

## Grundvandsundersøgelser på sandjord 1975–1979

*Investigations of ground water on sandy soils 1975–1979*

E. Frimodt Pedersen

### 1. Resumé

I årene 1975–79 blev der gennemført systematiske undersøgelser af grundvandskvalitet på 6 sandjordslokaliteter i Jylland. Der blev udtaget grundvandsprøver i tre dybder under landbrugsafgrøder.

Grundvandets pH varierede noget fra lokalitet til lokalitet og var i gennemsnit svagt stigende med dybden. Det samme gælder for indholdet af  $\text{HCO}_3$ . Koncentrationen af Na, Mg, Ca,  $\text{SO}_4\text{-S}$  og Cl var nogenlunde konstant i alle årene og varierede ikke meget fra sted til sted. Koncentrationen af Na og Cl aftog dog lidt med dybden. Fosfor bindes i jorden, og koncentrationen af P i grundvand var lav på alle lokaliteter – varierende fra 0 til 0,2 mg P pr. liter. Kaliumkoncentrationen var forholdsvis høj, nemlig i gennemsnit 8 mg K pr. liter i 5 m dybde. Det er betydeligt højere end de koncentrationer, der er målt i drænvand. Koncentrationen aftager dog stærkt i det dybere liggende grundvand i 7,5 og 10,0 m dybde.

Den målte koncentration af ammoniumkvælstof ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) på 0,6–2,7 mg pr. liter er relativt høj i forhold til de værdier, der er målt i drænvand. De målte koncentrationer kan være behæftet med fejl, idet samtidige undersøgelser viste, at de benyttede nylonslanger i prøveudtagningsudstyret kunne frigive N-forbindelser, der i analysen vil blive registreret som  $\text{NH}_4\text{-N}$ .

Koncentrationen af nitratkvælstof ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) varierede meget fra lokalitet til lokalitet. Der var betydelige årssvingninger i N-koncentrationen – specielt i det øverste grundvand. Generelt aftager N-koncentrationen med dybden. Koncentrationen vil afhænge af jordtype, nedbørsforhold og afgrøde.

**Nøgleord:** Grundvand, grundvandsanalyser, grundvandskvalitet.

### 2. Summary

Systematic investigations of the ground water quality at 6 sandy soil localities in Jutland were carried out in the years 1975–79.

Ground water samples were taken in three depths under arable crops.

The average pH-value of ground water increased slightly with the depth. The concentrations of Na, Mg, Ca,  $\text{SO}_4\text{-S}$  and Cl were more or less constant, and variation from place to place were small. The concentration of Na and Cl declined a little with the depth. The concentration of P in the ground water was low at all localities (0–0.2 mg P per litre).

The K-concentration was rather high, on an average 8 mg K per litre in 5 m depth, which is considerably higher than the concentrations in the drainage water. However the concentration declined greatly in the ground water in 7.5 to 10.0 m depth.

The concentrations of ammonium-nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) of 0.6–2.7 mg per litre are relatively high in relation to values measured in drainage water. The results may be overestimated because simultaneous investigations showed that nylon tubes in the sampling equipment could release N-compounds, which were recorded as  $\text{NH}_4\text{-N}$  in the analyses.

The concentration of nitrate-nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) varied a lot between localities. There were considerable fluctuations in the N-concentrations with time, especially in the upper ground water. Overall, the N-concentration declined with the depth. The concentration will depend on soil type, precipitation and crop.

**Key words:** Ground water, ground water analysis, ground water quality.

### 3. Indledning

I debatten om forurening af grundvand inddrages ofte spørgsmålet om, hvor store næringsstofmængder der tilføres fra landbrugsarealer. Der rejses også spørgsmål om, hvilken indflydelse forskellige dyrkningsformer og en stigende gødningsanvendelse kan få på grundvandskvaliteten.

Det er kvælstof, der har størst interesse i den forbindelse. Kvælstof i form af nitrat er let opløseligt i vand og kan føres bort fra rodzonen til grundvandet, når der er overskud af nedbør. Faren for en sådan udvaskning er størst på den lette sandjord, hvor jordens vandkapacitet er lille.

I Forureningsrådets publikation (nr. 16, 1971) vedrørende plantenæringsstoffer konstateres et behov for yderligere kendskab til grundvandskvaliteten på sandjordsarealer. Der foreslås indledt en systematisk undersøgelse på sandjordsarealer med højtliggende grundvandsspejl. Fra Statens Forsøgsstation i Højer blev der i 1975 indledt en undersøgelse på sådanne arealer i Jylland – dels for at undersøge grundvandets næringsstofindhold, men også for at undersøge, om grundvandet blev påvirket ved udvaskningen af plantenæringsstoffer fra lette sandjorde.

Under danske forhold kendes grundvandskvaliteten fra Danmarks geologiske Undersøgelser (DGU), som i forbindelse med borerer efter drikkevand og vandingsvand har udført mange kvalitetsbestemmelser af grundvand.

Det generelle billede af DGU's analyser af grundvand er, at der kun undtagelsesvis findes nitrat i grundvand på morænelerjord. Indholdet af nitrat i grundvand fra sandjordsarealer varierer mere fra lokalitet til lokalitet (Christensen, 1970).

Som et led i den Internationale Hydrologiske Dekade (IHD 1966–76) har DGU gennemført undersøgelser af højtliggende grundvand i Karupområdet (Andersen *et al.*, 1976; Kristiansen, 1980). Undersøgelserne viste, at de øverste grundvandslag var nitratholdige, og at tilstedeværelse af reducerende jernforbindelser var bestemmende for nitratinholdet i dybere grundvandslag.

Mængden og kvaliteten af grundvand er geologisk og geografisk bestemt. Udenlandske undersøgelser på området kan derfor ikke direkte anvendes til karakterisering af danske forhold. Ved svenske drænvandsundersøgelser (Brink *et al.*, 1979) er der på samme arealer foretaget en undersøgelse af grundvandskvaliteten ned til 2–6 m. Mange steder er dybden betinget af et højtliggende grundfjeld. Kun i Sydsverige findes der et sammenhængende grundvandsspejl, som det kendes fra danske forhold. De svenske undersøgelser viser et indhold fra 0 til 61 mg  $\text{NO}_3\text{-N}$  pr. liter i grundvand ned til ca. 5 m. Undersøgelsen, der er foretaget på mange forskellige jordtyper fra svær lerjord til sand- og humusjord, viser de laveste koncentrationer i de største dybder. For kaliums vedkommende viser de svenske undersøgelser højere værdier i grundvand end i drænvand, og i lighed med danske undersøgelser er koncentrationen af fosfor lav – fra 0 til 0,3 mg pr. liter.

### 4. Teknik

I 1975 blev der fra Statens Forsøgsstation i Højer etableret 6 målestationer i Jylland til undersøgelse af grundvandskvalitet på sandjord med højtliggende grundvand.

#### 4.1. Opbygning af ekstraktionsudstyr

Grundvandsprøverne blev udtaget med et såkaldt ekstraktionsudstyr, der i princippet er udført som beskrevet af *Bennetzen* (1978). Der er dog sket en tilpasning til den her omtalte opgave.

I fig. 1 er vist en skitse af det anvendte ekstraktionsudstyr.

Udstyret er bygget op omkring en 1 bar keramikkop. Keramikkoppen er bygget sammen med et PP-rør,  $\varnothing$  28/22 mm, der er afpasset i længden, så volumen af rør og keramikkop tilsammen udgør 500 ml, der var den ønskede prøvestørrelse.

Gennem en gummiprop i PP-rørets top er der ført 2 nylonslanger,  $\varnothing$  6/4 mm. Den ene slange er ført ned til keramikkoppen og anvendt ved udtagning af vandprøven. Den anden slange ender lige under gummipropen. Denne slange bruges til trykluft ved prøveudtagning.

Nylonslangerne er beskyttet af en kraftigere PE-slange,  $\varnothing$  16/12 mm, der er ført op til  $\frac{1}{2}$  meter under jordoverfladen og vandret (5–10 m) til et markskel eller lignende. Slangerne er her ført ind i en nedgravet polystyrenboks. Boksen virker isolerende og hindrer store temperatursvingninger og frostskafer. Prøveudtagningen er sket ved hjælp af trykluft. Luften trykkes gennem den korte slange, så der dannes overtryk over vandprøven, som derved presses op gennem slangen i keramikkoppen bund.

#### 4.2. Etablering af ekstraktionsudstyr

Ekstraktionsudstyret blev placeret i forskellige dybder ved hjælp af et almindeligt brøndborerudstyr. Borerøret blev ført ned til en dybde på 10 m, og et sæt ekstraktionsudstyr blev placeret her. Borerøret blev derefter trukket op. Hullet slemmede hurtigt til i det vandfyldte lag, og keramikkoppen fik god kontakt med sandet. Ekstraktionsudstyr i de to andre dybder blev placeret i samme borehul, efterhånden som borerøret blev trukket op.

#### 4.3. Prøveudtagning og analysering

Prøveudtagningen er udført af medhjælpere fra de enkelte lokaliteter. Vandprøverne er udtaget systematisk hver 14. dag og straks sendt til Centralanalytisk Laboratorium i Vejle. Prøverne er i lig-

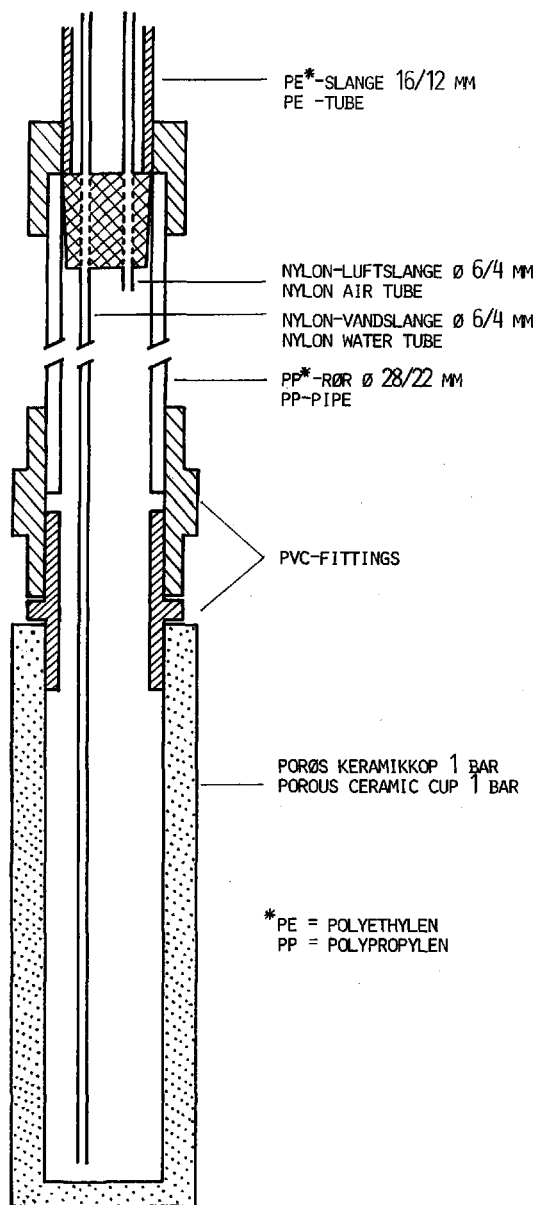


Fig. 1. Skitse af ekstraktionsudstyr til udtagning af grundvandsprøver.

*Sketch of the equipment for extraction of ground water samples.*

hed med prøver af drænvand (Hansen & Pedersen, 1975) analyseret for pH, ledningsevne (Lt), Na, K, Mg, Ca, NH<sub>4</sub>-N, (Fe), NO<sub>3</sub>-N, P, SO<sub>4</sub>-S, Cl og HCO<sub>3</sub>.

Alle vandprøver blev i starten analyseret for Fe, men denne analyse blev standset fra lokaliteter, hvor der kun var spor af eller ingen Fe i vandprøven.

Efter analyseringen blev der lavet en kontrol på ionbalancen, og en afvigelse  $> \pm 10\%$  mellem kationer og anioner resulterede i en ny analyse af vandprøven.

## 5. Jordbundsforhold

Lokaliteterne er valgt ud fra ønsket om at få forskellige sandjordstyper repræsenteret i undersøgelsen. Der er groft set tale om to sandjordstyper. Den ene type er smeltevandsaflejring (hedeslette-sand) fra den sidste istid. Udgangsmaterialet er en ret grovkornet sand. Den anden sandjordstype findes på morænerne fra næstsidste istid (bakke-øsand). Bakkeøsand er ikke så grovkornet som hedeslettesand og ofte mere eller mindre lerblandet.

### 5.1. Jordfysiske undersøgelser

Ved udvælgelse af de enkelte lokaliteter var det en forudsætning, at arealerne skulle have et højtliggende grundvandsspejl (2,5–3,0 m), da det var planen at følge vandkvaliteten i flere punkter ned til 10 m dybde.

Fig. 2 viser den geografiske placering af målestederne.

Der er 4 lokaliteter, som repræsenterer arealer med hedeslettesand, nemlig Grindsted, Ribe, Over Jerstal og Jynde vad, og 2 lokaliteter – Fjelsestervang og Lyne – som repræsenterer bakkeøsand.

Ved etablering af prøveudtagningsudstyret blev boreprofilen beskrevet, og der blev udtaget jordprøver til bestemmelse af jordens tekstur. Resultaterne af teksturanalyserne er vist i fig. 3–8.

Profilerne på alle lokaliteter har et højt indhold af grovsand. På nogle lokaliteter med hedeslette-sand findes en del sten i grovsandsfraktionen i

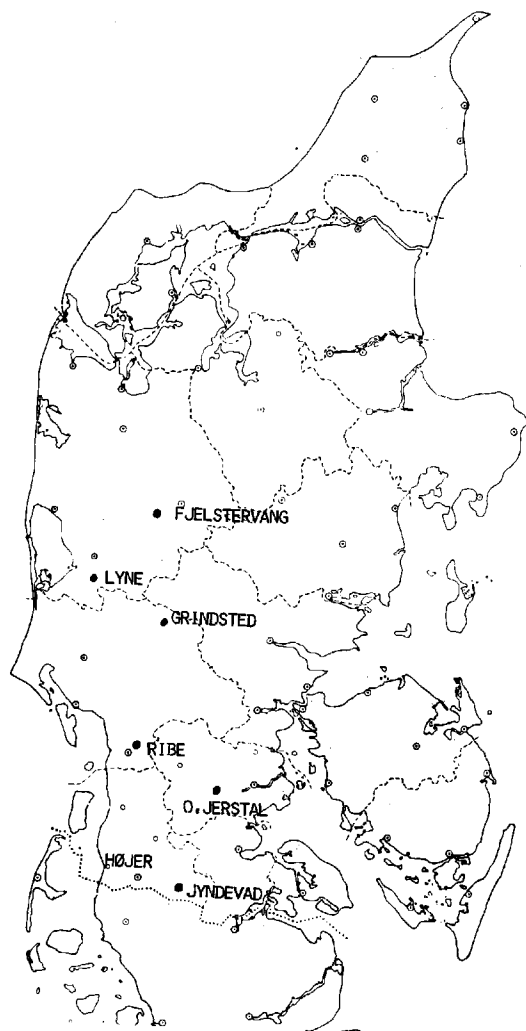


Fig. 2. Lokaliteternes (●) geografiske placering.  
Geographical (●) placing of the localities.

visse dybder. Mange store sten var årsag til, at udstyret kun kom ned i 8 m dybde ved Ribe. Lokaliteterne på bakkeøsand afviger fra de øvrige ved, at der findes en større eller mindre fraktion af ler og silt i alle dybder og meget få sten i grovsandsfraktionen i de undersøgte dybder.

VÆGTPROCENT - PER CENT BY WEIGHT

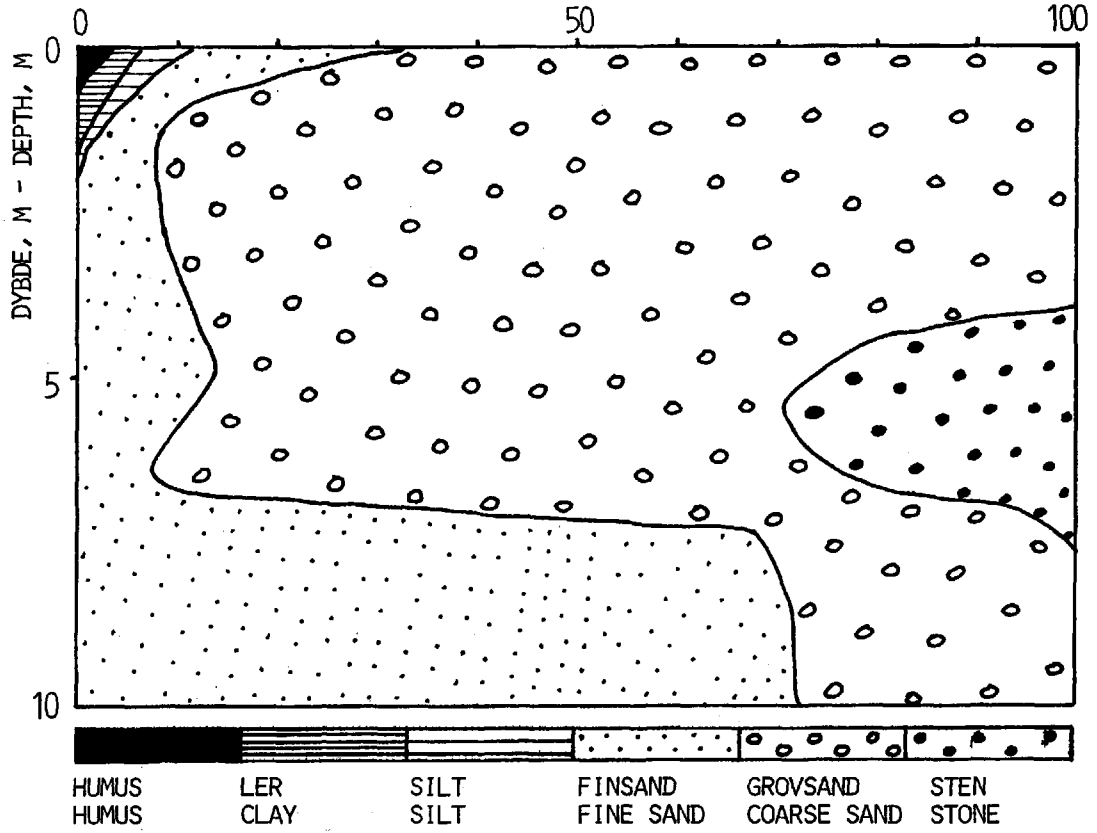


Fig. 3. Jordprofilens tekstur, Grindsted. *The soil profiles texture, Grindsted.*

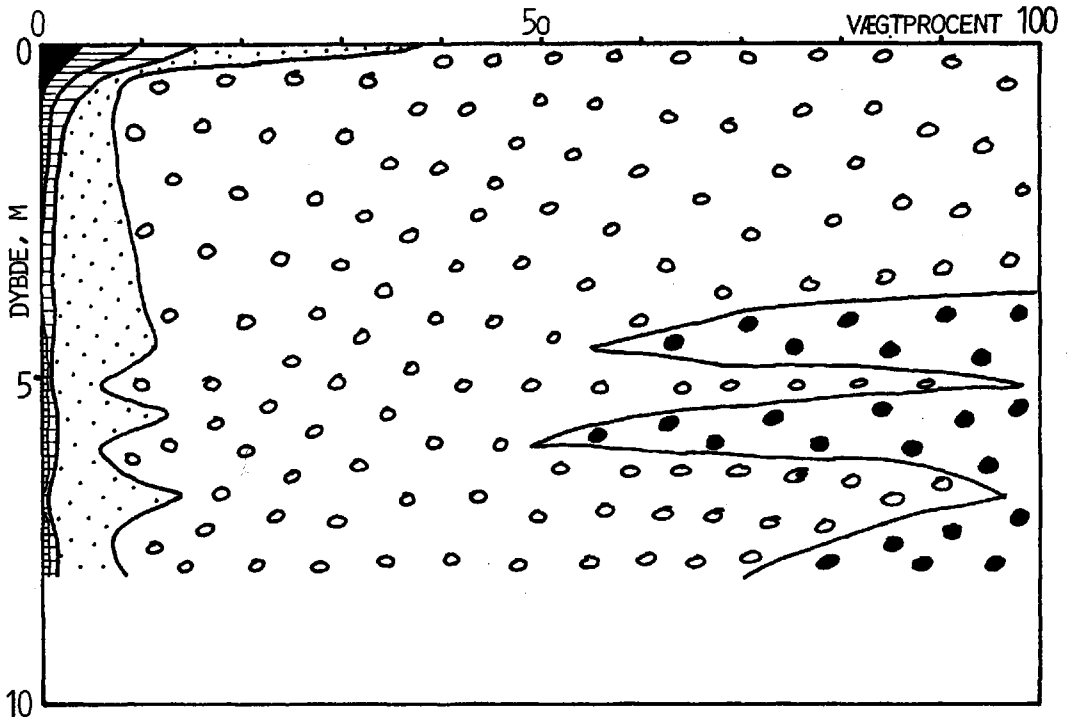


Fig. 4. Jordprofilens tekstur, Ribe. *The soil profiles texture, Ribe.*

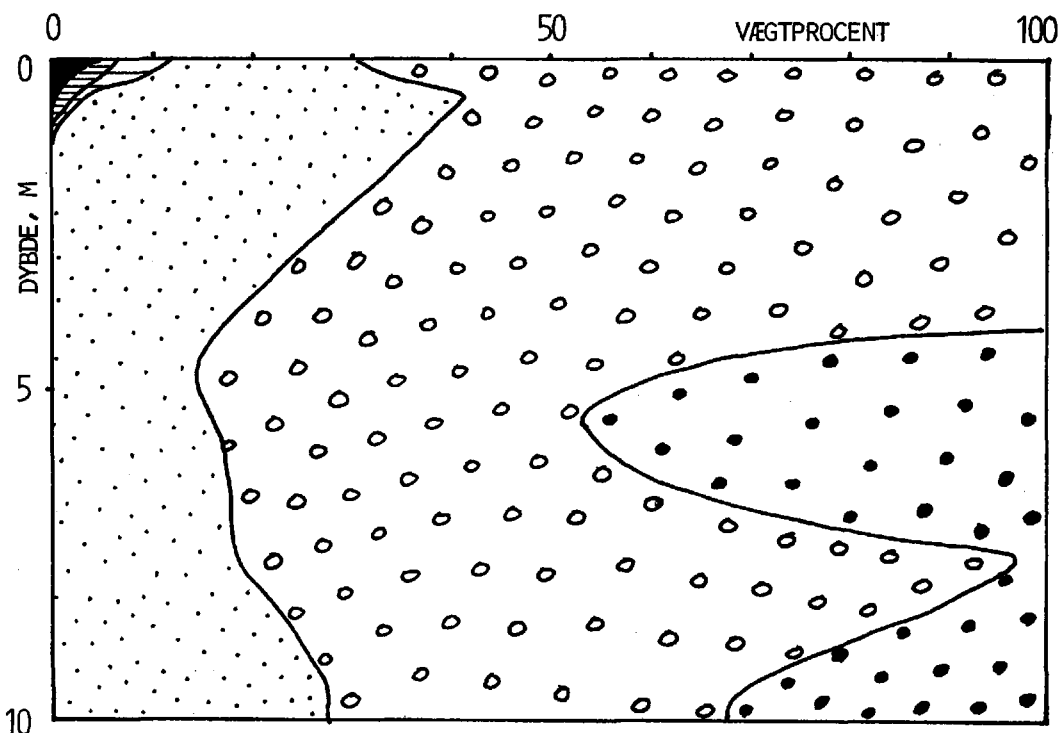


Fig. 5. Jordprofilens tekstur, Over Jerstal. *The soil profiles texture, Over Jerstal.*

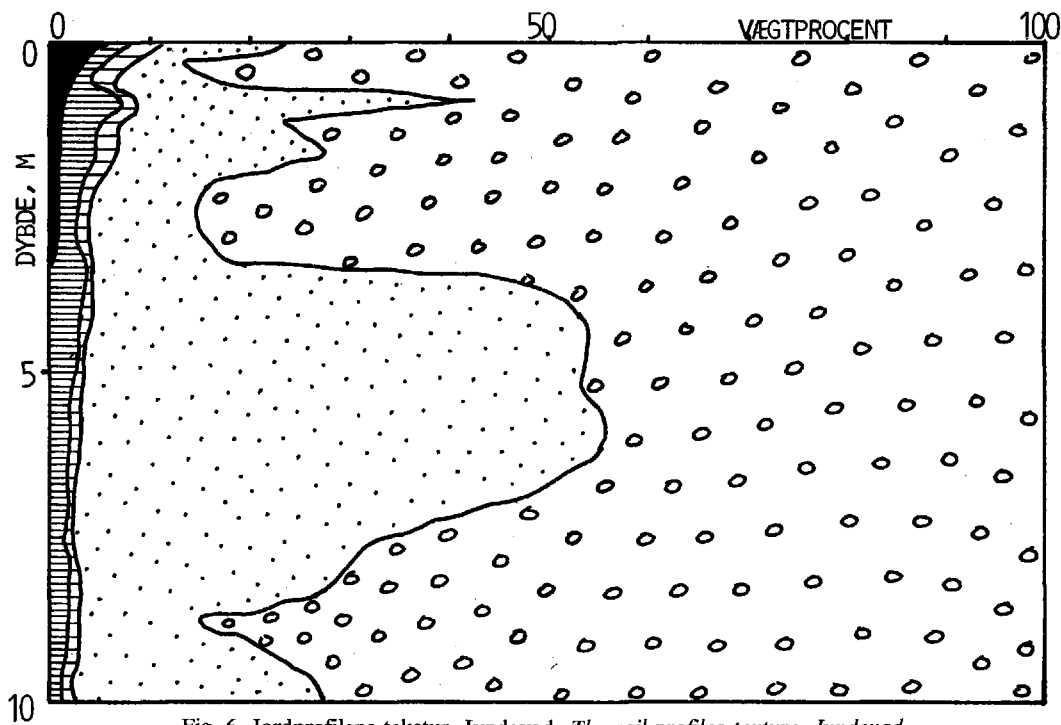


Fig. 6. Jordprofilens tekstur, Jynde vad. *The soil profiles texture, Jynde vad.*

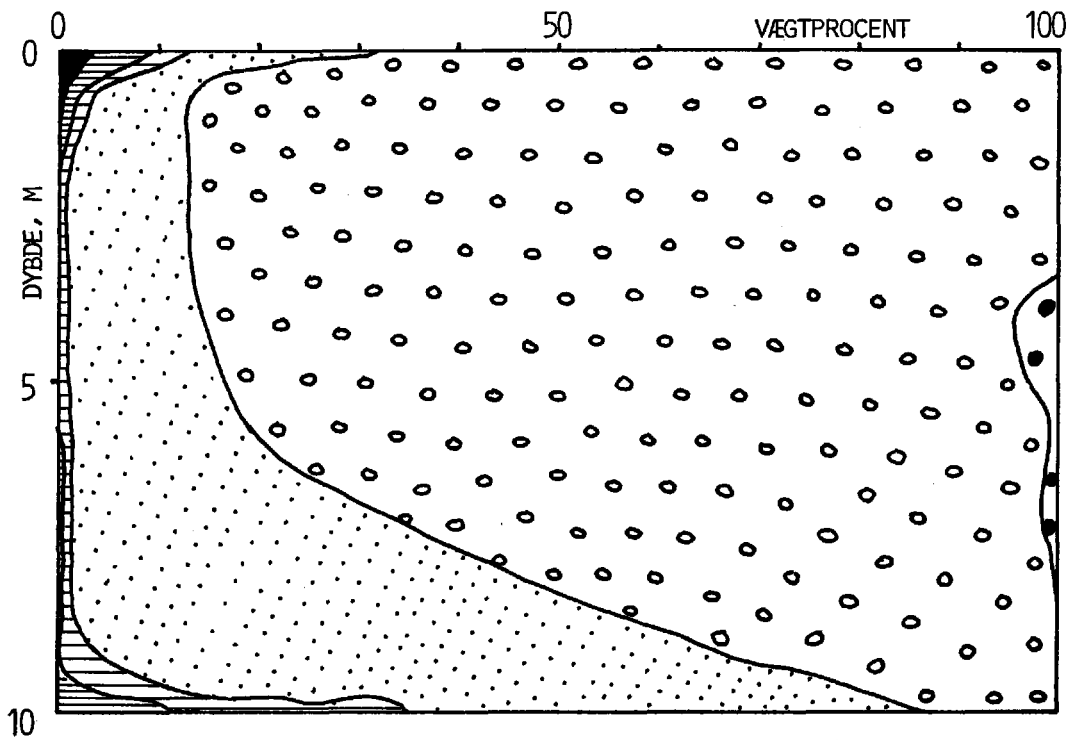


Fig. 7. Jordprofilens tekstur, Fjølstervang. *The soil profiles texture, Fjølstervang.*

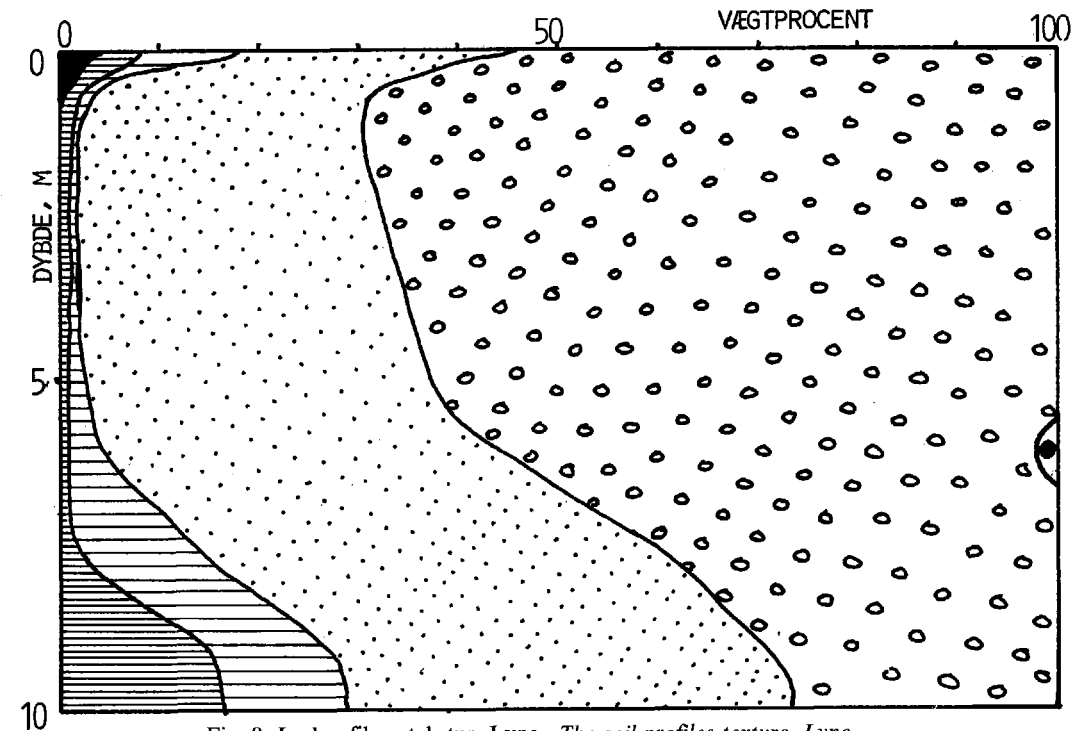


Fig. 8. Jordprofilens tekstur, Lyne. *The soil profiles texture, Lyne.*

**Tabel 1. Jordbundskemiske analyser**  
*Soil chemical analyses*

Lokalitet <i>Locality</i>	Dybde <i>Depth</i> cm	pH(H <sub>2</sub> O)	Ft	Kt	Mgt	Nat	Cat	Mnt	Humus
Grindsted	0-20	6,3	3,2	4,0	3,0	1,0	60	3,9	3,5
	20-50	6,1	0,8	1,4	0,5	0,3	10	0,8	0,4
Ribe	0-20	6,2	3,8	4,6	3,5	1,4	116	1,5	3,6
	20-50	6,1	0,8	1,4	0,6	0,4	18	0,8	0,4
Over Jerstal	0-20	5,8	3,0	3,9	2,1	0,8	45	4,4	3,5
	20-50	5,6	1,2	0,6	0,4	0,3	6	2,3	0,3
Jynde vad	0-20	6,1	5,8	6,7	1,9	2,1	52	0,6	3,5
	20-50	5,7	2,4	2,3	0,7	1,0	12	0,0	0,4
Fjølstervang	0-20	5,7	9,4	7,5	1,6	0,9	51	8,9	2,3
	20-50	5,8	4,5	4,5	0,4	0,2	10	1,7	0,5
Lyne	0-20	6,5	5,0	5,1	4,4	1,9	139	1,1	4,4
	20-50	6,3	1,0	1,6	0,5	0,6	20	1,1	0,4

### 5.2. Jordbundskemiske undersøgelser

Tabel 1 viser resultater af kemiske analyser i pløjelaget og 20-50 cm dybde.

De kemiske analyser viser værdier, der er nogenlunde normale for sandjorde i sædskiftedrift, og der er kun meget små forskelle mellem de enkelte lokaliteter.

### 6. Afgrøde, vanding og gødskning

På alle lokaliteter gennemførtes et sædskifte med korn, kartofler, roer og græs. Der er vandet efter behov, typisk 1 × 35 mm til korn, 1 × 35 mm til kartofler og roer, samt 2-3 × 35 mm til græs.

Kvælstoftilførslen pr. ha har været 100-125 kg N til korn, 125-150 kg N + 30-80 t husdyrgødning til roer og kartofler, samt 250-300 kg N pr. ha til græs.

I tabel 2 er vist en oversigt over afgrøderne for de enkelte lokaliteter i undersøgelsesperioden.

### 7. Nedbør

I tabel 3 er anført nedbør for hvert kvartal i årene 1975-79. Der er ikke målt nedbør ved de enkelte lokaliteter. Nedbøren er derfor angivet som gennemsnit for Ringkøbing, Ribe og Sønderjyllands amter. Lokaliteterne Grindsted og Ribe ligger i Ribe amt, Over Jerstal og Jynde vad i Sønderjyllands amt og Fjølstervang og Lyne i Ringkøbing amt.

I 1975 og 1976 var nedbøren på alle lokaliteter under det normale, og i 1977 og 1979 betydeligt over det normale for året.



**Tabel 2. Afgrøde ved de enkelte lokaliteter, 1975-79**  
*The crops at the different localities, 1975-79*

Lokalitet <i>Locality</i>	1975	1976	1977	1978	1979
Grindsted	Kartofler <i>Potatoes</i>	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Kartofler <i>Potatoes</i>
Ribe	Byg <i>Barley</i>	Bederøer <i>Beets</i>	Byg <i>Barley</i>	Græs <i>Grass</i>	Græs <i>Grass</i>
Over Jerstal	Byg <i>Barley</i>	Kartofler <i>Potatoes</i>	Byg <i>Barley</i>	Bederøer <i>Beets</i>	Byg <i>Barley</i>
Jyndeved (K2)	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>
Fjølstervang	Bederøer <i>Beets</i>	Byg <i>Barley</i>	Græs <i>Grass</i>	Græs <i>Grass</i>	Græs <i>Grass</i>
Lyne	Græs <i>Grass</i>	Byg <i>Barley</i>	Bederøer <i>Beets</i>	Byg <i>Barley</i>	Græs <i>Grass</i>

**Tabel 3. Nedbør mm pr. kvartal og år**  
*Precipitation, mm per quarter and year*

År <i>Year</i>	Kvartal <i>Quarter</i>	Ringkøbing		Ribe		Sønderjylland	
		Kvartal <i>Quarter</i>	Total <i>Total</i>	Kvartal <i>Quarter</i>	Total <i>Total</i>	Kvartal <i>Quarter</i>	Total <i>Total</i>
1975	1	172		166		145	
	2	124		102		108	
	3	194		165		193	
	4	182	672	215	648	162	608
1976	1	139		132		132	
	2	91		110		109	
	3	68		112		105	
	4	308	606	296	650	248	594
1977	1	213		193		185	
	2	173		184		207	
	3	163		155		159	
	4	317	866	309	841	286	837
1978	1	239		238		245	
	2	112		132		133	
	3	255		227		242	
	4	173	779	199	796	212	832
1979	1	176		160		146	
	2	189		201		193	
	3	201		201		199	
	4	370	936	363	925	336	874
Normal	1	148		144		142	
	2	127		131		138	
	3	258		258		250	
	4	226	759	218	751	200	730

## 8. Resultater

Prøveudtagning og analysering skete systematisk hver 14. dag i en fireårig periode. Det svarer til 100 vandprøver pr. dybde ved hver lokalitet og giver et samlet talmateriale på ca. 25.000 enkeltanalyser.

Hele talmaterialet findes i hovedtabeller og i edb-form på kassettebånd ved Statens Forsøgsstation i Højer. Hovedtabeller kan rekvireres herfra. I tabel 4 er angivet gennemsnitsindholdet af de enkelte stoffer for alle lokaliteter og dybder.

Grundvandets pH varierede en del fra lokalitet til lokalitet og var svagt stigende med prøveudtagningsdybden. Det samme gjaldt i nogen grad for hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3$ ).

Koncentrationen af magnesium (Mg), calcium (Ca) og sulfatsvovl ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ) var næsten uafhængig af udtagningsdybden, og variationen mellem de enkelte lokaliteter var ikke særlig stor. Det samme var tilfældet for natrium (Na) og klor (Cl), hvor koncentrationen ved nogle lokaliteter dog aftog med grundvandets dybde.

**Tabel 4.** Næringsstofindhold i grundvand, mg pr. liter. Gns. 1975-79  
*Nutrient content in ground water, mg per litre. Average 1975-79*

Lokalitet <i>Locality</i>	pH	NH <sub>4</sub> -N	P	Na	K	Mg	Ca	NO <sub>3</sub> -N	SO <sub>4</sub> -S	Cl	HCO <sub>3</sub>
<i>Grindsted:</i>											
5,0 m	4,8	1,2	0	13	10,0	2,4	47	20,8	18	30	8
7,5 m	5,3	1,7	0,1	12	1,9	3,7	36	14,7	11	28	18
10,0 m	4,6	1,0	0,1	11	1,4	1,9	33	16,3	12	26	5
<i>Ribe:</i>											
5,0 m	5,4	2,3	0,1	27	5,0	4,6	40	14,2	15	54	22
7,5 m	5,4	1,5	0	33	3,5	5,5	35	10,6	15	63	18
<i>Over Jerstal:</i>											
5,0 m	6,5	4,8	0,2	21	16,8	6,4	67	13,9	16	55	114
7,5 m	6,9	2,1	0,2	17	3,3	6,8	70	8,8	18	31	140
10,0 m	6,7	2,0	0,1	15	1,2	7,0	60	7,8	19	31	97
<i>Jyndeved:</i>											
5,0 m	5,4	0,6	0	13	2,4	6,7	22	10,8	7	35	11
7,5 m	6,0	1,5	0,1	15	2,3	7,6	25	7,3	10	36	34
10,0 m	6,7	2,6	0	13	1,3	4,9	36	3,0	8	29	86
<i>Fjelsestervang:</i>											
5,0 m	5,3	1,4	0,1	10	6,4	2,1	36	9,1	16	28	15
7,5 m	4,8	0,8	0	9	2,7	2,0	29	2,6	22	21	9
10,0 m	5,0	1,0	0	10	2,0	4,3	22	1,1	25	22	19
<i>Lyne:</i>											
5,0 m	6,4	2,7	0,2	27	6,3	5,7	54	7,1	15	45	117
7,5 m	6,8	1,5	0	16	1,3	4,8	86	1,2	12	24	271
10,0 m	6,9	1,2	0	17	1,6	5,4	91	1,2	8	23	281
<i>Gennemsnit - Average:</i>											
5,0 m	5,6	2,2	0,1	19	7,8	4,7	44	12,7	15	41	48
7,5 m	5,9	1,5	0,1	17	2,5	5,1	47	7,5	15	34	82
10,0 m	6,0	1,6	0	13	1,5	4,7	48	5,9	14	26	98

Indholdet af jern (Fe), som ikke er medtaget i tabellen, var under 1 mg pr. liter ved de fleste lokaliteter og dybder på hedeslettesand. Lokaliteter på bakkeøssand havde et højere indhold af Fe i dybderne 7,5 og 10,0 m. Ved Fjelsestervang var indholdet i gennemsnit 2,6 og 10,2 mg Fe pr. liter og ved Lyne 2,4 og 2,7 mg Fe pr. liter i hhv. 7,5 og 10,0 m dybde.

Fosfor (P) bindes i jorden, og indholdet i grundvand var lavt på alle lokaliteter og i alle dybder.

Kalium (K) koncentrationerne var relativt høje i det øverste grundvand, men aftog med dybden.

Ammonium-kvælstof ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) viste især i starten ret høje koncentrationer i forhold til værdier, der findes i drænvand. Bestemmelserne af  $\text{NH}_4\text{-N}$  er muligvis behæftet med en vis usikkerhed, idet det i andre undersøgelser har vist sig, at nylonslanger under visse omstændigheder kan afgive kvælstofforbindelser, der ved den anvendte analysemetode bliver registreret som  $\text{NH}_4\text{-N}$  (Bennetzen, 1978).

Koncentrationen af nitrat-kvælstof ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) var lavest på lokaliteter med bakkeøssand. De anførte tal dækker over betydelige årsvariationer.

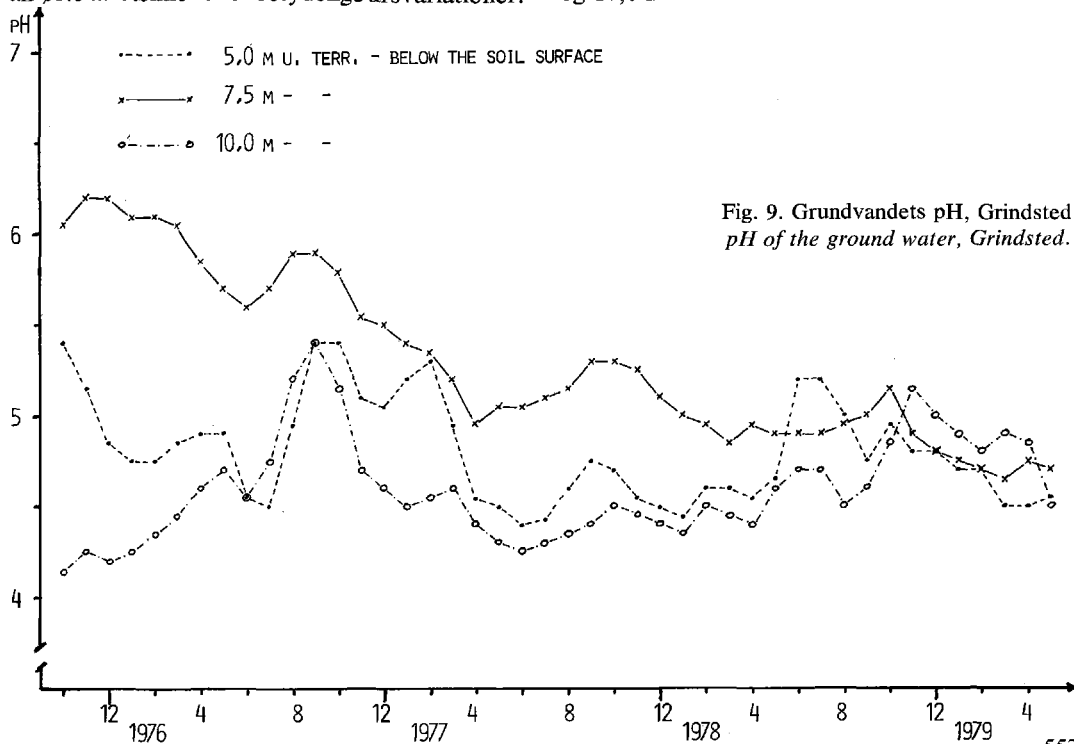


Fig. 9. Grundvandets pH, Grindsted.  
 pH of the ground water, Grindsted.

Generelt var koncentrationen faldende med dybden.

Som et eksempel på de forskellige stoffers variation i undersøgelsesperioden er der i fig. 9–15 vist værdier for pH og koncentration af  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Na, Ca,  $\text{SO}_4\text{-S}$  og Cl for lokaliteten i Grindsted.

Figureerne viser koncentrationens forløb gennem hele undersøgelsesperioden 1975–79. Kurverne er konstrueret på grundlag af et glidende gennemsnit af 5 målinger. For pH, Ca,  $\text{SO}_4\text{-S}$  og Cl ses nogle svingninger i perioden – specielt i 5 m dybde. Na og Mg koncentrationen er mere konstant.

Fig. 16–21 viser koncentrationen af kalium. Der ses større eller mindre ændringer i koncentrationen i 5 m dybde, mens koncentrationen i 7,5 og 10,0 m dybde er ret konstant i hele undersøgelsesperioden, og der er ikke større forskelle på de enkelte lokaliteter i disse dybder.

Koncentrationen af nitrat-kvælstof, fig. 22–27, viser større ændringer gennem undersøgelsesperioden end de øvrige målte stoffer. Variationen i koncentrationen af  $\text{NO}_3\text{-N}$  er størst i 5,0 m dybde og aftager ved de fleste lokaliteter i dybderne 7,5 og 10,0 m.

NH<sub>4</sub>-N MG PR. LTR.

----- 5,0 M U. TERR.  
x-----x 7,5 ---  
o-----o 10,0 ---

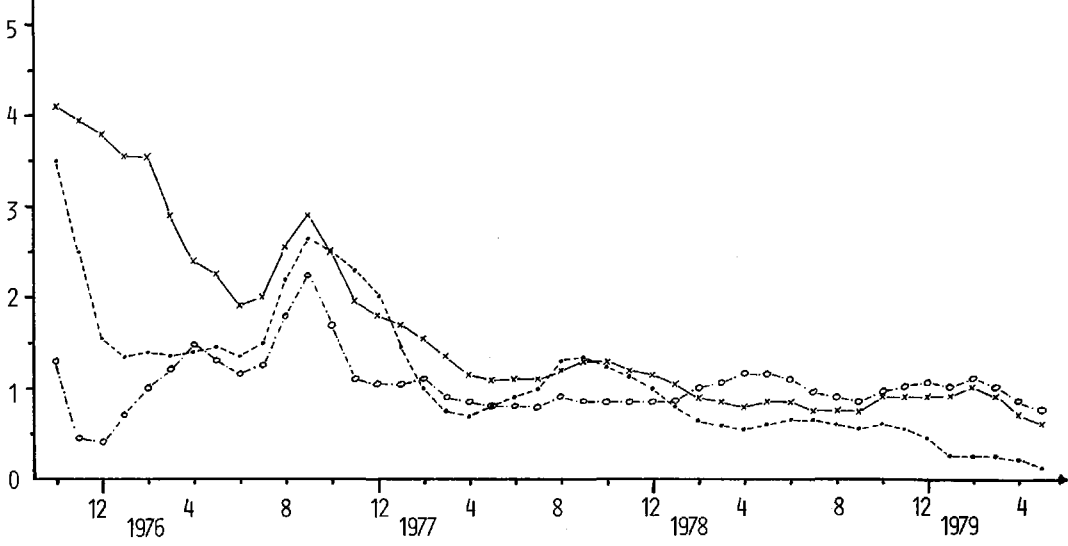


Fig. 10. Koncentration af NH<sub>4</sub>-N, mg pr. liter. Grindsted.  
Concentration of NH<sub>4</sub>-N, mg per litre. Grindsted.

Na MG PR. LTR.

----- 5,0 M U. TERR.  
x-----x 7,5 ---  
o-----o 10,0 ---

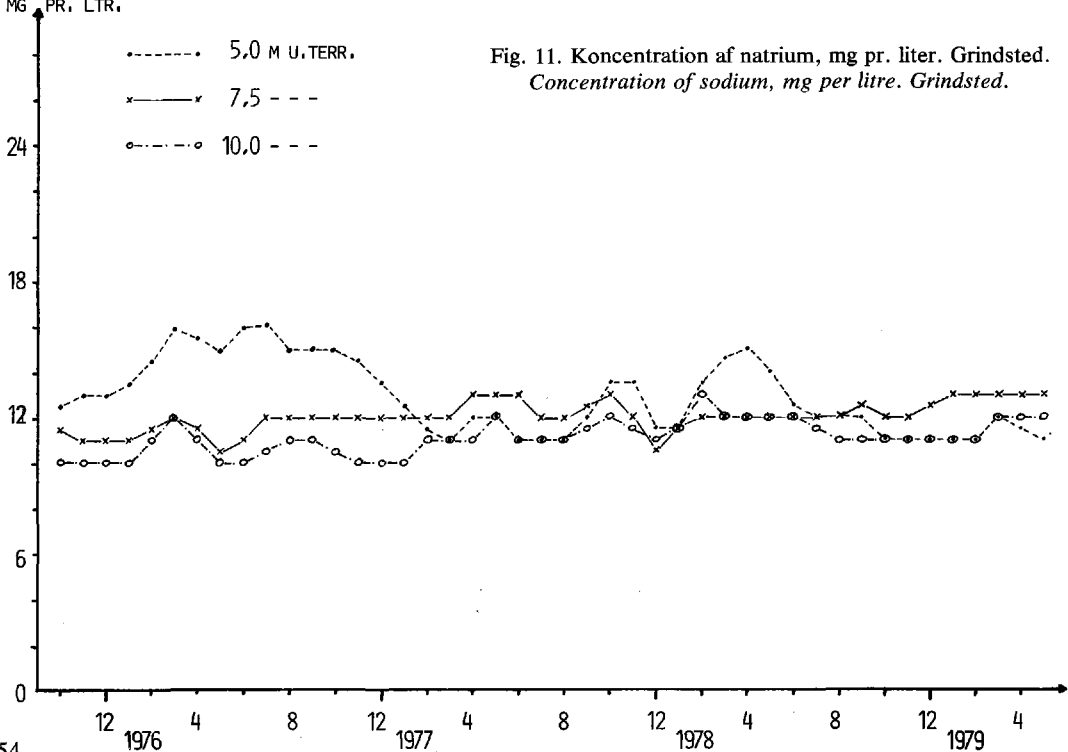


Fig. 11. Koncentration af natrium, mg pr. liter. Grindsted.  
Concentration of sodium, mg per litre. Grindsted.

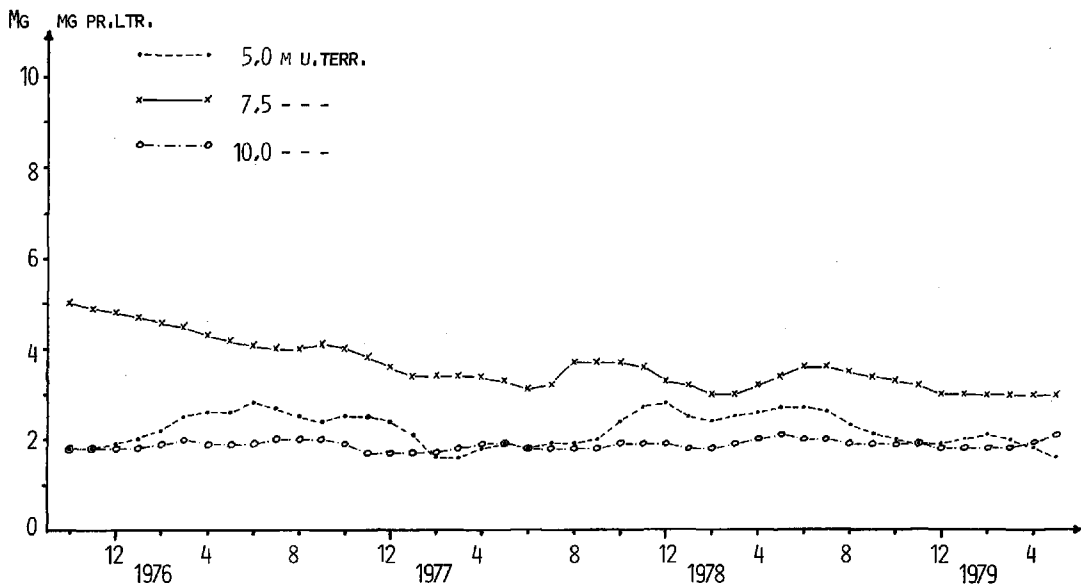


Fig. 12. Koncentration af magnesium, mg pr. liter. Grindsted.  
 Concentration of magnesium, mg per litre. Grindsted.

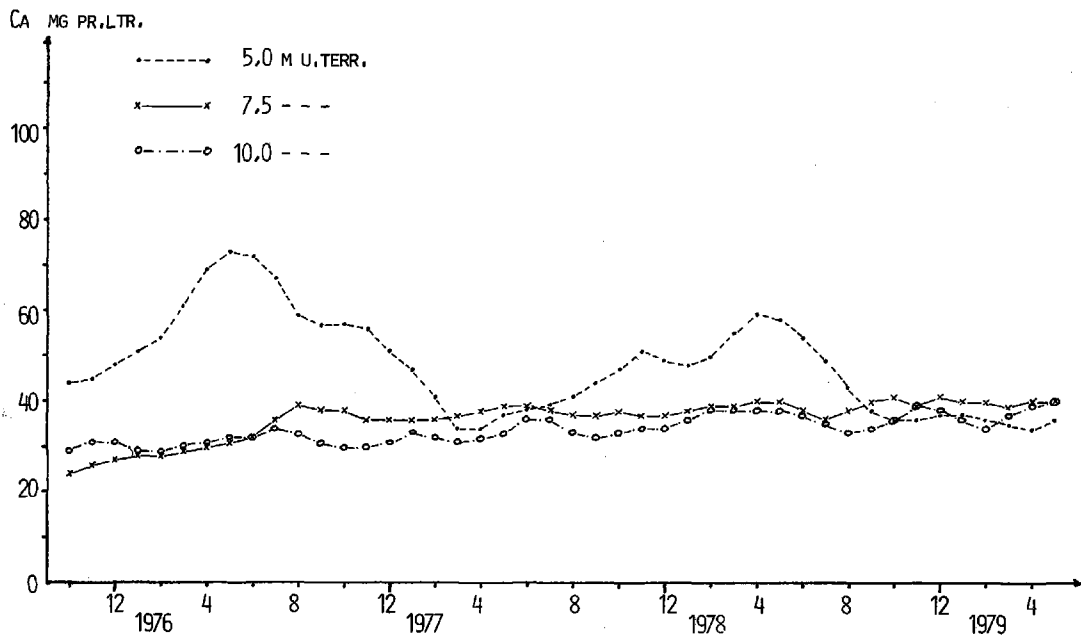
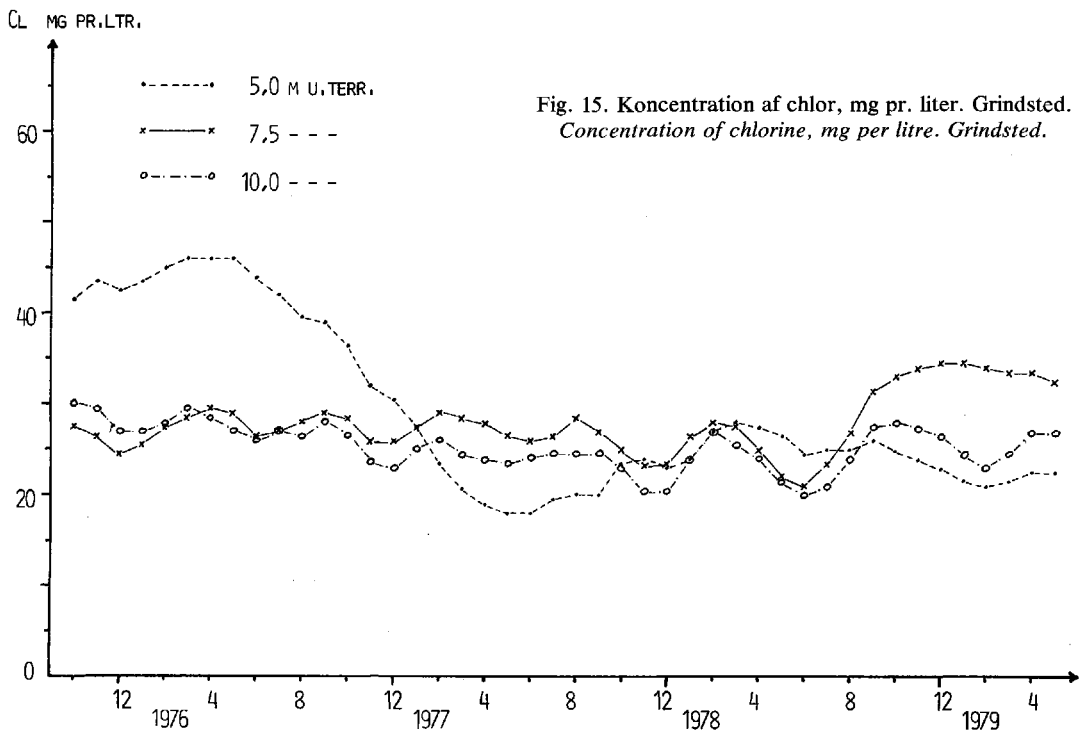
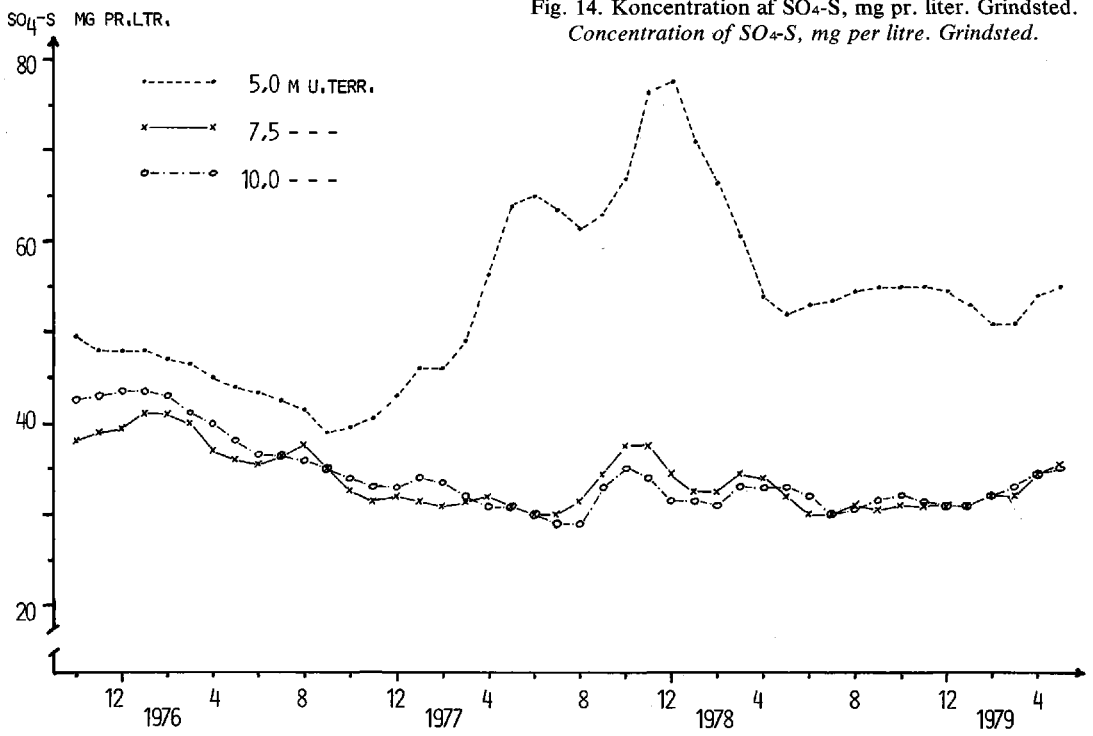


Fig. 13. Koncentration af calcium, mg pr. liter. Grindsted.  
 Concentration of calcium, mg per litre. Grindsted.



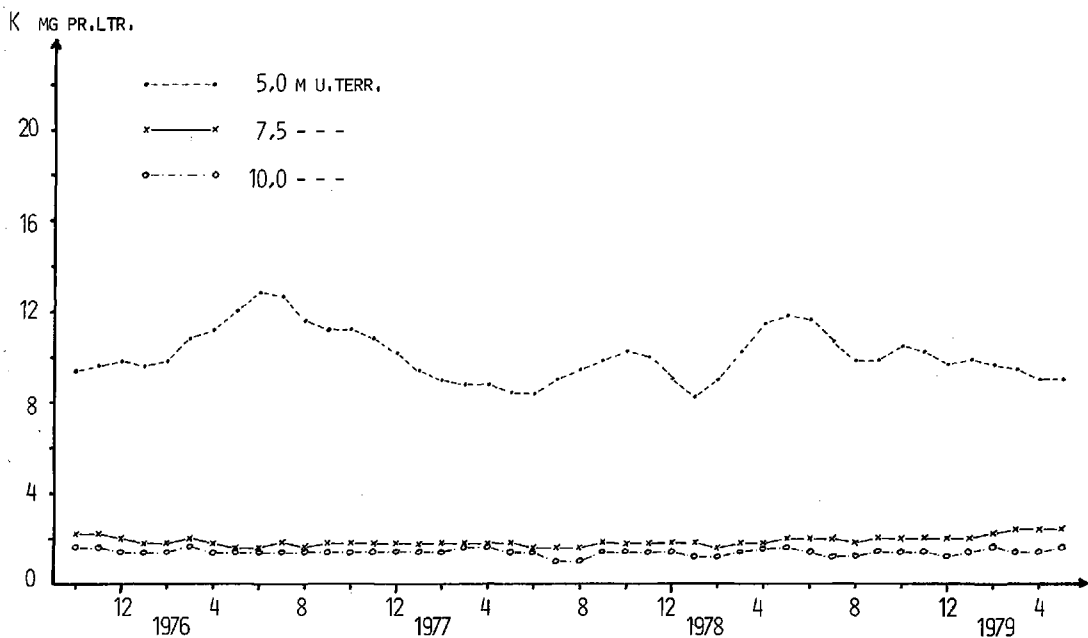


Fig. 16. Koncentration af kalium, mg pr. liter. Grindsted.  
Concentration of potassium, mg per litre. Grindsted.

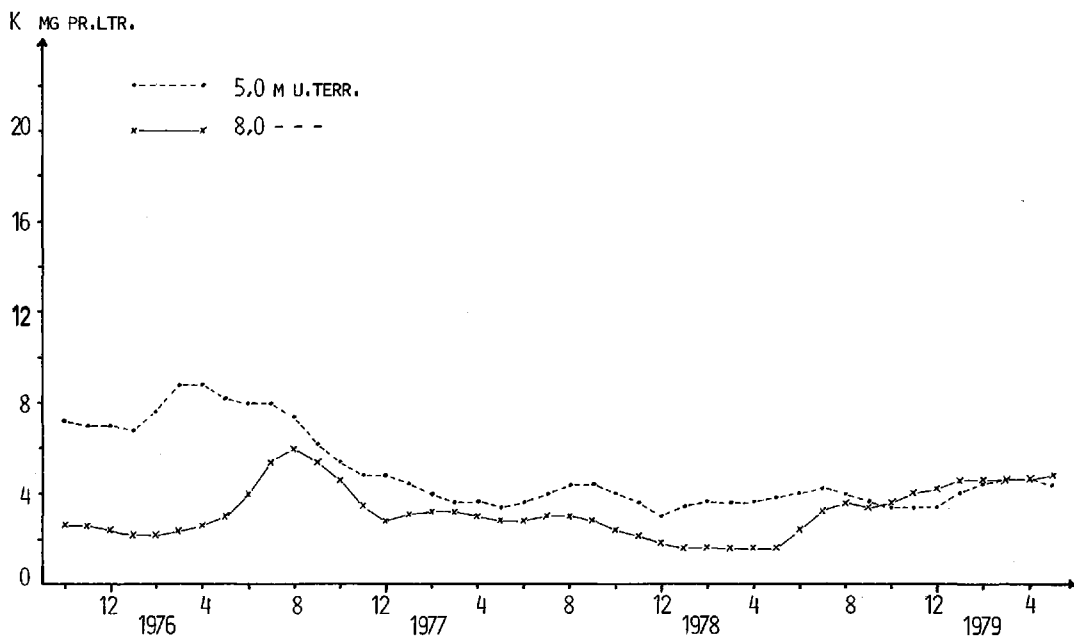


Fig. 17. Koncentration af kalium, mg pr. liter. Ribe.  
Concentration of potassium, mg per litre. Ribe.

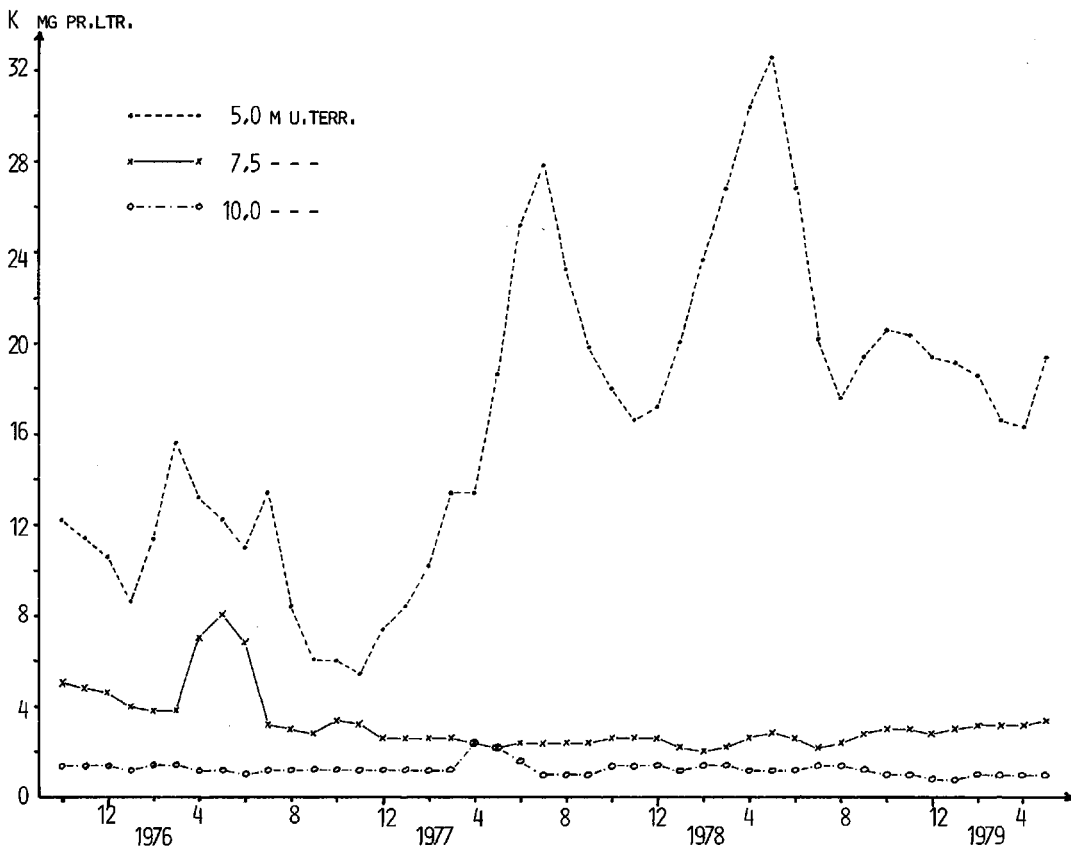


Fig. 18. Koncentration af kalium, mg pr. liter. Over Jerstal.  
 Concentration of potassium, mg per litre. Over Jerstal.

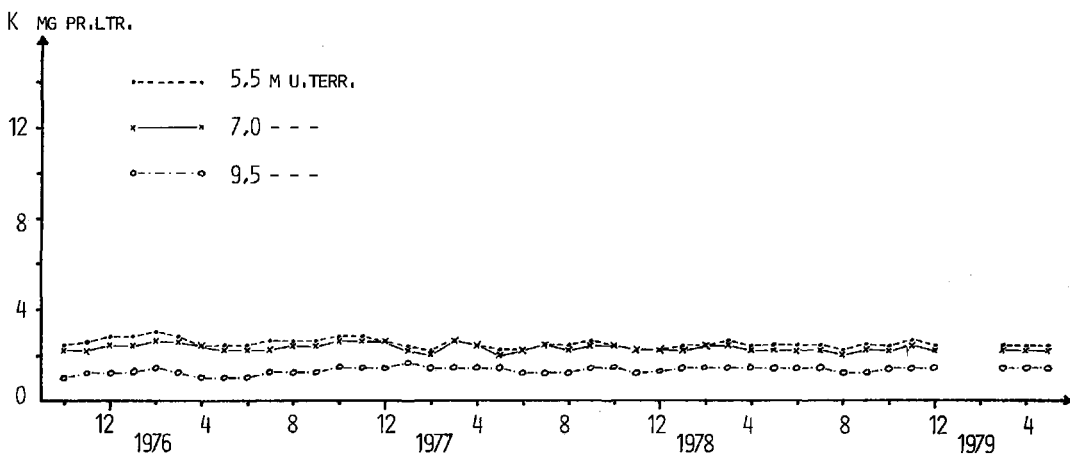


Fig. 19. Koncentration af kalium, mg pr. liter. Jyndeved.  
 Concentration of potassium, mg per litre. Jyndeved.



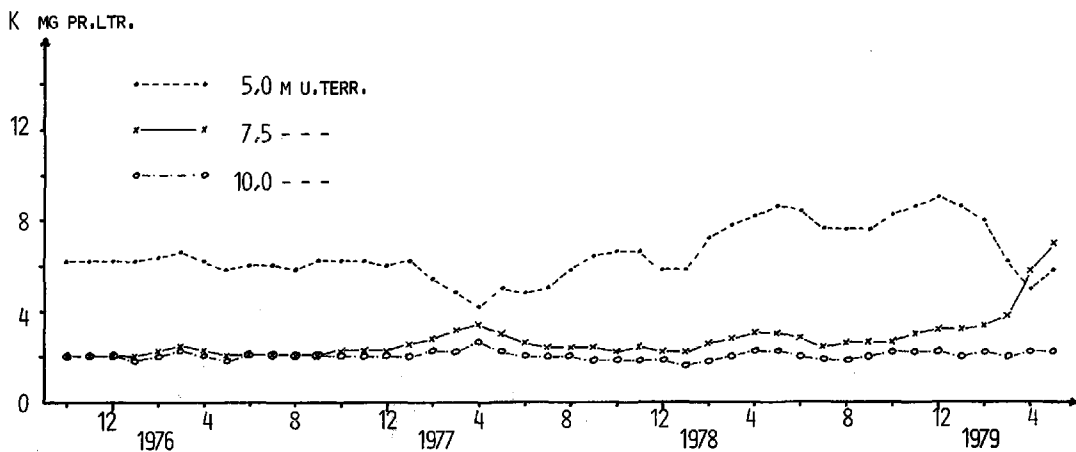


Fig. 20. Koncentration af kalium, mg pr. liter. Fjølsterøng.  
 Concentration of potassium, mg per litre. Fjølsterøng.

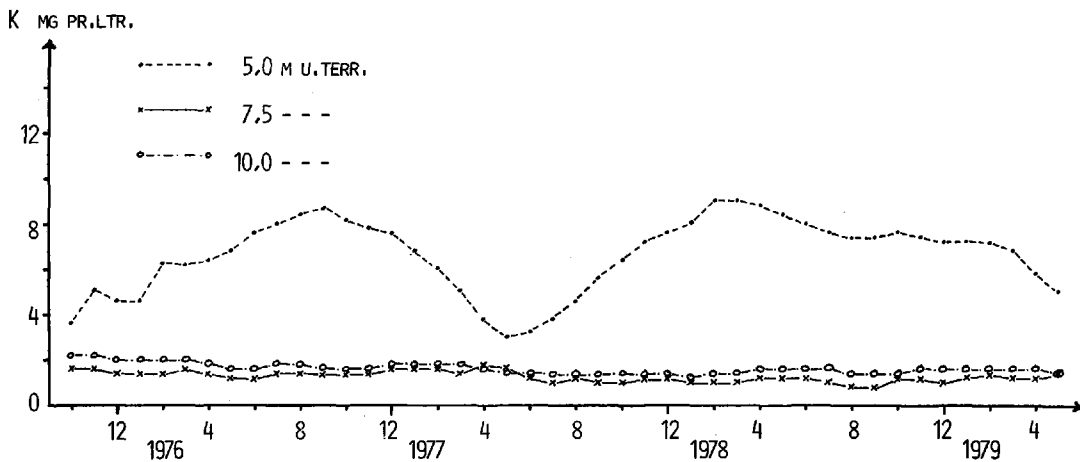


Fig. 21. Koncentration af kalium, mg pr. liter. Lyne.  
 Concentration of potassium, mg per litre. Lyne.

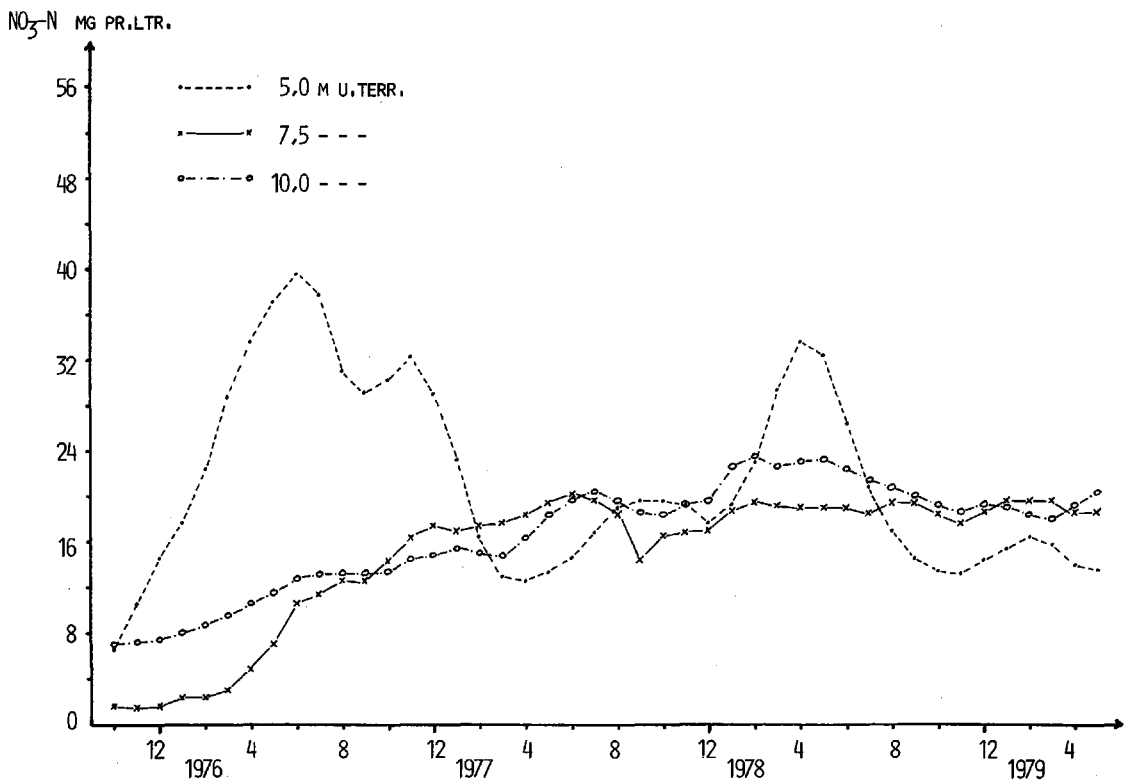


Fig. 22. Koncentration af nitrat-N, mg pr. liter. Grindsted.  
 Concentration of nitrate-N, mg per litre. Grindsted.

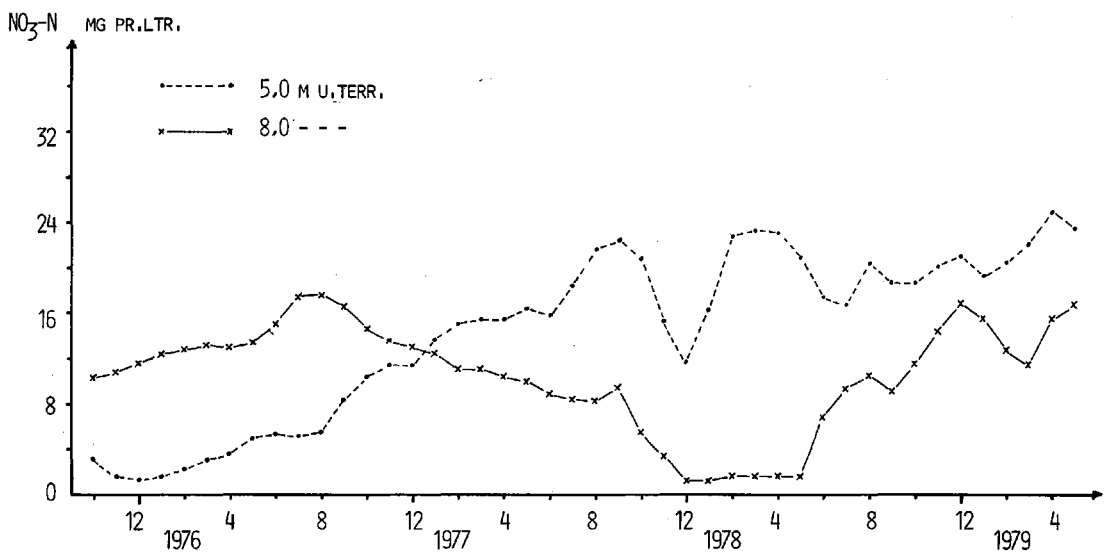


Fig. 23. Koncentration af nitrat-N, mg pr. liter. Ribe.  
 Concentration of nitrate-N, mg per litre. Ribe.

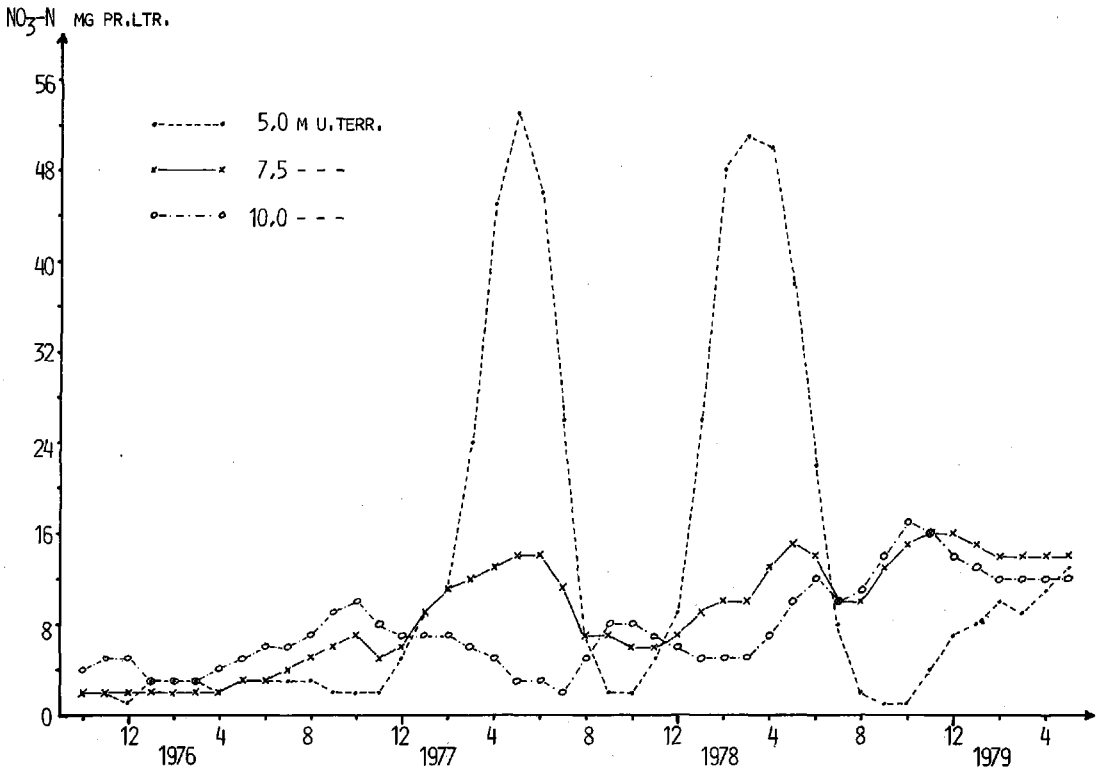


Fig. 24. Koncentration af nitrat-N, mg pr. liter. Over Jerstal.  
Concentration of nitrate-N, mg per litre. Over Jerstal.

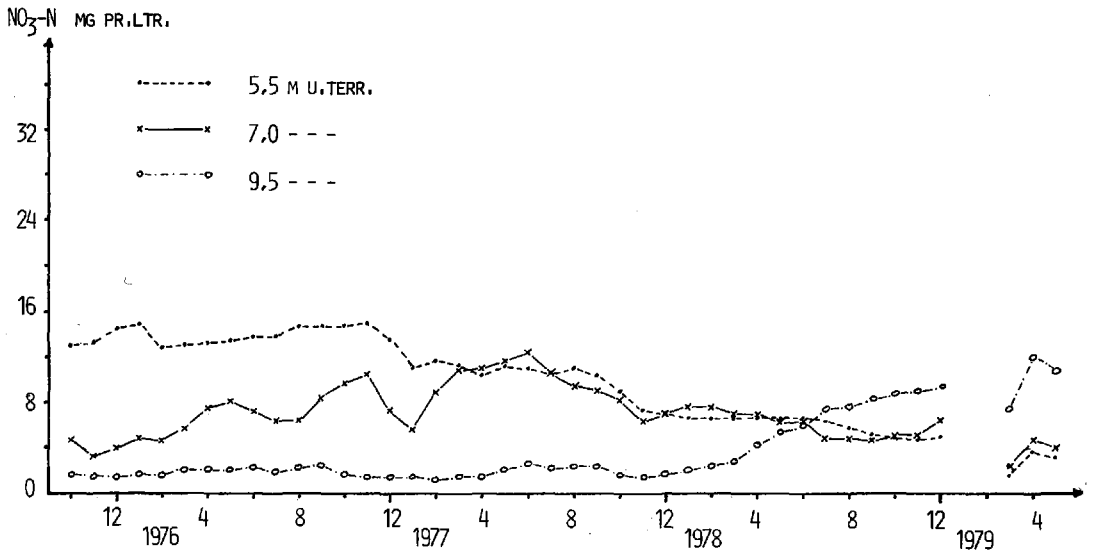


Fig. 25. Koncentration af nitrat-N, mg pr. liter. Jynde vad.  
Concentration of nitrate-N, mg per litre. Jynde vad.

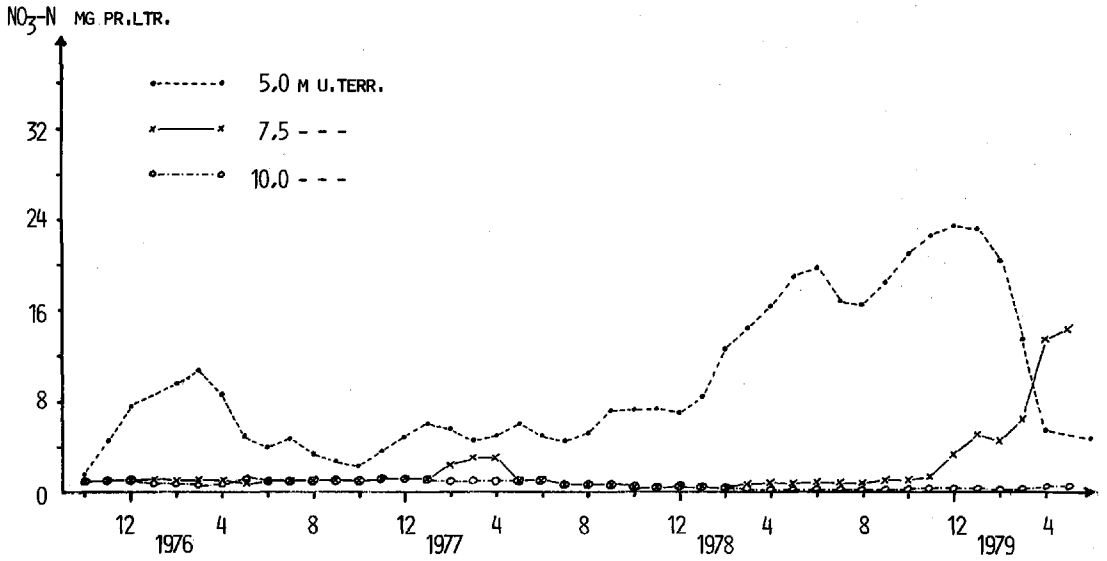


Fig. 26. Koncentration af nitrat-N, mg pr. liter. Fjølsterøng.  
 Concentration of nitrate-N, mg per litre. Fjølsterøng.

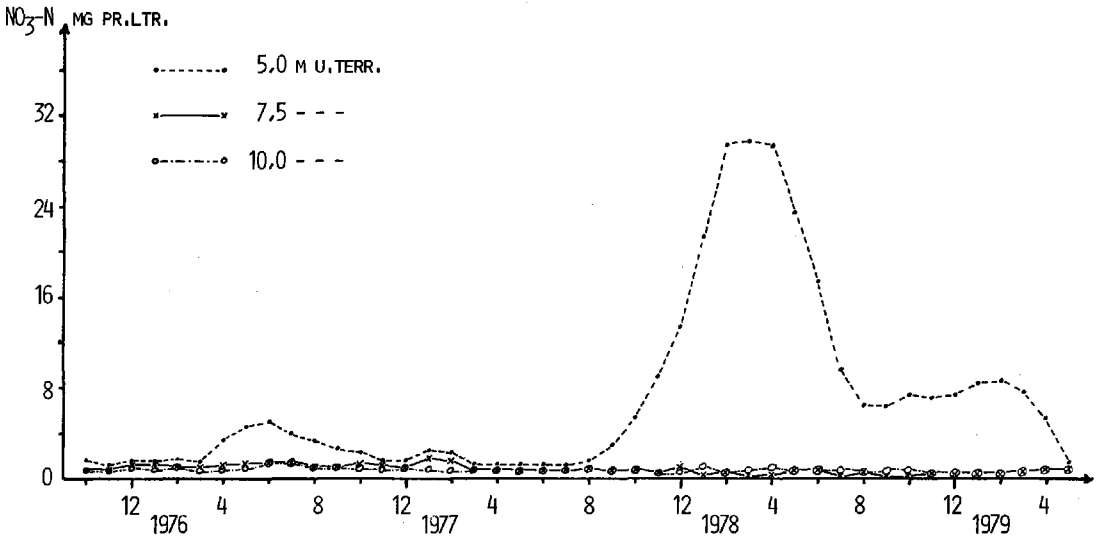


Fig. 27. Koncentration af nitrat-N, mg pr. liter. Lyne.  
 Concentration of nitrate-N, mg per litre. Lyne.

## 9. Diskussion

Undersøgelser af næringsstofindhold i grundvand på sandjord med højtliggende grundvand blev foretaget som en parallel til de systematiske drænvandsundersøgelser, der blev påbegyndt i 1971. Undersøgelser af næringsstofindholdet i højtliggende grundvand med prøveudtagning på samme lokalitet i en flerårig periode er ikke tidligere foretaget under danske forhold. Resultater af de her omtalte undersøgelser viser næringsstofindholdet i grundvandet på de undersøgte lokaliteter og den variation i koncentrationen, der har været i perioden.

Tages gennemsnit af 4 år, 6 lokaliteter og 3 grundvandsdybder, indgår ca. 1.800 enkeltanalyser, som karakteriserer kvaliteten af det højtliggende grundvand under sandjord. Tallene fremgår af tabel 5, hvor der er foretaget en sammenligning med drænvandskvaliteten på 15 lerjorde over 6 år (Hansen, 1977). Desuden er vist resultater af analyser af jordvand på sandjord i 6 år og 9 dybder (Simmelsgaard, 1980).

Grundvandet under sandjord har relativt lavt pH på 5,8. Koncentrationen af kalium (K) og nitrat-kvælstof (NO<sub>3</sub>-N) er væsentlig lavere i grundvand end i jordvandet ovenover. For de

øvrige stoffer er koncentrationen meget nær ens i grundvand og jordvand.

Sammenlignes grundvand under sandjord med drænvand fra lerjord, ses, at pH er væsentlig højere i drænvand, nemlig 7,1. Kaliumkoncentrationen er væsentlig lavere i drænvand end i grundvand. Koncentrationen af nitrat-kvælstof (NO<sub>3</sub>-N) er dobbelt så høj i drænvand fra lerjorde som i grundvand under sandjorde.

Fosfor (P) findes kun i små mængder opløst i grundvand – fra 0 til 0,2 mg pr. liter. Det samme er tilfældet i jordvand og drænvand fra lerjorde.

Kalium (K) er let opløseligt i vand og bindes kun i ringe grad til jordpartiklerne på sandjord. Koncentrationen af kalium i grundvand er betydelig højere end i drænvand. Det gælder især for grundvand i 5,0 m dybde, idet koncentrationerne aftager i dybderne 7,5 og 10,0 m.

Nitrat-kvælstof (NO<sub>3</sub>-N) er let opløseligt i vand og frit bevægeligt med jordvæsken. Koncentrationen af NO<sub>3</sub>-N er i reglen højst i de øverste jord- og grundvandslag og faldende med dybden. Danske undersøgelser (Bennetzen, 1978 og Simmelsgaard, 1980) viser, at NO<sub>3</sub>-N koncentrationen i grundvand på sandjord aftager stærkt ved 2–3 m dybde og er 1,5 mg pr. liter ved 10,0 m dybde.

Tabel 5. Kvalitet af jordvand, grundvand og drænvand, mg pr. liter  
*Quality of soil water, ground water and drainage water, mg per litre*

	Sandjord Jordvand 2000 prøver* <i>Sandy soil Soil water 2000 samples</i>	Sandjord Grundvand 1800 prøver <i>Sandy soil Ground water 1800 samples</i>	Lerjord Drænvand 4000 prøver** <i>Loamy soil Drainage water 4000 samples</i>
pH .....	6,3	5,8	7,1
NH <sub>4</sub> -N .....		1,8	0,06
P .....	0,04	0,1	0,04
Na .....	12	16	13
K .....	12	4	1
Mg .....	4	5	6
Ca .....	41	46	107
NO <sub>3</sub> -N .....	15	9	19
SO <sub>4</sub> -S .....	13	15	24
Cl .....	35	34	43
HCO <sub>3</sub> .....	35	76	159

\*Simmelsgaard, 1980 \*\*L. Hansen, 1977

De 6 lokaliteter viser alle store variationer gennem undersøgelsesperioden. Koncentrationen af kvælstof i grundvand vil afhænge af jordtypen.

I de fleste lerjorde vil koncentrationen af  $\text{NO}_3\text{-N}$  i grundvand være meget lille. I lerjord ved Åbenrå finder Bennetzen (1978) koncentrationer på 1–2 mg  $\text{NO}_3\text{-N}$  pr. liter i dybden 3,2 m og nedefter. Det skyldes lerjordens reducerende evne, idet der sker en denitrifikation af den nitrat, der føres gennem jorden til det dybere liggende grundvand (Lind & Pedersen, 1976).

Sandjorden har ikke de samme reducerende egenskaber, og nitrat bevæger sig frit med overskudsnedbøren til de øverste grundvandslag. Undersøgelserne viser, at koncentrationen aftager betydeligt fra 5,0 til 7,5 og 10,0 m dybde. Nitrat reduceres nok i nogen grad, idet koncentrationen oftest er lavere i 7,5 og 10,0 m dybde. På bakkeøssand indeholder grundvandet i disse dybder jernforbindelser, der er medvirkende i reduktionsprocessen.

Afgrøde og nedbørsforhold har stor betydning for mængden af  $\text{NO}_3\text{-N}$ , der udvaskes fra pløjelaget. Kornafgrøder med kort voksetid giver større mulighed for udvaskning end græs, der er i vækst en større del af året.

Store nedbørsmængder uden for vækstperioden øger faren for udvaskning. Den kraftige nedbør i sidste kvartal i 1977 og første kvartal i 1978 var nok medvirkende til de høje nitratkoncentrationer i 5 m dybde på alle lokaliteter (fig. 22–27).

Lokaliteterne ved Over Jerstal viser 2 perioder med høje koncentrationer (fig. 24). De høje koncentrationer i 1976–77 kan skyldes for dårlig udnyttelse af staldgødning til kartofler i 1976, hvor nedbøren i vækstperioden var langt under det normale. Vanding i vækstperioden har sandsynligvis ikke givet anledning til en større omsætning af staldgødningen. Den store nedbør sidst i 1976 og i første og andet kvartal af 1977 har givet betingelse for omsætning af det organiske materiale og udvaskning af  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Ved Grindsted (fig. 22) er der høje koncentrationer i 5 m dybde i 1976. Det skyldes sandsynligvis en dårlig udnyttelse af kvælstoffet i den tørre sommer i 1975 sammen med en for stor dosering af kvælstofgødning.

## 10. Konklusion

Kvælstof, fosfor og kali er de næringsstoffer, der tilføres jorden i størst mængde, og det er disse stoffer, der har størst interesse med hensyn til udvaskning fra pløjelaget.

Grundvandets indhold af fosfor er lavt – fra 0–0,2 mg pr. liter. Kalium og nitrat-kvælstof findes i varierende koncentrationer i grundvandet. Det gælder generelt for disse stoffer, at koncentrationerne er aftagende med udtagingsdybden. Koncentrationen af kalium i højtliggende grundvand på sandjord varierer fra lokalitet til lokalitet og er højere end de koncentrationer, der konstateres i drænvand fra lerjord.  $\text{NO}_3\text{-N}$  er det næringsstof i grundvandet, der viser størst variation fra lokalitet til lokalitet og fra år til år. Generelt kan siges, at koncentrationen af  $\text{NO}_3\text{-N}$  aftager med prøveudtagingsdybden. Undersøgelsen klarlægger ikke årsagerne til variationerne i  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrationen fra lokalitet til lokalitet og fra år til år, men observationer tyder dog på, at en væsentlig årsag ligger i samspillet mellem nedbør, afgrøde og N-gødskning.

Store nedbørsmængder på ubevokset jord betinger en særlig stor udvaskning. Afgrøder med kort vækstsæson betinger større udvaskning end afgrøder, der er i vækst det meste af året.

Normalt vil tilført N-gødning blive brugt af afgrøden i vækstsæsonen, men under en tør vækstperiode med dårlig vækst eller ved for stor tilførsel af husdyrgødning til rodfrugter kan der efterlades en del af den tilførte kvælstof i jorden med fare for udvaskning til grundvandet.

## 11. Erkendtlighed

Grundvandsundersøgelserne er gennemført med hjælp fra mange sider.

Der bringes en tak til de enkelte lodsejere, der vederlagsfrit har stillet arealer til rådighed for undersøgelsen, samt til Det danske Hedeselskabs lokalkontorer for hjælp ved udvælgelse af sandjordsarealer med høj grundvandsstand.

Lokale prøveudtagere takkes for værdifuld hjælp ved prøveudtagning og tilsyn.

## 12. Litteratur

- Andersen, L. J., Kelstrup, N. & Kristiansen, H.*, 1976: Chemical profiles in the Karup watertable aquifer, Denmark. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Bennetzen, F.*, 1978: Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. I. Introduktion om plantenæringsstoffer og vandforurening med beskrivelse af forsøgsarealerne. Tidsskr. Planteavl 82, 81-99.
- Bennetzen, F.*, 1978: Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. II. Teknik og metoder. Tidsskr. Planteavl 82, 173-189.
- Bennetzen, F.*, 1978: Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. III. Modeller og resultater. Tidsskr. Planteavl 82, 191-222.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G.*, 1978: Förluster av växtnäring från åker. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Ekohydrologi 1, 1-60.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G.*, 1979: Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Ekohydrologi 4, 7-57.
- Christensen, W.*, 1970: Nitrat i overfladevand og grundvand. Hedeselskabets Tidsskr. 91, 50-60.
- Forureningsrådet*, 1971: Plantenæringsstoffer. Publikation nr. 16.
- Hansen, L. & Pedersen, E. F.*, 1975: Drænvandsundersøgelser 1971-74. Tidsskr. Planteavl 79, 670-688.
- Hansen, L.*, 1977: Vandbalance og kvælstofbalance. Statens Planteavlsmøde 1977, 20-25.
- Kristiansen, H.*, 1980: Nitrat og jern i grundvand. Vandteknik 48, 119-124.
- Lind, A. M. & Pedersen, M. B.*, 1976: Nitrate in the subsoil. III. Nitrate reduction experiments with subsoil samples. Tidsskr. Planteavl 89, 100-106.
- Simmelsgaard, Sv. E.*, 1980: Transport af næringsstoffer til dræn og undergrund i relation til vandbalance. Statens Planteavlsmøde 1977, 8-13.

Manuskript modtaget den 25. juni 1982.