*

ved den højre ordinatakse i 150 cm's dybde en 4″ drænledning (åbne cirkler). Forbindelseslinien (stiplet) mellem nabobrøndes beregnede middelvandstand, og (ved enderne) mellem vandstanden i den nærmeste brønd og drænledningen giver et middelbillede af grundvandspejlets beliggenhed på arealet i undersøgelsesperioden.

Figuren tyder på, at vandspejlet kun påvirkes 5—10 m ind i arealet af dræningerne. Iøvrigt bemærker man, hvorledes grundvandspejlet følger jordoverfladen.

Den empiriske undersøgelse på Bregentved og den eksperimentelle undersøgelse på Knuthenborg giver således resultater, som er i meget god overensstemmelse.

På det foreliggende grundlag må konkluderes:

Hvis man på lerjorder af den type, som findes på Bregentved, Knuthenborg m. fl. steder, vil have sænket grundvandet effektivt

på en større flade, så må der foretages en meget intensiv afvanding. Ved intensiv kan man i øjeblikket forestille sig noget i retning af grøfter eller drænledninger i 120 cm's dybde og med afstande på mellem 5 og 10 m.

Det lyder voldsomt, og det ville være dyrt. Konklusionen er måske også noget pessimistisk. Den understreger imidlertid, at der er al mulig grund til at undersøge problemet nærmere ved at anlægge et par regulære dræningsforsøg.

4. Diskussion.

Biologisk synes der at være visse holdepunkter for at antage, at træarterne bøg, rødgran, sitkagran og eventuelt ask vil få en øget tilvækst, en bedre kvalitet, blive sundere og mere stormfaste, hvis højeste, stabile vandstand sænkes ved en afvanding. Derimod er der intet, som tyder på, at eg vil have gavn af en afvanding. Det hele er dog ikke mere sikkert, end at der er behov for flere undersøgelser. Det gælder først og fremmest for træarterne rødgran og sitkagran. Og før man overhovedet kan nå så vidt som til at foretage en økonomisk analyse af problemerne, er det nødvendigt at få bekræftet årsagssammenhængen, som er læst ind i korrelationerne, ved eksperimentelle afvandingsforsøg, der samtidig kan vise, hvor tæt afvandingssystemet må være.

Det er hele tiden forudsat, at en sænkning af højeste, stabile vandstand kan sidestilles med naturlige forskelle i højeste, stabile vandstand. Det ved man strengt taget intet om. Grundvandsbrøndene er placeret så langt fra grøfter, at der i henhold til figur 78 har kunnet regnes med, at grøfterne ikke har indflydelse på højeste, stabile vandstand. Der er altså arbejdet med en naturlig afvandingstilstand, for hvilken dybden af jordens øvre, grovporerige horisonter er af stor betydning. Uden overhovedet at filosofere over luftskiftets betydning for rodvækst eller andre emner, som er forbigået her i beretningen, kan det fastslås, at en kunstig afvanding ikke med et slag skaber det samme milieu i jorden, som findes i de bevoksninger på Bregentved, hvor der er undersøgt grundvandstande og vækst. Det er muligt, at jorden med tiden bliver grovporerig efter en afvanding, og at der også sker andre (gunstige?) ændringer. Man véd imidlertid ikke, hvad der sker, og hvor hurtigt det sker.

Derfor stod der *tilsyneladende* på side 441, og derfor er vel planlagte afvandingsforsøg nødvendige.

Til slut bør det måske bemærkes, at endnu de seneste bulletiner fra skovøkonomerne fortæller, at f. eks. bøgen ikke er i stand til at forrente sin plads i dansk skovbrug, mens rødgran er en økonomisk fordelagtig træart (*Hermansen*, 1955). Føjer man hertil den rødgranangst, som f. eks. Bregentvedpraktikere har givet udtryk for (*Hauch og Milthers*, 1928, og *Jagd*, 1960), er det fristende at opstille en ideel fordring om, at man ved afvandingsforsøg først og fremmest interesserer sig for rødgran.

Det er nærliggende ved samme lejlighed at spørge, hvorfor belaste bøgens i forvejen anstrengte økonomi ved at investere i afvanding? Ønsker man løvtræ af stabilitetshensyn, bør man måske som *Hauch* og *Jagd* interessere sig mere for eg på de svære jorder med højtstående grundvand.

Endelig skal endnu et punkt trækkes frem. Det blev i indledningen nævnt, at afvandingen også har „biologiske" modstandere (*Schrøder*, 1890 og *Møller*, 1938 og 1956a). For dem har hovedsynspunktet været, at grundvandet kan udnyttes af bevoksningerne og øge tilvæksten væsentligt. Dette er formentlig rigtigt, hvor forbrugt grundvand kan erstattes ved tilsivning fra siden. Hvor grundvandet er stagnerende, har det derimod ikke positiv indflydelse på væksten. Den sænkning af grundvandet, som sker i vækstperioden, betyder kun, at træerne har kunnet fordampe få mm. Det viser sig da også, at for de træarter, hvor vand er en minimumsfaktor, vil en grundvandsænkning ved afvanding øge træernes aktuelle vandforbrug (s. 449—451).

5. *Afvandingens indflydelse på afstrømningen.*

„Da Brakgrøfterne bleve afløste af Rørledninger, fik Piben en anden Lyd . . .

Saa gik det for sig med Regulering af Vandløb, men ikke overalt med tilbørligt Hensyn til Fugtighedsforholdene. Der var mange om at bortrydde levende Hegn, men kun faa til at plante ny. Saa blev det Mode at udtørre Indsøer. Kort sagt, alt syntes at være lagt an paa at faa den sidste Draabe Vand pint ud af Jorden og ført til Havet med den størst mulige Hurtighed. Det blev en gylden Tid for Brøndgravere, men ikke for Vandmøllere. Der manglede kun Skovtvangens Ophævelse, saa var der blevet gjort alt for at ødsle med Vand."

Det er en udtalelse fra 1890 af *Schrøder* (1890, s. 56), men

det kunne godt have været et citat fra dagspressen. Synspunkterne er iøvrigt befordret af *Møller* (1938 og 1956a).

Lad mig ganske kort ved endnu et par litteraturhenvisninger ridse baggrunden op for den følgende diskussion.

I 1875 afgav et udvalg betænkning til Videnskabernes Selskab „Om vore Skoves Indflydelse paa Vandstanden i Aaer og Søer". Det hedder i denne bl. a.: „Naar Skovene ryddes, saa bortdamper der en langt større Del af den faldne Regnmængde, end Tilfældet er under Skovenes Bestand" ... „Efterhaanden som Landet bliver fuldkomnere dyrket, udtørret, udgrøftet og drainet, formindskes Afløbsvandet fra Markerne i en mærkelig Grad, men særligt i Sommertiden, baade for Overfladevandets og for Kildevandets Vedkommende. Mængden af Vand, som bortdamper fra Jordoverfladen, voxer derimod med den fuldkomnere Dyrkning af Jorden". (*Colding, Holten og Johnstrup,* 1875).

I 1951 afgav det såkaldte vandbalanceudvalg under Akademiet for de tekniske Videnskaber beretning. I denne hedder det: „Det er vel sandsynligt, at afstrømningen trods alt forøges noget som følge af dræningen; men virkningen er som før omtalt ikke umiddelbart iagttagelig i vandløbene". (Beretning fra vandbalanceudvalget, 1951, s. 27).

I november 1958 afholdt Dansk Ingeniørforening et kursus, som var betitlet: Vandbalance. Her udtalte *Aslyng* (1959, s. 62): „Vi ved dog, at afvanding mindsker den årlige afstrømning lidt på grund af øget fordampning, og at den ikke synes at have indflydelse på mulighederne for indvinding af grundvand".

Det fremgår af ovenstående spredte notater, at der er sket en udvikling i spørgsmålet om afvandings indflydelse på afstrømningen. På den anden side synes det klart, at fortsatte undersøgelser er tiltrængte.

Den undersøgelse, som er fremlagt her i beretningen, kan også tjene til at belyse dette problem. Før behandlingen af dette spørgsmål skal dog understreges, at undersøgelsens rækkevidde er begrænset:

1) Resultaterne er baseret på data fra fedt moræneler med højtstående grundvand, og bør derfor ikke anvendes på andre jordarter.

2) De indsamlede data dækker kun et år (1959), som oven i købet var et tørkeår. Enhver ekstrapolation til år med andre

klimatiske betingelser må følgelig være hypotetisk. Hypoteserne må afprøves ved fortsatte undersøgelser, som iøvrigt er i gang.

Undersøgelserne har vist, at der er forskel mellem forskellige træarter. Hvis man kun holder sig til de træarter, hvor materialet er omfattende nok til en statistisk bedømmelse, er hovedlinierne følgende:

Egebevoksningernes rodudvikling og dermed vandforbrug kan ikke vises at være signifikant afhængigt af højeste, stabile grundvandstand. Heraf må det sluttes, at der ikke er noget, som tyder på, at en øget afvandingsintensitet vil øge fordampningen. Ud fra en statisk betragtning (uændrede jordporeforhold) vil en effektiv sænkning af højeste, stabile grundvandstand heller ikke medføre synderlige ændringer i afstrømningen. Under de givne betingelser kan 2—5 mm nedbør give grundvandstigninger på 40—50 cm i de jordlag, hvor man eventuelt ønsker at påvirke højeste, stabile vandstand (se *Holstener-Jørgensen*, 1958 b, s. 190—191). Vendt om betyder det, at en sænkning af vandstanden ved afvandingsforanstaltninger medfører, at afstrømningen øges med 2—5 mm. Ved en af de meget yndede dynamiske betragtninger kan man eventuelt få øget det nævnte tal noget. Dynamikken indebærer ekstrapolationer i retning af ændrede poreforhold. Sådanne ændringers størrelsesorden vides der imidlertid meget lidt om, og lige så lidt vides der om ændringernes hastighed. De nævnte 2—5 mm pr. år ligger inden for de fejlgrænser, som der arbejdes med ved vandbalanceundersøgelser.

I *bøgebevoksninger* er forholdet anderledes end i egebevoksninger. Sænkningen af grundvandet i vækstperioden er korreleret med højeste, stabile grundvandstand. Det vil sige, at højeste, stabile vandstand er korreleret med vandforbruget. Der er derfor god grund til at antage, at en sænkning af højeste, stabile vandstand ved afvanding vil medføre et øget vandforbrug.

Ved at anlægge samme statiske synspunkter som ovenfor og ved at se bort fra fejlgrænser, nås følgende:

1) Øges afvandingsintensiteten, så højeste, stabile vandstand sænkes fra 40 cm's dybde til 60 cm's dybde, så øges afstrømningen med ca. 2 mm.
2) Ved en sådan vandstandsænkning på 20 cm bliver 20/8-vandstanden 75 cm (fra 212 cm til 287 cm) dybere i en

60-årig bøgebevoksning i 1959 (tabel 7, s. 324). Denne mersænkning svarer efter figur 74 til et mervandforbrug på 34 mm.

Såfremt en afvandingsforanstaltning i en 60-årig bøgebevoksning havde haft fuld effekt i 1959, ville den altså have medført, at afstrømningen var blevet ca. 30 mm mindre i dette år.

Der skal erindres om, at figur 74 viser, at sammenhængen mellem 20/8-vandstand og vandforbrug kan fremstilles ved en krum kurve. Kurven viser, at ved et fald i 20/8-vandstanden fra 150 cm's dybde til 160 cm's dybde stiger vandforbruget ca. 11 mm. Ved et fald i 20/8-vandstanden fra 300 cm's dybde til 310 cm's dybde stiger vandforbruget ca. 2 mm. Sammenhængen mellem 21/4-vandstand og 20/8-vandstand er retliniet (proportionalitet) indenfor det interval, som er undersøgt. Heraf kan man formentlig slutte, at effekten af afvandingsforanstaltninger på afstrømningen bliver mindre, hvor højeste, stabile vandstand i forvejen ligger dybt, end hvor højeste, stabile vandstand er høj.

I *rødgranbevoksninger* går effekten af afvandingsforanstaltninger i samme retning som i bøgevoksninger. Ved analoge beregninger når man til følgende:

1) Afstrømningen øges med ca. 2 mm, hvis højeste, stabile vandstand sænkes fra 40 cm's dybde til 60 cm's dybde.
2) Fordampningen fra en 40-årig bevoksning øges med ca. 18 mm ved en sådan sænkning (figur 76, s. 427), idet 20/8-vandstanden sænkes fra 172 til 192 cm (tabel 11, s. 337).

Man bemærker, at det ud fra det foreliggende materiale må antages, at afstrømningen påvirkes mere af afvandingsforanstaltninger i bøgebevoksninger end i rødgranbevoksninger. Ved regneeksemplet med rødgran er der vist en ændring i afstrømningen på 15—16 mm, ved regneeksemplet med bøg en ændring på ca. 30 mm. Under sammenlignelige betingelser har effekten været ca. dobbelt så stor i bøg som i rødgran.

Det indsamlede materiale fra *askebevoksningerne* er for lille til, at der kan drages sikre slutninger. Tendensen i materialet går dog i retning af, at denne træart i sit forhold til grundvand ligner eg meget. Det må foreløbig antages, at afvanding vil have

nogenlunde samme indflydelse i askebevoksninger som i egebevoksninger. Hvis det er tilfældet, vil afvandingsforanstaltninger ikke influere væsentligt på afstrømningsforholdene.

Under hele ovenstående gennemgang er der set bort fra fejlgrænser. Det er nævnt (*egebevoksningerne*), at ændringer i afstrømningen på 2—5 mm falder indenfor fejlgrænserne ved vandbalanceundersøgelser. Et simpelt skøn siger én, at også ændringer på 30 mm ligger nær fejlgrænserne. De tendenser, som er trukket frem, er imidlertid nok i hovedsagen rigtige.

Det ser altså ud til, at man ikke kan generalisere og sige, at afvanding mindsker afstrømningen, fordi fordampningen øges. Det gælder kun for nogle træarter (bøg, rødgran) ikke for andre (eg, ask).

Hvis *Aslyng* (1959) også har tænkt på skovbrug, har han kun betinget ret i sin antagelse af øget fordampning som følge af dybere afvanding. Det samme gælder *Colding, Holten og Johnstrup* (1875). Hvor bøgen var hovedtræart, måtte en øget afvanding give en mindsket afstrømning. Det er ligefrem tænkeligt, at konvertering af en dårlig afvandet bøgebevoksning til et godt afvandet landbrug ville give samme effekt.

I dag gælder debatten ikke mere vandmøllernes vandløbsrettigheder. I dag er det muligheden for at udnytte landets grundvandsreserver, som optager sindene. Der er derfor grund til kort at berøre, om undersøgelserne kan bidrage til løsning af dette problem. Forfatteren mener, at det er meget lidt, en vandværksbestyrer kan hente i de fremlagte undersøgelser. Undersøgelsernes resultat kan dårligt ekstrapoleres fra det fede moræneler til jorder med større permeabilitet. Før man kan udtale sig om skovens påvirkning af undergrundens vandreserver, må det undersøges, om de dybere jordlags permeabilitet tillader nogen nævneværdig nedsivning. Det vand, som giver afstrømningen, kan man ikke uden videre antage, ville sive til undergrunden ved ændrede grundvandsbetingelser.

Paradoksalt nok ville iøvrigt en sænkning af overfladelagenes grundvandspejl som følge af pumpning fra undergrunden medføre en øget fordampning på Bregentved, fordi bøg og rødgran indtager større arealer end eg. Vandindvinding kan altså under visse betingelser mindske grundvandsreserverne med større vandmængder end de, som oppumpes.

VII. OVERSIGT.

I foråret 1956 anlagdes i en 75-årig bøgebevoksning et forsøg med 4 parceller, hver på ca. 0.7 ha. Der blev boret 31 brønde, hvori grundvandspejlets svingninger måles. I den første vækstperiode fulgtes grundvandsvingningerne for at få oplyst, hvorledes normalsvingningerne var på det undersøgte areal. Derefter blev 1 parcel renafdrevet og tilplantet med rødgran, og 1 parcel blev lysstillet og underplantet med bøg. De 2 sidste parceller fungerer foreløbig som ubehandlede kontrolparceller.

Måleresultaterne fra 1957 til og med 1959 er sat i forhold til måleresultaterne fra 1956. På denne måde er det vist, at renafdrift giver et betydeligt mindsket vandforbrug. Sænkningen af grundvandspejlet i vækstperioden sker langsommere, således at den samlede sænkning er omkring 2 m mindre efter renafdriften end i den sluttede 75-årige bøgebevoksning. Lysstilling medfører også et mindsket vandforbrug med deraf følgende langsommere grundvandsænkning. Efter lysstillingen er den samlede sænkning ca. 1 m mindre end i den sluttede 75-årige bøgebevoksning. Disse ændringer i grundvandspejlsvingningernes størrelse holder sig efter det foreliggende i hvert fald i 3 år.

Måleresultaterne viser også, at i nogle år sker grundvandsænkningen med større hastighed end i andre år. Det betyder, at dybeste grundvandstand veksler fra år til år. Det skyldes antagelig, at fordampningsbetingelserne veksler fra år til år, men dette kan ikke demonstreres, før der foreligger målinger fra en længere årrække. Det er dog værd at lægge mærke til, at til trods for disse variationer bevares forskellene mellem renafdriften, lysstillingen og de ubehandlede parceller. Det må derfor antages, at en forskel i grundvandsænkning mellem forskellige træarter eller mellem bevoksninger med varierende alder vil være meget nær den samme fra år til år, selvom sænkningernes karakter varierer.

Forskelle i grundvandsænkning mellem forskellige træarter og mellem forskelligaldrende bevoksninger kan følgelig påvises ved en engangsundersøgelse, og en sådan engangsundersøgelse er gennemført på Bregentved.

Der er i 1959/60 undersøgt 99 bevoksninger, fortrinsvis af hovedtræarterne bøg, eg og rødgran. Det viser sig, at grundvandstanden i vækstperioden afhænger af to af de undersøgte faktorer:

1) bevoksningsalderen
2) højeste, stabile vandstand.

Disse to faktorers indflydelse er dog forskellig fra træart til træart.

Bøg: Hvor højeste, stabile vandstand er høj, sænkes grundvandet mindre i vækstperioden, end hvor højeste, stabile vandstand er dyb. Endvidere sænkes grundvandet mindre af unge bøgebevoksninger end af ældre. Højeste, stabile vandstand har ca. 3 gange så stor indflydelse på grundvandsænkningen som bevoksningsalderen.

Eg: Højeste, stabile vandstand har ikke nogen sikker indflydelse på grundvandsænkningen. Bevoksningsalderen har derimod en meget betydelig indflydelse. Grundvandsænkningen vokser med bevoksningsalderen.

Ask: Antallet af bevoksninger er så lille, at der ikke kan siges noget sikkert om askens indflydelse på grundvandstanden, men det ser dog ud til, at askebevoksningers indflydelse er af samme karakter som egebevoksningers.

Rødgran: I vækstperioden er grundvandstanden afhængig af højeste, stabile vandstand. Grundvandsænkningen vokser med bevoksningsalderen. Højeste, stabile vandstands indflydelse er ca. 3 gange større end bevoksningsalderens.

Sitkagran ligner meget rødgran i sit forhold til grundvand. Der er dog den afgørende forskel mellem disse to træarter, at sænkningen er betydelig mindre under sitkagran end under rødgran. I 1959 var forskellen af størrelsesordenen 70 cm.

Sammenligning af træarterne viser iøvrigt:

Bøg sænker grundvandet dybere end *eg*, hvor højeste, stabile vandstand er dyb, og bevoksningerne unge. Hvor højeste, stabile vandstand er høj, og bevoksningerne mellemaldrende, sænker eg derimod grundvandet dybere end bøg.

Det indsamlede materiale tyder på, at *rødgran* sænker grundvandet mere end *bøg*, hvor højeste, stabile vandstand er meget høj. Dette indicerer, at rødgran skulle tåle meget fugtige lokaliteter bedre end bøg. Det er sikkert, at mellemaldrende bøgebevoksninger sænker grundvandet mere end jævnaldrende rødgranbevoksninger, hvor højeste, stabile vandstand er dyb.

Ask sænker grundvandet dybere end bøg, hvor højeste, stabile vandstand er høj.

Indenfor den variation i jordbunds- og grundvandsforhold, som der er arbejdet med på Bregentved, sænker *ege*bevoksninger grundvandet mere end jævnaldrende *rødgran*bevoksninger.

Der kan ikke på basis af det foreliggende materiale påvises sikre forskelle mellem *eg* og *ask*.

Der er en tendens til, at *ask* sænker grundvandet mere end *rødgran* ved stigende alder og/eller høj højeste, stabile vandstand.

Grundvandstanden i undersøgelsesområdet er udtryk for balancen mellem bevoksningernes vandforbrug og nedbøren. Den grundvandstand, som ved undersøgelsen er registreret i august, viser derfor, hvor dybt *det effektive rodrum* er i de enkelte bevoksninger.

Det effektive rodrums dybde er en funktion af bevoksningsalderen. Dette gælder alle de undersøgte træarter, og der er ikke påvist sikre forskelle mellem træarterne med hensyn til sammenhængen: alder/roddybde.

For nogle af træarterne (bøg, rødgran og formodentlig sitkagran) gælder det, at rodrumsdybden er væsentlig mindre, hvor højeste, stabile vandstand er høj, end hvor den er dyb. Andre træarter synes at være helt uafhængige af forårsvandstanden (eg og ask).

I de skove, som er undersøgt på Bregentved, har man omtrent følgende middelforhold:

a) Højeste, stabile vandstand = 50 cm under jordoverfladen
b) lermoræne med et lerindhold på ca. 24 %.

Under disse forhold kan træarterne ordnes i følgende række efter det effektive rodrums dybde i 40-årige bevoksninger:

eg, ask > bøg > rødgran > sitkagran.

Så vidt det kan bedømmes ud fra det foreliggende materiale, kan træarterne ordnes i følgende række efter deres evne til at tåle højtstående grundvand:

eg, ask > rødgran ≧ bøg > sitkagran.

Undersøgelserne viser, at kendskab til højeste, stabile grundvandstand er meget vigtig på lerjord med højtstående grundvand. Det er ikke mindst tilfældet, hvis man ved samtidige grundvandsiagttagelser vil sammenligne træarter eller forskelligaldrende bevoksninger. Litteraturen tyder ikke på, at man hidtil har skænket dette forhold nogen opmærksomhed.

Lige siden *Vaupells* dage har man vidst, at f. eks. bøg er meget følsom overfor højtstående grundvand. Der foreligger dog ikke talmaterialer, som kan belyse forholdet. De resultater, som er gennemgået ovenfor, viser, at højtstående grundvand indskrænker visse træarters rodrum. Ved hjælp af en ekstensiv træmåling er det derfor undersøgt, om grundvandet influerer på træernes vækst.

Det viser sig, at *bøgens* tilvækst i høj grad afhænger af grundvandsforholdene. For hver 10 cm, højeste, stabile vandstand er dybere end 50 cm, er højden i 60-årige bøgebevoksninger ca. 80 cm større. Der kan ikke ud fra de gennemførte målinger påvises nogen sammenhæng mellem træformen i de forskellige bevoksninger og grundvandsforholdene.

*Ege*bevoksningernes vækst kan ikke med sikkerhed vises at være afhængig af grundvandsforholdene. Det samme gælder for *ask*, men der er en tendens til, at tilvæksten er størst, hvor højeste, stabile vandstand er dyb. Det er muligvis jordens temperatur i foråret, som begrænser væksten. Jo højere grundvandstanden er i foråret, desto senere bliver jorden varm.

Der er heller ikke en klar sammenhæng mellem tilvækst- og grundvandsforhold i rødgranbevoksningerne, men der er dog en sammenhæng mellem højdeboniteten og højeste, stabile vandstand. Jo dybere højeste, stabile vandstand er, desto større er højdeboniteten. De ældste rødgranbevoksninger vokser iøvrigt på tørrere jord end de yngste, og det er antagelig denne sammen-

hæng mellem bevoksningsalderen og højeste, stabile vandstand, som gør, at det er vanskeligt at påvise en sammenhæng mellem tilvækst og grundvandsforhold i det indsamlede materiale.

Endelig skal det fremhæves, at sitkagran med sit flade rodrum har højder og diametre, som ikke står tilbage for jævnaldrende rødgraners.

Højtstående grundvand influerer altså på tilvæksten hos nogle træarter, men højtstående grundvand kan også dræbe bevoksninger af skovtræer. Man ved, at forskellige træarter reagerer forskelligt på oversvømmelser, og af de foreliggende undersøgelser fremgår det, at træarternes følsomhed overfor oversvømmelser er nogenlunde den samme som den rangfølge med hensyn til grundvandsfølsomhed, som er opstillet ovenfor. *Vaupell* beretter om, at bøgevoksninger på Lolland døde i de fugtige år omkring 1840. I nyere tid har man iagttaget roddød i dybere jordlag, fortrinsvis i bøgebevoksninger (*Ladefoged*, 1938, *Holstener-Jørgensen*, 1958 b), men også i rødgranbevoksninger (*Ladefoged*, 1959) og i bevoksninger af sitkagran (*Henriksen*, 1958). Roddøden er blevet sat i forbindelse med hugstindgreb, og det er meget rimeligt, idet hugstindgreb giver grundvandstigninger i vækstperioden (*Holstener-Jørgensen*, 1959 b), og det medfører, at rodrummets dybde indskrænkes.

En iagttagelse i Valby Hegn understreger, hvor katastrofalt det kan være, at hugstindgreb efterfølges af grundvandstigninger med deraf følgende drukning af rodsystemerne. En kraftig udhugning i vinteren 1956/57 i en 116-årig bøgebevoksning gav en så betydelig grundvandstigning, at enkelttræernes rodsystemer blev reduceret meget kraftigt. Oprindelig har hvert træ formentlig rådet over et rodrum på ca. 32 m^3, efter roddrukningen var enkelttræernes rodrum i værste fald kun mellem 0.25 m^3 og 1.00 m^3, og der fandtes ikke levende rødder i mere end 10 cm's dybde.

Først i foråret 1960 opdagede man, at der var noget galt. På dette tidspunkt sygnede bevoksningen. Dette forhold er velkendt. Gamle bevoksninger er i besiddelse af en betydelig inerti, og det kan vare år, før de reagerer synligt f. eks. på en oversvømmelse.

Iagttagelsen maner til forsigtighed med hugstindgreb. På lerjord med højtstående grundvand bør man, navnlig i ældre bevoksninger, ved udhugning følge den gammelkendte forholdsregel: *lidt, men tit.*

Den enkelte bevoksnings samlede vandforbrug svarer til summen af den nedbør, som falder i perioden, fra grundvandspejlet i foråret passerer dybden for højeste, stabile vandstand for nedadgående, til det efter vækstperioden pany når højeste, stabile vandstand.

Det beregnede vandforbrug viser sig at være temmelig snævert korreleret med dybden af det effektive rodrum. Der kan ikke påvises nogen sikre forskelle mellem bevoksningerne af de forskellige løvtræarter. For samme roddybde ser det ud til, at løvtræer har nogenlunde samme vandforbrug.

Denne del af undersøgelsen viser altså, at alt andet lige har gamle bevoksninger et større vandforbrug end unge bevoksninger, fordi gamle bevoksninger har det dybeste rodrum. Samtidig fremgår det, at grundvandsfølsomme træarter som bøg har et mindre vandforbrug, hvor højeste, stabile vandstand er høj, end hvor den er dyb. Årsagen bag sammenhængen mellem tilvækst- og grundvandsforhold i bøgebevoksningerne må derfor antages at ligge i vandforsyningsforholdene.

Vandforbruget i nåletræbevoksningerne (rødgran og sitkagran) står ligeledes i et snævert afhængighedsforhold til roddybden. For samme rodrumsdybde er vandforbruget i nåletræbevoksningerne imidlertid ca. 40 mm større end i løvtræbevoksningerne. Det skyldes, at nåletræbevoksningerne som stedsegrønne har et vandforbrug i vintermånedernes milde perioder.

Såfremt der var en væsentlig nedsivning i undersøgelsesområdet, måtte man vente, at de beregnede vandforbrug blev for store. Det viser sig, at de vandforbrug, som er fundet, svarer til, at de øverste 100 cm af jorden er tømt for plantetilgængeligt vand, og det lyder *meget* sandsynligt i tørkeåret 1959.

For tiden investeres der her i landet en del i afvanding af skovbevoksede lerjorder med højtstående grundvand. Der mangler dog talmaterialer, som kan vise, at afvanding er biologisk ønskelig, og at effektiv afvanding er teknisk gennemførlig. Undersøgelserne på Bregentved kan belyse disse problemer.

Bøg, rødgran og sitkagran er grundvandsfølsomme træarter. Om bøg vides det med sikkerhed, at tilvæksten er lille, hvor højeste, stabile vandstand er meget høj. Det samme er formentlig tilfældet for rødgrans vedkommende, men der kræves dog

en bedre underbygning af de foreløbige resultater. En afvanding vil antagelig gavne disse tre træarter.

I bevoksninger af eg og ask synes der derimod ikke efter det foreliggende at være grund til at vente, at afvanding vil gavne væksten.

Der foreligger således holdepunkter for, at afvanding er ønskelig i bevoksninger af nogle træarter. Afvanding af lerjord er imidlertid vanskelig. Hvis man undersøger eksisterende grøfters indflydelse på højeste, stabile vandstand, viser det sig, at grøfternes virkning strækker sig 10 m ind i deres opland, men man kan dog højst regne med en virkning af praktisk betydning i op til 5 m's afstand fra en grøft. Disse værdier bekræftes af undersøgelser omkring drænledninger på Knuthenborg, hvor jordbunden er af samme karakter. Dræningerne virker kun 5—10 m ind i deres opland.

En effektiv afvanding synes derfor at være en bekostelig affære på svær lerjord, og der er grund til at afvente resultaterne af regulære dræningsforsøg, før man investerer meget store beløb i afvandinger.

Det antages ofte, at en afvanding er ensbetydende med, at en større del af landets grundvandsreserver uproduktivt ledes til havet. Et sådant synspunkt er uberettiget, i hvert fald når det drejer sig om afvanding i bevoksninger af for eksempel bøg og rødgran. Ved en afvanding af sådanne bevoksninger øges den produktive fordampning betydeligt mere end afstrømningen, idet det effektive rodrum bliver dybere. Tværtimod at afstrømningen øges efter en afvanding, bliver den altså mindre.

Træarter som eg og ask vil, så vidt man foreløbig kan se, ikke få forøget vandforbrug efter en afvanding. I bevoksninger af disse to træarter vil en afvanding derfor nok øge afstrømningen lidt. De afvandinger, som hidtil er blevet gennemført i skovbruget, har kun en beskeden effekt, idet grundvandspejlet i det store og hele kun er sænket lidt, og den øgede afstrømning er antagelig af en meget beskeden størrelsesorden. På svær lerjord drejer det sig formentlig højst om en afstrømning svarende til 2—5 mm nedbør om året.

VIII. ENGLISH SUMMARY

The purpose of the investigation is to elucidate the problems —

a) whether the depth to which the water-table is lowered during the growing season differs with various tree-species growing on clayey soil with a high water-table,

b) whether the age of the stand has any influence on the lowering of the water-table in such localities,

c) how a high water-table influences the growth and health of various tree-species.

In the localities mentioned the lowering of the water-table is primarily caused by the water consumption of the trees. By means of the collected data the extent of the water consumption in the individual stands has been examined, and a comparison has been made of the various tree-species. Finally, in a closing chapter it is discussed to which extent drainage is biologically desirable in a forest on clayey soil, and whether drainage is technically practicable under such conditions.

I. Bibliography

1. Only the part of the literature which is directly connected with the investigation has been reviewed, and the main stress is laid on the newer literature.

2. With reference to *Aslyng* (1957) the following definitions have been laid down —

The *water-table* is the layer in the soil where the potential is 0, and the *ground-water* is the water in the saturated pores below the water-table. Below the water-table the potential is positive.

3. The author supports the so-called theory of infiltration, according to which the ground-water is infiltrated precipitate. *Volger* (1877) advanced the so-called theory of condensation, propounding that the ground-water is primarily condensed water. Subsequent authors have tried to prove that condensations play a more or less prominent part in the formation of the ground-water (*Ijjász*, 1938; *Lebedeff*, 1928; *Nikitin et al.*, 1949; *Köhn*, 1956), but their investigations are not very convincing.

4. The influence of forest on the water-table has previously been investigated. The first investigations were made by *Ototzki* in Russia (see e.g. *Guse*, 1907). It appeared from these investigations that the depth of the ground-water was greater below forest than below field. Other investigators have arrived at the same result (e.g. *Henry*, 1903). There are also investigations showing that the depth of the ground-water varies with the various tree-species (e.g. *Hesselman*, 1917), and that the depth of the ground-water is greater below an old than below a young stand (e.g. *Kokkonen*, 1923). However, simultaneous with such publications treatises have appeared in which it is shown that forest does not lower the ground-water deeper than other types of vegetation (*Ebermayer and Hartmann*, see e.g. *Ijjász*, 1938), and there are also instances in which it has been considered proved that the water-table is higher below forest than in areas with no forest (*Robinie* in *Ijjász*, 1938). A few investigators have succeeded in having all the above results brought together in one publication (*Ijjász*, 1938; *Wilde et al.*, 1953), without having satisfactorily explained why now one, now another fact was established. Finally, there are purely critical works (*Engler*, 1919; *Rakhmanov*, 1959), establishing a probability that in the greater part of the works mentioned the geohydrological conditions of the investigated localities have not been comparable.

On the whole the results and opinions seem to be so contradictory that it is desirable that the whole problem should be made the object of a renewed investigation.

5. Danish authors have noticed that a high water-table is detrimental to certain tree-species. This holds good for beech, in which the increment is reduced and the form harmed, and sometimes the stand wilts (*Vaupell*, 1863; *Hauch and Milthers*, 1928; *Jagd*, 1960). However, these observations are not numerically supported.

Some investigations have been made of the tolerance of forest trees to flooding. It appears from them that the various tree-species are not equally vulnerable to flooding. According to the literature beech is very sensitive to flooding, whereas oak and ash may stand up to even rather protracted flooding. It also appears that, while young trees are killed by a transitory flooding, older trees may suffer a comparatively protracted flooding. Old trees have a remarkable inertia as against exterior influences.

The actual causes of root drowning are not quite clear (*Bergmann*, 1959).

Investigations by *Campbell et al.* (1953), *Stone et al.* (1954), *Day*, and others, show that in areas with a high water-table root death often occurs, sometimes possibly followed by fungus attack on the root systems, involving in many instances that the trees wilt and die.

Also Danish observations of root death in areas with a high water-table are available (*Ladefoged*, 1938; *Holstener-Jørgensen*, 1958 b; *Henriksen*, 1958; *Ladefoged*, 1959). At a few of these observations it has not been realized that the root death was caused by a

raising of the ground-water (*Ladefoged*, 1959). The root death has been put in connexion with thinning interventions, which is reasonable, because felling results in a raising of the ground-water during the growing season (*Holstener-Jørgensen*, 1959 b).

A number of articles deal with the problem whether a lowering of the ground-water, for instance as a result of catchment, is detrimental to forest tree stands. Where the ground-water is connected with big reservoirs (lakes, rivers, etc.) there is hardly any doubt that lowering of the water-table causes an at any rate momentarily reduced increment (e.g. *Wilde et al.*, 1950). Where this is not the case (see e.g. *Sinz*, 1924/25 and *Jordan*, 1951) it must be presumed that the causes of reduced increment, root death, infectious diseases, etc., are not *presumed* lowerings of the water-table, but are, on the contrary, one or more raisings of the water-table during the growing season. It is conspicuous that several of the periods in which ill-health and bad growth have been put in connexion with drought and lowering of the water-table have in reality been periods with heavy precipitation and extraordinarily high water-levels in rivers and lakes (see e.g. *Gassert*, 1934).

In soils with a high water-table all forest trees have flat root systems, and therefore the stands in such localities are in danger of being blown down by gales, especially if the gale is accompanied by rain so that the soil is soggy. Late winter gales and early spring gales are especially disastrous, because the ground-water at these seasons reaches its highest level.

6. At the end of the last century the water consumption of the forest was considered to be moderate ("la forêt est la mère des sources", they said in France). At the turn of the century the Russian ground-water investigations gave rise to the presumption, which was upheld for some time, that the water consumption of forest as compared with other plant cultures is very considerable. The investigations by *Engler* (1919) caused a change of opinion. The main stress was now laid upon the protective ability of forest against erosion, and it was emphasized that the percolation is slower and takes place over a longer period in forest than in field and meadow.

Similar investigations in the U.S.A. (*Bates and Henry*, 1928) have encouraged these views.

It has recently been demonstrated that through felling, removal of undergrowth and similar measures the run-off may be increased, i.e., the evaporation is reduced.

These results are congruent with investigations showing that the amounts of soil-water are bigger in a clear-cut area than in a closed forest (*Heinrich*, 1936; *Smith*, 1940; and others), or that the amounts of plant-accessible water in the soil are bigger after thinning than in forest which has not been thinned (*Wilm*, 1943).

We have, however, no elucidation of the questions whether the water consumption of the various tree-species are the same, and

whether the water consumption varies with the age of the stand in closed stands.

Incidentally, the author is of the opinion that, so far, plantphysiological investigations have not succeeded in throwing light upon problems of water-balance.

II. The results of an experimental investigation

1. Previous investigations (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a) showed that in 3 subsequent years the ground-water below beech, oak and Norway spruce was lowered to *the same* maximum depth during the growing season.

In spring 1956 an experiment with 4 plots of abt. 0.7 hectare each was established in a 75 years old beech stand. The fluctuations of the water-table was studied in 31 wells. After a growing season (a period of calibration) one plot was clear-cut and planted with Norway spruce, and one plot was shelterwood-cut and underplanted with beech. The remaining 2 plots served as controls. After another year's measurements (1957) it appeared that in comparison with 1956 the deepest water-table was on an average 50 cm higher in the shelterwood-cut plot and 140 cm higher in the clear-cut plot, *but 54 cm deeper in the controls.* Accordingly, the deepest water-table is not constant from year to year (particulars in *Holstener-Jørgensen*, 1959 b).

Fig. 1 a, b, c and d shows the water-table fluctuations in 3 wells in the controls from 1956 up to and including 1959. The figure illustrates what has been said above. The figure also shows that in 1959, which was a year of drought, the lowering took place in a straight line. A calculation of the straight lines for all the 31 wells shows that the correlation between the time and the lowering is very intimate (Table 1).

The water-table curves for the other years in Fig. 1 show that also in normal years the lowering in the beginning of the growing season takes place very nearly in a straight line. The gradients of the lines vary from year to year, presumably as a result of variations in the conditions of evaporation (the water consumption of the trees). This means that in years of heavy evaporation and low precipitation the water-table is lowered deeper during the growing season than in years of low evaporation and heavy precipitation.

2. The above-mentioned lowerings from year to year may be expressed by the difference between *highest stable water-table* (see *Holstener-Jørgensen*, 1959 a) and the water-table in August, when the lowering has not yet come to a stop owing to the normally rather ample precipitation in late summer. Table 1 gives a survey of highest stable water-table = the water-table on 1st March, 1957, in the 31 wells, and the August water-tables for the individual years. On the basis of 1956, the year of calibration, the changes in lowering during the following years have been computed for each individual well. The

mean value of these changes for each of the three treatments is shown in Table 2.

The differences between the mean values and the computed t-values on these differences are shown in Table 3. From this table it appears that with a single exception (shelterwood-cutting — clear-cutting in 1958) the changes in the lowering of the water-table caused by cutting are highly significant. The said exception may possibly be ascribed to the fact that 1958 was a very wet year.

Moreover, the figures in Table 2 show that the effects of the cutting have lasted for 3 years.

III. On the influence exerted by various tree-species on the water-table

1. It has been shown in the previous chapter that the difference in the lowering of the water-table caused by various treatments is the same from year to year, even though the character of the lowering varies. It may therefore be presumed that a difference between various tree-species or between stands of various ages will be very nearly the same from year to year irrespective of the variation in the character of the lowerings.

This means that a single investigation may comprise the influence of various tree-species on the water-table and the effect of the age of the stand on the water-table.

Such an investigation was carried out in the years 1959/60 at Bregentved, where terrain and ground-water conditions are well fitted for the purpose.

2. About the working methods employed, etc., the following should be mentioned —

a. 99 stands were investigated, principally of the main tree-species beech, oak and Norway spruce. Fig. 2 shows the situation of the plots in the Bregentved forests, and further information with regard to the ages of the stands, tree mensuration data, etc., may be found in Tables 4, 6, 8, 10, 12, 20, 21, 22, and 23.

b. As previously, bored wells with a diameter of 10 cm were used in this investigation (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a and b). The wells were placed in typical plots in the investigated stands. There was a well in each stand, and it was situated at least 10 m from the nearest ditch. Main table I gives a survey of the dates of boring and the ground-water levels in the individual wells. *By water level is understood the distance from the surface of the soil to the water-table.*

c. At the borings soil samples were taken at random from various depths for mechanical analysis (cf. *Jensen and Kjær*, 1948) and pH-determination. Table 4 shows the results of the analysis.

d. *Highest stable water-table* is defined as the water-table found when the water in the upper soil horizons, which are rich in

macropores, has oozed away through the ditches. It is a site constant (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a). At the present investigation it was measured on 21st and 22nd April, 1959, a few days after a rainy period (see Table 5). In the following, *highest stable water-table is also designated the 21/4-water-table.*

In April 1960 the conditions with regard to precipitation happened to be like those of April 1959 (see Table 5). The measurements from 20th and 21st April, 1960, may therefore be compared with the 1959-measurements. Hereby a good impression is obtained of the accuracy of the determination of highest stable water-table.

In the *beech* stands the 21/4-water-table in 1959 was 7 ± 1.6 cm deeper than in 1960.

In the *oak* stands the 21/4-water-table in 1959 was 5 ± 1.2 cm deeper than in 1960.

In 4 *alder* stands the water-table was 5 ± 3.1 cm deeper on 21st April, 1959, than on 20th April, 1960.

In 10 *ash* stands the 21/4-water table in 1959 was 7 ± 3.5 cm deeper than in 1960.

In the *Norway spruce* and *sitka spruce* stands the water-table was 16 ± 1.9 cm deeper on 21st April, 1959, than on 20th April, 1960.

The figures show that the 21/4-water-table is a good estimate for highest stable water-table. The comparatively big divergence in the conifer stands, in which, by the way, all individual divergences have the same sign, is explained by the fact that the water consumption of the conifer stands was comparatively big in spring 1959.

3. The soil in the investigated area consists of moraine clay from the latest Glacial Age and is of Baltic origin. The type is a *genuine glei.* The clay content increases somewhat with the depth (Fig. 3, correlation coefficient r = 0.438). As the content of macropores is intimately negatively correlated to the clay content of the soil (Fig. 6) and to the depth in the profile (Fig. 5), it must be presumed that the content of macropores is low in the deepest horizons reached at the borings. The 21/4-water-table is, however, not correlated to the texture (Fig. 7).

The content of macropores in the deeper layers of the soil does not seem to vary with the various tree-species (Fig. 6 and *Holmsgaard, Holstener-Jørgensen and Yde-Andersen,* 1961).

4 a. The influence of the tree-species on the water-table has been investigated by a statistical treatment of the following factors for each individual tree-species —

independent variables: 1) age of stand and
2) 21/4-water-table
dependent variable: 20/8-water-table

The 20/8-water-table is the water-table measured on 19th, 20th and 25th August in the individual sample plots (Main table I).

It should be emphasized that in regard to species and age the trees were evenly distributed over the investigated area (compare Fig. 2 with the various tables).

Figs. 8—23 show that none of the following factors are correlated with the elevation of the plots —

age of stands, 21/4-water-table, 20/8-water-table and the deviations of the 20/8-water-table from the computed regression planes.

From this as well as from other evidence the conclusion is drawn that there is no deep ground-water run-off from the area.

b. For the *beech* stands the basic material for such computations is brought together in Table 6. Fig. 24 shows that there is no correlation between the 21/4-water-table and the age of the stand in the beech stands. In closed beech stands (older than 30 years) the lowering of the water-table from 21st April through 20th August is correlated to the 21/4-water-table (Fig. 25). Furthermore, the lowering from 21st April through 20th August is correlated to log age (Fig. 26). Here it must be interposed that there is no significant difference between the correlation coefficients for the non-significant straight line and for the significant exponential function in Fig. 26. The choice of *exponential function* is made exclusively on the basis of a desire of being able to compare the functions for the tree-species two by twos. For such a comparison with relevant tests it is necessary that the functions should be of the same character.

For beech the final function is —

(cm 20/8-water-table) =

$$-98.45 + 89.07 \text{ (log age)} + 3.79 \text{ (cm 21/4-water-table)}$$

Both regression coefficients are significant. The multiple correlation coefficient is R = 0.719, and it is highly significant. The importance of the 21/4-water-table for the 20/8-water-table is abt. 3 times that of log age. Table 7 shows some regression values. For the individual plots the regression values are stated in Table 6.

The function shows that: *During the growing season the water-table is lowered less in beech stands where highest stable water-table is high than where it is deep. Besides, the water-table is lowered less in young beech stands than in older ones.*

c. For the *oak* stands the basic material for the computations is brought together in Table 8. There is no correlation between the 21/4-water-table and the age of the stand (Fig. 27). Fig. 28 shows that there is *no* significant correlation between the 21/4-water-table and the lowering from 21st April through 20th August. On the other hand, there is a highly significant correlation between log age and the 20/8-water-table (Fig. 29).

For oak the final function is —

(cm 20/8-water-table) =

$$28.42 + 150.66 \text{ (log age)} + 0.10 \text{ (cm 21/4-water-table)}$$

The multiple correlation coefficient is R = 0.608. The coefficient to log age is highly significant, whereas the coefficient to 21/4-water-table is not significant. Table 9 shows selected regression values, while the regression values for the individual plots are stated in Table 8.

To oak stands it therefore applies that: *During the growing season the water-table is lowered less in young stands than in older stands. Highest stable water-table has no significant influence on the lowering.*

d. The basic material for the computations for the *Norway spruce* and *sitka spruce* stands is brought together in Table 10. The mixed cultures of Norway spruce (⅔) and sitka spruce (⅓) are treated as Norway spruce stands in the computations.

Fig. 30 shows that there is an intimate correlation between the age of the stand and the 21/4-water-table. *The oldest conifer stands were planted in a dryer soil than the youngest ones.*

Fig. 31 together with Fig. 32 show that *sitka spruce stands lower the water-table considerably less than the Norway spruce stands.* The difference is highly significant. For the Norway spruce stands the final function has the following form —

(cm 20/8-water-table) =
31.82 + 63.16 (log age) + 0.98 (cm 21/4-water-table)

Both regression coefficients are significantly different from 0, and the multiple correlation coefficient is as high as R = 0.90. The 21/4-water-table is abt. 3 times as important for the lowering as the age of the stand. Table 11 shows a representative selection of regression values. In Table 10 the regression values are stated for the individual plots.

It appears from the function that *during the growing season the water-table is higher in Norway spruce stands where highest stable water-table is high than where it is deep. Older Norway spruce stands lower the water-table deeper than young ones.*

e. The number of *ash* stands is so small that no significant correlations can be demonstrated (see Table 12, Fig. 33, Fig. 34, and Fig. 35). For the purpose of comparison the following function has been computed —

(cm 20/8-water-table) =
81.66 + 185.72 (log age) — 2.80 (cm 21/4-water-table)

(see Table 13 and Table 12). Even though the material is limited, it may be considered established that *the character of the influence of ash stands on the water-table is the same as that of oak stands.*

About *the remaining tree-species* (see Table 12) nothing can be said.

f. Table 14 shows that, where highest stable water-table is low and the stands are young, *beech* lowers the water-table deeper than

oak. On the other hand, where highest stable water-table is high, and in old stands, *oak* lowers the water-table deeper than *beech*.

g. Table 15 seems to indicate that *Norway spruce* lowers the water-table deeper than *beech* where highest stable water-table is very high. It is certain that, where highest stable water-table is low, beech stands of different ages lower the water-table deeper than Norway spruce stands of the same ages.

h. Table 16 shows that *ash* with certainty lowers the water-table deeper than *beech* at a high highest stable water-table.

i. Table 17 shows that during the growing season the water-table is with certainty lowered deeper in *oak* stands than in *Norway spruce* stands of the same age, when they grow on a clayey moraine with a high water-table.

j. Table 18 shows that no significant differences between *oak* and *ash* can be demonstrated.

k. Table 19 shows that there is a tendency for ash to lower the water-table deeper than Norway spruce at increasing age and/or a high spring water-table.

5 a. In the discussion it is emphasized that the water-table in the investigated area is an expression of the balance between the water consumption of the individual stands and the precipitation. Consequently, the 20/8-water-tables established show how deep *the effective rootage space* is in the individual stands.

Like *Preston* (1942), *Kalela* (1950) and *Erteld* (1942) we therefore find that the depth of the effective rootage space is a function of the age of the stand. Under the actual conditions (clayey soil and a high water-table) there is a difference between the tree-species. Under average conditions (21/4-water-table = abt. 50 cm, abt. 40 years old stands) the order with regard to *the depth of the effective rootage space* is approximately as follows —

oak, ash > beech > Norway spruce > sitka spruce

The precedence of the tree-species with regard to sensitivity to high ground-water is approximately —

oak, ash < Norway spruce ≦ beech < sitka spruce

b. The investigations show that knowledge of highest stable water-table is absolutely necessary for the comparison of the influence of various tree-species on the water-table during the growing season. This point has been neglected by previous authors, and, for this reason inter alia, the greater part of the earlier literature on the subject is therefore inconclusive.

IV. On the influence of ground-water on forest.

1. It appears from some of the above results that a high water-table decreases the rootage space of the trees. Through an extensive forest mensuration the question has been investigated whether the ground-water has any influence on the growth of the trees.

2. The heights and diameters of the trees nearest to the wells have been measured. For each stand the arithmetical average height and the arithmetical mean diameter have been computed.

3. Table 20 shows the results of the forest mensuration for the beech stands. Fig. 39 shows the connexion between age and height, and Fig. 41 the connexion between age and diameter.

In Fig. 43 the deviations of the heights from the free-hand height-curves in Fig. 39 have been superimposed on the deviations of the 21/4-water-table from the mean water-table on 21st April for all stands. The correlation coefficient is $r = 0.628$. The marked in regression line, representing average-aged stands, shows that for each 10 cm highest stable water-table is lower than 50 cm, the height in 60 years old beech stands will be increased by 80 cm. Likewise the diameters are correlated to the 21/4-water-table (Fig. 44).

The form is characterized by a simple scale: 1) good and 2) bad. According to Fig. 46 there is no clear connexion between the form of the trees and the 21/4-water-tables.

Finally, attention should be called to the fact that there is a connexion between the ages of the stands and the deviations of the heights from the height curves of the Danish system of site classification (Fig. 40).

4. A similar treatment of the forest mensuration data (Table 21) and the ground-water data for *oak* stands shows that there is no clear connexion between increment and ground-water conditions (see Fig. 47 through Fig. 53).

5. The forest mensuration data for the *Norway spruce* and *sitka spruce* stands are brought together in Table 22 and graphically represented in Fig. 54 and Fig. 55. From Figs. 57, 58, 59 and 60 it appears that there is no clear connexion between the increment and the ground-water conditions. In Fig. 61 the height deviations of the individual stands from Site Class I have been superimposed on the deviation of the 21/4-water-table from the mean water-table on 21st April for all stands. These two factors have been correlated. The correlation coefficient is $r = 0.604$. Consequently it looks as if an increasing depth of highest stable water-table improves the height class of the trees.

Attention is especially called to the fact that sitka spruce with its flat rootage space has obtained the same heights and diameters as Norway spruce of the same age (Fig. 54 and Fig. 55).

6. For *ash* no obvious connexion between forest mensuration data and ground-water conditions can be established (see Table 23 and Figs. 62 through 70). There is a tendency of increasing increment where the 21/4-water-table is low. This tendency agrees with the finding by *Holmsgaard* (1955) that the increment in ash is correlated to the temperature of the spring months. Where the 21/4-water-table is high, the soil temperature in spring will be low (*Zöttl*, 1958).

7. In spring 1960 a 116 years old beech stand in Valby Hegn wilted. The crowns were scantily leafed, and the leaves small and yellowish. The soil was clayey (Fig. 71) and the water-table high (Fig. 73). The increment had been low since 1956/57 (Fig. 72). By digging and by overturning of two trees it appeared that all roots deeper than 10 cm below the surface of the soil had died. Moreover, all roots in a greater distance than 50—200 cm from the base of the stem were dead. The live root clods of the two overturned trees corresponded to a rootage space of abt. 0.24 m^3 and abt. 0.96 m^3 respectively. A previously examined beech tree had the same dimensions and grew in a clayey soil with a high water-table (see *Holstener-Jørgensen*, 1959 a). This beech tree, which had no dead roots, had a rootage space of 32.5 m^3.

The stand in Valby Hegn had been thinned heavily in winter 1956/57. The summer of 1957 was wet, and a forest guard stated that the soil in the said stand was so moist in the summer of 1957 that the stand was only accessible for people wearing rubber boots.

From this the conclusion is drawn that the roots were drowned in 1957. The heavy thinning in connexion with the wet summer have caused a considerable rise of the water-table. This fits in with previous investigations (see *Holstener-Jørgensen*, 1959 b). As old trees are in possession of a considerable inertia, the drowning has not manifested itself until 1960.

The observation reminds of American investigations of "little leaf disease" (*Campbell et al.*, 1953) and stunting (*Stone et al.*, 1954) in similar localities.

The observation calls for wariness in felling. Stands on clayey soils with a high water-table should be thinned sparingly but often.

V. On the water consumption of the investigated stands

1. When the highest stable water-table is known, it is possible to compute the evapotranspiration of the stands. Evapotranspiration is the rainfall occurring in the period from the day when the ground-water in spring passes its highest stable level and is on the down grade, till in autumn it again reaches its highest stable level (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a, p. 286). The method has been applied to the present material. The necessary ground-water data may be found in Main table I, and the precipitation per month for three precipitation stations in the investigated area is shown in Table 24.

2. The computed water consumptions for the beech stands are in Fig. 74 superimposed on the 20/8-water-tables, that is, the depth of the rootage space in the individual stands. The material has been free-hand smoothed. The water consumption is intimately correlated to the depth of the rootage space. The correlation between increment (height class) and the 21/4-water-table (see Fig. 43) accordingly shows an increasing increment with an increasing capacity for water intake (cf. *Holmsgaard*, 1955, and *Holstener-Jørgensen*, 1958 b).

3. Fig. 75 shows that the water consumption of the *oak* stands is also correlated to the depth of the rootage space. The free-hand curve from Fig. 74 has been entered in Fig. 75. An χ^2-test discloses that the distribution of the oak stands around this curve does not deviate significantly from the distribution of the beech stands around the curve. In other words, at the same depth of rootage space there is no significant difference between the water consumption in oak stands and the water consumption in beech stands.

4. The water consumption in the Norway spruce and the sitka spruce stands is shown in Fig. 76 as a function of the depth of the rootage space. The free-hand curve from Fig. 74 has been entered dotted, whereas the points have been free-hand smoothed in the fully inked curve. At the same depth of the rootage space the water consumption is considerably greater in conifer stands than in stands of deciduous trees. The distribution of the conifer stands around the beech curve deviates significantly from the distribution of the beech stands around the curve, as $\chi^2 = 15.211$. The difference between the water consumption of the beech stands and the water consumption of the conifer stands was in 1959 of the magnitude 40 mm. The investigation confirms an earlier observation, showing that Norway spruce consumes water in the winter months (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a).

5. Fig. 77 shows the water consumption in stands of the remaining tree-species. The beech curve has been entered as a dotted line. The connexion between depth of rootage space and water consumption is the same as in the case of the other deciduous tree-species.

6. In the discussion it is emphasized that the evapotranspiration values found are highly convincing. During the months May through September, 1959, the precipitation in the area measured 145 mm (Table 24). By transposing the curve in Fig. 74 145 mm we arrive at the result that the soil-water reserves in 1959 must have been of the magnitude 150—300 mm according to the depth of the rootage space. In the investigated area plant-accessible water capacities of 130 mm have earlier been found in the topmost 70 cm of the soil, corresponding to 150 mm in the upper 100 cm of the soil (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a). It sounds probable that at least 100 cm of the soil was emptied of plant-available water in 1959.

VI. On drainage

1. In Denmark considerable amounts are at present invested in drainage of forested clayey soils with a high water-table. This is done, although the assertions that drainage is biologically necessary and that an efficient drainage is really technically possible have not been supported by numerical data. The investigations at Bregentved may elucidate these problems.

2. Beech, Norway spruce and sitka spruce are tree-species especially sensitive to a high ground-water table. In the cases of beech and Norway spruce it has been shown that the effective rootage space is deepest where highest stable water-table is low. For beech it is certain that the increment is greatest where highest stable water-table is low. Presumably the same holds good for Norway spruce (cf. Fig. 61). It is therefore conceivable that beech, Norway spruce and sitka spruce will benefit from a drainage if it involves an effective lowering of highest stable water-table. In stands of oak and ash the rootage space seems to be practically independent of highest stable water-table, and thus there are no biological reasons for drainage in stands of these tree-species.

3. It is, however, technically difficult to bring about an effective lowering of highest stable water-table in clayey soil. Fig. 78 shows that in the permanent experimental area at Ganneskov (mentioned on pp. 276) there is a connexion between the depth to highest stable water-table and the distance of the ground-water wells from the nearest ditch. The influences of the ditches are greatest at a distance of up to 5 m, and in practice it is nil at a distance of 10 m. Fig. 79 shows the average water-table in the period from 17th January through 19th May, 1958, between two drain-pipes at Knuthenborg. The soil conditions are here the same as at Bregentved, and the area is covered with 120 years old oak. Judged from this figure, the drain-pipes influence the water-table at a distance of up to 10 m. In order to lower the water-table effectively in clayey soils, the drainage must, accordingly, be very intensive, and this is expensive.

4. If effective drainage involves considerable investments, there must be good reasons for drainage. Empirical investigations like those mentioned above can only give a hint, and they must be supported by drainage experiments, before drainage may generally be recommended.

5. Finally an account is given of the influence of drainage on the run-off. It appears from the material collected that the run-off is increased by 2—5 mm, if highest stable water-table is lowered 40 cm. In beech stands the evapotranspiration is increased by abt. 35 mm and in Norway spruce stands by abt. 20 mm at such an arrangement. Under certain conditions drainage consequently involves a reduction of the run-off. In oak and ash stands drainage will presumably not increase the evapotranspiration.

LITTERATUR

Ahlgren, C. E. and *Hansen, H. L.*, 1957: Some effects of temporary flooding on coniferous trees. J. For. 55, s. 647—650.

Albert, R., 1915: Ungünstiger Einfluss einer zu grossen Stammzahl auf den Wasserhaushalt geringer Kiefernböden. Zeitschr. Forst. und Jagdwesen, 47, s. 241—248.

Anonym, 1940: Influences of vegetation and watershed treatments on run-off, silting, and stream flow. A progress report of research. Misc. Publ. U.S. Dep. Agric. no. 397, s. 1—80.

— , 1954: Clear cutting raises water level in flatwoods. Sta. Pap. Stheast. For. Exp. Sta. No. 34, s. 17—18.

— , 1957: Brush defoliation may save water. Rep. Calif. For. Range Exp. Sta., 1957, s. 70—72.

Anthon, L., 1907: Egekultur. Tidsskr. f. Skovvæsen, 19 A, s. 42—46.

Aslyng, H. C., 1952: Characterization of soils. Årsskr. Vet.-Landbohøjsk., s. 20—56.

— , 1954: Jordens vandbalance. Nordisk Jordbrugsforskning, 36. Stockholm, s. 93—100.

— , 1957: Kulturteknik I. 2. udg. København.

— , 1959: Jordbruget og vandbalancen. Vandbalance, København, s. 45—65.

Aslyng, H. C. og *Hansen, L.*, 1960: Vandfordampning og vindhastighed ved statens forsøgsstationer. Tidsskr. Planteavl, 64, s. 185—212.

Babos, J., 1953: (The afforestation of flood areas). Erdö, 2, s. 3—18. Cit. eft. For. Abstr., 15, 1954, no. 3540.

Basov, G. F., 1949: (The hydrological role of shelter belts on the Kamennaya Steppe). Agrobiologiya, 1949, s. 131—147. Cit. eft. For. Abstr., 11, 1949, no. 295.

Bates, C. G. and *Henry, A. J.*, 1928: Second phase of streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colo. Mon. Weath. Rev., 56, s. 79—97.

Bavngaard, Aa., 1955: Om skovs afvanding. Dansk Skovforen. Tidsskr., 40, s. 394—413.

Bergman, H. F., 1959: Oxygen deficiency as a cause of disease in plants. Bot. Rev., 25, s. 418—485.

Bochkov, A. P., 1959 a: The elements of the water balance in the forest and on the field. Publication Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Gentbrugge, no. 48, s. 164—173.

— , 1959 b: The forest and the river run-off. Publication Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Gentbrugge, no. 48, s. 174—181.

Bradfield, R., Batjer, L. P. and *Oskamp, J.*, 1934: The significance of the oxidation-reduction potential in evaluating soils for orchard purposes. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull., 592, s. 1—27.

Brink, V. C., 1954: Survival of plants under flood in the lower Fraser River valley, British Columbia. Ecology, 35, s. 94—95.

Burger, H., 1934: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. II. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 18, s. 311—416.

— , 1943: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. III. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 23, s. 167—222.

— , 1956: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. IV. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 31, s. 9—58.

Bühler, A., 1918: Der Waldbau, Bd. 1. Stuttgart, s. 1—662.

Campbell, W. A., Copeland, O. L. and *Hepting, G. H.*, 1953: Managing shortleaf pine in littleleaf disease areas. Sta. Pap. Stheast. For. Exp. Sta., no. 25, s. 1—12.

Casparis, E., 1959: 30 Jahre Wassermessstationen im Emmental. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 35, s. 179—224.

Clark, O. R., 1940: Interception of rainfall by prairie grasses, weeds, and certain crop plants. Ecol. Monogr., 10, s. 243—277.

Coile, T. S., 1952: Soil and the growth of forests. Advances in Agronomy, 4, s. 329—398.

Colding, A., Holten, C. og *Johnstrup, F.*, 1875: Om vore Skoves Indflydelse paa Vandstanden i Aaer og Søer. Betænkning afgiven 7. Okt. 1875. Vid. Selsk. Overs. 1875, s. 49—58.

Copeland, O. L., 1949: Some relations between soils and littleleaf disease of pine. J. For., 47, s. 566—568.

Croft, A. R. and *Monninger, L. V.*, 1953: Evapotranspiration and other water losses on some Aspen forest types in relation to water available for stream flow. Trans. Amer. geophys. Union, 34, s. 563—574.

Day, W. R., 1946: Root disease in conifers. Nature, Lond., 158, s. 57—58.

— , 1950 a: Root disease and butt-rot of conifers. Rep. imp. For. Inst., Oxf. 1946—47, s. 9.

— , 1950 a: Root disease and butt-rot of conifers. Rep. Imp. For. Inst. Oxf., 1948—49, s. 11—12. Cit. eft. For. Abstr., 11, 1949, no. 3360.

— , 1950 b: The soil conditions which determine wind-throw in forests. Forestry, 23, s. 90—95.

— , 1951: Root disease of conifers with special regard to the dying of Sitka Spruce and its liability to windthrow. Rep. imp. For. Inst. Oxf., 1949—50, s. 12—13.

— , 1953 a: The fungus flora of the main stem of standing trees. Rep. imp. For. Inst., Oxf., 1951—52, s. 15.

— , 1953 b: The growth of Sitka Spruce on shallow soils in relation to root-disease and windthrow. Forestry, 26, s. 81—95.

Delfs, J., Friedrich, W., Kiesekamp, H. und *Wagenhoft, A.*, 1958: Der Einfluss des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflussvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Aus dem Walde, Hannover, Nr. 3, s. 1—223.

Dengler, A., 1944: Waldbau. 3. udg., Berlin, s. 1—596.

Dryuchenko, M. M., 1941: (Influence of forest on ground water). Pedology (3), s. 69—88. Cit. eft. For. Abstr., 4, 1942, s. 84.

Ebermayer, E., 1900: Einfluss der Wälder auf die Bodenfeuchtigkeit, auf das Sickerwasser, auf das Grundwasser und auf die Ergiebigkeit der Quellen. Stuttgart, s. 1—45.

Engler, A., 1919: Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 12, s. 1—626.

Erteld, W., 1942: Die Birkenwurzel auf armen Sandböden. Mit vergleichsweisen Beobachtungen an der Kiefernwurzel. Zeitschr. Forst- und Jagdwesen, 74, s. 193—215.

Ezekiel, M., 1947: Methods of Correlation Analysis. 2. udg., New York, s. 1—531.

Falck, R., 1918: Eichenerkrankung in der Oberförsterei Lödderitz und in Westfalen. Zeitschr. Forst- und Jagdwesen, 50, s. 123—132.

Farsky, O., 1957: (The harmful results of the July 1954 floods in the marshy forests near Gabčikovo). Lesn. Čas., 3, s. 100—157. Cit. eft. For. Abstr., 19, 1958, no. 4344.

Flor, C., 1956: Grøftegravning i skov. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 240—249.

Fraser, D. A., 1956: Ecological studies of forest trees at Chalk River, Ontario, Canada. II. Ecological conditions and radial increment. Ecology, 37, s. 777—789.

— , 1957: Ecological studies of forest trees at Chalk River, Ontario, Canada. III. Annual and seasonal march of soil moisture under a hardwood stand. Tech. Note For. Br. Can., no. 55, s. 1—25.

Friis, G. P., 1891: Ask i rene Bevoksninger. Tidsskr. f. Skovvæsen, 3 A, s. 68—74.

Fritts, H. C., 1956: Radial growth of beech and soil moisture in a Central Ohio forest during the growing season of 1952. Ohio. J. Sci., 56, s. 17—28.

Ganssen, R. H., 1934: Untersuchungen an Buchenstandorten Nord- und Mitteldeutschlands. Zeitschr. Forst- und Jagdwesen, 66, s. 225—249, 359—394, 472—494, 583—606.

Gassert, E., 1934: Die Forstwirtschaft und das Grundwasser. Zeitschr. Forst- und Jagdwesen, 66, s. 394—399.

Godman, R. M., 1958: Are water table levels an important factor in the establishment and growth of Yellow Birch? Pap. Mich. Acad. Sci., 44, s. 183—190.

Gordienko, M., 1953: Der Einfluss des Waldes bzw. der Waldschutzstreifen auf die Wasserverhältnisse und den Grundwasserstand im Boden. Dtsch. Landwirtsch., 4, s. 43—46.

Green, W. E., 1947: Effect of water impoundment on tree mortality and growth. J. For., 45, s. 118—120.

Grudinskaya, I. T. and *Shpak, I. S.*, 1959: Effect of forest and forest strips on the moisture conditions of soils and ground water levels in the forest-steppe and steppe districts of the Ukraine.

Publication Association d'Hydrologie Scientifique, Gentbrugge, no. 48, s. 252—270.

Guse, C., 1907: Die russischen Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Grundwasserstand. Centralbl. f. d. ges. Forstw., 33, s. 311—318.

Hald, A., 1957: Statistical theory with engineering applications. 3. udg., New York, s. 1—783.

Hall, T. F. and *Smith, G. E.*, 1955: Effects of flooding on woody plants, West Sandy dewatering project, Kentucky reservoir. J. For., 53, s. 281—285.

Hartmann, F. K., 1930: Über den waldbaulichen Wert des Grundwassers. Mitt. Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, Hannover, 1930, s. 385—437.

Hasenmaier, E., 1955: Die Abhängigkeit der Sturmgefährdung von den Bodenverhältnissen. Beobachtungen in Fichtenreinbeständen der Waldenburger Berge. Mitt. Ver. forstl. Standortskart., no. 4, s. 60—61.

Hauch, L. A. og *Oppermann, A.*, 1898—1902: Haandbog i Skovbrug, København, s. 1—788.

Hauch, L. A. og *Milthers, V.*, 1928: Skoven og Grundvandet. København, s. 1—66.

Heinrich, F., 1936: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden Norddeutschlands. Zeitschr. Forst- und Jagdwesen, 68, s. 245—279, s. 353—390.

Henriksen, H. A., 1958: Sitkagranens vækst og sundhedstilstand i Danmark. Forstl. Forsøgsv. Danm., 24, s. 1—372.

Henry, E., 1903: Les forêts de plaine et les eaux souterraines. Revue des Eaux et Forêts, 42, s. 161—167, s. 193—201.

Hermansen, N. K., 1955: Økonomiske betragtninger vedrørende træartsvalget. Dansk Skovforen. Tidsskr., 40, s. 14—32.

— , 1956: Afvandingens økonomi. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 131—134.

Hesselman, H., 1917: Om skogbeståndens roll vid moränlidernas försumpning. Svenska Skogsv. Fören. Tidskr., 15, Bilaga 1, s. 29—50.

— , 1928: Versumpfung, Rohhumus und Waldbau in Nordschweden. Forstwiss. Cbl., 50, s. 509—526.

Hoeve, J. Ter og *Roos, P.*, 1956: Grondwater en bos op Terschelling. Ned. Boschb.-Tijdschr., 28. s. 235—242.

Holmsgaard, E., 1955: Årringsanalyser af danske skovtræer. Forstl. Forsøgsv. Danm., 22, s. 1—246.

— , 1959: Kritiske bemærkninger om dr. Ladefogeds afhandling. Dansk Skovforen. Tidsskr., 44, s. 239—245.

— , *Holstener-Jørgensen, H.* og *Yde-Andersen, A.*, 1961: Bodenbildung, Zuwachs und Gesundheitszustand von Fichtenbeständen erster und zweiter Generation. Forstl. Forsøgsv. Danm., 27, s. 1—167.

Holstener-Jørgensen, H., 1955: Vandets bevægelse i jorden. Dansk Skovforen. Tidsskr., 40, s. 514—523.

— , 1956: Nedbøren og grundvandet. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 401—420.

— , 1958 a: Lidt om bøgedyrkningens fremtidsmuligheder bedømt på grundlag af udviklingen i Rude skov. Dansk Skovforen. Tidsskr., 43, s. 400—408.

— , 1958 b: Jordbundsfysiske undersøgelser i danske bøgebevoksninger. Forstl. Forsøgsv. Danm., 25, s. 93—224.

— , 1959 a: Undersøgelser af rodsystemer hos eg, bøg og rødgran på grundvandspåvirket morænejord. Med et bidrag til belysning af bevoksningernes vandforbrug. Forstl. Forsøgsv. Danm., 25, s. 225—290.

— , 1959 b: Skærmstillings og renafdrifts indflydelse på grundvandstanden på leret moræne. Forstl. Forsøgsv. Danm., 25, s. 291—306.

— , 1959 c: A contribution to elucidation of the evapotranspiration of forest stands on clayey soils with a high groundwater-table. Publication Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Gentbrugge, nr. 48, s. 286—289.

— , 1959 d: Skov og grundvand. Dansk Skovforen. Tidsskr., 44, s. 509—528.

Hoover, M. D., 1945: Effect of removal of forest vegetation upon water-yields. Trans. Amer. geophys. Union., 25, s. 969—977.

Huffel, G., 1904: Economie forestière. 1, Paris, s. 1—422.

Ijjász, E., 1938—39: Grundwasser und Baumvegetation unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Ungarischen Tiefebene. Erdészeti Kisérletek, 40, 1938, s. 159—269 og 41, 1939, s. 1—107.

Jagd, T., 1960: Fra Bregentveds egeskove. Træartsvalg. Dansk Skovforen. Tidsskr., 45, s. 1—45.

Jensen, S. T. og *Kjær, B.*, 1948: Undersøgelser over kornstørrelsesfordelingen i en række danske kalk- og mergelforekomster. Årsskr. Vet.-Landbohøjsk., s. 148—165.

Johnson, E. A. and *Kovner, J. L.*, 1956: Effect on streamflow of cutting a forest understorey. For. Sci., 2, s. 82—91.

Jordan, H., 1951: Ertragsrückgang und Bodenentartung infolge Grundwasserabsenkung. Forstwiss. Cbl., 70, s. 747—754.

Kalela, E. K., 1950: (On the horizontal roots in pine and spruce stand I). Acta Forestalia Fennica, 57, hft. 2, s. 1—79.

Katsumi, S., 1956: (Variation of flow in the period before and after cutting at Kamikawa experimental forest (1)). Spec. Rep. For. Exp. Sta. Hokkaido, no. 5, s. 139—149.

Kausch, W., 1957: Die Transpiration als Ursache für tägliche Grundwasserschwankungen. Ber. dtsch. bot. Ges., 70, s. 436—444.

Kihlberg, S., 1958: Himmelsberget: en undersökning av skogsbeståndets inverkan på vattenhushållningen. Grundförbättring, Uppsala, 11, s. 119—140 og s. 175—200.

Kirwald, E., 1950: Forstlicher Wasserhaushalt und Forstschutz gegen Wasserschäden (einschliesslich Wildbachverbauung). Eugen Ulmer, Ludwigsburg, s. 1—160.

Kmonitzek, E., 1930: Die Einwirkung eines Buchen- und Fichtenunterbaus auf den Bodenzustand und die Zuwachsleistung von Kiefernbeständen. Forstwiss. Cbl., 52, s. 843—855, s. 878—897, s. 913—928 og s. 952—964.

Koehne, W., 1928: Grundwasserkunde. Stuttgart, s. 1—291.

— , 1933: Das unterirdische Wasser. Handbuch der Geophysik, 7, s. 183—252.

Kokkonen, 1923: Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. Acta Forestalia Fennica, 25, s. 1—20.

Korobeinikov, V. A., 1959: Subsoil water of Kamennaya steppe and the influence of forest strips upon its regimen. Publication Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Gentbrugge, no. 48, s. 227—237.

Köhn, M., 1956: Untersuchungen zur Frage des Wasserhaushaltes von Böden. Z. Pfl. Ernähr. Düng., 72, s. 136—157.

Köstler, J. N., 1956: Waldbauliche Beobachtungen an Wurzelstöcken sturmgeworfener Nadelbäume. Forstwiss. Cbl., 75, s. 65—91.

Labunski, I. M., 1949: (The forest — a mighty instrument for transforming nature in the steppes). Agrobiologiya, 1949, s. 102—114. Cit. eft. For. Abstr., 11, 1949, no. 294.

Ladefoged, K., 1938: Udhugningens Indflydelse paa Trærøddernes Vækst. Dansk Skovforen. Tidsskr., 23, s. 227—238.

— , 1956: Undersøgelser over træernes vandforbrug. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 481—506.

— , 1959: Undersøgelser over forbindelsen mellem hugststyrke, roddød og råddannelser i rødgran. Dansk Skovforen. Tidsskr., 44, s. 5—53.

Larsen, N. J., 1956: Dræning i skov. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 223—230.

Lebedeff, A. F., 1928: The movement of ground and soil waters. Proc. First Internat. Congr. Soil. Sci., 1, s. 459—494.

Lull, H. W. and *Axley, J. H.*, 1958: Forest soil moisture relations in the coastal plain sands of Southern New Jersey. For. Sci., 4, s. 2—19.

Lundberg, G., 1926: Handbok i skogsdikning. 2. udg. Stockholm, s. 1—160.

Lyshede, J. M., 1955: Hydrologic studies of danish watercourses. Folia geographica danica, 6, s. 1—155.

Malmström, C., 1930: Om faran för skogsmarkens försumpning i Norrland. Medd. Skogsforskn. Inst., Stockh., 26, s. 1—162.

Merkle, R., 1951: Über die Douglasien-Vorkommen und die Ausbreitung des Adelopus-Nadelschütte im Württemberg-Hohenzollern. Allg. Forst- u. Jagdztg., 122, s. 161—192.

Mertz, E. L., 1928: Nogle danske Lerarters fysiske Egenskaber. Danmarks geologiske Undersøgelse, 5. række, nr. 4, s. 185—188.

Milthers, K., 1942: Ledeblokke og Landskabsformer i Danmark. Danmarks geologiske Undersøgelse, II. række, nr. 69, s. 1—137.

Mohrmann, J. C. J. and *Kessler, J.*, 1959: Waterdeficiencies in European agriculture. Publication, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, no. 5, s. 1—60.

Møller, C. M., 1933: Boniteringstabeller og bonitetsvise Tilvækstoversigter for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark. Dansk Skovforen. Tidsskr., 18, s. 457—513 og s. 537—623.

— , 1938: Skovdyrkningens Udvikling 1888—1938. Danmarks Skove. København, s. 102—197.

— , 1952/53: Tyndingens indflydelse på massetilvæksten. Svenska Skogsv. Fören. Tidskr., 50, 1952, s. 319—342 og 51, 1953, s. 1—14.

— , 1956 a: Om vandafledning i skov. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 129—130.

— , 1956: Nedbøren og grundvandet. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 250—258.

— og *Nielsen, C.*, 1959: Bonitetsvise tilvækstoversigter for ask i Danmark ca. 1950. Dansk Skovforen. Tidsskr., 44, s. 340—401.

Müller, P. E., 1876: Nyere Bidrag til Skovdyrkningens Theori. I. Om Vegetationsvandet. Tidsskr. f. Skovbrug, 1, s. 300—335.

— , 1882: Forelæsninger over Skovdyrkningslære. (Nedskrevne i Efteraarssemestret 1881 af A. Oppermann og gjennemsete af Foredrageren). I. Del: Sætninger af Skovens Naturhistorie. Autograferet, Kjøbenhavn.

Nikitin, P. D. and *Bredikhina, L. N.*, 1949: (Condensation of water vapour of the air in the soil of forest stands). Pedology, 1949, s. 723—733. Cit. eft. For. Abstr., 12, 1950, no. 923.

Oelkers, J. und *Meine*, ?, 1923: Trauben- und Stieleiche in der Provinz Hannover. Zeitschr. Forst- und Jagdwesen, 55, s. 209—218.

Oppermann, A., 1922: Skovfyr i Midt- og Vestjylland. Forstl. Forsøgsv. Danm., 6, s. 137—336.

Penman, H. L., 1959: Notes on the water balance of the Sperbelgraben and Rappengraben. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 35, s. 99—109.

Preston, R. J., 1942: The growth and development of the root systems of juvenile Lodgepole Pine. Ecol. Monogr., 12, s. 449—468.

Prytz, C. V., 1907: Dræning i Skov. Tidsskr. f. Skovvæsen, 19 A, s. 30—34 og s. 152—159.

Rakhmanov, V. V., 1959: The influence of forests on ground water level. Publication Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Gentbrugge, nr. 48, s. 182—196.

Ralston, C. W. and *Barnes, R. L.*, 1955: Soil properties related to the growth and yield of Slash Pine plantations in Florida. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 19, s. 84—85.

Rudd Jones, D., 1951: Other tree diseases. Rep. E. Afr. Agric. For. Res. Organ., 1950, s. 28. Cit. eft. For. Abstr., 13, 1951, no. 1328.

Ruth, R. H. and *Yoder, R. A.*, 1953: Reducing wind damage in the forests of the Oregon coast range. Res. Pap. Pacif. Nthwest. For. Range Exp. Sta. no. 7, s. 1—30. Cit. eft. For. Abstr., 15, 1954, no. 351.

Sabroe, A. S., 1958: Bøgeboniteter. Dansk Skovforen. Tidsskr., 43, s. 248—257.

Schröder, C. H., 1890: Det praktiske Skovbrug og Læren om Vegetationsvandet. Tidsskr. f. Skovvæsen, 2 B, s. 51—62.

Sinz, 1924/25: Beitrag zur Geschichte des Naunhofer Staatswaldes. Tharandter forstl. Jahrb., 75, s. 126—139, s. 274—288, 76, s. 25—48, s. 72—93.

Smith, L. F., 1940: Factors controlling the early development and survival of Eastern White Pine (Pinus strobus L.) in central New England. Ecol. Monogr., 10, s. 373—420.

Soest, J. van, 1954: Stormschade aan Douglas. Ned. Boschb.-Tijdschr., 26, s. 89—99.

Sokolovsky, D. L., 1959: On the effect of the forest on the regime of the river flow. Publication Association Internationale d'Hydrologie Scientfique, Gentbrugge, nr. 48, s. 199—211.

Stålfelt, M. G., 1944: Granens vattenförbrukning och dess inverkan på vattenomsättningen i marken. K. Lantbr. Akad. Tidskr., Stockholm, 83, s. 425—505.

— , 1956: Vattnets rörelse i moränjord och marktäcke. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 209—222.

Stone, E. L., Morrow, R. R. and *Welch, D. S.*, 1954: A malady of Red Pine (P. resinosa) on poorly drained sites. J. For., 52, s. 104—114.

Sundorph, T., 1931: Varmelære. 4. udg., København, s. 1—55.

Thurmann-Moe, P., 1941: Om skogens innflytelse på jordens vannforråd. Særtrykk av meldinger fra Norges landbrukshøgskole, s. 1—84.

Traunmüller, J., 1954: Hochwasserschäden in den oberösterreichischen Donau-Auen. Allg. Forstztg., 65, s. 267—268.

Trousdell, K. B. and *Hoover, M. D.*, 1955: A change in ground-water level after clearcutting of Loblolly Pine in the Coastal Plain. J. For., 53, s. 493—498.

Troxell, H. C., 1936: The diurnal fluctuation in the ground water and flow of the Santa Ana River and its meaning. Trans. Amer. Geophys. Union, Part II, s. 496—504.

Tryselius, O., 1946: Om avdunstningen i södra Sverige. K. Lantbr. Akad. Tidskr., Stockholm, 85, s. 468—476.

Vaupell, C., 1863: De danske Skove. København, s. 1—309.

Veihmeyer, F. J., 1953: Use of water by native vegetation versus grasses and forbs on watersheds. Trans. Amer. geophys. Union, 34, s. 201—212.

Vité, P., 1951: Methode und Ergebnis einer Sturmschadenkartierung im Lehrforstamt Bramwald (Oberweserbergland). Forstwiss. Cbl., 70, s. 336—346.

Volger, O., 1877: Die wissenschaftliche Lösung der Wasser-, inbesondere der Quellenfrage mit Rücksicht auf die Versorgung der Städte. Zeitschr. d. Vereines deutsch. Ingenieure, 21, s. 482—502.

White, 1932: A method of estimating ground-water supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. Results of investigations in Escalante Valley, Utah. Geological Survey, Water Supply Paper 659/A, Contributions to the hydrology of the United States, s. 1—105.

Wiedemann, E., 1923: Zuwachsrückgang und Wuchsstockungen der Fichte in den mittleren und unteren Höhenlagen der sächsischen Staatsforsten. I. Auflage, Tharandt, 1923.

Wilde, S. A., Youngberg, C. T. and *Hovind, J. H.*, 1950: Changes in composition of ground water, soil fertility and forest growth produced by the construction and removal of beaver dams. Jour. Wildlife Mngmt., 14, s. 123—128.

— , *Steinbrenner, E. C., Pierce, R. S., Dosen, R. C.* and *Pronin, D. T.*, 1953: Influence of forest cover on the state of the ground water table. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 17, s. 65—67.

— , *Voigt, G. K.* and *Pierce, R. S.*, 1954: The relationship of soils and forest growth in the Algoma district of Ontario, Canada. Journ. Soil. Sci., 5, s. 22—38.

— , 1958: Forest soils. New York, s. 1—537.

Wilm, H. G., 1943: Soil moisture under a coniferous forest. Trans. Amer. geophys. Union. Part III, s. 11—13.

Wittich, W., 1953: Der Einfluss des Waldes auf die Wasserwirtschaft des Landes. Allg. Forstzeitschr., 8, s. 144—148.

Yeager, L. C., 1949: Effect of permanent flooding in a river-bottom timber area. Bull. Ill. nat. Hist. Surv., 25, s. 1—65. Cit. eft. For. Abstr., 12, 1950, no. 1543.

Zahner, R., 1955: Soil water depletion by Pine and hardwood stands during a dry season. For. Sci., 1, s. 258—264.

— , 1958: Hardwood understory depletes soil water in Pine stands. For. Sci., 4, s. 178—184.

Zon, R., 1927: Forests and water in the light of scientific investigation. U.S. Government Printing Office, Washington, s. 1—106.

Zöttl, H., 1958: Die Abhängigkeit der Bodentemperatur vom Wasserhaushalt wechselfeuchter Standorte. Forstwiss. Cbl., 77, s. 329—335.

Beretning fra vandbalanceudvalget. 1951.
Akademiet for de tekniske videnskaber. Beretning nr. 17, 1952, s. 1—64.

Det danske meteorologiske Institut, 1933:
Danmarks Klima, s. 1—266 og I—XL.

Hovedtabel I.

Oversigt over boredatoer, boredybder (∾ **70**) og grundvandstande (tør = *350*), parentes angiver, at vandspejlet lå lige under hullets bund.

Main Table I.

A survey of dates of boring, depths of boring (∾ **70***) and water-tables (dry = 350), parenthesis indicates that the water-table was just beneath the bottom of the well.*

Flade *Plot*	April 1959									August 1959													
	1	2	3	6	7	8	9	21	22	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	18	19	20	25
1			**70**	54			21	46							**140**							135	
2						**150**	56	48												**300**		253	227
3					**60**		13		42									**130**				126	126
4		**60**		39			27	36						**140**							*130*		
5	**120**			61		25		54				**350**									216		
6			**75**				9	23							**140**							117	123
7	**70**			56		38		48				**150**									150		
8			**150**	142			130	78							**350**							*350*	
9					**75**		37	52													**350**	346	348
10			**110**	82			49	60						**260**								255	
11	**150**			73		58			53	**380**											373		
12					**65**		22	37									**310**					304	300
13		**130**		84			60	71						**340**								265	
14		**110**		54		34		42					**150**								127		
15						**150**	120	80												**360**		358	360
16					**60**		39	54										**310**				(325)	*310*
17			**120**	74			47	57							**350**							346	
18						**120**	25	49											**330**			304	294
19							28		41		169											182	193
20					**80**		28		47									**280**				229	214
21					**110**		41	56								**320**						(320)	(320)
22					**60**		31	44										**225**				210	216
23					**110**		7	22									**185**					109	114
24					**80**		35	46										**350**				306	
25		**130**		113		108		66					**350**								244		
26		**100**		44		18		43					**330**								320		
27	**90**			89		61			66		**170**										152		
28	**100**			73		36			59		**360**										197		
29		**80**		27			12	16						**150**							128		
30	**110**			27		2			30		**270**										230		
31		**130**		50		19		47					**210**								197		
32						**100**	53	61												**190**		178	179
33			**80**	64			32	46							**210**							210	
34						**50**	13		29										**350**			293	282
35						**120**	48	55												**330**		254	260
36			**120**				17	49							**350**							338	347
37		**120**		64		33		42					**270**								233		
38					**70**		36	39													**350**	345	348
39		**85**		35		14		31					**350**								278		
40	**125**			83		64			60		**350**										318		
41					**200**		22	36									**350**					344	*350*
42	**125**			39		28			39		**260**										240		
43		**120**		64		38		54					**250**	210							225		
44		**120**		69			41	51						**260**								256	
45						**110**	24	32												**330**		*325*	*324*
46						**40**	*32*	40												**340**		334	*330*
47	**120**			57		32		48				**330**									261		
48		**110**		83		51		60					**185**								162		
49			**235**	91			46	69							**350**							*350*	
50						**120**	26	35												**350**		345	339

Flade *Plot*	Sept. 59		Okt. 59	November 1959				December 1959										
	8	30	27	17	18	27	30	1	2	3	4	10	12	18	22	23	28	29
1			*122*		*122*				**185**				157	153	139		102	
2			*262*		*252*					**310**			278	278		278	278	
3			*126*		*113*					**150**			*140*	*140*		133	125	
4			136	125				*115*					109	89	85		65	
5								**340**				310		310	306			306
6										**185**			105	50	29		11	
7								**200**				197		192	180			130
8									**360**				*350*	350	350		350	
9						*350*				**430**			*425*			*425*	*425*	
10	*255*							**300**					295	290	290		290	
11	374						**430**					*430*		*430*	*430*			*430*
12						*304*			**315**				*310*			*310*	*310*	
13									**370**				325	320	320		320	
14			*95*					**150**				130		115	95			61
15										**360**			*360*	*360*		*360*	*360*	
16										**310**				*300*	*300*		*300*	
17									**350**				*338*	*338*	*338*		*338*	
18										**400**			310	296		266	225	
19													279	251		234	215	
20											**310**		308	302		302	295	
21									**320**				*sne*			*sne*	(155)	
22										**265**			*260*	*260*	*260*		*260*	
23						*117*				**150**			137	113		109	42	
24										**370**			366	366	366		366	
25								**310**				305		305	305			305
26	tør		46		*175*	*175*		**320**				180		30	27			172
27	163						**265**					203		181	153			71
28			245		265							270		274	276			280
29			*96*					**160**					141	131	124		109	
30			*230*		*230*		**320**					315		*292*	*292*			*292*
31			*179*		*169*			**260**				*264*		*263*	*263*			*263*
32			*128*		*128*					**210**			*200*	200		200	*163*	
33									**230**				225	221	221		221	
34											**430**		*430*	*430*		*430*	*430*	
35										**330**			325	318			323	
36										**420**			*420*	*420*	*420*		*420*	
37								**270**				270		268	265			265
38						*342*				**430**			*430*			*430*	*430*	
39								**430**				430		415	420			420
40							**430**					*430*		*430*	*430*			*430*
41	*350*				*350*	*350*			**440**				*440*	*440*		*440*	*440*	
42							**326**					310		315	315			315
43								201				193		184	178			170
44									**260**				*260*	*260*	*260*		*260*	
45	*324*									**350**						*350*	*350*	
46										**370**						*370*	*370*	
47								**350**				350		350	350			350
48								**250**				240		240	246			183
49									**430**				*420*	420	420		420	
50										**365**			*365*	*365*		*365*	*365*	

Flade *Plot*	Januar 1960					Februar 1960				Marts 1960				April 1960		Flade *Plot*
	2	8	9	25	26	10	11	23	24	8	9	23	24	20	21	
1	44	45		4		13		6		15		40		36		1
2	278		278		180	88				17			35	31		2
3	78		70		7	20				10			23	18		3
4	64	63		35		44		32		29		42			44	4
5	305	295		250			101	84			28	45			43	5
6	14		26		8	17				17		24		22		6
7	110	105		63			46	44			45	52			50	7
8		350		348		348		348		348		330		164		8
9		*425*		*425*		*425*				44			63	51		9
10		260		274		275		255		47		64		50		10
11		*430*		*430*			*430*	425			138	105			49	11
12		*310*		*310*		*310*				32			54	34		12
13		320		293		243		240		75		80		61		13
14	57	64		26			37	28			34	57			46	14
15			*360*		*360*	*360*				*360*			*360*	*360*		15
16			*300*		*300*	*300*				55		75		56		16
17		*338*		337		337		335		45		57		50		17
18	169		130		44	46				31			59	43		18
19	197		154		80	54				25			44	34		19
20	295		295		82	47				24			42	28		20
21		(155)		(155)		(155)				35			47	42		21
22			*260*		250	203				38		58		41		22
23	40	50		8		9				15			27	18		23
24		366			366	366			366	29			43	35		24
25		305		292			302	300			168	117				25
26	204	224		25			75	21			24	39			30	26
27	50	50		22			31	32			37	52			46	27
28	280	277		270			40	25			33	51			45	28
29	87	80		29		26		7		3		14			13	29
30		*292*		298			215	145			21	28			25	30
31		*258*		244			60	25			27	32			28	31
32	*158*		*158*		158	110				55			65	61		32
33		216		210		219		167		26		53		43		33
34	*430*		*430*		*430*	410				22			35	29		34
35	323		310		282	187				43			64	51		35
36	*420*		*420*		*420*	*420*				55		51		42		36
37		265		244			228	165			34	60			32	37
38		*430*		*430*		*430*				35			50	36		38
39		420		420			420	420			257	216			32	39
40		*430*		*430*			*430*	*430*			*430*	*430*			60	40
41	*440*	*440*		*440*		*440*				25			46	29		41
42		315		288*)			315	315			105	66			40	42
43	165	157		97			39	30			38	58			49	43
44		*260*		*250*		*250*		*250*		131		63		45		44
45			*350*		*350*	*350*				63			58	36		45
46			*370*		*370*	*370*				53			77	43		46
47		350		345			337	335			44	51			38	47
48		158		178			175	sne			38	58			50	48
49		420		420		420		420		131		112		60		49
50			*360*		*360*	*360*				32			37	33		50

sne = *snow*, tør = *dry*.

*) smeltevand = *melt water*

Hovedtabel I (fortsat).

Oversigt over boredatoer, boredybder (∾ **70**) og grundvandstande (tør = *350*), parentes angiver, at vandspejlet lå lige under hullets bund.

Main Table I (continued).

*A survey of dates of boring, depths of boring (∾ **70**) and water-tables (dry = 350), parenthesis indicates that the water-table was just beneath the bottom of the well.*

Flade *Plot*	April 1959									August 1959															Sept. 59		Okt. 59	November 1959				December 1959									Januar 1960				Februar 1960				Marts 1960			April 1960		Flade *Plot*
	1	2	3	6	7	8	9	21	22	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	18	19	20	25	8	30	27	17	18	27	30	1	2	3	4	10	12	18	22	23	28	29	2	8	9	25	26	10	11	23	24	8	9	23	24	20	21	
51	**80**				46	26			35		**350**										307									**420**					393		385	380			380		380		350			335	315			127	42			37	51
52						**65**	21	38											**270**			253	255											**280**		*280*			*280*	*280*			*280*		*280*	*273*			28			37	31	52
53	**30**			21		11		21				**235**									227										**260**				*253*		*253*	*253*			252		247		170			192	118			15	28			19	53
54																																																							54
55						**130**	70	59											**270**			*265*	*270*											**270**		*270*			*270*	*270*				*270*		*270*	*270*			*252*			*252*	*252*		55
56						**72**	34	41											**350**			349	*343*											**390**		*390*			*390*	*380*			*380*		*380*	*382*			104			225	94		56
57					**60**		23	42								**135**						125	125			*112*		*112*	*106*			**150**			146	146		136	128		85	54		63		27			3			9	28		57
58					**70**		16	44								**135**						131	(131)			*120*		*120*	*120*			**160**			160	160		160	53		46	62		20		38			10			26	32		58
59					**70**		31	54								**255**						142	144			176		187	194			191			196	196		195	191		160	103		64		53			17			35	43		59
60					**70**		22	44								**120**						106	108			*102*		*102*	*97*			**150**			150	150		148	145		84	75		36		34			2			7	24		60
61					**80**		35	44								**110**						75	102			*65*		*65*	*60*			**120**			120	120		117	117		104	84		36		44			2			12	25		61
62					**100**		88	82									**210**					180						*199*					**240**		*240*	*240*	*240*		*240*			234			234	197			47		185	53	61		62
63						**60**	51	58											**140**			135	135	140		*134*		*134*					**230**		221	216		216	200		165		144		65	55			20			32	46		63
64					**120**		63	67									**270**					194	195	214				260	260			260			266	266	266		266		263	263		263		185			37			49	56		64
65		**100**		82			75	73						**280**								199										271				270	270		270				270		260		260		260		156		105		70		65
66					**100**		44	54										**175**				175	*175*										**240**		240	240	235		235		221		216		205	110			26			46			48		66
67	**105**			57		33		45				**180**									174										**250**				250		250	245			240		219		215			145	128			21	25			36	67
68		**90**		66		54		51					**260**								204			212				*255*	*255*			**290**			274		268	270			274	267	258		237			86	65			19	25			35	68
69					**130**		85	82									**240**					218						*215*					**350**			310	303	303		303			303			290	273		255	240			204	164		69
70	**110**			98		96			87		**194**										189			*194*						**430**				380		360	352			343	335	338		197			126	87			44	67			72	70
71	**130**			(130)		(130)			(130)	**220**										**240–235**								*240*		**240**						*240*	*240*			*240*		*240*		*225*			*225*	*225*			214	138			109	71
72			**150**	102			102	96						**235**								152										191			194	196	195		194			182		136		90		75		45		62		64		72
73			**130**	116			111	91						**240**								230		*210*								**300**			*292*	*292*	*292*		*292*			*292*		*292*		*280*		*295*	263			190			132		73
74						**60**	40		46										**175**			116	116										**205**		173	173		173	160		165		170		140	97			25			39	34		74
75			**150**	124			126	133						**245**								170										223			227	223	226		225			220		220		224		214		96		112		98		75
76						**150**	135	141											**350**			317	308										**380**		*380*			*380*	*380*			*380*		*380*	*380*			*380*			*380*	*380*		76
77	**100**			76		69		73				**205**									183										**230**				*201*		*201*	*201*			*201*	*201*	*201*		190			175	155			32	48			50	77
78		**210**		127		128		114					**260**								220										**270**				250		250	250			250		240		238			238	238			117	124			103	78
79	**125**			109		109			110			**325**									230									**350**				337		337	337			337		337		330			330	308			130	138			126	79
80							34		49													116	122												146	124		93	31		29		47		13	35			29				51	50		80
81		**130**		42		11		45					**175**								136			153							**246**				210		183	144			40	37	49		20			27	18			25	43			38	81
82					**60**		38	45									**250**					134	138	149				185	186			186			190	180		120	36		28	46		15		43			38			55	45		82
83		**80**		56			38	39						**175**							160					*60*					**180**				143	124	118		95		90	90		45		27		27			27				27	83
84		**120**		69		47		49					**160**								158					*153*		*153*								*150*	150			150		145		125			40	45			45	45			32	84
85		**100**		52		26		52					**170**	161							166					*165*		*165*			**245**			164		157	154			139	108	83		45			37	30			40	54			53	85
86			**75**				13	38										**350**				326	330										**430**		*416*	*416*	*416*		*416*		*416*		*416*		*416*	310			16			33			33		86
87					**40**		31	34									**225**					209											**225**		228	228	228		228			*228*			228	134			34			44	44		87
88						**80**	21		40									**225**				206	*208*											**340**		334	330		330	330			325		320	146			27			43	35		88
89			**90**	63			30	58						**225**								221		*221*								**270**			(268)	(268)	(268)	(268)					268		258		227			180			29		57		52		89
90	**105**			56		19		43				**195**									185										**260**			263		249	240			229	215	207		190			60	40			14	18			25	90
91	**100**			49		32		45				**240**									211										**290**				247		246	234			211	172	157		125			45	38			46	50			48	91
92					**130**		27	47								**340**						281	291						*320*			**360**			355			355	355			355		355		350			49			51	20		92
93	**105**			50		20			41		**350**										344									**430**				*428*		*428*	*428*			*428*		*428*		410			410	410			37	53			35	93
94	**90**			51		31			45		**255**										230					*215*		*215*			**415**			360		347	345			345		193		192			125	115			43	34			45	94
95			**120**	96			56	66						**260**								255		*255*							**300**				*260*	*260*	*260*		*242*			*242*		*242*		*242*		*242*		50		70		60		95
96			**130**	83			40	49							**350**							134										**430**			*423*	*423*	*423*		*423*		*423*	*423*		*423*		*423*		390		63		60		40		96
97			**85**	71			46	53							**200**							150										**240**			225	224	220		206		144	116		95		66		47		36		53		60		97
98			**100**	64			41	55							**350**							313										**410**			*415*	*415*	*415*		*415*			*415*		*415*		*415*		*415*		40		52		46		98
99	**125**			*125*		*125*			80	**260**											250									**335**				335		333	333			333		305		289			189	155			15	38			37	99
100			**180**	170			176	152							**240**							234										**310**			312	*302*	*302*		*302*			*292*		*292*		*292*		*292*		*292*		260		205		100

Bd. XXIV, H. 1: Nr. 191. H. A. HENRIKSEN: Sitkagranens vækst og sundhedstilstand i Danmark. (The Increment and Health Condition of Sitka Spruce in Denmark). S. 1.

Bd. XXV, H. 1: Nr. 192. C. TRESCHOW: Forsøg med rødgranracers resistens overfor angreb af Fomes annosus (Fr.) Cke. (Experiments for Determining the Resistance of Norway Spruce Races to Fomes annosus Attack). S. 1. — Nr. 193. C. TRESCHOW: Forsøg over jordbehandlingens indflydelse på rødgranbevoksningers resistens overfor angreb af Fomes annosus. (Investigagation of the Effect of Soil Cultivation on the Resistance of Norway Spruce Stands to Attack of Fomes annosus). S. 25. — Nr. 194. B. BEIER PETERSEN and B. SØEGAARD: Studies on Resistance to Attacks of Chermes Cooleyi (Gill.) on Pseudotsuga Taxifolia (Poir.) Britt. (Undersøgelser over resistens mod angreb af Chermes cooleyi (Gill.) hos Pseudotsuga taxifolia (Poir.) Britt.). S. 35. — Nr. 195. BRODER BEIER PETERSEN: Bladhvepsen Lygaeonematus abietinus Christ. 2. Fortsatte bekæmpelsesforsøg og disses indvirkning på parasiteringen af larvestadiet. (The Saw-fly Lygaeonematus abietinus Christ. 2. Continued Control Experiments and their Effect on the Parasitism of the Laval Stage). S. 47. — Nr. 196. FR. PALUDAN og JOHS. RAFN: P. E. Müllers gødningsforsøg i rødgran i Gludsted plantage. Tilvækstforhold og trametesangreb. (P. E. Müllers Experiments with Fertilizers applied to Norway Spruce (Picea abies) in Gludsted plantation. Increment and Fomes annosus Attack). S. 63. — Nr. 197. A. YDE-ANDERSEN: Kærneråd i rødgran forårsaget af honningsvampen (Armillaria mellea (Vahl) Quél.) (Buttrot in Norway Spruce caused by the Honey Fungus (Armillaria mellea (Vahl) Quél). S. 79. — **H. 2:** Nr. 198. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Jordbundsfysiske undersøgelser i danske bøgebevoksninger. (Physical Soil-Investigations in Danish Beech-Stands). S. 93. — **H. 3:** Nr. 199. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Undersøgelser af rodsystemer hos eg, bøg og rødgran på grundvandpåvirket morænejord med et bidrag til belysning af bevoksningernes vandforbrug. (Investigations of Root Systems of Oak, Beech and Norway Spruce on Groundwater-Affected Moraine Soils with a Contribution to Elucidation of Evapotranspiration of Stands). S. 225. — Nr. 200. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Skærmstillings og renafdrifts indflydelse på grundvandstanden på leret moræne. (Influence of Shelterwood-Cutting and Clear-Cutting on Groundwater-Table on a Fine-Textured Moraine Soil). S. 291. — **H. 4:** Nr. 201. M. SCHAFFALITZKY DE MUCKADELL: Investigations on Aging of Apical Meristems in Woody Plants and its Importance in Silviculture. (Undersøgelser over aldersforandringer i vedplanternes apikale meristemer og deres betydning for skovdyrkningen.) S. 307.

Bd. XXVI, H. 1: Nr. 202. E. C. L. LØFTING: Danmarks ædelgranproblem, 2. del. (Denmark's Silver Fir Problem, Part II). Dyrkningsbetingelserne for Abies alba (Mill.) og Abies Nordmanniana (Spach.) i Danmark. S. 1. — **H. 2:** Nr. 203. ERIK

HOLMSGAARD: Kvælstofbindingens størrelse hos el. Litteraturgennemgang og en undersøgelse af et plantningsforsøg. (Amount of Nitrogen-Fixation by Alder. Review of Literature and an Investigation of a Planting-Experiment). S. 251. — Nr. 204. JØRGEN DAHL og B. BEIER PETERSEN: Om virkningen af kemisk skadedyrbekæmpelse på insekter og spindler i en granskov. (On the Influence of Chemical Control on the Arthropod Fauna of a Spruce Forest). S. 271. — Nr. 205. K. NÆSS-SCHMIDT og BENT SØEGAARD: Podehøjdens indflydelse på podekvistens vækstrytme og form. (The Influence of the Grafting Height on the Development of the Scion). S. 313. — Nr. 206. H. C. OLSEN, JOHS. RAFN og E. SCHEURER: Revision af et gødningsforsøg i en stagnerende rødgrankultur i fængselsvæsenets plantage ved Sdr. Omme. (Revision of a Fertilizing Experiment on a Stagnating Norway-Spruce Stand on a Heath in Central Jutland). S. 325. — Nr. 207. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: A Method for Sand Culture Experiments. S. 339. — **H. 3:** Nr. 208. ERIK HOLMSGAARD og H. C. OLSEN: Vejrets indflydelse på bøgens frugtsætning. (The Influence of Weather on Beech Mast). S. 345. — Nr. 209. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Eftervirkningen af planteskoleplanters ernæringstilstand i det første kulturår. (The Effects of the Nutritive Condition of Nursery-Grown Plants during their first Year after Transplantation). S. 371. — Nr. 210. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Indfygning af jord i en plantages vestrand. (Drift of Soil into the Western Edge of a Plantation). S. 389.

Bd. XXVII, H. 1: Nr. 211. ERIK HOLMSGAARD, H. HOLSTENER-JØRGENSEN und A. YDE-ANDERSEN: Bodenbildung, Zuwachs und Gesundheitszustand von Fichtenbeständen erster und zweiter Generation. 1. Nord-Seeland. (Jordbundsdannelse, tilvækst og sundhedstilstand i rødgranbevoksninger af første og anden generation. 1. Nordsjælland.) S. 1. — **H. 2:** Nr. 212. H. A. HENRIKSEN: A Thinning Experiment with Sitka Spruce in Nystrup Dune Forest. (Et udhugningsforsøg i Sitkagran i Nystrup plantage) S. 169. — **H. 3:** Nr. 213. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Undersøgelse af træarts- og aldersindflydelsen på grundvandstanden i skovtræbevoksninger på Bregentved. (An Investigation of the Influences of various Tree-Species and the Ages of the Stands on the Level of the Groundwater-Table in Forest Tree Stands at Bregentved.) S. 233.

DET FORSTLIGE FORSØGSVÆSEN I DANMARK

udgives ved den forstlige forsøgskommission under redaktion af forstanderen, i hæfter sædvanlig på 5—10 ark, der udsendes fra Statens forstlige Forsøgsvæsen, Møllevangen, Springforbi. Ca. 25 ark (400 sider) udgør et bind. Prisen pr. bind er 10 kr., for skovbrugsstuderende dog 5 kr., der tages ved postgiro samtidig med udsendelsen af 1ste hæfte.

Fortegnelse over indholdet af bd. I—X, 1905—1930, beretninger nr. 1—95 og nr. 97, findes i slutningen af 10de bind og af bind XI—XX, 1930—1951, beretninger nr. 96 og 98—168, i slutningen af 20de bind. Disse fortegnelser tilsendes gratis ved henvendelse til forsøgsvæsenet.

Fortegnelse over indholdet af bd. XXI—XXVII er anført på omslaget.

KANDRUP & WUNSCH - KØBENHAVN