

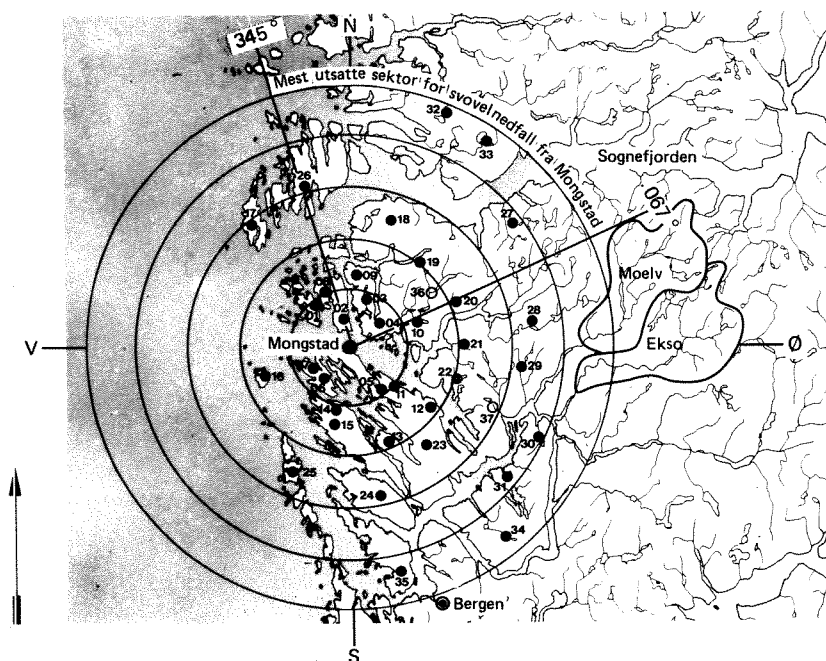


O-88162

Overvåking av innsjøer rundt

Mongstad

1989



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	Vestlandsavdelingen Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.: 0-88162
Undernummer:
Løpenummer: 2417
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Overvåking av innsjøer rundt Mongstad, 1989.	Dato: 11.5.1990
	Prosjektnummer: 0-88162
Forfatter (e): Tor S. Traaen	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Hordaland Møre & Romsdal
	Antall sider (inkl. bilag): 29

Oppdragsgiver: Statoil Mongstad, 5154 Mongstad	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: I 1988 og 1989 er det utført vannkjemiske undersøkelser av 27 innsjøer innenfor en radius av ca 4 mil fra Mongstad-raffineriet. Deler av undersøkelsesområdet er blandt de mest forsuringsfølsomme områdene i Norge. Det er målt pH-verdier ned mot 4.5. Høye nedbørmender i 1989 førte til lavere konsentrasjoner av ikke-marin sulfat i 1989 enn i 1988. Nedgangen i ikke-marin sulfat var like markert i innsjøene som ligger mest utsatt til for svovelnedfall fra Mongstad-raffineriet som i øvrige innsjøer, selv om svovelutslippene fra raffineriet var betydelig høyere i 1989 enn i 1988. Svoveldeposisjonen i området synes å være dominert av langtransporterte forurensninger.
--

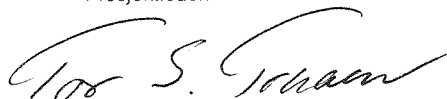
4 emneord, norske:

1. Sur nedbør
2. Innsjøer
3. Forsuring
4. Oljeraffineri

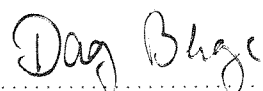
4 emneord, engelske:

1. Acid rain
2. Lakes
3. Acidification
4. Oil refinery

Prosjektleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-1718-5

0 - 88162

**OVERVÅKING AV INNSJØER
RUNDT MONGSTAD
1989**

Saksbehandler: Tor S. Traaen

Medarbeider : Arne Henriksen

INNHALDSFORTEGNELSE

	side
1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	3
2. INNLEDNING	4
3. VALG AV INNSJØER. PRØVETAKING OG ANALYSEPROGRAM	4
3.1 Valg av innsjøer.	4
3.2 Prøvetaking.	7
3.3 Analyseprogram.	7
4. RESULTATER OG DISKUSJON	8
4.1 pH.	8
4.2 Ikke-marine basekationer (ECM*).	8
4.3 Ikke-marine sulfat (ES04*).	12
4.4 Nitrat (NO3N)	14
4.5 Organisk karbon (TOC).	15
4.6 Sjøsaltenes innvirkning på surhetsgraden.	16
4.7 Alkalitet (ALK-E) og syrenøytraliserende kapasitet (ANC).	17
4.8 Vurdering av Mongstad-raffineriets bidrag til sulfatkonsentrasjonene i innsjøene.	19
LITTERATUR	20
VEDLEGG	21

1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Rapporten gir resultatene av vannkjemiske undersøkelser av 27 innsjøer rundt Mongstad i 1989. Overvåkingen startet i 1988 og er utført etter oppdrag fra Statoil Mongstad.

Forsuringssituasjonen i innsjøene er vurdert ut fra naturgitte forhold som innsjøenes motstandsevne mot forsuring, innhold av organiske syrer og hydrologiske forhold, samt fjerntransporterte forurensninger og mulige effekter av utlipp fra Mongstad-raffineriet.

Store deler av undersøkelsesområdet er blandt de mest forsuringfølsomme områdene i landet. Flere innsjøer har konsentrasjoner av basekationene kalsium og magnesium på under 10 $\mu\text{ekv/l}$, og det er målt pH-verdier ned mot 4.5.

Flere kystnære innsjøer har en naturgitt surhet på grunn av høyt innhold av organiske syrer. I enkelte innsjøer er den naturgitte forsuring (på ekvivalentbasis) større enn bidraget fra luftforurensninger.

På grunn av høye nedbørmengder i området i 1989 var konsentrasjonene av sulfat markert lavere i 1989 enn i 1988. Det var allikevel liten endring i innsjøenes pH. Den viktigste årsaken til dette var en markert nedgang i ikke-marin natrium, trolig en såkalt "sjøsalteffekt". Denne effekten består i at natrium fra sjøsalt ionebyttes med hydroniumioner i jordsmonnet. En markert økning i kloridkonsentrasjonene fra 1988 til 1989 viser at sjøsaltpåvirkningen var spesielt stor i 1989.

På grunn av innkjøring av nytt raffineri var svovelutslippene fra Statoil Mongstad betydelig høyere i 1989 enn i 1988, spesielt de siste månedene før prøvetaking av innsjøene. Innsjøer i det mest utsatte området for svovelnedfall fra Mongstad-raffineriet hadde tilnærmet den samme nedgangen i sulfatkonsentrasjoner som innsjøer i området forøvrig. Den markerte økningen i raffineriets svovelutslipp fra 1988 til 1989 ga følgelig ingen merkbar påvirkning av innsjøenes sulfatkonsentrasjon. Dette tyder på at det antropogene svovelnedfallet i området hovedsaklig er fjerntransportert.

2. INNLEDNING

Denne overvåkingsundersøkelsen av innsjøer rundt Mongstad er utført etter oppdrag fra Statoil Mongstad. Hensikten med overvåkingen er å undersøke om sure utslipp fra Mongstad-raffineriet påvirker innsjøene i området. Undersøkelsen startet i 1988 og ble videreført i 1989. Undersøkelsen i 1988 (Traaen og Henriksen 1989) kunne ikke påvise noen sammenheng mellom forsuring av innsjøer og svovelutslipp fra Mongstad-raffineriet.

Konsesjonsgrensene for utslipp til luft fra Mongstad-raffineriet er 2500 tonn SO_2 /år. Utslippene er oppgitt å ha ligget under dette de siste årene, med unntak av 1989 da det nye raffineriet ble startet opp. De siste 12 månedene før vannprøvetakingen i slutten av oktober 1989 ble det sluppet ut 2753 tonn SO_2 , mot 1697 tonn i tilsvarende periode året før. Utslippsdata for svoveldioksid er vist i bilag nr.1. Nedfallet av SO_4 fra Mongstad-raffineriet er beregnet å utgjøre maksimalt 6% av bakgrunnsnedfallet i den mest utsatte sektor (345-067°) innen 6 mil fra Mongstad-raffineriet (Førland 1981). Spredningsstudier er referert i litteraturlisten. Det nye raffineriet har konsesjon på utslipp av 1400 tonn/år av nitrogenoksider (målt som NO). Driftsdata for 1989 foreligger ikke.

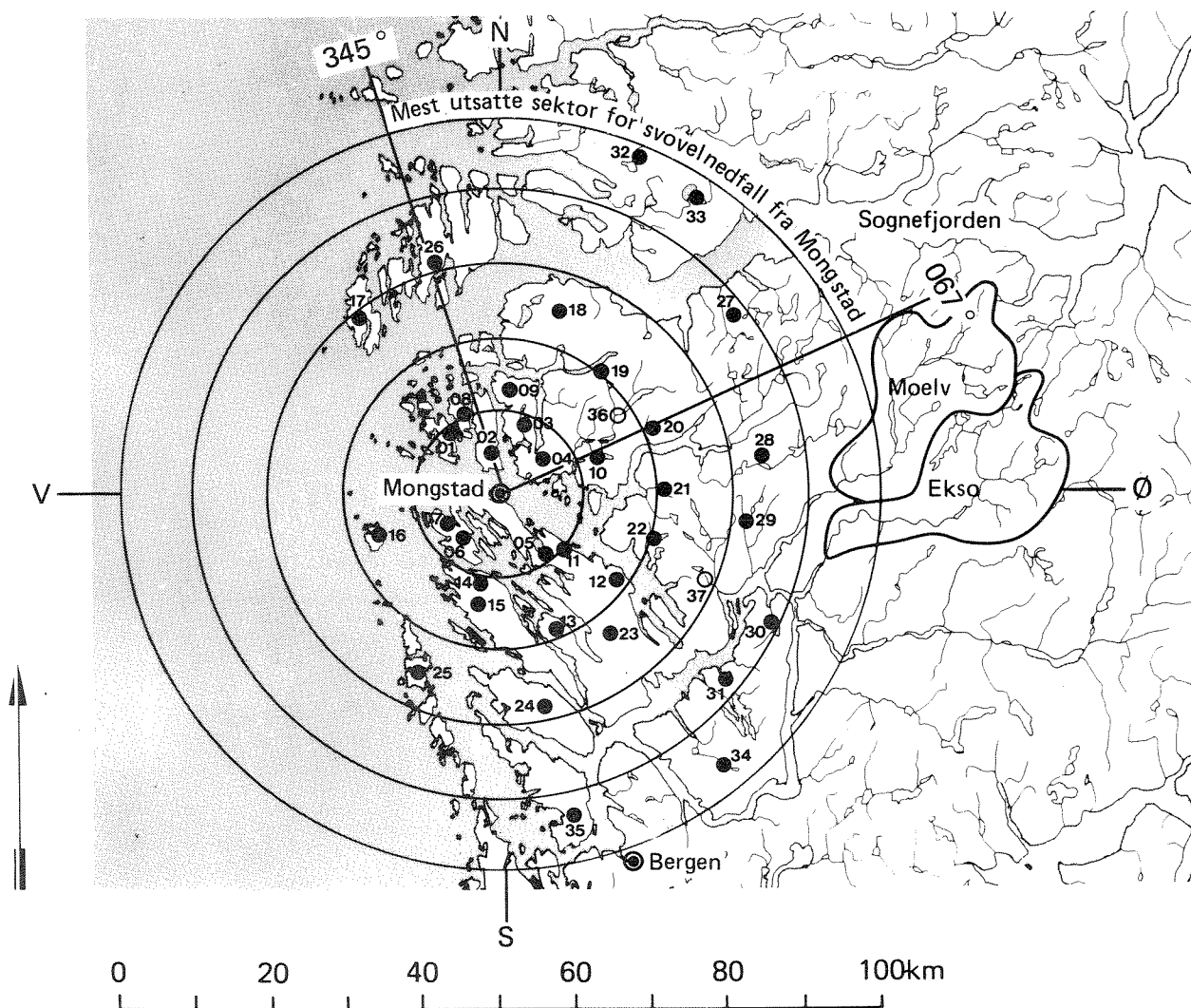
3. VALG AV INNSJØER. PRØVETAKING OG ANALYSEPROGRAM

3.1 Valg av innsjøer.

De utvalgte innsjøene ligger innenfor en radius av 5 mil fra Mongstad (se Figur 1). Det er lagt vekt på å få en spredning i alle retninger fra Mongstad slik at resultatene kan sammenholdes med de fremherskende vindretninger fra Mongstad. Videre er det fortrinnsvis valgt innsjøer som er større enn 0.2 km². Det er også tatt hensyn til om innsjøene er undersøkt tidligere. Således er 9 innsjøer fra overvåkingsprogrammet til Statoil Mongstad og 10 innsjøer fra "1000"-sjøers-undersøkelsen inkludert. 16 innsjøer er nye, og er primært valgt ut fra beliggenhet i forhold til Mongstad. 2 innsjøer fra SFT/NIVA's årlige "100"-sjøers undersøkelse er inkludert i bearbeidingen. Disse er markert med åpne sirkler i Figur 1. 37 innsjøer ble undersøkt i 1988. 10 innsjøer ble tatt ut av programmet i 1989 fordi de enten var lite følsomme for forsuring, var kalket, hadde høyt innhold av naturgitte organiske syrer eller lå mer enn 4 mil fra Mongstad-raffineriet. Innsjøene er listet opp i Tabell 1. I tabellen er innsjøene gruppert etter avstand i luftlinje fra Mongstad-raffineriet.

Tabell 1. Innsjøer i overvåkingprogrammet for Mongstad.
 Innsjøer merket med asterix (*) utgikk av programmet i 1989.

Innsjønr./innsjø	Kartblad	UTM	h.o.h. (m)
0-1 mil fra Mongstad			
M01 Nykksvatn	1116 IV	777579	ca100
M02 Kvernhusvatn	1116 IV	835539	33
M03 Svardalsvatn *	1116 IV	875580	27
M04 Svelivatn	1116 I	908537	121
M05 Tjukkkhetlavatn	1116 I	893419	10
M06 Førlandsvatn *	1116 IV	794424	14
M07 Rebnordsvatn	1116 IV	765462	23
1-2 mil fra Mongstad			
M08 Mjømnevatn *	1116 IV	794599	21
M09 Norddalsvatn	1116 IV	856628	98
M10 Ostavatn	1116 I	976534	48
M11 Fonnebostvatn	1116 I	923417	23
M12 Austrevatn(Fjellsende)	1116 II	941396	8
M13 Festevatn *	1116 II	880319	10
M14 Færevatnet	1116 III	800369	19
M15 Kvalheimsvatn *	1116 III	787345	6
M16 Langevatn	1016 I	666446	17
2-3 mil fra Mongstad			
M17 Gardvatn	1017 II	675740	33
M18 Nordgulvatn	1117 II	938723	133
M19 Klyvtveitvatn	1116 I	993654	407
M20 Grønefjellvatn	1116 I	019579	403
M21 Storevatn	1116 I	048493	135
M22 Blådalsvatn	1116 I	044421	272
M23 Tveitavatn	1116 II	007277	24
M24 Storavatn	1116 II	863203	10
M25 Rotevatn *	1116 III	717256	19
3-4 mil fra Mongstad			
M26 Storevatn (Hop)	1117 III	766791	30
M27 Kovevatn	1217 III	161720	532
M28 Littlematrestøylvatn	1216 IV	188521	608
M29 Botnavatn	1216 IV	169445	348
M30 Toskedalsvatn *	1216 III	188296	182
M31 Kleppesvatn	1216 III	119235	35
4-5 mil fra Mongstad			
M32 Markhusvatn *	1117 II	038924	214
M33 Nordstrandvatn *	1217 III	111864	238
M33B Sørestrandvatn *	1217 III	120871	238
M34 Storavatn *	1215 IV	122112	320
M35 Kleppevatn	1115 I	912047	70
"100-sjøer"(SFT/NIVA)			
TM36 Yndesdalsvatn	1116 I	014600	103
TM37 Båtevatn	1216 III	098375	451



Figur 1. Prøvetakingsstasjoner for overvåking av innsjøer rundt Mongstad. Tallene refererer til innsjønumre (Mxx) i Tab.1. Mest utsatte sektor (345° - 067°) for svovelnedfall fra Mongstad-raffineriet er inntegnet.

3.2 Prøvetaking.

Prøvene ble tatt i siste halvdel av oktober (etter høstsirkulasjonen). De fleste prøvene ble tatt ved utløpet av innsjøen, fortrinnsvis i utløpsbekken. Der det ikke var synlig eller tilgjengelig utløp ble prøvene tatt i god avstand fra tilløpsbekker. Prøvene ble tatt på spesialvaskede plastflasker og postlagt til NIVAs analyselaboratorium.

Prøvetakingen ble utført av personale ved Statoil Mongstad. Det ble benyttet helikopter til prøveinnsamlingen, men ingen prøver ble tatt direkte fra helikopteret. Eli Nummedal organiserte prøvetakingen.

3.3 Analyseprogram.

Analyseprogrammet omfatter følgende parametre:

Komponent	Enhet	Analysemetode
pH		Orion Modell 801-A pH-meter med Radiometer kombinasjonselektrode.
Konduktivitet	mS/m 25°C	Philips PW 9509 digital meter.
Ca	mg/l	Atomabsorbsjon, flamme, Perkin Elmer 560.
Mg	"	" 0
Na	"	"
K	"	"
Cl	"	Ionekromatograf (Waters-ILC-1).
SO ₄	"	"
NO ₃	µgN/l	"
Alkalitet	µekv/l	Titring med syre til pH 4.5, med korreksjon til endepunktsalkalitet (ALK-E).
Organisk karbon (TOC)	mgC/l	ASTRO model 2850 TOC/TC Analyzer.
Reaktiv Al(RAL)	µg/l	AutoAnalyzer.
Ikke-labil Al(ILAL)	"	AutoAnalyzer med ionebytte.
Labil Al (LAL)	"	LAL = RAL - ILAL

4. RESULTATER OG DISKUSJON

De kjemiske analyseresultatene er vist i Vedlegg nr. 4. For innsjøer som inngikk i "1000"-sjøers undersøkelsen er også data fra 1986 gjengitt. Forklaring til tabellen er vist i Vedlegg nr. 3. Resultater for pH, ikke-marin kalsium og magnesium (ECM*), og ikke-marin sulfat (ES04*) fra 1989 er også presentert på kart i figurene 2, 5 og 7. Endringer i kjemiske parametre fra 1988 til 1989 er vist i form av plot (figurene 3, 4, 6, 8, 9, 10 og 11), middelveier (Vedlegg 5) og t-tester på endringene (Vedlegg 6). Middelveier og t-tester er beregnet både for alle innsjøer samlet og for grupper av innsjøer ut fra beliggenhet i forhold til Mongstad-raffineriet.

4.1 pH.

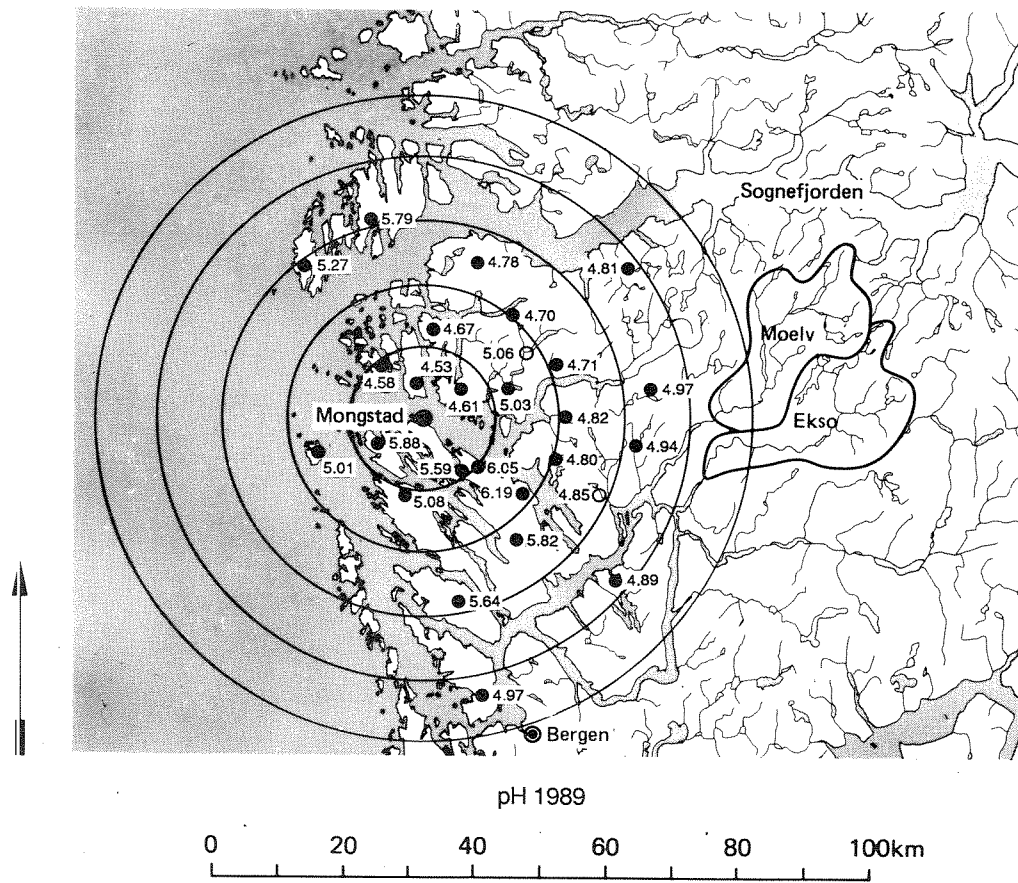
Det fremgår av figur 2 at de sureste vannene i undersøkelsen ligger i sektoren NV til Ø for Mongstad. De laveste pH-verdiene i 1989 hadde innsjø nr.02 Kvernhusvatn og nr.01 Nykksvatn med pH på h.h.v. 4.53 og 4.58. Det synes å være en tendens til noe lavere pH-verdier i 1989 enn i 1988 (figur 3), men endringen er ikke statistisk signifikant (vedlegg nr. 6).

4.2 Ikke-marine basekationer (ECM*).

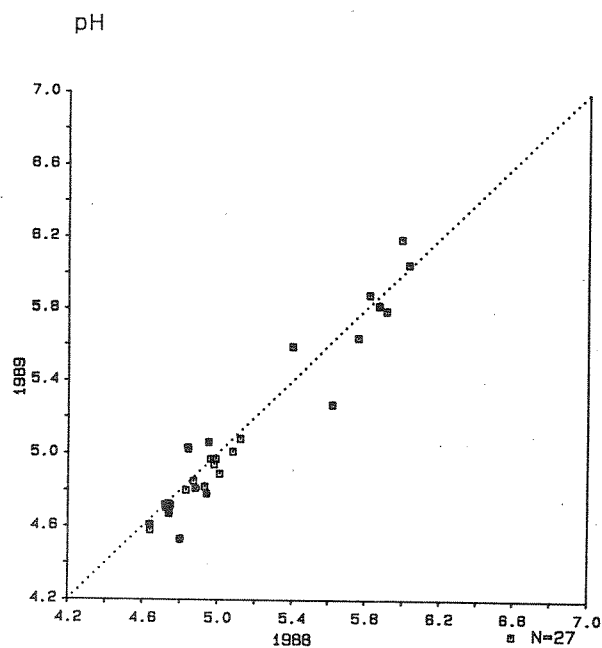
Vannets innhold av basekationene kalsium og magnesium gir et uttrykk for den opprinnelige forsuringfølsomheten. Så lenge vannet ikke er forsuret er basekationene balansert av bikarbonat (alkalitet). Ved forsuring med svovelsyre blir bikarbonat byttet ut med sulfationer. Fordi basekationer som stammer fra havet for det meste er balansert av andre anioner enn bikarbonat, må sjøsaltbidraget trekkes fra for å få et riktig uttrykk for den opprinnelige forsuringfølsomhet. Sjøsaltbidraget finnes ved å multiplisere kloridverdier med en faktor på 0.233, da det antas at alt klorid kommer fra havet gjennom nedbøren.

Det fremgår av figur 5 at lave verdier av basekationer (lav motstand mot forsuring) stort sett finnes i de samme områdene hvor pH-verdiene er lave. Flere innsjøer har verdier for basekationer under 10 $\mu\text{ekv/l}$. Dette viser at området er blandt de mest forsuringfølsomme i Norge.

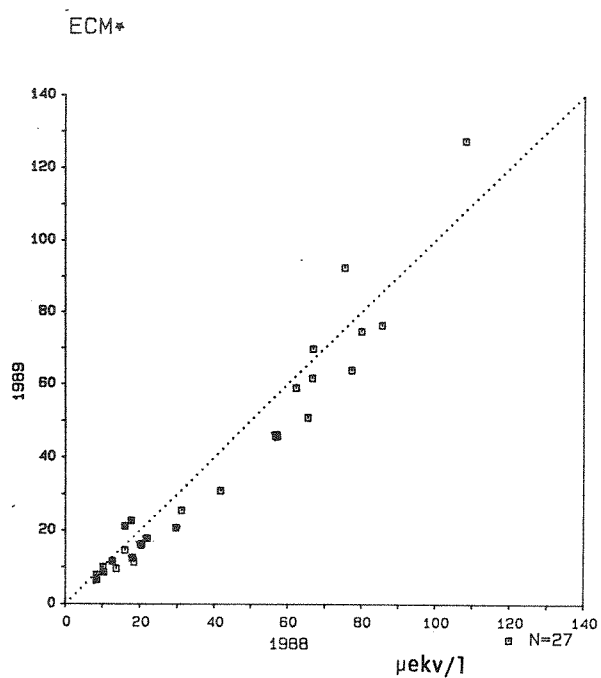
Verdiene av ECM* var gjennomgående noe lavere i 1989 enn i 1988 (figur 4 og Vedlegg 5), men endringen var ikke signifikant (Vedlegg 6).



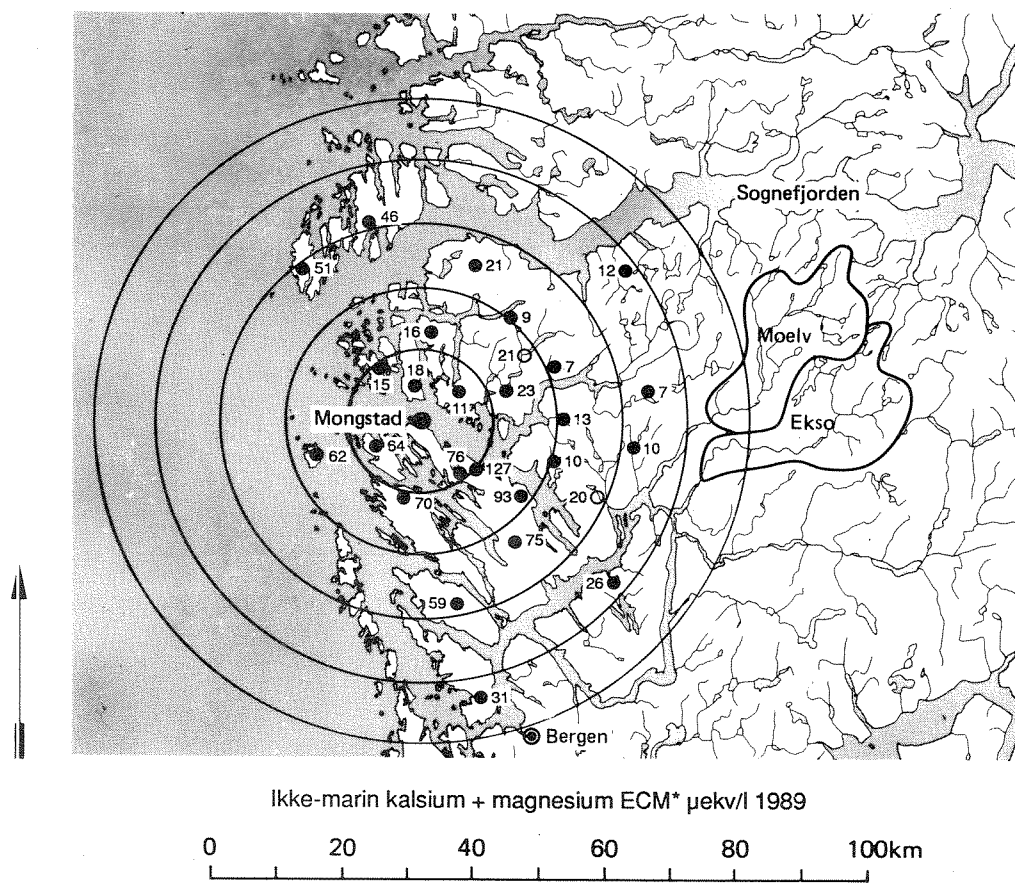
Figur 2. pH i innsjøer rundt Mongstad, høsten 1989.



Figur 3. pH i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra Mongstad-raffineriet.



Figur 4. Ikke-marine basekationer (ECM*) i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra Mongstad-raffineriet.



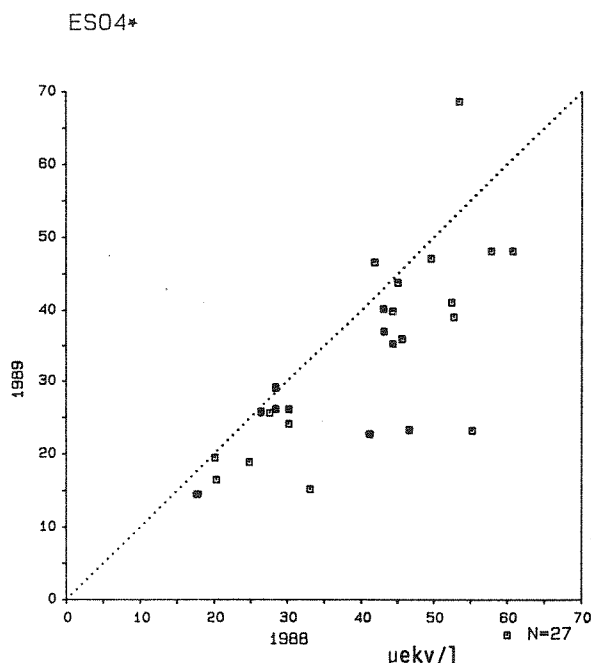
Figur 5. Ikke-marine basekationer (ECM*) i innsjøer rundt Mongstad, høsten 1989. Enhet: $\mu\text{ekv/l}$.

4.3 Ikke-marin sulfat (SO₄*).

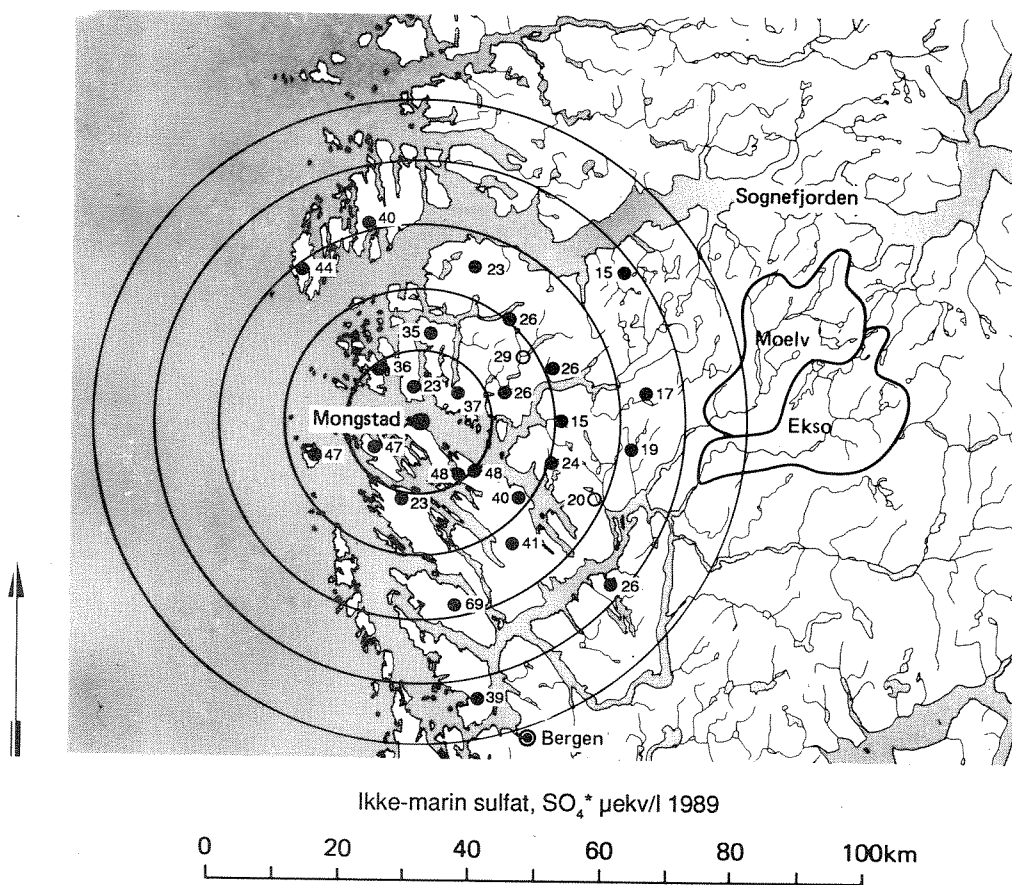
Sulfat er det viktigste sure anionet i vannforsuring. Ved siden av antropogen sulfat (fra forurensning) inneholder overflatevann sulfat fra sjøsalter (mengden er avhengig av avstanden fra kysten). Dette kan man korrigere for ved å trekke fra kloridverdien (i $\mu\text{ekv/l}$) multiplisert med en faktor på 0.103. I tillegg kan vannet inneholde noe sulfat fra geologiske kilder (vitring). Det finnes ingen pålitelig metode til å korrigere for geologisk sulfat. Vanligvis er imidlertid innholdet av geologisk sulfat lavt i forsuringfølsomme områder, slik at man kan regne med at ikke-marin sulfat gir et rimelig godt uttrykk for påvirkningen fra forurenset luft og nedbør.

Figur 7 viser at påvirkningen er størst langs kysten og avtar innover i landet. I kystområdene ligger verdiene av SO₄* gjennomgående i området 40-60 $\mu\text{ekv/l}$ mot 20-30 $\mu\text{ekv/l}$ lenger inn i landet. Det er ingen tendens til høyere verdier i områdene som er mest utsatt fra nedfall fra Mongstad.

Det var en klar tendens til lavere verdier av ikke-marin sulfat i 1989 enn i 1988 (Figur 6). Middelveien for alle sjøene var redusert med 7 $\mu\text{ekv/l}$ fra 1988 til 1989, og endringen var høyst signifikant. Det var den samme tendensen i innsjøer som ligger i den mest utsatte sektor for nedfall fra Mongstad som i øvrige sektorer (Vedlegg 6).



Figur 6. Ikke-marin sulfat (SO₄*) i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra raffineriet.



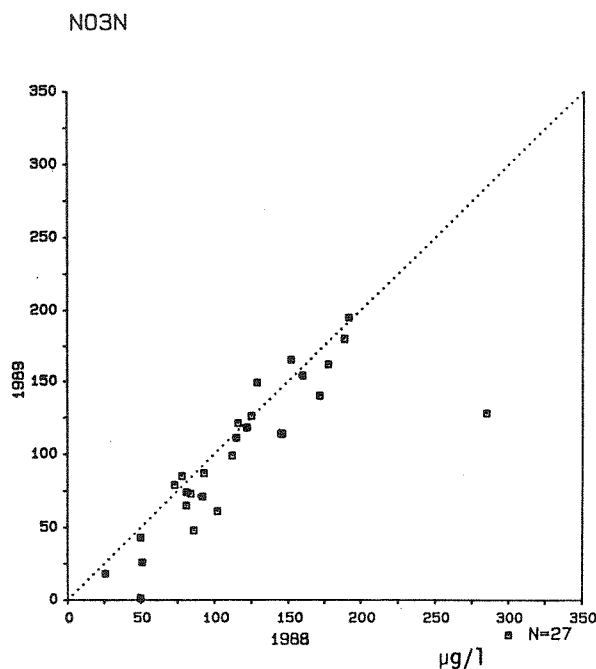
Figur 7. Ikke-marin sulfat (SO_4^*) i innsjøer rundt Mongstad, høsten 1989. Enhet: $\mu\text{ekv/l}$.

4.4 Nitrat (NO₃N).

Nitrat er i likhet med sulfat et "surt" anion. Nitratets bidrag til forsureningen har fått økt oppmerksomhet fordi det synes å være en tendens til økende nitratinnhold i de mest belastede innsjøene på Sørlandet. Det er spesielt i perioder med lavt nitratopptak i nedbørfeltene (utenom produksjonssesongen) at nitratforsuring gjør seg gjeldene i innsjøene.

Også nitratverdiene viste en tendens til nedgang fra 1988 til 1989 (figur 8). For innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra Mongstad-raffineriet var nedgangen signifikant (Vedlegg 6).

Det foreligger ikke driftsdata for NO₂-utslipp fra Mongstad-raffineriet. Designtall for oppgradert raffineri (Bøhler 1986) er oppgitt til 57 g NO₂/s eller 62 kg N/t, tilsvarende ca 4 kekv./t etter oksydasjon til nitrat. Tilsvarende tall for utslipp av svoveldioksyd (90 g SO₂/s) tilsvarende 10 kekv./t etter oksydasjon til svovelsyre. Nitrogenutslippene fra Mongstad-raffineriet må derfor antas å ha vesentlig mindre betydning enn svovelutslippene.



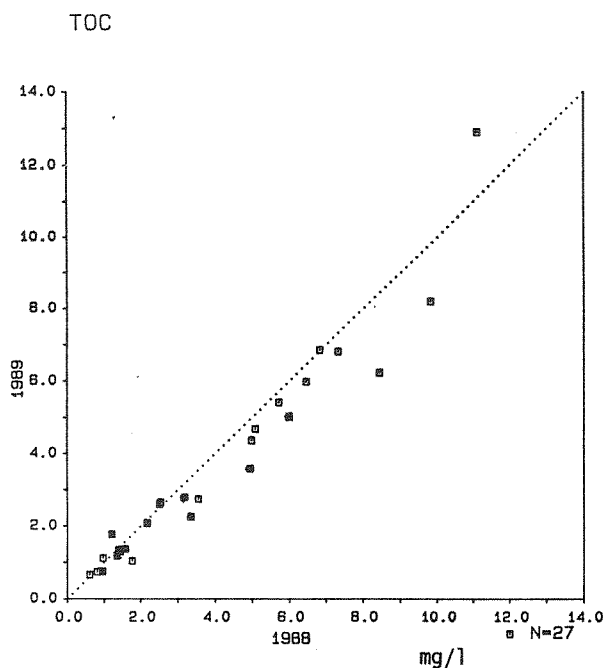
Figur 8. Nitrat (NO₃N) i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra raffineriet.

4.5 Organisk karbon (TOC).

Organiske stoffer i vann inneholder mobile organiske anioner som gir vannet en naturgitt surhet. Innholdet av "sure" anioner er vanligvis ca 3-5 $\mu\text{ekv}/\text{mg}$ TOC når TOC-verdiene er høyere enn ca 2 mg TOC/l (mindre eller ubetydelig ved lavere TOC-verdier).

Flere av innsjøene i undersøkelsen har høye TOC-verdier som gir vannet en naturgitt lav pH. Eksempelvis ville innsjø nr. 14, Færevatnet (TOC= 13 mg/l, pH=5.1) trolig hatt en pH på over 6.0 hvis innholdet av TOC hadde vært lavere enn 2 mg/l. Også i de svært sure vannene nord for Mongstad gir de organiske syrene et vesentlig bidrag til de lave pH-verdiene. Eksempelvis ville innsjø nr 04, Svelivatn (pH=4.61, TOC= 5.0) trolig hatt en pH på ca 5.0 uten naturgitte organiske syrer.

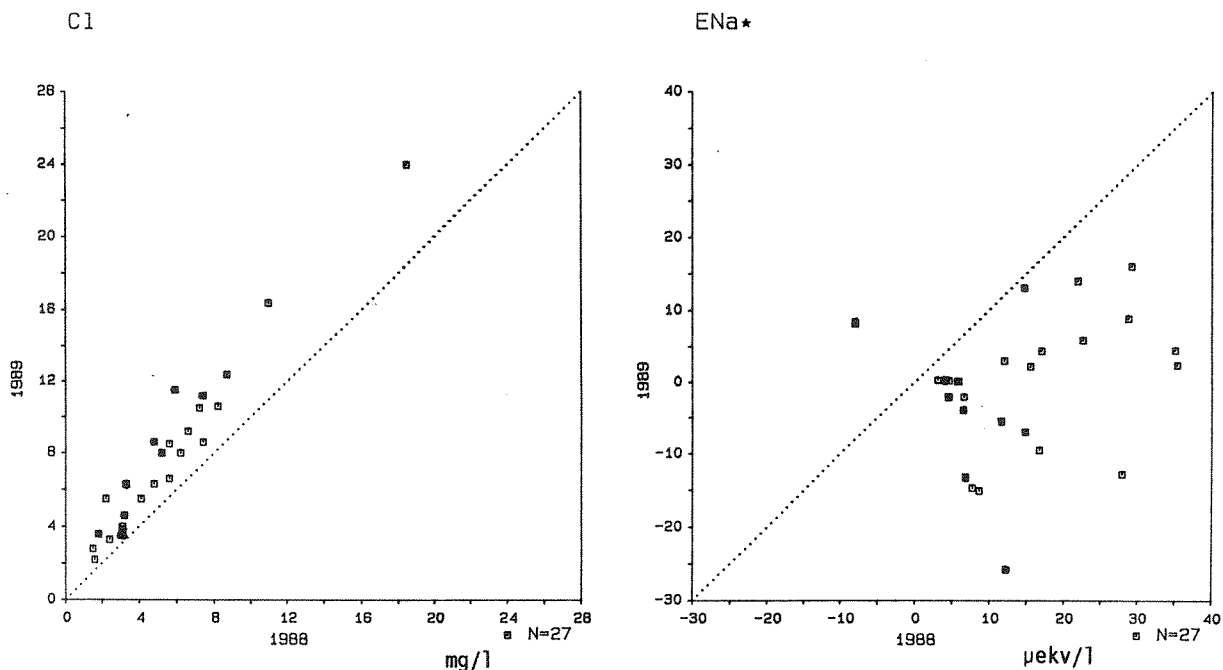
Middelverdien for TOC i innsjøene gikk ned med 0.35 mg/l fra 1988 til 1989 (Vedlegg 6). Nedgangen er trolig signifikant ($p= 0.021$).



Figur 9. Organisk karbon (TOC) i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra raffineriet.

4.6 Sjøsaltenes innvirkning på surhetsgraden.

Den mest markerte endringen i vannkvaliteten fra 1988 til 1989 var en gjennomsnittlig økning i kloridverdiene med hele 2.4 mg/l og en nedgang i ikke-marin natrium (ENa*) på 14 $\mu\text{ekv/l}$ (Figur 10 og Vedlegg 6). Nedgangen i ikke-marin natrium var størst i innsjøer der kloridverdiene økte mest. Dette tyder på at natrium har inngått i jonebytteprosesser i jordsmonnet, trolig med utlekking av H^+ -ioner som resultat. Dette kan forklare at pH i innsjøene ikke økte selv om nedgangen i ikke-marin sulfat var større enn nedgangen av ikke-marin kalsium + magnesium (målt som $\mu\text{ekv/l}$). Denne "salteffekten" synes å ha vært et generelt fenomen på Vestlandet i 1989 ("100-sjøers undersøkelsen", in prep.).



Figur 10. Klorid (Cl) og ikke-marin natrium (ENa*) i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra raffineriet.

4.7 Alkalitet (ALK-E) og syrenøytraliserende kapasitet (ANC).

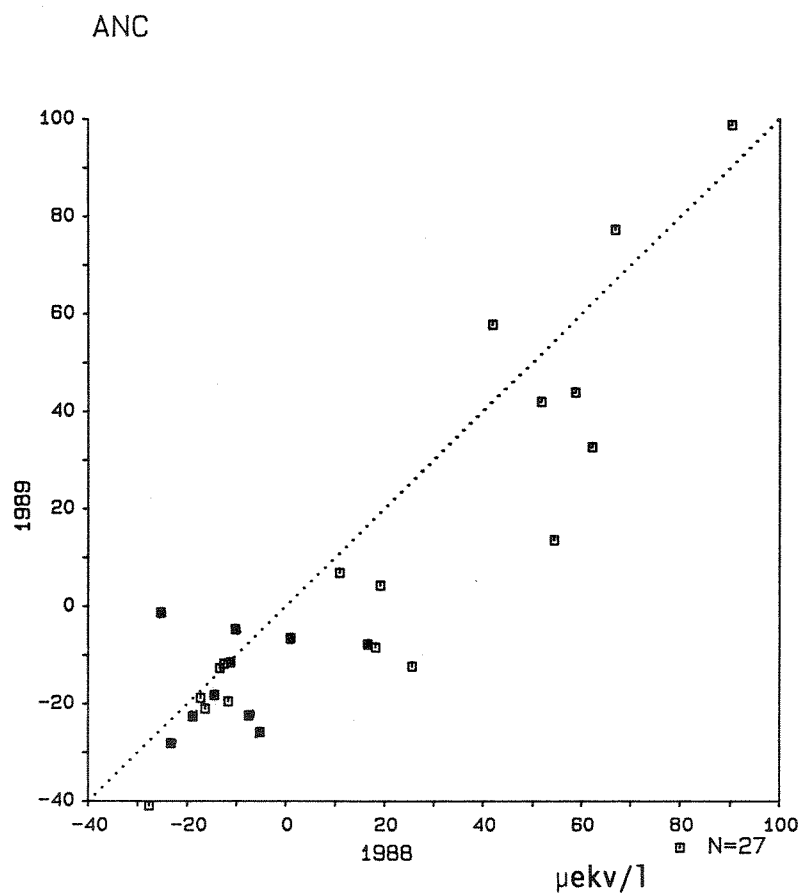
Alkaliteten (bufferkapasiteten) uttrykker innsjøenes motstandsevne mot ytterligere forsuring. De fleste av innsjøene i undersøkelsen har ingen eller liten alkalitet. Bare i området Lindåshalvøya - Radøy finner vi innsjøer med relativt høy bufferevne. Som helhet er derfor undersøkelsesområdet svært følsomt for en eventuell økt belastning med surt nedfall.

Syrenøytraliserende kapasitet (ANC) er definert som differansen mellom basekationer (Ca + Mg + Na + K) og sure anioner ($\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3$). ANC er en kontinuerlig funksjon, dvs. at ANC også kan gi negative verdier. ANC er derfor velegnet til å gi forsuringsstatus også når alkaliteten er null. ANC er tilnærmet lik:

$$(\text{alkalitet} + \text{organiske anioner}) - (\text{H}^+ + \text{labilt Aluminium}).$$

Negative verdier av ANC betyr at vannets kjemisk definerte tålegrense for belastning av sure komponenter er overskredet. Den kjemiske definerte tålegrensen sammenfaller stort sett med grensen for når innsjøenes fiskebestander kan dø ut (Lien et al. 1989).

18 av de 27 innsjøene som ble undersøkt i 1989 hadde negativ ANC. Dette viser at undersøkelsesområdet er sterkt rammet av surt nedfall. ANC var gjennomgående noe lavere i 1989 enn i 1988 (Figur 11, Vedlegg 6). Hovedårsaken til dette er trolig "sjøsalteffekten" som er diskutert i kapittel 4.6.



Figur 11. Syrenøytraliserende kapasitet (ANC) i innsjøer rundt Mongstad i 1988 og 1989. 1:1-linjen er tegnet inn. Fylte firkanter angir innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra raffineriet.

4.8 Vurdering av Mongstad-raffineriets bidrag til sulfatkonsentrasjonene i innsjøene.

I undersøkelsesområdet er der store gradienter i nedbør og avrenning. Avrenningen i nedbørfeltene til de undersøkte innsjøene varierer fra ca 40 l/s.km² til 130 l/s.km². Det generelle mønsteret i undersøkelsesområdet er at avrenningen øker fra kysten og innover i landet. Høyere nedbørmengder medfører større utvasking av forurensninger fra luften. På den annen side blir forurensningene mer fortynnet. I tillegg blir luften rensset for forurensninger når et nedbørområde beveger seg fra kysten og innover i landet. Totaleffekten av dette er at konsentrasjonen av ikke-marin sulfat avtar innover i landet (figur 4).

Ved overvåkingsstasjonen ved Haukeland målte NILU det årlige nedfallet av ikke-marin sulfat til 1096 og 1426 mgS.m⁻².år⁻¹ i hhv. 1988 og 1989 (Vedlegg 2). (Haukeland ligger ca 4 km nordvest for vann nr. 29 og ca 5 km sørvest for vann nr. 28). Til sammenligning beregnet Førland (1981) maksimalt totalnedfall av sulfat fra Mongstad-raffineriet til 0.14 tonn SO₄/km².år eller 50 mgS.m⁻².år⁻¹ innen 60 km fra Mongstad.

Økningen i sulfatdeposisjonen ved Haukeland fra 1988 til 1989 skyldes svært store nedbørmengder i 1989. Høy nedbør førte imidlertid til at konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i nedbør gikk ned, selv om totalnedfallet økte. Dette forklarer den generelle nedgangen i konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i innsjøene. Denne nedgangen var like markert for innsjøene i den mest utsatte sektor for nedfall fra Mongstad-raffineriet som for de andre innsjøene (Vedlegg 6).

De siste 6 månedene før vannprøvetaking i innsjøene var utslippene av svovel fra Mongstad 1.6 ganger større i 1989 enn i 1988, 4 ganger større de siste 6 månedene og 10 ganger større de siste 3 månedene (Vedlegg 1). Når denne markerte utslippsøkningen ikke har gitt merkbare utslag i de mest utsatte innsjøene tyder det på at utslipp fra Mongstad-raffineriet gir svært små bidrag til sulfatkonsentrasjonene. Det fjerntransporterte svovelnedfallet er dominerende.

LITTERATUR.

- Bøhler, T. 1984: Dispersal calculations of emissions from the future expanded oil refinery at Mongstad. NILU, 0-rapport 27/84.
- Bøhler, T. 1986: Stack emission dispersal study- Mongstad development Project.- NILU, 0-rapport nr. 92/86.
- Dovland, H. 1973: Spredningsberegninger for SO₂-utslipp fra et oljeraffineri på Mongstad.- NILU, 0-rapport nr. 58/73.
- Fonnes, I. 1986: Målinger av pH og ledningsevne i vatn i Mongstad-området, 1986.- Notat. RAFINOR, Mongstad, 26.09.1986.
- Førland, E. J. 1981: Nedbørens kjemiske sammensetning i Nordhordland 1973-1976.- Lindåsprosjektet. NAVF. Rapport nr.33. Universitetet i Bergen.
- Lien, L., A. Henriksen, G. Raddum og A. Fjellheim 1989: Tålegrenser for overflatevann - fisk og evertebrater. Fagrapport nr.3 i MD's program Naturens Tålegrenser. NIVA-rapport nr.2373.
- NVE 1987: Avrenningskart over Norge (1930-60).- Norges vassdrags- og energiverk. Vassdragsdirektoratet. Hydrologisk avdeling.
- SFT 1987: "1000"-sjøers undersøkelsen 1986. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 282/87. SFT / NIVA. Oslo.
- SFT 1988: Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1987.- Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 333/88. SFT, Oslo.
- SFT 1989: Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1988.- Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 375/89. SFT, Oslo.
- Traaen, T.S. og A. Henriksen 1989: Overvåking av innsjøer rundt Mongstad. - NIVA-rapport nr. 2263. 0-88162. Oslo, mai 1989.

VEDLEGG

	side
Vedlegg nr. 1. Utslipp av svoveldioksid fra Statoil Mongstad.	22
Vedlegg nr. 2. Data for våtdeposisjoner og konsentrasjoner i nedbør av forurensningskomponenter ved NILU's bakgrunnsstasjon Haukeland.	23
Vedlegg nr. 3. Forklaring til vannkjemiske tabeller.	24
Vedlegg nr. 4. Kjemiske analyser av innsjøer rundt Mongstad.	25
Vedlegg nr. 5. Middelerverdier for kjemiske komponenter i 27 innsjøer rundt Mongstad. Middelerverdier for innsjøer i den mest utsatte sektor for nedfall fra Mongstadraffineriet og middelerverdier for øvrige sektorer er også angitt.	28
Vedlegg nr. 6. Parvise t-tester av endringer i konsentrasjoner av kjemiske komponenter fra 1988 til 1989.	29

Vedlegg nr. 1.

Utslipp av svoveldioksid fra Statoil Mongstad.

	Utslipp av svoveldioksid, tonn SO ₂ /mnd.		
	1987	1988	1989
januar		265.0	22.3
februar		149.7	28.1
mars		140.9	76.6
april		144.0	496.0
mai		144.6	311.1
juni		139.5	231.1
juli		120.8	206.5
august		121.3	234.4
september	165.9	11.6	447.4
oktober	242.4	7.5	672.0
november	201.5	10.3	497.9
desember	250.9	16.5	

Utslipp av SO₂ de siste 3, 6 og 12 måneder før vannprøvetaking i 1988 og 1989.

Periode	tonn SO ₂ sum	tonn SO ₂ gj.sn./mnd.
august 1988 t.o.m. oktober 1988	140	47
mai 1988 t.o.m. oktober 1988	545	91
november 1987 t.o.m. oktober 1988	1697	141
august 1989 t.o.m. oktober 1989	1353	451
mai 1989 t.o.m. oktober 1989	2103	350
november 1988 t.o.m. oktober 1989	2753	229

Vedlegg nr. 2.

Data for våtdeposisjoner og konsentrasjoner i nedbør av forurensningskomponenter ved NILU's bakgrunnsstasjon Haukeland. (SFT 1989, SFT 1990 in prep.)

Våtdeposisjoner ved Haukeland.

år	nedbør mm	H ⁺ µekv/m ²	SO ₄ -S mgS/m ²	NO ₃ -N mgN/m ²	NH ₄ -N mgN/m ²	CL mg/m ²
1988	3123	73552	1096	642	872	10299
1989	4525	87529	1426	798	691	17751

Middelkonsentrasjoner i nedbør ved Haukeland.

år	pH	SO ₄ -S mg/l	NO ₃ -N mg/l	NH ₄ -N mg/l	CL mg/l
1988	4.63	0.35	0.21	0.28	3.30
1989	4.71	0.32	0.18	0.15	3.92

Nedbørmengder, samt våtdeposisjoner og middelkonsentrasjoner i nedbør av svovel ved Haukeland de siste 3, 6 og 12 måneder før vannprøvetakingen rundt Mongstad.

	år	siste 3 mnd.	siste 6 mnd.	siste 12 mnd.
mm nedbør	1988	1045	1445	2797
	1989	1136	1891	4929
mg S/m ²	1988	368	591	1134
	1989	344	606	1398
mg S/l	1988	0.35	0.41	0.41
	1989	0.30	0.32	0.28

Vedlegg nr. 3. Forklaring til vannkjemiske tabeller.

- LOK : Stasjonsnummer
 PH : pH
 K25 : Ledningsevne ved 25°C, mS/m.
 CA : Kalsium, mg/l.
 MG : Magnesium, mg/l.
 NA : Natrium, mg/l.
 K : Kalium, mg/l.
 CL : Klorid, mg/l.
 SULF : Sulfat, mg/l.
 NO3N : Nitrat, µgN/l.
 ALK : Alkalitet til pH 4.5, mmol/l. Bestemmes vanligvis ikke når pH < 5.2 fordi ALK-E da vil være 0.
 ALK-E : Beregnet endepunktsalkalitet, µekv/l. Manglende verdi = 0.
 TOC : Total organisk karbon, mg/l.
 RAL : Reaktivt aluminium, µg/l.
 ILAL : Ikke-labilt aluminium, µg/l.
 LAL : Labilt aluminium, µg/l.
 SKAT2 : Summen av kationer, µekv/l.
 SAN2 : Summen av anioner, µekv/l.
 DIFF2 : Avvik i ionebalansen, SKAT2 - SAN2, µekv/l.
 C-DIFF: Differanse mellom målt og beregnet ledningsevne, mS/m.
 C-PRO : Prosentvis avvik mellom målt og beregnet ledningsevne, C-DIFF * 100 / K25.
 ECM* : Ikke-marin kalsium + magnesium, µekv/l.
 ENA* : Ikke-marin natrium, µekv/l.
 ESO4* : Ikke-marin sulfat, µekv/l.
 ANC : Syrenøytraliserende kapasitet, µekv/l. Definert som differansen mellom basekationer (Ca + Mg + Na + K) og sure anioner (SO₄ + NO₃ + Cl). Negative verdier av ANC betyr at den kjemisk definerte tålegrensen for tilførsler av sure komponenter er overskredet. Fisk vil da ofte ha problemer med å overleve.

forts. Vedlegg 4.

Dataset: MONG Overvåking av innsjøer rundt Mongstad, 0-87194.

LOK	AR	DATA	SAN2	DIFF2	D-PRO2	C-DIFF	C-PRO	ECM*	ENA*	ES04*	ANC
M01	1988	1029	282.7	-0.9	-0.3	0.27	6.1	16.0	7.7	45.6	-27.7
M01	1989	1030	376.3	-9.9	-2.7	0.25	4.4	14.6	-14.7	76.0	-40.9
M02	1988	1029	244.6	1.7	0.7	0.29	7.7	21.9	12.2	41.1	-5.2
M02	1989	1030	389.8	4.4	1.1	0.35	5.8	17.9	-25.8	22.7	-25.8
M03	1988	1029	216.8	-0.1	-0.1	0.21	6.3	21.2	17.5	52.6	-17.0
M04	1988	1029	230.7	1.8	0.8	0.32	8.7	18.4	14.7	43.1	-11.2
M04	1989	1030	305.9	10.3	3.3	0.24	5.0	11.4	13.1	37.1	-11.5
M05	1988	1029	317.7	24.8	7.2	0.07	1.7	85.6	22.6	57.8	58.7
M05	1989	1029	381.6	14.1	3.6	0.28	5.5	76.4	5.9	48.1	43.9
M06	1988	1029	398.9	31.9	7.4	0.24	4.7	120.6	31.0	25.2	147.4
M07	1988	1029	380.3	12.0	3.1	0.19	4.0	77.3	28.8	49.6	62.2
M07	1989	1029	480.6	-6.1	-1.3	0.42	6.6	63.9	8.9	47.1	32.7
M08	1988	1029	253.7	-5.3	-2.1	0.33	8.5	18.6	9.3	36.1	-9.1
M09	1988	1029	205.2	11.9	5.5	0.25	7.5	20.5	14.8	44.3	-7.5
M09	1989	1030	307.9	7.0	2.2	0.25	5.2	16.4	-7.0	35.3	-22.4
M10	1988	1029	138.6	8.2	5.6	0.21	8.6	17.7	5.7	30.2	-10.2
M10	1989	1030	177.0	8.1	4.4	0.18	6.6	22.7	0.1	26.1	-4.7
M11	1988	1029	375.1	-26.0	-7.4	0.31	6.8	108.2	35.1	60.7	90.3
M11	1989	1029	421.4	2.9	0.7	0.28	5.3	127.4	4.5	48.1	98.8
M12	1988	1029	275.9	0.6	0.2	0.39	10.6	75.4	29.2	44.3	66.9
M12	1989	1029	323.5	3.2	1.0	0.28	6.8	92.5	16.0	39.9	77.3
M13	1988	1016	380.8	9.2	-2.4	-0.04	-0.9	135.9	31.9	74.1	102.8
M14	1988	1029	368.3	3.7	1.0	0.50	9.8	66.8	27.9	55.2	42.0
M14	1989	1030	415.8	9.4	2.2	0.42	7.5	69.8	-12.8	23.2	57.8
M15	1988	1029	541.4	-36.9	-7.3	0.48	7.6	158.9	2.7	53.2	121.7
M16	1986	1116	809.7	-18.6	-2.3	0.28	2.6	1.7	6.8	25.8	-13.6
M16	1988	1029	667.2	28.8	4.1	0.84	9.1	66.6	35.4	41.8	54.3
M16	1989	1030	831.1	2.1	0.3	0.59	5.2	61.7	2.4	48.6	13.6
M17	1988	1029	413.8	16.7	3.9	0.62	10.3	65.4	16.7	43.0	25.6
M17	1989	1030	572.2	-9.6	-1.7	0.26	3.4	50.9	-9.5	43.8	-12.3
M18	1986	1016	163.6	-2.6	-1.6	-0.02	-0.9	23.7	-7.6	34.1	-19.6
M18	1988	1029	160.6	-0.5	-0.3	0.15	6.0	29.6	6.8	46.6	-17.3
M18	1989	1030	227.9	5.4	2.3	0.19	5.3	20.8	-13.2	23.3	-18.8
M19	1988	1029	131.4	5.5	4.0	0.23	9.5	10.4	4.2	28.4	-18.9
M19	1989	1030	158.2	3.4	2.1	0.16	6.0	8.6	0.3	25.8	-22.6
M20	1986	1011	151.1	-3.7	-2.5	-0.01	-0.2	7.9	-0.5	31.1	-29.9
M20	1988	1029	133.6	3.5	2.5	0.23	9.3	8.4	4.6	28.4	-23.3
M20	1989	1030	155.9	-0.2	-0.1	0.14	5.3	6.9	-2.1	26.1	-28.1
M21	1988	1029	110.3	4.8	4.1	0.13	7.0	18.0	8.6	33.1	-11.7
M21	1989	1030	190.7	4.7	2.4	0.19	6.2	12.6	-15.1	15.2	-19.5
M22	1986	1123	176.3	-4.0	-2.3	-0.13	-5.2	15.3	-4.2	33.0	-24.8
M22	1988	1029	138.2	7.0	4.8	0.15	6.3	13.7	6.6	30.2	-16.4
M23	1986	1014	312.9	-12.6	-4.2	0.20	5.0	77.9	-2.1	24.1	-21.0
M23	1988	1016	282.3	9.0	3.1	0.09	2.6	80.0	15.5	52.4	51.7
M23	1989	1030	296.1	4.7	1.6	0.25	6.2	74.7	2.2	41.1	42.0
M24	1986	1014	370.0	11.6	3.0	0.05	1.0	60.2	21.1	62.7	19.1
M24	1988	1029	309.7	7.6	2.4	0.31	7.3	62.3	12.0	53.4	18.2
M24	1989	1029	354.5	-9.2	-2.7	0.06	1.4	59.0	3.0	68.6	-8.4
M25	1988	1029	458.0	-18.6	-4.2	0.32	5.7	69.8	25.4	47.6	66.5
M26	1988	1029	294.2	8.6	2.8	0.27	6.7	57.1	11.6	43.0	16.6
M26	1989	1030	407.6	-11.1	-2.8	0.20	3.8	46.1	-5.5	40.2	-7.8
M27	1988	1029	82.6	9.9	10.7	0.16	9.8	12.7	6.5	17.7	1.0
M27	1989	1030	133.1	7.5	5.3	0.15	6.6	11.6	-4.0	14.5	-6.5
M28	1988	1029	75.9	1.7	2.1	0.12	8.8	8.5	3.1	20.3	-13.4
M28	1989	1030	90.3	2.4	2.6	0.12	7.5	6.5	0.3	16.5	-12.7
M29	1988	1029	77.0	4.4	5.4	0.09	6.6	10.2	5.9	24.8	-12.5
M29	1989	1029	112.1	5.1	4.4	0.07	3.6	10.0	0.1	18.9	-11.8
M30	1986	1012	150.5	-3.0	-2.0	0.04	2.0	21.0	-2.5	28.8	-8.8
M30	1988	1029	463.2	9.3	2.0	-1.19	-31.1	352.8	10.3	26.4	335.1

forts. Vedlegg 4.

1990-05-07 Page 3

Dataset: MONG Overvåking av innsjøer rundt Mongstad. 0-87194.

LOK	AR	DATE	FH	K25	CA	MG	NA	K	CL	SULF	NO3N	ALK	ALK-E	TOC	RAL	ILAL	LAL	SKAT2
M31	1986	1020	4.98	2.83	0.54	0.42	2.94	0.29	4.9	2.3	84	0.025	0.0	0.1	158	113	45	212.3
M31	1988	1029	5.01	2.80	0.52	0.39	2.67	0.27	4.1	1.9	93	0.025	0.0	5.71	148	77	71	198.7
M31	1989	1030	4.89	3.32	.51	.44	3.16	.32	5.5	2.0	87	.021	0.0	5.42	150	70	80	229.1
M32	1986	1022	5.63	2.61	0.63	0.42	2.77	0.27	4.8	2.4	69			1.4	33	22	11	197.0
M32	1988	1029	5.53	2.56	0.72	0.39	2.49	0.23	4.2	2.4	86	0.031	0.0	2.25	42	30	12	186.5
M33	1988	1029	5.41	1.82	0.43	0.28	1.73	0.18	2.9	1.4	36	0.033	1.6	2.87	53	24	29	131.5
M33B	1986	1128	5.44	2.2	0.42	0.31	2.29	0.34	4.4	1.6	41			2.7	46	38	8	159.3
M34	1988	1029	6.08	1.97	0.86	0.38	1.80	0.17	2.7	1.7	41	0.055	26.1	2.90	35	22	13	159.1
M35	1988	1029	4.96	3.98	0.76	0.54	3.95	0.30	6.2	3.4	73	0.021	0.0	4.98	116	58	58	279.2
M35	1989	1105	4.97	4.50	.70	.59	4.77	.38	8.0	3.0	79			4.37	125	55	70	319.2
TM36	1986	1016	4.94	2.15	0.29	0.28	1.86	0.17	3.5	1.9	93			1.2	83	25	58	140.7
TM36	1987	1124	4.97	2.31	0.29	0.26	1.92	0.19	3.4	1.9	73			1.6	72	26	46	140.1
TM36	1988	1110	4.95	2.21	0.30	0.26	1.54	0.11	3.1	1.8	92			1.2	76	17	59	123.9
TM36	1989	1021	5.06	2.38	.37	.32	2.19	.19	3.6	1.9	71			1.77	72	14	58	160.1
TM37	1986	1014	4.91	2.00	0.18	0.21	1.49	0.10	2.8	1.6	101			0.5	66	10	56	112.2
TM37	1987	1020	4.86	1.95	0.18	0.21	1.63	0.11	2.9	1.7	112			0.6	65	10	55	119.9
TM37	1988	1031	4.87	1.86	0.17	0.19	1.44	0.07	2.4	1.3	116			0.6	65	10	55	108.1
TM37	1989	1028	4.85	2.16	.18	.25	1.84	.12	3.3	1.4	121			.66	72	M 10	62	133.7

LOK	AR	DATE	SAN2	DIFF2	D-PRO2	C-DIFF	C-PRO	ECM*	ENA*	ESD4*	ANC
M31	1986	1020	192.1	20.2	9.5	-0.03	-1.1	29.4	9.4	33.6	4.7
M31	1988	1029	182.5	16.3	8.2	0.28	9.9	31.1	17.0	27.6	19.2
M31	1989	1030	222.0	7.1	3.1	0.24	7.3	25.6	4.4	25.6	4.3
M32	1986	1022	194.9	2.0	1.0	0.03	1.0	34.5	4.4	40.1	-1.1
M32	1988	1029	177.7	8.8	4.7	0.16	6.3	40.5	6.7	37.7	7.6
M33	1988	1029	120.8	10.6	8.1	0.16	8.7	25.5	5.1	20.7	10.8
M33B	1986	1128	165.3	-6.0	-3.8	0.04	1.6	17.6	-6.8	20.5	-5.6
M34	1988	1029	146.4	12.7	8.0	0.12	6.3	56.5	13.0	27.5	42.3
M35	1988	1029	267.4	11.8	4.2	0.31	7.9	41.7	21.9	52.7	10.9
M35	1989	1105	307.0	12.2	3.8	0.32	7.2	31.0	14.0	39.1	6.9
TM36	1986	1016	145.0	-4.3	-3.0	0.01	0.3	14.5	-3.7	29.4	-22.2
TM36	1987	1124	141.6	-1.6	-1.1	0.22	9.4	13.6	1.3	29.6	-16.4
TM36	1988	1110	131.5	-7.6	-6.1	0.26	12.0	16.0	-8.0	28.4	-25.3
TM36	1989	1021	147.6	12.4	7.8	0.21	8.6	21.2	8.2	29.1	-1.3
TM37	1986	1014	119.5	-7.4	-6.6	0.18	9.0	7.9	-2.9	25.2	-25.9
TM37	1987	1020	125.2	-5.3	-4.4	0.00	0.1	7.2	0.8	26.9	-25.2
TM37	1988	1031	103.1	5.1	4.7	0.15	8.2	8.4	4.6	20.1	-14.5
TM37	1989	1028	130.9	2.8	2.1	0.10	4.4	7.9	0.2	19.5	-18.2

Vedlegg nr. 5. Middelerdier for kjemiske komponenter i 27 innsjøer rundt Mongstad. Middelerdier for innsjøer i den mest utsatte sektor for svovelnedfall fra Mongstad-raffineriet (345⁰ - 067⁰) og middelerdier for øvrige sektorer er også angitt. Innsjø nr. 10 og 20 som ligger like ved 067⁰-linjen er inkludert i gruppen "utsatt sektor".

Parameter	Alle innsjøer 27 målinger		Utsatt sektor 10 målinger		Øvrige sektorer 17 målinger	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
pH	5.15	5.11	4.92	4.87	5.29	5.26
ECM*, µekv/l	38.8	36.2	21.3	18.4	49.1	46.7
ENA*, µekv/l	13.8	-1.04	7.31	-3.59	17.6	0.45
ES04*, µekv/l	39.4	32.7	34.9	28.0	42.0	35.4
NO3N, µg/l	116	99.7	89.6	72.9	132	116
CL, mg/l	5.40	7.79	4.09	6.53	6.16	8.53
TOC, mg/l	3.92	3.57	2.61	2.21	4.70	4.38
LAL, µg/l	49.5	53.4	61.0	68.7	42.8	44.5
ANC, µekv/l	11.2	3.1	-10.1	-14.9	23.8	13.7

Vedlegg nr. 6. Parvise t-tester av endringer i konsentrasjoner av kjemiske komponenter fra 1988 til 1989.

		Alle innsjøer 27 målinger 1988-1989	Utsatt sektor 10 målinger 1988-1989	Øvrige sektorer 17 målinger 1988-1989
pH	Middel	-0.038	-0.048	-0.032
	T	-1.61	-1.17	-1.09
	p	0.120	0.27	0.29
ECM*	Middel	-2.60	-2.91	-2.42
	T	-1.74	-1.73	-1.10
	p	0.093	0.12	0.29
ENA*	Middel	-14.8	-10.9	-17.1
	T	-6.16	-2.38	-6.44
	p	0.0000	0.041	0.0000
ES04*	Middel	-6.75	-6.90	-6.66
	T	-3.83	-2.76	-2.73
	p	0.0007	0.022	0.015
NO3-N	Middel	-16.6	-16.7	-16.5
	T	-2.63	-3.54	-1.69
	p	0.014	0.0063	0.11
CL	Middel	2.39	2.44	2.37
	T	8.19	4.68	6.55
	p	0.0000	0.0000	0.0000
TOC	Middel	-0.350	-0.402	-0.319
	T	-2.46	-2.23	-1.57
	p	0.021	0.053	0.13
LAL	Middel	3.93	7.70	1.71
	T	1.67	2.39	0.54
	p	0.11	0.041	0.60
ANC	Middel	-8.13	-4.82	-10.08
	T	-2.76	-1.1	-2.57
	p	0.010	0.30	0.021