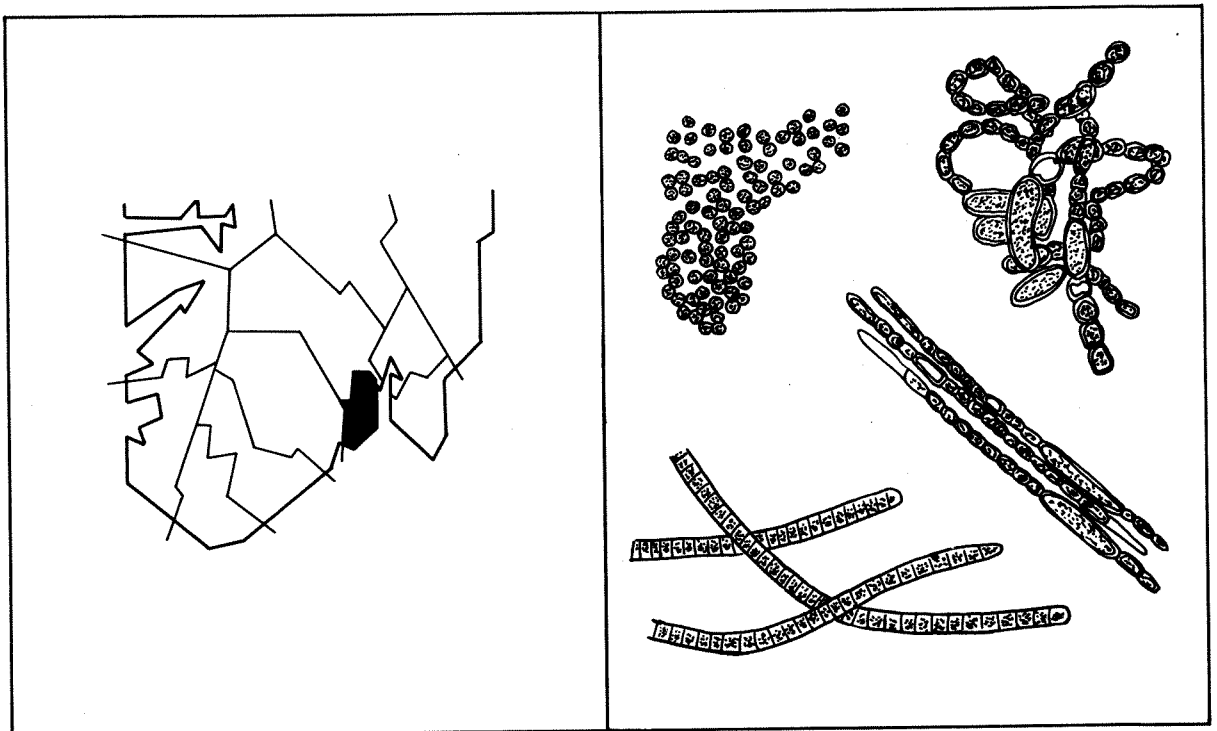


O-87173

Giftproduserende blågrønnalger i Vestfold

Undersøkelser utført i 1987 og 1988



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor

Postboks 33, Blindern
0313 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen

Breiviken 5
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 95 17 00
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.: O-87173
Undernummer:
Løpenummer: 2254
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Giftproduserende blågrønnalger i Vestfold. Undersøkelser utført i 1987 og 1988.	Dato: 30.mars 1989
	Prosjektnummer: O-87173
Forfatter (e): Olav Skulberg Jozsef Kotai Randi Skulberg	Faggruppe: Hydrobiologi
	Geografisk område: Vestfold
	Antall sider (inkl. bilag): 30

Oppdragsgiver: Miljøvernavdelingen, Fylkesmannen i Vestfold og kommuner i Vestfold	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Vegetasjonsperiodene 1987 og 1988 var relativt ugunstige for masseutvikling av blågrønnalger i Vestfold. Toksinproduserende stammer med blågrønnalger utviklet seg i Akersvatnet, Hillestadvatnet, Bergsvatnet, Gjennestadvatnet og Goksjø (bl.a. <u>Microcystis aeruginosa</u> og <u>Aphanizomenon flos-aquae</u>). Akerstox (microcystin-a) var det fremtredende biologisk aktive stoff (toksin). Forgiftningssymptomer, død tid og obduksjons-iakttakelser var de karakteristiske for dette levertoksin (hepatotoksin).
--

4 emneord, norske:

1. Blågrønnalger
2. Biotoksiner
3. Eutrofiering
4. Vestfold

4 emneord, engelske:

1. CYANOPHYTES
2. Biotoxins
3. Eutrophication
4. Vestfold

Prosjektleder:

Olav Skulberg

For administrasjonen:

Rolf De Kuttaler

ISBN - 82-577-1550-6

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

O-87173

GIFTPRODUSERENDE BLÅGRØNNALGER I VESTFOLD

Undersøkelser utført i 1987 og 1988

Oslo, 30.mars 1989

Olav Skulberg

Jozsef Kotai

Randi Skulberg

F O R O R D

Hensikten med undersøkelsene var å belyse forekomst av blågrønnalger med toksinproduksjon i utvalgte eutrofe innsjøer i Vestfold.

I 1987 var arbeidet koordinert og finansiert av Miljøvernavdelingen, Fylkesmannen i Vestfold. I 1988 ble undersøkelsene gjennomført i direkte kontakt med de aktuelle kommunene.

Økonomisk har oppgavene i 1988 blitt støttet av Larvik kommune, Sandefjord kommune og Borre kommune. Når det gjelder Akersvatnet, har undersøkelsen der blitt finansiert av Vestfold interkommunale vannverk (VIV).

Vi vil takke for godt samarbeid og all velvilje i forbindelse med utførelsen av undersøkelsene.

Oslo, 30.mars 1989

Olav Skulberg

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

	Side:
SAMMENFATNING OG KONKLUSJONER	6
BAKGRUNN	7
LOKALITETER, METODER OG UTFØRELSE	7
METEOROLOGISKE OG LIMNOLOGISKE FORHOLD	8
VEGETASJON AV BLÅGRØNNALGER	10
TOKSINER OG GIFTIGHET	11
DRØFTELSE AV RESULTATER	14
HENVISNINGER	16

TABELLOVERSIKT

	Side:
TABELL 1. Fysiske og kjemiske analyseresultater fra innsjøene i Vestfold 1987 og 1988	18
TABELL 2. Observasjoner av vannblomstdannende arter i 1987 og 1988	19
TABELL 3. Sammenstilling av 1987-observasjoner av blågrønnalger i de undersøkte innsjøene	20
TABELL 4. Sammenstilling av 1988-observasjoner av blågrønnalger i de undersøkte innsjøene	21

Side:

FIGUR 1.	Kartskisse av lokalitetene Hillestadvatnet, Vikevatnet, Bergsvatnet, Goksjø og Åsrumvatnet.	22
FIGUR 2.	Kartskisse av lokalitetene Akersvatnet, Borrevatnet, Revovatnet og Gjennestadvatnet.	23
FIGUR 3.	Temperaturforhold i perioden 1984 - 1988. Avvik fra middeltemperatur (1960 - 1988). Melsom.	24
FIGUR 4.	Nedbørforhold i perioden 1984 - 1988. Prosentvis avvik fra middelnedbør (1960 - 1988). Melsom.	24
FIGUR 5.	Konduktivitet i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988.	25
FIGUR 6.	Surhetsgrad i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988.	25
FIGUR 7.	Turbiditet i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988.	26
FIGUR 8.	Totalfosfor (TP) i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988.	26
FIGUR 9.	Totalnitrogen (TN) i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988.	27
FIGUR 10.	Forholdet mellom totalnitrogen (TN) og totalfosfor (TP)	27
FIGUR 11.	Microcystin-a (akerstox). Toksin isolert og karakterisert fra <u>Microcystis aeruginosa</u> i Akersvatnet.	28
FIGUR 12.	Overflateareal og middeldyp for de undersøkte innsjøene	29
FIGUR 13.	Teoretisk oppholdstid for vannmassene i de undersøkte innsjøene.	29
FIGUR 14.	"Akseptabel" og observert konsentrasjon av fosforforbindelser.	30

SAMMENFATNING OG KONKLUSJONER

- Vegetasjonsperiodene 1987 og 1988 medførte at blågrønnalgene fikk relativt ugunstige betingelser for masseutvikling. Egentlig vannblomst ble bare påvist i Akersvatnet, Hillestadvatnet, Bergsvatnet og Revovatnet. Men også i disse innsjøene var det en forholdsvis beskjedne biomasse under oppblomstringene.
- Ut fra innsjøenes morfologiske og hydrologiske forutsetninger er det enkelte lokaliteter som fremhever seg som gunstige for masseutvikling av blågrønnalger. Dette gjelder Akersvatnet, Borrevatnet og Revovatnet ut fra vannmassenes oppholdstid, og Hillestadvatnet, Revovatnet og Akersvatnet ut fra innsjøenes middeldyp. Med grunnlag i belastnings-forhold ("akseptabel" konsentrasjon av fosfor-forbindelser) var i 1987 følgende lokaliteter mest utsatt for oppblomstringer: Akersvatnet, Revovatnet og Hillestadvatnet. Tilsvarende forhold gjaldt i 1988 for: Revovatnet, Hillestadvatnet og Akersvatnet.
- De foretatte undersøkelser i 1987 og 1988 har dokumentert at toksinproduserende stammer med blågrønnalger utviklet seg i Akersvatnet, Hillestadvatnet, Bergsvatnet, Gjennestadvatnet og Goksjø.
- Kjemiske analyser og biologiske tester viste at akerstox (microcystin-a) var det biologisk aktive stoff som ble produsert av blågrønnalgene. Forgiftningssymptomer, dødstid og obduksjonsiaktakelser tilsvarte de karakteristiske for dette hepatotoksinet.
- De toksinproduserende blågrønnalger var i første rekke Microcystis aeruginosa, andre arter av Microcystis, Gomphosphaeria lacustris og Gomphosphaeria naegeliana.
- Forekomsten av til dels store populasjoner av blågrønnalger av slektene Anabaena og Aphanizomenon tilsier at undersøkelse av mulig dannelse av nevrotoksiner bør utføres i Vestfold.

BAKGRUNN

Masseutvikling av blågrønnalger - vannblomst - er et utbredt fenomen i eutrofe innsjøer i Vestfold. Det er i senere tid blitt klarlagt at enkelte arter av blågrønnalger som utvikler vannblomst, er toksinproduserende. Giftstoffene som dannes, er av hepatotoksisk og nevrotoksisk karakter, og hører til de mest potente biotoksiner som finnes (Skulberg 1988).

Aktuelle lokaliteter i Vestfold med problematiske oppblomstringer av denne type brukes i landbrukssammenheng, til rekreasjonsmessige formål og til vannforsyning. Det er derfor nødvendig å ha en løpende oppfølging av situasjonen for å bedømme mulig akutt forgiftningsfare.

I samråd med helsetjenesten i Vestfold ble det fremmet forslag om og tilrettelagt arbeid med oppfølgingsundersøkelser i 1987 og 1988. Det er resultatene av disse undersøkelsene som fremlegges i det følgende.

LOKALITETER, METODER OG UTFØRELSE

Observasjonene har blitt gjort i ni innsjøer i Vestfold (FIGUR 1 og 2). Lokalitetene er valgt ut med grunnlag i kjennskapet til den rådende forurensningssituasjon og praktiske vurderinger av forgiftningsfare. Følgende innsjøer ble undersøkt:

Akersvatnet	1987, 1988
Bergsvatnet	1987, 1988
Borrevatnet	1987, 1988
*Gjennestadvatnet	1987
Goksjø	1987, 1988
Hillestadvatnet	1987, 1988
Revovatnet	1987, 1988
*Vikevatnet	1987
Åsrumvatnet	1987, 1988

* De kjemiske analyseresultatene fra disse lokalitetene er ikke behandlet i rapporten.

Prøvetaking ble utført i forbindelse med feltarbeid og observasjoner i juli og august:

1987 - 29.juli og 31.august

1988 - 6.juli og 4.august

Det har dessuten blitt gjort enkelte spredte observasjoner og innsamlet materiale lokalt gjennom undersøkelsesperioden.

Metoder og fremgangsmåter har hovedsakelig vært de som tidligere ble benyttet ved undersøkelser av giftproduserende alger i Vestfold (NIVA 1985;1986;1987a;1987b). Prøvetaking og feltmålinger er gjennomført etter sedvanlig limnologisk praksis. De kjemiske og biologiske analysene er hovedsakelig gjort ved NIVAs laboratorier i Oslo, til dels ved Senter for industriforskning (SI). Det toksikologiske laboratoriearbeidet ble utført ved Institutt for næringsmiddelhygiene, Norges veterinærhøgskole (NVH). For vurderinger av toksikologiske forhold er det dessuten samarbeidet med Statens institutt for folkehelse (SIFF).

Påvisning og analysering av blågrønnalgetoksiner utføres med kjemiske og biologiske metoder (Skulberg 1988). Det kjemiske analyseverktøyet omfatter bl.a. bruk av høytrykksvæskechromatografi (HPLC). Biotester - spesielt toksisitetstesting med mus (NIVA 1985) - er et nødvendig ledd i undersøkelser av algetoksiner.

METEOROLOGISKE OG LIMNOLOGISKE FORHOLD

De klimatiske faktorer var svært spesielle både i 1987 og 1988 (se FIGUR 3 og 4). Meteorologiske observasjoner som er benyttet, ble utført på Melsom (st. 2745). I grove trekk kan 1987 karakteriseres som et kjølig år med til dels betydelige nedbørmengder i utstrakte perioder. Det var likevel 1988 som i utpreget grad var nedbørrik. Selv om sommeren 1988 var relativt kjølig, hadde året som helhet temperaturforhold høyere enn middels for det geografiske område det gjelder.

Værforholdene satte sitt tydelige preg på vannkvalitet og organismeutvikling i de undersøkte innsjøene. De kjemiske

analyseresultatene er sammenstilt i TABELL 1. Utvalgte resultater er grafisk fremstilt i FIGURENE 5-10. Det er observasjonsdagene 29.juli 1987 og 4.august 1988 som blir benyttet til å drøfte forholdene i innsjøene.

Vannmassenes elektrolyttinnhold fremgår av konduktivitetmålingene (FIGUR 5). Det er Borrevatnet og Akersvatnet som fremhever seg med høyt elektrolyttinnhold. Flere faktorer bidrar til dette forholdet. Særlig er innsjøenes hydrologiske forutsetninger, spesielt grunnvannsinnflytelsen, viktige årsaker. Når konduktiviteten var lavere i 1988 sammenliknet med i 1987, føres dette tilbake til den større utskiftning av vannmasser i 1988 (nedbørpåvirkning). For alle de undersøkte lokalitetene var surhetsgraden over nøytralitetspunktet (FIGUR 6). Verdiene som ble målt høyere enn pH 8, hadde sammenheng med algenes fotosyntese (forbruk av karbondioksyd) i de aktuelle innsjøene.

Turbiditeten i vannmassene varierte betydelig i de forskjellige innsjøene (FIGUR 7). De laveste verdier (< 5 FTU) ble observert i Borrevatnet, Goksjø og Åsrumvatnet. Innsjøene Bergsvatnet, Hillestadvatnet, Revovatnet og Akersvatnet hadde høyere turbiditetsverdier (> 10 FTU). Høye verdier for turbiditet gjenspeiler et stort partikkelinnhold i vannmassene. Algeutviklingen bidrar i vesentlig grad til forholdet.

Det er hovedsakelig vannmassenes innhold av plantenæringsstoffer (særlig fosfor- og nitrogenforbindelser) som lager forutsetninger for algeproduksjon i innsjøene. Resultatene av bestemmelser av totalfosfor (TP) og totalnitrogen (TN) er fremstilt i FIGUR 8 og 9. De undersøkte lokalitetene hadde alle et relativt høyt konsentrasjonsnivå av totalfosfor, men særlig Akersvatnet, Revovatnet og Hillestadvatnet peker seg ut med vannmasser som er rike på fosfor-forbindelser. Gjennomgående var konsentrasjonsnivåene for totalfosfor høyere i 1987 sammenliknet med i 1988. Dette var i særlig grad et resultat av den større vannutskiftning i 1988.

Med hensyn til totalnitrogen (FIGUR 9) kommer innsjøene noe annerledes ut i sammenlikningen. Vannmassene hadde i alle innsjøene et jevnt over høyt konsentrasjonsnivå av nitrogen-forbindelser (i området 1000 µg N/l). Dette viser deres utsatte beliggenhet i nedbørfelt med stor kulturpåvirkning (landbruk, bosetting etc.).

Når det gjelder muligheter for masseutvikling av blågrønnalger (vannblomst), er ut fra teoretiske betraktninger bl.a. forholdet mellom totalnitrogen og totalfosfor i vannmassene av viktighet (Berge 1988, Seip 1988, Paerl 1988). Det er vanlig å regne med at hvis forholdstallet (TN) blir lavere enn verdien 29, foreligger det stor sannsynlighet for utvikling av vannblomst med blågrønnalger. Den grafiske fremstilling i FIGUR 10 viser at innsjøene Hillestadvatnet, Revovatnet og Akersvatnet hører til kategorien med slike forutsetninger. Men foruten de kjemiske betingelser vil selvsagt også andre medvirkende faktorer (fysiske og biologiske) være nødvendige for å realisere en masseutvikling av blågrønnalger i et aktuelt tilfelle.

VEGETASJON AV BLÅGRØNNALGER

Blågrønnalgevegetasjonen i de undersøkte innsjøene er behandlet i flere tidligere rapporter (NIVA 1985;1986;1987a;1987b). Mer enn 20 arter er vanlige i planktonet. Det er likevel et begrenset utvalg som hører til de som danner masseutvikling (vannblomst) i innsjøene i Vestfold. Særlig viktige former omfatter bl.a. følgende arter:

Anabaena flos-aquae	Microcystis aeruginosa
Anabaena solitaria	Microcystis botrys
Aphanizomenon flos-aquae	Microcystis wesenbergii
Gomphosphaeria naegelianiana	Oscillatoria agardhii var. isothrix

Som i tidligere år var det en frodig utvikling av blågrønnalger i de eutrofe innsjøene også i vegetasjonsperioden 1987 og 1988. Men det ble likevel ikke noen særlig markerte vannblomstfenomener i de aktuelle innsjøene. Enkelte episoder med kortvarige oppblomstringer har imidlertid funnet sted, bl.a. i Bergsvatnet, Hillestadvatnet, Akersvatnet og Revovatnet (TABELL 2).

Forekomsten av blågrønnalger i de undersøkte innsjøene er sammenstilt i TABELL 3 og 4.

Fra Borrevatnet ble det 16.august 1988 samlet inn en vannprøve fra inntaksdypet til vannverket. Denne prøven var preget av brune fnokker (jernbakterier - Leptothrix ochracea) og små forekomster av blågrønnalgen Microcystis botrys.

TOKSINER OG GIFTIGHET

Flere av de dominerende arter av blågrønnalger i de undersøkte innsjøene er kjent for å ha stammer med toksinproduksjon (Skulberg 1988). Toksinene som de kan danne, omfatter hovedsakelig alkaloider (heterocykliske, nitrogenholdige baser med utpreget fysiologisk virkning på nervesystemet) og polypeptider (sammenkoblede aminosyrer i lange kjeder eller ringer). Med hensyn til artene med vannblomstdannelse i innsjøer i Vestfold, kan deres mulige toksinproduksjon fremstilles som følger:

ART	TOKSINTYPE
Microcystis aeruginosa	Polypeptider Akerstox (microcystin-a)
Aphanizomenon flos-aquae	Alkaloider Saxitoksin
Anabaena flos-aquae	Alkaloider Anatoksin Polypeptider Microcystin
Oscillatoria agardhii var. isothrix	Polypeptider Oscillatoria-toksin

Hittil har oppmerksomheten på toksinproduksjon i populasjoner av blågrønnalger i Vestfold-innsjøene vært rettet mot stoffgruppen polypeptider (Skulberg 1988). Med bakgrunn i forekomsten av giftig Microcystis aeruginosa i Akersvatnet (NIVA 1986) ble det foretatt en kjemisk karakterisering av den toksiske faktor (Krishnamurthy et al. 1986, Berg et al. 1987a). Det ble gjort aminosyrebestemmelser og bruk av hurtig atomfraksjonering i massespektrometri til formålet. Toksinet - som betegnes akerstox (microcystin-a) - er et cyklisk heptapeptid med molekylvekt 994 dalton (FIGUR 11). Biologisk aktive peptider har gjerne uvanlige optiske konfigurasjoner. Noen av aminosyrene foreligger f.eks.

i D- istedenfor L-form. Dette gjelder også for akerstox, som har så vel uvanlige som metylerte aminosyrer. Dette forhold har betydning bl.a. for stoffets spesielle biologiske virkninger (toksisitet).

Både i 1987 og 1988 utviklet det seg populasjoner av blågrønnalgearter med toksinproduserende stammer i flere av de undersøkte innsjøene. Blågrønnalgeslekten Microcystis var representert med følgende arter som alle kan ha toksinproduserende stammer:

Microcystis aeruginosa Kütz.

Microcystis botrys Teil.

Microcystis viridis (A.Braun) Lemm.

Microcystis wesenbergii Kom.

Resultatene av de utførte biologiske og kjemiske toksisitetstestene for akerstox (microcystin-a) er samlet nedenfor.

LOKALITET	1987	1988
Akersvatnet	Positiv	Positiv
Borrevatnet	Negativ	Ingen analyse
Hillestadvatnet	Positiv	Positiv
Vikevatnet	*Spor	Ingen analyse
Bergsvatnet	*Spor	Positiv
Revovatnet	*Spor	Ingen analyse
Gjennestadvatnet	Positiv	Ingen analyse
Goksjø	Positiv	Ingen analyse
Åsrumvatnet	Negativ	Ingen analyse

*Spor - < 0,06 µg toksin

Som en rettesnor gjelder det at de aktuelle toksiner først og fremst er knyttet til cellene av blågrønnalgene. Det er når cellene dør eller celleveggene skades, at toksinene kommer ut i vannfasen i nevneverdig grad.

Eksperimentelle undersøkelser med Microcystis aeruginosa fra Akersvatnet har gitt holdepunkter om hvordan forholdene er (Berg et al. 1987b). Vannblomstmateriale under nedbrytning - kontrollerte betingelser - ble fulgt med observasjoner gjennom 40 døgn med hensyn til forekomst av

akerstox (microcystin-a). I løpet av forsøksperioden ble vannblomstmaterialiet (cellene) fullstendig uttømt for toksin, som lekket ut i de frie vannmassene. Her ble toksinet gradvis brutt ned av mikrobiologisk aktivitet. Men ved forsøkets slutt - etter 40 døgn - var fortsatt omlag 10% av toksinmengden til stede i vannet.

Blågrønnalgecellene har til dels et høyt innhold av toksiner. Også her kan resultatene for M. aeruginosa fra Akersvatnet være opplysende. Innholdet av toksin var gjennomgående 2 µg akerstox pr. mg frysetørket materiale av blågrønnalger. Noen karakteristiske data om M. aeruginosa fra Akersvatnet (Skulberg 1988):

- Cellediameter $\sim 3,5-4,0 \mu\text{m}$
- Middelvolum $\sim 28 \mu\text{m}^3$
- $35,74 \cdot 10^6$ celler $\sim 1 \text{mm}^3$
- 1mm^3 celler $\sim 1 \text{mg}$ levende materiale
- 1mg levende materiale $\sim 0,1 \text{mg}$ frysetørket materiale
- $2 \mu\text{g}$ akerstox $\approx 1 \text{mg}$ frysetørket Microcystis aeruginosa
- Molekylvekt: 994 dalton
- $\text{LD}_{50} = 50 \mu\text{g/kg}$ (intraperitoneal injeksjon på hvite mus)

De toksinproduserende stammer av M.aeruginosa synes å være forholdsvis stabile med hensyn til dannelsen av akerstox. Toksisiteten uttrykkes i muse-enhet (ME) pr gram frysetørket materiale, hvor 1 ME tilsvarer minimum letal dose for en 20 grams mus i løpet av 4 timer. Gjennom hele vegetasjonsperioden holder giftigheten til blågrønnalgene seg på et relativt høyt nivå (ca. 8000 ME/g). Men det trengs flere observasjoner for å belyse forholdet nærmere i innsjøene som inngikk i denne undersøkelsen.

DRØFTELSE AV RESULTATER

Det er samspillet mellom en rekke miljøfaktorer som bestemmer om det blir masseutvikling av blågrønnalger i en innsjø (Paerl 1988). Foruten vannmassenes belastning med plantenæringsstoffer har innsjøenes utforming (morfologiske forhold) og vannmassenes oppholdstid (hydrologiske forhold) vesentlig betydning.

I FIGUR 12 og 13 er det gjengitt grafiske fremstillinger som viser de undersøkte innsjøenes overflateareal, middeldyp og teoretiske oppholdstid. De aktuelle forhold forteller om små, grunne innsjøer med kort oppholdstid for vannmassene. Bare Akersvatnet og Borrevatnet skiller seg ut ved å ha relativt lang oppholdstid.

I teoretiske modeller for eutrofivurderinger knyttes de nevnte egenskaper ved innsjøene sammen med vannmassenes belastning med fosfor-forbindelser (TP). Ut fra dette og med bakgrunn i limnologiske erfaringer (Vollenweider 1976) - er det mulig å finne frem til "akseptable" konsentrasjoner av totalfosfor. Dette er konsentrasjonsgrenser som hvis de overskrides, sannsynliggjør at en betenkelig eutrofiutvikling finner sted.

Det er foretatt slike beregninger for de innsjøene som inngikk i undersøkelsene. I den grafiske fremstilling i FIGUR 14 er resultatene fra slike beregninger basert på de målte konsentrasjoner i innsjøene i henholdsvis 1987 og 1988. Som det fremgår, er det i første rekke Akersvatnet, Revovatnet og Hillestadvatnet som klart utmerker seg med å overskride "akseptable" konsentrasjoner for totalfosfor (Berge 1987). Beregningsresultatene stemmer godt overens med at nettopp disse tre innsjøene spesielt er karakterisert som utpregede lokaliteter med vannblomst av blågrønnalger.

Det er fremdeles ukjent hva som betinger at blågrønnalger kan bli toksinproduserende. De utførte undersøkelser i Norge har vist at giftproduserende stammer av blågrønnalger er forholdsvis vanlige og vidt utbredt (Berg et al. 1986). Som eksempel kan nevnes erfaringene fra Jæren. Av 20 undersøkte innsjølokaliteter hadde 14 innsjøer oppblomstringer med giftproduserende blågrønnalger. Som en foreløpig rettesnor kan det hevdes at i alle vannforekomster hvor det blir

masseutvikling av blågrønnalger, er det forholdsvis stor sannsynlighet for at en toksinproduserende stamme kan få dominans.

De utførte undersøkelser i Vestfold er i overensstemmelse med dette. I de aktuelle innsjølokalitetene ble det påvist fem lokaliteter med populasjoner av toksinproduserende blågrønnalger (Akersvatnet, Hillestadvatnet, Bergsvatnet, Gjennestadvatnet og Goksjø).

En spesiell erfaring av økologisk betydning har fremkommet i vårt geografiske område. Det viser seg at tilstedeværelsen av toksinproduserende stammer med blågrønnalger kan være et vedvarende fenomen i innsjøene det gjelder. Vanlig er det rapportert at vannblomstdannende blågrønnalger med toksinproduksjon bare opptrer periodisk under spesielle, udefinerte sett av miljøfaktorer (Carmichael 1982).

I de undersøkte norske lokalitetene med stammer av toksinproduserende blågrønnalger er derimot fenomenet mer av en kronisk karakter. I Akersvatnet har f.eks. alle undersøkte prøver med blågrønnalger siden 1984 vært av toksisk natur. Tilsvarende er funnet i andre innsjølokaliteter med vannblomst av toksiske stammer. Dette innebærer en sterkere eksponering med toksinene overfor organismene i økosystemet.

HENVISNINGER

Berg, K., Skulberg, O.M., Skulberg, R., Underdal, B. & Willén, T. (1986): Observations of toxic blue-green algae (CYANOBACTERIA) in some Scandinavian lakes. *Acta vet. scand.* 27: 440-452.

Berg, K., Carmichael, W.W., Skulberg, O.M., Benestad, Chr. & Underdal, B. (1987a): Investigation of a toxic water bloom of Microcystis aeruginosa (CYANOPHYCEAE) in Lake Akersvatn, Norway. *Hydrobiologia* 144: 97-103.

Berg, K., Skulberg, O.M. & Skulberg, R. (1987b): Effects of decaying toxic blue-green algae on water quality - a laboratory study. *Arch. Hydrobiol.* 108(4): 549-563.

Berge, D. (1987): Fosforbelastning og respons i grunne og middels grunne innsjøer. NIVA-rapport O-85110, 24.juni 1987. 44 pp.

Berge, D. (1988): Morfometri, hydrologi, vannkvalitet og beregninger av akseptabel fosforbelastning i 15 Vestfoldinnsjøer. NIVA-rapport O-87062, 28.oktober 1988. 98 pp.

Carmichael, W.W. (1982): Chemical and toxicological studies of the toxic freshwater cyanobacteria Microcystis aeruginosa, Anabaena flos-aquae and Aphanizomenon flos-aquae. *S. Afr. J. Sci.* 78: 367-372.

Krishnamurthy, T., Carmichael, W.W., Sarver, E.W. and Skulberg, O.M. (1986): Investigations of freshwater cyanobacteria (blue-green algae) toxic peptides. I. Isolation, purification and characterization of peptides from Microcystis aeruginosa and Anabaena flos-aquae. *Toxicon* 24(9): 865-873.

Norsk institutt for vannforskning (1985): Giftproduserende blågrønnalger i Vestfold. Resultater av undersøkelser i 1984. Rapport O-84135, 18.april 1985. 21 pp.

Norsk institutt for vannforskning (1986): Giftproduserende blågrønnalger i Vestfold. Resultater av undersøkelser i 1985. Rapport O-84135, 10.januar 1986. 32 pp.

TABELLER OG FIGURER

Norsk institutt for vannforskning (1987a): Giftproduserende blågrønnalger i Vestfold. Undersøkelser i 1986 utført for Miljøvernavdelingen, Fylkesmannen i Vestfold. Rapport E-83462, 25. mars 1987. 21 pp.

Norsk institutt for vannforskning (1987b): Giftproduserende blågrønnalger i Akersvatnet. Resultater av undersøkelser i 1986 for Vestfold interkommunale vannverk (VIV). Rapport O-84135, 9. mars 1987. 32 pp.

Paerl, H.W. (1988): Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Ed. C.D. Sandgren, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 261-315.

Seip, K.L. (1988): Et regelsystem for å identifisere innsjøers respons på reduksjoner i fosforbelastning. Del II. Forekomst av blågrønn-alger (Cyanobacteria). *Limnos* 3: 8-12.

Skulberg, O. (1988): Blågrønnalger - vannkvalitet. Toksiner. Lukt- og smaksstoffer. Nitrogenbinding. NIVA-rapport O-87006, 15. mars 1988. 122 pp.

Vollenweider, R.A. (1976): Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem.Ist.Ital.Idrobiol.* 33: 53-83.

TABELL 1. FYSISKE OG KJEMISKE ANALYSERESULTATER FRA INNSJØENE I VESTFOLD 1987 OG 1988

Komponenter	29. juli 1987							6. juli 1988							4. august 1988						
	Ak	Be	Bo	Go	Hi	Re	Ås	Ak	Be	Bo	Go	Hi	Re	Ås	Ak	Be	Bo	Go	Hi	Re	Ås
Surhetsgrad	7,4	8,7	9,0	7,2	9,8	9,8	7,5	7,3	7,5	7,3	7,3	8,3	9,5	7,1	7,7	7,8	7,8	7,3	7,6	10,3	7,1
Konduktivitet	20,3	7,0	17,4	9,3	9,4	8,3	8,0	17,6	5,5	14,8	7,8	6,8	7,2	5,7	18,0	6,2	15,6	8,6	7,4	8,2	6,0
µS/cm 20 °C	183	63	157	84	85	75	72	159	49	134	70	61	65	58	162	56	141	77	66	74	54
Turbiditet	17,0	4,8	1,8	1,0	9,0	15,0	2,9	3,4	3,1	14	2,1	8,8	23	1,3	4,8	12,0	1,7	1,6	12,0	15,0	2,4
Farge	27,6	20,9	18,4	22,9	31,4	21,2	21,1	28,2	20,4	20,6	18,8	28,6	26,3	21,2	31,0	33,5	18,0	27,5	43,5	25,0	35,5
Totalfosfor	90,5	12,5	19,5	16,0	50	61,0	12,0	17,5	13,5	69	12,5	48	140	13,0	23,0	14,0	8,0	12,0	32,0	52,0	14,0
Totalnitrogen	2168	1218	2324	1728	1019	1304	1680	974	434	1002	779	1058	1820	636	980	1097	995	818	1097	995	789
Kjemisk oksygenforbruk *	6,8	6,0	4,8	4,5	9,6	11,3	4,2	22	15	33	11	29	70	14	17	34	21	< 10	85	55	17
mg O/l	24	97	119	108	20	21	140	56	32	15	62	22	13	49	43	78	124	68	34	19	56
Forholdet TN/TP																					

Ak = Akersvatnet
 Be = Bergsvatnet
 Bo = Botrevatnet
 Go = Goksjø
 Hi = Hillestadvatnet
 Re = Revovatnet
 Ås = Åsrumvatnet

* Analysene i 1987 ble utført med kaliumpermanganat-metoden, i 1988 med kaliumdikromat-metoden.

TABELL 2. OBSERVASJONER AV VANNBLOMSTDANNEDE ARTER I 1987 OG 1988.

BLÅGRØNNALGE	1987	1988
Anabaena solitaria	Bergsvatnet Vikevatnet	-
Aphanizomenon flos-aquae	Akersvatnet	Akersvatnet
Microcystis aeruginosa	Akersvatnet Hillestadvatnet Revovatnet	Bergsvatnet Hillestadvatnet Revovatnet

- vannblomst ikke observert

TABELL 3. SAMMENSTILLING AV 1987-OBSERVASJONER AV BLÅGRØNNALGER I DE UNDERSØKTE INNSJØENE.

Prøvetaking (Planktonhåv, 25 µm)	29. juli 1987						31. august 1987											
	Ak	Bo	Hi	Vi	Be	Gj	Re	Go	Ås	Ak	Bo	Hi	Vi	Be	Gj	Re	Go	Ås
Anabaena circinalis							1					1	1					
A. flos-aquae				1														2
A. solitaria			3	4	4		1					2	2	2				
A. cf. spiroides																		
Aphanizomenon flos-aquae	4																	5
Chroococcus limneticus		+							2									
Coelosphaerium kützingianum					2													
Gomphosphaeria lacustris	+	2				3	2	2										1
G. naegeliana	3				1			1	2									2
Microcystis aeruginosa	2		3	2	2									1	4	4	1	
M. botrys	1	1	3	2	2					2	1			2	2			
M. viridis			1	1	1										1	1		
M. wesenbergii			2	3	2										1	1		
M. sp. (aeruginosa-form)									5									5
Oscillatoria spp.						+												

Ak = Akersvatnet
 Bo = Borrevatnet
 Hi = Hillestadvatnet
 Vi = Vikevatnet
 Be = Bergsvatnet
 Gj = Gjennestadvatnet
 Re = Revovatnet
 Go = Goksjø
 Ås = Åsrumvatnet
 Mengdeangivelse:
 + Til stede
 1 Sjelden
 2 Sparsum
 3 Vanlig
 4 Hyppig
 5 Dominant

TABELL 4. SAMMENSTILLING AV 1988-OBSERVASJONER AV BLÅGRØNNALGER I DE UNDERSØKTE INNSJØENE.

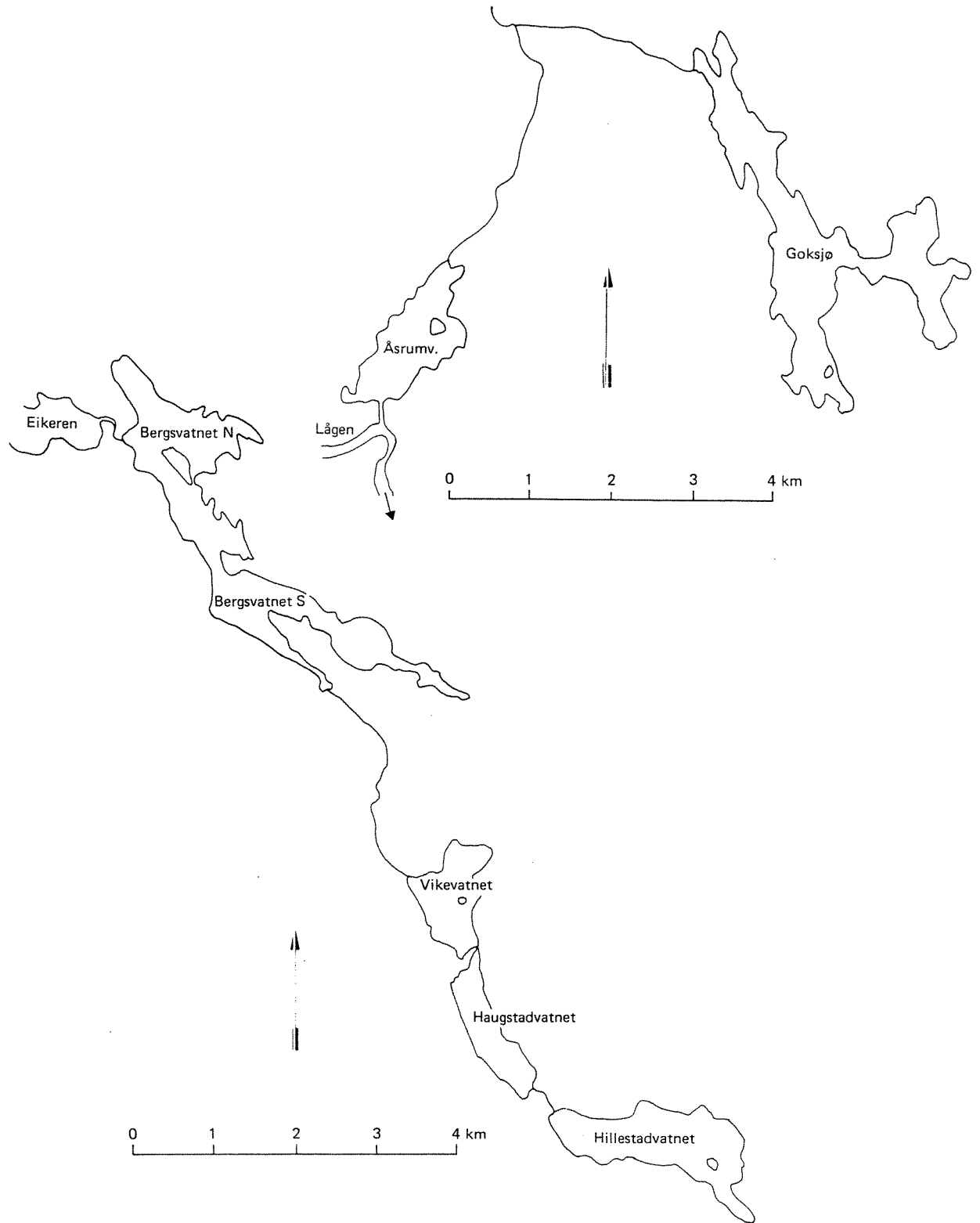
Arter av blågrønnalger	6. juli 1988						4. august 1988							
	Ak	Bo	Hi	Be	Re	Go	Ås	Ak	Bo	Hi	Be	Re	Go	Ås
Anabaena flos-aquae				3	+	3	2				2		2	2
A. solitaria	1		2	3		2				2	2		2	1
A. spp.														1
Aphanizomenon flos-aquae	2							1						
Coelosphaerium kützingianum										1				
Chroococcus limneticus														
Gomphosphaeria naegeliana	2													2
Microcystis aeruginosa	1	2	4	2					1	1	4	4		
M. botrys	1	2	1	1					2	3	1		1	1
M. viridis				1								1	1	
M. wesenbergii	+	1	3	2							4	3	1	
M. sp. (aeruginosa-form)							4							4
Ubestemte coccale former							2							

Ak = Akersvatnet
Bo = Borrevatnet
Hi = Hillestadvatnet
Be = Bergsvatnet

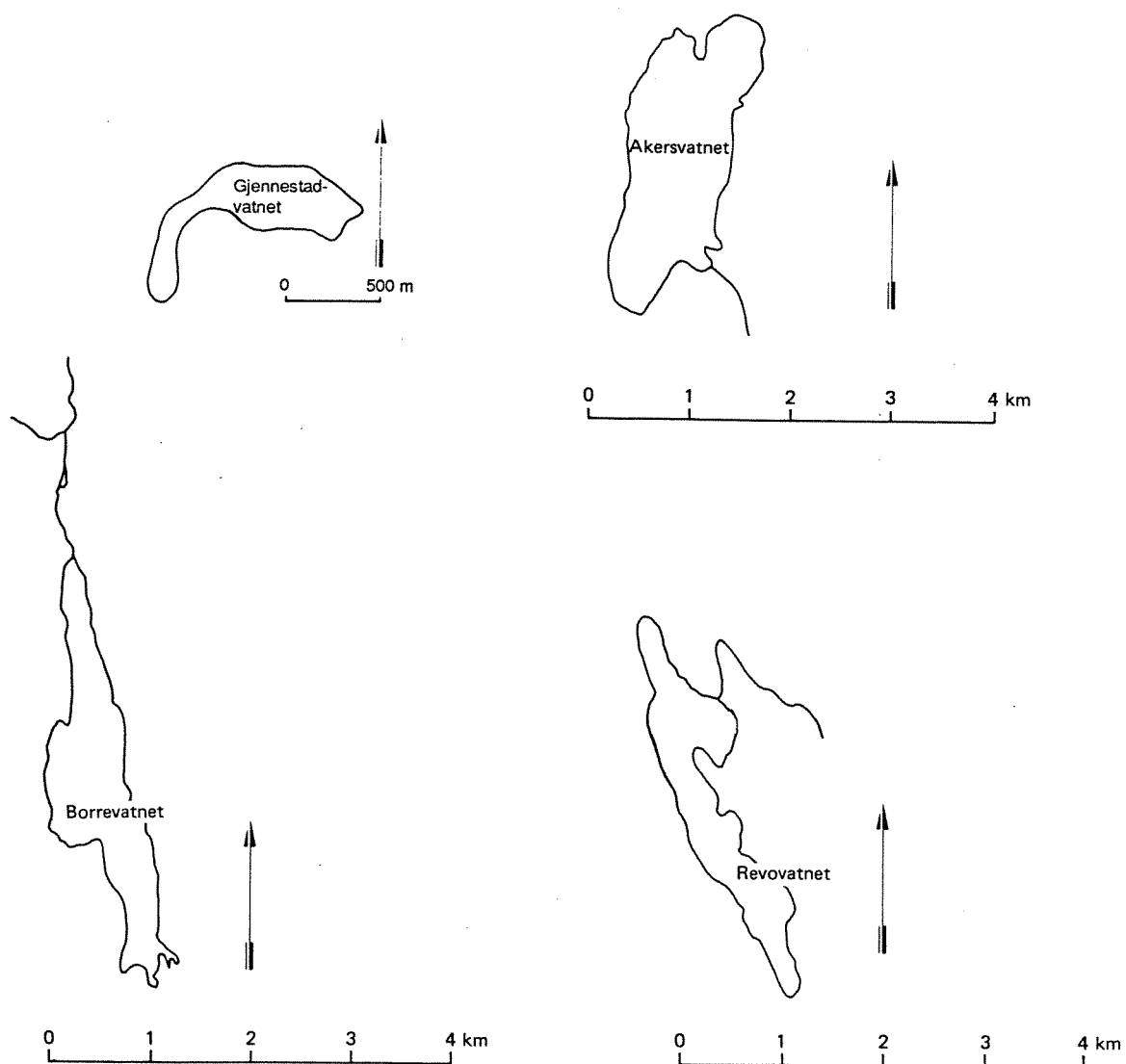
Re = Revovatnet
Go = Goksjø
Ås = Åsrumvatnet

Mengdeangivelse:
+ Til stede
1 Sjelden
2 Sparsom

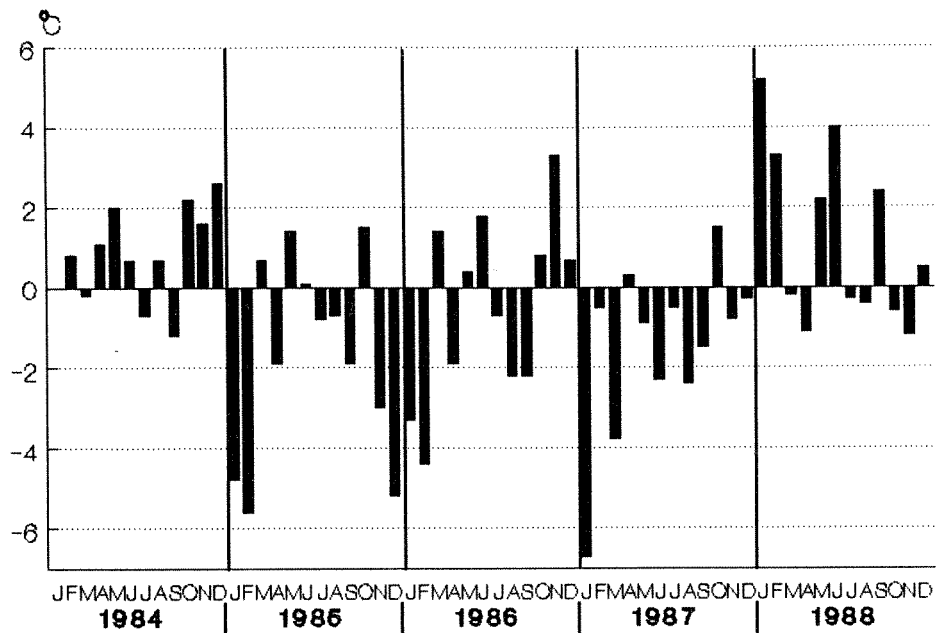
3 Vanlig
4 Hyppig
5 Dominant



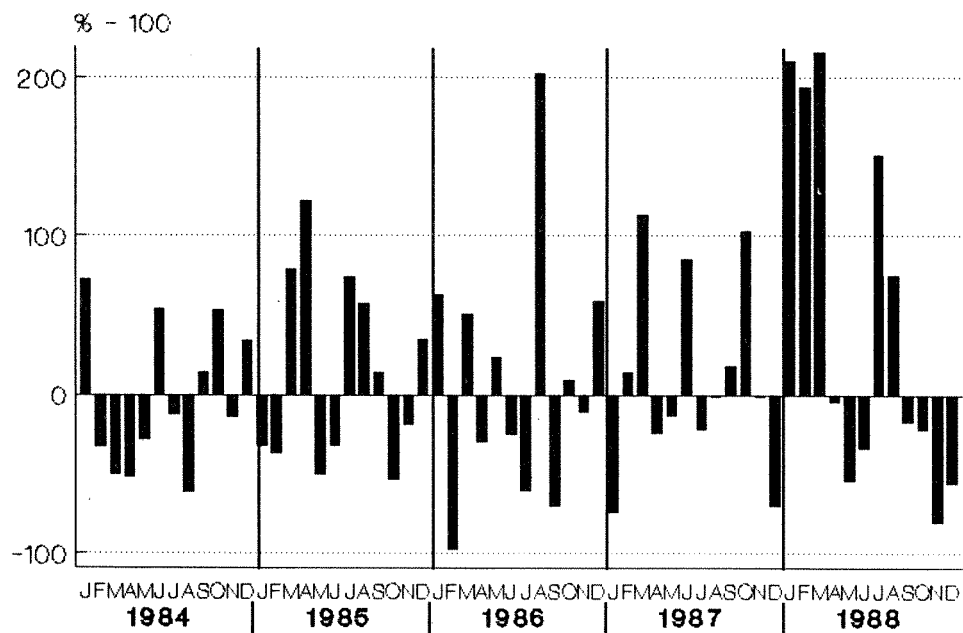
FIGUR 1. Kartskisse av lokalitetene Hillestadvatnet, Vikevatnet, Bergsvatnet, Goksjø og Åsrumvatnet.



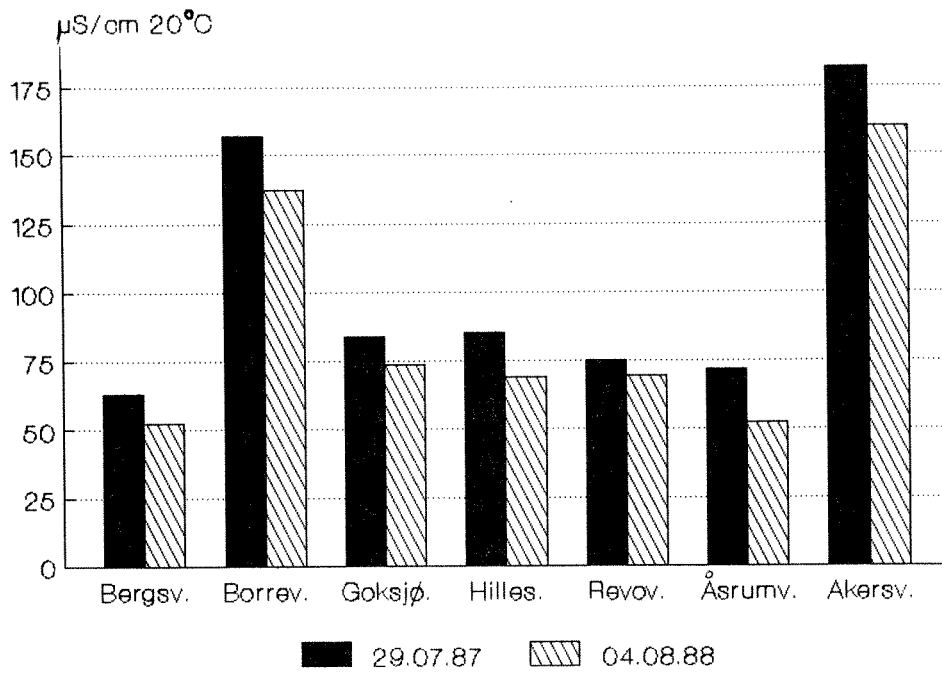
FIGUR 2. Kartskisse av lokalitetene Akersvatnet, Borrevatnet, Revovatnet og Gjennestadvatnet.



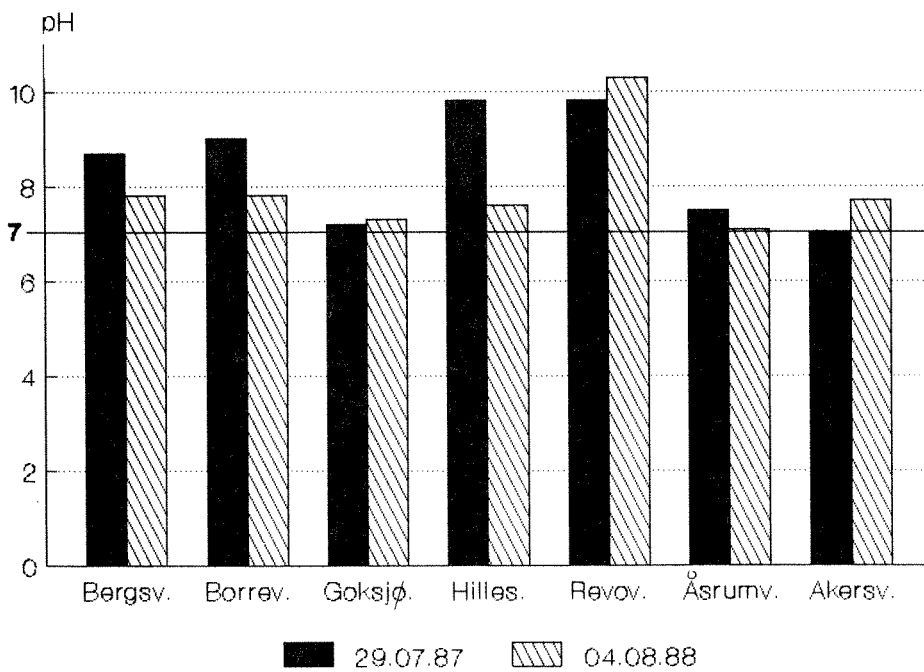
**FIGUR 3. Temperaturforhold i perioden 1984 - 1988.
Avvik fra middeltemperatur (1960 - 1988). Melsom**



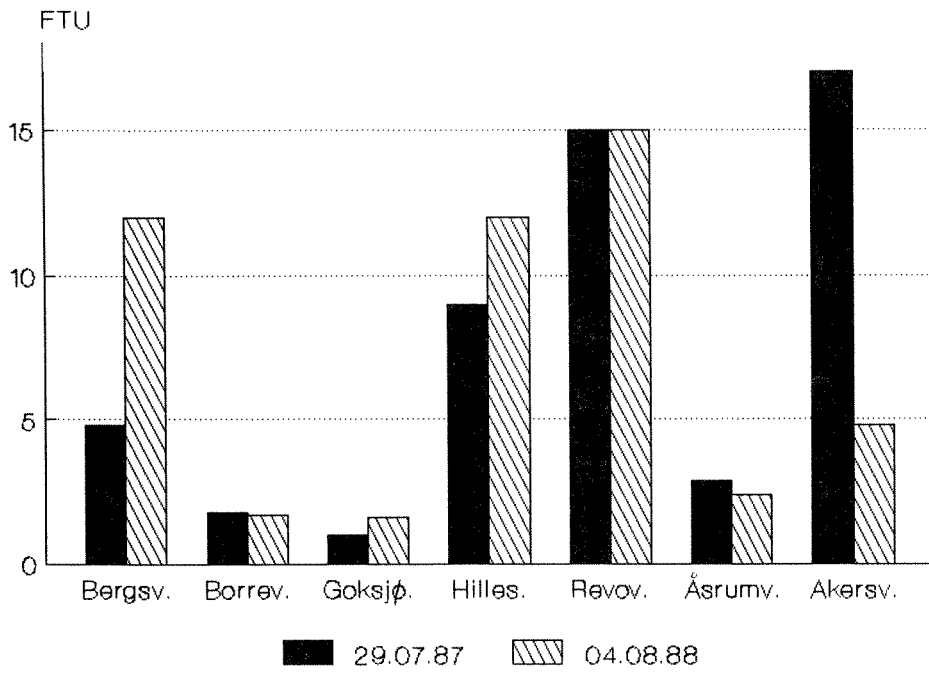
**FIGUR 4. Nedbørforhold i perioden 1984 - 1988.
Prosentvis avvik fra middelnedbør (1960 - 1988). Melsom**



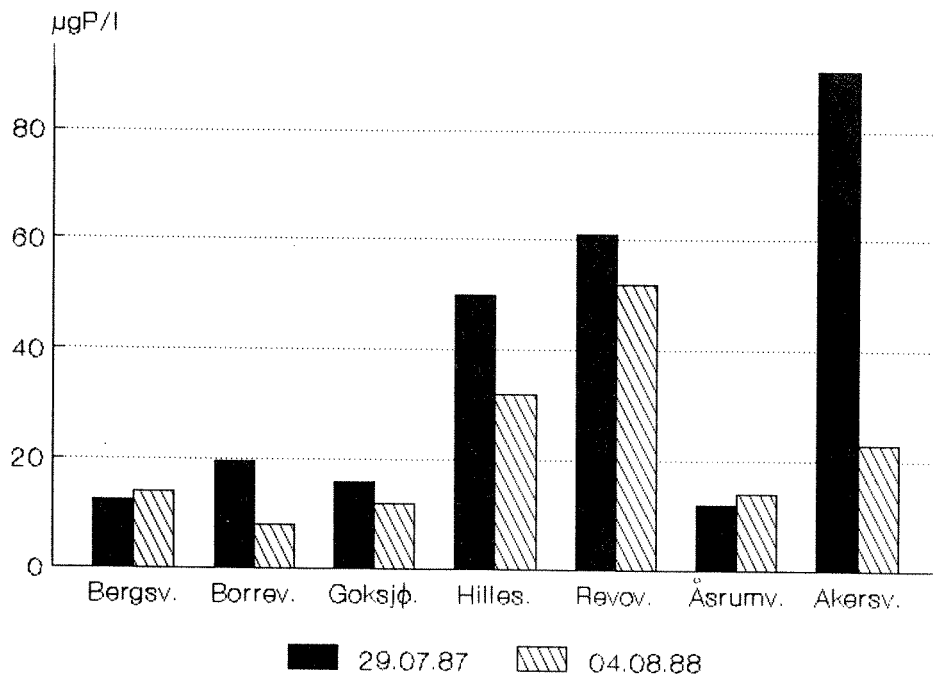
FIGUR 5. Konduktivitet i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988



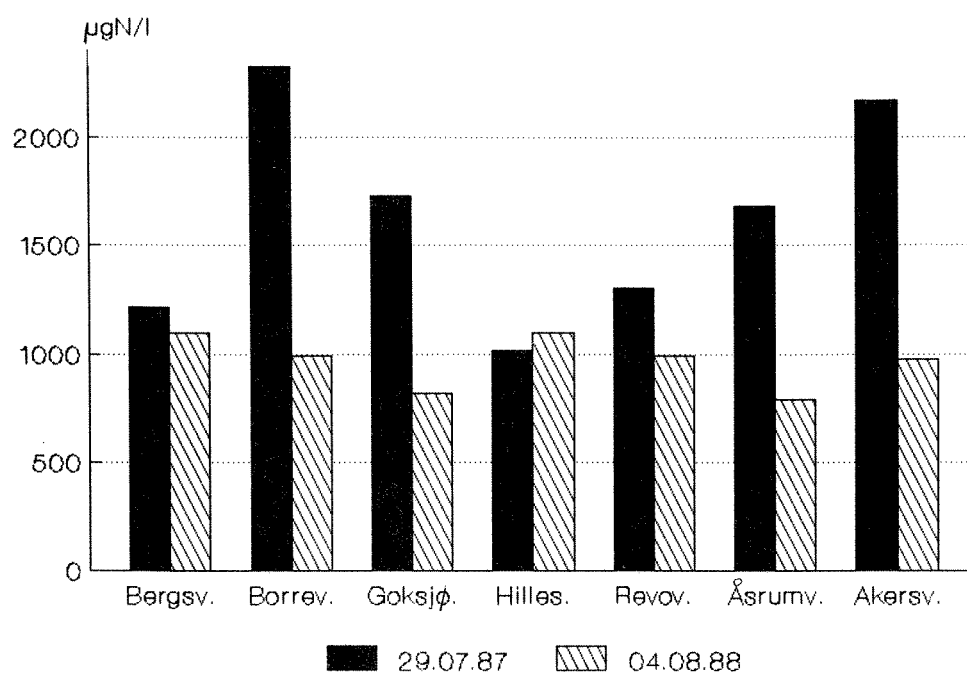
FIGUR 6. Surhetsgrad i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988



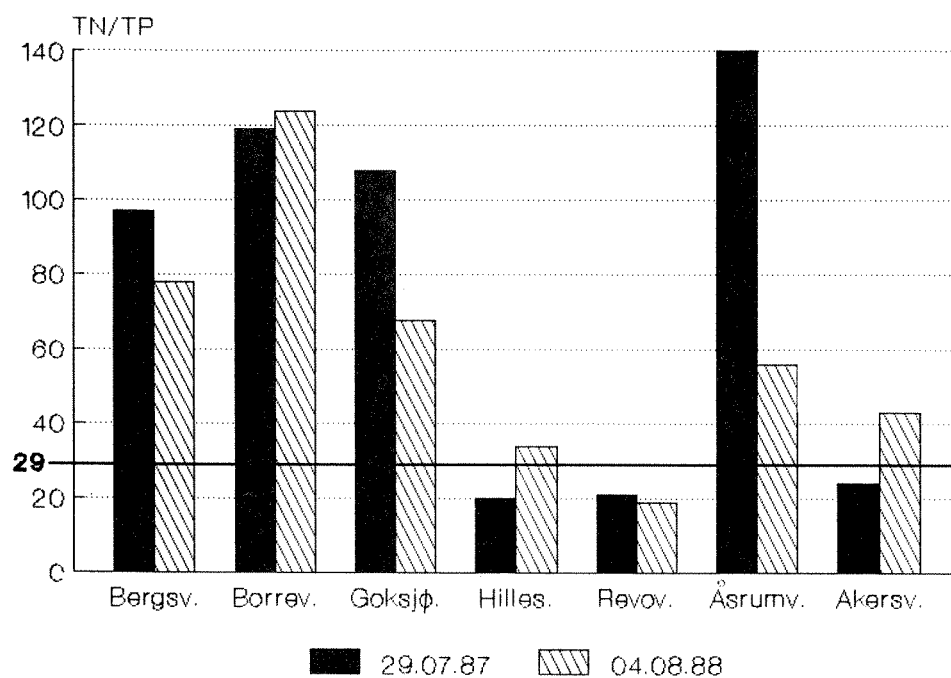
FIGUR 7. Turbiditet i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988



FIGUR 8. Totalfosfor (TP) i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988

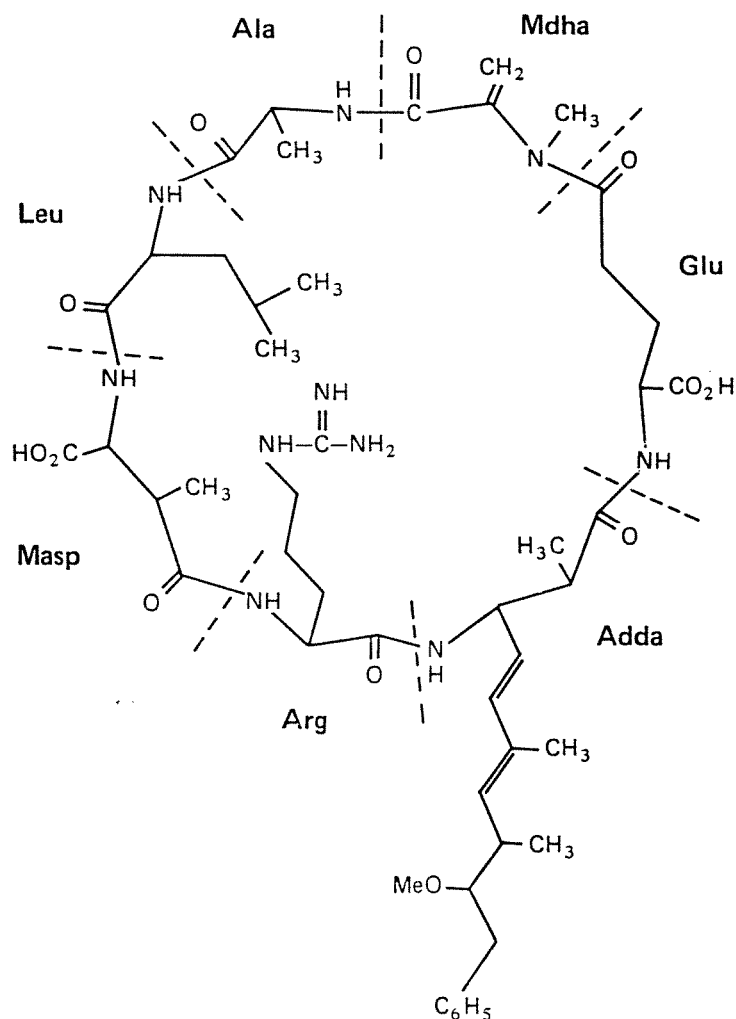


FIGUR 9. Totalnitrogen (TN) i overflateprøver innsamlet 29.juli 1987 og 4.august 1988



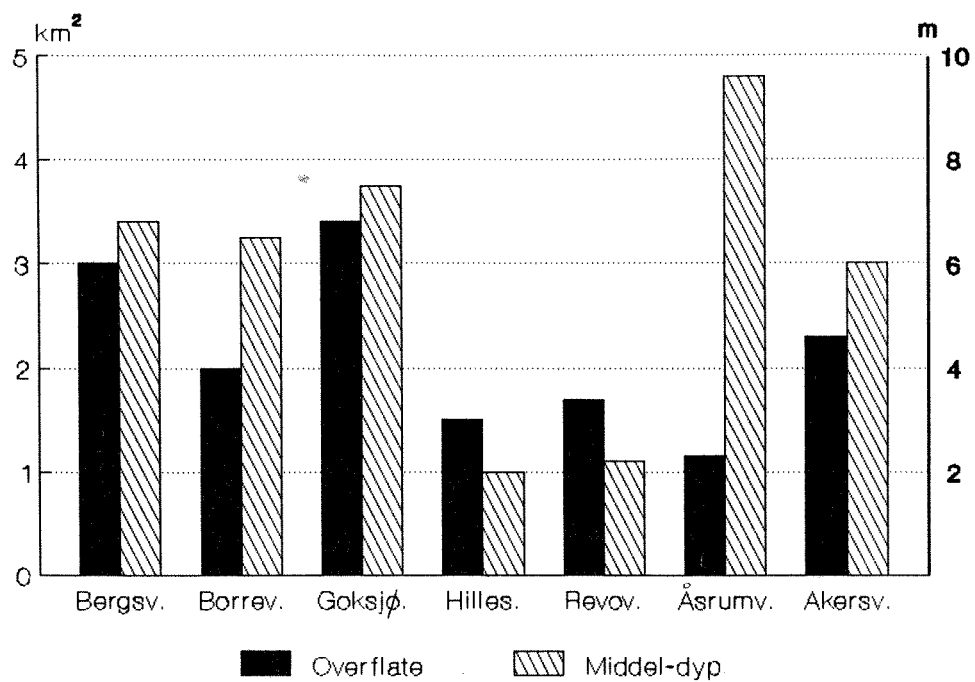
FIGUR 10. Forholdet mellom totalnitrogen (TN) og totalfosfor (TP)

Microcystin-a (akerstox)

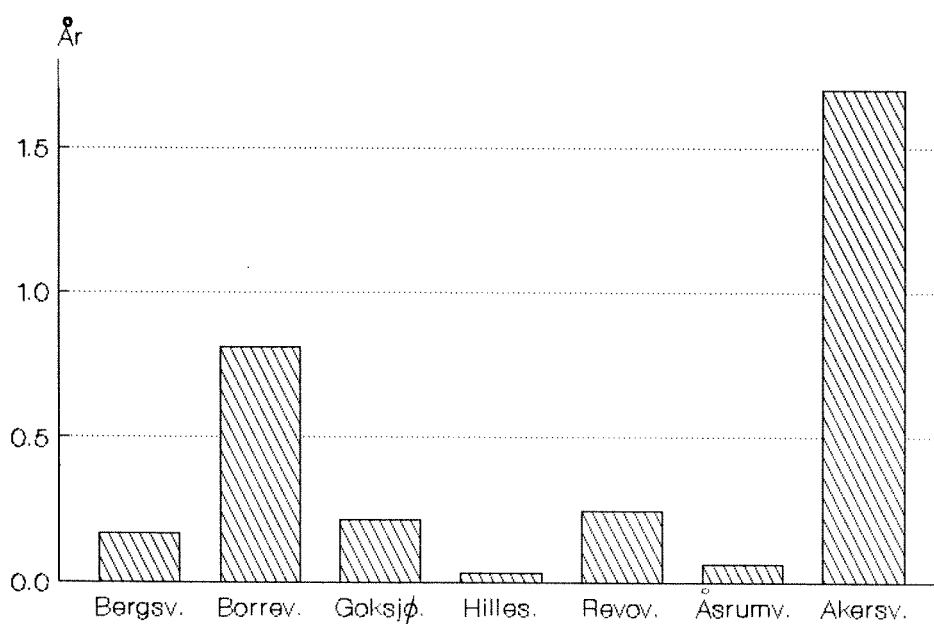


- Arg — arginin
 Masp — β -metylasparbinsyre
 Leu — leucin
 Ala — alanin
 Mdha — metyldehydroalanin
 Glu — glutamat
 Adda — β -aminsyrerest av 3-amino-9 metoxy-
 2,6,8-trimetyl-10-fenyldeka 4,6-dienolsyre

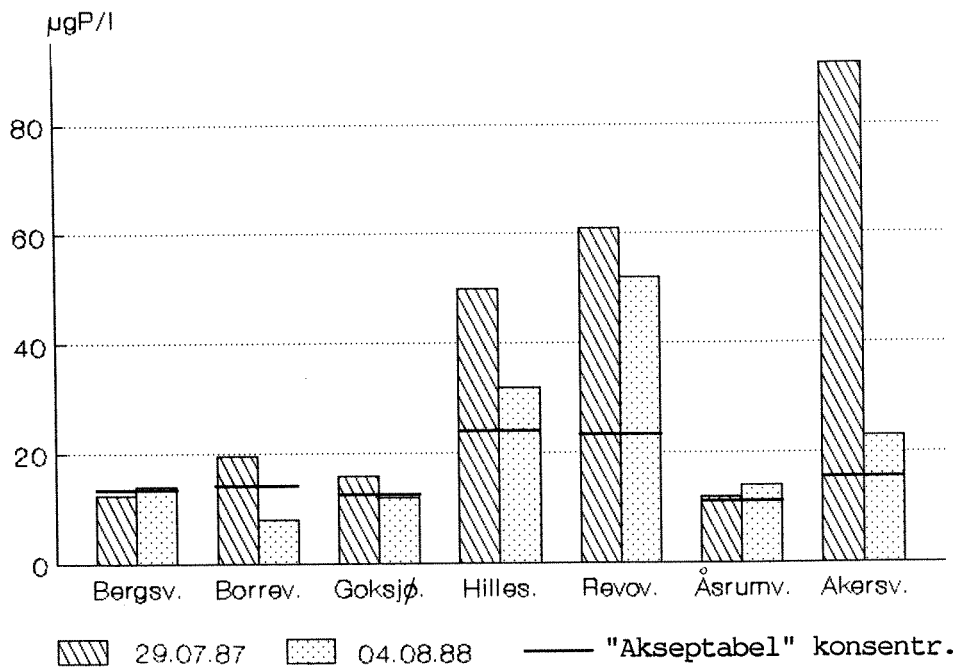
FIGUR 11. Toksin isolert og karakterisert fra Microcystis aeruginosa i Akersvatnet



FIGUR 12. Overflateareal og middeldyp for de undersøkte innsjøene



FIGUR 13. Teoretisk oppholdstid for vannmassene i de undersøkte innsjøene



FIGUR 14. "Akseptabel" og observert konsentrasjon av fosforforbindelser
(Forklaring, se teksten s. 14)