

# 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



BIND XXXI

HÆFTE 1

## INDHOLD

H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Foreløbige resultater af et dræningsforsøg i 90-årig bøg på moræner med højtstående grundvand. (Preliminary Results of a Drainage Experiment in 90-Year-Old Beech on Moraine Clay with a High Water-Table). Side 1—11. Beretning nr. 239).

H. HOLSTENER-JØRGENSEN, L. M. EISELSTEIN og M. B. JOHANSEN: En undersøgelse af variationerne i grundvandstanden i maj måned i en 90-årig bølgebevoksning på leret moræne med højtstående grundvand. (An Investigation of the Variations in the Ground-Water Table During the Month of May in a 90-Year-Old Beech Stand on Clayey Moraine with a High Water Table). Side 13—30. (Beretning nr. 240).

H. HOLSTENER-JØRGENSEN and L. M. EISELSTEIN: The Influence of the Type and Diameter of Observation Wells on Ground-Water Level Measurements. (Indflydelsen af brøndes type og diameter på målinger af grundvandstanden). Side 31—48. (Beretning nr. 241).

H. HOLSTENER-JØRGENSEN, L. M. EISELSTEIN and M. B. JOHANSEN: A Comparison of Recordings of Ground-Water Tables and Soil-Moisture Measurements by Neutron-Scattering Device on a Clayey Moraine with a High Water Table. (Sammenligning af grundvandspejl-registreringer og jordfugtighedsmålinger med Neutron-Scattering Device på lermoræne med højtstående grundvand). Side 49—70. (Beretning nr. 242).

H. HOLSTENER-JØRGENSEN og T. S. BARTHOLIN: Et gødningsforsøg i en rødgrankultur i Bevtoft Plantage - Haderslev Statsskovdistrikt. (A Fertilizing Experiment in a Plantation of Norway Spruce in the Bevtoft Plantation - Haderslev State Forest District). Side 71—84. (Beretning nr. 243).

KØBENHAVN

TRYKT I KANDRUP & WUNSCH'S BOGTRYKKERI

1968

EN UNDERSØGELSE AF  
VARIATIONERNE I GRUNDVAND-  
STANDEN I MAJ MÅNED  
I EN 90-ÅRIG BØGEBEVOKSNING  
PÅ LERET MORÆNE MED  
HØJTSTÅENDE GRUNDVAND

AN INVESTIGATION OF  
THE VARIATIONS IN THE GROUND-WATER TABLE  
DURING THE MONTH OF MAY IN A  
90-YEAR-OLD BEECH STAND ON CLAYEY MORaine  
WITH A HIGH WATER TABLE

AF

H. HOLSTENER-JØRGENSEN, L. M. EISELSTEIN  
OG M. B. JOHANSEN

## INDLEDNING.

*Holstener-Jørgensen* har i en række arbejder beskæftiget sig med grundvandstandens variation i skovtræbevoksninger på dansk moræneler med højtstående grundvand. Det er vist, at grundvandet i vækstperioden sænkes, og at sænkningen er afhængig af bevoksningstilstanden, idet vandspejlsbevægelserne er størst i sluttede bevoksninger, mindre efter kraftige hugstindgreb som en lysstilling og mindst når hele træbestanden fjernes, så arealet kun er bevokset med den flora af græsser og urter, som udvikler sig kraftigt efter en renaftdrift (*Holstener-Jørgensen*, 1959 b). Vandspejlsbevægelserne er også afhængige af, hvilken træart et givet areal er bevokset med. Træarter med dybtgående rodsystemer sænker vandet mere end træarter med mere overfladiske rodsystemer. Det er for eksempel sådan, at lige gamle bevoksninger af eg, bøg og rødgran på moræneler har rodsystemer, som med hensyn til dybdeudvikling i gennemsnit falder i ordenen  $eg > bøg > rødgran$ . Hvad vandspejlssvingningerne angår er ordenen efter størrelse den samme (*Holstener-Jørgensen*, 1959 a og 1961). Endelig kan det nævnes, at vandspejlssænkningen i vækstperioden er afhængig af bevoksningsalderen. Sænkningen stiger med bevoksningsalderen (*Holstener-Jørgensen*, 1961 og 1967).

Ved alle disse undersøgelser er vandspejlsbevægelserne registreret ved pejlinger med flere dages eller måneders mellemrum. Man kan imidlertid spørge, hvorledes vandspejlet bevæger sig i løbet af det enkelte døgn og fra døgn til døgn i en kortere periode? Et sådant spørgsmål er naturligt, fordi de ovenfor omtalte sænkninger af grundvandspejlet i vækstperioden i første række skyldes bevoksningernes vandforbrug, mens dyb afstrømning under de givne jordbundsbetingelser spiller en meget lille rolle. Man må derfor vente, at der indenfor korte tidsrum også er en sammenhæng mellem vandspejlsbevægelserne og evapotranspirationen.

I det følgende gøres der rede for en undersøgelse af, om denne hypotese har bund i virkeligheden. Undersøgelsen er foretaget i

forbindelse med nogle tekniske undersøgelser vedrørende grundvandsmålingers metodik, som er publiceret (*Holstener-Jørgensen* og *Eiselstein*, 1968). I nævnte beretning gives der detaljerede vedrørende undersøgelsesarealet, grundvandsbrøndenes beliggenhed og type med mere. Hvad angår disse oplysninger gives der i det følgende kun en resumerende fremstilling.

#### FORSØGSAREALET OG DE ANVENDTE INSTRUMENTER.

Undersøgelserne er gennemført i en 90-årig bøgebevoksning i Billesborg Indelukke på Vallø skovdistrikt. Jordbunden er fedt moræneler med ringe permeabilitet. Da terrænet er fladt, står grundvandet højt overalt i sensommeren og det tidlige forår, hvor jorden er vandmættet. I disse henseender er arealet af helt samme karakter, som de arealer, hvor de undersøgelser er gennemført, som ligger til grund for de ovenfor citerede publikationer.

I april 1966 blev der inden for ca. 1 ha (jvf. figur 1) etableret 23 målebrønde af forskellig type:

*10 uforede brønde* med en indvendig diameter på 12 cm. Det var borede jordskakte sikrede mod sammenstyrtning af de øverste 80 cm ved et betonmufferør med en indvendig diameter på 15 cm. Brøndene blev boret til 2.8 m dybde.

*10 brønde forede med plastikrør og sand*, det vil sige brønde af helt samme type som fornævnte, men forede med et perforeret plastikrør med en indvendig diameter på 6 cm og omgivet af sand.

*2 brønde med glasuld*, hvor det perforerede plastikrør før ned sætningen var beviklet med 10 mm glasuldsfilt. Der blev også her fyldt sand om plastikrøret.

*1 stor betonbrønd*, som var 1.2 m dyb og foret med betonringe med en indvendig diameter på 1 m.

På en åben kulturflade ca. 100 m sydvest for undersøgelsesarealet anbragtes en 200 cm<sup>2</sup> Hellmann regnmåler i 150 cm højde og en simpel evaporationpan i 50 cm højde. Sidstnævnte var et 800 ml bægerglas med en lysning på 70 cm<sup>2</sup>.

Målingerne af grundvandstandene blev begyndt d. 4. maj, på det tidspunkt, hvor bøgene lige netop begyndte deres løvspring, og de afsluttedes d. 22. maj, hvor bøgene var fuldt udsprungne. Målingen skete en gang i døgnet ca. kl. 10<sup>00</sup>.

Fra kl. 10<sup>00</sup> den 17. maj til kl. 10<sup>00</sup> den 18. maj blev grundvandstanden endvidere målt 17 gange for at få et indtryk af døgnvariationen. Der faldt i dette døgn ingen nedbør.

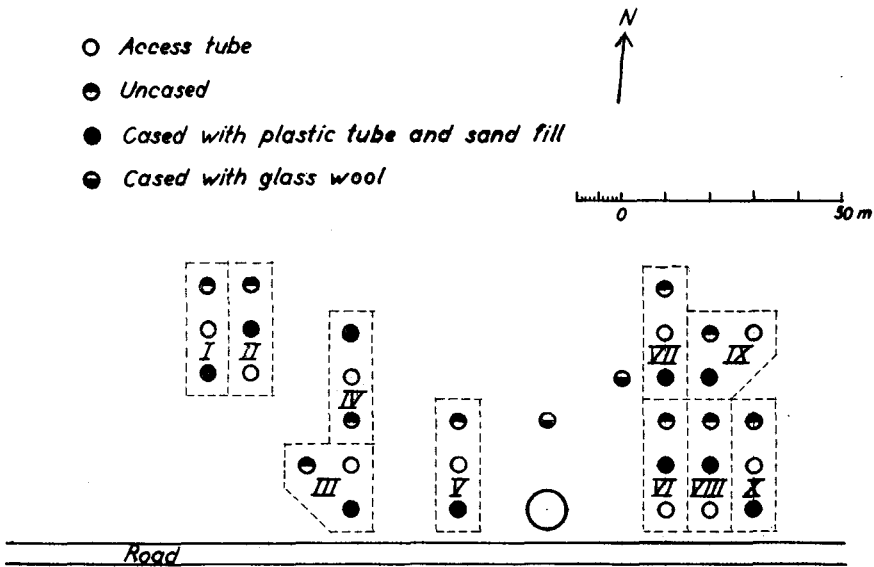


Fig. 1: Plan over installationerne på forsøgsarealet.

- Access tube = aluminiumsrør til måling af jordfugtighed.
  - Uncased = 3 m dyb jordskakt med 12 cm diameter til måling af grundvandstande = uforet brønd.
  - Cased with plastic tube and sand fill = jordskakt af tilsvarende type som b, men foret med perforeret plastkrør med diameter 6 cm omgivet af sand = foret brønd.
  - Cased with glass wool = som c, men plastkrøret er omviklet med glasuld = foret brønd.
- Den store cirkel er en brønd med diameter 1 m.

Fig. 1. A plan of the installations in the experimental area.

- Access tube = an aluminium tube for measuring of soil moisture.
  - Uncased = 3 metres deep soil pit of a diameter of 12 cm for measuring depth to the water-table = uncased well.
  - Cased with plastic tube and sand fill = soil pit of a type similar to (b), but cased with a perforated plastic tube of a diameter of 6 cm surrounded by sand = cased well.
  - Cased with glass wool = like (c), but the plastic tube is cased with glass wool = cased well.
- The large circle is a well of a diameter of 1 metre.

Regnmåleren (mm nedbør) og fordampningsmålerens vandindhold i ml blev målt daglig.

Ved nivellement af arealet blev benyttet sigteplansmetoden og nivellementet er ikke knyttet til normal-nul. Koterne, som er gengivet i tabel 1, er derfor alene udtryk for kotedifferenserne inden for arealet. Arealet ligger ca. 5 m over havet, og afstanden til havet er ca. 200 m (en nu udtørret vig).

## GRUNDVANDSBEVÆGELSERNE I DØGNET 17—18/5 1966.

For hver enkelt brønd er ændringerne fra måling til måling lagt op over måletidspunkterne. Herved kan man få et overblik over, hvorledes grundvandet har bevæget sig i døgnets løb.

I figur 2 a og b er gengivet sådanne grafiske afbildninger for 4 brønde, som rimeligt godt repræsenterer det samlede materiale.

I figur 2 a ses det, at i brønd nr. 1, som er en foret brønd, er der tilsyneladende en stigning af vandstanden på 1 mm efter den første måling og derefter uforandret vandstand ved de to påfølgende målinger.

Tilsvarende er der for brønd nr. 2 (uforet) først et fald på 1 mm, dernæst uforandret vandstand og mellem 3. og 4. måling en stigning på 1 mm.

Disse variationer kan imidlertid ikke tillægges nogen vægt. De er alene udtryk for måleunøjagtigheden, som er bestemt ved spejlvendte dobbeltmålinger baserede på samtlige brønde. Sådanne målinger udført d. 8. maj viser, at middelfejlen på enkeltmålingen er:

- 1) uforede brønde:  $\pm 2.96$  mm
- 2) forede brønde:  $\pm 2.45$  mm

D. 8. maj lå grundvandstandene mellem 9 og 48 cm under jordoverfladen, hvilket er noget højere vandstande end den 17. maj, hvor vandspejlet lå 10—70 cm under jordoverfladen (jvf. tabel 1). Da man må antage, at måleunøjagtigheden vokser med stigende afstand til vandspejlet, må man regne med, at måleunøjagtigheden er lidt større d. 17.—18. maj end d. 8. maj.

De fortsatte målinger i brønd nr. 1 viser, at vandspejlet gennemgående falder fra den første måling indtil kl. 21<sup>00</sup>. Faldet andrager 14 mm. Mellem målingen kl. 2<sup>00</sup> og målingen kl. 5<sup>00</sup> d. 18/5 er der derimod en stigning i vandstanden, som ikke kan tilskrives måleunøjagtighed (se hertil figur 2 b, hvor forløbet er tilsvarende). Denne stigning andrager i det foreliggende tilfælde 6 mm. Dernæst viger vandspejlet påny, således at vandspejlet ialt falder 14 mm i løbet af døgnet.

Brønd nr. 2 viser et noget andet forløb, idet vandspejlet i denne brønd er vigeende gennem hele døgnet, når man ser bort fra småvariationer, som må tilskrives måleunøjagtigheder. Sammenlagt viger vandspejlet 23 mm i løbet af døgnet.

Vandstandsbevægelserne i brønd nr. 18 (foret) og brønd nr. 19 (uforet), som er vist i figur 2 b, er i princippet de samme som

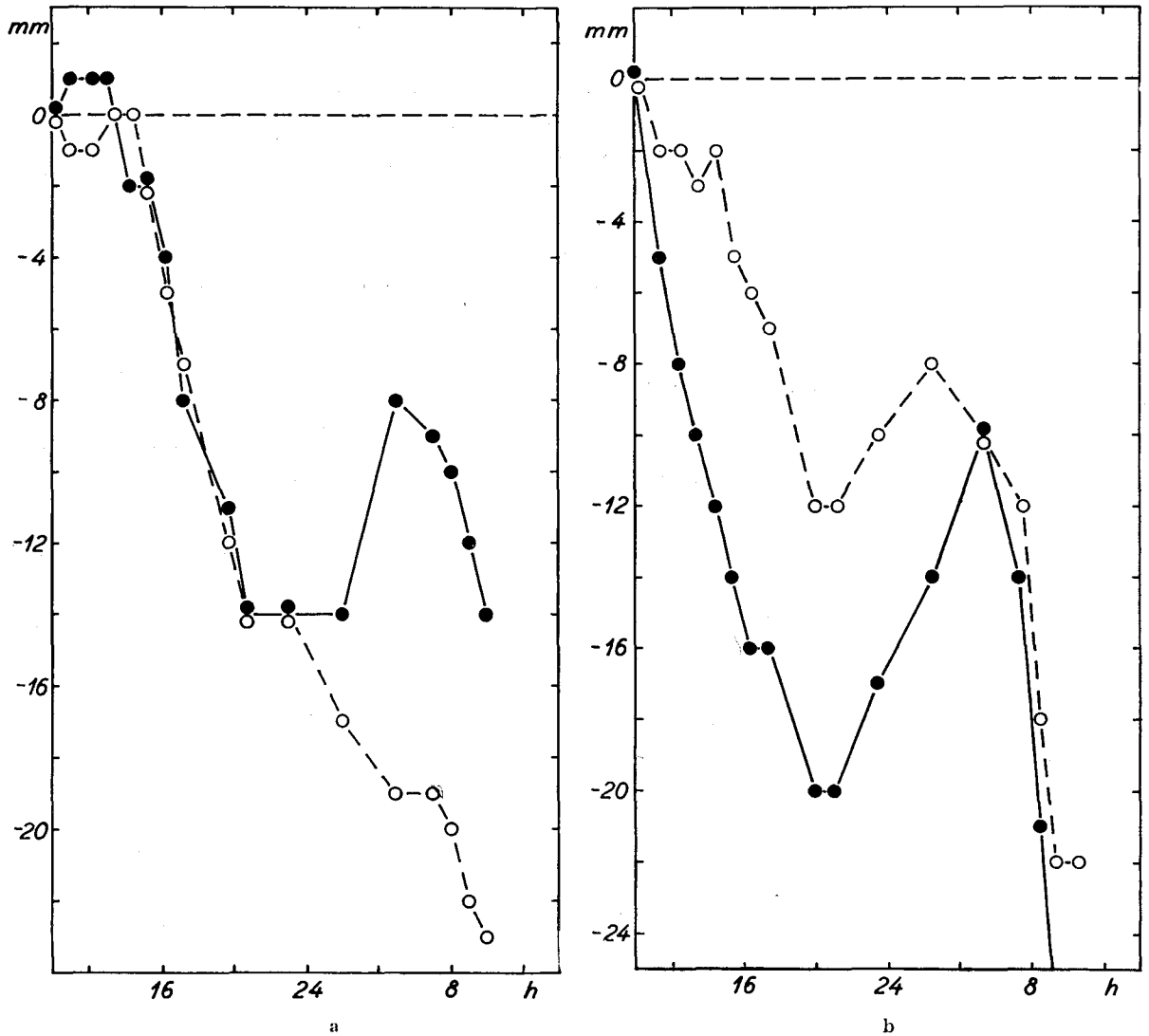


Fig. 2 a og b: Grundvandsbevægelserne i løbet af døgnet 17.—18. maj, 1966 i to forede brønde (udfyldte cirkler) og to uforede brønde (åbne cirkler). Abscisseaksen angiver døgnetimer (h), ordinataksen bevægelserne i forhold til den første måling.

Fig. 2 a and b: The water-table fluctuations during the 24-hour period 17th to 18th May, 1966, in two cased wells (filled-in circles) and two uncased wells (open circles). The abscissa axis indicates the hour (h), the ordinate axis the fluctuation in relation to the first measurement.

i brønd nr. 1. I begge disse brønde viger vandspejlet indtil kl. 20—21 for derefter at stige og ende med påny at falde.

De brønde, for hvilke vandstandsbevægelserne er illustrerede i figur 2 a og 2 b, er nogenlunde repræsentative for alle brøndene. Vandstandsstigningen i løbet af de mørke nattetimer er et gennemgående træk, selv om der er enkelte brønde, hvor den ikke forekommer.

Tabel 1 giver en oversigt over den natlige vandstandsstigning. Af tabellen fremgår det klart, at stigningerne er det generelle, men i fire brønde er der dog ikke konstateret stigninger, nemlig to forede og to uforede.

Man kan nu spørge, hvad årsagen eller årsagerne er til, at der i nattens løb sker en vandstandsstigning i et flertal af brøndene. Der kan opregnes en serie faktorer, som kan medføre vandstandsstigninger, som de registrerede. Disse faktorer falder i to hovedgrupper:

- A: Vand, som tilføres arealet fra omliggende arealer, medfører, at vandstanden stiger på arealet i nattens løb.
- B: Vandstandsstigningerne skyldes alene vandbevægelser inden for selve undersøgelsesarealet.

*ad. A:* Undersøgelsesarealet ligger nær kysten, og man kunne forestille sig, at der var en mere eller mindre dybtgående grundvandsstrøm, som passerede arealet, i så fald i retning fra vest mod øst. Topografisk ligger brøndene i blokkene IX og X (se figur 1) på det laveste og mest kystnære terræn. Nummereringen, som fremgår af tabel 1, begynder i blok I og slutter i blok X. Såfremt der var en vest fra påvirket underjordisk vandstrøm af virkelig betydning, måtte man forestille sig, at de laveste, mest kystnære brønde viste de største grundvandsstigninger. Tallene i tabel 1 viser ikke nogen sikker tendens i denne retning. Talmaterialet kan ikke bekræfte, at der er en sådan vandbevægelse. Det må imidlertid medgives, at koteforskellene inden for arealet er små, nemlig af størrelsesordenen 80 cm (se tabel 1).

*ad. B:* De mulige vandbevægelser inden for selve arealet kan deles i et par grupper:

- 1) De kan være topografisk betingede. Grundvand fra højere terrænpartier bevæger sig mod de lavere liggende partier.
- 2) De kan være betingede af, at der er forskelle i vandforbruget, som udjævnes i nattens løb. På et træbevokset areal må



Tabel 1.  
Table 1.

Forede brønde					Uforede brønde				
Brønd	Max. stigning i nattetimerne	Vandstand d. 17/5 kl. 10 <sup>15</sup>	Afstand til nærmeste træ	Kote	Brønd	Max. stigning i nattetimerne	Vandstand d. 17/5 kl. 10 <sup>15</sup>	Afstand til nærmeste træ	Kote
nr.	mm	cm	m	cm	nr.	mm	cm	m	cm
Cased wells					Uncased wells				
Well	Max. recharge during night on 17th May at 10.15 a.m.	Water-table on 17th May at 10.15 a.m.	Distance to nearest tree	Level	Well	Max. recharge during night on 17th May at 10.15 a.m.	Water-table on 17th May at 10.15 a.m.	Distance to nearest tree	Level
no.	mm	cm	m	cm	no.	mm	cm	m	cm
1	6	39.6	3.0	68	2	0 (— 5)	26.8	1.9	81
4	0 (— 2)	29.6	5.2	66	3	3	47.4	4.1	88
5	12	51.8	3.0	54	6	10	55.4	2.6	62
8	19	67.8	1.6	57	7	0 (— 9)	46.0	2.9	52
10	10	60.4	1.2	63	9	1	9.8	3.8	23
12	8	53.6	2.7	61					
13	9	59.5	1.6	49	14	5	66.0	2.7	26
15	3	68.0	2.8	55	16	2	63.3	1.4	55
17	8	46.7	3.0	41	19	4	66.5	2.8	47
18	10	55.0	1.8	41	21	3	40.6	2.6	23
20	4	65.0	3.1	45	22	6	61.2	2.4	36
23	0 (— 3)	29.4	4.7	9					
Sum	89		33.7			34		27.2	
Total									
Gennem-									
snit	7.4		2.8			3.4		2.7	
Mean									

man vente, at udtørringen af jorden sker med forskellig hastighed fra punkt til punkt, fordi træernes rodintensitet varierer fra sted til sted. Under de givne jordbundsbetainger er rodintensiteten størst lige ved træerne og mindst på steder, hvor der er stor afstand til træerne (jvf. *Holstener-Jørgensen*, 1959 a).

For at undersøge hvilken mulig indflydelse de nævnte faktorer har, kan man sammenholde vandspejlsstigningerne med

ad. 1) terrænkoterne og afstanden til grundvandspejlet ved måleperiodens begyndelse.

ad. 2) brøndens afstand til det nærmeste træ.

I tabel 1 er stigningerne sorteret efter brøndtype. Det fremgår, at gennemsnitsstigningerne er størst for forede brønde. Dette er i overensstemmelse med det, som er meddelt i en anden publi-

kation (*Holstener-Jørgensen* og *Eiselstein*, 1968), nemlig at disse brønde er mest følsomme. Vi har derfor valgt at foretage de statistiske bearbejdnings for disse brønde.

En multipel regression med følgende variable

$x_1$  = grundvandstandstigning (når negativ = 0), afhængig

$x_2$  = kote, uafhængig

$x_3$  = dybde til vandspejl, uafhængig

$x_4$  = afstand til nærmeste træ, uafhængig

gav en multipel korrelationskoefficient på  $-0.78$ . Den viste sig at være meget nær ved at være signifikant. Imidlertid viste det sig

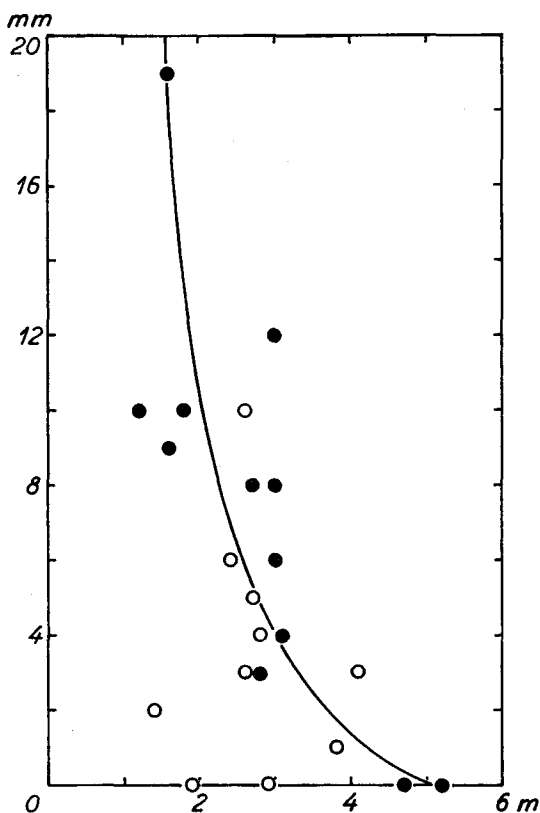


Fig. 3: Sammenhængen mellem den maksimale stigning i grundvandstanden (mm) i nattetimerne for foredede brønde (fyldte cirkler) og uforede brønde (åbne cirkler) og brøndens afstand fra nærmeste træ (m).

Fig. 3: The connexion between the maximum recharge (mm) during the night for cased wells (filled-in circles) and uncased wells (open circles) and the distances from the wells to the nearest tree (m).

også, at den eneste af regressionskoefficienterne, som betød noget, var den, som dækkede sammenhængen med afstanden til nærmeste træ.

Figur 3 viser sammenhængen mellem afstand til nærmeste træ og vandstigning. Med signaturer er der skelnet mellem forede brønde og uforede brønde. Det fremgår med al tydelighed, at de relativt ufølsomme uforede brønde ikke viser en sammenhæng mellem stigning og afstand til nærmeste træ.

For forede brønde er der en klar sammenhæng. Den tilsyneladende svagt krumme sammenhæng rettes lidt ud, hvis man flytter de to 0 værdier ned til  $-2$  og  $-3$  (jvf. tabel 1). Sammenhængen karakteriseres ved korrelationskoefficienten  $r = -0.75$ ,

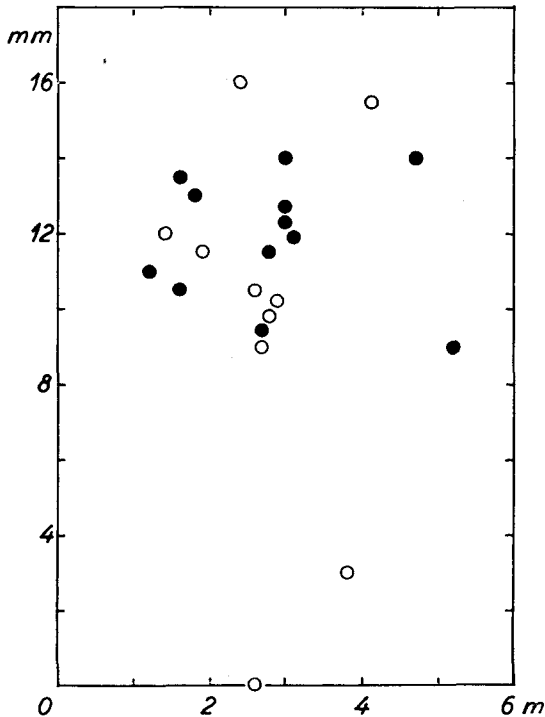


Fig. 4: Grundvandssænkningen (mm) i perioden fra 12<sup>00</sup> til 20<sup>00</sup> d. 17. maj 1966 i forede brønde (fyldte cirkler) og uforede brønde (åbne cirkler) sammenlignet med brøndenes afstand fra nærmeste træ (m).  
 Fig. 4: The discharge (mm) from 12 a.m. to 8 p.m. on 17th May, 1966, of cased wells (filled-in circles) and uncased wells (open circles) compared with the distances from the wells to the nearest tree (m).

som er signifikant på 99 % niveauet. Når der ikke er arbejdet med negative værdier, skyldes det, at vi oprindeligt anså, at de beroede på målefejl.

Man kunne vente, at der var en sammenhæng mellem grundvandsænkningen i dagtimerne og brøndens afstand til nærmeste træ.

En sådan sammenhæng er det imidlertid ikke muligt at demonstrere. I figur 4 er sænkningen fra 12<sup>00</sup> til 20<sup>00</sup> d. 17/5 for de enkelte brønde lagt op over afstanden til nærmeste træ. Figuren viser ingen sammenhæng mellem disse to størrelser.

Man kunne så forestille sig, at der nok er en sammenhæng som den omtalte, men at den — arealvariation med mere taget i betragtning — kun lader sig eftervise over en noget længere måleperiode. En sådan integration kan man få ved i stedet for at anvende forholdene den enkelte dag at anvende dybden til grundvandspejlet. Figur 5 viser, at der er en klar sammenhæng mellem afstanden fra jordoverfladen til grundvandspejlet i forede brønde og brøndenes afstand til nærmeste træ. Sammenhængen er mindre klar for de uforede brønde.

Denne sammenhæng bør man imidlertid ikke uden videre tage helt for pålydende, fordi koteforskellene på arealet også kan have en indflydelse på grundvandsdybderne. Til belysning af forholdet er der derfor beregnet en multipel regression af formen:

$$y = 74.2 + 0.05 \cdot x_1 - 0.86 x_2$$

hvor  $y$  = afstand i cm mellem jordoverflade og grundvandspejl i forede brønde d. 17/5 kl. 10<sup>15</sup>

$x_1$  = kote for den enkelte brønd i cm

$x_2$  = afstand til nærmeste træ i dm

Det viser sig, at koefficienten til  $x_1$  langt fra er signifikant forskellig fra 0. Med andre ord, koterne synes ikke at have nogen simpel indflydelse på grundvandstanden.

Koefficienten til  $x_2$  er derimod højt signifikant (statistisk sikkerhed 99 %), det ser altså ud til — som figur 5 viser det — at der er en sammenhæng mellem grundvandstande og afstanden til træerne. Årsagen til denne sammenhæng kan være, at vandforbruget og den deraf følgende sænkning af grundvandspejlet er størst nær træerne (størst rodintensitet).

Sammenholder man a) den forudgående sammenhæng mellem stigning og afstand til træer, b) figur 4 og c) figur 5 ∞ sidstnævnte multiple regression, kan man danne sig en forestilling om, hvorledes grundvandssvingningerne på arealet „styres“ af evapotranspirationen, som i første række afhænger af træernes fordampning.

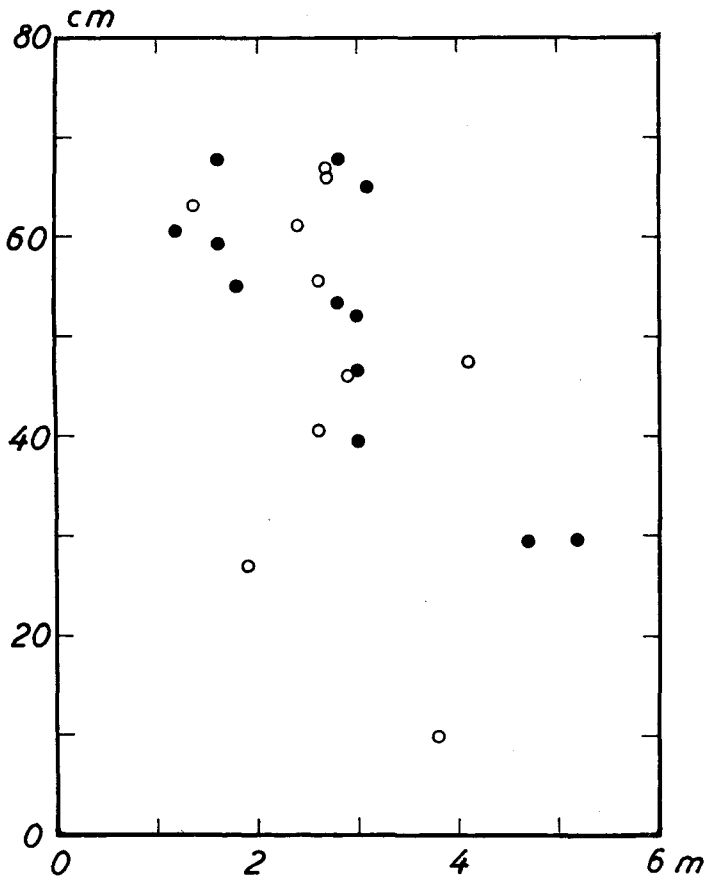


Fig. 5: Grundvandstanden d. 17. maj 1966 kl. 10<sup>15</sup> (cm afstand fra jordoverfladen) sammenlignet med brøndenes afstand fra nærmeste træ (m). Fyldte cirkler er forede brønde, åbne cirkler er uforedede brønde.

Fig. 5: The water-table on 17th May, 1966, at 10.15 a.m. (cm distance from the surface of the ground) compared with the distances of the wells from the nearest tree (m). Filled-in circles are cased wells, open circles are uncased wells.

## SAMMENHÆNGEN MELLEM GRUNDEVANDSBEVÆGELSER OG EVAPORATION

Som nævnt blev grundvandstanden målt hver dag fra d. 4. maj til og med den 22. maj. Samtidig blev fordampningen fulgt fra en simpel fordampningsmåler, som ikke var afskærmet mod nedbør. Måleren summerede følgelig nedbør og fordampning. Måleenheden var ml, og det er ikke forsøgt at omsætte værdierne til mm. Summeringen medfører, at fordampningen i ml i nogle døgn bliver negativ, fordi den nedbør, som bægerglasset har opsamlet, er større end den vandmængde, som er fordampet.

I figur 6 er grundvandstandene i 3 brønde lagt op for undersøgelsesperioden. I samme diagram er fordampningsmængderne

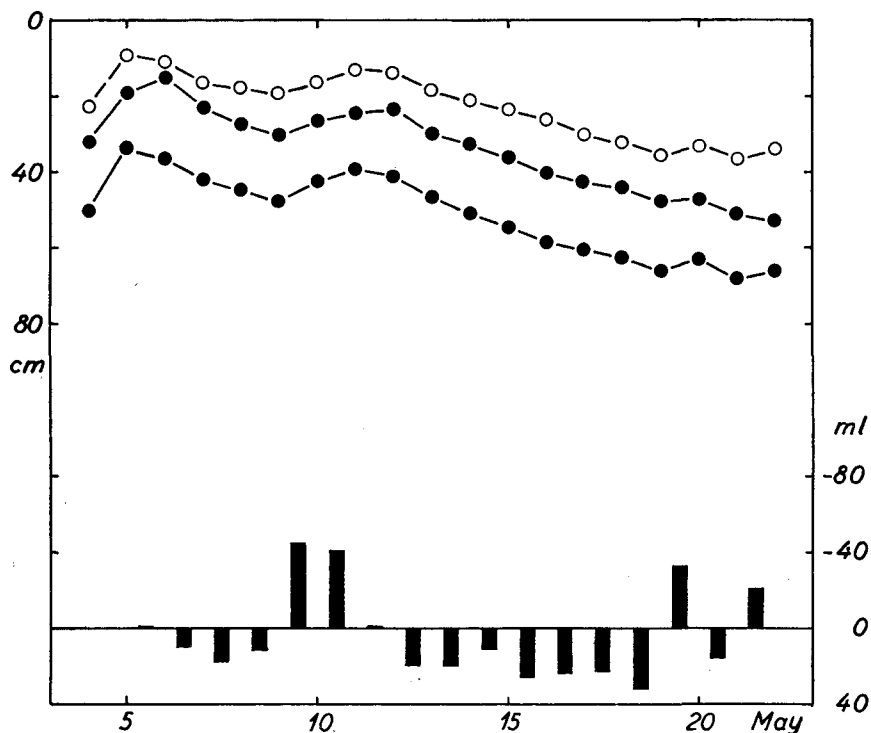


Fig. 6: Grundvandsbevægelserne (cm afstand fra jordoverfladen) i måleperioden i en uforet brønd (åbne cirkler) og 2 forede brønde (fyldte cirkler) sammenlignet med fordampningen fra fordampningsmåleren (ml).

Fig. 6: The water-table fluctuations (cm distance from the surface of the ground) during the period of measurements in an uncased well (open circle) and two cased wells (filled-in circles) compared with the evaporation from the evaporation pan (ml).

afbildet. Det bemærkes, at for disse er koordinatsystemet vendt, så den negative akse (nedbørsoverskud) vender opad. Diagrammet viser meget klart, at grundvandspejlsbevægelserne følger fordampningsværdierne. Når disse er negative (nedbørsoverskud) stiger grundvandet, når de er positive falder grundvandspejlet.

Det fremgår af, hvad der er fremført og demonstreret i det foregående, at de forede brønde er mest følsomme. For at få et overblik over, hvorledes sammenhængen er mellem vandspejlsbevægelser og evaporation, er der dannet gennemsnit af de daglige bevægelser i de 10 forede brønde, og disse gennemsnit er i figur 7 lagt op over evaporationsværdierne. Punktsværmen kan udjævnnes ved en ret linie, og sammenhængen kan karakteriseres ved korrelationskoefficienten  $r = -0.88$ , som er højt signifikant (statistisk sikkerhed  $> 99.9\%$ ).

Det bemærkes, at den indtegnede regressionslinie skærer ordinataksen under 0, det vil sige, at når evaporationen er 0, viger grundvandspejlet fortsat. Dette forhold kunne lede til den tanke, at figuren demonstrerer, at der på arealet sker en „dyb nedsiv-

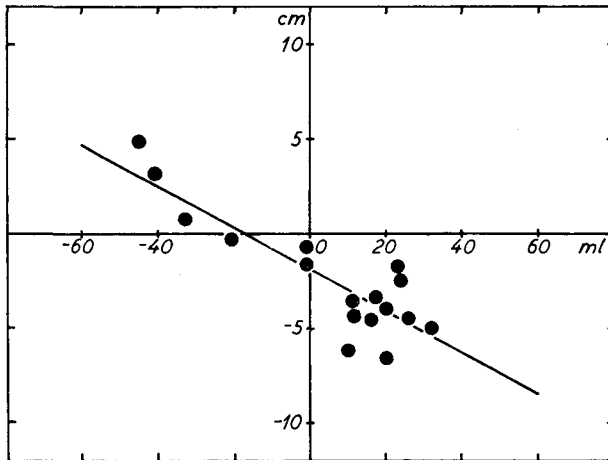


Fig. 7: Den gennemsnitlige (10 forede brønde med sandpakning) daglige ændring i grundvandspejlets beliggenhed (cm) sammenlignet med fordampningen (ml) fra fordampningsmåleren. Negativ fordampning svarer til, at der er faldet nedbør.

Fig. 7: The average daily change in the depth to the water-table (cm) (in 10 cased wells with sand fill) compared with the evaporation (ml) from the evaporation pan. Negative evaporation occurs in connexion with rainfall.

ning = underjordisk afstrømning“, som pr. døgn medfører, at grundvandet viger ca. 2 mm (jvf. figuren).

Muligheden foreligger, men der er intet bevis i det fremlagte materiale. Undersøgelsesmetoderne er i denne henseende for primitive. Der skal i denne forbindelse kun peges på et par forhold, som er uafklarede. Når der i undersøgelsen er registreret en fordampning, som er 0, så betyder det, at den anvendte fordampningsmåler har summeret en nedbør og en fordampning. Nedbørsandelen har været relativt lille. En væsentlig del af nedbøren er på forsøgsarealet blevet hængende i trækronerne (interception). Hvis fordampningen af interceperet vand fra trækronerne er den samme som fordampningen i samme periode fra fordampningsmåleren (mm pr. ha jordoverflade), så er de nævnte 2 mm vandspejlsvigen reelt udtryk for en dyb nedsivning og afstrømning. Eksistensen af den nævnte proportionalitet er imidlertid ikke sandsynlig. Klimaforholdene (fordampningsbetingelserne) er væsentligt forskellige i bevoksningens kronelag og i den højde og i de omgivelser, hvor fordampningsmåleren var placeret. Det skal imidlertid understreges kraftigt, at det ikke uden vanskeligt gennemførlige undersøgelser kan belyses, i hvilken retning forskellighederne influerer på sammenhængen i figur 6.

#### SLUTNING.

De undersøgelser, som der i ovenstående er gjort rede for, viser, at grundvandsbevægelserne i forsommeren afspejler vandforbruget i en ældre bølgebevoksning temmelig nøje.

Andre har benyttet grundvandsbevægelserne til beregning af aktuel evapotranspiration fra forskellige vegetationstyper. (*White*, 1932, *Troxell*, 1936, *Kausch*, 1957). Fælles for disse undersøgelser har det været, at de er foretaget på lokaliteter med en betydelig sideværts vandbevægelse. Nærværende undersøgelse antyder, at i forsommerperioden, hvor grundvandet står højt, kan man også på jorder, som de undersøgte, med ringe permeabilitet og vandbevægelsesmuligheder få visse sammenlignende oplysninger om vandforbruget ved at følge grundvandsbevægelserne. For den enkelte lokalitet kan man få oplysninger, som dækker forholdene fra dag til dag. Undersøgelsen viser imidlertid også, at i skovtræbevoksninger varierer forholdene betydeligt fra sted til sted. Det er altså nødvendigt at etablere et temmelig finmasket



net af iagttagelsesbrønde, hvis man vil gøre sig håb om at få elimineret denne variation.

Undersøgelsen fortæller i øvrigt kun noget om forholdene i den tidlige forsommer, hvor grundvandet står højt, og hvor evapotranspirationen er potentiel, fordi jordens vandindhold er under et lavt tension. Senere i vækstperioden, hvor grundvandet er sænket, og hvor jorden over grundvandspejlet er delvis tømt for tilgængeligt vand, er det mindre sandsynligt, at man kan finde tilsvarende sammenhænge som dem, der er fundet ved nærværende undersøgelse.

Endelig bekræfter undersøgelsen det, som en anden undersøgelse på samme areal har vist (*Holstener-Jørgensen og Eiselstein, 1967*), nemlig at jo snævrere målebrøndene er, desto mere følsomme er de. De fundne korrelationer er knyttet til forede brønde, som er de snævrreste og mest følsomme brønde i nærværende undersøgelse.

Undersøgelsen er muliggjort ved en bevilling fra Statens teknisk-videnskabelige Fond, som vi gerne herved vil bringe vores bedste tak.

#### SUMMARY

This investigation was carried through in a 90-year-old beech stand in East Zealand. The soil is fat moraine clay with a low permeability, so that there is a high water-table. In April 1966 wells for measuring the ground water were installed, as shown in Fig. 1. From the 4th till the 22nd May, 1966, the water-table was measured daily. On the 17th and 18th May, 17 measurements were made within 24 hours. During the whole of the period, the precipitation was measured in a bare area near by, and at the same time the evaporation from a simple evaporation pan was recorded.

In the 24-hour period 17th to 18th May, during which there was no precipitation, there was generally a decharge of the wells in the daytime, whereas the majority of the wells showed a recharge during the night (Figs. 2 a and 2 b, Table 1).

In the more sensitive cased wells there seems to be a connexion between the recharge during the night and the distance from the well to the nearest tree (Fig. 3).

Further, there seems to be a connexion between the distance to the water-table and the distance to the nearest tree (Fig. 5).

These connexions seem to indicate that the water consumption during the daytime is greatest near the trees. This means that the water-table falls most heavily here, and during the night there is an afflux of

ground water from the areas remotest from the trees, causing the steepest rise of the water-table to occur near the trees.

Figs. 6 and 7 illustrate that there is a very narrow connexion between the ground-water fluctuations and the evaporation pan readings.

#### LITTERATUR

- Holstener-Jørgensen, H.*, 1959 a: 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 the elucidation of evapotranspiration of stands). Forstl. Forsøgsv. Danmark. 25: 225—290.
- Holstener-Jørgensen, H.*, 1959 b: 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). Forstl. Forsøgsv. Danm. 25: 291—306.
- Holstener-Jørgensen, H.*, 1961: 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). Forstl. Forsøgsv. Danm. 27: 233—480.
- Holstener-Jørgensen, H.*, 1967: Influences of forest management and drainage on ground-water fluctuations. Int. Symp. For. Hydrology, Proceed. New York. 325—333.
- Holstener-Jørgensen, H. & L. M. Eiselstein*, 1968: The influence of the type and diameter of observation wells on ground-water level measurements. Forstl. Forsøgsv. Danm. 31: 31—48.
- Kausch, W.*, 1957: Die Transpiration als Ursache für tägliche Grundwasserschwankungen. Ber. Dtsch. Bot. Ges., 70: 436—444.
- 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: 496—504.
- White, W. N.*, 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, Contributions to the hydrology of the United States p. 1—105.