

Overvåking av Lyseren 2009



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Overvåking av Lyseren 2009	Løpenr. (for bestilling) 5889-2009	Dato: 25.1.2010
	Prosjektnr. Undernr. 29203	Sider Pris 24
Forfatter(e) Markus Lindholm	Fagområde Vannressurs- forvaltning	Distribusjon fri
	Geografisk område Østfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Spydeberg vannverk Hemnes, Hobøl vannverk BA og Lyseren/Hov vannverk	Oppdragsreferanse Synne Lømo
--	---------------------------------

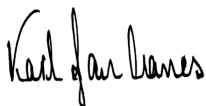
<p>Sammendrag</p> <p>Det er gjennom sommeren 2009 gjennomført en overvåkning av vannkvaliteten i innsjøen Lyseren, Spydeberg og Enebakk kommuner. Rapporten gir en oversikt over viktige funn og trender, med fokus på næringstilstand og trofegrad, algesammensetning samt innslag av blågrønnalger. Data fra tidligere år er satt opp mot årets funn. Sammen med blågrønnalger utgjorde kiselalger, gullalger og svelgflagellater hovedbestanddelen av algesamfunnet i 2009. Det ble påvist innhold av alggift (microcystin) i juni og juli, konsentert på 6 meters dyp, og overvåkingen ble i denne periode intensivert. Også i råvannet for vannverkene ble det målt microcystin-verdier over anbefalt grense. Filtreringsprosessene reduserte imidlertid innholdet i betydelig grad, og resultatene viste at drikkevannskvaliteten ikke ble forringet i 2009.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. overvåking av blågrønnalger 2. vannkvalitet 3. drikkevann 4. Lyseren 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. monitoring of cyanobacteria 2. water quality 3. drinking water 4. Lake Lyseren
---	---



Markus Lindholm

Prosjektleder



Karl Jan Aanes

Forskningsleder



Bjørn Faafeng

Seniorrådgiver

Overvåking av Lyseren

2009

Forord

Denne rapporten redegjør for resultatene av overvåking av Lyseren i 2009. I rapporten er det også tatt med bakgrunnsdata fra tidligere år. Oppdragsgivere for undersøkelsene har vært Spydeberg vannverk Hemnes, Hobøl vannverk BA og Lyseren/Hov vannverk. Arbeidet er gjennomført i henhold til avtale av april 2009.

Datamaterialet som ligger til grunn for rapporten er samlet inn gjennom et felles overvåkingsprogram mellom NIVA og de tre oppdragsgiverne. I drøftelsene av resultatene er det brukt data innhentet fra Fylkesmannen i Østfold (Østfoldprosjektet) og fra tidligere studier av Lyseren.

Ansvarlig for innsamling av prøver har vært Darioush Alinejad. Algeanalyser er utført på NIVA av Camilla Hedlund Corneliussen og Bianka Pauly. Kjemiske analyser er utført på NIVA-lab av June Charlotte Ek. Thomas Rohrlack, NIVA, har kvalitetssikret arbeidet med blågrønnsalger og algetoksiner. Undertegnede har vært prosjektleder og har stått for bearbeiding av data, vurdering og sammenstilling til rapport. Oppdragsgiver og medarbeidere takkes for godt samarbeid.

Oslo 14.12.2009

Markus Lindholm
Prosjektleder

Innhold

Oslo 14.12.2009	3
Sammendrag	5
Summary	6
2. Innledning	7
3. Resultater og diskusjon	9
3.1 Fysiske rammer	9
3.1.1 Oksygen og temperatur	9
3.1.2 Siktedyp	10
3.1.3 Suspendert tørrstoff	11
3.1.4 Silikat	12
3.1.5 Næringssalter	13
3.2 Algesamfunnet	16
3.2.1 Algemengde og sammensetning	16
3.2.2 Blågrønnalger og forholdene i Lyseren	18
3.2.3 Blågrønnalger og helserisiko	21
4. Konklusjoner	23
5. Litteratur	24

Sammendrag

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har i samarbeid med Spydeberg vannverk Hemnes, Hobøl vannverk BA og Lyseren/Hov vannverk gjennomført overvåking av vannkvaliteten av Lyseren i 2009, med særlig fokus på algetoksiner og blågrønnalger og potensielle implikasjoner for drikkevannskvaliteten. Oppdragsgiver har vært Spydeberg kommune. Resultatene er sammenholdt med tidligere data.

Lyseren er en forholdsvis grunn klarvannssjø, og er moderat påvirket av næringssalter fra bebyggelse og landbruk rundt innsjøen. Dette gir i dag en tilstand som preges av svakt mesotrofe (middels næringsrike) forhold. Algesammensetningen er i hovedtrekk den samme som for nær 50 år siden, også mht. blågrønnalger, men den potensielt giftproduserende blågrønnalgen *Planktothrix* er kommet til. I juni registrerte vi en oppkonsentrering av denne arten i sprangsjiktet, og innholdet av microcystin økte til mer enn 2 µg/L. Som følge av dette ble overvåkingen intensivert i denne perioden, med ukentlige vannprøver. Det ble samtidig foretatt vertikalmålinger av alge-konsentrasjonen på flere andre steder i innsjøen. Resultatene viste lave verdier for *Planktothrix* i overflaten, med en jevn økning ned til 6 til 7 m dyp. Dette laget av blågrønnalger ble observert ved alle målepunkter i Lyseren, på om lag samme dyp.

Summary

Lake Lyseren is a relatively shallow, mesotrophic clearwater lake, moderate influenced from mineral nutrients from the catchment area. Some signs suggest a gradual ongoing eutrophication. Long-term records showing a 35 % increase in total phosphorus seems to support this. Other variables, however, do not indicate this trend. Algae composition has in general been unaltered during the last 50 years, also in respect of cyanobacteria, but the potential toxic *Planktothrix* is a new occurring species. During June and July, concentrations of microcystin increased to levels above 2 µg/L, and monitoring was intensified for the following weeks.

Title: Monitoring Lake Lyseren 2009

Year: 2009

Author: Markus Lindholm

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-5624-6

Report no. 5889-2009

2. Innledning

2.1.1 Områdebeskrivelse

Innsjøen Lyseren i Enebakk og Spydeberg kommuner, ligger i det sørøstnorske grunnfjellsområdet, under den marine grensa. Bergrunnen består av næringsfattig prekambrisk gneis, og høyde over havet er 161 m. Bassenget oppsto for om lag 9000 år siden, da innlandsisen trakk seg tilbake og etterlot en bred morene (Raet), som fungerte som demning for smeltevannet. Deler av sjøen og nedbørsfeltet er preget av underliggende leire, noe som på land (særlig nord og sør for innsjøen) har gitt opphav til fruktbar matjord og landbruk. Noe under 10 % av arealet er dyrket mark, mens skog og myr utgjør ellers hovedandelen (65 %). Topografien i området er uten store variasjoner, og innsjøen er forholdsvis grunn. Gjennomsnittlig dyp er 9 meter, og største dyp er 59 m (Hølvika). Lyseren dekker et areal på 7,5 km², men hele nedbørsfeltet er lite, bare 28,1 km². Ingen større vassdrag fører inn i sjøen, men bassenget næres av 8-9 bekker og fra grunnvannet. Det begrensede tilsiget gjør at vannet blir værende lenge i bassenget før det flyter ut gjennom Smalelva, som drenerer til Glomma: Teoretisk oppholdstid (retensjonstid) for Lyseren er beregnet til 5,3 år, som er relativt lenge. Dette forholdet gir vannet mye av sitt særpreg, med stabile forhold over tid og moderate korttidsendringer som følge av flom og årstid.

Det moderate dypet over store arealer av innsjøen bidrar til en variert vannvegetasjon (takrør, hornblad, tusenblad). Deler av strandsonen er tett bevokst og artsrik, og bidrar til en høy diversitet av fugler. Det finnes seks ulike fiskearter i sjøen, særlig er gjedde og abbor vanlig.

Lyseren er ikke smittet av krepspest. Innsjøen har en god bestand av edelkreps, men denne har gått merkbart tilbake de siste årene. Minstemålet er hevet til 10 cm for å bedre reproduksjonsevnen i populasjonen, og våren 2009 ble det lagt ut en rekke steinhauger på grundt vann for å bedre forholdene for arten.

Det moderate dypet påvirker også innsjøen på en annen måte. Sjøer med større dyp etablerer en varig sommerstagnasjon der det næringsrike dypvannet holdes adskilt fra overflatevannet av termiske årsaker. Dette bidrar til at organisk materiale og algebiomasse felles ut og akkumulerer i bunnvannet. Grunne sjøer vil være mer utsatt for hurtigere resirkulering og oppvirvling av bunnvann, særlig i perioder med kaldt vær og vind. Dermed øker også tilbakeføringen av næringsstoffer til overflatelaget, med økt algevekst som mulig resultat. Generelt vil derfor grunne sjøer være noe mer utsatt for eutrofiering enn dype sjøer. Alger som er tilpasset lite lys og som dermed kan overleve i dypere vannlag, vil kunne utnytte dette. *Planktothrix* er en slik art.

Det er om lag 750 hytter og 85 boliger i Lyserens nedbørsfelt. Det har lenge pågått et utredningsarbeid i regi av kommunene Spydeberg og Enebakk med tanke på oppgradering av eksisterende avløpsløsninger for både fastboende og fritidsboliger, og det er gjennomført en vurdering av nedbørsfeltet der mulige løsninger ble drøftet. Dette førte frem til et vedtak i Spydeberg i april om å igangsette kloakkering av hyttefeltene rundt innsjøen, basert på trykkavløp (Kommune sak nr 017/09).

Lyseren er drikkevannskilde for kommunene Spydeberg og Hobøl, og forsyner nær 8000 mennesker med drikkevann, gjennom Hobøl vannverk BA, med inntak på 8 meters dyp i Lystadvika, og Spydeberg Vannverk, med inntak på 15 meters dyp i Rudsvika.

2.1.2 Bakgrunn for overvåkingen

De eldste rapportene fra NIVA om vannkvalitet i Lyseren er nær 50 år gamle, og er knyttet til vurdering av drikkevannskvaliteten. Allerede i 1964 rapporterte NIVA om algeblomst og forekomst av blågrønnalger (Holtan 1964). Nye undersøkelser ble gjennomført på 1970-tallet, med sikte på å bedre overvåkingen av drikkevannskilden (Skulberg 1977). En studie fra 1985 drøftet innholdet av blågrønnalger og sannsynligheten for økning i mengden blågrønnalger (Bjørndalen m.fl. 1985).

Blågrønnalger som mulig helserisiko ble her i landet aktualisert gjennom en NIVA-forskers artikkel i Tidsskrift for den norske Lægeförening i (Skuldberg 1972). Frem til 2005, da det ble lagt frem forslag om grenseverdier for algetoksiner i drikkevann, var imidlertid spørsmålet underlagt Folkehelsa.

I forbindelse med overvåking av vannforekomstene i Østfold 2006 i regi av Fylkesmannen i fylket, ble det i samråd med Spydeberg Vannverk foretatt to vertikalmålinger i Lyseren med en algesonde (fluoroprobe). Bakgrunnen for dette var at algegiften microcystin var påvist ved prøvetaking tidligere på sommeren. Den første fluorprobe-målingen avdekket en økning av blågrønnalger ned mot 8 meters dyp. Med dette økte også innholdet av microcystin.

På bakgrunn av ovennevnte funn ble det besluttet å igangsette et overvåkingsprogram for Lyseren, med fokus på sesongdynamikken hos algetoksiner. Den foreliggende rapporten for overvåkinga i 2009 benytter i tillegg data fra undersøkelsene i 2005-2008 som bakgrunn for vurderingene.

2.1.3 Vurdering av drikkevannskvalitet

Kriterier for drikkevannskvalitet har hittil vært basert på SFTs definerte verdier og system for klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann slik disse ble utviklet av NIVA på 1990-tallet (SFT 1997). Med implementeringen av EUs vanddirektiv har det vært behov for en viss justering og oppgradering også av disse kriteriene. NIVA har på oppdrag av SFT nå levert forslag til reviderte kriterier for drikkevannskvalitet (Solheim et al. 2008). Det er her enkelte endringer, bl.a. mht vurdering av råvannskvalitet og klorofyllmengder (**Tabell 1**). Det foreslås videre at microcystin-mengden ikke skal overskride 1 µg/L, som også er i henhold til WHO's anbefalinger. Mulige implikasjoner av dette for Lyseren er tatt opp nedenfor.

Tabell 1. NIVAs forslag til nytt system for klassifisering av overflatevannkilders egnethet som råvann til drikkevannsforsyning (fra Solheim et al 2008).

<i>Parameter</i>	<i>Benevning</i>	<i>Godt egnet</i>	<i>Egnet</i>	<i>Mindre egnet</i>	<i>Ikke egnet</i>
<i>E. coli</i> *	ant/100 ml	0 ⁹⁰	0 ⁷⁰	0 ⁶⁰	0 ⁵⁰
Intestinale enterokokker*	ant/100 ml	0 ⁹⁰	0 ⁷⁰	0 ⁶⁰	0 ⁵⁰
Koliforme bakterier 37 °C	ant/100 ml	<10	10-30		>30
Kimtall 22 °C	ant/100 ml	20	20-50	50-100	>100
pH	pH-enhet	6.5-8.5	6-6.5/8.5-9	5-6 / 9-10	<5 / >10
Kond	mS/cm	<50	50-200	200-300	>300
Turb	FNU	<1	1-4	4-8	>8
Farge	mg Pt/l	<10	10-20		>20
Oksygen	metning %	>90%	70-90%	50-70%	<50%
Tot-P**	µg P/l	<7	7-11	11-20	>20
Klorofyll a**	µg/l	<3	3-5	5-10	>10
Microcystin***	µg/l	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1
Jern	µg/l	<100	100-300	300-600	>600
Mangan	µg/l	<50	50-100	100-300	>300
Aluminium	µg/l	<50	50-200	200-400	>400

*Eksposter betyr persentil. Der det ikke er ført opp noen potenser er det 50-persentilen (dvs medianverdien) som gjelder.

** Klassegrenser er i tråd med nye klassegrenser for kalkfattige, klare, grunne lavlandssjøer (LN2a), se kap. 2.

*** WHO anbefaler <1µg/L microcystin for drikkevann.

Datagrunnlaget for denne rapporten har vesentlig vært innhentet i perioden april-oktober hvert år.

Vurderingene er hovedsakelig basert på følgende parametere som beskriver:

- 1) Generell vannkjemi: Temperatur, siktedyp, suspendert tørrstoff (STS), suspendert gløderest (mg/L),
- 2) Eutrofiering: Algesammensetning og mengde, samt konsentrasjonen av klorofyll a, totalt fosfor (tot P, $\mu\text{g/L}$), løst fosfat ($\mu\text{g/L}$), totalt nitrogen (tot N, $\mu\text{g/L}$) og nitrat ($\mu\text{g/L}$)
- 3) Blågrønnalger: Artssammensetning og mengde samt innhold av phycocyanin og mikrocyстин.

3. Resultater og diskusjon

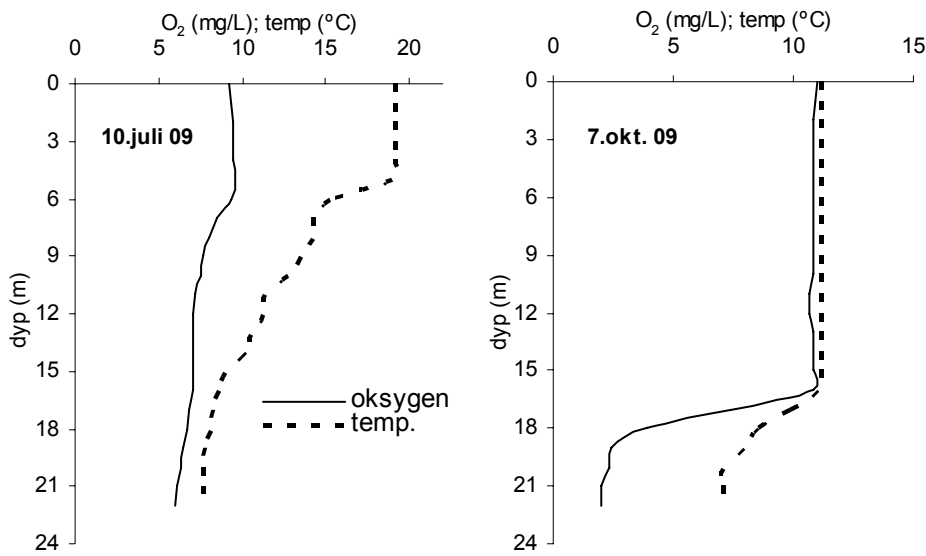
I det følgende gis en gjennomgang av de ulike parametrene som ble overvåket, med drøftelser av mulige sammenhenger og sammenligninger med tidligere data.

3.1 Fysiske rammer

Både de fysiske-kjemiske faktorene og livet i en innsjø bestemmes i stor grad av variasjon i temperatur, turbiditet, lysmengde og oksygeninnhold. Vi skal her kort gå igjennom hver av disse parametrene, som setter rammen for biologien i innsjøen.

3.1.1 Oksygen og temperatur

Figur 1 viser vertikal fordeling av oksygen (mg/L) og temperatur ($^{\circ}\text{C}$) for sommer og høst 2009. Temperaturen i dypvannet er betraktelig lavere enn på overflaten, som følge av oppvarmingen og tiltagende akkumulering av strålingsenergi. For begge dager er et brått temperaturskifte i vannsøylen synlig (punktert linje), der temperaturen faller flere grader i løpet av et par meter. I juli lå dette sprangsjiktet på 6 meters dyp, mens det i oktober hadde forflyttet seg ned til 17 meter. Temperaturforskjellene forårsaker tetthetsforskjeller i vannmassene som virker stabiliserende og hindrer omrøring, og utvikling av et separat overflatelag (epilimnion), som ikke blandes med det kalde bunnvannet (hypolimnion). Dette har blant annet konsekvenser for oksygenfordelingen. Som man ser er det rikelig oksygen i det øvre, mer oppvarmede vannet, mens de dypere lagene, særlig i oktober, hadde et betydelig underskudd på oksygen. På denne tiden hadde også nedkjølt overflatevann med vindens hjelp gravd seg dypt ned i bassenget. Både temperaturfordeling og oksygeninnhold er slik det vanligvis er for norske innsjøer, og også bunnvannet ble ganske sikkert trukket med i sirkulasjonen senere i oktober, som dermed besørget fornyet tilførsel av oksygen også til de dypeste delene av Lyseren.



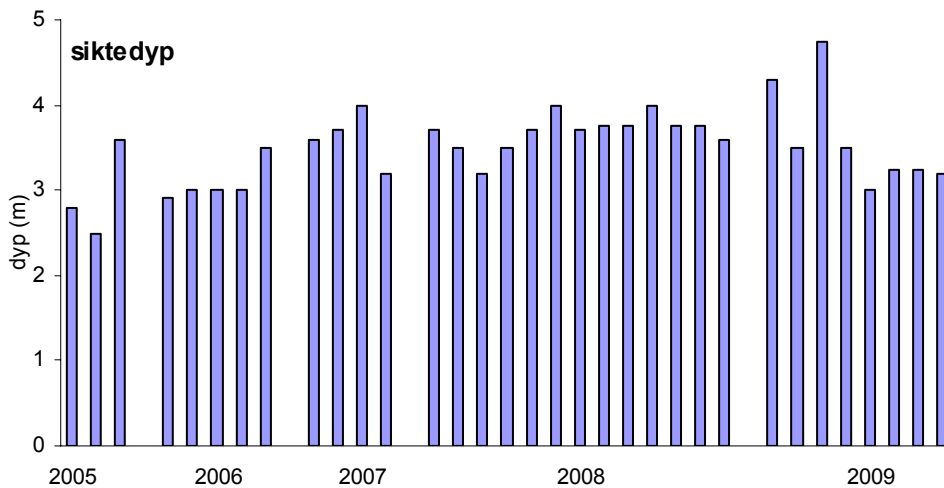
Figur 1. Vertikal fordeling for oksygeninnhold (mg/L) og temperatur (°C) i Lyseren den 10. juli og 7. oktober 2009. I juli lå prangsjiktet på ca 6 meters dyp (markert som en ”knekk” på temperaturlinjen). Det var fortsatt rikelig oksygen igjen i de dypere vannlagene (hypolimnion) etter vårens fullsirkulasjon. 7. oktober var høstsirkulasjonen i full gang, og sprangsjiktet hadde krøpet ned mot 17 meters dyp. Lenger nede hadde vannmassene ikke vært fornyet siden våren, noe som viser seg ved lave oksygenverdier, forårsaket av bakteriell respirasjon i forbindelse med nedbrytning av organisk stoff.

3.1.2 Siktedyp

Siktedypet måles ved at man senker en hvit skive (Secciskive) ned i vannet til den ikke lenger er synlig. Så trekkes den opp til den kommer til syne igjen. Denne avstanden fra overflaten er siktedypet. Metoden gir på en enkel måte informasjon om mengden partikler i vannet. Partiklene kan være dels algeplankton, og dels leire. I mange sjøer reflekterer siktedypet i noen grad trofigraden.

Figur 2 viser målinger av siktedypet for Lyseren gjennom de fem siste år. Siktedypet varierte mellom 2,5 og 4 m. Siktedypet er som det kan forventes ut fra innholdet av klorofyll i en svakt mesotrof innsjø, og indikerer at hoveddelen av det partikulære materialet består av algeplankton. Data fra midten av 1980-årene (Bjørndalen et.al. 1985) viste at siktedypet den gang lå mellom 2,9 og 3,7 meter, altså om lag på samme nivå, eller noe lavere. Tilsvarende dyp var typiske også på 1990-tallet.

Vanligvis regner vi med at algene kan opprettholde fotosyntesen ned til et dyp som tilsvarer 1 til 2 x siktedypet, avhengig av vannets farge. Dette tilsier at det meste av fotosyntesen foregår i de øverste 6-8 meterne i Lyseren. Som forklart nedenfor kan imidlertid enkelte arter opprettholde fotosyntesen også ved svakere lys enn dette.

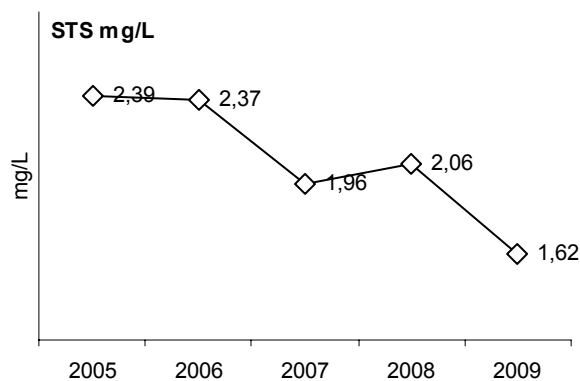


Figur 2. Siktedyp i Lyseren for 2005-2009.

3.1.3 Suspendert tørrstoff

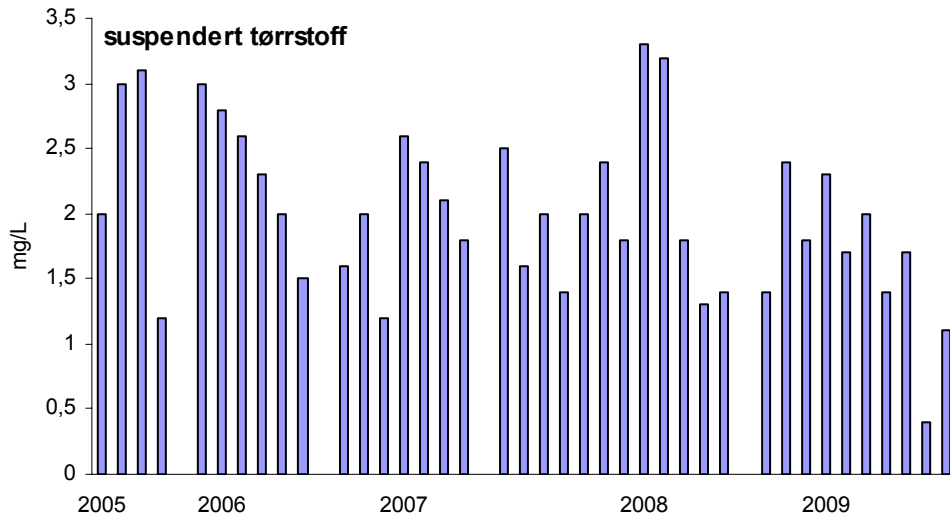
Partikkelmengden i innsjøer kan mer presist måles ved å filtrere et bestemt vannvolum. Vekten av filtratet etter tørking defineres som totalt suspendert tørrstoff. Ved oppvarming til 550 °C fjernes den organiske fraksjonen, og tilbake blir gløderesten, den uorganiske andelen, som består av mineralpartikler (særlig leire). Partikkelmengden i vannet bestemmes av tilførsel av organisk og uorganisk materiale fra bekker, diffus avrenning (særlig fra dyrket mark), mengden algeplankton i vannet, og resuspensjon (utvasking og oppvirvling) fra bølgeslag mot strender og grunne sedimenter.

Figur 3 viser gjennomsnittlig innhold av totalt suspendert tørrstoff (STS) for perioden 2005-2009. Figuren antyder en moderat reduksjon i partikkelinnholdet for de siste tre årene. Mønsteret bekrefter økningen i siktedyp som ble vist ovenfor, men det er for tidlig å si om endringen er tilfeldig eller del av en trend. NIVA-data fra Lyseren fra 1980- og 1990-tallet viser at innholdet av suspendert tørrstoff var i underkant av 2 mg/L. Etter år 2000 har STS vært målt årlig (blandprøve fra overflatelaget), og det har holdt seg frem til 2006 på mellom 2 og 3 mg/L, før den nevnte reduksjonen.



Figur 3. Gjennomsnittlig innhold av suspendert stoff (STS) i Lyseren for perioden 2005 til 2009 (mg/L). En enkel trendanalyse viser en signifikant reduksjon i løpet av perioden ($R^2=0,84$).

Figur 4 viser enkeltverdiene for den samme tidsperioden. En analyse av forholdet mellom mineralske og organiske partikler viste at innholdet av uorganisk stoff (dvs leire) later til å endre seg mindre enn det organiske. Dette er trolig knyttet til Lyserens geografiske plassering, under den marine grense. I slike regioner er det avsatt mye leire, som tilføres innsjøer med tilløpsbekker og ved avrenning fra landbruk eller som resuspensjon fra bunnen. Trolig er begge faktorer av betydning i dette tilfelle. Deler av Lyseren er forholdsvis grunn, og i perioder med vind vil bølgeslag kunne påvirke bunnsedimentene og bidra til oppvirvling. I tillegg består deler av nedbørsfeltet av dyrket mark, og i nedbørsperioder vil avrenning herfra også gi økt innhold av mineralpartikler i vannet.



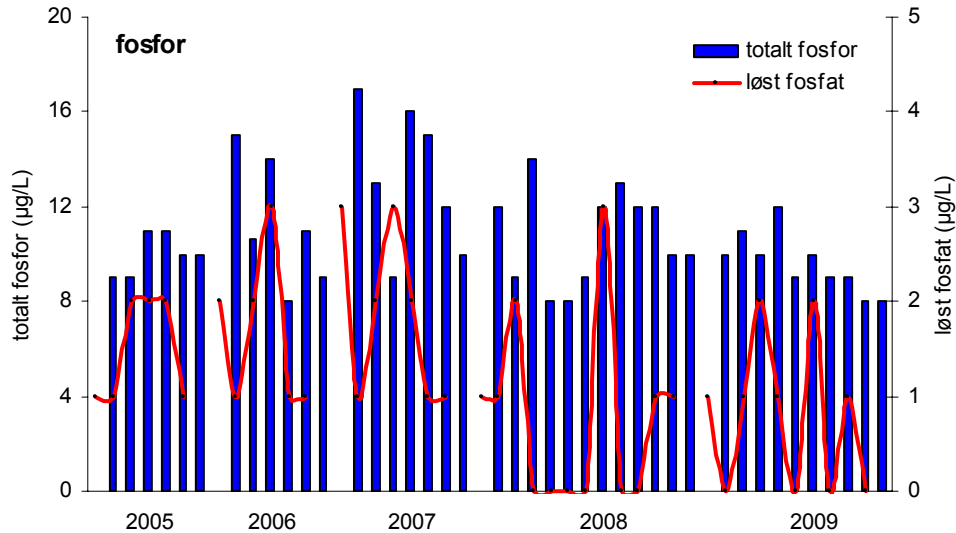
Figur 4. Innholdet av suspendert tørrstoff i vannet (mg/L) i Lyseren vist for de fire årene 2005 – 2009.

3.1.4 Silikat

Silikat er et næringsstoff som en viktig algegruppe – kiselalgene er avhengige av. Disse algene danner sjeldent giftstoffer, og har ofte en stabiliserende effekt, ved at de hindrer oppkomsten av problemalger. Som hovedregel kan vi si at kiselalgene trenger minst 0,1 mg Si/L i vannet. Blir det mindre øker dermed sjansene for oppblomstring av giftalger.- Silikat tilføres vannet fra berggrunnen, og skydes i liten grad menneskelig påvirkning

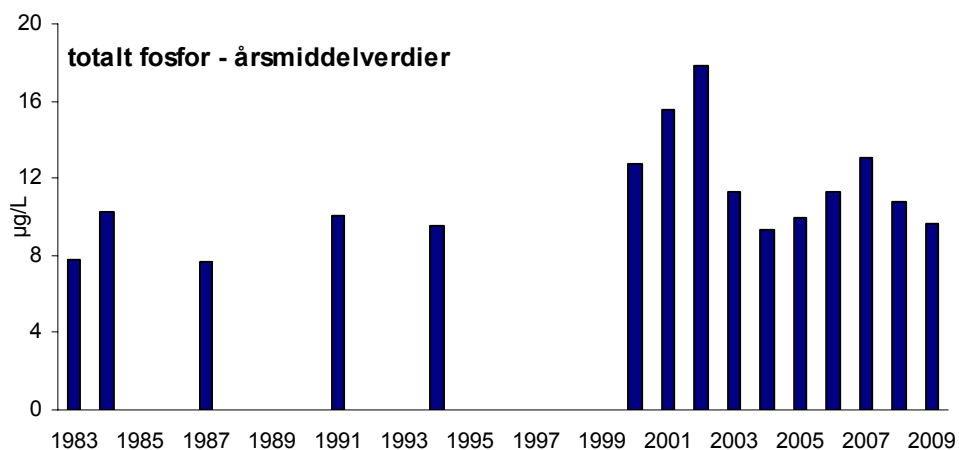
Figur 5 viser innholdet av silikat ved prøvetakingene gjennom de tre siste somrene, 2007 til 2009. Mønsteret som kommer frem er typisk for silikatdynamikken i nordiske innsjøer. Verdiene er fallende fra våren og utover sommeren, ettersom silikat forbrukes av kiselalgene. Når sommerstagnasjonen setter inn sedimenteres kiselalgene ut av overflatevannet, og forårsaker dermed en utarming av silikat i overflatelaget. Etter sommerperioden stiger vanligvis silikatinnholdet igjen om høsten. I Lyseren var det i alle disse årene tilstrekkelig silikat i vannmassene til å opprettholde produksjonen av kiselalger gjennom hele vekstsesongen.

eller en begynnende trend. Vann upåvirket av menneskelig aktivitet vil normalt ikke inneholde løst fosfat, og denne variabelen kan slik brukes som en grov indikator på graden av menneskelig påvirkning, først og fremst fra landbruk og kloakk. Den forutsette kloakkeringen av bebyggelsen langs Lyseren vil trolig etter hvert vise seg i ytterligere reduksjoner av løst fosfat.



Figur 6. Konsentrasjon av total (blå søyler) og løst (rød linje) fosfor ($\mu\text{g/L}$) i overflatevannet (0-4 m) i Lyseren. Resultater for somrene 2005-2009.

Figur 7 viser endringer i totalt fosfor for de siste 25 år i Lyseren. Dataserien er langt fra komplett, men med dette forbehold ser det ut til at Lyseren gjennom denne perioden har fått et svakt økt innhold av fosfor fra i overkant av $8 \mu\text{g Tot-P/L}$ i 1983 til $13,1 \mu\text{g}$ i 2007 og $10,7 \mu\text{g/L}$ i 2008. I 2009 falt middelverdien igjen, til $9,6 \mu\text{g/L}$.



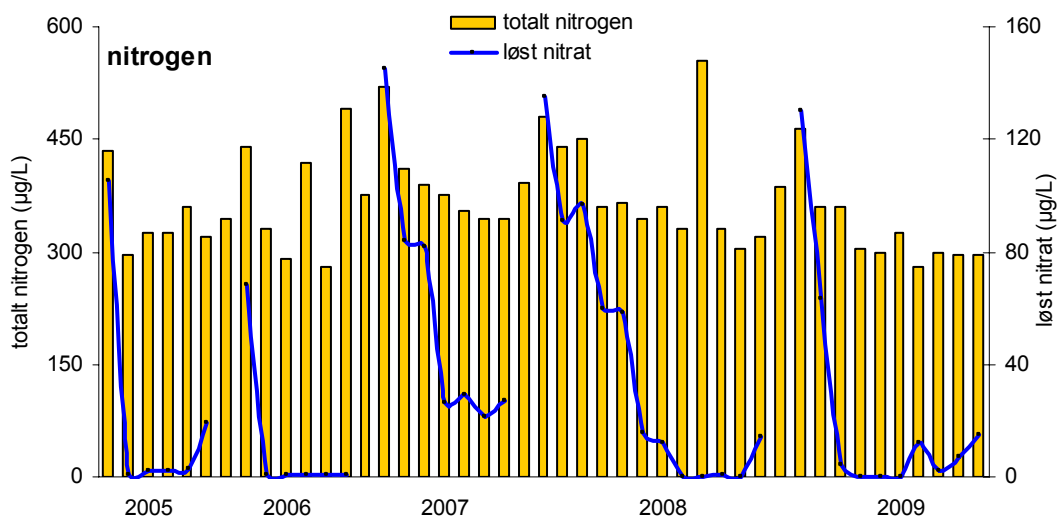
Figur 7. Endringer i totalt fosfor ($\mu\text{g/L}$) i Lyseren for perioden 1983-2009 (data fra Fylkesmannen i Østfold og fra NIVA).

Nitrogen

Innholdet av totalt nitrogen og nitrat gjennom de fem siste årene viser et mønster som samsvarer bra med fosforverdiene (**Figur 8**). Med hensyn til total nitrogen er innholdet forholdsvis høyt. Data fra 1983 og frem til 2004 er innsamlet med forholdsvis jevne mellomrom, og verdiene har hele tiden holdt seg mellom 350 og 400 µg/L. De årlige middelveidene for de påfølgende årene holdt om lag samme nivå, med 2009 som lavest (328 µg/L).

Den løste, biotilgjengelige andelen av nitrogen (nitrat) varierte mye, og viser en sesongtrend som er viktig for dynamikken i toksinproduserende blågrønnalger. Som man ser av **Figur 8** faller nitratinnholdet vanligvis gjennom våren og holder seg nær eller under deteksjonsgrensen på sommeren. I noen grad er dette trolig en effekt av opptak av nitrat fra vegetasjonsdekket i nedbørsfeltet. Om vinteren og tidlig om våren tar ikke landplanter opp løst nitrat fra sigevann og grunnvann, men straks vekstsesongen begynner tas mer av nitraten opp før det når ut i Lyseren. I vannmassene fortsetter det selektive opptaket, som utover våren fører til økende utarming av nitrat i overflatevannet. - Svært lave nitratverdier ble målt i 2006, da innholdet lenge lå på deteksjonsgrensen. På samme tid var innholdet av løst fosfor forholdsvis høyt. Under slike forhold blir nitrat gjerne det næringsstoffet som begrenser algeveksten. Mange blågrønnalger kan utnytte dette, fordi de kan fikserer nitrat direkte fra vannet. Den relative mangelen på nitrat i forhold til løst fosfat kan dermed berede grunnen for en økning i konsentrasjonen av uønskede blågrønnalger.

De eldste målingene for nitrat i Lyseren utført av NIVA er fra 1963 og -64 (Holtan 1964). Den gang lå middelveidene på 44-45 µg nitrat pr liter, noe som er i samme størrelsesorden som de siste års verdier.



Figur 8. Totalt nitrogen (µg/L, orange søyler) og løst nitrat (µg/L, blå linje) i overflatevannet (0-4 m) i Lyseren. Data for somrene 2005-2009.

3.2 Algesamfunnet

3.2.1 Algemengde og sammensetning

Produksjonen av organisk stoff i de frie vannmassene bestemmes av den totale mengden alger som produseres til enhver tid. Mengden bestemmes i stor grad av innholdet av nitrogen og fosfor. Å beregne den faktiske mengden alger i vannet kan være vanskelig, men et grovt mål får man ved å analysere mengden klorofyll. – Man får vite adskillig mer om man bestemmer artene som finnes i vannet, måler størrelsen og dermed beregner biomassen (som våtvekt) for de ulike gruppene. På grunnlag av dette kan man også få mer detaljert kunnskap om problemalger, som for eksempel blågrønnalger.

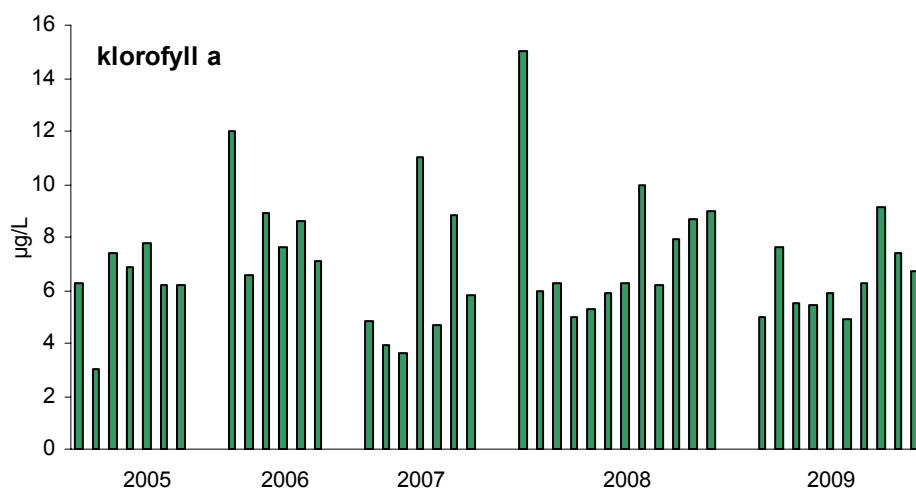
Forekomsten av blågrønnalger på ulike dyp kan måles ved å senke en sonde ned gjennom vannsøylen. Den registrerer innholdet av et pigment, phycocyanin, som er karakteristisk for denne algegruppen. Og sist, men ikke minst kan innholdet av algegifter, fortrinnsvis microcystin, måles ved kjemisk analyse av vannprøver.

Klorofyll *a* er ikke en sentral parameter for å vurdere egnethet som råvann for drikkevann. Grunnen er at mengden påvirkes av faktorer som ikke nødvendigvis er knyttet direkte til drikkevannskvalitet. Blant annet påvirkes mengden av klorofyll av hvor mye beitende zooplankton som finnes i vannet, noe som i sin tur påvirkes av hvor mye og hva slags fisk som forekommer i innsjøen osv.

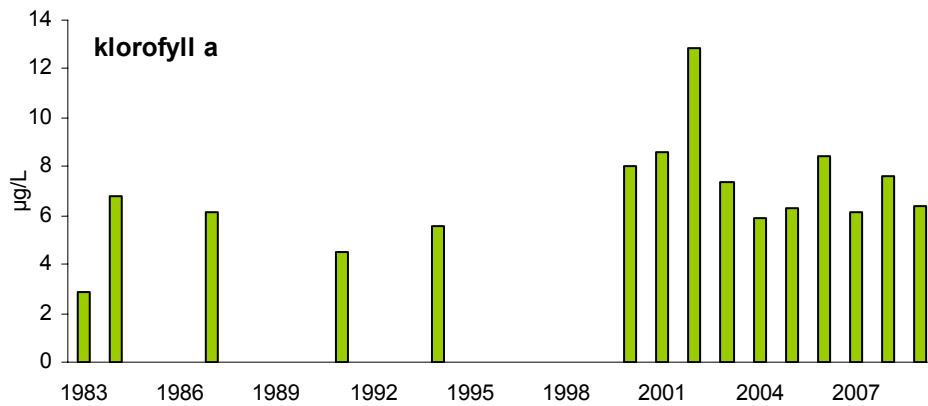
Mengden klorofyll *a* i overflatelagene (0-4 m) for de siste fem årene er vist i **Figur 9**.

Klorofyllinnholdet har ikke vist noen klare trender for denne perioden. I 2007 var innholdet noe lavere enn de foregående årene. Den fuktige og kjølige værtypen den sommeren dempet sannsynligvis algeproduksjonen noe. Inneværende år har klorofyllmengden vært om lag på langtidsgjennomsnittet.

Klorofyllmengden i Lyseren er noe høyere enn det som er ønskelig for drikkevannskilder. **Figur 10** viser klorofyllmengde for de siste ti årene, samt for enkelte år tilbake til 1983. I henhold til de nye egnethetskriteriene (Solheim et al 2008) for drikkevann er grenseverdien for ”godt egnet” satt til <3 µg klorofyll *a*/L, og så lave verdier forekommer knapt i våre data. Klorofyllmengder >10 µg indikerer på den annen side at vannet er uegnet som drikkevann (**Tabell 1**). Både i 2006, 2007 og 2008 ble det målt høyere klorofyllinnhold enn dette. I 2009 var høyeste observerte verdi 9,1 µg/L.



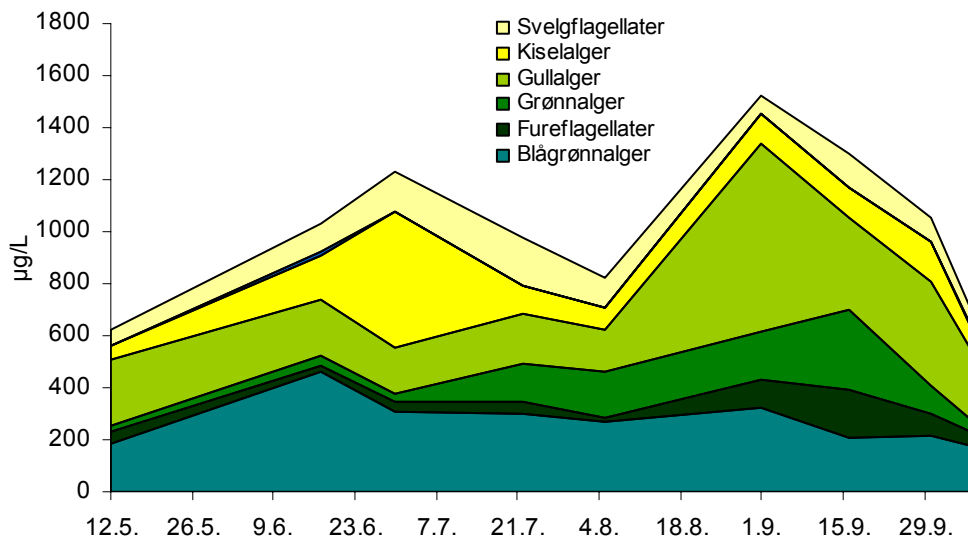
Figur 9. Algemengde i Lyseren gitt som konsentrasjon av klorofyll *a* (µg/L). Sesongvariasjoner for de siste fem års sommerperioder, målt fra overflatelagene (0-4 m).



Figur 10. Gjennomsnittlig årlig klorofyllmengde i Lyseren for et utvalg år før 2000, og for perioden 2000 til 2009. Det er ingen signifikante endringer i verdiene utover normale år-til-år-svingninger.

For å undersøke sammensetningen av alger gjennom sommersesongen ble prøver fra overflatevannet (0-4 m) analysert til art, og deres relative bidrag til den totale algebiomassen ble beregnet (µg våtvekt pr. liter, **Figur 11**). Våtvekt gir rimeligvis høyere verdier for alger enn rene klorofyllmålinger, bl.a. fordi alger inneholder mye vann, som ikke inngår i målingene av mengden klorofyll *a*. Klorofyllverdien vil videre ofte falle noe ved innslag av blågrønnalger, fordi mange av disse inneholder mindre av det pigmentet. I tillegg er klorofyllinnholdet lavt i enkelte av gruppene som ble påvist, bl.a. svelgflagellater, som er vanlige i Lyseren.

Den totale mengden alger er som forventet i en middels næringsrik (mesotrof) innsjø. Algesamfunnet viste en tydelig suksessjon gjennom sommeren, med en distinkt oppblomstring av (ufarlige) kiselalger i juni, og en tilsvarende periode med dominans av gullalger i september. Dette er en algegruppe som folk har kunnet stifte bekjentskap med, da den har en tendens til å gi vannet en fiskeliknende lukt, særlig om arter av slekten *Dinobryon* er til stede. Stoffene de skiller ut (særlig kerosin) kan også gi sjenerende smak på vannet dersom de forekommer i høye tettheter, men det har aldri vært rapportert om forgiftninger. *Dinobryon* har tidligere bidratt til luktproblemer i drikkevannet også i Lyseren (Skulberg 1975). Algemengden var høyest i september. Innholdet av blågrønnalger i de øvre vannlaget var for øvrig stabilt gjennom hele perioden.

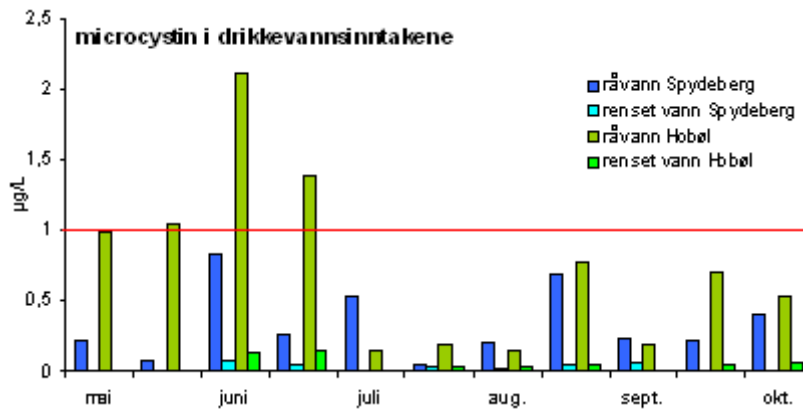


Figur 11. Innholdet av de ulike algegruppene i Lyseren (μg våtvekt pr liter) gjennom sommeren 2009. Resultater fra prøver tatt i overflatevannet (0-4 m). Det samlede innholdet av alger var om lag som i 2008, men sesongvariasjonene var noe ulike. I 2009 var algesamfunnet dominert av gullalger og blågrønnalger (fortrinnsvis *Planktothrix*). I juni kom det til en oppblomstring av (harmløse) kiselalger, mens september var preget av en tilsvarende dominans av gull- og grønnalger, da også den samlede algebiomassen var høyest. Innholdet av blågrønnalger i overflatevannet holdt seg stabilt gjennom hele perioden.

3.2.2 Blågrønnalger og forholdene i Lyseren

Blågrønnalger (cyanobakterier) inneholder et eget fotosyntetisk pigment, phycocyanin, som ikke finnes i andre typer alger og som dermed kan brukes for å bestemme mengden av blågrønnalger i vannet. Innholdet av phycocyanin i vannet kan måles ved hjelp av fluorescens. Ved å senke en sonde (fluoroprobe) gjennom vannsøylen kan man måle fluorescens fra phycocyanin ved ulike dyp, som så omregnes til μg phycocyanin pr liter. Metoden gir en god indikasjon på konsentrasjonen av blågrønnalger, og kan enkelt gi data for hvordan denne endrer seg vertikalt gjennom vannet.

Blågrønnalger er vanlige i Lyseren, og det finnes flere arter. Det trolig viktigste resultatet av årets overvåking var at det juni og juli kom til en økning av blågrønnalgen *Planktothrix* i vannmassene, noe som ble reflektert i en klar økning av algetoksinet microcystin i råvannsinntakene for vannverkene både i Hobøl og Spydeberg (**Figur 12**).



Figur 12. Innholdet av algegiften mikrocytin ($\mu\text{g/L}$) i råvann og filtrert drikkevann for råvannsinntaket i Spydeberg og Hobøl. Rød linje markerer anbefalt grenseverdi for mikrocytin i råvann for bruk til drikkevann (se for øvrig **Tabell 1**). Generelt er innholdet høyere i Hobøls inntak, noe som trolig skyldes at dette er plassert på omtrent samme dyp som sprangsjiktet (ca 8 m) i 2009.

Skal vi forstå hvordan *Planktothrix* oppfører seg i Lyseren, kan det være greit å presisere hvordan vannmassene sirkulerer i innsjøen gjennom de ulike deler av året.

Om vinteren, når innsjøen er frosset, er vannmassene i ro. Bunnvannet, som er tyngst, holder $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens det rett under isen finnes vann som er noe kaldere og derfor lettere (gjerne $+1$ til $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Når isen smelter om våren kommer det en periode da hele innsjøen holder samme temperatur ($+4\text{ }^{\circ}\text{C}$). I denne fasen er vannmassene svært labile, og svak vind er nok til at det settes i gang en full omrøring – det man kaller fullsirkulasjon - av hele bassenget. På denne måten fordeles også oksygen og næringssalter (fosfor og nitrogen) jevnt i vannet.

Etter noen uker, avhengig av innstråling og værforhold, blir overflatelaget varmere. Gradvis danner det seg to ulike ”etasjer” i innsjøen – et øvre, varmere vannlag (epilimnion), som er atskilt fra det kalde dypvannet i hypolimnion. Denne sjiktningen opprettholdes gjennom hele sommeren, og den smale overgangssonen mellom de to – sprangsjiktet (metalimnion) – kjennetegnes ved raske temperaturendringer. Hypolimnion er ofte uten lyspåvirkning og uten algevekst. Til gjengjeld akkumuleres det her gjerne næringsstoffer, og det forbrukes mer oksygen enn det som tilføres. I det øvre lyspåvirkete epilimnion, derimot, vil det være mer algeplankton så lenge det finnes næringsstoffer. Det siste er også årsaken til at det ofte kommer til en utarming av plantenæringsstoffer i de øvre vannlagene om sommeren. – Om høsten kjøles epilimnion ned igjen, og i oktober/november får på ny hele bassenget lik temperatur, og det kommer til en ny fullsirkulasjon, med ny blanding av næringssaltene, før isen legger seg (se for øvrig **Figur 1**).

Algeplanktonet har vanligvis ulike former for hvilestadier når forholdene er ugunstige. Eksempelvis overvintrer de gjerne i sedimentlaget på bunnen, mens de har sin aktive vekstperiode om sommeren. *Planktothrix* er annerledes. Den danner ikke hvilestadier i det hele tatt, men overlever vinteren direkte i selve vannet som levende celler, som har form av lange tynne hår. Om våren begynner de cellene som har overlevd å vokse og dele seg. Arten har nå en viktig vekstperiode i løpet av noen korte våruger, og på ny om høsten, når vannmassene sirkulerer igjen. I år hvor oppvarmingen har vært hurtig og sjiktningen etableres raskt finner vi erfaringsmessig derfor lavere konsentrasjoner av *Planktothrix* senere på sommeren.

Vår og høst er også næringssaltene spredt gjennom hele vannsøylen, og *Planktothrix* er tilpasset disse forholdene, blant annet ved at de kan overleve ved lite lys. Veksten er forholdsvis langsom, og

vanligvis observeres bare moderate konsentrasjoner i disse periodene, også fordi algen da er spredt gjennom hele vannsøylen. Man tenker gjerne at blomstrende blågrønnalger viser seg som grønt slam på vannoverflaten. Men *Planktothrix* er ofte spredt over store vannmasser og dermed vesentlig vanskeligere å observere vår og høst, eller konsentreres på dyp utenfor menneskets synsvidde.

Planktothrix er heller ikke assosiert med kraftig eutrofiering, slik ofte andre blågrønnalger er. Arten må faktisk heller betegnes som en rentvannsindikator, og den har trolig vært i Lyseren siden istiden. Veksten er imidlertid avhengig av løst nitrat. Faller konsentrasjonen av dette under ca 50-70 µg/L, slutter cellene å dele seg. Som man ser av **Figur 8** har Lyseren om våren rikelige mengder nitrat, som så forsvinner i løpet av den første våroppblomstringen (blå linje). Nitratnivået frem gjennom våren kan til en viss grad dermed brukes som indikasjon på forventet mengde *Planktothrix* i sommervannet.

For de cellene som har utviklet seg om våren dør ikke. Når sjiktningen setter inn vil de individene som befinner seg dypt ha en tendens til å stige opp mot de øvre vannlagene, der det er bedre lysforhold (den fotiske sonen, der det er nok lys til å opprettholde fotosyntesen). Dette området omfatter som allerede nevnt om lag 2,5 x siktedypet (**Figur 2**), noe som for Lyserens vedkommende betyr ned til 7-8 meters dyp. *Planktothrix*-celler i det øvre, mest lyseksponeerte området vil omvent ha en tendens til å synke. Årsaken er at cellene blir tyngre fordi de opprettholder en høy fotosyntetisk aktivitet, og derfor lagrer så mye stivelse at de mister oppdriften. Lenger nede, og ofte i eller i nærheten av sprangsjiktet, der lyset er svakt og fotosyntesen mindre effektiv, vil det gradvis innstille seg en balanse mellom fotosyntese og forbrenning. Tetthetsforskjellene er store over korte avstander, og her vil *Planktothrix*-cellene samle seg. I dette området er det akkurat nok lys til å overleve, samtidig som de får tilgang til noe næringssalter fra dypvannet under seg. Dette laget av *Planktothrix*-celler kan gjerne bli så tynt som ned mot noen cm, der imidlertid konsentrasjonene kan være svært høye.

Dette er altså årsaken til at man i Lyseren har et lag med toksinproduserende blågrønnalger som ikke nødvendigvis oppdages om man bare undersøker vannoverflaten (**Figur 14**).

Det finnes eksempler på innsjøer der *Planktothrix* har forsvunnet. I Kolbotnvatnet later den til å ha blitt borte. Om innsjøen har en god bestand av annet algeplankton vil disse gjerne skygge ut for *Planktothrix*, som befinner seg dypere ned, og gradvis svekke bestanden. Veksten stopper også opp sommer og vinter. Lang vinter og sommer, og hurtig oppvarming om våren og nedkjøling om høsten vil også svekke populasjonen.

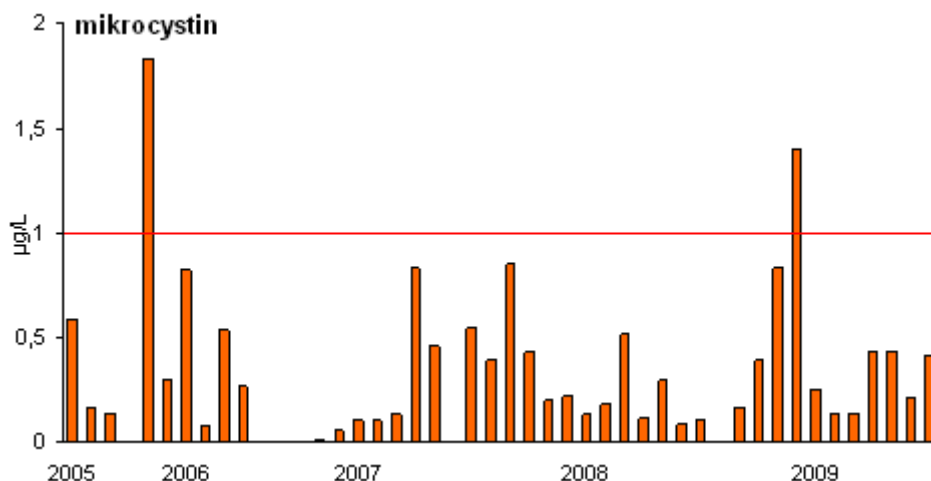
Algegiften, microcystin, skilles ikke ut fra cellene, men befinner seg kun inne i cellene. Giften, som altså er produsert om våren, fjernes ikke ved koking. - *Planktothrix* fjernes sikrest fra drikkevann ved flokkulering, som binder cellene og lar dem felle ut. Erfaringsmessig er sandfilter ingen sikker metode, fordi de tynne cellehårene kan slippe igjennom filtermassene. Private vannbrukere bør bruke osmosefiltre, som også fjerner bakterier. Mye kan også gjøres om man unngår å hente drikkevann fra de dypene der *Planktothrix* oppkonsentreres, for Lyserens vedkommende altså fra 5-8 meters dyp. En videre sikkerhetsforanstaltning er å overvåke sprangssjiktet gjennom sommermånedene, gjennom målinger av phycocyanin. Om man foretar en bred undersøkelse av 6-8 dybdemålinger på forsommeren vil man få et bilde både av hvilket dyp *Planktothrix*-laget befinner seg på, og hvilke konsentrasjoner som kan forventes det angjeldende året.

Grenseverdien for drikkevann med microcystin i rentvann er satt til 1 µg/L, forutsatt kronisk eksponering og relatert til en kroppsmasse på 60 kg. Ved episodisk eksponering, som ved bading, er grenseverdien satt til 10 µg/L, dvs langt over de verdiene NIVA har observert i Lyseren.

3.2.3 Blågrønnalger og helserisiko

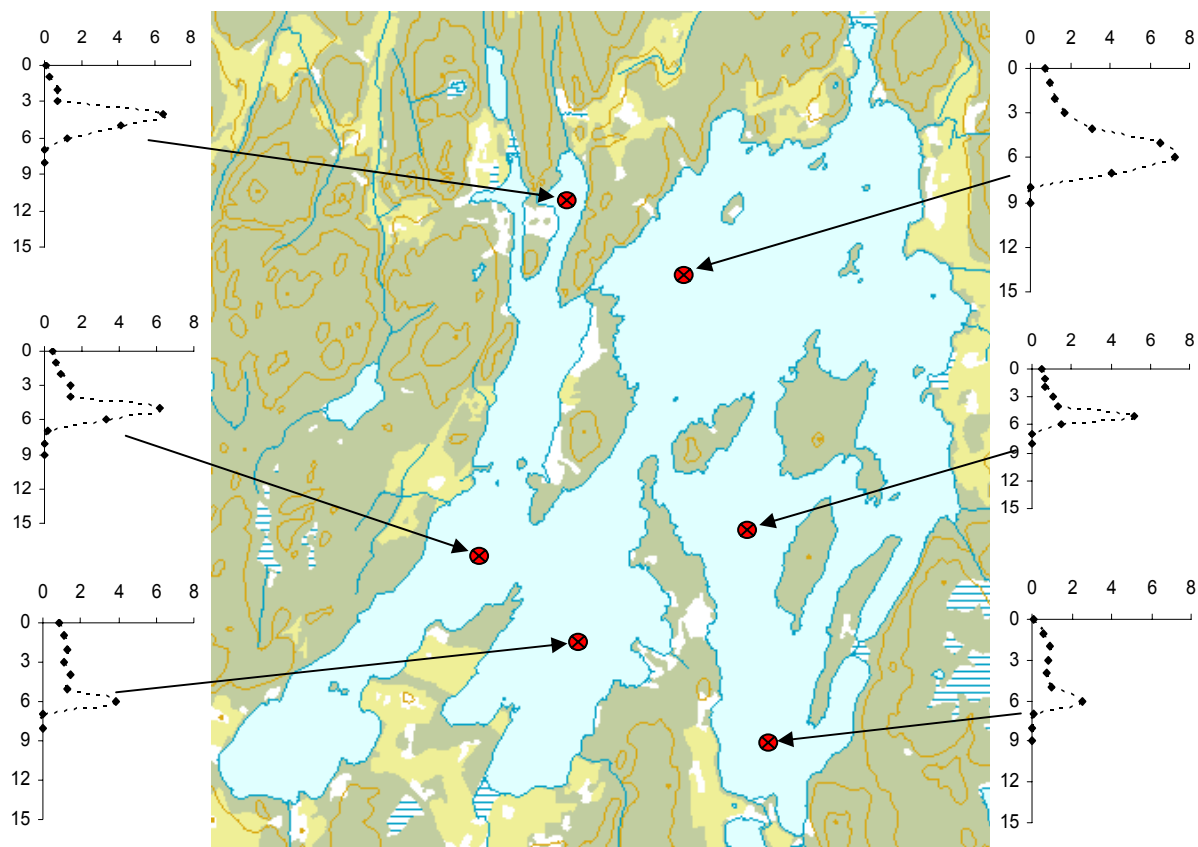
Microcystin er den algegiften som vanligvis volder størst besvær for drikkevannskilder. Microcystin dannes av en del blågrønnalger, bl.a. *Microcystis*, *Planktothrix* og *Anabaena*, og registreres ved om lag halvparten av alle oppblomstringer av blågrønnalger. Giften er levertoksisk, og vanlige symptomer er synsforstyrrelser, kvalme, diaré og leverskader. I større konsentrasjoner er giften dødelig, både for mennesker og pattedyr. Enkelte blågrønnalger kan også produsere ukjente giftstoffer med protraisert giftvirkning (fordrøyet effekt i museforsøk). WHO's anbefalte grenseverdi for microcystin i drikkevann er $1\text{ }\mu\text{g/L}$, mens bading frarådes ved konsentrasjoner $>10\text{ }\mu\text{g/L}$. NIVAs nye egnethetskriterier for drikkevann foreslår å benytte de samme grenseverdiene.

Figur 13 viser innholdet av microcystin i overflatevannet (0-4 m) i Lyseren gjennom de siste fem år. Det er ingen betydelige forskjeller fra år til år, men det er en tendens til at maksverdiene kommer på forsommeren. Bare to ganger er det observert verdier høyere enn den foreslåtte grensen for råvann brukt til drikkevann.



Figur 13. Innhold av microcystin ($\mu\text{g/L}$) i prøver fra overflatevannet (0-4 m) i Lyseren for perioden 2005 til 2009. Den røde linjen markerer anbefalt grenseverdi for microcystin i råvann brukt til drikkevann (se for øvrig **Tabell 1**).

Som et ledd i forsterket overvåking ble det gjennomført en serie vertikalmålinger av phycocyanin på 8 ulike punkter i Lyseren den 10. juli. Seriene viste et sammenfallende bilde av *Planktothrix*-laget. Ned til 3 meter var verdiene lave, men deretter steg de raskt mot $6\text{-}8\text{ }\mu\text{g/L}$ på 6 meters dyp, før de falt til null lenger nede. Temperaturmålinger samme dato viste at sprangsjiktet befant seg på 6 meters dyp. **Figur 14** gjengir plassering og phycocyanin-konsentrasjoner for seks representative punktmålinger denne dagen.



Figur 14. Innholdet av phycocyanin ($\mu\text{g/L}$) ved ulike dyp for seks utvalgte målepunkter i Lyseren, 10. juli 2009. Samtlige punkter viste lave verdier i de øverste metrene av vannsøylen, med et maksimum på ca 6 m, hvorefter innholdet raskt sank til null.

4. Konklusjoner

Norsk Institutt for Vannforskning har i samarbeid med Spydeberg vannverk Hemnes, Hobøl vannverk BA og Lyseren/Hov vannverk gjennomført en overvåkning av vannkvaliteten av Lyseren i 2009. Resultatene er sammenholdt med data fra tidligere år.

Hensikten med en slik overvåking er å påvise forandringer i vannkvalitetsparametere, dels for å avdekke uheldige endringer og dels for å påvise forandringer som følge av tiltak. Alle målinger er beheftet med usikkerheter, dels fra prøvetakning og – behandling, dels fra selve målemetoden og dels fra tilfeldige variasjoner i innsjøen. Man trenger derfor alltid flere målinger for å kunne avgjøre hvorvidt en endring skyldes tilfeldigheter eller om de er knyttet til faktiske endringer i vannkvaliteten.

Lyseren er en forholdsvis grunn klarvannssjø, moderat påvirket av næringsalter fra avrenning. Dette gir svakt mesotrofe forhold. Langtidsserier for totalt fosfor, som viser en økning gjennom de siste 25 år, synes å indikere en svak økning av næringsalt-innholdet. Andre parametere er imidlertid upåvirket av denne endringen. Algesamfunnet er i hovedtrekk det samme som for nær 50 år siden, også mht innslag av blågrønnalger, men det er i de senere årene imidlertid kommet til en ny giftdannende blågrønnalge, fra slekten *Planktothrix*. Denne arten samlet seg på forsommeren 2009 på 6-8 meters dyp, og påvirket en periode drikkevannskvaliteten, særlig for Hobøl Vannverk, som har sitt inntak på dette nivået. Spydeberg, som henter vann fra 15 meters dyp, hadde lavere innhold av microcystin.

I kraft av å være en drikkevannskilde for Spydeberg og Hobøl er det trolig viktig at overvåkingen av vannkvaliteten i Lyseren opprettholdes. Dette både for å få verifisert en mulig økning i fosfor-innhold, men også med tanke på å overvåke utbrudd av blågrønnalger og faren dette medfører for produksjon av algegifter.

5. Litteratur

- Bjørndalen, K., T. Hauger, P. Vallner & L. Wiik. 1985. Lyseren 1983-1985. En vannfaglig vurdering. Rapport nr 6/85. Fylkesmannen i Østfold – Miljøvernavdelingen.
- Drikkevannsforskriften 2002. FOR 2001-12-04 nr 1372: Forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften).
- EUs drikkevannsdirektiv: Council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Brussels, 3 November 1998.
- SFT 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann., SFT-veiledning 97:04., 31 sider.
- Sosial- og Helsedepartementet 1995: Forskrift om vannforsyning og drikkevann m.m., Sosial og Helsedep., Forskrift no 68, I-9/95.
- Holtan, H. 1964. Undersøkelse av Lyseren ved inntaksstedet for Spydeberg Vannforsyning. NIVA-rapport 23/62.
- Skulberg, O. 1972. Blågrønnalger i norske vannforekomster, mulige konsekvenser av sunnhetmessig betydning for mennesker og dyr. Tidsskr. Norske Lægefor. 92:851-854.
- Skulberg, O. 1977. Biologisk bedømmelse av vannkvaliteten i Lyseren. NIVA-rapport 25/75.
- Skulberg, O. 1978. Orienterende observasjoner av hydrografiske forhold i Lyseren 1978. NIVA-rapport 23/78.
- Solheim, A.L., D. Berge, T. Tjomsland, F. Kroglund, I. Tryland, A.K. Schartau, T. Hesthagen, H. Borch, E. Skarbøvik, H.O. Eggestad og A. Engebretsen. 2008. Forslag til miljømål og klassegrenser for fysisk-kjemiske parametere i innsjøer og elver, inkludert leirvassdrag og egnethet for brukerinteresser. Supplement til Veileder i økologisk klassifisering. NIVA-rapport 5708-2008.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no