

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Oslo

O-80006-04

FORSURING AV GRUNNVANN

16. desember 1981

Hovedforfatter : Arne Henriksen
Medforfatter : *Lars Kirkhusmo (NGU)*

For administra-
sjonen : J.E. Samdal
Lars N. Overrein

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: O-80006-04
Undernummer:
Løpenummer: 1347
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: FORSURING AV GRUNNVANN	Dato: 23.12.1981
Forfatter(e): Arne Henriksen Lars Kirkhusmo (NGU)	Prosjektnummer: O-80006-04
	Faggruppe: Kjemi- og indu- striseksjon
	Geografisk område: Hele Norge
	Antall sider (inkl. bilag):

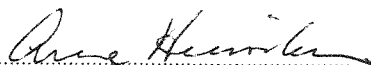
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Det er opprettet en stasjon for overvåking av eventuell for-
suring utvikling i grunnvann i løsavsetninger i eller nær hvert av
de feltforskningsområder som inngår i det statlige programmet for
overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør og deres
virkninger, og som administreres av Statens forurensningstilsyn
(SFT). Resultatene fra ett års prøvetaking tyder på at i de områ-
der der overflatevannet er forsuret er også de øvre deler av
grunnvannet forsuret, men ikke i samme grad som overflatevannet.
Dette bilde fremgår også av en sammenlikning av kjemiske vannkvali-
tetsdata fra et utvalg innsjøer og nærliggende grunnvannslokalite-
ter fra landsomfattende grunnvannsnett (LGN).

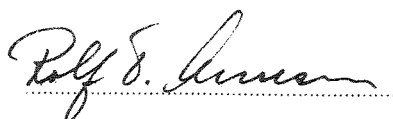
4 emneord, norske:
1. Overvåking
2. Forurenset nedbør
3. Grunnvann
4. Forsuring
St. Fourensningstilsyn

4 emneord, engelske:
1. Monitoring
2. Acid precipitation
3. Ground water
4. Acidification

Prosjektleder:

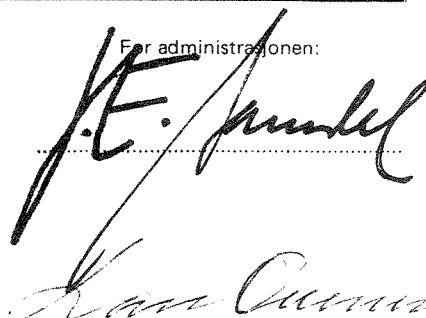


Seksjonsleder:



ISBN 82-577-0453-9

For administrasjonen:



INNHOOLD

	Side
1. INNLEDNING	6
2. LANDSOMFATTENDE GRUNNVANNSNETT (LGN)	7
3. OVERVÅKING AV GRUNNVANN	9
4. GRUNNVANNSOVERVÅKING I FELTFORSKNINGSOMRÅDENE	10
4.1 Birkenes (BIG01, LGN2)	11
4.2 Åmli, Stigvassåi (AMG01, LGN3)	11
4.3 Langvassli, Gulsvik (LAG01, LGN21)	11
4.4 Todalen, Kårvatn (KAG01, LGN46)	11
4.5 Prøvetaking og analyse	15
5. RESULTATER OG DISKUSJON	15
5.1 Sammenlikning av overflatevann og grunnvann	15
5.2 Forsuring av ferskvann	20
5.3 Regional sammenlikning av overflatevann og grunnvann	21
5.4 Overflatevann og grunnvann i feltforskningsområdene	25
5.5 Variasjoner i kjemisk sammensetning 1980-81 i grunnvann i feltforskningsområdene	32
6. SAMMENDRAG	39
7. LITTERATUR	41
APPENDIKS	43
Tabell 5	45
Tabell 6	47
Tabell 7	49

FIGURER

Fig. 1. Landsomfattende grunnvannsnett. Stasjonsplassering	8
Fig. 2. Lokalisering av grunnvannstasjonene tilknyttet feltforskningsområdene	12

FIGURER forts. ...	Side
Fig. 3. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann i Sierra Nevada, U.S.A. (Feth et al. 1964). Grunnvannet representerer middelerverdier fra 15 temporære kilder. Overflatevannet representerer middelerverdier fra et ikke spesifisert antall bekker i samme geologiske område	16
Fig. 4.1-4.14. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann fra 14 lokaliteter i Norge. Grunnvannet er fra LGN's stasjonsnett. Overflatevannet er fra SNSF-prosjektet 1974-78 og SFT's regionale undersøkelser i 1981. (Se tabell 3 og 4). Alle akser i $\mu\text{ekv/l}$	18-20
Fig. 5. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann basert på middelerverdier fra LGN-stasjonene 2,3,4,9,20,24,31,37 og 38 og deres sammenhørende innsjøer (tabell 3)	22
Fig. 6. Frekvensfordelingsdiagrammer for konduktivitet, kalsium og pH i 14 grunn- og overflatevannslokaliteter (datagrunnlag i tabell 4)	24
Fig. 7. LGN-stasjoner prøvetatt høsten 1980	26
Fig. 8. pH-verdier i grunnvann	27
Fig. 9. Konsentrasjoner av ikke-marin sulfat i grunnvann	28
Fig. 10. Kalsiumkonsentrasjoner i grunnvann	29
Fig. 11. Kloridkonsentrasjoner i grunnvann	30
Fig. 12. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann i feltforskningsområdene. Dataene fra begge vann typer er basert på middelerverdier for perioden september 1980 - juni 1981. Alle akser i $\mu\text{ekv/l}$	31
Fig. 13. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Birkenes	34

FIGURER forts. ...	Side
Fig. 14. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Åmli (Stigvassåi)	34
Fig. 15. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Langvasslia	35
Fig. 16. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Todalen	35
Fig. 17. Sammenlikning av grunnvann i Langvasslia (LAG01) og utløp av Langtjern (LAE01) for perioden mai 1980 - september 1981. Dataene fra LAE01 er prøver tatt samme eller nærmeste dato som prøvene fra LAG01	36
Fig. 18. Sammenlikning av grunnvann i Birkenes (BIG01) med avrenningsvann i Birkenes feltforskningsområde (BIE01) for perioden oktober 1980 - september 1981. Dataene fra BIE01 er fra prøver tatt samme eller nærmeste dato som prøvene fra BIG01	37
Fig. 19. Sammenlikning av grunnvann (kilde KAG01) i Todalen med vannet i Nauståa samme sted for perioden september 1980 - september 1981. Dataene fra KAE01 er fra prøver tatt samme eller nærmeste dato som prøvene fra KAG01	38

TABELLER

Tabell 1. Veide årlige middelkonsentrasjoner (1978) i nedbør og i avrenningsvann for to elver på Vestlandet. Begge nedbørfelter har granittisk berggrunn og sparsomt jorddekke (Skartveit et al. 1979)	6
Tabell 2. Karakterisering av grunnvannstasjonene tilknyttet feltforskningsområdene	10
Tabell 3. Innsjøer og grunnvannslokaliteter for sammenlikning av kjemisk vannkvalitet	14

TABELLER forts. ...	Side
Tabell 4. Kjemisk sammensetning av grunnvann og overflatevann, datagrunnlag for fig. 4.1-4.14. Se også tabell 3 for identifikasjon av innsjøer	14
Tabell 5. Analysedata for 1980-81 fra overvåking av grunnvann i tilknytning til feltforskningsområdene	45
Tabell 6. Middelerverdier, standardavvik, maksimums- og minimumsverdier av de målte variable for grunnvann og overflatevann i feltforskningsområdene	47
Tabell 7. Analysedata fra landsomfattende grunnvannnett (LGN) november-desember 1980	49

1. INNLEDNING

Grunnvannets kjemiske sammensetning er bestemt av en rekke faktorer. Nedbør er vann i likevekt med atmosfærens gasser og inneholder oppløste og partikulære stoffer som er tatt opp under vandrdråpenes passasje gjennom atmosfæren. Den delen av nedbøren som faller direkte på vannflaten i innsjøer og elver er oftest en liten del av nedbørmengden i et gitt nedbørfelt. Mesteparten av nedbøren passerer fjell og løsavsetning og angriper mineralene fysisk og kjemisk og nedbørvannets kjemiske sammensetning blir sterkt forandret. Selv i vann med kort oppholdstid som ligger i områder med granitt og gneiss er den kjemiske sammensetning sterkt endret i forhold til nedbøren for noen komponenter, selv om den totale ionekonsentrasjonen ikke behøver å endre seg vesentlig (tabell 1).

Tabell 1. Veide årlige middelkonsentrasjoner (1978) i nedbør og i avrenningsvann for to elver på Vestlandet. Begge nedbørfelter har granittisk berggrunn og sparsomt jorddekke (Skartveit et al. 1979).

Ion	Nauståa		Dyrdalsbekken	
	Konsentrasjoner, $\mu\text{ekv/l}$		Konsentrasjoner, $\mu\text{ekv/l}$	
	Nedbør	Avrenning	Nedbør	Avrenning
NH ₄	6	1	15	1
H ⁺	15	1	29	5
Ca ²⁺	6	20	7	36
Mg ²⁺	10	13	30	39
Na ⁺	42	39	123	113
K ⁺	3	3	3	11
Al ³⁺	0	3	0	5
Cl ⁻	50	41	143	141
HCO ₃ ⁻	0	16	0	0
SO ₄ ²⁻	15	13	46	45
NO ₃ ⁻	5	1	12	5
Ionesum	152	151	408	401

Det er nå velkjent at i store deler av Sør-Norge og de sørvestlige deler av Sverige er overflatevannet tildels sterkt forsuret (Overrein et al. 1981, Statens Naturvårdsverk (SNV) 1981). I sørvest-Sverige kan en også spore en tilsvarende forsuring i grunnvannet (SNV 1981), men den er mindre utpreget fordi grunnvannet oftest finnes på forskjellige dyp. En antar at en direkte forsuring har funnet sted i gravede brønner og i naturlige kilder i grovkornede jordarter (grus og sand). I de kommunale grunnvannsforsyninger i sør-Sverige er det påvist kjemiske endringer som en antar viser de pågående forsuringprosesser: avtagende alkalitet og økende hardhet (kalsium) er registrert i flere tilfeller (SNV 1981). Surt grunnvann kan gi høyt innhold av tungmetaller, først og fremst kobber i springvannet på grunn av ledningskorrosjon.

2. LANDSOMFATTENDE GRUNNVANNSNETT (LGN)

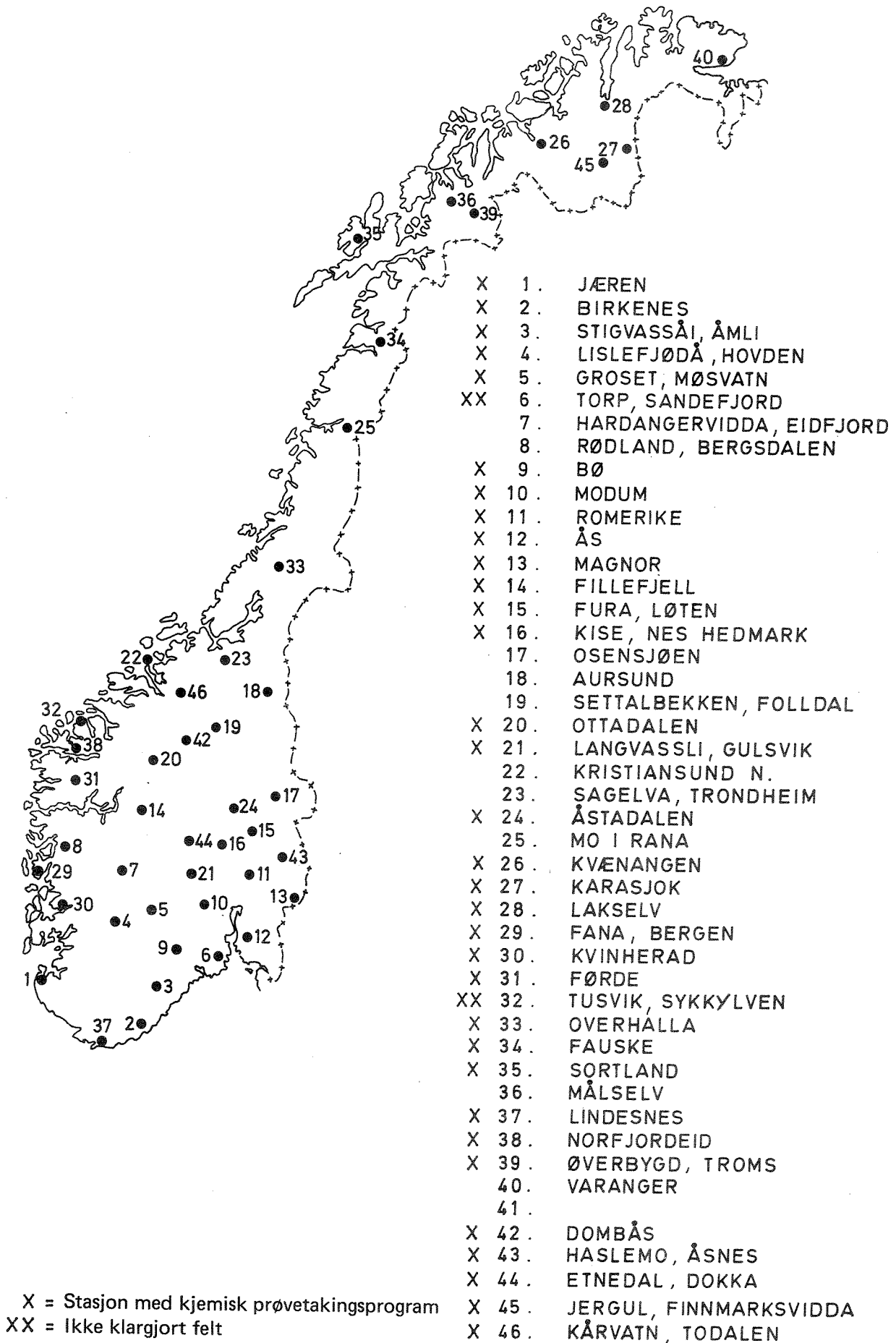
Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) er et samarbeidsprosjekt mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE), og støttes økonomisk av Miljøverndepartementet gjennom Statens forurensningstilsyn (SFT) og av Norsk hydrologisk komité. Prosjektet ble satt i gang 1. april 1977 med 2 ansatte. Frem til i dag har prosjektet koordinert virksomheten som forskjellige institusjoner har drevet innenfor grunnvannsektoren og vurdert disse for tilpasning til LGN. Et omfattende stasjonsnett er nå bygget opp over hele Norge (fig. 1).

Prosjektets formål er å utrede geologiske, hydrologiske og klimatiske faktorerens betydning for grunnvannsdannelsen. Dets oppgave er å studere og vurdere kvantitative og kvalitative grunnvannsvariasjoner i ulike geologiske, topografiske og klimatiske omgivelser.

Resultatene fra prosjektet vil blant annet ha betydning for overvåking av naturtilstanden kvantitativt og kvalitativt, vurdering av tilgjengelige vannressurser for planlegging og

Fig. 1. Landsomfattende grunnvannsnett. Stasjonsplassering.

STASJONSNETT PR. 1/10 - 81



utnyttelse av arealer, gi bakgrunnsdata for rettsavgjørelser innen grunnvannsaker og vannforsyning og gi bakgrunnsdata for forskningsprosjekter av forskjellig art.

En systematisk bearbeidelse av dataene vil blant annet vise grunnvannstandens og grunnvannskjemiens årstidsvariasjoner og variasjonsmønster og geologiens betydning for dette variasjonsmønster.

LGN's data vil bli brukt som referansedata i en rekke prosjekter, foruten at LGN går inn i et aktivt samarbeid med institusjoner, innenlands og utenlands. I sammenheng med det statlige overvåkingsprogram av forurenset nedbør og dens virkninger, som SFT administrerer, er det opprettet et samarbeid mellom LGN og NIVA når det gjelder virkning av forurenset nedbør på grunnvannets kjemiske kvalitet.

3. OVERVÅKING AV GRUNNVANN

Det statlige program for overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør, der program for overvåking av overflatevann inngår som en egen del, er beskrevet i egen rapport (SFT, 1981). Det kjemiske overvåkingsprogrammet er delt i tre deler:

1. Overvåking i fem feltforskningsområder; Birkenes i Aust-Agder, Storgama i Telemark, Langtjern i Buskerud, Todalen i Møre og Romsdal og Jergul i Finnmark.
2. Overvåking av 20 elver fra Buskerud til Nord-Trøndelag.
3. Overvåking av små og store sjøer i sør-Norge hvert tredje år.

Programmet ble startet i 1980.

I brev av 28/5-1980 ble NIVA av Statens forurensningstilsyn (SFT) anmodet om "i samarbeid med NGU å utarbeide et forslag til overvåking av grunnvann i eller nær de aktuelle feltforskningsområdene. I programmet bør inngå forslag til basisundersøkelser og kontinuerlig overvåking ---".

I "programforslag for grunnvannsovervåking i feltforskningsområdene" av 15/7-1980 ble det foreslått å gjennomføre to basisundersøkelser:

1. Prøvetaking 1 gang pr. måned i grunnvannslokaliteter i eller nær de 5 feltforskningsområdene for å vurdere prøvetakingstidspunkt og prøvetakingsfrekvens for det endelige overvåkingsprogram.
2. Sammenlikne kjemisk vannkvalitet i grunnvannsnettets lokaliteter med den en finner i overflatevann i de samme og/eller nærliggende områder i den utstrekning det finnes tilgjengelige data.

Begge disse undersøkelser ville gi et første grunnlag for å vurdere dagens situasjon i Norge når det gjelder forsuring av grunnvann, og denne rapport vil presentere og diskutere dataene fra disse undersøkelser.

4. GRUNNVANNSOVERVÅKING I FELTFORSKNINGSOMRÅDENE

De 5 feltforskningsområdene er som nevnt Birkenes, Storgama, Langtjern, Todalen og Jergul. Grunnvannsnettets stasjoner, Birkenes (LGN 2) og Åmli (LGN 3) ble valgt til å representere henholdsvis Birkenes og Storgama feltforskningsområder.

I Todalen ble det funnet en naturlig kilde innen nedbørfeltet. En grunnvannsstasjon er etablert i Langvasslia nær Langtjern. En grunnvannsstasjon er under utbygging i Jergul og ventes klar i 1982.

Tabell 2. Karakterisering av grunnvannstasjonene tilknyttet feltforskningsområdene

EDB-kode	LGN nr.	Navn	Kartblad	UTM-koordinater		Kommune	Stasjonstype	Reservoar type
				X	Y			
BIG01	2	BIRKENES	1511 I	556	624	BIRKENES	SANDSPISS	FRITT
AMG01	3	ÅMLI, STIGVASSÅI	1612 IV	720	127	ÅMLI	SANDSPISS	FRITT
LAG01	21	LANGVASSLI, GULSVIK	1715 I	408	966	FLÅ	SANDSPISS	FRITT
KAG01	46	TODALEN, KÅRVATN	1420 I	948	615	SURNADAL	KILDE	FRITT

I Birkenes og Åmli ligger grunnvannstanden ca. 3.5 m under terreng og i Langvassli ca. 0.5 m under terreng. I Birkenes og Åmli tas prøvene fra 5-6 m under terreng, og i Langvassli fra 0.75-1.75 m under terreng.

Nedenfor er gitt en kort beskrivelse av bergartstypen innen nedbørfeltet for hver grunnvannsstasjon. I tillegg er løsmassetypen angitt der prøvetakingsrøret er plassert.

4.1 Birkenes (BIG01, LGN2)

Berggrunnen består av båndete og granittiske gneiser. Prøvetakingsrøret er plassert i glasifluviale sand- og grusavsetninger.

4.2 Åmli, Stigvassåi (AMG01, LGN3)

Her er berggrunnen granittiske bergarter. Også her er prøvetakingsrøret plassert i glasifluviale sand- og grusavsetninger.

4.3 Langvassli, Gulsvik (LAG01, LGN21)

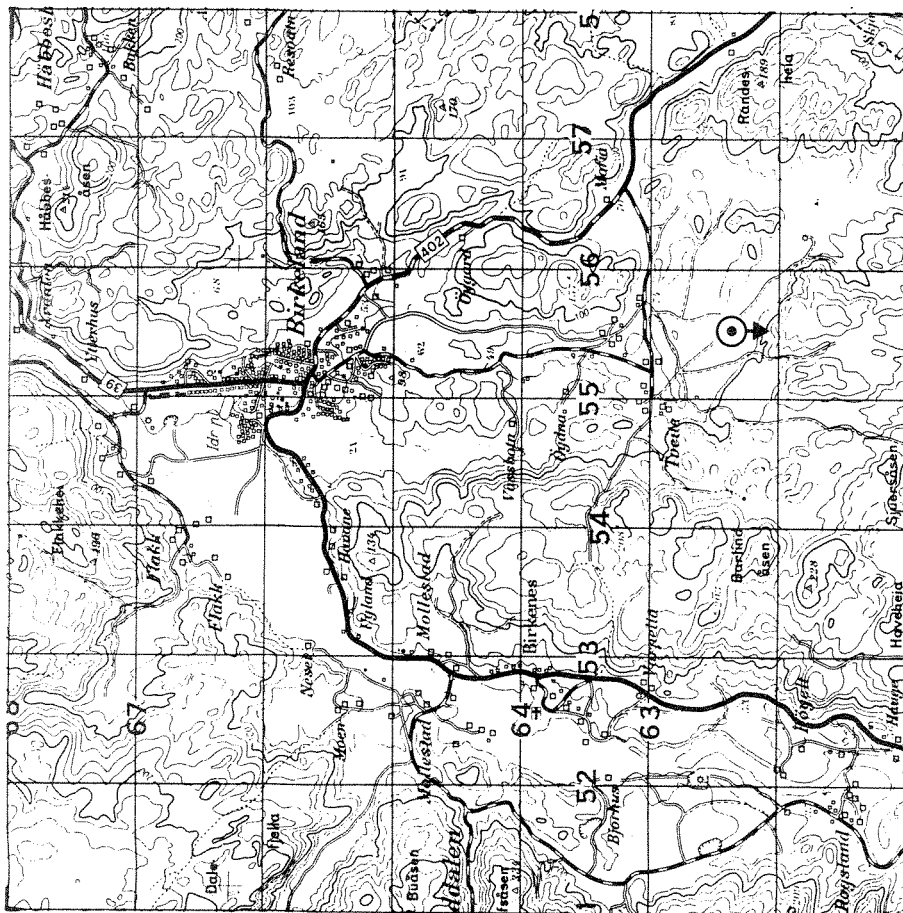
Berggrunnen består av båndete granodiorittiske gneiser, ofte migmatittiske og med lag av amfibolitt. Prøvetakingsrøret er plassert i sandholdig bregrus.

4.4 Todalen, Kårvatn (KAG01, LGN46)

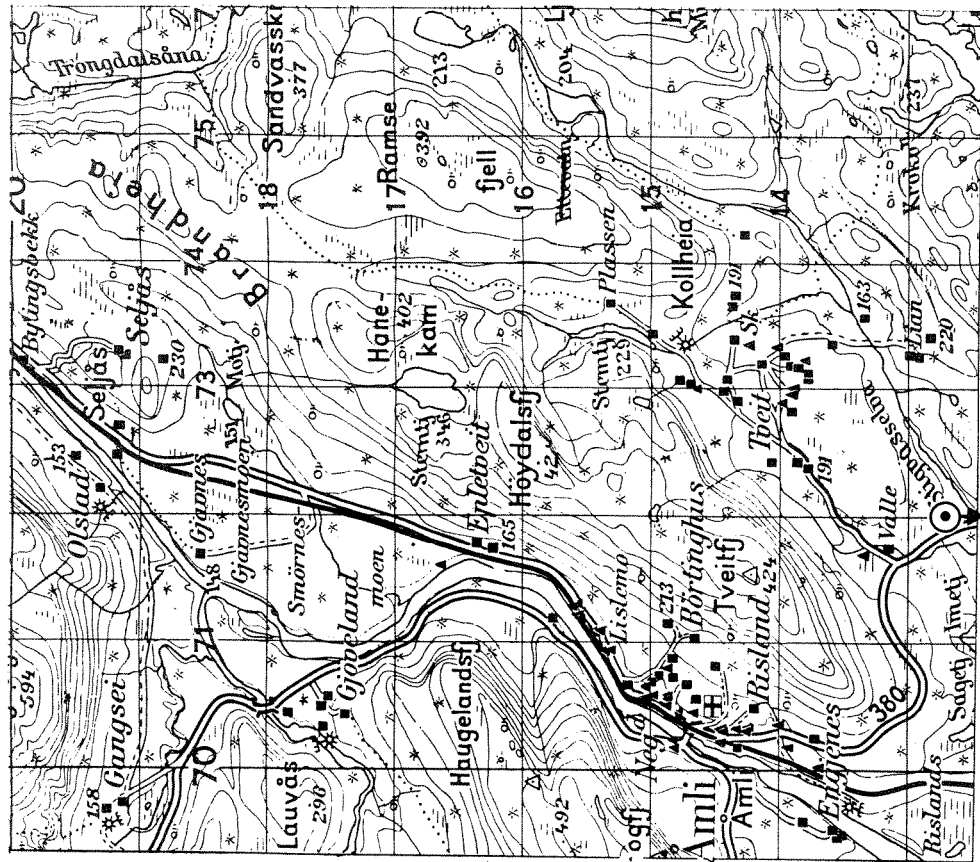
Berggrunnen består av forskjellige typer gneisbergarter (kvartsfeltspatisk gneis, helleskifre, glimmerskifre og amfibolskifre). Prøvetakingsstedet, som er en naturlig kilde, ligger i tynt morenedekke ved foten av grovblokkig rasmateriale.

Geologien i alle feltforskningsområdene er av samme karakter som i de tilhørende grunnvannstasjonene.

I fig. 2 er grunnvannstasjonene avmerket med åpen sirkel og vertikal pil.

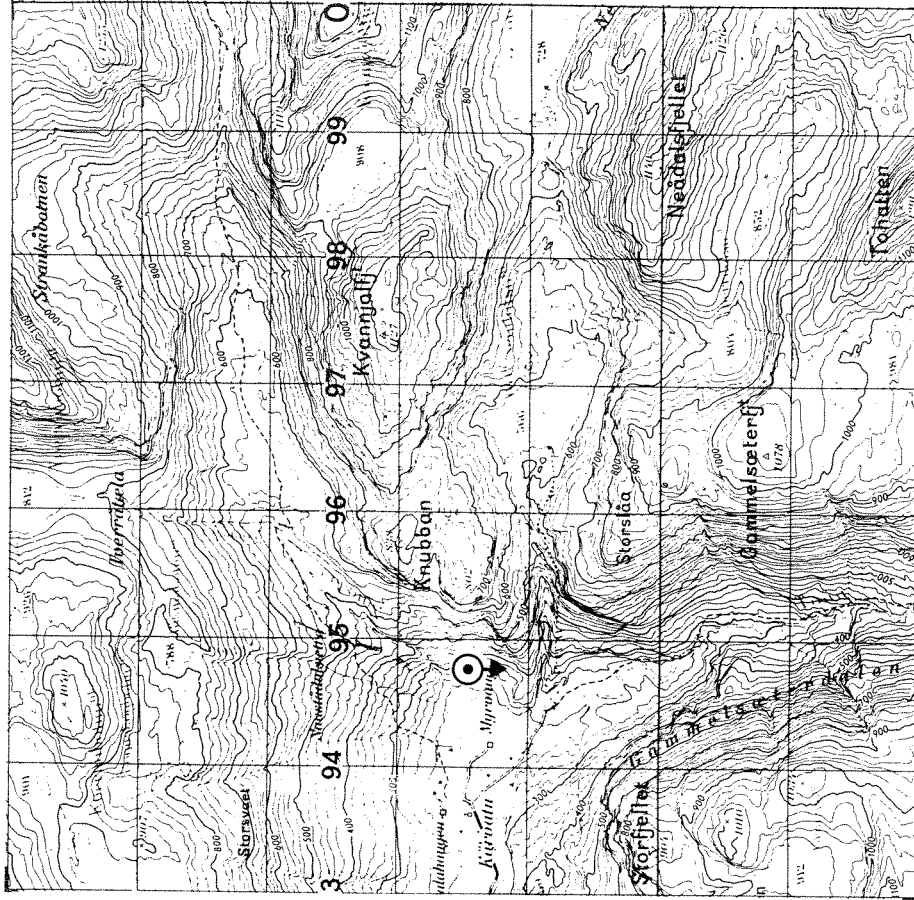


Birkenes, utsnitt kartblad 1511 I

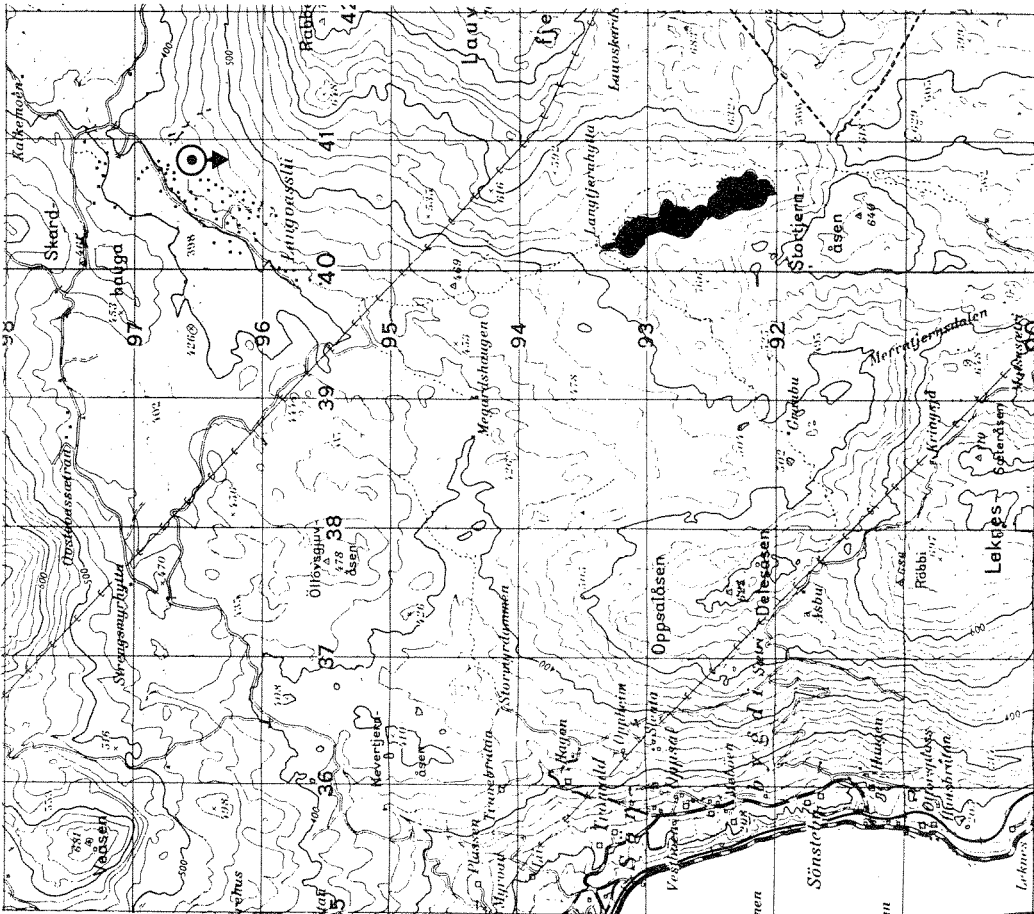


Amlie, utsnitt kartblad 1612 IV

Fig. 2. Lokalisering av grunnvannstasjonene tilknyttet feltforskningsområdene.



Totalen, utsnitt kartblad 1420 I



Langvasslia, utsnitt kartblad 1715 I

Fig. 2. forts. ...

Tabell 3. Innsjøer og grunnvannslokaliteter for sammenlikning av kjemisk vannkvalitet. (Innsjødata fra Henriksen 1979a og 1979b).

LGN-nr.	Navn	Kartbl.	Koord.		Kommune	St.-type	Reservoar-type	Innsjø	Kartbl.	Koord.		Kommune
			x	y						x	y	
2	Birkenes	1511 I	556	624	Birkenes	Sandspiss	fritt	542 Syndle	1611 IV	726	719	Grimstad
3	Åmli	1612 IV	720	127	Åmli	"	"	502 Vegår	1612 I	922	152	Vegårshei
4	Lislefjødåi, Hovden	1414 II	135	047	Bykle	"	"	88.1 Auversvatn	1414 II	140	000	Bykle
9	Bø	1613 I	039	898	Bø	"	"	86.1 Tveitvatn	1613 I	102	898	Sauherad
10	Modum	1714 I	532	474	Modum	"	"	90.1 Mjovatn	1714 I	415	456	Sigdal
11	Romerike	1915 I	168	817	Nannestad	"	"	31.1 Langen	1915 IV	012	940	Gran
15	Fura, Løten	1916 I	253	549	Løten	"	"	47.1 Helgetjern	1917 IV	007	012	Stor-Elvdal
20	Ottadalen	1518 I	578	640	Skjåk	"	"	59.1 Oppljosvatn	1418 I	752	128	Stryn
24	Åstadalen	1917III	010	842	Ringsaker	Kilde	"	47.1 Helgetjern	1917 IV	007	012	Stor-Elvdal
27	Karasjok	2033 I	539	996	Karasjok	Sandspiss	"	146.2 Bædnagjavri	1934 II	036	147	Karasjok
31	Førde	1217 I	399	157	Førde	"	"	530 Jølstervatn	1217 I	464	213	Jølster
37	Lindesnes	1411III	893	357	Lindesnes	"	"	1.2 Møglandsvatn	1411 II	396	074	Mandal
38	Nordfjordeid	1218 I	468	692	Eid	Kilde	"	535 Hornindalsvatn	1218 I	482	684	Eid
43	Haslemo	2016 II	580	273	Våler	Sandspiss	"	40.1 N. Fløgen	2016 I	455	383	Våler

Tabell 4. Kjemisk sammensetning av grunnvann og overflatevann, datagrunnlag for fig. 4.1-4.14. Se også tabell 3 for identifikasjon av innsjøer.

Grunnvann	pH	Kond. S/cm	µekv/l								Innsjø	pH	Kond. S/cm	µekv/l							
			Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	Alk				Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	Alk
LGN 2	5.20	33.0	68	44	131	8	141	110	44	59	542	4.70	39.0	64	42	104	9	132	140	24	-20
" 3	5.67	22.0	54	26	74	4	56	75	9	48	502	4.92	27.0	63	37	60	8	68	110	18	-12
" 4	6.22	30.0	148	40	71	5	31	31	1	155	88.1	6.17	9.8	45	10	22	2	17	37	3	32
" 9	5.32	32.2	108	50	60	6	76	135	19	53	86.1	4.84	23.4	65	24	30	6	40	100	11	-14
" 10	6.43	36.6	131	69	91	26	28	154	5	166	90.1	5.97	23.8	151	48	48	8	31	104	4	120
" 11	6.45	27.2	113	57	78	10	45	48	1	197	31.1	6.22	25.0	133	35	50	12	31	98	6	135
" 15	5.44	25.6	101	25	50	16	34	96	1	111	47.1	6.11	10.2	57	17	26	6	9	42	5	42
" 20	5.71	40.7	177	46	111	15	48	98	27	237	59.1	5.97	7.7	27	4	19	2	17	22	2	21
" 24	5.99	30.1	200	35	48	6	23	85	11	198	47.1	6.11	10.2	57	17	26	6	9	42	5	42
" 27	6.55	38.0	116	151	88	14	51	42	17	314	146.2	6.56	28.0	157	81	88	17	31	42	4	193
" 31	5.62	34.1	51	36	131	7	166	35	21	107	530	6.01	14.0	39	16	48	7	56	35	7	14
" 37	5.74	110	220	213	431	19	539	250	106	112	1.2	4.63	47	54	50	171	10	203	125	24	-25
" 38	5.78	34.8	88	44	157	7	178	29	16	111	535	6.15	16.2	37	24	69	6	79	31	7	25
" 43	5.91	16.9	42	42	41	10	40	60	3	52	40.1	5.67	23.7	92	58	46	7	40	87	4	49

4.5 Prøvetaking og analyse

For sammenlikningen av overflatevann og grunnvann ble det samlet inn prøver fra grunnvannsnettets, én pr. stasjon, i perioden september-november 1980 med unntak av stasjonene 33 (Overhalla) og 44 (Dokka), der prøvene ble tatt henholdsvis 8/9-81 og 26/5-81. Prøvetakingen ble utført i regi av NGU. Fra grunnvannstasjonene i tilknytning til feltforskningsområdene ble det tatt prøver 1 gang pr. måned.

NGU har stått for prøvetakingen i Åmli og Birkenes, NIVA for Langvasslia, og den lokale observatør for feltforskningsområdet i Todalen.

Alle prøver ble analysert ved NIVA etter følgende analyseprogram: pH, konduktivitet, turbiditet, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, NO₃, Al, Fe, Mn, SiO₂, alkalitet, permanganattall.

5. RESULTATER OG DISKUSJON

5.1 Sammenlikning av overflatevann og grunnvann

Overflatevannlokaliteter for sammenlikning med grunnvannsnettets stasjoner ble valgt blant de sjøer som har vært undersøkt gjennom SNSF-prosjektets regionale undersøkelser av store og små innsjøer i Norge (Wright et al. 1977, Henriksen 1979a, Henriksen 1979b). I tabell 3 er de utplukkede innsjøer oppgitt sammen med de tilhørende LGN-stasjoner. Det ville sannsynligvis vært mulig å finne andre innsjøer undersøkt av andre institusjoner som lå nærmere grunnvannslokaliteten.

For å kunne sammenlikne den kjemiske sammensetning av overflatevann og grunnvann må de geologiske forhold være sammenlignbare. Det er ikke alltid lett å vurdere. Selv om berggrunnen er av samme art kan løsmassene variere i sammensetning og opprinnelse slik at effekten på vannkvaliteten kan variere. Det vil derfor være lettest å sammenlikne overflatevann

og grunnvann som ligger i et ensartet geologisk område der løsavsetningene er av samme geologiske opprinnelse.

Det skal her påpekes at det grunnvann som er omtalt og behandlet i denne rapport er den del av grunnvannet som finnes i løsavsetninger og i øvre del av grunnvannssonen. Grunnvannet som opptrer på større dyp (i sprekker i fjell, 30-100 m) har vesentlig høyere saltinnhold (konduktivitet 250-450 $\mu\text{s/cm}$) (Englund og Myhrstad 1980).

Det er mange måter å plote grunnvannskjemiske data på, og de fleste er basert på å uttrykke den kjemiske sammensetningen i forhold til visse geokjemiske likevekter. For å sammenlikne den kjemiske sammensetning av overflatevann og grunnvann har vi valgt den fremstillingsmåte som er vist i fig. 3.

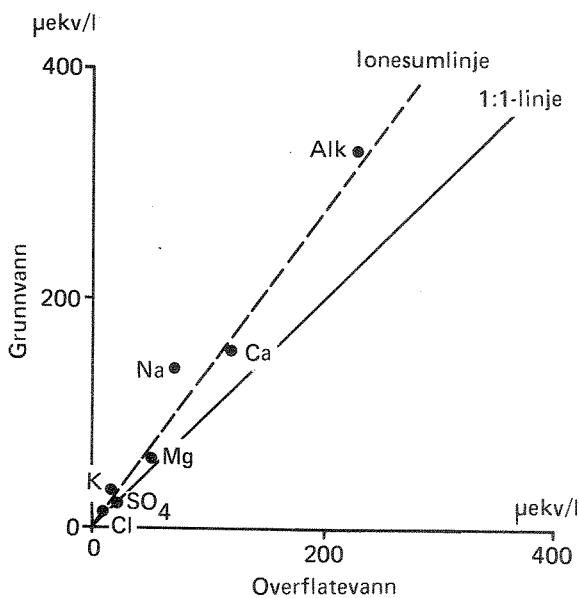


Fig. 3. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann i Sierra Nevada, U.S.A. (Feth et al. 1964). Grunnvannet representerer middelerverdier fra 15 temporære kilder. Overflatevannet representerer middelerverdier fra et ikke spesifisert antall bekker i samme geologiske område. Den stiplede linje er trukket gjennom origo og punktet for ionesummen av de to vanntyperne.

Overflatevannets (x-aksen) og grunnvannets (y-aksen) konsentrasjoner (i $\mu\text{ekv/l}$) for hver analysert komponent avsettes mot hverandre. Hvis punktene faller på en linje er den relative ionesammensetning av overflatevann og grunnvann like. Hvis denne linje ligger over 1:1-linjen har grunnvannet

høyere ionestyrke enn overflatevannet. Dette vil en vente å finne der grunnvann og overflatevann er i kontakt med samme type geologi.

Som eksempel har vi i fig. 3 avsatt sammenhørende verdier fra en undersøkelse av temporære kilder (kilder som fører vann en del av tiden) og ellevann i Sierra Nevada, U.S.A. (Feth et al. 1964) i samme geologiske område. For alle komponentene unntatt Na faller punktene nær ionesumlinjen, og dette indikerer at overflatevannet kan oppfattes som en fortykning av grunnvannet, eller at grunnvannet er konsentrert overflatevann. Avviket for Na (som her er geologisk betinget) kan skyldes at forvitringen av dette element er raskere enn forvitringen av de øvrige elementene. Ionebytting kan også spille en rolle.

I fig. 4.1-4.14 er dataene for sammenhørende norske grunnvanns- og overflatevann-lokaliteter (tabell 2 og 3) avsatt slik som angitt i fig. 3, sammen med 1:1-linjen og ionesumlinjen.

De kjemiske data for sjøene er fra 1 m dyp tatt om vinteren det året som er oppgitt i fig. 4.1-4.14. For grunnvannsnett er prøvene tatt høsten 1980 blitt brukt. Data for grunnvannsnett for andre tidspunkter vil ikke endre det generelle bilde som fremgår av fig. 4.1-4.14.

Da LGN2 også er identisk med BIG01 og LGN3 er identisk med AMG01 er LGN2 og LGN3 sammenliknet med nærliggende innsjøer i fig. 4.1 og 4.2, mens de er sammenlignet med feltforskningsområdene Birkenes og Storgama i fig. 12.

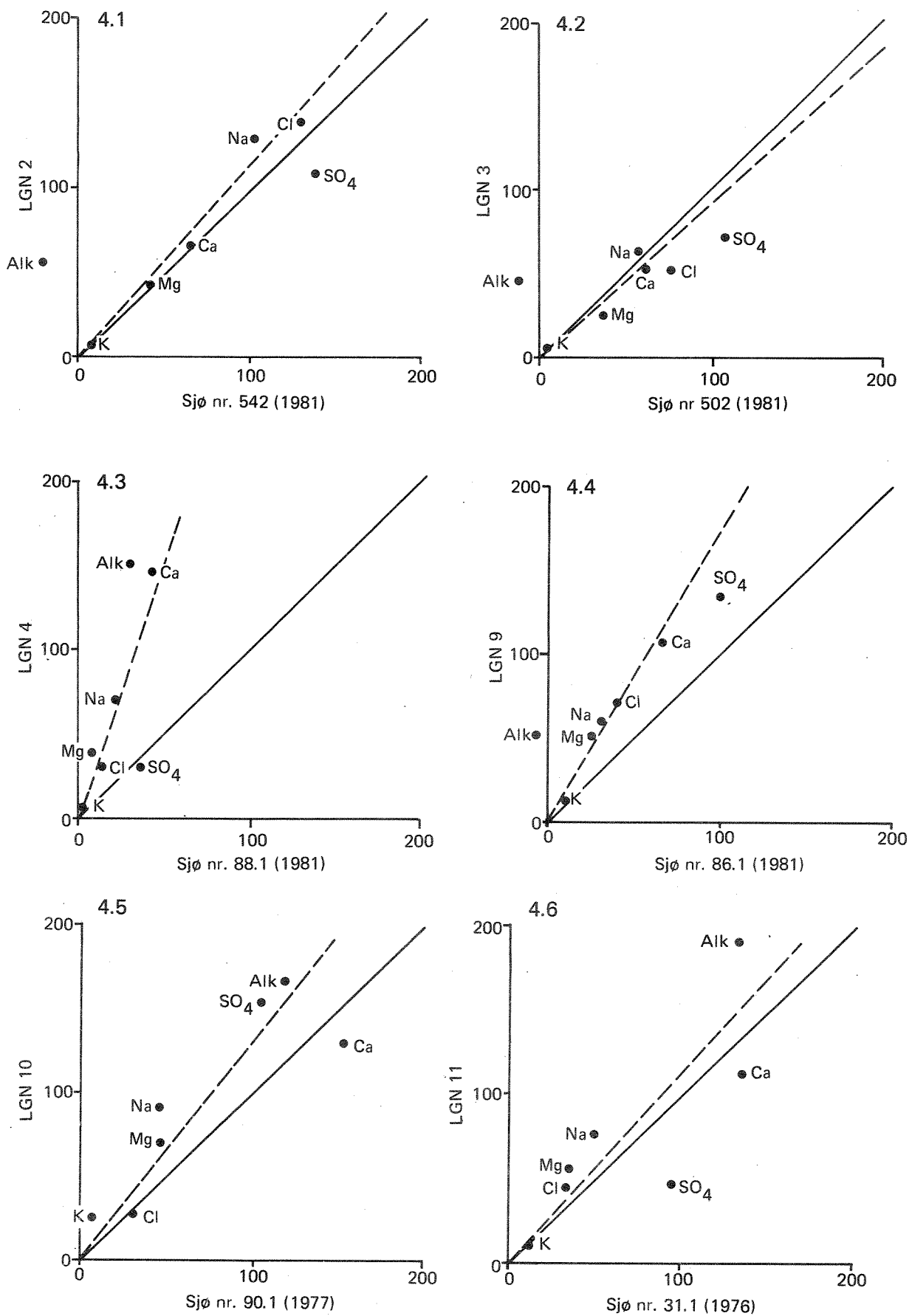


Fig. 4.

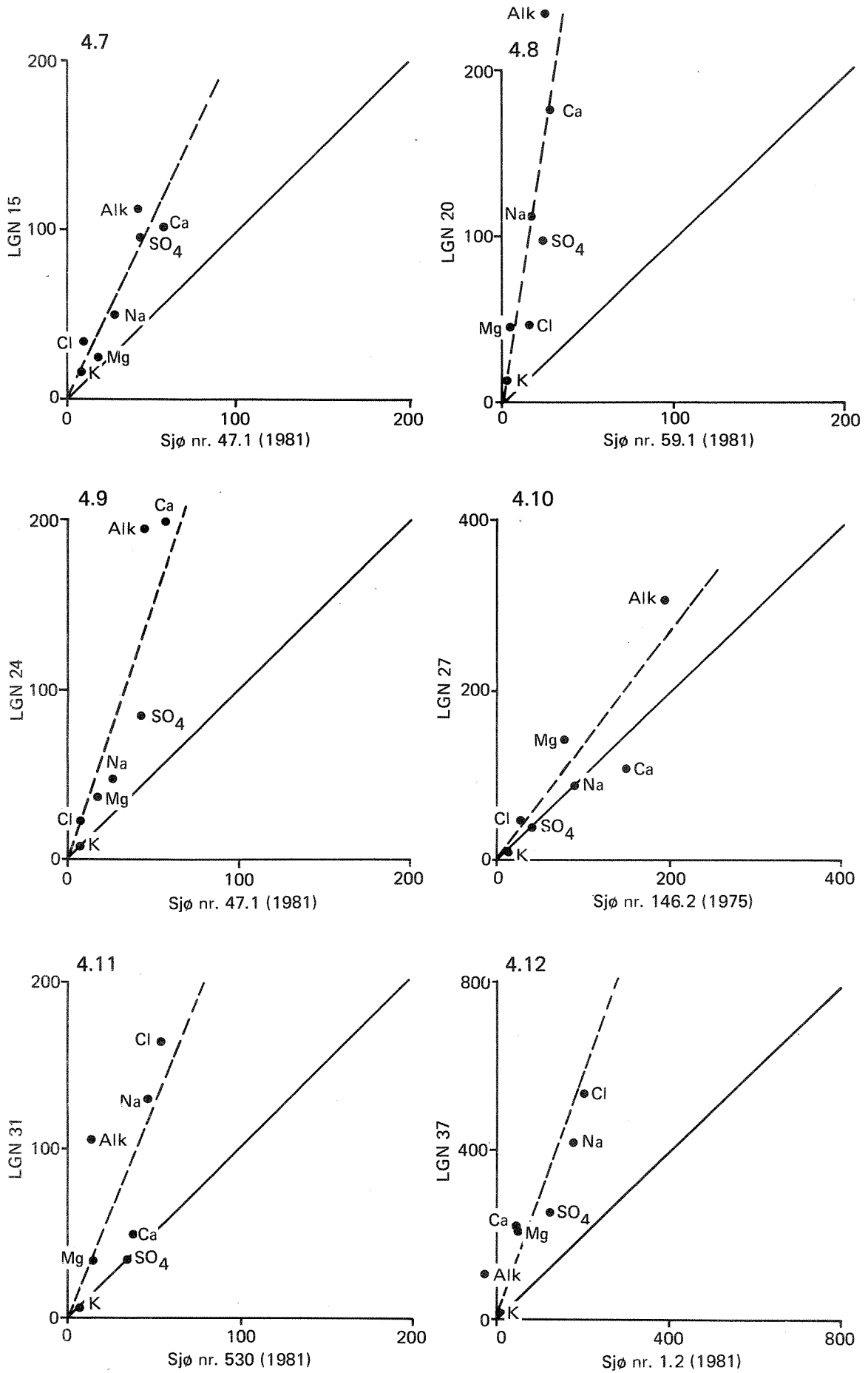


Fig. 4. fortsatt.

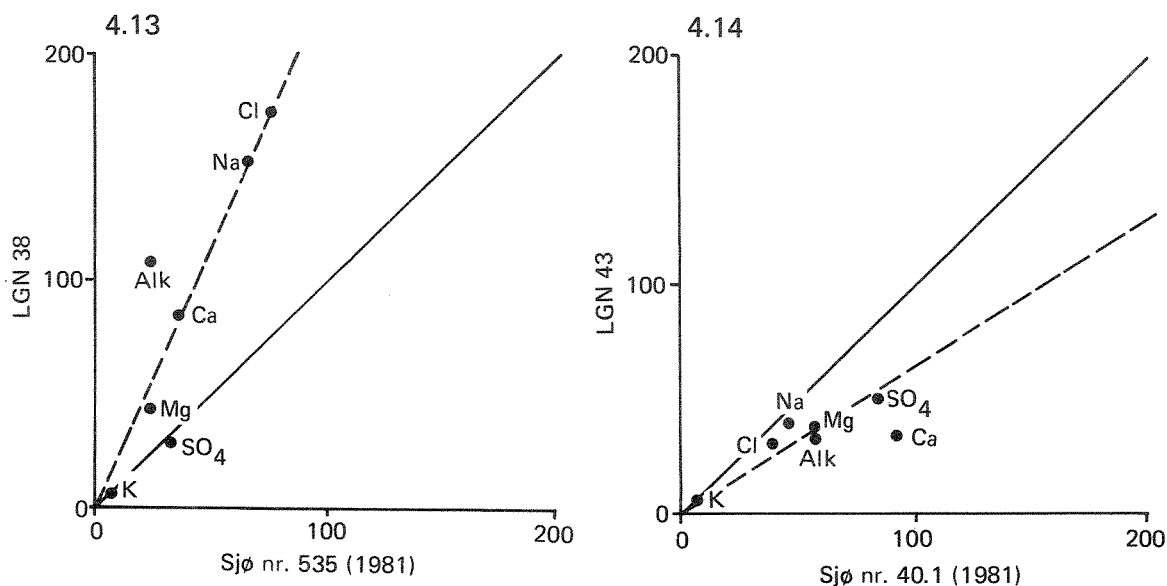


Fig. 4.1 - 4.14. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann fra 14 lokaliteter i Norge. Grunnvannet er fra LGN's stasjonsnett. Overflatevannet er fra SNSF-prosjektet 1974-78 og SFT's regionale undersøkelser i 1981. (Se tabell 3 og 4). Alle akser i $\mu\text{ekv/l}$. Der alkalitetspunktet faller på venstre side av y-aksen er alkaliteten i overflatevannet null, og H^+ -konsentrasjonen (beregnet fra pH) er avsatt (fig. 4.1, 4.2, 4.4, 4.12).

5.2 Forsuring av ferskvann

Et felles trekk for alle forsurede overflatevann er en åpenbar bytting av bikarbonationet med sulfationet, mens ubetydelige endringer i de relative konsentrasjoner av kationer har funnet sted.

Forsuringen av et vann kan defineres som tapet av alkalitet (Henriksen 1980). Den kan kvantitativt defineres som differansen mellom "før-forsuringsalkalitet" (opprinnelig alkalitet, Alk_0) og dagens alkalitet (Alk_t):

$$\text{Forsuring (Ac)} = \text{Alk}_0 - \text{Alk}_t \quad (1)$$

Alkalitetsverdier fra før forsuringen i Norge startet, er ikke tilgjengelige. Vi må derfor anslå denne størrelsen ut fra vannets sammensetning i dag. Det er vist (Henriksen 1980) at under gitte forutsetninger kan opprinnelig alkalitet (Alk_0) anslås ut fra summen av dagens konsentrasjoner av ikke-marin kalsium og magnesium (Ca + Mg).

Denne metode er basert på den forutsetning at bikarbonatets kationer er kalsium og magnesium og at sulfat kommer gjennom nedbøren. I grunnvann vil en også kunne finne betydelige konsentrasjoner av ikke-marin natrium, dvs. natrium som ikke er transportert fra havet gjennom nedbøren. Denne mengde finnes ved å anta at all klorid kommer fra sjøsprøyt og korrigere de øvrige komponenter i forhold til havvann, idet en antar at alle havsaltene transporteres i samme forhold som i havvann. Den ikke-marine natriumkomponent kompliserer den kvantitative beregning av forsuringen i grunnvann, og skal derfor ikke brukes som utgangspunkt i den regionale sammenlikningen av overflatevann og grunnvann. Det skal også påpekes at ved forvitring kan det også dannes sulfat i grunnvann, idet sulfider er vanlige mineraler i mange bergarter. Likeledes kan klorider stamme fra bergarter. Dette kompliserer forsuringsberegningene ytterligere.

5.3 Regional sammenlikning av overflatevann og grunnvann

Fig. 4.1-4.14 viser at for mange av lokalitetene faller de to mest typiske forvittringskomponenter, Ca og Mg, nær ione-sumlinjen. Hvis vi som kriterium for sammenliknbarhet av overflatevann og grunnvann bruker at punktene for disse to komponenter faller nær denne linjen, kan vi plukke ut følgende 9 LGN-stasjoner: 2, 3, 4, 9, 20, 24, 31, 37 og 38. De geologiske forholdene i nedbørfeltene for disse grunnvanns- og overflatevannslokalitetene er skjønnsmessig vurdert til å være sammenliknbare. I de øvrige er det spesielt kalsium som avviker. Felles for de 9 sammenliknbare settene er at grunnvannet har nær det samme eller et høyere saltinnhold enn overflatevannet, noe som er forventet ut fra at grunnvann

normalt har en lengre kontakttid med berggrunnen enn overflatevann har. Fordamping vil også spille en rolle.

Som nevnt er kildene for Na og Cl i overflatevann normalt nedbørens innhold av havsalter, og sulfationene kommer i tillegg til havsaltbidraget også fra forurensninger i nedbøren. Uten geologiske kilder for disse stoffer ville en derfor forvente at disse tre komponenter ville finnes igjen i grunnvannet på undersiden av ionesumlinjen. I fig. 5 har vi avsatt middelerverdiene for de 9 sammenhørende grunnvann og overflatevann som er nevnt ovenfor.

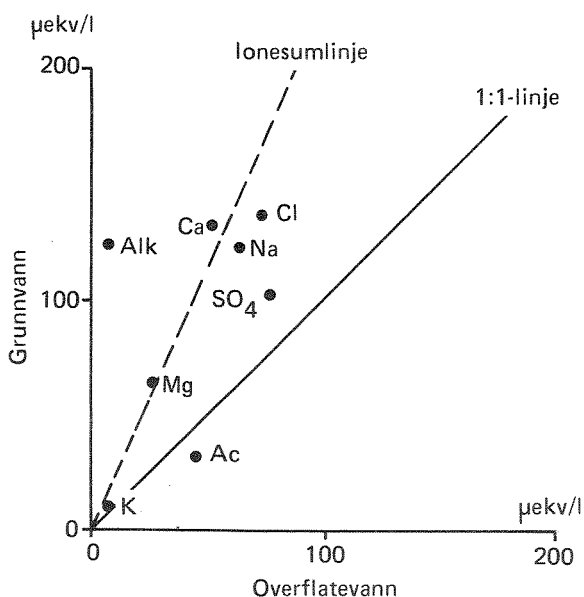


Fig. 5. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann basert på middelerverdiene fra LGN-stasjonene 2,3,4,9,20, 24,31,37 og 38 og deres sammenhørende innsjøer (tabell 3).

En ser at Ca og Mg faller meget nær ionesumlinjen, mens Na og Cl faller på en linje noe lavere enn ionesumlinjen. Hvis vi antar at grunnvannet er konsentrert overflatevann vil Na-Cl linjen (ikke tegnet inn) gi konsentreringsforholdet. Når Ca og Mg faller over, kan dette forklare ved en øket forvitring i tillegg til konsentreringen. Fig. 5 viser at SO₄ ligger vesentlig under begge disse linjer, og dette indikerer at SO₄-konsentrasjonene i overflatevannet er relativt sett betydelig høyere enn i grunnvannet. På den andre siden ser vi at alkaliteten er betydelig høyere i grunnvannet enn i overflatevannet. Da alkalitet og sulfat er typiske forsu-

ringsparametre indikerer dette at overflatevannet er mer forsuret enn grunnvannet. Hvis vi nå ut fra middelverdiene av de 9 datasett beregner forsuringen som angitt i likning 1, får vi 30 og 46 $\mu\text{ekv/l}$ for henholdsvis grunnvann og overflatevann. (Vi kan gjøre dette fordi det geologiske bidrag til Na-konsentrasjonene i begge vanntyper ikke er av betydning. Dette punktet er avsatt i fig. 6 og 12 (merket Ac) (unntatt for Todalen) og viser igjen at overflatevannet er mer forsuret enn grunnvannet. Med samme forsuring i begge vanntyper ville punktet falle på 1:1-linjen.

Figur 6 viser frekvensfordelingsdiagrammer for konduktivitet, kalsium og pH i de grunnvann- og overflatevannlokaliteter som er referert til i tabell 4. Det er få datasett ($n = 14$) disse figurer er basert på, og en skal derfor ikke trekke for vidtgående konklusjoner. Det er likevel interessant å se at saltinnholdet (konduktiviteten) i grunnvannet (slik som det fremgår av fig. 3) er høyere enn i overflatevannet, og at kalsium viser samme bilde. Det er videre påfallende at ingen av grunnvannslokalitetene har $\text{pH} < 5,0$, mens nesten 30 % av overflatevannene har en pH under denne verdi. Derimot ligger 20 % av grunnvannslokalitetene i et pH-område (5,0-5,5) der vi ikke finner noen av overflatevannene. Vi vet at i dette pH-område er bikarbonatbufferen praktisk talt borte og gir for ustabile forhold. I de forsurede områder i Europa og Nord-Amerika finner en ofte en lavere frekvens av pH-observasjoner i dette pH-område enn i pH-områdene ovenfor og nedenfor.

I fig. 7 er angitt de grunnvannslokaliteter som ble analysert høsten 1980, og tabell 7 (Appendiks) gir de kjemiske analyseresultater. Figur 8 viser de målte verdier for pH. pH viser et bilde tilsvarende det en fant ved de regionale vannundersøkelser i 1974 (Wright and Henriksen 1978); lavest pH på Sørlandet og nær kysten på Vestlandet, men pH-nivåene er, som nevnt foran, noe høyere for grunnvann. Figurene 9, 10 og 11 viser verdiene for ikke-marin sulfat, klorid og kalsium. Disse figurer er bare presentert til orientering

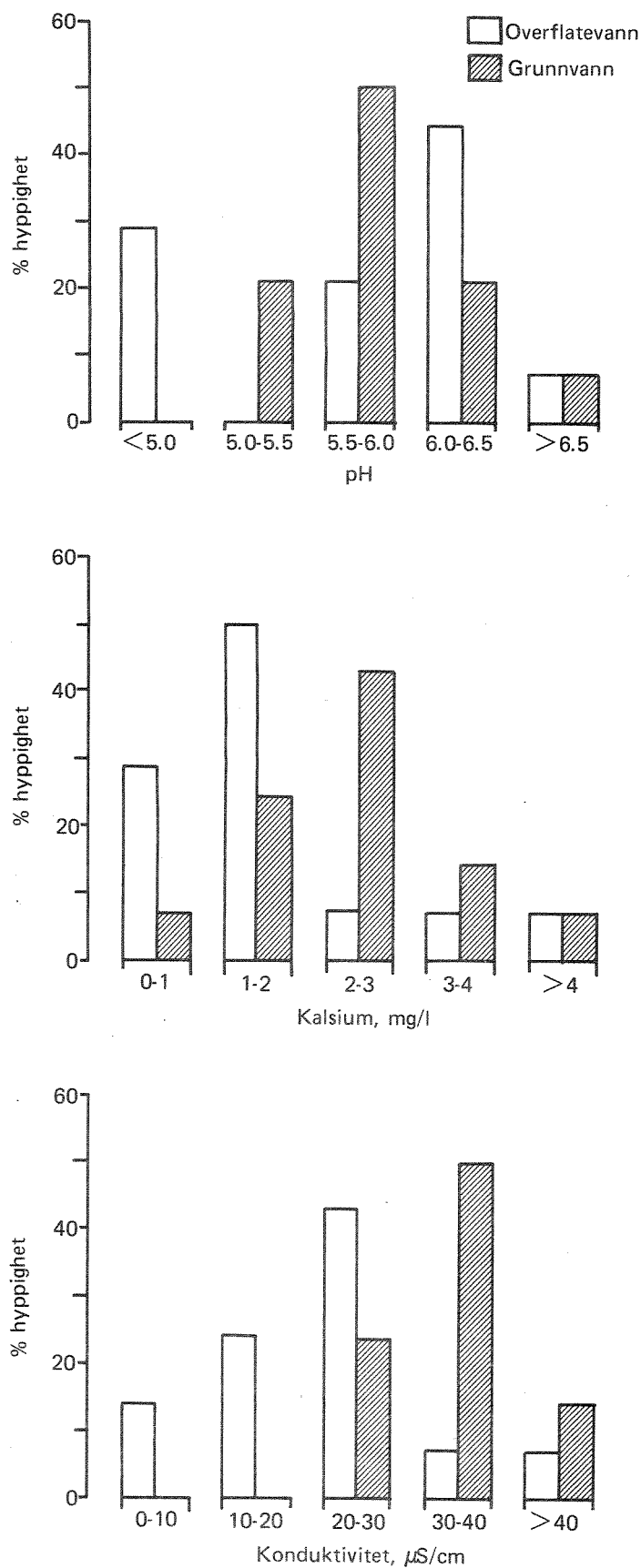


Fig. 6. Frekvensfordelingsdiagrammer for konduktivitet, kalsium og pH i 14 grunn- og overflatevannslokaliteter (datagrunnlag i tabell 4).

og bør diskuteres videre i en annen sammenheng, men det er åpenbart at det fins geologisk betingede kilder for klorid og sulfat, spesielt for enkelte områder i indre deler av Østlandet.

Denne enkle og tildels ufullstendige undersøkelse antyder at det også foregår en forsuring av grunnvann med kort oppholdstid i de områder der det er registrert en forsuring av overflatevann. Det foreligger data fra et for begrenset antall grunnvannslokaliteter til å trekke vidtgående konklusjoner, men resultatene peker mot ønskeligheten av et tettere prøvetakingsnett på flere nivåer. Disse kan være brønner i løsavsetninger, kilder og borebrønner i fjell både regionalt og lokalt.

5.4 Overflatevann og grunnvann i feltforskningsområdene

Fig. 12 viser diagrammene for sammenlikning av grunnvann og overflatevann i feltforskningsområdene. Tabell 5 (Appendiks) gir alle rådata for grunnvannet i feltforskningsområdene. Tabell 6 (Appendiks) gir en oversikt over middelerverdier og standardavvik for samtlige analyserte komponenter. Dataene for overflatevann er middelerverdier for samme periode for prøver fra de tilsvarende feltforskningsområder. I Birkenes og Langtjern ligger feltforskningsområdet og grunnvannstasjonene nær hverandre, mens Åmli grunnvannstasjon ligger 28 km syd for Storgama feltforskningsområde. Av den grunn vil de to siste lokaliteter være forskjellig påvirket av sjøsprøyt og konsentrasjonsforskjellene av Na og Cl vil være avhengig av andre ting enn den konsentreringseffekten en vil ha i de øvrige områdene.

Birkenes, Åmli og Langtjern ligger i de forsuringspåvirkede områdene i sør-Norge og her er også alkaliteten relativt sett høyere i grunnvannet enn i overflatevannet (fig. 12). Når det gjelder sulfat avviker Langtjern fra de to andre idet sulfatpunktet ligger nær ionesumlinjen. I Åmli og Langvasslia er det åpenbart en øket forvitring av natrium i

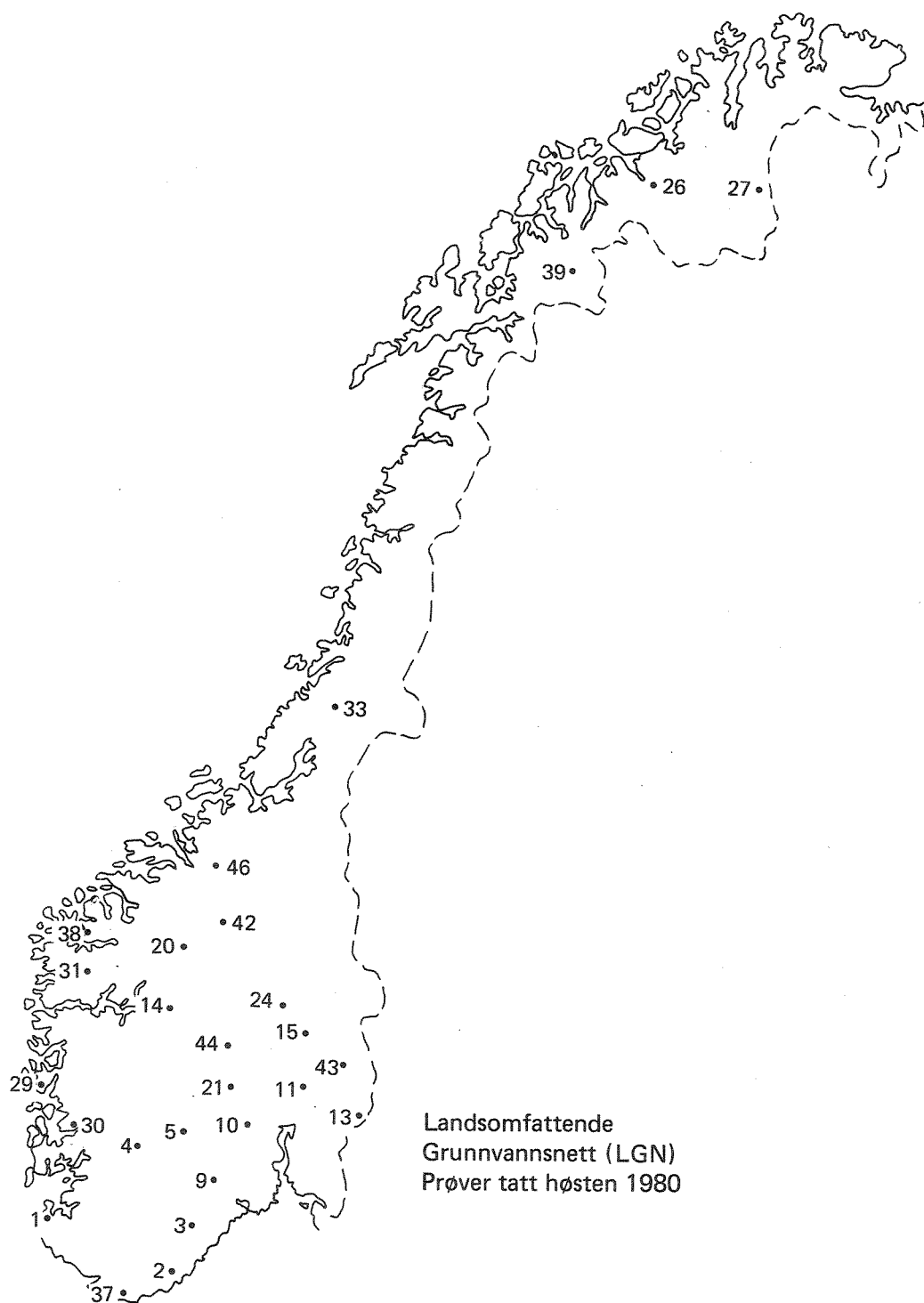


Fig. 7. LGN-stasjoner prøvetatt høsten 1980.



Fig. 8. pH-verdier i grunnvann.

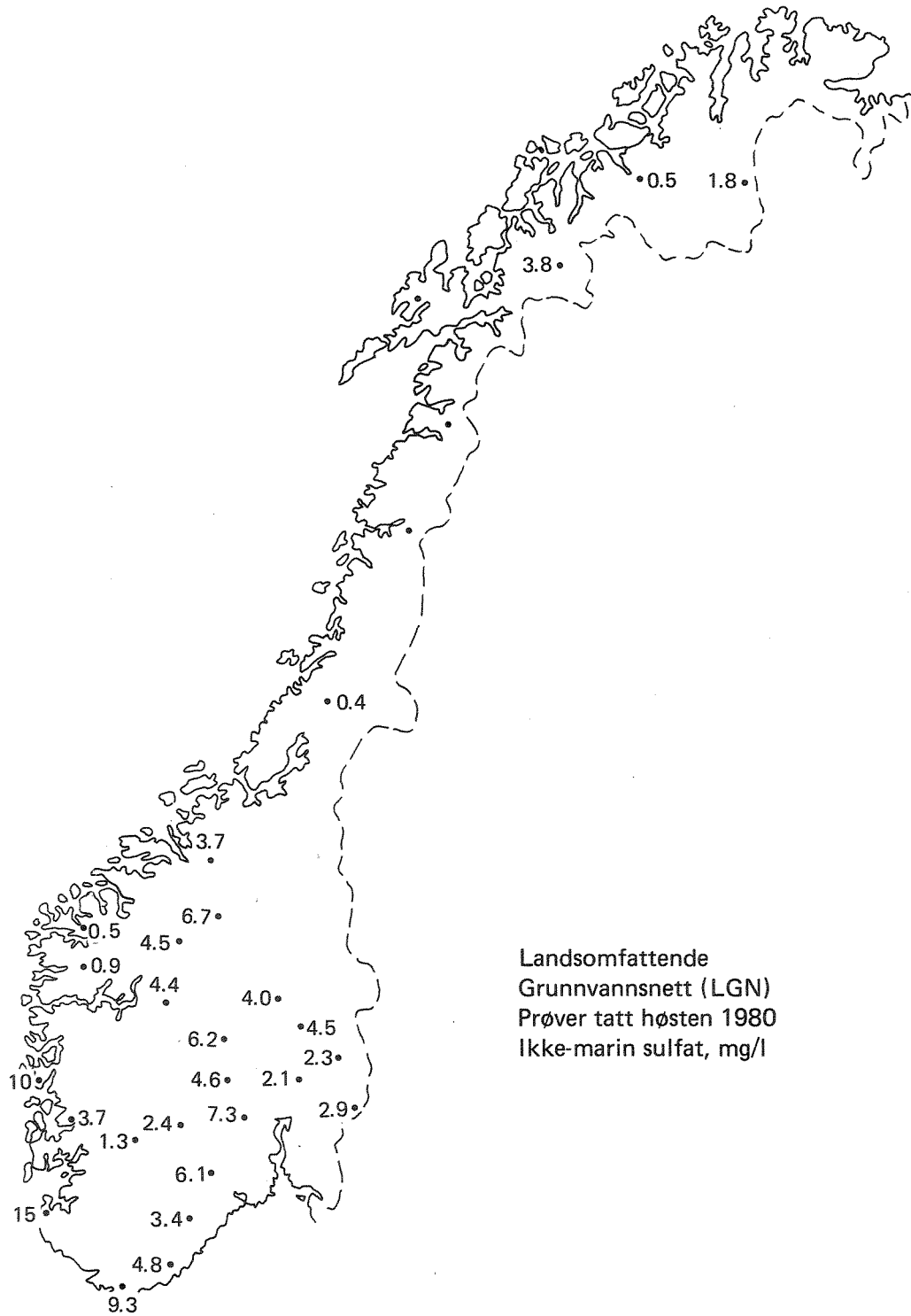


Fig. 9. Konsentrasjoner av ikke-marin sulfat i grunnvann.

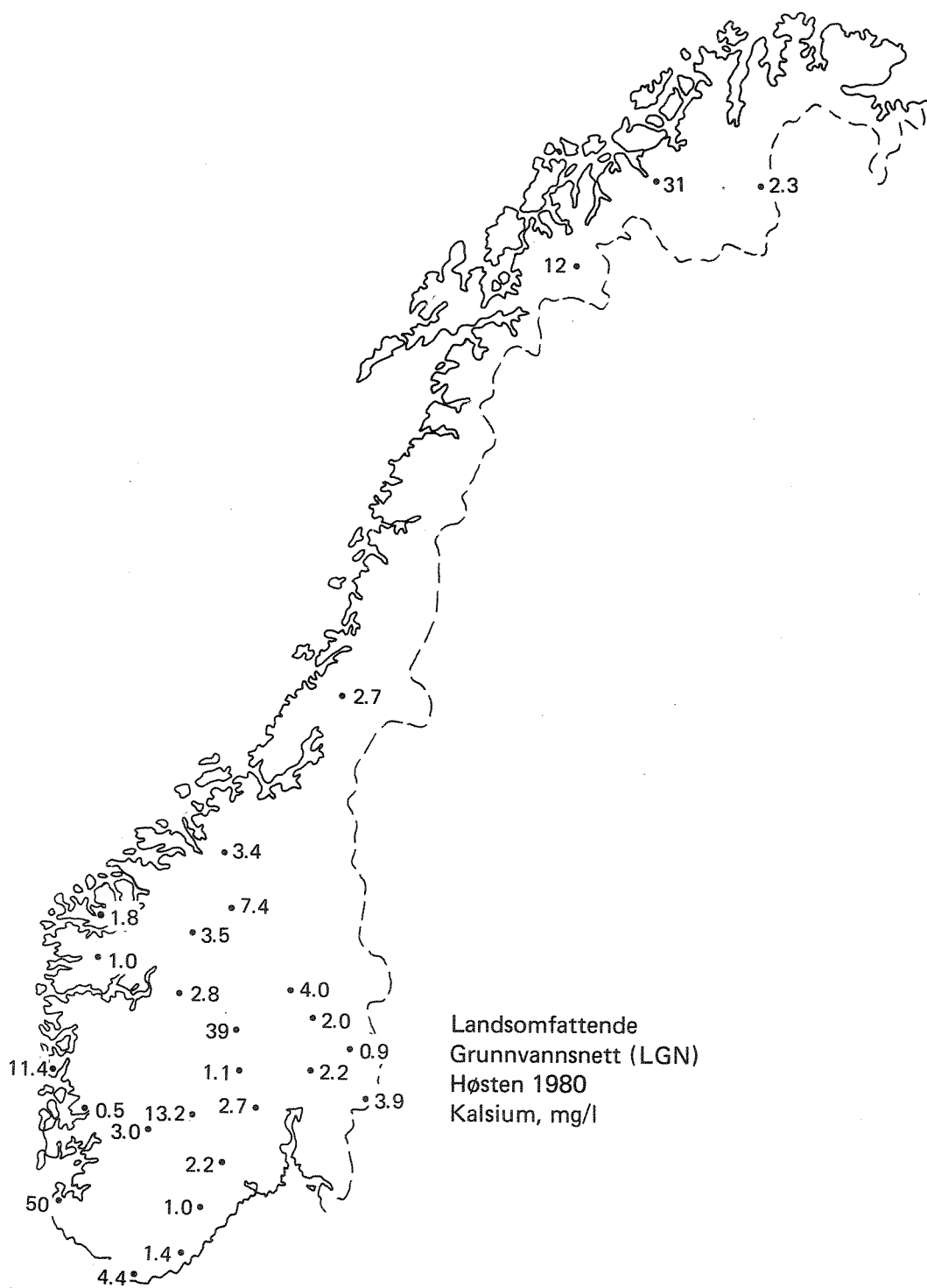


Fig. 10. Kalsiumkonsentrasjoner i grunnvann.

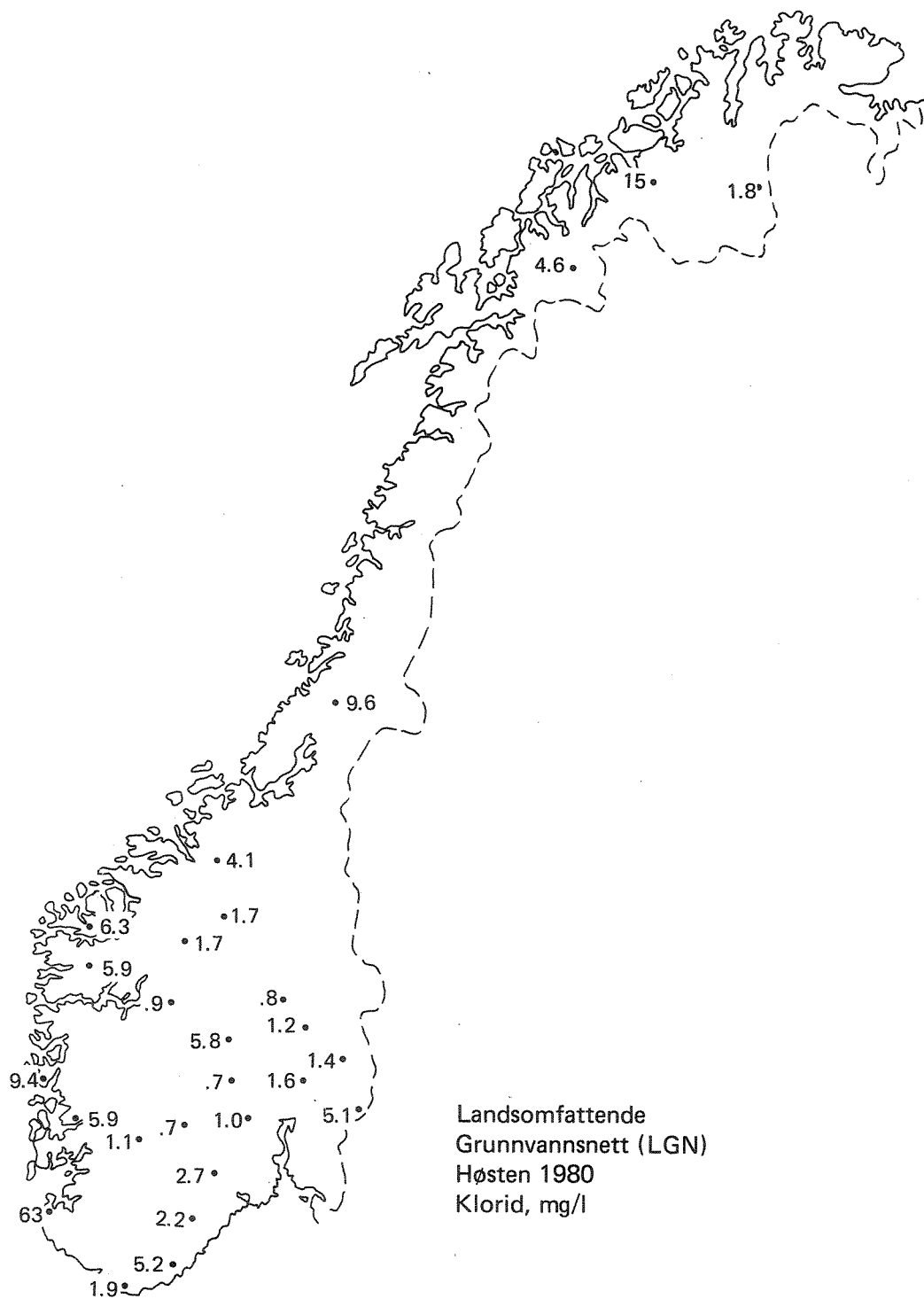


Fig. 11. Kloridkonsentrasjoner i grunnvann.

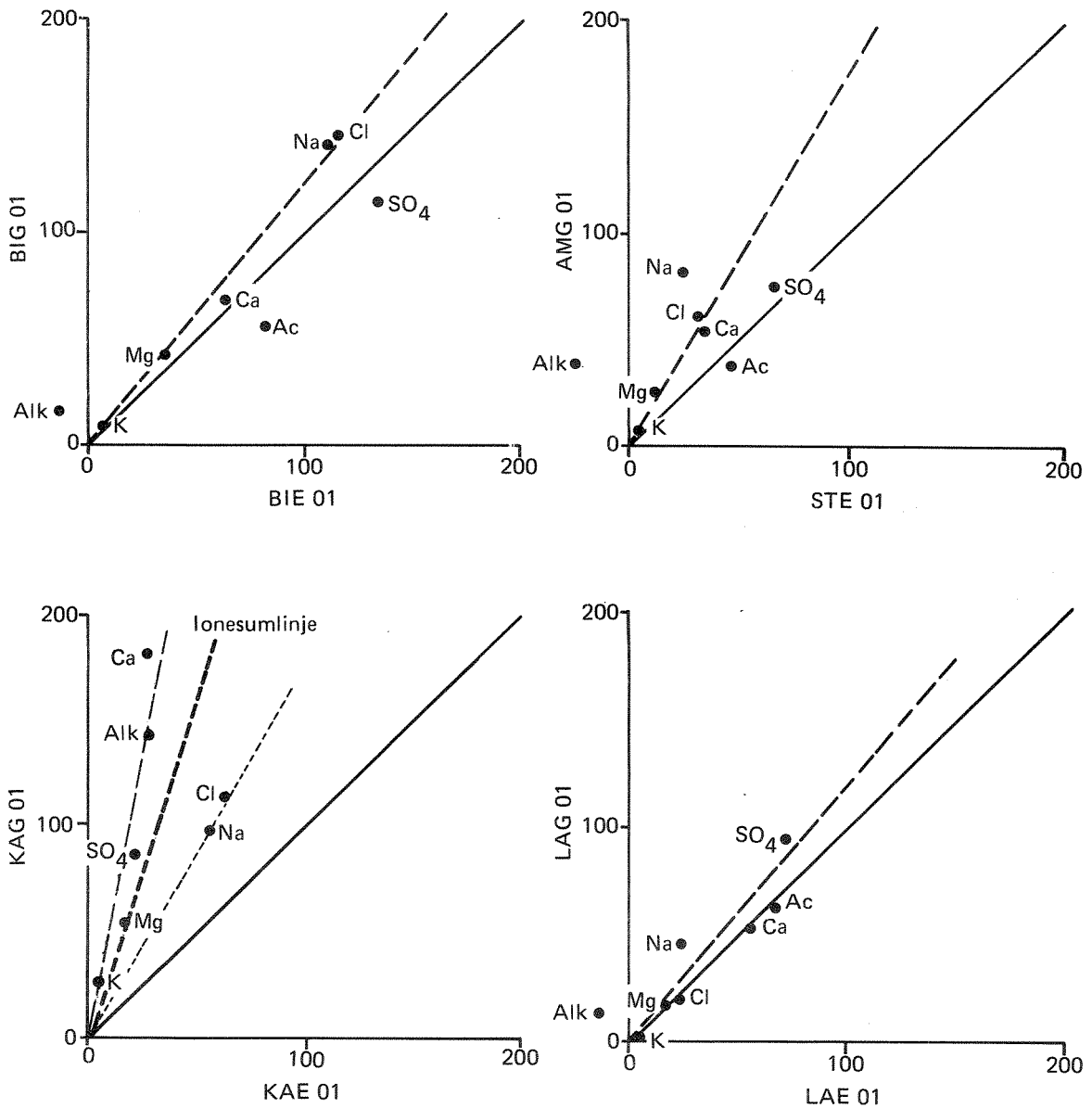


Fig. 12. Sammenlikning av kjemisk sammensetning i overflatevann og grunnvann i feltforskningsområdene. Dataene fra begge vann typer er basert på middelverdier for perioden september 1980 - juni 1981. Alle akser i $\mu\text{ekv/l}$.

grunnvannet, mens i Birkenes er ikke dette tilfelle. Forureningen i Langvasslia er omtrent lik den i Langtjern, mens Birkenes og Åmli (Storgama) viser samme forhold som i grunnvannsnettene ellers (se ovenfor). Grunnvannsmagasinet i Langvasslia kan ha en oppholdstid av samme størrelsesorden

som Langtjern (ca. 3 mnd.) og forsuringspåvirkningen kan av den grunn være relativt like i de to typer vann. I både Birkenes og Storgama er oppholdstiden for overflatevannet meget kort i forhold til oppholdstiden for grunnvannet, og overflatevannet er derfor mer direkte påvirket av forsuringen enn grunnvannet.

Grunnvannstasjonen i Todalen er en kilde som ligger i nedbørfeltet for overflatevannet. For Todalen er i tillegg til ionesumlinjen og 1:1-linjen ionesummene delt i to, en for Na+Cl og en for resten. Det er en åpenbar sammenheng mellom grunnvann og overflatevann og alle komponenter i grunnvannet utenom Na og Cl er konsentrert i nær samme forhold til overflatevannet. Denne konsentreringen av de andre elementene skyldes åpenbart en øket forvitring i grunnvannet på grunn av lengre kontakttid. Na og Cl som hovedsakelig kommer fra sjøsprøyt i nedbøren kan være konsentrert som følge av faktorer som fordampning. Beliggenheten av punktene for alkalitet og sulfat indikerer at vannet i Todalen ikke er forsuret. Forsuringsberegninger viser det samme.

5.5 Variasjoner i kjemisk sammensetning 1980-81 i grunnvann i feltforskningsområdene

Fig. 13-16 viser variasjonene gjennom ett år for et utvalg komponenter i grunnvannet i feltforskningsområdene. Grunnvannsmagasinerne i Birkenes og Åmli er begge store og ligger nær hverandre, og de er derfor sammenliknbare. Vannstandsvariasjonene følger samme mønster, høy vannstand senhøstes og lav vannstand på senvinteren. Deretter stiger vannstanden etter vårmeltingen. Vannstandsvariasjonene over året er større i Birkenes enn i Åmli.

Begge magasinene inneholder små mengder organisk stoff (permanganat-tall < 0.5 mg/l). pH varierer lite i begge magasiner, bortsett fra en høy pH-verdi (5.74) i Åmli i juli 1981. I Birkenes er det overraskende store variasjoner i de øvrige komponenter bortsett fra SiO_2 og aluminium. Sulfat, kal-

sium, nitrat og klorid viser en klar økning i konsentrasjoner i måleperioden. Økningen er markert fra mai -81 for sulfat, kalsium og nitrat. Dette kan skyldes at vannstanden er lav gjennom 1981 og at oppholdstiden av grunnvannet er lenger enn vanlig. Forvittringsreaksjonene vil dermed gi høyere konsentrasjoner av forvittringskomponenter (Ca) og fordampning vil gi konsentrering av nedbørtilførte komponenter (SO_4 , Cl).

Magasinet i Åmli viser mindre variasjoner enn Birkenesmagasinet. Nitrat og silisium viser en tendens til stigning i måleperioden.

Det ble ikke tatt prøver i Langvasslia grunnvannsmagasin i januar og mars på grunn av frosset rør. I Langvasslia har grunnvannet et høyt innhold av organisk stoff og aluminium. Kalsium og sulfat viser en tendens til økning i september 1981, og dette kan skyldes tørkeperioden i august-september. Magasinet var lavt før nedbøren kom den 18. september. Septemberprøven (20.) ble tatt mens magasinet var i ferd med å fylle seg opp igjen. Den høye sulfatkonsentrasjonen kan skyldes at svovel oksydert under tørkeperioden vaskes ut under oppfyllingen av magasinet. Prøvetakingsfrekvensen er imidlertid for snau til å kunne vurdere mer kortvarige reaksjoner.

Aluminiuminnholdet i grunnvannet i Langvasslia er overraskende høyt i forhold til utløpet av Langtjern, der pH er vesentlig lavere (fig. 17). Aluminiumkonsentrasjonen i grunnvannet overskrider langt den løseligheten av gibbsitt i vann tilsier. Innholdet av organisk stoff og de fleste øvrige komponenter er nær de samme i grunnvannet og i overflatevannet. Aluminium og organisk stoff (permanganattall) i grunnvannet er korrelert til hverandre ($r = 0.80$, $n = 12$).

Dette kan tyde på at humusholdig vann har et stort potensial til å holde store mengder aluminium i løsning. Turbiditetsverdiene kan tyde på at også kolloidalt aluminium kan være til stede. Ionebalanseberegninger viser at aluminium ikke kan være tilstede som frie ioner.

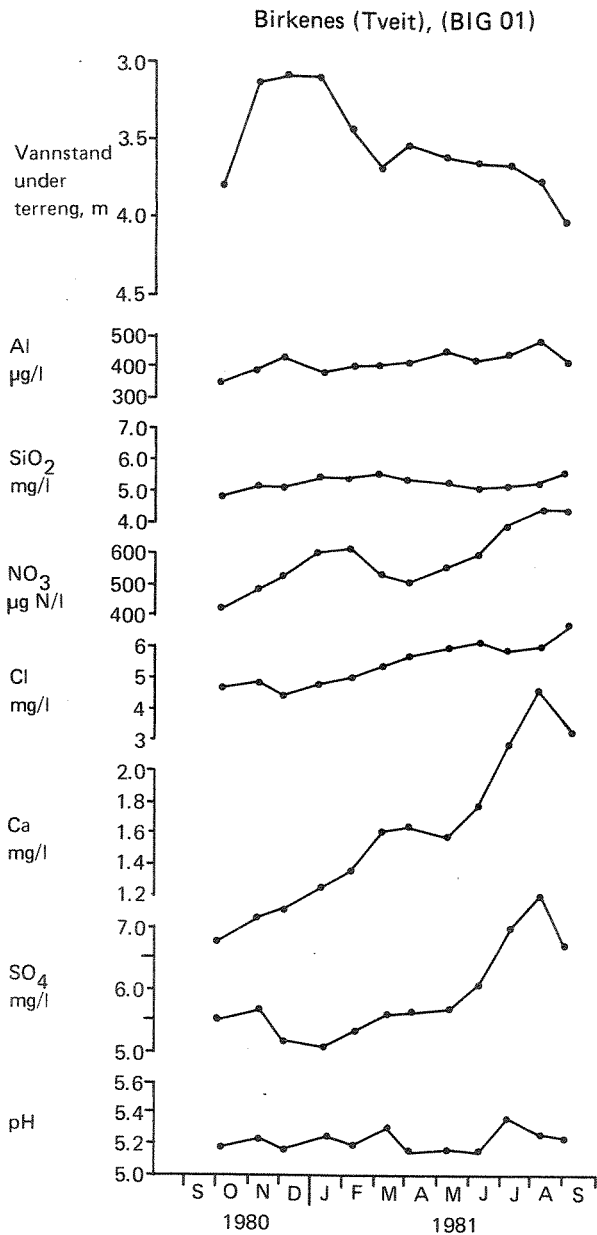


Fig. 13. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann Birkenes.

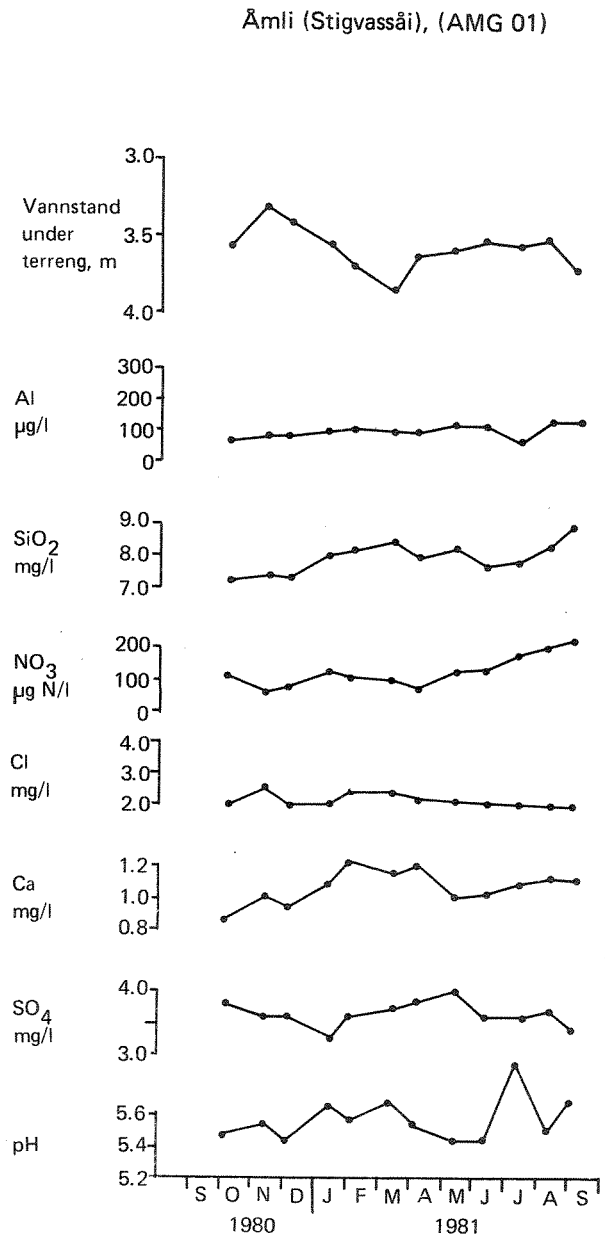


Fig. 14. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Åmli (Stigvassåi).

Både i Birkenes, Åmli og Langtjern er kalsiumnivåene lave og mettet nær de verdiene en finner i overflatevann (fig. 17, 18) (se også fig. 12). Bortsett fra i Birkenes viser grunnvannet imidlertid mindre variasjoner i kalsiumkonsentrasjonene enn overflatevannet i løpet av perioden.

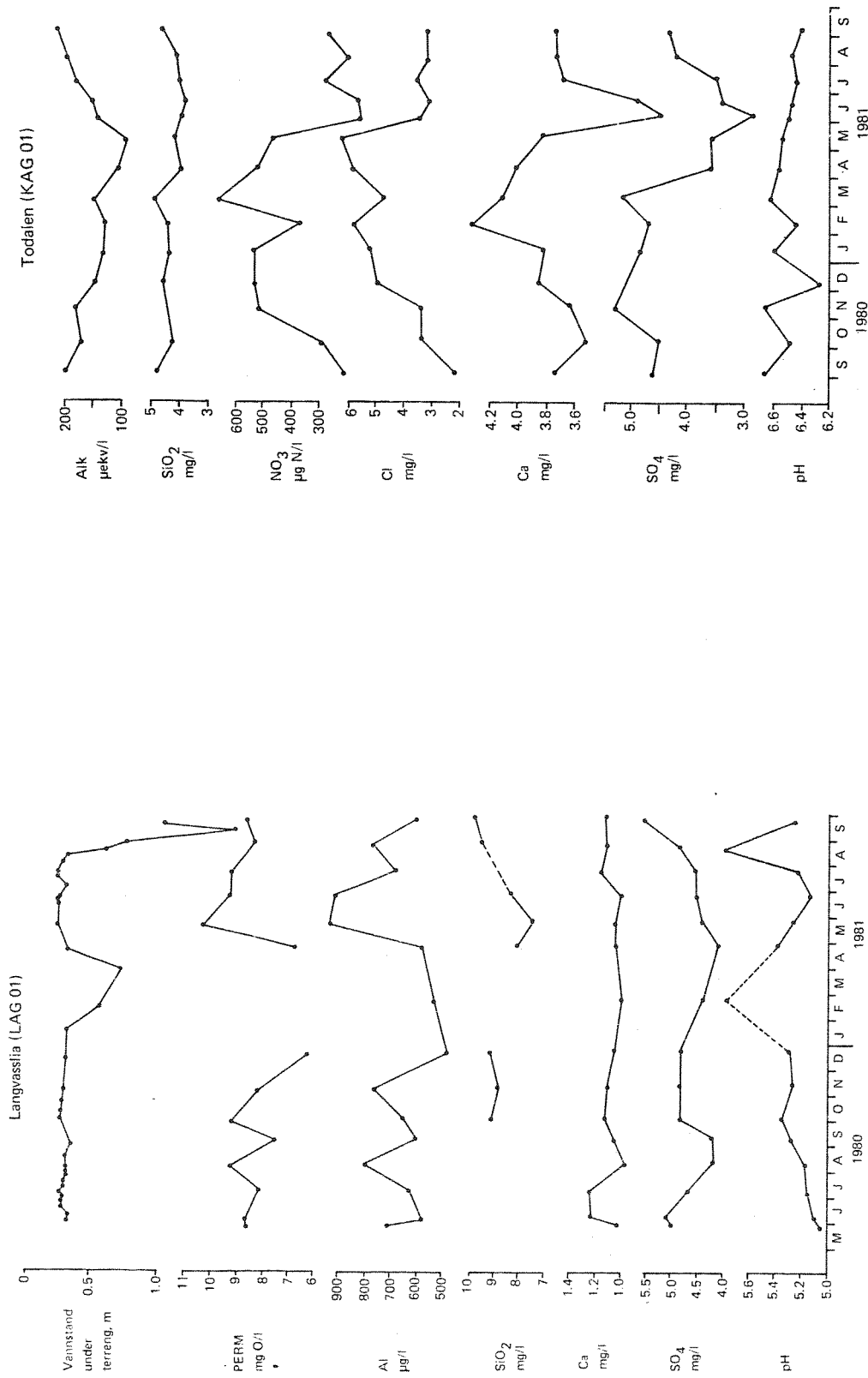


Fig. 15. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Langvasslia.

Fig. 16. Konsentrasjonsvariasjoner over tid for noen komponenter i grunnvann i Todalen.

Langvasslia (Langtjern)

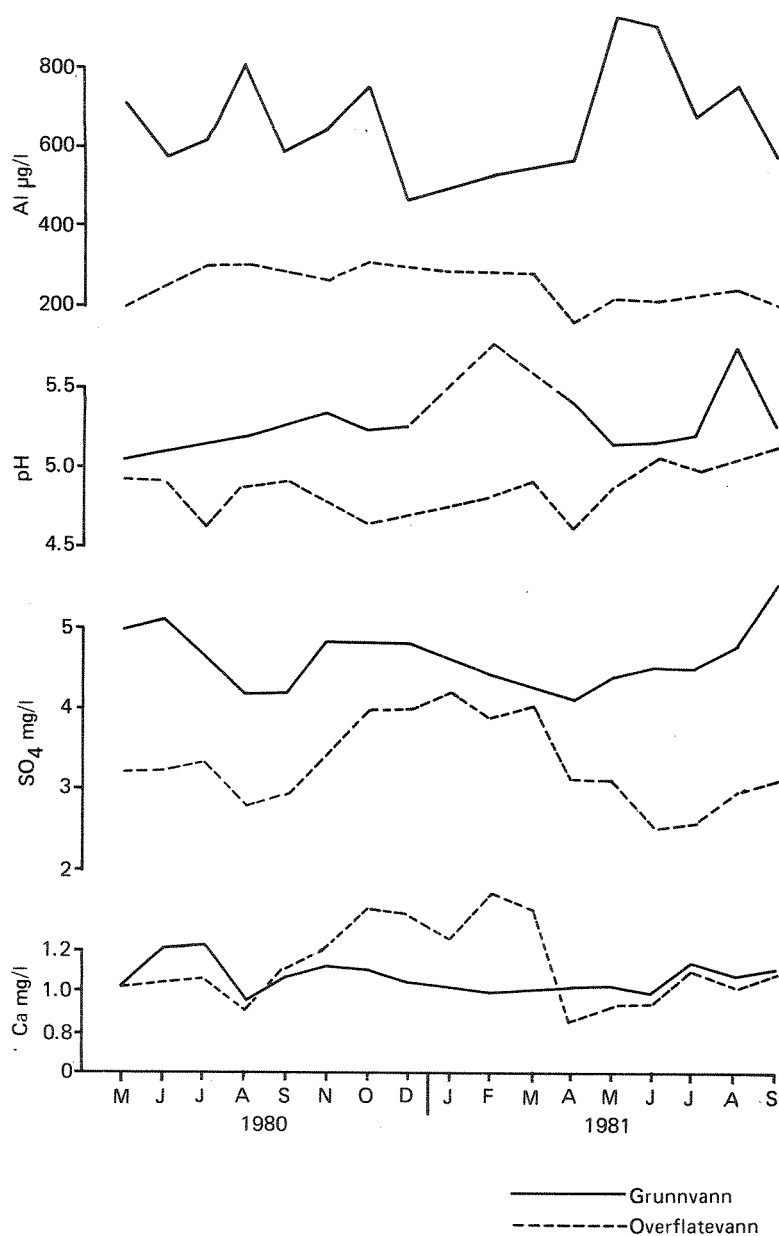


Fig. 17. Sammenlikning av grunnvann i Langvasslia (LAG01) og utløp av Langtjern (LAE01) for perioden mai 1980 - september 1981. Dataene fra LAE01 er prøver tatt samme eller nærmeste dato som prøvene fra LAG01.

Kilden i Todalen (fig. 16) viser store variasjoner i de fleste komponenter i perioden; et høyt nivå om høsten og vinteren og en markert fortykning under vårmeltingen. Generelt er konsentrasjonene i kilden vesentlig høyere

enn i Nauståa (fig. 19), åpenbart fordi overflatevannet har en vesentlig kortere kontakttid med berggrunnen enn grunnvannet.

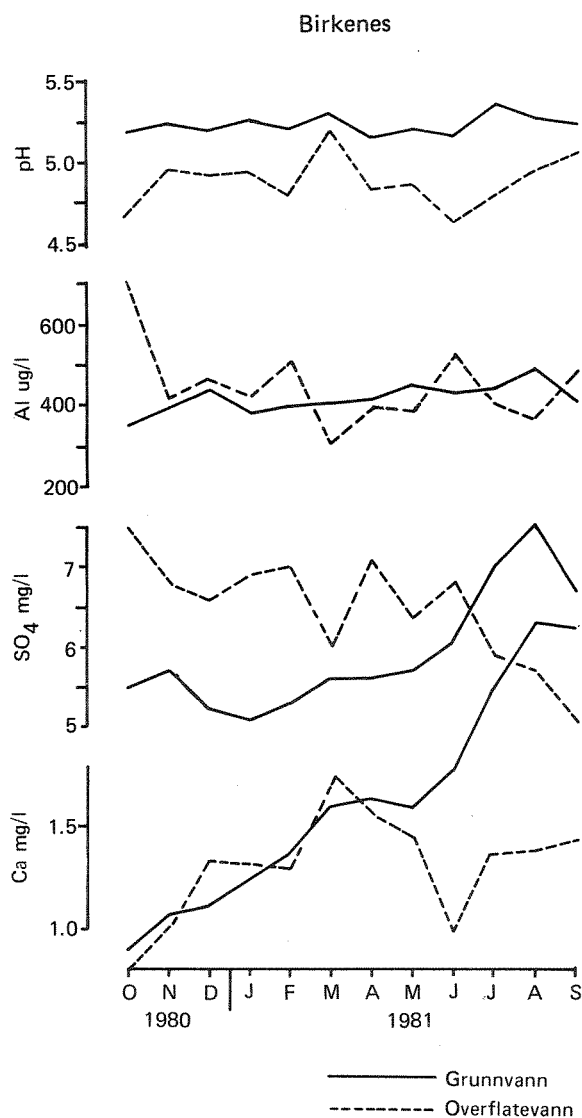


Fig. 18. Sammenlikning av grunnvann i Birkenes (BIG01) med avrenningsvann i Birkenes feltforskningsområde (BIE01) for perioden oktober 1980 - september 1981. Dataene fra BIE01 er fra prøver tatt samme eller nærmeste dato som prøvene fra BIG01.

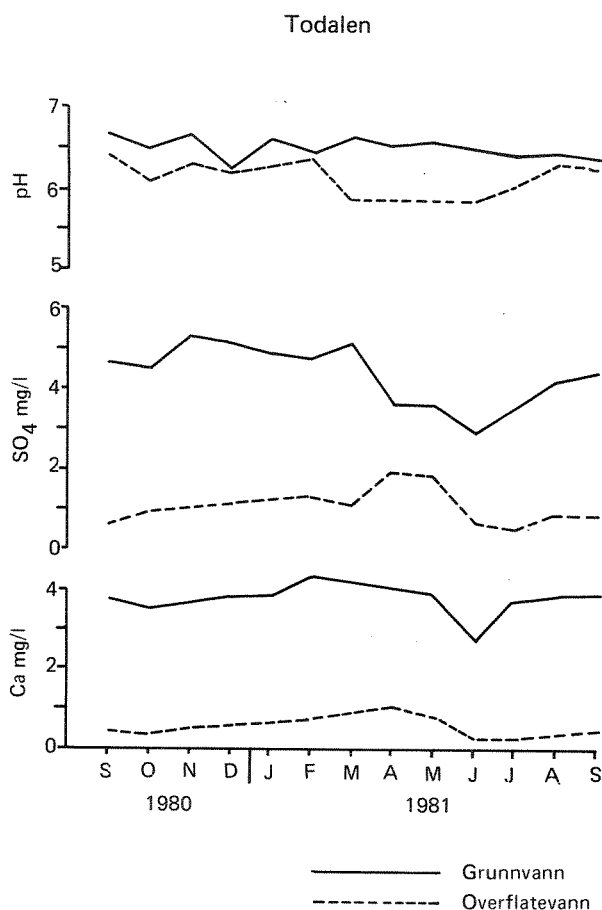


Fig. 19.. Sammenlikning av grunnvann (kilde KAG01) i Todalen med vannet i Nauståa samme sted for perioden september 1980 - september 1981. Dataene fra Nauståa (KAE01) er fra prøver tatt samme eller nærmeste dato som prøvene fra KAG01.

Ut fra denne undersøkelsen som har gått over ett år, er det vanskelig å si hvorvidt en reduksjon i prøvetakingsfrekvens vil kunne gi oss de samme informasjoner som månedlige prøver. De store variasjonene i kjemisk sammensetning var spesielt overraskende i de to store grunnvannsmagasinerne i Birkenes og Åmli. Spesielt for Birkenes kan det bemerkes at i perioden mars-september 1981 har en hatt de laveste vannstandsobservasjoner siden 1978.

Som nevnt er de metoder for forsurningsvurderinger som er anvendbare for de fleste oligotrofe overflatevann ikke uten videre anvendbare for grunnvann. Grunnvannet er utsatt for en rekke prosesser som overflatevannet ikke er utsatt for i samme grad (prosesser som bl.a. medfører høye konsentrasjoner av jern, mangan og aluminium). Det er derfor nødvendig å vurdere mer inngående hvordan en eventuell forsurningsutvikling over tid best kan registreres i grunnvann.

Månedlig prøvetaking i alle feltforskningsområdenes grunnvannsstasjoner bør derfor fortsette videre i 1981 og også i 1982. Samtidig behandles de eksisterende og nye data både fra feltforskningsområdene og grunnvannsnettene videre og i sammenheng med overflatevannets variasjoner i kjemisk sammensetning. I denne sammenheng kan det bli nødvendig med hyppigere prøvetaking i enkelte perioder i noen av grunnvannslokalitetene.

6. SAMMENDRAG

I sammenheng med den statlige forurensningsovervåkingen av vannkvalitetsendringer i de 5 feltforskningsområdene Birkenes i Aust-Agder, Storgama i Telemark, Langtjern i Buskerud, Todalen i Møre og Romsdal og Jergul i Finnmark ble det i 1980 vedtatt å opprette en stasjon for overvåking av grunnvann i løsavsetninger i eller nær hver av disse områder. Det landsomfattende grunnvannsnett (LGN) drives av Norges geologiske undersøkelse (NGU) i samarbeid med Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE). Nettets stasjoner i Birkenes og Åmli (Stigvassåi) ble valgt til å representere henholdsvis Birkenes og Storgama feltforskningsområder. I Langvasslia nær Langtjern ble det funnet et egnet grunnvannsmagasin med samme geologiske forhold som i Langtjerns nedbørfelt. I Todalen ble det funnet en naturlig kilde innen nedbørfeltet for Nauståa. Stasjonen i Jergul vil bli opprettet i 1982.

En sammenlikning av grunnvann og overflatevann ble utført på prøver fra grunnvannsnettene og fra innsjøer i Norge som har

vært undersøkt av prosjektet "Sur nedbørs virkning på skog og fisk", (SNSF-prosjektet). Det er blitt skjønnsmessig vurdert at de parvis sammenliknede lokaliteter ligger i områder med geologisk sett samme type berggrunn og løsavsetninger. Grunnvannet og overflatevannet er blitt sammenliknet parvis ved å avsette komponentenes ekvivalentkonsentrasjoner mot hverandre i et xy-diagram. De enkelte komponenters avvik fra linjen gjennom origo og punktet for de to ionesummer (linjen for proporsjonal sammensetning) gir opplysninger om ulik sammensetning av de to typer vann. Hvis en antar at når kalsium og magnesium faller nær ionesumlinjen er de geologiske forhold i de to lokaliteter av samme art, finner vi at relativt sett er alkaliteten høyere og sulfatkonsentrasjonen lavere i grunnvann enn i overflatevann. Dette gjelder også i feltforskningsområdene Birkenes og Åmli (Storgama). Denne observasjon kan tolkes som at grunnvannet i de forsuringspåvirkede områder i Sør-Norge er mindre forsuret enn overflatevannet.

I feltforskningsområdet Langtjern er forsurenningen omtrent den samme i grunnvannet (Langvasslia) som i overflatevannet (Langtjern). Dette kan skyldes at grunnvannet i Langvasslia har en oppholdstid av samme størrelsesorden som Langtjern. I Birkenes og Åmli derimot, er oppholdstiden for grunnvannet vesentlig lengre enn overflatevannets. Kilden i Todalen viser som ventet ingen tendens til forsurenning.

De grunnvannslokaliteter som er undersøkt, viser regionalt sett en tendens til lavere pH-verdier i de områder der regionale innsjøundersøkelser viser at pH i overflatevann er lavest: på Sørlandet, deler av Østlandet og nær kysten på Vestlandet.

Det er registrert overraskende store variasjoner i den kjemiske sammensetning i grunnvannet i feltforskningsområdene i løpet av måleperioden. Av denne grunn er det påkrevet med en hyppig prøvetaking også fra grunnvannsmagasinerne hvis en skal kunne registrere en eventuell forsurenningstrend over tid. Det foreslås at månedlig prøvetaking av grunnvannstasjonene i feltforskningsområdene opprettholdes i 1982.

7. LITTERATUR

Englund, I.-O. and Myhrstad, J.A., 1980.

Groundwater chemistry of some selected areas in South-eastern Norway. *Nordic Hydrol.* 11, 33-54.

Feth, J.M., Roberson, C.E. and Polzer, W.L., 1964.

Sources of mineral constituents in water from granitic rocks. Sierra Nevada, California and Nevada.

U.S. Geological Survey, Water-supply paper 1535-I; 70 p.

Henriksen, A., 1979a.

Regionale vann- og snøundersøkelser 1976/77 og 1977/78. SNSF-prosjektet, TN 46/79; 21 p.

Henriksen, A., 1979b.

Regional undersøkelse av store innsjøers kjemi i sør-Norge vinteren 1979. SNSF-prosjektet, TN 50/79; 24 p.

Henriksen, A., 1980.

Acidification of freshwaters - a large scale titration. In: Drabløs, D. and Tollan, A. (eds.). *Ecological impact of acid precipitation*, SNSF-project, 68-74.

Overrein, L.N., Seip, H.M., Tollan, A., 1980.

Acid precipitation - effects on forest and fish.

Final report of the SNSF-project 1972-80. FR 19/80; 175 p.

Skartveit, A., Halsvik, B. og Meisingset, E., 1979.

Nedbørkjemi og kjemisk materialbalanse i nedbørfelter på Vestlandet. SNSF-prosjektet; IR 47/79. 80 p.

Statens naturvårdsverk (SNV), 1981.

Försuring av mark och vatten. Bilaga 1 til fiskeristyrelsens och naturvårdsverkets skrivelse till regeringen juni 1981 avseende den framtida kalkingsverksamheten.

Maj 1981; 171 p.

Statens forurensningstilsyn (SFT), 1981.

Statlig program for forurensningsovervåking. Det nasjonale program for overvåking av langtransportert luft og nedbør og dens virkninger. Årsrapport for 1980.

Wright, R.F., Dale, T., Henriksen, A., Hendrey, G.R., Gjessing, E.T., Johannessen, M., Lysholm, C. and Støren, E., 1977.

Regional surveys of small Norwegian lakes October 1974, March 1975, March 1976 and March 1977. SNSF-project, IR 33/77; 153 p.

Wright, R.F. and Henriksen, A., 1978.

Chemistry of small Norwegian lakes, with special reference to acid precipitation. *Limnol. and Oceanogr.* 23, pp 487-98.

A P P E N D I K S

Tabell 5, 6 og 7.

Forklaring av titler til tabell 5,6 og 7.

<u>Tittelkode</u>	<u>Variabel</u>	<u>Enhet</u>
LOK	LGN-nummer	
AMD	Dato	
RNG		
pH	pH	
K20	Konduktivitet	$\mu\text{S/cm}$, 20°C
TURB	Turbiditet	JTU
CA	Kalsium	mg/l
MG	Magnesium	"
NA	Natrium	"
K	Kalium	"
AL	Aluminium	$\mu\text{g/l}$
CL	Klorid	mg/l
SULF	Sulfat	"
NO3N	Nitrat	$\mu\text{g N/l}$
SI02	Silisium	mg/l
FE	Jern	$\mu\text{g/l}$
MN	Mangan	"
PERM	Permanganattall	mg O/l
ALK-E	Alkalitet	$\mu\text{ekv/l}$

Tabell 5. Analysedata for 1980-81 fra overvåking av grunnvann i tilknytning til feltforskningsområdene.

BIRKENES																
FILKODE: BIG01 NAVN: BIRKENES - GRUNNVANN, OVERVÅKNING																
A M D	PH	K20	TURB	CA	MG	NA	K	AL	CL	SULF	N03N	SI02	FE	MN	PERM	ALK-E
R N G																
801006	5.19	34.2	.1	.89	.44	3.16	.30	350.	4.7	5.5	420.	4.8	60.	17.	M .5	5.3
801111	5.23	34.9	.1	1.06	.46	3.17	.37	390.	4.3	5.7	480.	5.1	40.	17.	M .5	7.6
801204	5.18	34.7	.2	1.11	.48	3.30	.37	430.	4.4	5.2	520.	5.1	320.	21.	M .5	12.0
810114	5.25	36.9	.1	1.24	.52	3.04	.29	380.	4.8	5.1	600.	5.4	22.	21.	M .5	17.5
810211	5.20	38.5	.2	1.36	.53	3.01	.29	400.	5.0	5.3	610.	5.4	55.	24.	M .5	20.7
810312	5.30	38.6	.4	1.62	.59	3.39	.33	400.	5.4	5.6	530.	5.5	77.	24.	M .5	17.5
810406	5.16	40.2	.2	1.64	.57	3.38	.33	410.	5.7	5.6	505.	5.3	28.	21.	M .5	13.1
810513	5.19	41.1	.3	1.59	.55	3.30	.34	450.	5.9	5.7	550.	5.2	39.	21.	M .5	20.7
810611	5.16	42.9	.1	1.79	.59	3.38	.35	425.	6.1	6.1	590.	5.1	29.	20.	M .5	9.8
810713	5.36	43.2	.1	2.19	.58	3.61	.38	440.	5.9	7.0	690.	5.1	24.	19.	M .5	6.4
810813	5.28	46.2	.1	2.53	.61	3.62	.39	430.	6.0	7.5	740.	5.2	45.	18.	M .5	6.4
810901	5.24	47.7	.1	2.50	.63	3.67	.35	400.	6.6	6.7	740.	5.6	29.	20.	M .5	18.6

TRFUNGEN																
FILKODE: AMG01 NAVN: AMLI - GRUNNVANN, OVERVÅKNING																
A M D	PH	K20	TURB	CA	MG	NA	K	AL	CL	SULF	N03N	SI02	FE	MN	PERM	ALK-E
R N G																
801006	5.49	21.1	.3	.87	.23	1.83	.17	70.	2.0	3.8	110.	7.2	59.	7.	M .5	25.0
801111	5.25	20.8	.7	1.01	.30	1.81	.21	80.	2.5	3.6	70.	7.4	102.	7.	M .5	29.3
801203	5.44	19.8	.3	.94	.27	1.78	.20	80.	2.0	3.6	80.	7.3	107.	8.	M .5	27.2
810114	5.67	20.9	.6	1.08	.31	1.69	.16	90.	2.0	3.3	130.	8.0	53.	11.	M .5	49.3
810211	5.57	23.9	.6	1.24	.35	1.90	.16	100.	2.4	3.6	110.	8.1	51.	11.	M .5	52.2
810312	5.69	22.2	.4	1.16	.34	2.11	.19	90.	2.4	3.7	90.	8.4	38.	10.	M .5	46.2
810406	5.54	24.4	.2	1.22	.36	2.00	.19	90.	2.2	3.8	75.	7.9	29.	10.	M .5	45.1
810513	5.45	22.4	.4	1.02	.31	2.03	.20	115.	2.1	4.0	125.	8.1	81.	10.	M .5	44.1
810611	5.45	22.0	.2	1.04	.30	1.85	.20	110.	2.1	3.6	130.	7.7	72.	10.	M .5	45.1
810713	5.95	19.9	.2	1.09	.27	1.16	.22	65.	2.0	3.6	180.	7.8	29.	9.	M .5	43.0
810811	5.51	22.1	.3	1.12	.28	1.67	.23	105.	1.9	3.7	200.	8.3	45.	8.	M .5	53.5
810901	5.71	21.7	.2	1.19	.30	1.96	.21	115.	2.1	3.4	220.	9.0	76.	9.	M .5	52.5

Tabell 5. forts. ...

FILKODE: LAGU		LANGTJERN															
NAVN: LANGTJERN - GRUNNVAN, OVERVAKNING STASJON I		PH	K20	TURB	CA	MG	NA	K	AL	CL	SULF	N03N	S102	FE	MN	PERM	ALK-E
A M D R I G I N	P																
800529	5.15	17.9			1.10	.22	1.12	.08	2000.	.6	4.9	M 10.					15.3
800529	5.04	16.4			1.06	.21	1.09	.08	750.	.5	5.0	M 10.					2.9
800529	5.04	18.3			1.03	.20	1.10	.08	710.	.5	5.0	M 10.					1.0
800606	5.10	19.4			1.21	.25	.94	.13	570.	.6	5.1	M 10.					13.1
800709	5.14	17.9			1.23	.23	.94	.06	610.	.6	4.7	M 10.					18.6
800808	5.17	18.6			.97	.18	1.17	.05	800.	1.1	4.2	M 10.					18.6
800908	5.27	18.0			1.06	.20	1.21	.06	590.	.9	4.2	M 10.					18.6
801003	5.33	18.9		.8	1.12	.19	1.24	.08	640.	.9	4.8	M 10.	9.0	210.	39.	7.4	26.1
801113	5.24	17.2		3.5	1.10	.21	1.05	.05	750.	.9	4.8	M 10.	8.7	350.	31.	8.1	18.6
801219	5.28	17.4		.7	1.04	.20	1.17	.06	460.	.7	4.8	M 10.	9.0	110.	29.	6.2	13.1
810219	5.76	18.3			.99	.22	1.09	.04	520.	.8	4.4	M 10.					
810425	5.39	18.5		4.7	1.02	.22	1.02	.06	560.	.6	4.1	M 10.	7.9	250.	30.	6.6	21.8
810523	5.16	17.2		3.8	1.02	.21	1.11	.16	920.	.7	4.4	M 10.	7.4	340.	28.	10.1	15.3
810625	5.14	18.2		2.1	.99	.14	1.09	.12	900.	.6	4.5	M 10.	8.1	280.	29.	9.0	10.9
810722	5.21	17.8		2.6	1.13	.21	1.15	.12	670.	.5	4.5	M 10.		150.	28.	9.0	21.8
810821	5.76	20.6		3.5	1.08	.22	.98	.11	750.	.7	4.8	M 10.	9.4	1240.	40.	8.1	49.3

FILKODE: KAGU		TODALEN															
NAVN: KARVAEN - GRUNNVANN, OVERVAKNING		PH	K20	TURB	CA	MG	NA	K	AL	CL	SULF	N03N	S102	FE	MN	PERM	ALK-E
A M D R I G I N	P																
800904	6.66	37.6	.4	3.74	.63	2.50	1.14	100.	2.3	4.6	220.	4.7	29.	12.	2.8		198.9
801005	6.48	39.6	.6	3.52	.54	2.58	1.15	30.	3.4	4.5	290.	4.2	39.	1.	3.4		169.2
801112	6.66	41.8		3.63	.70	2.51	1.13	50.	3.4	5.3	520.						178.4
801207	6.24	35.4	.6	3.86	.68	2.46	1.23	30.	3.4	5.1	530.	4.5	120.	4.	2.3		147.6
810111	6.58	37.9	.2	3.81	.71	2.28	1.16	10.	5.0	4.8	530.	4.3	22.	M 1.	1.6		133.3
810210	6.42	37.3	.5	4.31	.74	2.48	.99	20.	5.2	4.7	360.	4.4	25.	1.	1.9		131.2
810310	6.61	44.5	.3	4.11	.79	2.41	1.02	20.	4.7	5.1	650.	4.8	239.	M 1.	1.8		148.7
810412	6.55	41.2	.2	4.01	.73	2.24	1.05	10.	5.8	3.6	515.	3.9	24.	M 1.	2.1		104.4
810510	6.54	41.7	.1	3.84	.71	2.05	1.06	40.	6.2	3.6	465.	4.1	89.	2.	2.0		93.0
810607	6.48	33.0	.4	2.78	.51	2.15	1.00	40.	3.4	2.9	150.	3.9	24.	1.	3.0		141.5
810617	6.47	33.2	.1	2.93	.52	2.03	.89	30.	3.1	3.4	160.	3.7	28.	2.	3.1		150.7
810712	6.43	37.6	.3	3.66	.67	2.31	1.08	30.	3.5	3.5	280.	3.9	13.	12.	4.1		188.7
810809	6.46	38.6	.4	3.78	.64	2.42	1.06	50.	3.1	4.2	190.	4.0	28.		2.7		208.1
810906	6.39	41.2	.3	3.77	.64	2.54	1.13	20.	3.1	4.3	260.	4.4	32.	1.	2.6		

Tabell 6. Middelerverdier, standardavvik, maksimums- og minimumsverdier av de målte variable for grunnvann og overflatevann i feltforskningsområdene.

Birkenes BIG 01

PAR	ANT.	OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	10		5.22	6.16-2	5.16	5.36
K2O	10		38.5	3.16	34.2	43.2
TURB	10		.227	9.13-2	.100	.430
FE	10		69.4	85.2	22.0	320.
MN	10		20.4	2.28	16.5	23.5
CA	10		1.45	.372	.890	2.19
MG	10		.531	5.22-2	.440	.590
NA	10		3.27	.173	3.01	3.61
K	10		.335	3.17-2	.290	.380
AL	10		407.	28.6	350.	450.
CL	10		5.27	.573	4.40	6.10
SULF	10		5.68	.517	5.10	7.00
NO3N	10		549.	72.4	420.	690.
SI02	10		5.19	.196	4.80	5.50
PERM	10		.500	0.00	.500	.500
ALK-E	10		13.1	5.50	5.29	20.7

Birkenes BIE 01

PAR	ANT.	OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	60		4.80	.224	4.15	5.37
K2O	60		35.2	3.82	30.2	54.9
CA	60		1.29	.258	.780	2.04
MG	60		.413	4.83-2	.340	.590
NA	60		2.61	.218	2.23	3.30
K	60		.146	8.41-2	4.00-2	.440
AL	60		458.	105.	260.	710.
CL	60		4.15	.462	3.00	5.40
SULF	60		6.57	.578	5.40	8.10
NO3N	60		91.8	54.7	30.0	320.
ALK-E	10		7.81	8.91	6.46-3	27.2

Åmli AMG 01

PAR	ANT.	OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	10		5.58	.149	5.44	5.95
K2O	10		21.7	1.47	19.8	24.4
TURB	10		.442	.176	.210	.750
FE	10		62.2	26.5	29.0	107.
MN	10		9.23	1.36	7.30	11.0
CA	10		1.07	.111	.870	1.24
MG	10		.304	3.80-2	.230	.360
NA	10		1.82	.249	1.16	2.11
K	10		.190	1.95-2	.160	.220
AL	10		89.0	15.3	65.0	115.
CL	10		2.17	.185	2.00	2.50
SULF	10		3.66	.174	3.30	4.00
NO3N	10		110.	31.7	70.0	180.
SI02	10		7.78	.369	7.20	8.40
PERM	10		.501	3.00-3	.500	.510
ALK-E	10		40.7	9.27	25.0	52.5

Storgama STE 01

PAR	ANT.	OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	65		4.64	.146	4.46	5.04
K2O	65		19.2	4.06	12.5	28.6
CA	56		.679	.229	.440	1.31
MG	56		.134	5.31-2	5.00-2	.320
NA	56		.574	.258	.250	1.50
K	56		.145	.163	1.00-2	.640
AL	56		178.	56.0	70.0	310.
CL	56		1.07	.495	.300	2.60
SULF	65		3.12	.865	1.60	5.50
NO3N	58		59.7	71.9	10.0	435.

Tabell 6. forts.

Langvassli LAG 01

PAR	ANT.OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	15	5.23	.172	5.04	5.76
K20	15	18.1	.588	17.2	19.4
TURB	7	2.61	1.38	.780	4.70
FE	7	241.	84.2	110.	350.
MN	7	30.3	3.69	27.5	39.0
CA	15	1.07	7.46-2	.970	1.23
MG	15	.206	2.39-2	.140	.250
NA	15	1.10	8.36-2	.940	1.24
K	15	8.20-2	3.37-2	4.00-2	.160
AL	15	763.	354.	460.	2.00+3
CL	15	.700	.175	.500	1.10
SULF	15	4.63	.311	4.10	5.10
NO3N	15	10.0	0.00	10.0	10.0
SIO2	6	8.36	.583	7.45	9.00
PERM	14	8.68	1.42	6.16	12.2
ALK-E	14	15.5	6.61	1.65	26.1

Langtjern utløp LAE 01

PAR	ANT.OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	63	4.80	.108	4.62	5.06
K20	63	17.8	2.58	12.0	22.2
CA	63	1.14	.206	.600	1.57
MG	63	.198	3.87-2	.110	.260
NA	63	.519	.100	.390	1.00
K	63	.104	4.41-2	3.00-2	.270
AL	63	259.	41.4	140.	330.
CL	63	.786	.232	.400	1.60
SULF	63	3.47	.566	2.40	5.00
NO3N	63	18.0	18.7	10.0	150.

Todalen KAG 01

PAR	ANT.OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	12	6.51	.113	6.24	6.66
K20	12	38.4	3.38	33.0	44.5
TURB	11	.385	.175	.140	.660
FE	11	58.5	62.7	13.5	230.
MN	11	3.33	4.03	.950	12.0
CA	12	3.68	.425	2.78	4.31
MG	12	.661	8.79-2	.510	.790
NA	12	2.31	.177	2.03	2.58
K	12	1.07	8.90-2	.890	1.23
AL	12	34.2	22.9	10.0	100.
CL	12	4.12	1.16	2.30	6.20
SULF	12	4.26	.774	2.90	5.30
NO3N	12	389.	160.	150.	650.
SIO2	11	4.21	.346	3.65	4.80
PERM	11	2.56	.755	1.60	4.10
ALK-E	11	145.	29.2	93.0	199.

Nauståa KAE 01

PAR	ANT.OBS.	SNITT	ST.AV.	MIN	MAX
PH	62	6.17	.235	5.47	6.68
K20	62	12.6	5.86	6.70	30.9
CA	62	.556	.247	.230	1.24
MG	62	.189	.104	8.00-2	.530
NA	62	1.33	.689	.670	3.69
K	62	.142	5.29-2	7.00-2	.340
AL	62	23.0	14.0	10.0	80.0
CL	62	2.20	1.51	.900	7.60
SULF	62	.995	.333	.500	1.90
NO3N	62	18.4	21.8	10.0	170.
ALK-E	61	28.6	12.9	4.12	53.5

Tabell 7. Analysedata fra landsomfattende grunnvannsnett november-desember 1980.

LOK	FILKODE: LGN	GRUNNVANN															
		PH	K20	TURB	PERM	CA	MG	NA	K	CL	SULF	NO3N	ALK-E	AL	FE	MN	SI02
1	801007	7.78	406.0	89.0	1.2	51.70	4.52	32.20	2.54	63.0	24.0	70.	2509.2	2600.	4270.	68.	6.2
4	800930	6.22	30.0	.3	M .5	2.97	.49	1.62	.18	1.1	1.5	20.	229.6	30.	120.	3.	8.6
5	800929	6.57	82.0	1.4	1.3	13.20	.25	1.12	.41	.7	2.6	M 10.	852.7	70.	200.	29.	6.3
9	801006	5.32	32.2	1.7	1.1	2.17	.61	1.37	.23	2.7	6.5	260.	52.5	450.	210.	27.	6.0
10	800929	6.43	36.6	.3	M .5	2.62	.84	2.08	1.01	1.0	7.4	70.	187.6	10.	52.	1.	14.0
11	801028	6.45	27.2	.6	M .5	2.26	.69	1.79	.37	1.6	2.3	10.	196.9	10.	18.	13.	15.0
13	801029	6.09	37.9	.1	M .5	3.91	.53	1.97	.53	5.1	3.0	60.	149.7	10.	15.	21.	7.6
14	801021	6.08	41.8	7.2	M .7	2.83	.62	1.26	.74	.9	4.5	M 10.	338.7	60.	1760.	380.	7.0
15	801105	5.44	25.6	33.0	M .5	2.03	.30	1.15	.62	1.2	4.6	10.	111.6	430.	1290.	400.	8.0
20	801023	5.71	40.7	1.0	3.8	3.54	.56	2.56	.59	1.7	4.7	380.	236.7	340.	440.	7.	14.0
24	801105	5.99	30.1	.1	.5	4.01	.42	1.10	.22	.8	4.1	150.	198.9	10.	23.	1.	6.3
26	810404	7.02	171.3	18.0	4.0	31.40	3.79	8.23	2.06	14.6	2.5	M 10.	1422.2	330.	1450.	270.	23.0
27	800920	6.55	38.0	2.0	1.8	2.32	1.83	2.03	.56	1.8	2.0	240.	314.2	30.	140.	8.	15.0
29	801002	6.01	116.0	5.1	M .5	11.40	1.91	5.88	1.52	9.4	11.0	2300.	448.5	10.	930.	54.	13.0
30	801001	5.98	36.8	1.2	M .5	.54	.56	4.01	.50	5.9	4.5	240.	65.0	M 10.	100.	69.	3.6
31	801022	5.62	34.1	4.7	M .8	1.02	.44	3.02	.29	5.9	1.7	300.	107.5	500.	840.	20.	4.0
33	810908	5.77	77.9	.2	M .5	2.71	2.57	7.53	.58	9.6	1.7	4000.	141.5	10.	16.	12.	6.1
37	801007	5.74	110.0	.4	.5	4.40	2.59	9.91	.74	19.1	12.0	1480.	112.7	20.	64.	24.	5.4
38	801022	5.78	34.8	.1	.5	1.77	.53	3.55	.27	6.3	1.4	220.	111.6	40.	37.	6.	5.9
39	801126	7.31	90.9	.1	M .5	11.80	1.81	3.70	1.33	4.6	4.4	190.	704.9	M 10.	60.	2.	8.7
42	801023	6.89	60.3	13.0	M .5	7.36	1.32	1.92	1.45	1.7	6.9	150.	444.4	420.	1220.	51.	13.0
43	801105	5.91	16.9	.5	M .5	.85	.51	.94	.38	1.4	2.9	40.	59.8	10.	89.	9.	5.6
44	810526	7.07	173.0	34.0	1.0	38.60	1.29	2.25	1.70	5.8	7.0	2500.	1202.2	320.	600.	29.	0.4