



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for Miljøvitenskap og Teknologi
Institutt for Naturforvaltning

Masteroppgave 2015
30 stp

Langtidsutvikling og drivkrefter til variasjon i vannkvalitet i en eutrof innsjø -

Innsjøsedimenter som arkiv for autotrof produksjon
og alloktone tilførsler av organisk materiale, med
eksempel fra Helgetjern.

Anniken Kvam

Forord

Dette er avsluttende mastergradsoppgave i økologi og naturforvaltning (INA), Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og er del av Marcia Kyles stipendiatprosjekt ved NMBU.

Jeg ønsker å gi en stor takk til hovedveileder Thomas Rohrlack, for konstruktive tilbakemeldinger, og for alltid å sette av tid til veiledning og diskusjoner. Både gjennom fag og som veileder, er måten han formidler sin kunnskap til stor inspirasjon og nytte. Tusen takk også for stor fleksibilitet og forståelse gjennom graviditet og småbarnsperiode, det har vært av stor personlig betydning. Thomas hentet opp sedimentsøylene fra Helgetjern og har hjulpet meg med oppdeling av søylen. Videre ønsker jeg å takke Marcia Kyle for all hjelp og kunnskapsformidling når det gjelder analyse av sedimentkjernen, organisering av resultater og metode. Marcia har veiledet og bidratt i pigmentanalyse og DNA-ekstraksjon, og utført PCR analyse. Takk til Marit Nandrup Pettersen som har utført analysene for datering av søylen og til Ståle Leif Haaland som har utført PCA analysen og satt av tid til veiledning. Tusen takk også til veileder 2, Vidar Selås og Gunnhild Riise for gjennomlesning og veiledning. Tusen takk til Marker kommune for imøtekommende og åpen innstilling, spesielt takk til Eva Heed og Stein Erik Fredriksen. Tusen takk også til Sigrid Haande, Olav M. Skulberg, Tom Andersen, Norsk institutt for vannforskning og Universitetet i Oslo. Mari, John, Mamma og Pappa har hjulpet med barna for at jeg skulle kunne utføre laboratoriearbeidet og kunne ha lange arbeidsdager. Takk til pappa for gjennomlesning, oversettelse og grundig tilbakemelding på masteroppgaven, og takk til hele gjengen for å alltid støtte og ha tro på meg. Jeg er også ubeskrivelig takknemlig for å ha delt masterprosessen med medstudent Marlene Sørli, for gode faglige diskusjoner, for støtte og godt vennskap. Hennes tilstedeværelse har gjort sorte tuneller lyse og brakt latter inn i de største problemer. Tusen takk til Vebjørn og Johan for all glede, kjærighet og perspektiv de har gitt meg. Tusen takk for deres tålmodighet og evne til å tilgi en stresset mamma. Sist, men ikke minst, tusen takk til Ronny. Takk for trilleturer rundt skolebygget slik at jeg skulle kunne ta fag eller utføre metodearbeid til masteroppgaven, for gjennomlesning, tilbakemeldinger og for diskusjoner. Hans evne til å alltid ha tro på at jeg er kunnskapsrik og at mitt bidrag er verdifullt, har vært og er av stor betydning.

Anniken Kvam, 14.12.2015.

Summary

Data from long-term studies of lakes are frequently not accessible to public administration, making statements on the condition of lakes before they were affected by human activity difficult. This also applies to information on periods of changing water quality and causes of such changes. Establishing knowledge about this may contribute to improving information on alternative measures and to define realistic administrative goals. The present thesis contributes to illustrate that paleolimnology may represent a method for obtaining such knowledge. Two sediment cores were taken from the lake Helgetjern in Marker municipality (Marker kommune) in Østfold, Norway. These cores are dated (^{137}Cs) to represent the period 1848-2014. The cores are analysed with regard to the amount of organic matter (LOI), pigments (spectrophotometric method) and DNA from four chemotypes (1,5,7,9) of *Planktothrix* (PCR). Historic information on local and regional factors of influence together with the analysis of the sediment cores constitute the foundation for the analysis of the forcing mechanisms with regard to variations in organic matter, pigments and *Planktothrix*. This implies information on agriculture, forestry, population trend, the development of housing estates and sewage influence in the drainage basin as well as regional information on the climate and the deposit of sulphate. The results of the present thesis indicate human activity in the drainage basin for a long period of time, but the effect of this activity is uncertain. Furthermore, the results indicate that regional deposition of sulphate may have influenced the supply of allochthonous organic substances since the 1940ies. The pigments show a quick increase in the density of algae around 1970, where the quantity of algae stops increasing and stay at the same level towards 2014. Sewage is probably the main forcing variable for the increase in algae density, but the climate also represents an important forcing variable. This may be one of the causes for the continuing high level of algae – in spite of sewage disposal measures. The results also indicate a change with regard to algae composition, illustrated by different trends with regard to specific pigments and by possible changes in *Planktothrix* chemotypes over time. From an administrative point of view, the results indicate that human activity has been so comprehensive that it is possible to question whether the water represents the same system today as before 1950. Additionally, a unilateral focus on nutrients can be too simple for explaining and understanding the increase in algae density.

Sammendrag

Langtidsdata fra innsjøer er ofte ikke tilgjengelige for forvaltningen, og det kan dermed være vanskelig å si noe om forholdene før menneskelig påvirkning, i hvilket tidsrom endringene har skjedd og hva som er drivkreftene til endringene i vannet. Dette er kunnskap som kan forbedre grunnlaget for å vurdere tiltaksalternativer og for å sette realistiske forvaltningsmål. Denne oppgaven bidrar til å vise at paleolimnologi kan representere en metode for å innhente denne kunnskapen. To sedimentsøyler ble hentet opp fra Helgetjern i Marker kommune i Østfold. Søylenes datert (^{137}Cs) til å representere tidsrommet 1848–2014, og er analysert for andel organisk materiale (LOI), pigmenter (spektrofotometrisk metode) og DNA fra fire kjemotyper (1,5,7,9) av *Planktothrix* (PCR). Historisk informasjon om lokale og regionale drivkrefter danner sammen med sedimentanalysene grunnlaget for å vurdere drivkreftene til variasjon i organisk materiale, pigmenter og *Planktothrix*. Dette innebærer informasjon om jord- og skogbruk, folketall, utbygging og kloakkbetasting i nedbørsfeltet, samt regional informasjon om klima og avsetning av sulfat. Resultatene indikerer menneskelig aktivitet i nedbørsfeltet langt tilbake i tid, men at effekten av dette er usikker. Videre tyder resultatene på at regional avsetning av sulfat kan ha påvirket tilførsel av alloktont organisk materiale fra 1940-tallet. Pigmentene viser rask økning i algetetthet rundt 1970, hvor mengden deretter flater ut og holder seg like høy helt frem mot 2014. Kloakkutslipp er trolig hoveddrivkraft for økningen i algetetthet, men klima representerer også en viktig drivkraft. Dette kan være en av årsakene til at mengden fortsatt er høy, til tross for tiltak for å redusere kloakkbetasting. Resultatene tyder på at det også har vært en endring i algesammensetning, illustrert både av ulike trender for enkeltpigmentene og av at det kan ha vært et skifte i *Planktothrix* kjemotyper over tid. Forvaltningsmessig indikerer resultatene at menneskelig påvirkning er så omfattende at det kan stilles spørsmål ved hvorvidt innsjøen i dag representerer det samme systemet som før 1950. Videre kan et ensidig fokus på næringsstoffer være for enkelt i forståelsen av økt algetetthet.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Summary.....	ii
Sammendrag.....	iii
1. Introduksjon.....	3
1.1 Forvaltning av vann i dag – EUs vanndirektiv	3
1.2 Naturlig og menneskeskapt variasjon.....	4
1.2.1 Lokale drivkrefter til variasjon.....	5
1.2.2 Regionale drivkrefter til variasjon.....	5
1.3 Paleolimnologisk metode – mulig rolle i vannforvaltningen	6
1.4 Oppgavens innhold.....	7
1.4.1 Langtidsutvikling i en eutrof innsjø studert ved paleolimnologisk metode - Helgetjern som eksempel.....	7
1.4.2 Problemstilling	8
2. Områdebeskrivelse	8
2.1 Registreringer og tiltak i vannet	11
3. Materiale og metode.....	12
3.1 Lokale og regionale drivkrefter	12
3.2 Analyse av sedimentsøyler.....	13
3.2.1 Prøvetaking.....	13
3.2.2 Oppdeling av sedimentsøyler	13
3.2.3 Datering.....	14
3.2.4 Tørrvekt.....	15
3.2.5 Organisk materiale.....	15
3.2.6 Pigmentanalyse.....	15
3.2.7 DNA	16
3.3 Statistisk analyse	18
4. Resultater.....	19
4.1 Lokale drivkrefter Helgetjern.....	19
4.1.1 Skog- og jordbruk i nedbørsfeltet.....	19
4.1.2 Befolkningstall og utbygging	20
4.1.3 Kloakk	22

4.2 Regionale drivkrefter i Helgetjern.....	23
4.2.1 Atmosfærisk avsetning av sulfat (SO_4^{2-})	23
4.2.2 Temperatur og nedbør	24
4.3 Sedimentanalyse	26
4.3.1 Beskrivelse av sedimentsøyle.....	26
4.3.2 Datering av sedimentsøyle	26
4.3.3 Organisk materiale.....	27
4.3.4 Pigmenter.....	28
4.3.5 Planktothrix DNA.....	32
5. Statistisk analyse	33
5.1 Principal Component Analysis	33
6. Diskusjon.....	34
6.1 Datausikkerhet.....	34
6.2 Organisk materiale - drivkrefter til variasjon	36
6.3 Pigment – drivkrefter til variasjon.....	38
6.4 <i>Planktothrix</i> – drivkrefter til variasjon	39
6.5 Veien videre	40
7. Konklusjon	41
8. Referanser.....	43
8.1 Personlige meddelelser:	56
9. Vedlegg.....	57
Vedlegg A: Nedbørsfelt.....	57
Vedlegg B: Boligfeltutvikling.....	58
Vedlegg C: Flytskjema kloakk.....	59
Vedlegg D: Pigmenter: Algegrupper og kjemisk stabilitet.....	60
Vedlegg E: Rådata Datering (^{137}Cs) og organisk materiale.....	61
Vedlegg F: Rådata pigmenter.....	64
Vedlegg G: Rådata <i>Planktothrix</i> kjemotyper.....	77
Vedlegg H: Normaliserte data PCA.....	79
Vedlegg I: Eigenanalyse PCA.....	82
Vedlegg J: Multi XY normaliserte data, PCA.....	83
Vedlegg K: Rådata svovel, Løken 1978–2014.....	84
Vedlegg L: Rådata temperatur og nedbør, Østlandet 1900–2014.....	85

1. Introduksjon

Ivaretagelse av vannforekomsters struktur og funksjon er en av våre viktigste forvaltningsoppgaver. God vannkvalitet har betydning for et vidt spekter av interesser, herunder rekreasjon, drikkevann og ivaretagelse av terrestrisk og akvatisk biodiversitet (se f. eks. Skulberg og Kotai 1982, Wetzel 2001, Tollan 2002). Tiltak for å bedre vannkvalitet kan imidlertid stå i kontrast til andre sentrale samfunnsinteresser, og forvaltningsmål kan være både vanskelig å definere og vanskelig å nå (Duarte et al. 2009, Bennion et al. 2011, Stokke og Indset 2012). At mål og forventede effekter av tiltak er realistiske, er avgjørende for å opprettholde engasjement for god vannforvaltning (Bennion et al. 2011, Hansen 2015).

1.1 Forvaltning av vann i dag – EUs vanndirektiv

EUs vanndirektiv har bidratt til økt fokus på vannforvaltning. Direktivet er implementert gjennom vannforskriften med ikrafttredelse fra 2007 (Vannforskriften 2006). Det er fem ulike tilstandsklasser, 'svært dårlig', 'dårlig', 'moderat', 'god' og 'svært god' (Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013). Forskriftens miljømål er at " (...) vannforekomstene skal ha minst god økologisk og god kjemisk tilstand (...)" (Vannforskriften 2006, §4), dermed representerer grensen mellom tilstandsklassene 'moderat' og 'god' grensen for at tiltak må iverksettes (Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013). Tilstandsklassene er basert på avvik fra tilstand uten påvirkning fra mennesker, omtalt som naturtilstand (Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013). 'God' økologisk tilstand samsvarer altså med lite avvik mellom dagens tilstand og innsjøens naturtilstand, mens lavere tilstandsklasser har økende avvik fra naturtilstanden (Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013). Naturtilstand bestemmes ved at vannforekomster grupperes inn i vanntyper ut fra fastsatte fysiske og kjemiske kriterier, som humus- og kalsiuminnhold, høyde over havet og vannets størrelse (Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013).

Vanndirektivet legger opp til at forvaltningen i større grad er basert på en helhetlig forståelse av prosesser i vann (Iversen 2015). Dette vises blant annet i at forvaltningen i større grad følger de naturgitte grensene for vann, hvor samarbeid på tvers av kommuner og medvirkning fra ulike interessegrupper er viktig (Hansen 2015). Vanndirektivet sikrer også økt fokus på biologiske elementer gjennom klassifiseringen, for eksempel planteplankton og bunndyr, hvor kjemiske og fysiske parametere virker som støtteparametere (Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013).

Noen av de uttalte utfordringene med implementeringen av vanndirektivet, er utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag (Iversen 2015), manglende tilgang på lange tidsserier (Reuss 2005, Bragée 2013) og vanskelig tilgjengelig informasjon (Hansen 2015). Grunnlaget for klassifisering av vann er også omdiskutert, herunder grensen mellom tilstandsklasser, samt forståelse og bruk av naturtilstand (Bennion og Battarbee 2007, Duarte et al. 2009). Noen av hovedspørsmålene er om det er mulig å forstå naturtilstand ut fra vanntype, og om naturtilstand er et rett og oppnåelig forvaltningsmål (Bennion og Battarbee 2007, Duarte et al. 2009, Bennion et al. 2011).

1.2 Naturlig og menneskeskapt variasjon

I dagens vannforvaltning er en av de viktigste formene for variasjon økt algemengde, som flere steder i Norge er en av hovedutfordringene for å nå målet om ‘god’ økologisk status (Skulberg og Kotai 1982, Haande et al. 2014, Vannportalen 2015). Alger representerer en viktig del av innsjøens næringsnett og kan ha stor innvirkning på vannkvaliteten, for eksempel knyttet til oppblomstring av giftproduserende alger og anoksisk bunnvann (Wetzel 2001). Drivkreftene til økt algetetthet knyttes ofte til menneskepåvirket økning i algenes n  ringsstofftilgang, og det settes inn omfattende tiltak for å redusere dette. Viktig er imidlertid at drivkrefter til variasjon i algemengde kan knyttes til alle faktorer som påvirker tap eller vekst av fytoplankton (Wetzel 2001, Sogge et al. 2013). Dette kan være faktorer som påvirker lys, temperatur, næringsstoffer og tapsprosesser som utspyling og sedimentering. Uten menneskelig påvirkning varierer dette over tid, og innsjøer går naturlig gjennom en selvforsterkende eutrofieringsprosess (Wetzel 2001, Scheffer og Carpenter 2003). Samtidig kan naturlig variasjon i lysinnstråling, temperatur og nedbør påvirke tettheten av alger i et vann gjennom direkte påvirkning på vekst, eller via indirekte effekter som endret oppholdstid (Schindler et al. 1996) eller transport av alloktont organisk materiale (Tipping et al. 1999). Menneskelig påvirkning kommer dermed inn som en tilleggsfaktor, og kan forsterke eller redusere naturlig økning i algetetthet.

Dette viser at samme effekt potensielt kan knyttes til naturlig eller menneskeskapte drivkrefter, til påvirkninger på ulik skala og med ulike tidsforløp, og at hoveddrivkraft kan variere over tid. Forvaltningsmessig blir sentrale spørsmål hvordan naturtilstand varierer over tid og hvordan dette kan implementeres i forvaltningen. Ved å kartlegge hoveddrivkrefter til variasjon kan det defineres på hvilken skala forvaltningstiltak skal settes inn, og med hvilke tidsperspektiv og målsettinger forvaltningen kan operere.

1.2.1 Lokale drivkrefter til variasjon

Arealendringer i nedbørsfeltet påvirker transport av alloktont materiale til vann (Mattson et al. 2005), samt lys- og vindforhold i vannet og kan slik representere en viktig drivkraft for variasjon i kjemiske, fysiske og biologiske faktorer i vannet (Wetzel 2001). Kantvegetasjon gir både skygge og tilførsel av organisk materiale, i tillegg til at skogdekte arealer kan ha betydning for i hvilken grad vannet eksponeres for vind og dermed sirkulasjons- og sjikttingsforhold i innsjøen. Landbruk og kloakktilførsel er nevnt som noen av de viktigste påvirkningene på vann i flere vannregioner, knyttet til eutrofiering (Faafeng et al. 1982, Faafeng og Brabrand 1990, Iversen 2015). Tidligere studier viser hvordan jord- og skogbruk påvirker vannkvalitet som følge av endret erosjonsrisiko, næringsstoffer og endret avrenningsdynamikk gjennom drenering og grøfting (McTiernan et al. 2001, Åström et al. 2001, Ecke 2008, Bragée et al. 2013a, 2013b). Utbygging av nedbørsfeltet til boliger er ofte knyttet til økt andel tette flater og kloakkbetasting. Tette flater endrer både avrenningsdynamikk og avrenningskvalitet (Tollan 2002, Göbel et al. 2007). Eksempelvis kan redusert andelsmessig betydning av humusrike overflater i nedbørsfeltet endre transport av terrestrisk organisk materiale fra nedbørsfeltet.

1.2.2 Regionale drivkrefter til variasjon

To regionale drivkrefter er spesielt viktige for variasjon i autokton produksjon og tilførsel av alloktont organisk materiale i innsjøer – avsetning av sulfat (SO_4^{2-}) og klima (Reuss 2005, Haaland et al. 2010, Bragée et al. 2013b). Flere studier knytter avsetning av sulfat til regionale trender i tilførsel av alloktont organisk materiale til vann – med redusert transport i etterkant av 1900 og økende transport av alloktont organisk materiale i nyere tid (se f. eks. Hongve et al. 2004, Monteith et al. 2007, Ekström et al. 2011, Graneli 2012, Bragée et al. 2013b). Forsuring påvirker også det organiske materialets egenskaper, for eksempel i form av redusert farge og molekylær vekt (Ekström et al. 2011). Dette gjør at sulfatavsetning potensielt ikke bare påvirker mengde alloktont materiale som tilføres vann, men også hvilken virkning det har i vannet – for eksempel hvor stor andel som sedimenterer og hvilken effekt det har på lysfordelingen (Ekström et al. 2011, Read og Rose 2013). I tillegg vil redusert eller økt transport av organisk materiale også være viktig for transport av næringsstoffer og forurensninger (Tranvik og Wachenfeldt 2009).

Regional variasjon i klima kan påvirke både produksjon og nedbrytning i selve vannet (Wetzel 2001), i tillegg til faktorer som oppholdstid og stratifiseringsforhold (Schindler et al. 1996). Samtidig påvirker klima dannelsen av humus og løst organisk materiale i nedbørsfeltet

og hvor mye av det terrestriske organiske materialet som transporteres til vann (Tipping et al. 1999, Sobek et al. 2007, Haaland et al. 2010, Zhang et al. 2010).

1.3 Paleolimnologisk metode – mulig rolle i vannforvaltningen

Rester av en innsjøes produksjon og tilførsler lagres lagvis i bunnen av vannet, og danner slik innsjøens sediment. Uttak av intakte, vertikale søyler fra sedimentet representerer slik et historisk arkiv over innsjøens utvikling (se f. eks. Cohen 2003, Hobæk et al. 2012, Haande et al. 2014, Kyle et al. 2015a). Det finnes flere typer paleolimnologiske metoder for å analysere innsjøsediment, noe som blant annet gjør det mulig å kartlegge biologiske og kjemiske forhold i innsjøen langt tilbake i tid (Cohen 2003), finne tidspunkt for forurensingspåvirkninger (Heim og Schwarzbauer 2013) eller klimaendringer (Catalan et al. 2013) og kunne si noe om forhold i vannet før stor grad av menneskelig påvirkning (Bennion et al. 2011, Bragée et al. 2013a, 2013b). Med dette representerer paleolimnologi en alternativ metode til vanndirektivets definisjon av naturtilstand etter vanntype (se f. eks. Leavitt og Findlay 1994, Bennion og Battarbee 2007, Hobæk et al. 2012, Haande et al. 2014). Metoden gir et grunnlag for forståelse av hvilke drivkrefter som har ført til endring i vannet, hvor tiltak kan settes inn og hva som er et realistisk forvaltningsmål (se f.eks. Bennion et al. 2011, Bragée 2013, Bragée et al. 2013a, 2013b, Haande et al. 2014).

Noen av utfordringene med paleolimnologisk metode er usikkerhet rundt hvorvidt sedimentet representerer faktisk situasjon i vannfasen (se f.eks. Leavitt 1993, Leavitt og Findlay 1994, Reuss et al. 2005). Organismer nedbrytes med ulik hastighet, og flere forhold påvirker grad av nedbrytning før avsetningene lagres i sedimentet. I tillegg er det en utfordring både med datering av søylen og omtrentlig informasjon om historiske endringer i lokale eller regionale drivkrefter. Dette påvirker i hvilken grad det er mulig å knytte endring til konkrete drivkrefter med statistisk sikkerhet.

Tross utfordringene, representerer paleolimnologi et viktig verktøy for å innhente historisk kunnskap som ellers ikke er tilgjengelig og flere tidligere paleolimnologiske studier viser metodens nytteverdi (Haande et al. 2014, Hobæk et al. 2012, Bragée et al. 2013a, 2013b, Kyle 2015 a, 2015b, 2015c). Eksempelvis har tidligere studier vist hvordan endringer i algemengde og eutrofieringsproblemer også kan knyttes til naturlige forhold og prosesser (se f.eks. Haande et al. 2014), noe som kan sette dagens eutrofieringsproblemer i et annet lys både i forhold til naturlig tilstand og i forhold til forvaltningsmuligheter.

1.4 Oppgavens innhold

1.4.1 Langtidsutvikling i en eutrof innsjø studert ved paleolimnologisk metode - Helgetjern som eksempel

Denne oppgaven presenterer bruk av paleolimnologisk metode i Helgetjern, et lite vann med utløp mot Krokstادتjern i Rødenessjøen i Haldenvassdraget (Figur 1 og 2). Som flere av vannforekomstene i Haldenvassdraget, står Helgetjern i fare for ikke å nå miljømålet innen 2021 (Vann-nett 2015b). Det mangler i stor grad data på kvalitetselementer for økologisk og kjemisk tilstand, kunnskap om eutrofieringsutvikling og drivkrefter til endringene i vannet (Vann-nett 2015b), slik det også ofte gjør for andre vannforekomster (se f. eks. Reuss 2005).

Tidligere studier har påpekt hvordan små vannforekomster tilknyttet hovedvassdraget kan påvirke vassdraget negativt, eksempelvis ved å virke som opp-podningslokaliteter for giftproduserende cyanobakterier (Skulberg og Kotai 1982).

Helgetjern har hatt utfordringer i forhold til eutrofiering og oppblomstring av giftproduserende cyanobakterier, herunder store mengder *Planktothrix* (Skulberg 1980, 1979, Faafeng og Brabrand 1990) - en av de mest giftige slektene av cyanobakterier (Halstvedt et al. 2007). Oppblomstring av *Planktothrix* representerer en viktig utfordring i vannforvaltningen (Rohrlack et al. 2013) både i Norge og på global skala (Jacquet et al. 2005, Halstvedt et al. 2007, Kyle et al. 2015b). Oppblomstringer har enkelte steder vært en respons på forvaltningstiltak og det har flere steder vist seg vanskelig å kontrollere oppblomstringene (Feuillade og Druart 1994, Buergi og Stadelmann 2000, Jackuet et al. 2005). En mulig forklaring på hvordan *Planktothrix* kan dominere under mange ulike miljøforhold, er dannelsen av subpopulasjoner med ulike økologiske funksjoner (heretter omtalt som kjemotyper) (Rohrlack et al. 2008). Dermed blir sammensetning av kjemotyper viktig for å forstå og forvalte oppblomstringer. Nye paleolimnologiske metoder gjør at dette er mulig (Kyle et al. 2015b, 2015c).

Denne oppgaven illustrerer dette ved å bruke en genetisk metode for å finne forekomst og sammensetning av *Planktothrix* kjemotyper. Oppgaven legger også frem analyse av pigmenter for å se på eutrofieringshistorien i vannet fra 1800-tallet og frem til i dag.

Helgetjern egner seg godt som eksempel til å skille ut både lokale og regionale drivkrefter til variasjon. Dette er blant annet fordi vannet har liten størrelse, men allikevel tilstrekkelig oppholdstid (Tabell 1) til sedimentering og virkningstid for prosesser i innsjøen, istedenfor

rask transport til nærliggende vannforekomster. Samtidig har ikke Helgetjern innløp fra andre vannforekomster (Figur 2). Dette gjør at tilførslene fra terrestriske områder som følge av lokale eller regionale drivkrefter trolig er av stor betydning for vannkvaliteten i Helgetjern.

En viktig utfordring som kan påvirke de paleolimnologiske resultatene i Helgetjern, er hvorvidt det er varierende lagringsforhold og ustabil sjiktning som følge av at vannet er grunt (Figur 4).

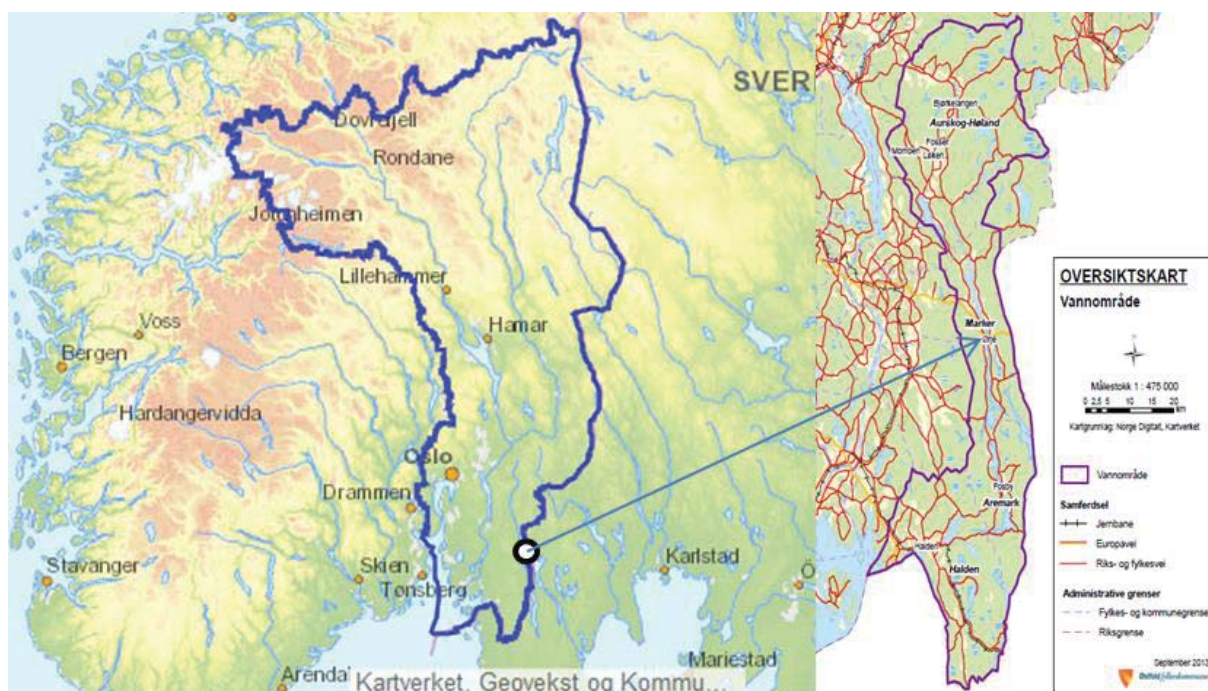
1.4.2 Problemstilling

Denne oppgaven presenterer historisk informasjon om lokale og regionale drivkrefter gjeldende for Helgetjern; befolkningstall, skog- og jordbruk, boligfeltutvikling, kloakkhåndtering, nedbør, temperatur og avsetning av sulfat (SO_4^{2-}). Sammen med analyser av sedimentets innhold av organisk materiale, pigment og *Planktothrix* DNA til ulike tider i Helgetjernes historie, danner dette grunnlaget for å besvare oppgavens problemstilling: Hvilke drivkrefter har bidratt til variasjon i fytoplankton og organisk materiale i Helgetjern? Oppgaven presenterer tidsperioder for variasjon i organisk materiale, pigment og *Planktothrix* DNA og diskuterer hvordan variasjonene kan knyttes opp mot lokale eller regionale drivkrefter.

Med dette illustrerer oppgaven verdien av paleolimnologi som metode, og diskuterer mulig betydning av resultatene for forvaltningen.

2. Områdebeskrivelse

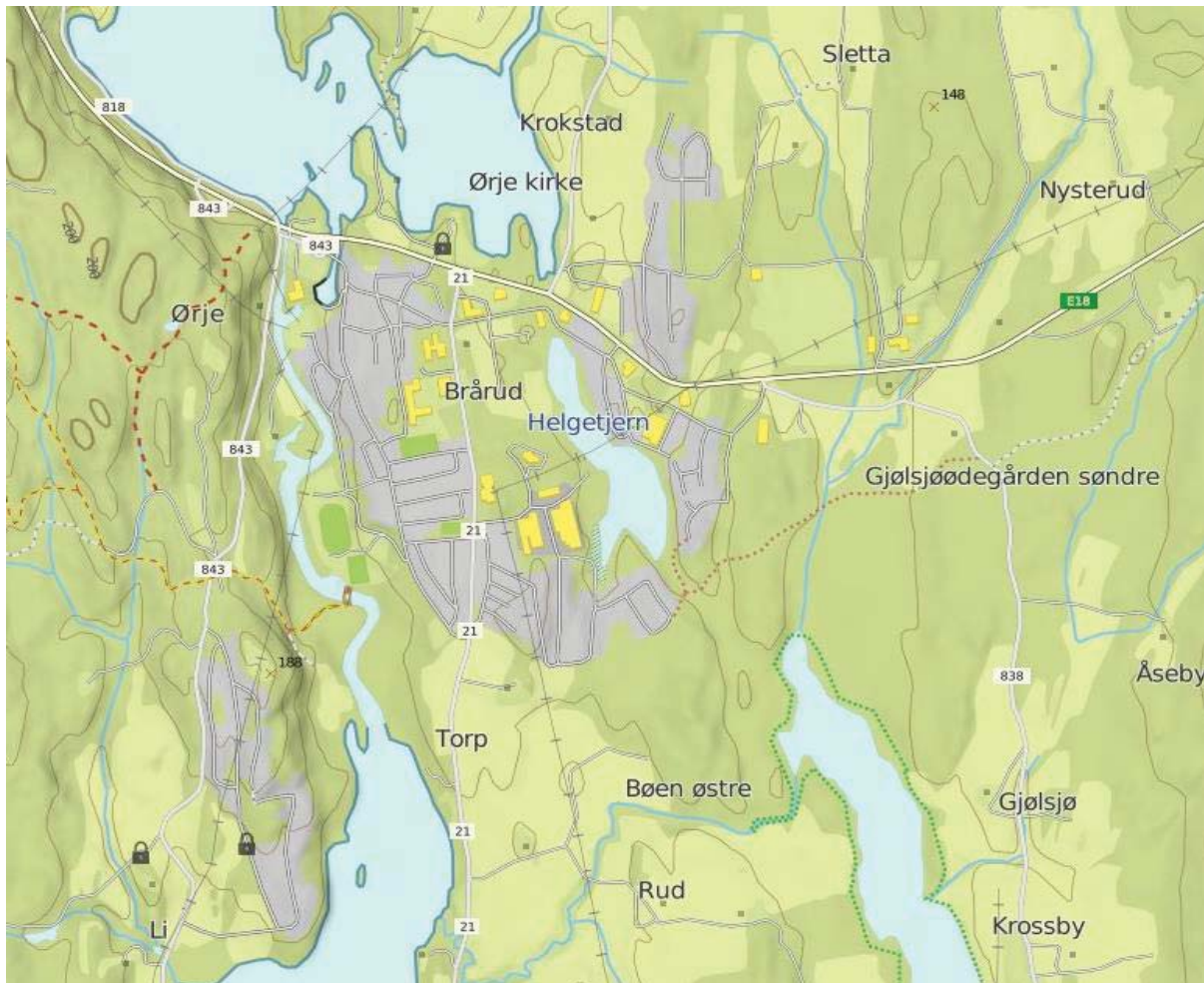
Helgetjern (59° 28'N, 11° 40'Ø) er et lite, grunt vann i Marker kommune i Østfold (Tabell 1, Figur 4) og hører innunder vannområde Haldenvassdraget i vannregion Glomma (Fig. 1). I tillegg til å påvirke vannkvalitet og biologi i Haldenvassdraget og nærliggende vannforekomster, er området rundt Helgetjern av direkte betydning for rekreasjons- og boligformål.



Figur 1. Fremstilling av Helgetjerns beliggenhet. Vannregion Glomma og vannområde Haldenvassdraget. Kilder: Vann-nett 2015a (venstre), Haldenvassdraget 2015 (høyre).

I nord har Helgetjern utløp via rør til Krokstادتjern, en del av Rødenessjøen i Haldenvassdraget (Figur 2), drikkevannskilde for Marker kommune. Sør for Helgetjern ligger Gjølssjøen (Figur 2), en næringsrik og eutrof innsjø under gjengroing. Innsjøen er vernet som naturreservat (Miljødirektoratet naturbase 2015), og har flere sårbare og truede arter (Artsdatabanken 2015). Haldenvassdraget har for øvrig store økologiske og sosioøkonomiske verdier (se f. eks. Skulberg og Kotai 1982, Spikkeland 2014) og lang historie med påvirkning fra menneskelig aktivitet. Dette gjelder eksempelvis inngrep i vannstand og vannføring fra midten av 1800tallet, tømmerfløting, kloakkbelastning, samt jord- og skogbruk (Nilsen 1982, Skulberg og Kotai 1981, 1982). Vassdraget er flomutsatt og påvirkes også i stor grad av variasjoner i klima (Skulberg og Kotai 1982, Haande et al. 2014).

Ettersom landskapet er relativt flatt (Figur 2), er det liten høydeforskjell mellom Helgetjern og nærliggende vannforekomster. Dette medfører at utløpet mot Rødenessjøen tidvis fungerer som innløp (pers medd. Heed), samtidig som vann fra Helgetjern tidvis kan trekke gjennom myrområdene i sør mot Gjølssjøen (pers. medd. Heed). Dette gjør at Helgetjern er i dynamisk forbindelse med hovedvassdraget (se f. eks. Skulberg og Kotai 1982).



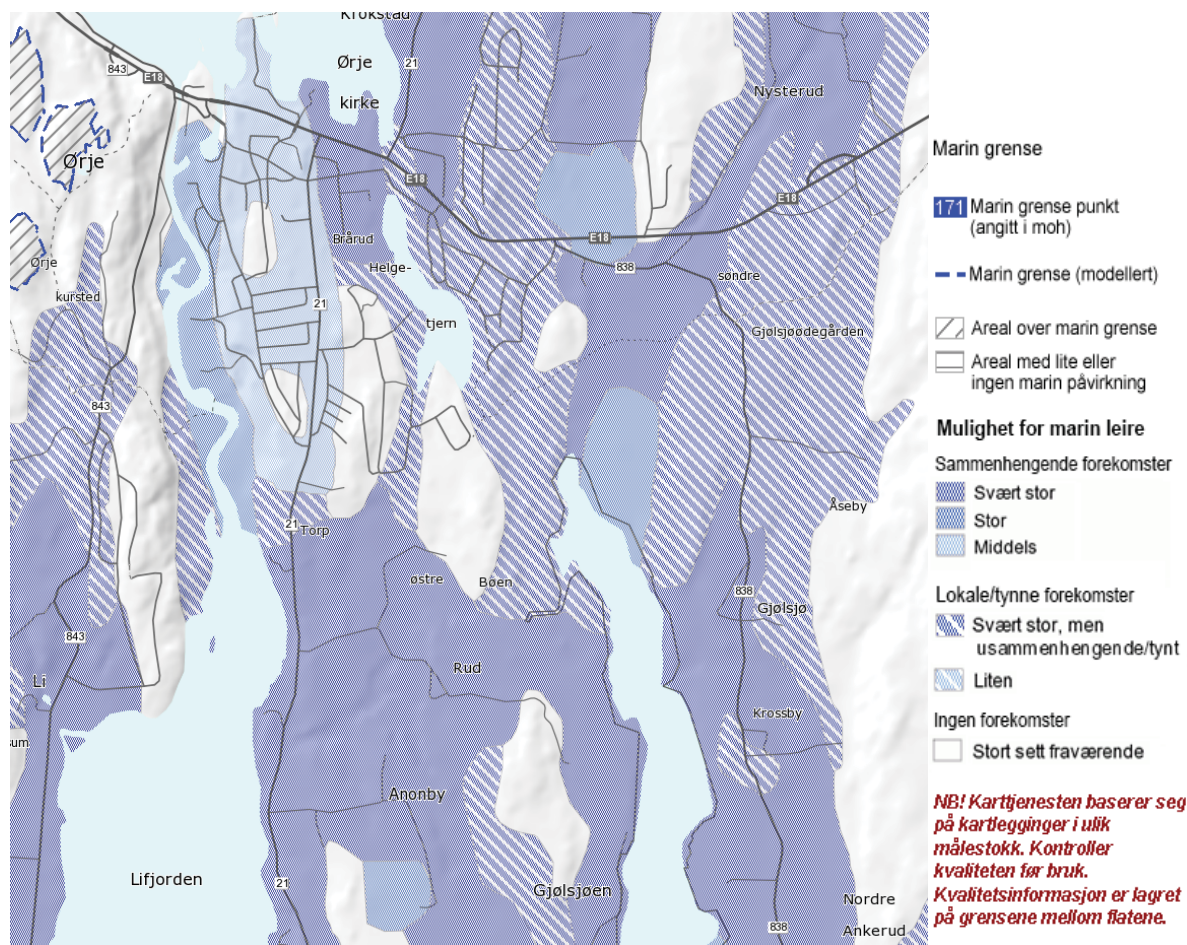
Figur 2. Helgetjern og nærliggende vannforekomster. Krokstadtjern i nord, Gjølshø sørvest. Ørjeelva og Øymarkssjøen vest/sørvest. Kilde: DNT 2015.

Tabell 1: Geografiske forhold for Helgetjern. Kilder: Skulberg 1979, Faafeng og Brabrand 1990, Kyle et al. 2015b, Vann-nett 2015b. Oppholdstid representerer tall fra to ulike kilder: Skulberg 1979 (1år) Kyle et al. 2015b (2,6).

Høyde over havet	118 moh
Areal nedbørsfelt	0,9 km ²
Areal innsjø	0,12 km ²
Maksdybde	3,5 m
Teoretisk oppholdstid	1-2,6 år

Rundt Helgetjern består bergartene i hovedsak av mylonitt og fylonitt, men også et belte av gabbro og amfibolitt (NGU 2015b). Etter siste istid var området dekket av havvann (Skulberg og Kotai 1982). Dette har ført til forekomster av marin leire i nedbørsfeltet, (Figur 3) noe som

gjør vassdraget naturlig næringsrikt (Haande m.fl. 2014). Kart over løsmasser viser store områder med havavsetning i nedbørsfeltet (Vedlegg A), i tillegg til tynn morene og breelvavsetning (Figur 3, NGU 2015a).



Figur 3. Kart over marin grense og marine avsetninger i området rundt Helgetjern. Kilde: NGU 2015a.

2.1 Registreringer og tiltak i vannet

Det er generelt foretatt få registreringer i Helgetjern og samlet lite kunnskap om menneskelig påvirkning i nedbørsfeltet (Vann-nett 2015b). Observasjon i 1968 indikerer *Aphanizomenon flos-aquae* som dominerende alge, og mindre betydning av *Planktothrix* (Skulberg 1980). I 1979 og 1980 er det registrert vinteroppblomstring med *Trachelomonas* spp. (Skulberg og Kotai 1982). Registreringer fra 1970- og 80-tallet viser fytoplanktonsammensetning med få arter i dominans (Skulberg og Kotai 1982), og i 1979 er det registrert *Planktothrix* med populasjonstetthet større enn noen gang registrert i Norge (Skulberg 1979, 1980).

I 1984 og 1986 ble det foretatt registreringer i forbindelse med at Helgetjern behandlet med rotenon (Faafeng og Brabrand 1990), herunder et fiskesamfunn dominert av mort. Videre viser Faafeng og Brabrand (1990) til tiår med cyanobakterieoppblomstringer i forkant av rotenonbehandlingen og lave oksygennivåer i bunnvannet. I forbindelse med rotenonbehandlingen, ble det satt ut både fiskehinder ved vannets utløp (Faafeng og Brabrand 1990) og hervivorer *Daphnia pulex*, *D. magna* og *D. longispina* (Faafeng og Brabrand 1990). Dette hadde blant annet stor innvirkning på siktedyp og sammensetning av fytoplankton i Helgetjern, med redusert betydning av cyanobakterier og økt fytoplanktondiversitet (Faafeng og Brabrand 1990). Effektene av dette var trolig kortvarige (Faafeng og Brabrand 1990, Lyche et al. 1990, Hansson et al. 1998).

I dag er Helgetjern registrert som kalkfattig og humøs med antatt økologisk tilstand moderat (Vann-nett 2015b). Vannet har de siste ti årene vært brukt til badeplass, og det er ikke uttalte problemer med cyanobakterier (Pers. medd. Halvorsrud). Det mangler imidlertid stort sett data for kvalitetselementer for økologisk og kjemiske tilstand eller påvirkninger på innsjøen (Vann-nett 2015b).

3. Materiale og metode

Metodene som ligger til grunn for oppgaven kan deles i to hovedkategorier – 1) innsamling av historisk informasjon om lokale og regionale drivkrefter aktuelle for Helgetjern og 2) paleolimnologisk analyse av sedimentkjerner. Metodene brukt for disse to hovedkategoriene presenteres nedenfor.

3.1 Lokale og regionale drivkrefter

Skog- og jordbruksutvikling i nedbørsfeltet er kartlagt ved hjelp av mange ulike kilder. Viktigste er lokalhistorisk litteratur (f. eks. Nilsen 1982, Nilsen 2007, Nilsen 2008), personlige samtaler (pers. medd. Halvorsrud, Heed og Fredriksen), kart (Kartverket 2015, Marker Kommune 2015a, b, c, d, Økonomisk kart 1966) og reguleringsplaner (Reguleringsplan 19700001, Reguleringsplan 19790001, Reguleringsplan 20000001).

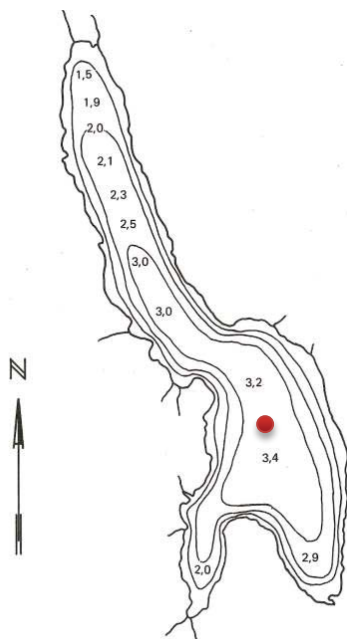
Informasjon om regionale drivkrefter i området er både basert på tilsendte rådata på langtidsregistrering av svovel i nedbør på Løken (årsmiddel Smg/l) (Aas et al. 2014, NILU 2015), samt figurer (avvik fra normal) og tilsendte rådata (middel) for temperatur og nedbør på Østlandet fra 1900-2014 (Meteorologisk Institutt 2015 a, 2015b). Regional temperatur- og

nedbørsutvikling er valgt fremfor mer lokale målestasjoner ettersom formålet med bruk av materialet var å knytte variasjon opp mot regionale trender.

3.2 Analyse av sedimentsøyler

3.2.1 Prøvetaking

Sedimentsøylene er tatt opp 26.05.2014. Sedimenthenter UWITEC gravity corer med 60mm diameter ble sluppet fra båt for å hente opp to sedimentsøyler (lengde 66cm) fra det dypeste området av Helgetjern (3,5m), omtrent midt i vannet (Figur 4). Søylene ble satt på kjølerom frem til oppdeling 28.05.2014.



Figur 4. Dybdekart Helgetjern. Rød sirkel angir prøvetakingssted. Kilde: Skulberg og Kotai 1982, s.61.

3.2.2 Oppdeling av sedimentsøyler

Før oppdeling av sedimentsøylene, ble søylen beskrevet i forhold til synlige fargesjikt. Dette fordi det kan gi informasjon om endringer i vannet, for eksempel kan sort farge indikere perioder med oksygenfritt bunnvann.

Oppdeling av sedimentsøylene ble utført 28.05.2014 på laboratoriet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Institutt for miljøvitenskap (IMV). For å hente sedimentsøylene ut av sedimenthenterene, ble søylene plassert på et stativ og gradvis presset oppover 1 cm av gangen. Dette ble klippet av med en sedimentkniv, slik at vi fikk delprøver

hver cm langs søylenes lengde. Sedimentkniven ble vasket med destillert vann mellom hver cm for å unngå kontaminasjon mellom ulike sjikt av søylen.

Delprøver sedimentsøyle 1. Hver delprøve ble lagt i nummererte (1–66) aluminiumsbegre. Hver delprøve ble videre delt i to nummererte rør med kork, et til analyse av DNA (15 ml) og et til analyse av pigment og glødetap (50 ml). For å fordele prøvene, ble det brukt plastskje og hansker. Plastskje ble byttet mellom hver delprøve, og hanskene byttet ved behov. Korken ble satt på med en gang hver enkelt prøve var fordelt og fortløpende satt på kjøll eller fryser, for å redusere sedimentets kontakt med lys og oksygen. Delprøver til DNA-analyse ble satt på kjøll (+2°C), mens delprøver til pigmentanalyse og glødetap ble satt i fryser (-21°C).

Delprøver sedimentsøyle 2. Hver delprøve ble tatt ut på samme måte som beskrevet ovenfor, men kun ned til 50 cm. Dette fordi denne søylen skulle brukes til bestemmelse av Cesiuminnhold (^{137}Cs) hvor Cesiumtoppen, som et resultat av Tsjernobylulykken i 1986, er forventet å være lengre opp i søylen. Delprøvene ble lagt i små plastflasker med lokk, og tørket i tørkeskap (65°C) i fem døgn (uten lokk), deretter veid for å finne tørrvekt. Dette for å redusere betydningen av ulikt vanninnhold i delprøvene, og dermed kunne relatere Cesiummengde tørrvekt.

3.2.3 Datering

Korrekt datering av sedimentsøylen er viktig for å kunne knytte variasjon opp mot drivkrefter, og for å kunne sammenligne ulike vannforekomster. Det er allikevel alltid knyttet noe usikkerhet til de ulike dateringsmetodene. ^{14}C har lang halveringstid og ville trolig gi et usikkert signal i forhold til alderen til sedimentet i denne oppgaven (Wetzel 2001, Cohen 2003). I tillegg bestemmer ^{14}C alderen til det organiske materialet, og har derfor vist seg mindre egnet i områder hvor organisk materiale fortynnes med leire (Haande et al. 2014). Datering ved hjelp av ^{210}Pb er utenfor denne oppgavens finansieringsrammer, og kan også være mindre egnet i leirpåvirkede områder i Sørøst-Norge, ettersom bakgrunnen ofte er høy (Haande et al. 2014, Kyle 2015, 2015a). Sedimentsøylen i denne oppgaven er datert ut fra innhold av Cesium, som bindes sterkt til leire og derfor ofte egner seg godt i leirpåvirkede områder (Cohen 2003).

Bestemmelse av ^{137}Cs ble utført 05.06.2014, på isotoplaboratoriet ved IMV, NMBU. Innhold av radioaktivt Cesium (^{137}Cs) ble målt i hver delprøve ved hjelp av scintillasjonsteller av type Nal fra Perkin Elmer/Wallac (typebetegnelse: Wizard 3 Automatic gamma counter).

Prøvene ble målt i to timer. Toppnivå for ^{137}Cs indikerer Tsjernobylulykken i 1986, og ble

brukt for å beregne årlig avsetning av sediment 2014–1986. Dette er også grunnlaget for bestemmelse av sedimentets alder nedover i søylen, basert på antatt stabil sedimentasjonsrate over tid. Dermed er det knyttet usikkerhet til datering, med økende usikkerhet i sedimentets eldste deler (Haande et al. 2014). I tillegg kan eldre deler av sedimentet være mer komprimert, noe som kan redusere avstanden mellom ulike års avsetning (Kyle 2015). Årstall er allikevel presentert i figurer og tekst for å lette lesingen, men må leses som omtrentlige tidsrom.

3.2.4 Tørrvekt

Delprøvenes tørrvekt danner grunnlaget for videre analyse av pigment og organisk materiale. Dette fordi vanninnholdet i ulike deler av sedimentet varierer, og slik kan påvirke resultatet. Delprøvene (1–66) ble frysetørket (LYovac GT, Leyhold-Heraeus) i to døgn ved Norsk institutt for vannforskning, NIVA. Delprøvene til beregning av glødetap ble i tillegg tørket 17 timer i tørkeskap (60°C) på NMBU.

3.2.5 Organisk materiale

Organisk materialet i sedimentet representerer både rester av innsjøens autotrofe produksjon og alloktone tilførsler fra nedbørsfeltet. Mengde fytoplankton påvirker mengde organisk materiale i vannet, samtidig som organisk materiale tilført fra nedbørsfeltet påvirker primærproduksjonen i vannet gjennom innvirkning på lys, næringsstoffer og forurensninger (se f. eks. Tranvik og Wachenfeldt 2009, Wetzel 2001, Read og Rose 2013).

De tørkede delprøvene ble overført til veide keramikkskåler, veid og brent ved 550°C i 3 timer. Deretter ble prøvene veid igjen, hvor forskjellen i vekt før og etter brenning representerer andelen som er tapt under brenningen – glødetapet. Vekttapet representerer hver delprøves innhold av organisk materiale (Heiri et al. 200, Boyle 2004, Santisteban et al. 2004).

3.2.6 Pigmentanalyse

Pigmenter i sedimentet stammer fra fotosyntetiske organismer i vannet og nedbørsfeltet. Pigmenter som opptrer i alle fytoplanktongrupper (klorofyll a) kan gi indikasjon på endringer i autotrof produksjon i vannet (Reuss 2005). I tillegg er enkelte pigmenter mer spesifikke for ulike algegrupper, og kan gi informasjon om endringer i sammensetning av fytoplankton eller tilførsler fra terrestrisk vegetasjon (Reuss 2005) (Vedlegg D).

Ulike pigmenter absorberer ulike bølgelengder (Raven et al. 2005). Ulike pigmenter har dermed ulike mønstre i absorpsjon, såkalt absorpsjonsspektrum (Raven et al. 2005).

Absorpsjon i en prøve, kan måles ved hjelp av et spektrofotometer, for eksempel i regionen 330–750nm, hvor alle klorofyller og de viktigste karotenoider har absorpsjonsspektrum (Küpper et al. 2007).

Pigmentanalysen ble utført på laboratoriet ved Universitetet i Oslo, UIO, Institutt for Biovitenskap. Sedimentets delprøver er analysert for 17 ulike pigmenter og 2 nedbrytningsprodukter. Pigmentanalysen er gjort i henhold til metodebeskrivelse (Thrane et al. 2015), en videreutvikling av Gaussian-Peak Spectra (GPS) metode (Küpper et al. 2007). På grunnlag av prøvens totale absorbans beregnes innhold av enkeltpigmenter ved hjelp av matematisk funksjon i R (Thrane et al. 2015).

Frysetørkede sedimentdelprøver (gj.snitt 0,0908g.) ble tilsatt 2ml etanol ved hjelp av pipette, deretter ristet for å sikre at etanol og sediment ble godt blandet før ekstraksjon. Prøvene ble ekstrahert mørkt og kjølig (4°C) i 20 timer, deretter sentrifugert for å redusere forstyrrelser fra partikler på absorbansmålingen.

Synergy Mx Biotek (Biotec Instruments, SN 219551) ble brukt til å lese av absorbans 350 nm–750 nm. Delprøve 1–29 hadde høyere absorbans og ble fortynnet med mer ethanol for at absorbans skulle være i det lineære området. Prøvene ble dekket til under laboratoriearbeidet for å unngå skade på pigment som følge av lyseksponering.

3.2.7 DNA

Ekstraksjon. Ekstraksjon av DNA ble utført 28.05.2014 – 06.06.2014 på laboratoriet ved IMV, NMBU. Vi brukte ekstraksjonssett fra Mobio Laboratories, Power Soil DNA Isolation Kit (#12888). Brukerprotokollen vedlagt ekstraksjonssettet (Mobio Laboratories 2015) ble fulgt foruten noen få punkter. Dette gjelder at vi unnlot å fjerne vann fra prøvene, vi lagret prøvene ved -20°C istedenfor ved -80°C og vi brukte ikke Mo Bio Vortex adapter. Ettersom vi tilpasset vortexeren til å riste prøvene horisontalt, påvirket dette trolig ikke resultatet. Ulik mengde vann i de ulike delprøvene er en mulig feilkilde, men dette ble korrigert for ved at DNA konsentrasjon i prøvene senere ble beregnet ut fra organisk andel av sedimentet.

Det ble tilsatt gjennomsnittlig 0,2898 g. sediment til PowerBead (#12888-100-PBT). Vi hadde fire blanke prøver hvor vi gjennomførte samme prosedyre for å kunne vurdere kontaminasjon mellom delprøvene. Etter ekstraksjonen ble delprøvene fryst ved -20°C ved NMBU.

Polymerase Chain Reaction. Ekstrahert DNA ble analysert ved hjelp av Real time Polymerase Chain Reaction (qPCR) for å gi informasjon om historisk forekomst og sammensetning av

Planktothrix kjemotyper (1,5,7,9) i vannet. Dette fordi *Planktothrix*populasjonene i Norge ofte er satt sammen av disse fire ulike kjemotypene (Rohrlack et al. 2008, Sogge et al. 2013). Dessuten har tidligere studier vist forekomst av disse kjemotypene i andre vannforekomster på Østlandet, for eksempel i Bjørkelangen, Gjersjøen og Kolbotnvannet (Sogge et al. 2013, Kyle et al. 2015b). Ulik, genetisk bestemt oligopeptidsammensetning gjør det mulig å bestemme forekomst og sammensetning av de ulike kjemotypene ved hjelp av PCR (Rohrlack et al. 2008, Kyle et al. 2015b). Dermed gir genetisk metode mulighet til å studere variasjoner innad i populasjoner, altså variasjoner under artsnivå (kjemotyper) (Rohrlack et al. 2008, Kyle et al. 2015b). Metoden er beskrevet i Kyle et al. 2015b, c.

PCR-analysen ble utført på laboratoriet ved NIVA med Fast qPCR MasterMix Plus No ROX dTTP (Eurogentec produktnummer R-T-QP2X-03+NRWOUNF) ved hjelp av BioRad CFX 96™ Real-Time System C 1000 Touch Thermal Cycler (Biorad USA). Før PCR-analysen ble de ekstraherte delprøvene fortynnet 1:10. Dette fordi det reduserer risikoen for at analyseresultatet svekkes av for eksempel organisk materiale (Savichtcheva et al. 2011). Det ble tatt pseudoreplikater for hver delprøve, samt positiv og blank kontroll for å vurdere PCRresultatene. Positiv kontroll var fra cyanobakteriekulturer ved NIVA representativ for de fire ulike kjemotypene av *Planktothrix* (Kyle et al. 2015b, c) (Tabell 2). For å binde de aktuelle sekvensene av DNAet, brukes korte DNA-sekvenser komplementære til den sekvensen man er ute etter - her sekvensen spesifikk for de ulike kjemotypene (Rohrlack et al. 2008, Kyle et al. 2015b, 2015c). Disse komplementære sekvensene kalles primere, og det er en fra starten av genesekvensen (F) og en fra slutten av genesekvensen (R) som er av interesse (Tabell 2). Probe tilsettes for å markere den aktuelle sekvensen slik at kvantifisering er mulig (Life Technologies 2015). Detaljer for standarder, primere og probes er oppført i Tabell 2.

Denaturering ved 95°C i 5 minutter, denaturering ved 95°C i 15 sekunder var likt for alle kjemotypene, mens 30 sekunders hybridisering ble utført ved ulik temperatur for ulike kjemotyper (Tabell 2) (Kyle et al. 2015b). Dette fordi høy temperatur under denaturering gjør at DNA splittes, mens hybridisering av komplementær sekvens er avhengig av ulik temperatur tilpasset den aktuelle primeren (Kyle et al. 2015b, Life Technologies 2015).

Tabell 2. PCR. Detaljer for de ulike kjemotypene (K) i PCR analysen. Oversikt over sekvensene for primere og probe, amplikonlengde (Al), standard (Std), fluorochrome og hybridisering (se også Kyle et al.2015b).

K	Al	Std	Primer F	Primer R	Probe	Fluorochrome	PCR a°C
1	133	NIVA- CYA 98	TAGTTGCC TACGTTAATCCCC	AAAATGACA AAGGCACTAGGAAC	TGCTTGGTGT TAATGAACTGCG	HEX	58
5	135	NIVA- CYA 407	gCCATgAAg CCTTgAggACTAAT	gAgAggCAA TTTCCTgTTCACg	TggACAgTgA CCATCgTTgATTTACAACCT	FAM	61
7	157	NIVA- CYA 56/3	CCAAACAGA GGGGATTCTACT	CGATCCACTTT ACCATTAGACG	AGTTTGCTTG CTGTTACGGAACCTG	FAM	61
9	137	NIVA- CYA 405	GCTAATTATT CTCCCCTTCCTCA	GCCTGAGTATT ACTAATAGGTTGC	TCGTAGAGA GTCGTCACAACCG	FAM	58

3.3 Statistisk analyse

Principal Component Analysis (PCA) ble brukt for å redusere dimensjoner i datamaterialet, og for å vurdere korrelasjon. Dataene ble normalfordelt før PCA, reskalert til verdier mellom 0-1 via formel: $X_y - X_{\min} / X_{\max} - X_{\min} = NX$ (Mohamad og Usman 2013, s. 3300). X_y representerer originalverdi som skal normalfordeles, $X_{\min}$ minste verdi i datasettet, $X_{\max}$ største verdi i datasettet, NX er normalfordelt verdi.

Dette gjør at variasjonen datamaterialet kan sammenlignes uavhengig av verdi eller enhet. Eigenvektor sier noe om retning mens verdien sier noe om størrelsen på variasjonen. Vektorene med størst verdi defineres som prinsipal komponent 1, deretter 2 (Tabachnick og Fidell 2013).

Rådata for temperatur og nedbør (Vedlegg L) (Metereologisk Institutt 2015b) er tatt med i analysen for bedre å vurdere effekten av klima på variasjon i andel organisk materiale og klorofyll a+ pheophytin a. Analysen inkluderer også tallmateriale fra Jarenvatnet (60° 22'N, 10° 33'Ø) (Sørli 2015). Dette for å vurdere hvorvidt variasjonen i organisk materiale og autokton produksjon i Helgetjern sammenfaller med lignende variasjon i Jarenvatnet, og slik kan indikere regionale trender. I tillegg har paleolimnologisk metode i Jarenvatnet også hentet ut data for svovel i sedimentet (Sørli 2015), noe som potensielt kan gi indikasjoner om sulfatavsetningen som drivkraft for variasjon i andel organisk materiale – også i Helgetjern. Jarenvatnet består av to basseng (sørlige og nordlige) i Gran og Lunner kommuner i Oppland,

tilhørende Vest-Viken vannregion, Randsfjorden vannområde. Hovedutfordringene er tidligere knyttet til jordbruk og kloakk med utbygging av området, med oppblomstring av cyanobakterier rundt 1970 (Faafeng et al. 1982, Løvik og Romstad 2007).

4. Resultater

4.1 Lokale drivkrefter Helgetjern

4.1.1 Skog- og jordbruk i nedbørsfeltet

Skogområdene rundt Helgetjern er i 1966 klassifisert som barskog av høy- eller middels bonitet, ikke selvdrenert (Økonomisk kart 1966) og hører i trolig inn under gårder som har drevet både med jordbruk og skogbruk langt tilbake i tid (Nilsen 2007, 2008). Historiske kart viser landbruksområder på Brårud, Killingbye, Aas på 1770-tallet, alle med jordbruksområder i Helgetjernes nedbørsfelt (Figur 5, Vedlegg A). Brårud er trolig ryddet i tidsperioden 1000-1350 (Nilsen 2007). Brårud har lenge vært en av gårdene med eierskap til sag og møller ved Ørjefossen (Nilsen 1982), og det er oppgitt husdyrhold og produksjon av korn og potet på 1800-tallet (Nilsen 2007, s. 677).



Figur 5. Helgetjern 1770. Kilde: Kartverket 2015.

Både skog- og jordbruket i nedbørsfeltet har gjennomgått mange endringer. Dette innebærer endringer i press på landområdene, redskaper som ble brukt, grad av nydyrking og hva gårdene produserte (Nilsen 1982, 2007, Dalene 1961). Lignende studier viser at slike endringer av små proporsjoner innenfor skog- og jordbruket kan ha påvirket vannforekomster langt tilbake i tid (Noël et al. 2001, Bragée et al. 2013a). For eksempel knytter Bragée (et al. 2013a, 2013b) tidlig menneskelig aktivitet til variasjon i transport av alloktont organisk materiale, eksempelvis som følge av starten på permanente jordbruksområder rundt år 1500 eller forlatte landområder etter svartedøden på 1300-tallet.

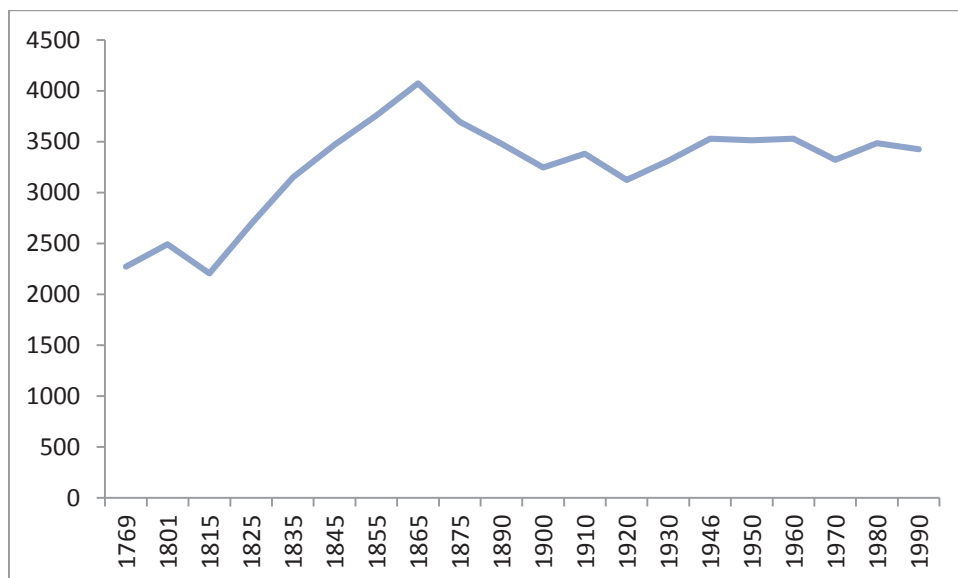
Eksempler fra området rundt Helgetjern inkluderer at treredskaper i stor grad ble erstattet med redskaper av jern og stål rundt 1850, med økt drenering av jord, dypere pløying og også økt lagring og bruk av gjødsel fra egne dyr i samme tidsperiode (Nilsen 2007). I skogbruket var det hele 75% økning i tømmeravvirkning i Øymark i tidsperioden 1866–1900 (Nilsen 1982, s. 174). I årene rundt 1930 ble det tilrettelagt for skogdrift ved statsstøtte til grøfting av vannsyk mark og nye skogsbilveier (Nilsen 2007). I Østfold førte dette til omfattende grøfting i 1930-årene, og ofte økning i produktivt skogareal (Dalene 1961). I samme tidsperiode ble det gitt statsstøtte til nydyrking, noe som førte til økte arealer med fulldyrket mark etter 1920 (sjekk år) og økt bruk av kunstgjødsel (Hannås 1937, Nilsen 2007).

Brårud gård hadde fortsatt fulldyrkede arealer i 1966, med jorder tett ned mot nordenden av Helgetjern (Økonomisk kart 1966). Jordbruksarealet er oppført som lettbrukt areal dyrket til vanlig pløyedybde i 1966 (Økonomisk kart 1966, NIJOS 2004). Området er ikke selvdrenert, noe som tilsier at området må dreneres for å kunne fulldyrke (NIJOS 2004, Økonomisk kart 1966). Både landbruksområdene på Brårud, Killingbye og Ås redusert i nyere tid. Siste halvdel av 1900-tallet er store deler av Bråruds landbruksområder bygget ut til andre formål, herunder jordene som grenser ned mot Helgetjern (Nilsen 2007, Reguleringsplan 20000001).

Jordbruksområdene på Killingbye og Ås er ikke tegnet opp i kart fra 1966, og indikerer at disse områdene er omgjort til skog og boligområder (Økonomisk kart 1966, Vedlegg B).

4.1.2 Befolkningstall og utbygging

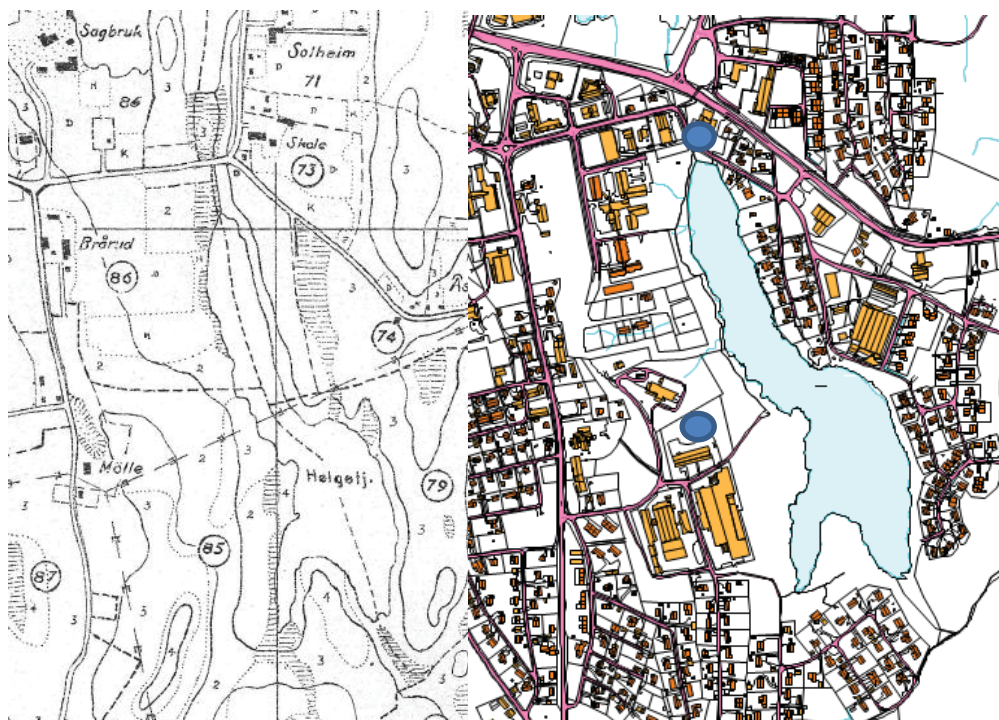
Til tross for menneskelig aktivitet langt tilbake i tid, startet ikke befolkningen å øke før Ørje vokste frem som tettsted på slutten av 1800-tallet med rask vekst fra 1875 (Nilsen 1982). Utbyggingen skjedde i hovedsak utenfor Helgetjerns nedbørsfelt, men resulterte i endret press på skog- og jordbruksarealene rundt Ørje (Nilsen 1982). Økningen fremkommer ikke av befolkningsutviklingen i Marker, som samme tidsperiode viser nedgang (Figur 6).



Figur 6. Folkemengde i Marker kommune 1769–1980. Tallene før 1960 er beregnet av Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste (NSD) og er usikre. Kilde: Statistisk sentralbyrå 2003 s. 30. Merk at befolkningstall går ned i 1865, i motsetning til for Ørje hvor det er rask økning fra 1875-1900 (Nilsen 1982, s.159).

Det er ikke før siste halvdel av 1900-tallet at menneskelig aktivitet virkelig endrer Helgetjerns nedbørsfelt. I etterkant av 1950 endrer den menneskelige påvirkningen seg fra lang tid med noen få husstander, jord- og skogbruk til utbygging av området til boligfelt og noe industri (Figur 7, Vedlegg B) (Reguleringsplan 19700001, 19790001). Gravearbeid og permanent endring i vegetasjon og overflater endrer avrenningsdynamikken og gradvis også vindforholdene i nedbørsfeltet. Utbyggingen kan ikke knyttes til rask befolkningsvekst i Marker kommune (Figur 6), men heller til en betydelig økning i antall boenheter i løpet av 60-tallet, noe som førte til økt utbyggingspress også rundt Helgetjern (Marker Historielag 2013). Selv om nedbørsfeltet fortsatt bygges ut, representerer perioden fra 1960- til 1980-tallet tidsrommet med størst endringer (Vedlegg B). Sammenligning av nyere kart med kart fra 1950-tallet viser den store endringen som har skjedd i nedbørsfeltet med fremvekst av boligfelt, lokalveier og industri (Figur 7). Det er i dette tidsrommet at industribyggene etableres på vestsiden og drivstoffdistributør på nordenden, senere tilknyttet grunnforurensning i området (Figur 7). Som følge av mistanke om sig mot Helgetjern fra Rørvik servicesenter i nord, ble samleikum fra vaskehall fjernet i 2001 (Moe og Bjerve 2007). Dette representerer et av områdene med forurenset grunn i nedbørsfeltet (Figur 7), hvor undersøkelser i 2007 viser fortsatt forurensningspåvirkning (Moe og Bjerve 2007). Kartet fra 1950 viser bekk mot Krokstادتjern, og indikerer rørlegging av utløpet i tidsrommet 1950-

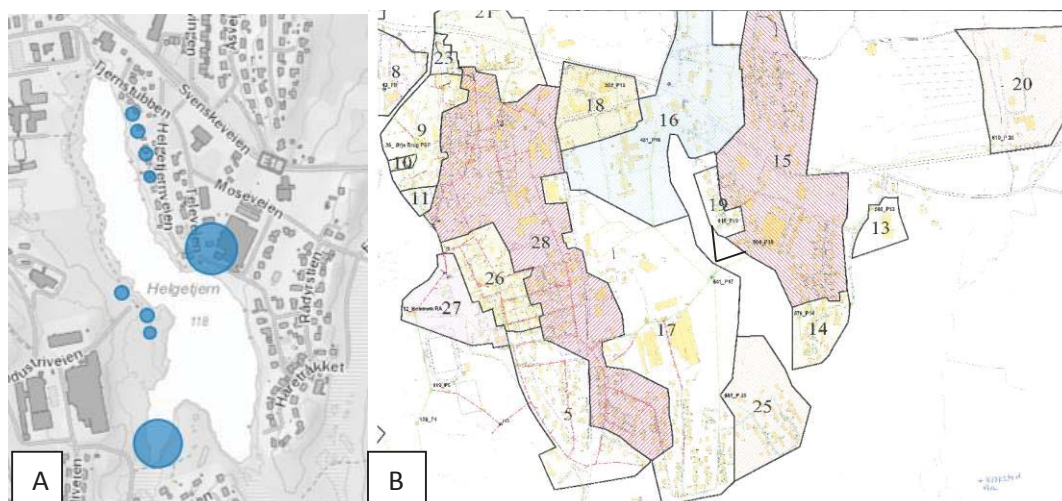
1960. I nyere tid pumpes også vann fra Rødenessjøen til varmpumpe, hvor returvann pumpes ut i nordvestenden av Helgetjern (Pers. medd. Fredriksen, pers. medd. Halvorsrud). I følge kommunen har dette endret isforholdene i Helgetjern (Pers. medd. Fredriksen, Halvorsrud).



Figur 7. KART over Helgetjern 1950 og 2014 med blå sirkler for områder med forurenset grunn (Miljødirektoratet 2015). Kilder kart: Marker Kommune 2015a (venstre), Marker Kommune 2015d (høyre).

4.1.3 Kloakk

Utbyggingen av nedbørsfeltet innebar også direkteutslipp av kloakk til Helgetjern (pers. medd. Fredriksen). Frem til 1976–78 hadde to felles septiktanker for boligfeltene utløp i tjernet, med et utløp i sørvestenden og et utløp på østsiden (Figur 8a). I tillegg var det flere spredte utløp fra industribygg på vestsiden og flere spredte utløp fra private septiktanker nordøst (Figur 8a), (pers. medd. Fredriksen). Den største kloakkpåvirkningen var trolig på 1960- og 70-tallet (Faafeng og Brabrand 1990, Vedlegg B). Kloakktiltak i 1976 og 1978 samlet utslippene fra begge septiktankene og de spredte utløpene fra vestsiden, og ledet kloakken under Helgetjern til renseanlegg med utslipp i hovedvassdraget (Figur 8b) (pers. medd. Fredriksen). Utslipet fra private septiktanker nordøst ble samlet i 1995 via rør under Helgetjern (Figur 8b), (pers.medd. Fredriksen). I dag er det flere pumper rundt Helgetjern, og kloakk fra flere boligområder krysser tjernet (Figur 8b, Vedlegg C).



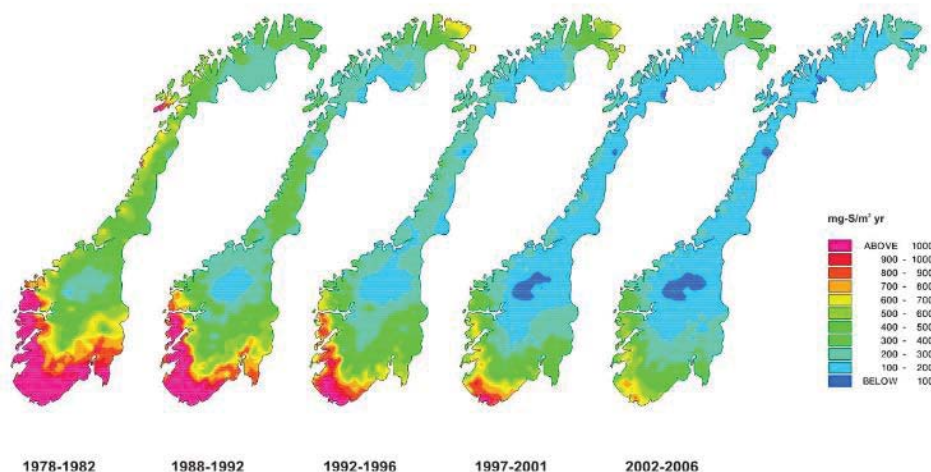
Figur 8 (A) Områder for kloakkutslipp til Helgetjern, omtrentlig tidsperiode 1950–1978, utslipp fra private septiktanker nordøst frem til 1995. Små, blå sirkler viser områder for spredt utløp fra private septiktanker (Pers. medd. Fredriksen). Store, blå sirkler viser områder for utslipp fra felles septiktank (Pers. medd. Fredriksen). **(B)** Lokalisering av de to kloakkrørene under Helgetjern ligger (sorte linjer). Rør lengst sør er anlagt i 1976–78, lengst nord er anlagt i 1995 (Pers. medd. Fredriksen). Numrene representerer pumpestasjoner, hvor pumpe 15 og 19 pumper under Helgetjern til pumpe 17. Fargene representerer området pumpene henter kloakk fra (Marker Kommune 2015b, Vedlegg C). Pumpe 15 mottar også kloakk fra pumpe 14 og 13 og 24 (24 vises ikke i figuren). Kilder kart: A: Marker Kommune 2015d, B: Marker Kommune 2015b.

I følge Faafeng og Brabrand (1990) lekker et rør som krysser tjernet ukjente mengder kloakk. Fortsatt kloakkpåvirkning kommer frem også i inspeksjonsrapport fra Fylkesmannen i Østfold (2014), hvor det påpekes utilfredsstillende håndtering av urensset avløpsvann og slam til Helgetjern via pumpe 15 (Fylkesmannen i Østfold 2014) (se Figur 8 b og Vedlegg C).

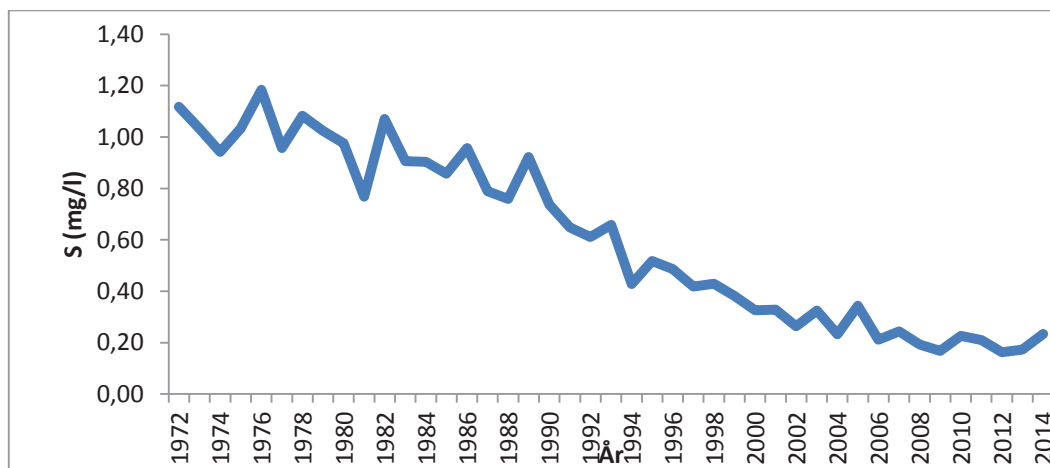
4.2 Regionale drivkrefter i Helgetjern

4.2.1 Atmosfærisk avsetning av sulfat (SO_4^{2-})

Helgetjern faller innunder et av områdene med størst avsetning av sulfat, med nedgang allerede fra 1980-tallet (Figur 9 og 10). Avsetningen økte trolig med økte svovelutslipp allerede fra slutten av 1800-tallet, med høyest belastning fra 1940–1990 og nedgang fra 1980- og 1990-tallet (Schöpp et al. 2003, Bragée et al. 2013b).



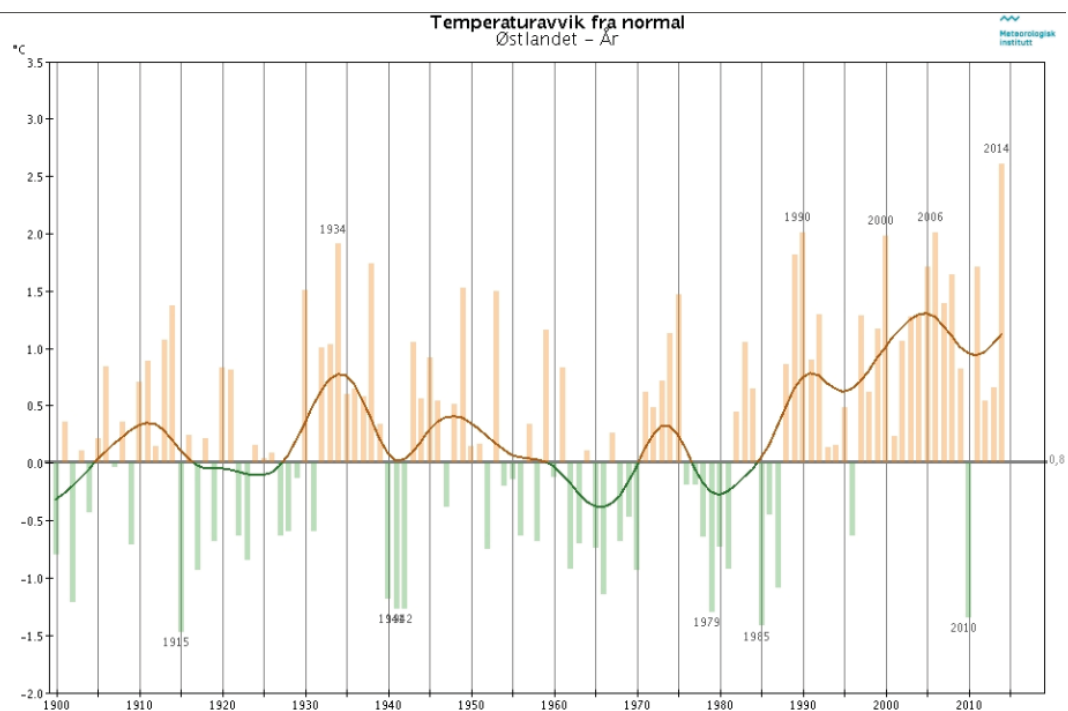
Figur 9. Avsetning av sjøsaltkorrigert svovel 1978–2006 (mg-S/m² år) (Aas et al. 2009, s. 12).



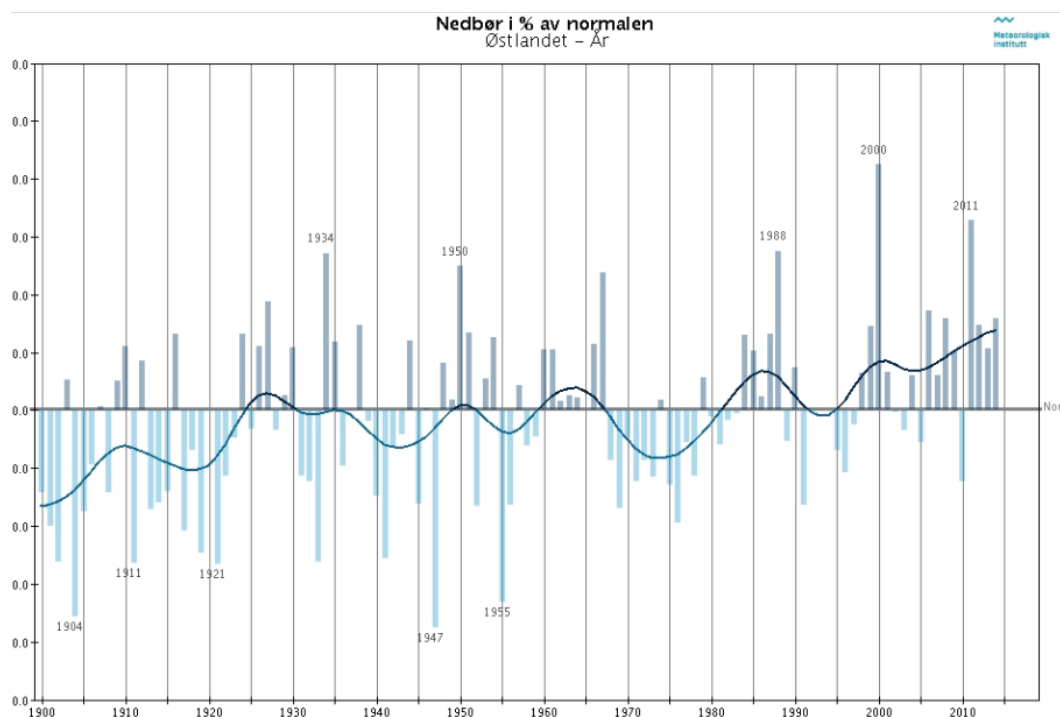
Figur 10. Konsentrasjon av svovel (S mg/l) i nedbør 1972–2014, Løken (Kilde: Aas et al. 2014, NILU 2015) (Vedlegg K).

4.2.2 Temperatur og nedbør

Figur 11 og 12 viser variasjon i temperatur og nedbør på Østlandet for hele tidsperioden 1900–2014. Det har vært høyere temperaturer fra 1988, i tillegg til en avgrenset varmeperiode rundt 1930 (Figur 11) (Meteorologisk Institutt 2015a). Det var mindre nedbør i forkant av 1930, relativt stabil mengde fra 1930–1970 og en periode med mer nedbør fra rundt 1980-tallet (Figur 12) (Meteorologisk Institutt 2015a).



Figur 11. Temperaturavvik fra normal, 1900-2014, Østlandet (kilde: Metereologisk Institutt 2015a).

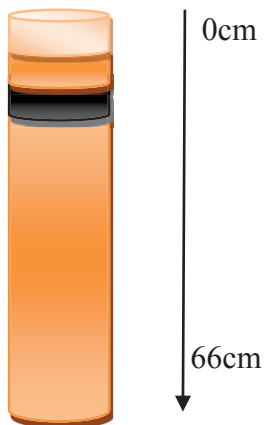


Figur 12. Nedbør prosent av normalen, 1900-2014, Østlandet (Metereologisk institutt 2015a).

4.3 Sedimentanalyse

4.3.1 Beskrivelse av sedimentsøyle

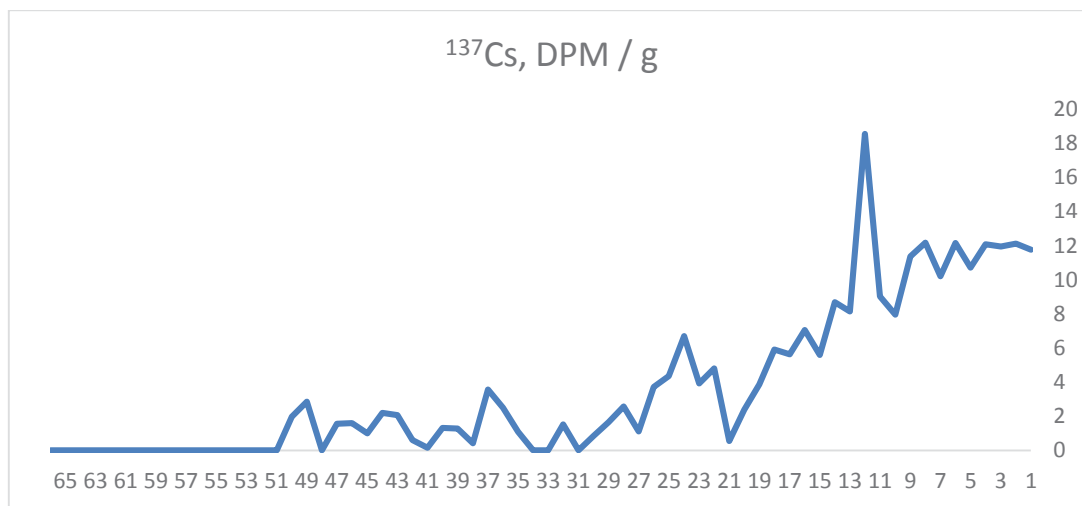
Begge sedimentsøylene hadde en lengde på 66 cm. Øverste del (0 cm) representerer nylig avsatt materiale, mens cm 66 representerer eldste del av sedimentet. Søylene hadde fire fargesjikt (Figur 13). Øverste 19 cm av søylen var delt inn i tre ulike sjikt. Øverste sjikt var lysere brunt (cm 0–4), mens andre sjikt (cm 4 – 10) var mørkere brunsvart og tredje sjikt (cm 10–15) hadde tilnærmet sort farge (Figur 13). Sort farge kan indikere periode med anoksisk bunnvann. Den eldre delen av sedimentsøylen (15–66cm) representerte et lengre, sammenhengende sjikt (Figur 13).



Figur 13. Skjematisk fremstilling av sedimentsøyle fra Helgetjern. Pil viser søylens totale lengde (66 cm) og hva som er den nye (0 cm) og den eldre delen (66 cm) av søylen. Ulike farger indikerer fire ulike sjikt. Mørk farge indikerer periode med sort sjikt, en indikasjon på anoksisk bunnvann.

4.3.2 Datering av sedimentsøyle

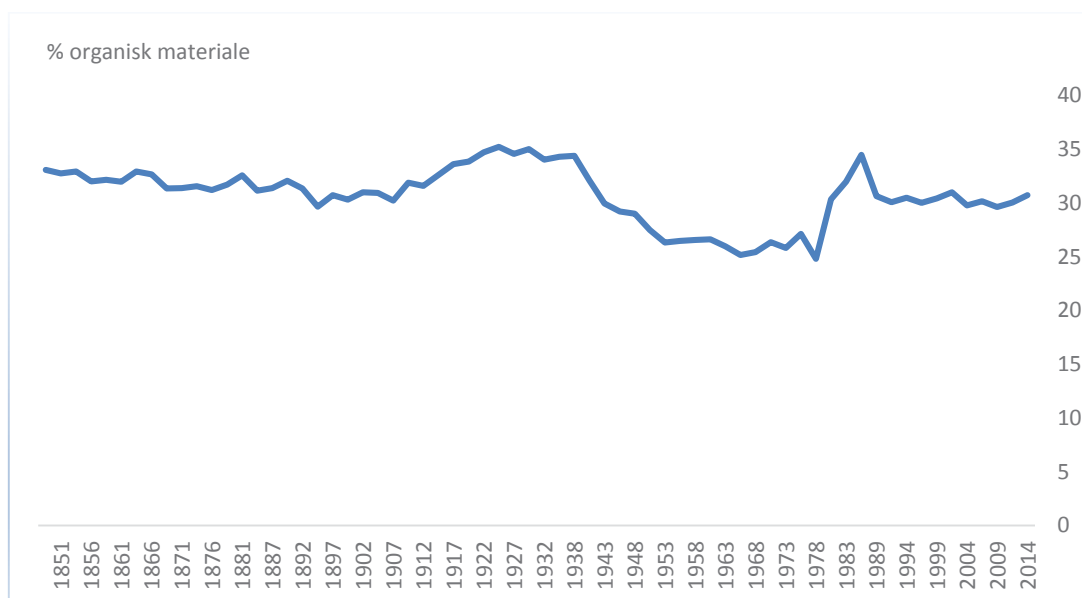
Sedimentsøylen ble datert til å representere tidsrommet 1848–2014. Dette på bakgrunn av tydelig ^{137}Cs topp 12 cm fra sedimentets overflate, noe som indikerer Tsjernobylulykken i 1986 (Figur 14). På bakgrunn av denne informasjonen, ble gjennomsnittlig sedimentasjonshastighet fra 2014–1986 beregnet til 4.4 mm per år, og brukt for å datere hele sedimentsøylen (Kyle et al. 2015b).



Figur 14. Sedimentsøye fra Helgetjern viser ^{137}Cs topp ved 12 cm fra sedimentets overflate, en indikasjon på Tsjernobylulykken i 1986. DPM: Disintegrations Per Minute. (Vedlegg E)

4.3.3 Organisk materiale

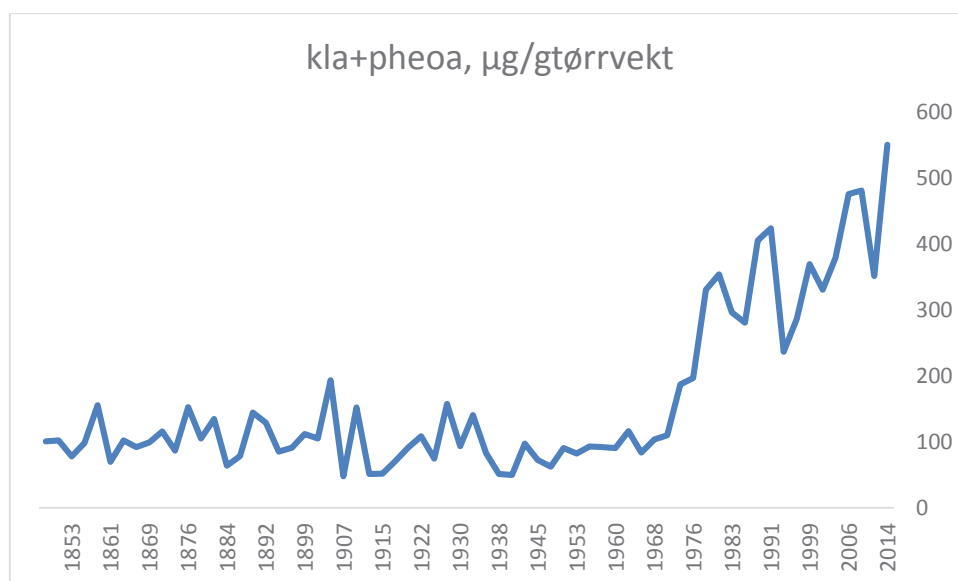
I Helgetjern viser resultatene generelt stor andel organisk materiale i sedimentet. Det fremkommer en tidsperiode med stor variasjon i andel organisk materiale 1910-1990 (Figur 15). Tidsperiodene rundt 1930 og mer avgrenset i 1986 markerer seg som topper, mens 1945 - 1980 markerer seg med lavere andel organisk materiale (Figur 15).



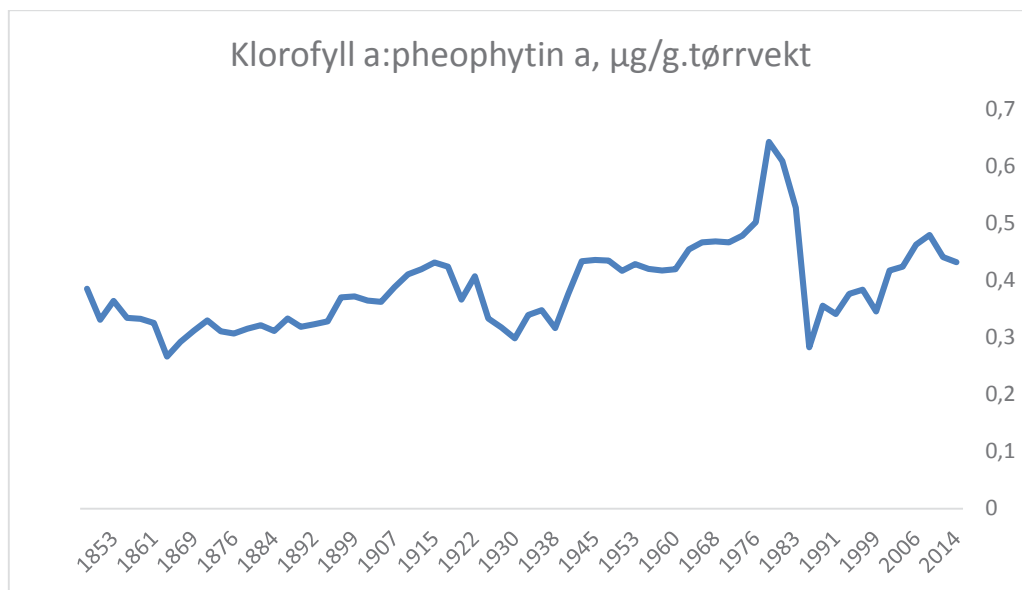
Figur 15. Andel organisk materiale i sedimentet i tidsperioden 1848–2014, Helgetjern (Vedlegg E).

4.3.4 Pigmenter

Sedimentsøylen fra Helgetjern er analysert for 19 pigmenter, hvorav to er nedbrytningsprodukter. Fem av pigmenter ble ikke funnet i sedimentet; klorofyll c1, klorofyll c2, Diadinoxanthin, Dincoxanthin og Myxoxantophyll (for algegrupper se Vedlegg D). Lutein og Chanthaxanthin er kun representert i nyere tidsperiode, mens alle de resterende pigmentene finnes i sedimentkjernen helt tilbake til 1848 (Figur 18). Resultatene viser relativt jevn pigmentkonsentrasjon for alle pigmentene i tidsrommet 1848–1970 (data ikke vist). Klorofyll a (+pheophytin a) øker raskt rundt 1970, med toppunkt rundt 1980-tallet (Figur 16). Fortsatt økning mot 2014 kan regnes som resultat av redusert nedbrytning i øverste sedimentsjikt. Dette betyr at pigmentkonsentrasjonen kan sies å flate ut i etterkant av 1980-tallet (Figur 16). Forholdstallet for klorofyll a og nedbrytningsproduktet pheophytin a (kla:pheoa) viser variasjon i store deler av tidsperioden, med nedgang i rundt 1930 og økning fra 1970-tallet med toppnivå i 1978. Toppnivået etterfulgt av nedgang rundt 1980-tallet (Figur 17). Kla:pheoa sier noe om forholdsmessig omdanning til nedbrytningsproduktet pheophytin. Fordi omdanning til pheophytin er avhengig av oksygen, kan toppnivå rundt 1978 indikere lite oksygen i bunnvannet (Reuss et al. 2005).

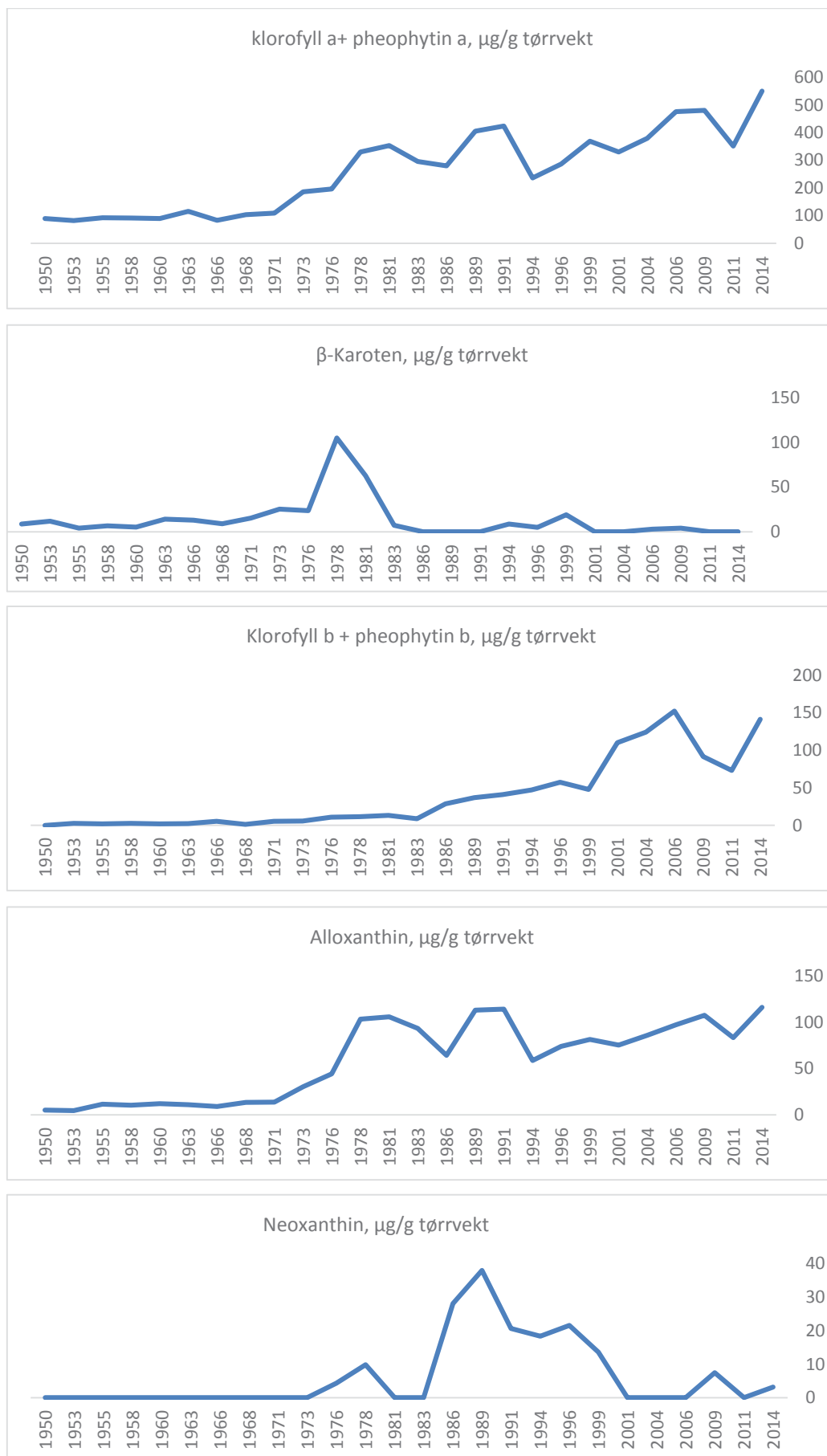


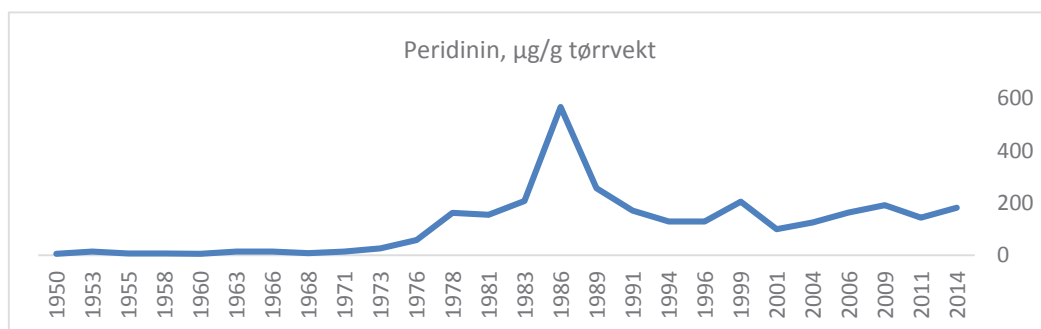
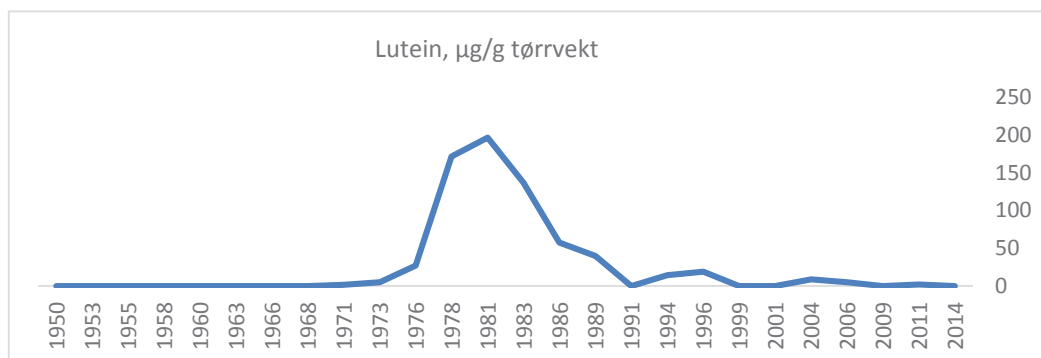
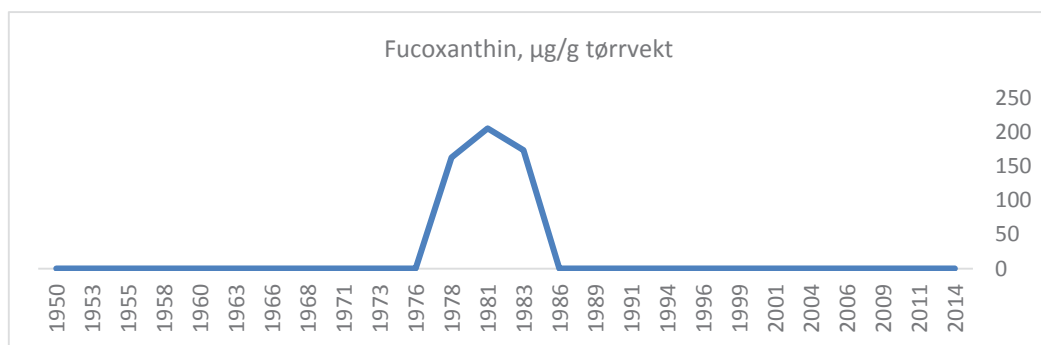
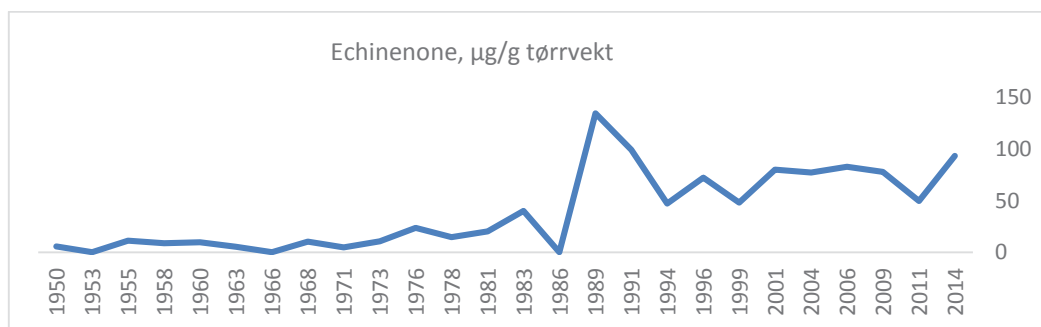
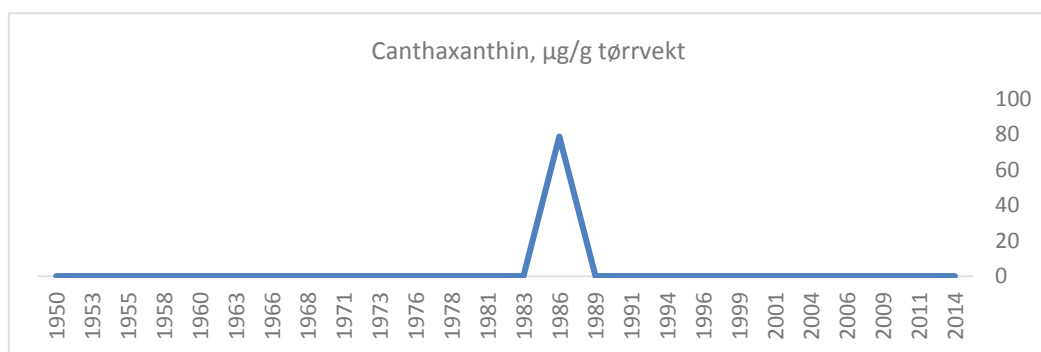
Figur 16. klorofyll a + nedbrytningsproduktet pheophytin (μg per gram tørrvekt sediment) i sedimentet i tidsperioden 1848–2014 (Vedlegg F).

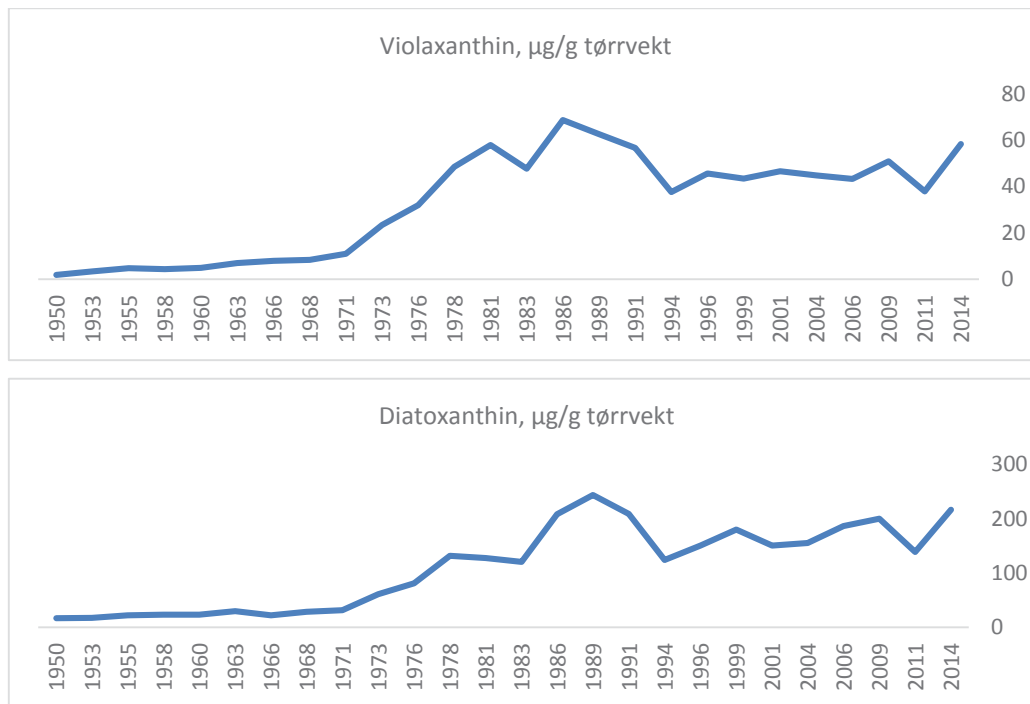


Figur 17. Forholdstall for klorofyll a og nedbrytningsproduktet pheophytin a, (kla:pheoa) over tid i Helgetjern, 1848–2014, µg pigment per g. tørrvekt sediment (Vedlegg F).

Flere av enkeltpigmentene følger samme trend som vist av klorofylla+ pheophytin a (Figur 16 og 18). Resultatene indikerer imidlertid variasjon i når de ulike pigmentene danner toppnivåer (Figur 18). Samtidig tyder resultatene på at det er variasjon i hvorvidt enkeltpigmentene går tilbake eller fortsetter å vise høye konsentrasjoner frem mot 2014. Eksempelvis går Fucoxanthin, β -karoten og lutein tilbake etter den bratte økningen rundt 1970–80-tallet, mens violaxanthin, echinenone og klorofyll b fortsetter mer stabile konsentrasjoner i etterkant av den raske økningen (Figur 18).







Figur 18. Pigmenter (µg/g tørrvekt sediment) i Helgetjern, 1950–2014 (Vedlegg F). Klorofyll a + pheophytin a representerer alle fotosyntetiske alger og høyerestående planter, mens β-karoten representerer de fleste alger og høyerestående planter (Reuss 2005). De resterende enkeltpigmentene er spesifikke for ulike algegrupper (Reuss 2005):

Alloxanthin: svelgflaggelater. *Canthaxanthin*: kolonidannende cyanobakterier.

Ecinenone: cyanobakterier. *Klorofyll b*: grønnalger, øyealger, høyerestående planter.

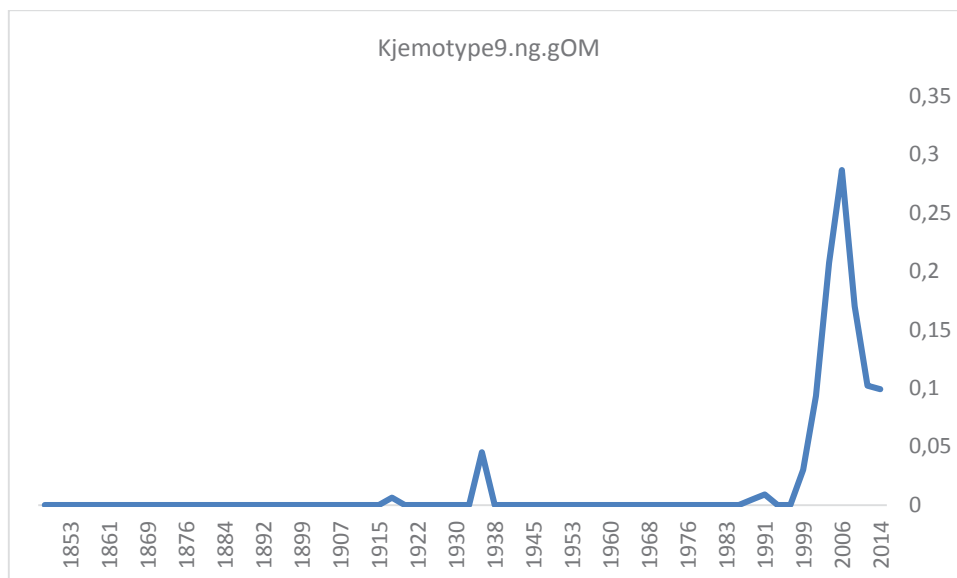
Fucoxanthin: kiselalger, svepeflaggelater, dinoflaggelater og gullalger. *Peridinin*:

dinoflaggelater. *Lutein*, *Neoxanthin* og *Violaxanthin*: grønnalger, øyealger, høyerestående

planter. *Diatoxanthin*: kiselalger, dinoflaggelater, gullalger (Reuss 2005, s.11) (Vedlegg D).

4.3.5 Planktothrix DNA

Resultatene viser fremvekst av *Planktothrix* kjemotype 9 siste halvdel av 1990-tallet (Figur 19). Kjemotype 1, 5 og 7 ble ikke funnet (Vedlegg G), og kjemotype 9 er dermed eneste kjemotype som ble funnet i Helgetjern, til tross for at nærliggende vannforekomster har flere kjemotyper (Kyle et al. 2015b).



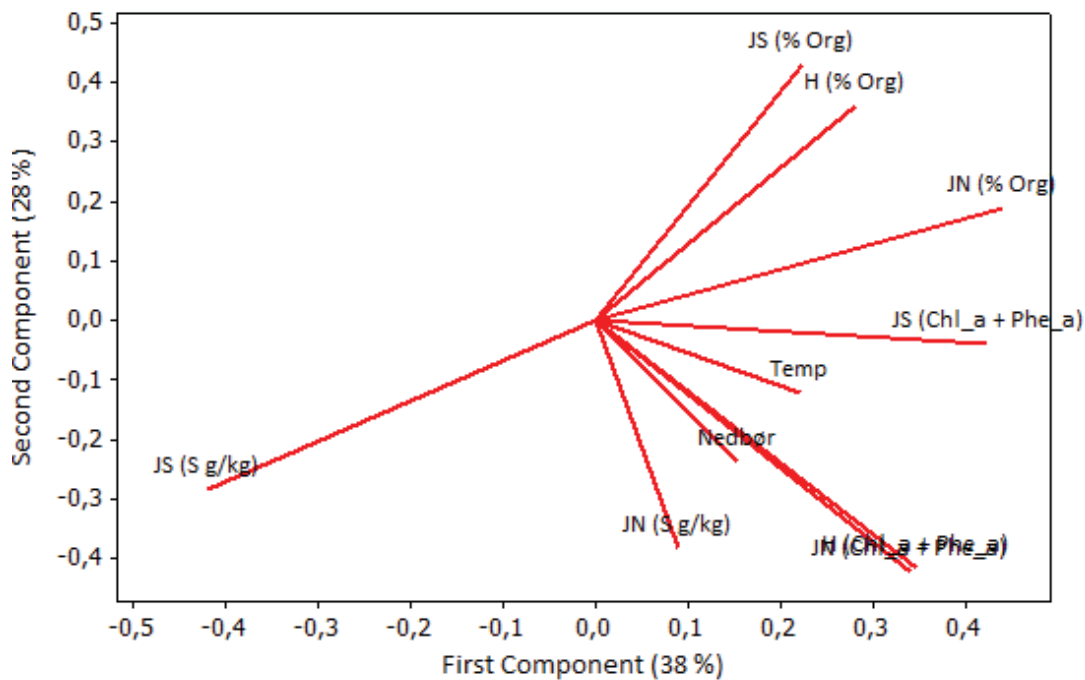
Figur 19. DNA fra *Planktothrix* kjemotype 9 (ng/g/organisk materiale) i sedimentsøyle fra Helgetjern, tidsperioden 1848-2014 (Vedlegg G).

5. Statistisk analyse

5.1 Principal Component Analysis

Prinsipalkomponentene PC1 og PC2 forklarer til sammen 66 % av variasjonen i datasettet (Figur 20), med egenverdier på 3,8 og 2,7 (Vedlegg I). Variabler som orienterer seg sammen indikerer positiv korrelasjon, mens orientering i motsatt retning indikerer negativ korrelasjon (Figur 20) (se også Vedlegg J). Vinkelrette variabler antyder mangel på korrelasjon. Analysen indikerer at organisk materiale og klorofyll orienterer seg i ulike retninger i Helgetjern, noe som indikerer at det er flere styrende faktorer for variasjon i andel organisk materiale (Figur 20). Videre ligger temperatur og nedbør tett til klorofyll a + pheophytin a, som tyder på at klima kan være en viktig drivkraft for økt algetetthet.

Analysen viser at klorofyll a (+pheophytin a) i Helgetjern orienterer seg sammen med klorofyll a (+ pheophytin a) i Jarenvatnets nordlige basseng (Figur 20). Videre orienterer organisk materiale i Helgetjern seg tett mot organisk materiale i Jarenvatnets sørlige basseng. Svovelinnhold i sedimentet er kun testet for Jarenvatnet, hvor resultatene tyder på negativ korrelasjon med andel organisk materiale (Figur 20).



Figur 20. Prinsipl komponent analyse av organisk materiale (% Org), klorofyll a + pheophytin a (Chl_a+Phe_a), Nedbør, temperatur (Temp) og svovel (S). Analysen inkluderer flere vann for å teste for regionale drivkrefter: Helgetjern (H), Jarenavatnet nordlige basseng (JN) og Jarenavatnet sørlige basseng (JS). Svovel (S) i sediment er kun testet i Jarenavatnet (Vedlegg H, I, J).

6. Diskusjon

6.1 Datausikkerhet

Det knytter seg flere utfordringer til bruk av historisk informasjon om lokale og regionale drivkrefter. Dette gjelder omtrentlige tidsperioder og mangel på kvantitative data. For eksempel er tidlige arealendringer i stor grad basert på regionale utviklingstrender (f.eks. Dalene 1961, Nilsen 1982, 2007, 2008), og kan ikke med sikkerhet knyttes til det aktuelle nedbørsfeltet. Det samme gjelder også informasjon om klima og sulfatavsetning (Aas et al. 2009, Meteorologisk Institutt 2015a, 2015b, NILU 2015). Videre kan ikke drivkrefter som kloakkutslipp eller fortynning uttrykkes kvantitativt, og tallmateriale for sulfatavsetning nedbør som er brukt i denne oppgaven, starter først fra 1972.

Når det gjelder sedimentanalysene, kan det stilles spørsmål ved hvorvidt sedimentasjonsraten har endret seg med variasjonen i alloktont og autoktont organisk materiale, med kloakk, økt andel tette flater og variasjon i klima. Det kan dermed diskuteres hvorvidt bruk av andre

dateringsmetoder i sammenligning med ^{137}Cs kunne gitt sikrere datering av søylen, for eksempel ^{14}C eller ^{210}Pb . Dateringsusikkerhet er en viktig utfordring med tanke på å kunne knytte variasjonen til konkrete drivkrefter og til å kunne sammenligne med andre vannforekomster. Videre gjenspeiler variasjon i sedimentet ikke nødvendigvis faktiske endringer i vannfasen, og det kan stilles spørsmål ved hvorvidt én søyle representerer hele vannforekomsten. Mange faktorer som påvirker hvor mye autoktont eller alloktont organisk materiale som brytes ned, transporteres bort eller sedimenterer og lagres i sedimentet (Leavitt og Carpenter 1990, Descy et al. 1999, Wetzel 2001, Reuss 2005, Reuss et al. 2005, Eksström et al. 2011). Eksempler er bioturbasjon, artssammensetning av herbivorer, sjiktningsforhold, oppholdstid eller lys- og oksygenforhold (Leavitt 1993, Henriksen et al. 2002, Reuss et al. 2005, Greisberger og Teubner 2007). Et spørsmål er dermed hvordan disse faktorene har variert over tid og påvirket variasjonen i sedimentet. Her er informasjonen mangelfull. Det er kjennskap til endring i beitepress som følge av rotenonbehandlingen (Faafeng og Brabrand 1990), men denne effekten var trolig kortvarig. Det er også kjennskap til anleggelse av rør under vannet, som kan ha forstyrret sedimentet på prøvetakingsstedet (Figur 4 og 8b). Figur 17 gir et bilde av varierende oksygenforhold i Helgetjern, med indikasjon på spesielt lav omdanning til pheophytin rundt 1980. Dette kan være indikasjon på lave oksygennivåer i bunnvannet, noe som styrkes av observert sorte sjikt i sedimentet 10–15cm (Figur 13). 10–15cm tilsvarer tidsrommet 1978–1991 (Vedlegg E). Dette sammenfaller med Skulbergs oksygenregistreringer i Helgetjern, som viser lav oksygenmetning i bunnvannet i juli og august (Skulberg 1979). Lys- og oksygenforholdene har antagelig blitt redusert som følge av mye organisk materiale – som igjen trolig kan knyttes til høy algetetthet (Figur 16), tilførsel av kloakk (Figur 8a) og alloktone tilførsler. Varierende lagringsforhold kan tenkes å påvirke resultatene og svekke konklusjonene i denne oppgaven. Resultatene tilsier imidlertid at økningen i pigment rundt 1970 ikke utelukkende er et resultat av endring i oksygenforhold, ettersom enkeltpigmentene følger ulik utvikling (Figur 18) (Leavitt og Findlay 1994) og fordi økt pigmentkonsentrasjon sammenfaller med registreringer av høy algetetthet i vannfasen (Skulberg 1980, 1979, Faafeng og Brabrand 1990). Oksygensvinn kan trolig heller ikke forklare hele økningen i andel organisk materiale rundt 1986, både som følge av økningen i autokton produksjon (Figur 16), men også som følge av at informasjon om lokale og regionale drivkrefter i denne oppgaven viser at flere drivkrefter kan være gjeldende (Figur 8a, Figur 10, Figur 20). Drivkrefter til endring i organisk materiale, pigment og *Planktothrix* diskuteres nærmere i delkapittelene nedenfor.

6.2 Organisk materiale - drivkrefter til variasjon

Kilden til organisk materiale i Helgetjern har sannsynligvis variert over tid, og kan ikke utelukkende forklares av variasjon i algetetthet. Dette fordi variasjonen i organisk materiale i tidsrommet 1910-1960 (Figur 15) vanskelig kan knyttes til endring i mengde pigment (Figur 16) og dermed ikke kan forklares utelukkende av variasjon i autokton produksjon. Dette bekreftes av statistisk analyse, ettersom klorofyll og organisk materiale ikke orienterer seg sammen (Figur 20). Dette gir mulig grunnlag for en hypotese om at variasjonen i andel organisk materiale fra 1848-1970 i større grad skyldes variasjon i alloktone tilførsler - med regionale endringer som hoveddrivkraft for denne variasjonen. Videre stammer trolig organisk materiale i etterkant av 1970 i større grad fra økt autokton produksjon, hvor hoveddrivkrefter i større grad kan knyttes til lokale påvirkninger i nedbørsfeltet.

Drivkrefter til økning rundt 1930-tallet. Det er kjent at det i denne perioden var endret landbruksaktivitet (Hannås 1937, Nilsen 2007), økt avvirkning og grøftetiltak på regional skala (Dalene 1961, Nilsen 2007). Dette kan ha bidratt til økt avrenning av alloktont organisk materiale (Ecke 2008, Leipstö et al. 2008, Laudon et al. 2009, Bragée et al. 2013b). I tillegg viser Figur 11 at 1930 faller innunder en periode med regionalt høyere temperaturer, som kan ha ført til økt dannelse og transport av alloktont materiale eller økt autokton produksjon i vannet. Ettersom flere av resultatene gir indikasjon på små endringer i denne perioden, herunder pigmentet echinenone (data ikke vist), kjemotype 9 (Figur 19) og forholdstall (Figur 17), kan dette tyde på at det har skjedd endringer i dette tidsrommet. Flere analyser må gjennomføres for å vurdere dette.

Drivkrefter til nedgang 1945–1980. Tidligere paleolimnologiske studier i andre vannforekomster viser nedgang i totalt organisk karbon (TOC) og redusert andel alloktont organisk materiale i samme tidsperiode (Bragée et al. 2013b). Nedgangen sammenfaller med antatt tidsperiode med størst påvirkning fra svovelutslipp – hvor belastningen var størst i tidsrommet 1940-1980/95 (Schöpp et al. 2003, Bragée et al. 2013b). En hypotese er dermed at nedgangen i organisk materiale kan forklares av sulfatavsetning. Denne hypotesen styrkes videre av PCA-resultatene i denne oppgaven. For det første indikerer PCA at klima ikke kan forklare variasjonen i organisk materiale (Figur 20). Videre bidrar sammenligningen med Jarenvatnet til å styrke hypotesen om sulfatavsetning som hoveddrivkraft for variasjon i organisk materiale. Dette fordi PCA antyder negativ korrelasjon mellom svovel i sedimentet og organisk materiale i Jarenvatnets sørlige basseng (Figur 20). Dette kan tyde på at økt sulfatavsetning er hoveddrivkraft for redusert tilførsel av alloktont organisk materiale i

Jarenavatnets sørlige basseng (Sørli 2015), noe som trolig kan forklares av det organiske materialets lavere mobilitet (Ekström et al. 2011). Ettersom andel organisk materiale i Helgetjern og Jarenavatnets sørlige basseng orienterer seg likt i PCA analysen, kan resultatene indikere at avsetning av sulfat har vært viktig drivkraft for nedgangen i organisk materiale også i Helgetjern. En tilleggsforklaring kan være at forsuring kan redusere andelen av det alloktone organiske materialet som sedimenterer, for eksempel som følge av mindre molekylær vekt (Ekström et al. 2011). Dette, eller andre faktorer (f.eks. klima) som påvirker hvor stor andel av organisk materiale som transporteres eller brytes ned i vannfasen, gjør at nedgangen i sedimentet ikke nødvendigvis bare kan forklares av redusert tilførsel. Andre potensielle drivkrefter kan være effekter av global dimming på produksjon, transport eller nedbrytning av alloktont organisk materiale (Michell og Johns 1997, Stanhill og Cohen 2001) eller redusert transport som følge av grøftetiltak rundt 1930 (Åström et al. 2001, McTiernan et al. 2001).

Drivkrefter til økning 1980-tallet. Dersom sur nedbør kan forklare mye av variasjonen i organisk materiale i de eldste delene av sedimentsøylen, kan et sentralt spørsmål være i hvilken grad reduksjon i sulfatavsetning har påvirket vannet (Figur 10). Flere andre studier viser til økning i alloktont organisk materiale i nyere tid (Bragée 2013, 2013b, Graneli 2012), med store konsekvenser for innsjøens fysiske, biologiske og kjemiske miljø (se f. eks. Wetzel 2001, Tranvik og Wachenfeldt 2009, Read og Rose 2013). Økte alloktone tilførsler som følge av redusert sulfatavsetning, kan være en av drivkreftene til økningen i andel organisk materiale også i Helgetjern. Et annet spørsmål er i hvilken grad klimaendringene i nyere tid (Figur 11 og 12) har påvirket produksjon, nedbrytning og transport av allokton organisk materiale til Helgetjern (Schindler et al. 1996, Tipping et al. 1999, Zhang et al. 2010). PCA antyder imidlertid at klima ikke er en viktig drivkraft for variasjonen i organisk materiale. Resultatene tyder på at økningen i andel organisk materiale i denne tidsperioden i større grad sammenfaller og kan forklares av økt autokton produksjon (Figur 15 og 16). Effekten av endret mengde og kvalitet på alloktont organisk materiale som følge av klima og redusert sulfatavsetning, kan i Helgetjern ha blitt begrenset av utbygging av nedbørsfeltet, hvor avrenningen i mindre grad har kontakt med hummusrike overflater (Tollan 2002, Hood et al. 2006). Dette kan være en av forklaringene til at andelen organisk materiale i sedimentet er lik i dag som i de eldste delene av søylen (Figur 15), tross høyere autokton produksjon og økt mobilitet til allokton organisk materiale. Et motspørsmål til dette er imidlertid hvorvidt temperaturøkningen (Figur 11) har ført til økt mineralisering av organisk materiale i vannet,

slik at mengden i sedimentet ikke gjenspeiler faktisk økning i vannfasen. Organisk materiale fra autoktone kilder mineraliseres ofte raskere enn organisk materiale fra alloktone kilder (Wetzel 2001), noe som kan ha ført til at den andelsmessige økningen i autoktont organisk materiale ikke fremkommer i sedimentets innhold av organisk materiale.

6.3 Pigment – drivkrefter til variasjon

Med relativt jevn konsentrasjon og sammensetning av algegrupper i hele tidsperioden 1848-1970, kan økningen på 1970-tallet representere starten på endringer i tetthet og sammensetning som er gjeldende helt frem mot 2014 (Figur 16 og 18). Endringen i pigmentkonsentrasjon indikerer rask økning i algetetthet rundt 1970 (Figur 16). Økningen sammenfaller med stor menneskelig påvirkning, både i form av at skogen erstattes med boligfelt, lokalveier blir anlagt, industriaktivitet oppstår og at det slippes ut økende mengder kloakk (Figur 8a). Økt næringstilgang kan trolig skilles ut som en sannsynlig drivkraft bak den raske algeveksten i denne tidsperioden, ettersom kloakkbelastningen trolig var størst på 1960- og 1970-tallet (Faafeng og Brabrand 1990) (Figur 8a, Vedlegg B). PCA indikerer imidlertid at klima også er viktig drivkraft for variasjon i klorofyll a (+pheophytin a) (Figur 20). Dette kan bidra til forklare hvorfor Jarenvatnet og Helgetjern viser like trender for klorofyll a (Figur 16 og 20), til tross for at kun Jarenvatnet anses som betydelig landbrukspåvirket (Faafeng et al. 1982, Løvik og Romstad 2007). Det kan også stilles spørsmål ved i hvilken grad næringsstofftilførsel fra jordbruk har hatt betydning for Helgetjern, både som følge av jordbruksområdene i nedbørsfeltet (Figur 5), men også som følge av tidvis innløp fra Haldenvassdraget. Resultatene viser imidlertid at store deler av jordbruksområdene i nedbørsfeltet er lagt om til annen bruk i nyere tid (Økonomiske kart 1966, Nilsen 2007, Reguleringsplan 20000001) (Vedlegg B), og at det er en utfasing i pigmenttetthet i etterkant av kloakktiltak (Figur 16). Dette bidrar til å styrke hypotesen om kloakk som hoveddrivkraft. Et spørsmål er imidlertid hvorfor algemengden flater ut og ikke reduseres som følge av betydelige kloakktiltak. Dette kan være en effekt av fortsatt kloakkbelastning, som også fremkommer for området (Fylkesmannen i Østfold 2014). Videre kan det gå tid mellom tiltak og effekt, slik at en kan forvente synlige effekter senere (Duarte et al. 2009). Viktig er også at dette kan være en effekt av at klima, slik statistisk analyse i denne oppgaven indikerer (Figur 20). Dette illustrerer at det originale systemet trolig ikke kan rekonstrueres ved å kun redusere næringsstoffer – at reversering kan være vanskelig som følge av ikke-lineære sammenhenger, flere samtidige endringer og flere drivkrefter (se for eksempel Duarte et al. 2009, Bennion et al. 2011, Scheffer og Carpenter. 2003).

Mulig endring i sammensetning fremkommer av at noen av pigmentene viser toppunkt til ulike tider, samtidig som de ulike pigmentene viser ulike trender frem mot 2014 (Figur 18). Indikasjonene på endring i sammensetning kan mulig styrkes av at β -karoten viser nedgang mot 2014, til tross for at karotenoidet regnes som generelt for de fleste alger og høyerestående planter og har høy kjemisk stabilitet (Reuss 2005). Mulig endring i algesammensetning fremgår også av resultatene for *Planktothrix* i denne oppgaven. Dette diskuteres videre i delkapittelet nedenfor.

6.4 *Planktothrix* – drivkrefter til variasjon

Resultatene viser funn av kjemotype 9 i sedimentet, med rask økning fra 1990-tallet (Figur 19). En mulig forklaring på at *Planktothrix* fremkommer i etterkant av generell algevekst (Figur 16), kan være at høy tetthet av alger har påvirket lysforhold i vannet. *Planktothrix* har evne til å ha høy vekstrate ved lite lys, samtidig som den kan regulere den vertikale posisjonen i vannfasen (Walsby 2005). Dette kan ha gjort *Planktothrix* konkurransedyktig i forhold til andre fytoplanktongrupper ved dårlige lysforhold (van Liere og Mur 1979), samtidig som den har evne til å tilpasse seg redusert tilgang på næringsstoffer etter kloakktiltakene ved å regulere posisjon i vannfasen (Wetzel 2001, Walsby 2005). Det er også interessant at det kun er funnet en kjemotype i Helgetjern, mens det i andre nærliggende vannforekomster er funnet flere kjemotyper. Genetisk analyse har tidligere vist forekomst av andre kjemotyper i vannforekomster på Østlandet, for eksempel i Bjørkelangen (Kj 9,7,5), Gjersjøen (Kj 9,7,5,1) og Kolbotnvannet (kjt 9, 1) (Sogge et al. 2013, Kyle et al. 2015b). Dette kan indikere at spredning ikke er den begrensende faktoren (Kyle et al. 2015b), men at forhold internt i Helgetjern kan forklare at de andre kjemotypene ikke finnes i vannet (Kyle et al. 2015b).

Et spørsmål er hvorfor resultatene ikke viser funn av myxoxanthofyll (Vedlegg F) i sedimentet, et pigment knyttet til *Planktothrix* (Komárek og Komárková 2004). Mulige forklaringer kan være at myxoxanthofyll ikke finnes i alle kjemotyper eller at pigmentets konsentrasjon varierer med miljøforhold (se f. eks. Wetzel 2001, Henriksen et al. 2002). Et annet sentralt spørsmål er hvorfor Skulbergs registreringer av vannblomst (Skulberg 1980, 1979) ikke fremkommer i DNA resultatene (Figur 19). En mulig hypotese på hvorfor DNA-resultatene ikke gjenspeiler oppblomstringen på 1970-tallet, kan også være at dette var en annen kjemotype enn de fire som er testet for i denne oppgaven, og at det dermed har vært et skifte i hvilken kjemotype som er i vannet. Dersom dette er tilfellet, har Helgetjern både hatt

variasjon i tetthet og sammensetning av *Planktothrix* over tid. Flere studier er nødvendig for å finne hva som eventuelt er drivkreftene bak dette skiftet.

6.5 Veien videre

Manglende datagrunnlag i Helgetjern gjør at det er behov for bedre kartlegging av grunnlaget for klassifisering av økologisk tilstand. Det er behov for videre kartlegging av kloakkbelastning, og videre overvåkning av forsureffekter og klima. Denne oppgaven viser også flere områder med forurenset grunn i nedbørsfeltet, og at det kan være behov for bedre kartlegging av dette. Videre paleolimnologiske studier for å teste hypotesen om varierende sammensetning av *Planktothrix* kjemotyper, og hva som kan ha vært styrende faktorer for dette i Helgetjern. Hvorfor det kun er funnet én kjemotype kan ved videre studier si noe om viktige forhold i Helgetjern, men også bidra til ny kunnskap på større skala.

Resultatene i denne oppgaven indikerer at sedimentkjernen er for kort til å kunne skille ut en tidsperiode før menneskelig påvirkning og for kort til å si noe om hvordan organisk materiale og pigment har variert naturlig. Menneskelig påvirkning i nyere tid skiller seg allikevel ut som spesielt omfattende, ikke bare i form og omfang, men også som følge av varigheten av påvirkningen. Noen av endringene er så store og langvarige at det er mulig å stille seg spørsmål om hvorvidt innsjøen i dag representerer det samme systemet som før 1950. Dette kan illustrere at informasjon om naturtilstand kan være et nyttig referansepunkt, men at flere faktorer gjør reversering til et uoppnåelig forvaltningsmål. Dette på grunn av ikke-lineære årsakssammenhenger, men også fordi andre samfunnsinteresser (i hovedsak boliger og lokalveier) har bidratt til total endring av nedbørsfeltet.

Eksempelvis påpeker tidligere studier at skogen i nedbørsfeltet danner grunnlaget for relativt langvarig stratifisering i Helgetjern (Faafeng og Brabrand 1990). Med dette premisset, vil utbyggingen og vegetasjonsendringene som følge av historiske hogstperioder, samt utbyggingen av nedbørsfeltet fra 1950–1990 potensielt ha bidratt til å redusere tidsperioder med stratifisering av innsjøen. Mens hogstperioder representerer kortere tidsrom, representerer effekten av utbyggingen mer langvarige endringer. I tillegg kan variasjon i kvalitet og tilførsel av alloktont organisk materiale, samt variasjon i autokton produksjon, ha påvirket stratifiseringsforholdene som følge av endret lyspenetrering (Wetzel 2001, Read og Rose 2013). Sjøtning kan være av stor betydning for sammensetningen av alger, for eksempel som følge av endret lys- og næringstilgang, endring i dominerende tapsprosesser og tilgang på vertikale habitater i vannfasen (Wetzel 2001).

Klimaendringer som viktig drivkraft kan bidra til å redusere effekt av lokale tiltak. Redusert effekt av tiltak understrekes ytterligere av at klima kan variere både naturlig og som følge av menneskeskapt påvirkning. Samtidig indikerer resultatene at det er viktig å inkludere flere faktorer i forståelsen av økt algemengde, slik at et ensidig fokus på næringsstoffer kan være for enkelt. Klima som viktig drivkraft illustrerer også viktigheten av samarbeid på tvers av kommuner og regioner, slik det tilrettelegges for gjennom vanndirektivet. Det er behov for flere paleolimnologiske studier, både fordi langtidsdata om enkeltvannforekomster ofte mangler, men også for å sammenligne på større skala og bedre vurdere regionale trender.

7. Konklusjon

Resultatene indikerer at det er stor variasjon i andel organisk materiale i sedimentet i tidsperioden 1910-1990. 1925-1938 og 1986 markerer seg som topper, mens 1945-1980 markerer seg med lavere andel organisk materiale. Drivkreftene til variasjon i organisk materiale kan knyttes både variasjon i alloktone tilførsler og i endret autokton produksjon, med hoveddrivkrefter både på lokal og regional skala. Økningen rundt 1930 kan mulig knyttes til arealendringer i nedbørsfeltet eller temperaturøkning, men flere studier er nødvendig for å vurdere dette. Nedgangen i organisk materiale fra 1945 kan trolig knyttes til avsetning av sulfat, og dermed regionale menneskeskapte trender. Videre indikerer resultatene at økningen rundt 1980 i større grad kan knyttes til lokale drivkrefter som kloakkutslipp og boligfeltutvikling, men at også regionale drivkrefter kan ha vært viktige, herunder redusert sulfatavsetning og klimaeffekt på autokton produksjon. Organisk materiale fremkommer som andelsmessig lik i 2014 som på 1800-tallet, men det er allikevel sannsynlig at kilden til organisk materiale har forandret seg over tid.

Resultatene tyder på at tetthet og sammensetning av alger har vært relativt stabil fra 1848-1970. Resultatene tyder på en rask endring i tetthet og sammensetning av alger rundt 1970. Hoveddrivkraft til økt algemengde kan knyttes både til lokale og regionale drivkrefter, hvor kloakk og klima fremstår som viktigst. Videre indikerer resultatene at algemengden er lik i dag som rundt oppblomstringene av cyanobakterier på 1970-tallet, til tross for betydelige kloakktiltak. En mulig forklaring på dette kan være at klima fremkommer som viktig drivkraft for trofi. Resultatene indikerer imidlertid at den like algemengden har en annen sammensetning, både fordi enkeltpigmentene viser ulike trender frem mot 2014, men også fordi resultatene indikerer et skifte i både tetthet og kjemotypsammensetning av *Planktothrix*.

Det ble kun funnet DNA fra *Planktothrix* kjemotype 9 i sedimentet, med fremvekst fra 1990-tallet og fortsatt forekomst i 2014.

Forvaltningsmessig illustrerer denne oppgaven hvordan paleolimnologi gir tilgang til langtidsdata om individuelle vannforekomster, som ofte ellers ikke er tilgjengelig. Videre illustrerer oppgaven at menneskelig påvirkning i etterkant av 1950 skiller seg ut i form av å føre til omfattende endring både av nedbørsfeltet og av responsmekanismene i innsjøen. Resultatene indikerer at det er mulig å stille seg spørsmål om hvorvidt innsjøen i dag representerer det samme systemet som før 1950. Dette kan illustrere at informasjon om naturtilstand kan være et nyttig referansepunkt, men at reversering kan være et uoppnåelig forvaltningsmål. Videre kan resultatene i denne oppgaven antyde at et ensidig fokus på næringsstoffer kan være for enkelt i forståelsen av algeoppblomstringer, og bidra til urealistiske forventninger til effekter av tiltak. Det er behov for bruk av paleolimnologisk metode i flere vannforekomster både for å øke innsjøspesifikk kunnskap, definere naturtilstand og forvaltningsalternativer, men også for å øke forståelsen av prosesser på større skala.

8. Referanser

Aas, W., Solberg, S., Yttri, K.E., Larssen, T. og Wright, R. 2009: Langtransporterte luftforurensninger og effekter i Norge— status og fremtidsutsikter. Norsk institutt for luftforskning, NILU for Statens Forurensningstilsyn, SFT TA 2576, 2009. Rapportnr. OR 52/2009. 45 s. Tilgjengelig på:

<http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2576/ta2576.pdf> , 17. 11. 2015.

Aas, W., Solberg, S. og Yttri, K. E. 2014: Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsler 2013. Norsk Institutt for Luftforskning, NILU. 108s.

Tilgjengelig på: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M203/M203.pdf>, 10.12.2015.

Artsdatabanken 2015: Species Map Service 1.6. Tilgjengelig på:

<http://artskart.artsdatabanken.no/FaneKart.aspx#&&8AMAwlZdoMMDFzbruj1lasZgL41DwKhyjjK/IXVJO5LZ3dE5hQzXfCL1XoVodakuLYBOszU5Pv3iCGddE0HiIm+In0vfMfloQmTFSftM9uNfX/ZoJ7XT0IMuLpJ60mdB/Wh1r/QGSNH5SJvqSmTt8Wqjj3zr8bFzxxWIa9wsNEZOTkS97cWtV2zlE/YfOaTKlA5X33FZdMpcToCKQI8akXXaaVhzJyox5vnQpxY2KPRsuoCJeDlgttijuSI67/zXmN0a5WLEBATZ49d+0WG8yHV3VgGy94R27ph+yoFsDxyb1iSxJdB9Fc31rw+xt15S21e1q4oQoKLU8yTCpCGKxulU/OGLvt+fjEGp6ttn2IXfoHuHiJCUBQy/1pI/pGE2MZe154okJAsBk+CaqAG/vs9veYKLM+FEKx/O47KVb+4=> , 04.12. 2015

Bennion, H. og Battarbee, R. 2007: The European Union Water Framework Directive: oppurtunities for palaeolimnology. *Journal of Paleolimnology* 2007, 38 (2): 285-295.

Bennion, H., Battarbee, R.W., Sayer, C.D., Simpson, G.L. og Davidson, T.A. 2011: Defining reference conditions and restoration targets for lake ecosystems using palaeolimnology: a synthesis. *Journal of Paleolimnology* 2011, 45 (4): 533-544.

Boyle, J. 2004: A comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments. *Journal of Paleolimnology* 2004, 31 (1): 125-127.

Bragée, P. 2013: A palaeolimnological study of the anthropogenic impact on dissolved organic carbon in South Swedish lakes. Avhandling. Lundqua thesis 71. Lund University, Quaternary Sciences, Department of Geology& Centre for environmental and Climate Research.

Bragée, P., Choudhary, P. Routh, J., Boyle, J.F. og Hammarlund, D 2013a: Lake ecosystem responses to catchment disturbance and airborne pollution: an 800-year perspective in southern Sweden. I: Bragée, P. 2013: A palaeolimnological study of the anthropogenic impact on dissolved organic carbon in South Swedish lakes. Avhandling. Lundqua thesis 71. Lund University. Quaternary Sciences, Department of Geology & Centre for environmental and Climate Research, Appendix I.

Bragée, P., Mazier, F., Rosèn, P., Fredh, D., Broström, A., Granéli, W. og Hammarlund, D. 2013b: Forcing mechanisms behind variations in total organic carbon (TOC) in lake water during the past eight centuries- Palaeolimnological evidence from southern Sweden. I: Bragée, P. 2013: A palaeolimnological study of the anthropogenic impact on dissolved organic carbon in South Swedish lakes. Avhandling. Lundqua thesis 71. Lund University Quaternary Sciences, Department of Geology & Centre for environmental and Climate Research. Appendix III.

Buergi, H.R. og Stadelmann, P. 2000: Change of phytoplankton diversity during long-term restoration of Lake Baldegg (Switzerland). *Verhandlungen des Internationalen Verein. Limnologie* 27: 574-581.

Catalan, J., Pla-Rabés, S., Wolfe, A.P., Smol, J.P., Rühland, K.M., Anderson, N.J., Kopáček, J., Stuchlík, E., Schmidt, R., Koinig, K.A., Camarero, L., Flower, R.J., Heiri, O., Kamenik, C., Korhola, A., Leavitt, P.R., Psenner, R. og Renberg, I. 2013: Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: a review. *Journal of Paleolimnology* 2013, 49 (3): 513-535.

Cohen, A.S. 2003: Paleolimnology. The History and Evolution of Lake Systems. New York. Oxford University press.

Dalene, H. 1961: Skogen i Østfold. Halden. Østfold Skogselskap.

Descy, J.-P., Frost, T.M. og Hurley, J.P. 1999: Assessment of grazing by the freshwater copepod *Diaptomus minutus* using carotenoid pigments: a caution. *Journal of Plankton Research* 1999, 21 (1): 127-145.

Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013: Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02:2013.

Tilgjengelig på: http://vannportalen.no/globalassets/nasjonalt/dokumenter/veiledere-direktoratsgruppa/revidert_klassifiseringsveileder140123_vzis-.pdf , 04.11.2015.

DNT 2015: Helgetjern, kart. Tilgjengelig på: <http://www.ut.no/sted/5.48511/> , 10.12.2015.

Duarte, C.M., Conley, D.J., Carstensen, J. og Sánchez-Camacho, M. 2009: Return to *Neverland*: Shifting Baselines Affect Eutrophication Restoration Targets. *Estuaries and Coasts* 2009, 32 (1): 29-36.

Ecke, F. 2008: Drainage ditching at the catchment scale affects water quality and macrophyte occurrence in Swedish lakes. *Freshwater Biology* 2009, 54 (1): 119-126.

Ekström, S.M., Kritzberg, E.S., Kleja, D.B., Larsson, N., Nilsson, P.A., Graneli, W. og Bergkvist, B. 2011: Effect of Acid Deposition on Quantity and Quality of Dissolved Organic Matter in Soil-Water. *Environmental Science & Technology* 2011, 45 (11): 4733-4739.

Faafeng, B., Brabrand, Å., Gulbrandsen, T., Lind, O., Løvik, J. E., Løvstad, Ø. & Rørslett, B. 1982. Jarevatnet. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Rapportnr. 0-78014.

Faafeng, B.A. og Brabrand, Å. 1990: Biomanipulation of a small, urban lake- removal of fish exclude bluegreen blooms. *Verhandlungen des Internationalen Verein. Limnologie* 1990, 24: 597-602.

Feuillade, M. og Druart, J.C. 1994: The long-term effect of the sewage diversion on the phytoplankton composition and biomass. *Archiv für Hydrobiologie* 41: 55-76.

Fylkesmannen i Østfold 2014: Inspeksjonsrapport. Oppfølging etter kontroll ved Bommen avløpsanlegg. Moss. Rapportnummer 2014.009.IFMOS.

Graneli, W. 2012: Brownification of Lakes. I: Bengtsson, L., Herschy, R.W., Fairbridge, W. 2012: *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Dordrecht: Springer, 117-119.

Greisberger, S. og Teubner, K. 2007: Does pigment composition reflect phytoplankton community structure in differing temperature and light conditions in a deep alpine lake? An approach using HPLC and delayed fluorescence techniques. *Journal of Phycology* 2007, 43 (6): 1108-1119.

- Göbel, P., Dierkes, C. og Coldewey, W.G. 2007: Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* 2007, 91 (1-2): 26-42.
- Haaland, S., Hongve, D., Laudon, H., Riise, G. og Vogt, R.D. 2010: Quantifying the Drivers of the Increasing Coloured Organic Matter in Boreal Surface Waters. *Environmental Science & Technology* 2010, 44 (8): 2975-2980.
- Haande, S. Rohrlack, T., Kyle, M. 2014: Utvikling av vannkvalitet i Haldenvassdraget. Sammenstilling av lange tidsserier (1968-2013). Paleolimnologiske undersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen. Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA. Rapport l.nr. 6652-2014.
- Haldenvassdraget 2015: Kart over Haldenvassdraget. Tilgjengelig på: <http://www.haldenvassdraget.com/haldenvassdraget/> , 10.12.2015.
- Halstvedt, C.B., Rohrlack, T., Andersen, T., Skulberg, O. og Edvardsen, B. 2007: Seasonal dynamics and depth distribution of *Planktorhix* spp. in Lake Steinsfjorden (Norway) related to environmental factors. *Journal of Plankton Research* 2007, 29 (5): 471-482.
- Hannås, O. 1937: Aremark og Øymark Herredsstyrer gjennom 100 år. Halden. Uten forlag. Tilgjengelig på: http://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2014102008096 , 03.12.2015.
- Hansen, S.H. 2015: Medvirkning på papir og i praksis - miljø- og friluftslivsorganisasjonenes engasjement for vannforskriften. Norsk Vannforening. VANN, 2015, 1 : 61-64. Tilgjengelig på: <http://portal.tekna.no/ikbViewer/Content/923987/Innhold.pdf>, 04.12.2015.
- Hansson, L.-A., Annadotter, H., Bergman, E., Hamrin, S. F., Jeppesen, E., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Nilsson, P.-Å., Søndergaard, M. og Strand, J. 1998: Biomanipulation as an Application of Food-Chain Theory: Constraints, Synthesis and Recommendations for Temperate Lakes. *Ecosystems* 1998, 1 (6): 558-574.
- Heim, S. og Schwarzbauer, J. 2013: Pollution history revealed by sedimentary records: a review. *Environmental Chemistry Letters* 2013, 11 (3): 255-270.
- Heiri, O., Lotter, A.F. og Lemcke, G. 2001: Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 2001, 25 (1): 101-110.

Henriksen, P., Riemann, B., Kaas, H., Sørensen, H.M. og Sørensen, H.L. 2002: Effects of nutrient-limitation and irradiance on marine phytoplankton pigments. *Journal of Plankton Research* 2002, 24 (9): 835-858.

Hobæk, A., Løvik, J.E., Rohrlack, T., Moe, S.J., Grung, M., Bennion, H., Clarke, G. og Piliposyan, G.T. 2012: Eutrophication, recovery and temperature in Lake Mjøsa: detecting trends with monitoring data and sediment records. *Freshwater Biology* 2012, 57 (10): 1998-2914.

Hongve, D., Riise, G. og Kristiansen, J.F. 2004: Increased colour and organic acid concentrations in Norwegian forest lakes and drinking water- a result of increased precipitation? *Aquatic Sciences* 2004, 66 (2): 231-238.

Hood, M. J., Clausen, J.C., Braskerud, B.C. og Warner, G.S. 2006: Forsinket avrenning fra urbane felt. Et eksempel på lokal overvannshåndtering. *VANN* 2006, 1: 32-40. Tilgjengelig på: <https://portal.tekna.no/ikbViewer/Content/17202/Innhold%201-2006.pdf> , 04.12.2015.

Iversen, A. 2015: Status for regionale vannforvaltningsplaner: På rett vei, men fremdeles langt fram til målet. Norsk vannforening. *VANN* 2015, 1: 55-60. Tilgjengelig på: <http://portal.tekna.no/ikbViewer/Content/923987/Innhold.pdf> , 04.12.2015.

Jacquet, S. Briand, J.F., Leboulanger, C. et al. 2005: The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae* 2005, 4 (4): 651-672.

Kartverket 2015: Kvadratmilkart 1: 10000, 1774. Tilgjengelig på: <http://kartverket.no/Kart/Historiske-kart/Historiske-kart-galleri/#1/112/358> , 07.12.2015.

Komárek, J. og Komárková, J. 2004: Taxonomic review of the cyanoprokaryotic genera *Planktothrix* and *Planktothricoides*. *Czech Phycology* 2004, 4 (1):1-18.

Küpper, H., Seibert, S. og Parameswaran, A. 2007: Fast, Sensitive, and Inexpensive Alternative to Analytical Pigment HPLC: Quantification of Chlorophylls and Carotenoids in Crude Extracts by Fitting with Gauss Peak Spektra. *Analytical Chemistry* 2007, 79 (20): 7611-7627.

- Kyle, M. 2015: Learning from the past; using lake sediments as chemical and biological archives. Philosophiae Doctor (PhD), Ås. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for miljøvitenskap. Avhandlingsnr: 2015:27.
- Kyle, M., Haande, S., Sønstebo, J. og Rohrlack, T. 2015a: Amplification of DNA in sediment cores to detect historic *Planktothrix* occurrence in three Norwegian lakes. *Journal of Paleolimnology* 2015, 53 (1): 61-72.
- Kyle M., Andersen T., Haande S. and Rohrlack T. 2015b: Historical *Planktothrix* diversity across seven Norwegian lakes implies environmentally driven niche differentiation. *Frontiers in Ecology and Evolution* 2015 3: 1-12.
- Kyle, M., Haande, S., Ostermaier, V. og Rohrlack, T. 2015c: The Red Queen race between parasitic chytrids and their host, *Planktothrix*: a test using a time series reconstructed from sediment DNA. Plos One. Tilgjengelig på: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0118738>, 05.12.2015.
- Laudon, H., Hedtjärn, J. Schelker, J., Bishop, K., Sørensen, R. og Ågren, A. 2009: Response of Dissolved Organic Carbon following Forest Harvesting in Boreal Forest. *AMBIO: a Journal of the Human Environment* 2009, 38, (7): 381-386.
- Leavitt, P.R. og Carpenter, S.R. 1990: Aphotic pigment Degradation in the Hypolimnion: implications for Sedimentation studies and paleolimnology. *Limnology and Oceanography* 1990, 35 (2):540-534.
- Leavitt, P.R. 1993: A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance. *Journal of Paleolimnology* 1993, 9 (2):109-127.
- Leavitt, P.R. og Findlay, D.L. 1994: Comparison of Fossil Pigments with 20 Years of Phytoplankton Data from Eutrophic Lake 227, Experimental Lakes Area, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1994, 51 (10): 2286-2299.
- Leipistö, A., Kortelainen, P. og Mattsson, T. 2008: Increased organic C and N leaching in a northern boreal river basin in Finland. *Global Biogeochemical Cycles* 2008, 22 (3), GB3029. Tilgjengelig på <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GB003175/epdf>, 07.12.2015.
- Life Technologies 2015: Real-time PCR handbook. Tilgjengelig på: <http://www.gene-quantification.de/real-time-pcr-handbook-life-technologies-update-flr.pdf> , 11.12.2015.

Lyche, A., Faafeng, B. A., og Brabrand, Å. 1990: Predictability and possible mechanisms of plankton response to reduction of planktivorous fish. *Hydrobiologia* 1990, 200-201 (1): 251-261.

Løvik, J.E. og Romstad, R. 2007: Overvåkning av vann og vassdrag i Randsfjordens nedbørsfelt, Årsrapport for 2006. Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA. Løpenr. 5395-2007.

Marker Historielag 2013: Marker 1964-2014, Ei bygd i utvikling. Tilgjengelig ved bestilling fra: <http://www.marker-historielag.no/>, 25.02.2015.

Marker Kommune 2015a: Historisk kart 1950¹. Tilgjengelig ved forespørsel, <http://marker.kommune.no/kontakt-oss.4970733-197221.html>, 20.04.2015.

Marker Kommune 2015b: Kart over kloakksystem rundt Helgetjern, 2010-2019¹. Tilgjengelig ved forespørsel, <http://marker.kommune.no/kontakt-oss.4970733-197221.html>, 20.04.2015.

Marker Kommune 2015c: Saneringsplan avløp 2010-2019, Vedlegg 2, Flytskjema. Marker kommune arkiv. Jnr. 08/927, arkivnr. M41&30. Tilgjengelig ved forespørsel, <http://marker.kommune.no/kontakt-oss.4970733-197221.html>, 20.04.2015.

Marker Kommune 2015d: Karttjeneste på kommunens nettsider. Tilgjengelig via: http://kart.smaalensveven.no/WebInnsyn3_Smaalensveven/Klient/Vis/Smaalensveven, 18.11.2015.

Mattson, T., Kortelainen, P. og Räike, A. 2005: Export of DOM from Boreal Catchments: Impacts of Land Use Cover and Climate. *Biogeochemistry* 2005, 76 (2): 373-394.

McTiernan, K.B., Jarvis, S.C., Scholefield, D. og Hayes, M.H.B. 2001: Dissolved organic carbon losses from grazed grasslands under different management regimes. *Water research* 2001, 35 (10): 2565 – 2569.

Meteorologisk Institutt 2015a: Østlandet siden 1900. Tilgjengelig via: http://met.no/Klima/Klimautvikling/Klima_siste_150_ar/Regioner/Ostlandet/, 13.11.2015.

¹ Dokumentet er ikke journalført og har ikke arkivkode.

Meteorologisk Institutt 2015b: Rådata middelveier for temperatur og nedbør Østlandet fra 1900–2014. Tilgjengelig ved etterspørsel, Meteorologisk Institutt, klimavakten@met.no.

Michell, J.F.B. og Johns, T.C. 1997: On Modification of Global Warming by Sulfate Aerosols. *Journal of Climate* 1997, 10 (2): 245- 267.

Miljødirektoratet 2015: Grunnforurensning, søkeresultat for Marker kommune. Tilgjengelig på: <http://grunn.miljodirektoratet.no/>, 25.02.2015.

Miljødirektoratet naturbase 2015: Faktaark Gjølshøen. Tilgjengelig på: <http://faktaark.naturbase.no/Vern?id=VV00000986> , 14.11.2015.

Mobio Laboratories 2015: PowerSoil DNA Isolation Kit, Instruction Manual. Katalognr. 12 888. 20s. Tilgjengelig på: http://www.biotechniques.com/multimedia/archive/00232/12888_232066a.pdf, 11.12.2015.

Moe, S. og Bjerve, S. 2007: Fase II Miljøundersøkelsesrapport, 196 062 – Rørvik Servicesenter AS. Golder Associates, for Global Environmental Site Investigation Services (GENESIS). Prosjektnr. 07 509 16 0007. Tilgjengelig ved forespørsel Miljødirektoratet, <http://www.miljodirektoratet.no/no/Om-Miljodirektoratet/Kontakt-oss/> , 17.09.2015.

Mohamad, I.B. og Usman, D. 2013: Standardization and Its Effects on K-Means Clustering Algorithm. *Applied Sciences, Engineering and Technology* 2013, 6 (17): 3299-3303.

Monteith, D.T., Stoddard, J.L., Evans, C.D., de Wit, H.A., Forsius, M., Høgåsen, T. Wilander, A., Skjelkvåle, B.L., Jeffries, D.S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopáček, J. og Vesely, J. 2007: Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 2007, 450 (7169): 537-540.

NGU 2015a: Løsmasser. Nasjonal løsmassedatabase. Norges Geologiske Undersøkelser. Tilgjengelig via: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?map=Marin.grense.og.tidligere&Box=308280:6569072:308948:6569672>, 04.08.2015.

NGU 2015b: Nasjonal berggrunnsdatabase. Tilgjengelig på: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>, 14.11.2015.

NIJOS 2004: Markslag i Økonomisk kartverk. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, NIJOS, Veileder 01/04. Tilgjengelig på :

http://www.skogoglandskap.no/filearchive/Veileder_01_04_bokmal.pdf , 04.12.2015.

Nilsen, G.B. 1982: Ørje Brug 1886-1900, En bedrift sett fra ulike synsvinkler.

Hovedoppgave i historie, Universitetet i Oslo.

Nilsen, G.B. 2007: Gårds-og Slekthistorie for Øymark, Bind 1. Marker Historielag. Mysen, nr1 Arktrykk.

Nilsen , G.B. 2008: Gårds-og Slekthistorie for Øymark, Bind 2. Marker Historielag. Mysen, nr1 Arktrykk.

NILU 2015: Norsk Institutt for Luftforskning. Rådata avsetning Løken 1972 – 2014 (Smg/l), tilgjengelig ved forespørsel. <http://www.nilu.no/OmNILU/Kontaktoss/tabid/80/Default.aspx>, 13.12.2015.

Noël, H., Garbolino, E., Brauer, A., Lallier-Vergès, de Beaulieu, J.L. og Disnar, J.R. 2001: Human impact and soil erosion during the last 5000 yrs as recorded in lacustrine sedimentary organic matter at Lac d'Annecy, the French Alps. *Journal of Paleolimnology* 2001, 25 (2): 229-244.

Raven P., Evert, R.F. og Eichhorn, S.E. 2005: Biology of plants, syvende utgave. New York. W.H. Freeman and Company Publishers.

Read, J.S. og Rose, K.C. 2013: Physical responses of small temperate lakes to variation in dissolved organic carbon concentrations. *Limnology and Oceanography*. 2013, 58 (3): 921-931.

Reguleringsplan 19700001: Torpåsen øst. Eldre reguleringsplan. Endelig vedtatt arealplan, Marker kommune. Ikrafttredelsesdato 08.10.1970. Tilgjengelig på:

http://kart.smaalensveven.no/WebInnsyn3_Smaalensveven/Klient/Vis/Smaalensveven, 11.03.2015.

Reguleringsplan 19790001: Helgetjern Øst. Eldre reguleringsplan. Endelig vedtatt arealplan, Marker kommune. Ikrafttredelsesdato 27.08.1979. Tilgjengelig på:

http://kart.smaalensveven.no/WebInnsyn3_Smaalensveven/Klient/Vis/Smaalensveven, 11.03.2015.

Reguleringsplan 20000001: Braarudjordet. Eldre reguleringsplan. Endelig vedtatt arealplan, Marker kommune. Ikrafttredelsesdato 09.11.1998. Tilgjengelig på:

http://kart.smaalensveven.no/WebInnsyn3_Smaalensveven/Klient/Vis/Smaalensveven, 11.03.2015.

Reuss, N. 2005: Sediment pigments as biomarkers of environmental change. PhD Thesis, University of Copenhagen, Department of Marine Ecology. National Environmental Research Institute, Danmark.

Reuss, N., Conleya, D.J. og Bianchic, T.S. 2005: Preservation conditions and the use of sediment pigments as a tool for recent ecological reconstruction in four Northern European estuaries. *Marine Chemistry* 2005, 95 (3-4): 283-302.

Rohrlack, T., Edvardsen, B., Skulberg, R., Halstvedt, C.B., Utkilen, H.C., Ptacnik, R. og Skulberg, O.M. 2008: Oligopeptide chemotypes of the toxic freshwater cyanobacterium *Planktothrix* can form subpopulations with dissimilar ecological traits. *Limnology and Oceanography*. 2008, 53 (4): 1279-1293.

Rohrlack, T., Christiansen, G. og Kurmayer, R. 2013: Putative Antiparasite Defensive System Involving Ribosomal and Nonribosomal Oligopeptides in Cyanobacteria of the Genus *Planktothrix*, *Applied and Environmental Microbiology* 2013, 79 (8): 2642-2647.

Santisteban, J.I., Mediavilla, R., López-Pamo, E., Dabrio, C.J., Zapata, M.B.R., García, M.J.G., Castaño, S. og Martínez-Alfaro, P.E. 2004: Loss on Ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Paleolimnology* 2004, 32 (3): 287-299.

Savichtcheva, O., Debroas, D., Kurmayer, R., Villar, C., Jenny, J.P., Arnaud F., Perga, M. E. og Domaizon, I. 2011: Quantitative PCR Enumeration of Total/Toxic *Planktothrix rubescens* and Total Cyanobacteria in Preserved DNA Isolated from Lake Sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 2011, 77(24): 8744-8753.

Scheffer, M. og Carpenter, S.R. 2003: Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *TRENDS in Ecology and Evolution* 2003, 18 (12): 648-656.

Schindler, D.W., Bayley, S.E., Parker, B.R., Beaty, K.G., Cruikshank, D.R., Everett, J.F., Schindler, E.U. og Stainton, M.P. 1996: The effects of climatic warming on the properties of

- boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *Limnology and Oceanography* 1996, 41(5): 1004-1017.
- Schöpp, W., Posch, M., Mylona, S. og Johansson, M. 2003: Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences* 2003, 7(4): 436-446.
- Skulberg, O.M. 1979: Aksjon i Helgetjernet 1979. Haldenvassdragets Vassdragsforbund.
- Skulberg, O.M. 1980: Noen observasjoner av alger med masseforekomst i vegetasjonsperioden 1979. Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA. Årbok 1979, s. 19-25.
- Skulberg, O. og Kotai, J. 1981: Overvåkning av Haldenvassdraget 1980. Akershus og Østfold. Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA, rapportnr. 80002-02.
- Skulberg, O. og Kotai, J. 1982: Haldenvassdraget. Vannkvalitet og forurensningsvirkninger. Resultater av vassdragsundersøkelser for Haldenvassdragets vassdragsforbund 1975-1981. Norsk institutt for vannforskning, NIVA, Rapportnr.0-70219.
- Sobek, S., Tranvik, L.J., Prairie, Y.T., Kortelainen, P. og Cole, J.J. 2007: Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes. *Limnology and Oceanography* 2007, 52 (3): 1208-1219.
- Sogge, H., Rohrlack, T., Rounge, T.B., Sønstebo, J.H., Tooming-Klunderud, A., Kristensen, T. og Jakobsen, K.S. 2013: Gene flow, recombination, and selection in Cyanobacteria: Population structure of geographically related planktothrix freshwater strains. *Applied and Environmental Microbiology* 2013, 79 (2): 508-515.
- Spikkeland, I. 2014: Biologisk mangfold i Haldenvassdraget – om planter og dyr knyttet til vann i vassdragets nedbørsfelt. Østfoldmuseene avd. Haldenvassdragets Kanalmuseum, Rapport 2014, nr. 1. 52.s. Tilgjengelig på: <http://ostfoldmuseene.no/files/Biologisk-mangfold-i-Haldenvassdraget-26-1-20151.pdf>, 14.11.2015.
- Stanhill, G. og Cohen, S. 2001: Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology* 2001, 107 (4): 255-278.

Statistisk sentralbyrå 2003: Folke- og bolig tellingen 2001, Marker. Kommune 0119 Marker. Norges offisielle statistikk. Tilgjengelig på: <http://www.ssb.no/a/fob2001/kommunehefte/> og http://www.ssb.no/a/fob2001/kommunehefte/0119/fob_0119_tabeller.pdf, 05.12.2015.

Stokke, K.B. og Indset, M. 2012: Møtet mellom EUs vanndirektiv og statlig sektoransvar. Helhetlig vannforvaltning gjennom konsensusbygging og nettverk? *Kart og Plan* 2012, 72 (4): 278- 288.

Sørli, M. 2015: Utvikling av vannkvalitet i en innsjø med ulike påvirkningsfaktorer studert ved sedimentanalyser – med eksempel fra Jarenvatnet med hovedfokus på biologiske analyser. Innlevert masterarbeid høstsemesteret 2015, Institutt for Miljøvitenskap, NMBU.

Tabachnick, G. B. & Fidell, S. L. 2013: Using Multivariate Statistics. 6. utgave. New Jersey. Pearson. 1024s.

Thrane, J.-E., Kyle, M., Striebel, M., Haande, S., Grung, M., Rohrlack, T. og Andersen, T. 2015: Spectrophotometric Analysis of Pigments: a Critical Assessment of a high-throughput Method for Analysis of Algal Pigment Mixtures by Spectral Deconvolution. Plos one. Tilgjengelig på: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0137645>, 12.12.2015.

Tipping, E., Woof, C., Rigg, E. Harrison, A.F. Ineson, P., Taylor, K., Benham, D., Poskitt, J., Rowland, A.P., Bol, R. Harkness, D.D. 1999: Climatic influence on the leaching of dissolved organic matter from upland UK moorland soils, investigated by a field manipulation experiment. *Environment International* 1999, Vol 25 (1): 83-95.

Tollan, A. 2002: Vannressurser. Oslo. Universitetsforlaget.

Tranvik, L.J. og von Wachenfeldt, E. 2009: Interactions of Dissolved Organic Matter and Humic Substance. I: Likens, G.E. (ed.) 2010: Biogeochemistry of inland waters. San Diego. Elsevier, s. 464-470.

van Liere, L. og Mur, L.R. 1979: Occurrence of *Oscillatoria agardhii* and some related species, a survey. I: Barica, J. og Mur, L.R (eds): Hypereutrophic systems. *Developments in Hydrobiology* 1980, 2: 67-77.

Vannforskriften 2006: Forskrift om rammer for vannforvaltningen, Klima- og miljødepartementet. Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446?q=vannforskriften> , 04.11.2015.

Vann-nett 2015a: Glomma. Tilgjengelig på: http://vann-nett.no/portal/Area?Region_CD=5101&SearchType=Area&AreaName=Glomma, 10.12.2015.

Vann-nett 2015b: Helgetjern, faktaark for vannforekomst. Tilgjengelig på: <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=001-3394-1-L> , 14.11.2015.

Vannportalen 2015: Vann fra fjell til fjord. Med godt vannmiljø som felles mål. Tilgjengelig via:
http://vannportalen.no/globalassets/nasjonalt/dokumenter/publikasjoner/brosjyrer/brosjyre_med_godt_vannmiljo_som_felles_maal.pdf , 24.11.2015.

Walsby, A. E. 2005: Stratification by cyanobacteria in lakes: A dynamic buoyancy model indicates size limitations met by *Planktothrix Rubescens* filaments. *New Phytologist* 168: 365-376. Tilgjengelig på: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2005.01508.x/full>, 08.12.2015.

Wetzel, R.G. 2001: Limnology, Lake and River Ecosystems. 3. utg. San Diego. Elsevier.

Zhang, J., Hudson, J. Neal, R., Sereda, J., Clair, T., Turner, M., Jeffries, D., Dillon, P., Molot, L., Somers, K. og Hesslein, R. 2010: Long-term patterns of dissolved organic carbon in lakes across eastern Canada: Evidence of a pronounced climate effect. *Limnology and Oceanography*. 2010, 55 (1): 30-42.

Økonomisk kart 1966: Økonomisk kart over Helgetjern 1966. Karttjenesten Kilden. Norsk Institutt for Bioøkonomi, NIBIO. Tilgjengelig på:
http://kilden.nibio.no/?X=6597936.72&Y=311215.45&zoom=11&lang=nb&topic=arealinformasjon&bgLayer=graa_tone_cache&catalogNodes=199&layers=hist_gammel_ok_raster,hist_kartid_dato&layers_opacity=0.75,0.75 , 05.12.2015.

Åström, M., Aaltonen, E.-K. og Koivusaari, J. 2001: Effect of ditching operations on stream-water chemistry in a boreal forested catchment. *Science of the Total Environment* 2001, 279 (1-3): 117-129.

8.1 Personlige meddelelser:

Fredriksen, S.E.: Virksomhedsleder Forvaltning, Drift og Vedlikehold. Marker kommune. Personlig meddelelse, 20.04.2015.

Halvorsrud, A.K.: Miljøvernkonsulent, Marker Kommune. Personlig meddelelse, 03.12.2015.

Heed, E.: Saksbehandler, Forvaltning, drift og vedlikehold. Marker Kommune Personlig meddelelse, 20.04.2015-10.12.2015.

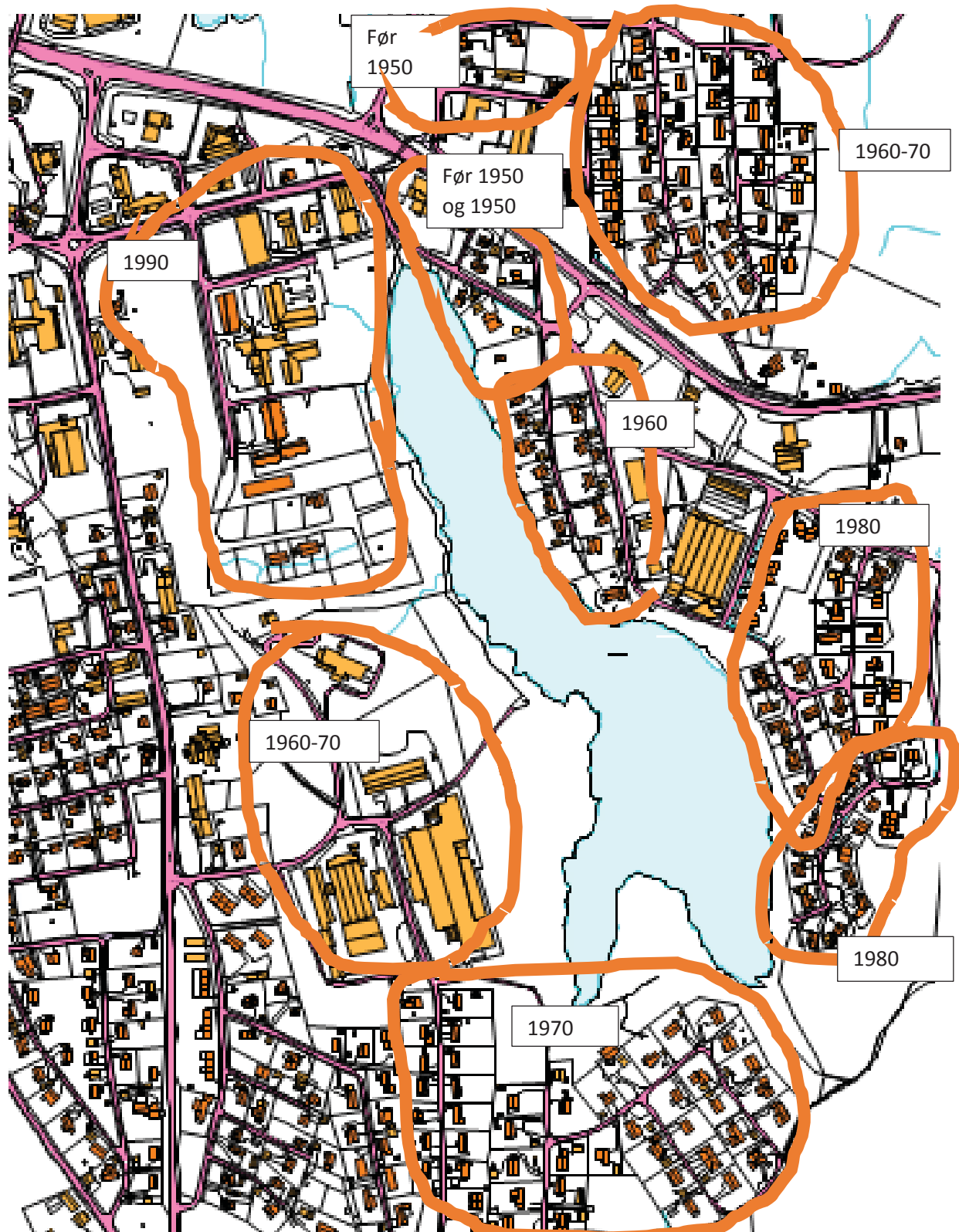
Vedlegg A: Nedbørsfelt.



Kilde: Skulberg, O. M. 1979: Aksjon i Helgetjernet 1979. Haldenvassdragets Vassdragsforbund. 10s.

Vedlegg B: Boligfeltsutvikling.

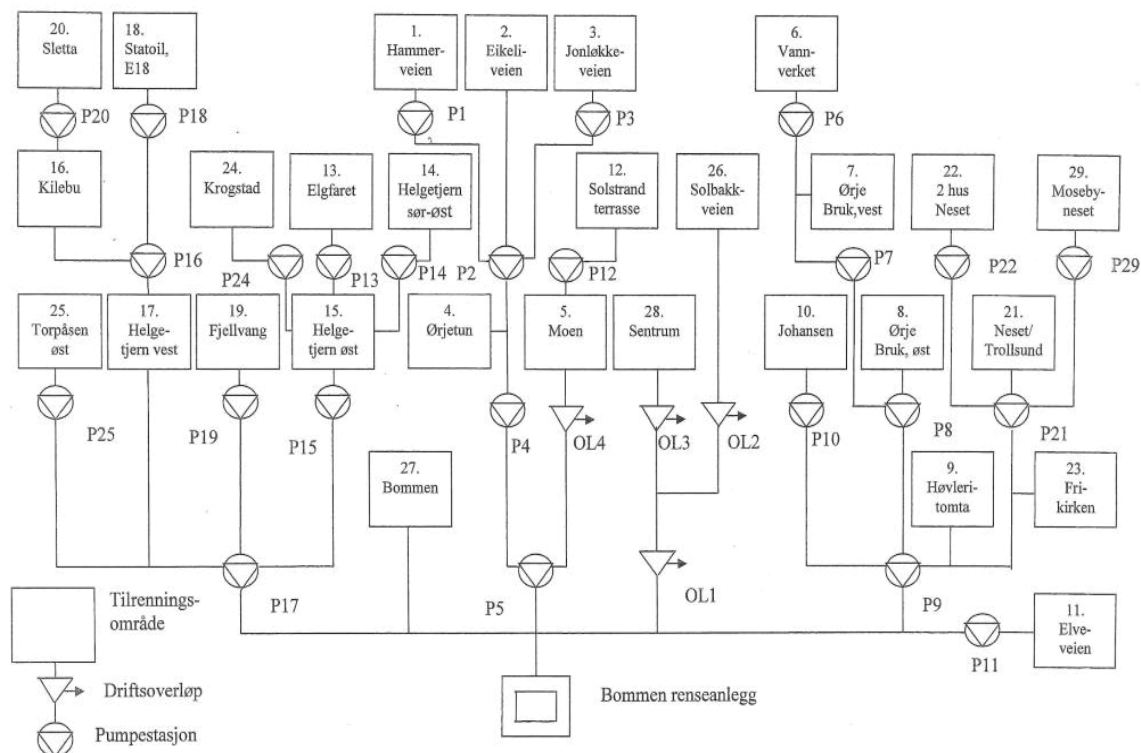
Boligfeltsutvikling rundt Helgetjern. Årstall representerer tiår for utbygging.



Kilder: Pers. medd. Eva Heed Marker Kommune, Reguleringsplaner Marker kommune; 19700001: Torpåsen øst, 19790001: Helgetjern Øst, 20000001: Braarudjordet. Tilgjengelig på: http://kart.smaalensveven.no/WebInnsyn3_Smaalensveven/Klient/Vis/Smaalensveven , 11.03.2015.

Vedlegg C: Flytskjema kloakk

Flytskjema kloakk, Marker kommune.



Kilde: Marker Kommune 2015: Saneringsplan avløp 2010-2019, Vedlegg 2, Flytskjema.

Marker kommune arkiv. Jnr. 08/927, arkivnr. M41&30. Tilgjengelig ved forespørsel,

<http://marker.kommune.no/kontakt-oss.4970733-197221.html> , 20.04.2015.

Vedlegg D: Pigmenter: algegrupper og kjemisk stabilitet.

Pigment	Affinity (major groups or process)	Stability
Chlorophylls		
Chl a	All photosynthetic algae, higher plants	3
Chl b	Green algae, euglenophytes, higher plants	2
Chl c family	Dinoflagellates, Diatoms, Chrysophytes	4
Carotenoids		
β -carotene	Most algae and plants	1
α -carotene	Cryptophytes, prochlorophytes, rhodophytes	2
Alloxanthin	Cryptophytes	1
Fucoxanthin	Diatoms, prymnesiophytes, chrysophytes, raphidophytes, several dinoflagellates	2
Diadinoxanthin	Diatoms, dinoflagellates, prymnesiophytes, chrysophytes, raphidophytes, euglenophytes, cryptophytes	3
Diatoxanthin	Diatoms, dinoflagellates, chrysophytes	2
Peridinin	Dinoflagellates	4
Zeaxanthin	Cyanobacteria, prochlorophytes, rhodophytes, chlorophytes	1
Canthaxanthin	colonial cyanobacteria	1
Myxoxanthophyll	colonial cyanobacteria	
Echinenone	Cyanobacteria	1
Lutein	Green algae, euglenophytes, higher plants	1
Neoxanthin	Green algae, Euglenophytes, higher plants	4
Violaxanthin	Green algae, Euglenophytes, higher plants	4
Okenone	Purple sulphur bacteria	1
Isorenieratene	Green sulphur bacteria	1
Chlorophyll degradation products		
Pheophytin a	Chl a derivative (general)	1
Pheophytin b	Chl b derivative (general)	2
Pheophorbide a	Grazing, senescent diatoms	3
Pyro-pheo(pigments)	derivatives of a and b-phorbins	2

Kilde: Tabell hentet fra: Reuss, N. 2005: Sediment pigments as biomarkers of environmental change. PhD Thesis, University of Copenhagen, Department of Marine Ecology. National Environmental Research Institute, Danmark, s. 11.

Vedlegg E: Rådata datering (¹³⁷Cs) og organisk materiale.

Datering	cm	DPM / g	år	LOI	cm	skål.g	skål.sx.g	tørr.sx.g	skål.brentsx. g	LOI.g	% OM
Helge	1	12	2014	Helgetjern	1	13,2277	13,4683	0,2406	13,3944	0,0739	30,7149
Helge	2	12	2011	Helgetjern	2	17,5224	18,1407	0,6183	17,9549	0,1858	30,0501
Helge	3	12	2009	Helgetjern	3	13,322	13,8957	0,5737	13,7257	0,17	29,6322
Helge	4	12	2006	Helgetjern	4	12,9523	13,6557	0,7034	13,4436	0,2121	30,1535
Helge	5	11	2004	Helgetjern	5	13,2627	13,7617	0,499	13,6131	0,1486	29,7796
Helge	6	12	2001	Helgetjern	6	13,2471	13,9062	0,6591	13,7019	0,2043	30,9968
Helge	7	10	1999	Helgetjern	7	17,9194	18,4993	0,5799	18,3228	0,1765	30,4363
Helge	8	12	1996	Helgetjern	8	13,5436	14,2896	0,746	14,0658	0,2238	30,0000
Helge	9	11	1994	Helgetjern	9	13,7637	14,7155	0,9518	14,4254	0,2901	30,4791
Helge	10	8	1991	Helgetjern	10	12,8101	13,4718	0,6617	13,2728	0,199	30,0741
Helge	11	9	1989	Helgetjern	11	15,5203	16,4597	0,9394	16,172	0,2877	30,6259
Helge	12	19	1986	Helgetjern	12	13,0587	14,0057	0,947	13,6792	0,3265	34,4773
Helge	13	8	1983	Helgetjern	13	12,9648	13,8334	0,8686	13,5557	0,2777	31,9710
Helge	14	9	1981	Helgetjern	14	13,2277	14,1629	0,9352	13,8793	0,2836	30,3251
Helge	15	6	1978	Helgetjern	15	12,5498	13,8137	1,2639	13,5002	0,3135	24,8042
Helge	16	7	1976	Helgetjern	16	13,4174	15,4641	2,0467	14,9093	0,5548	27,1071
Helge	17	6	1973	Helgetjern	17	13,6096	14,8919	1,2823	14,5611	0,3308	25,7974
Helge	18	6	1971	Helgetjern	18	12,9997	14,2434	1,2437	13,9157	0,3277	26,3488
Helge	19	4	1968	Helgetjern	19	12,6633	13,81	1,1467	13,5183	0,2917	25,4382
Helge	20	2	1966	Helgetjern	20	12,3656	13,5921	1,2265	13,2835	0,3086	25,1610
Helge	21	1	1963	Helgetjern	21	13,5184	14,6756	1,1572	14,3753	0,3003	25,9506
Helge	22	5	1960	Helgetjern	22	15,5666	16,7456	1,179	16,4317	0,3139	26,6243
Helge	23	4	1958	Helgetjern	23	15,7991	17,0839	1,2848	16,7429	0,341	26,5411
Helge	24	7	1955	Helgetjern	24	12,4163	13,4556	1,0393	13,1805	0,2751	26,4697

Helge	25	4	1953	Helgetjern	25	12,6606	14,0411	1,3805	13,6779	0,3632	26,3093
Helge	26	4	1950	Helgetjern	26	11,9726	13,3467	1,3741	12,9691	0,3776	27,4798
Helge	27	1	1948	Helgetjern	27	12,4191	13,7896	1,3705	13,3921	0,3975	29,0040
Helge	28	3	1945	Helgetjern	28	14,1631	15,3546	1,1915	15,0065	0,3481	29,2153
Helge	29	2	1943	Helgetjern	29	15,521	16,8221	1,3011	16,4323	0,3898	29,9593
Helge	30	1	1940	Helgetjern	30	17,229	18,252	1,023	17,9236	0,3284	32,1017
Helge	31	0	1938	Helgetjern	31	12,644	13,7302	1,0862	13,3568	0,3734	34,3767
Helge	32	2	1935	Helgetjern	32	16,0487	17,171	1,1223	16,7862	0,3848	34,2867
Helge	33	0	1932	Helgetjern	33	14,1929	15,3794	1,1865	14,9756	0,4038	34,0329
Helge	34	0	1930	Helgetjern	34	17,9196	19,2616	1,342	18,7918	0,4698	35,0075
Helge	35	1	1927	Helgetjern	35	16,5459	17,8491	1,3032	17,3989	0,4502	34,5457
Helge	36	2	1925	Helgetjern	36	13,2477	14,3964	1,1487	13,9918	0,4046	35,2224
Helge	37	4	1922	Helgetjern	37	15,1071	16,5282	1,4211	16,0349	0,4933	34,7125
Helge	38	0	1920	Helgetjern	38	13,3574	14,6315	1,2741	14,2001	0,4314	33,8592
Helge	39	1	1917	Helgetjern	39	13,0715	14,4936	1,4221	14,0155	0,4781	33,6193
Helge	40	1	1915	Helgetjern	40	13,0455	14,4013	1,3558	13,9592	0,4421	32,6081
Helge	41	0	1912	Helgetjern	41	13,2924	14,9642	1,6718	14,4363	0,5279	31,5767
Helge	42	1	1909	Helgetjern	42	16,6125	18,3291	1,7166	17,7816	0,5475	31,8944
Helge	43	2	1907	Helgetjern	43	16,017	17,4597	1,4427	17,0236	0,4361	30,2280
Helge	44	2	1904	Helgetjern	44	13,266	14,893	1,627	14,3897	0,5033	30,9342
Helge	45	1	1902	Helgetjern	45	12,5644	14,2365	1,6721	13,7184	0,5181	30,9850
Helge	46	2	1899	Helgetjern	46	15,4529	17,2677	1,8148	16,7175	0,5502	30,3174
Helge	47	2	1897	Helgetjern	47	12,4977	14,4149	1,9172	13,8258	0,5891	30,7271
Helge	48	0	1894	Helgetjern	48	12,0921	13,6087	1,5166	13,159	0,4497	29,6519
Helge	49	3	1892	Helgetjern	49	13,0547	14,2075	1,1528	13,8461	0,3614	31,3498
Helge	50	2	1889	Helgetjern	50	15,799	17,5584	1,7594	16,9943	0,5641	32,0621
Helge	51	0	1887	Helgetjern	51	13,7232	15,6117	1,8885	15,0191	0,5926	31,3794
Helge	52	0	1884	Helgetjern	52	12,6257	14,2545	1,6288	13,7472	0,5073	31,1456
Helge	53	0	1881	Helgetjern	53	17,4612	19,3222	1,861	18,7164	0,6058	32,5524

Helge	54	0	1879	Helgetjern	54	13,6483	15,5025	1,8542	14,9145	0,588	31,7118
Helge	55	0	1876	Helgetjern	55	17,5222	19,3227	1,8005	18,7608	0,5619	31,2080
Helge	56	0	1874	Helgetjern	56	12,4885	14,3361	1,8476	13,753	0,5831	31,5599
Helge	57	0	1871	Helgetjern	57	12,8977	14,656	1,7583	14,1043	0,5517	31,3769
Helge	58	0	1869	Helgetjern	58	13,3688	14,9898	1,621	14,4817	0,5081	31,3448
Helge	59	0	1866	Helgetjern	59	13,2255	15,0326	1,8071	14,4423	0,5903	32,6656
Helge	60	0	1864	Helgetjern	60	15,5669	17,1892	1,6223	16,655	0,5342	32,9286
Helge	61	0	1861	Helgetjern	61	13,0611	14,746	1,6849	14,2072	0,5388	31,9782
Helge	62	0	1858	Helgetjern	62	16,2933	17,8934	1,6001	17,3792	0,5142	32,1355
Helge	63	0	1856	Helgetjern	63	12,4765	14,3191	1,8426	13,7295	0,5896	31,9983
Helge	64	0	1853	Helgetjern	64	12,5934	14,4988	1,9054	13,8716	0,6272	32,9170
Helge	65	0	1851	Helgetjern	65	14,042	15,9734	1,9314	15,3411	0,6323	32,7379
Helge	66	0	1848	Helgetjern	66	13,2195	15,2952	2,0757	14,609	0,6862	33,0587

Vedlegg F: Rådata pigmenter

Innsjø	Helge	År	Allo, µg/g tørrvekt	β.Kar, µg/g tørrvekt	c.Neo, µg/g tørrvekt	Cantha, µg/g tørrvekt
He1	Helge	2014	116,2073954	0	3,150890192	0
He2	Helge	2011	83,26094663	0	0	0
He3	Helge	2009	107,4500207	4,000874068	7,492656558	0
He4	Helge	2006	97,07771459	2,84396808	0	0
He5	Helge	2004	85,82613036	0	0	0
He6	Helge	2001	75,34188783	0	0	0
He7	Helge	1999	81,46078631	19,09989846	13,58413626	0
He8	Helge	1996	73,83050969	4,925215534	21,5664343	0
He9	Helge	1994	58,53060517	8,622782294	18,36410357	0
He10	Helge	1991	114,0334518	0	20,62958209	0
He11	Helge	1989	112,9155696	0	38,01698872	0
He12	Helge	1986	64,2402789	0	28,09958642	78,91223535
He13	Helge	1983	93,29624149	7,22846397	0	0
He14	Helge	1981	105,863673	62,70894383	0	0
He15	Helge	1978	103,4281008	105,1907949	9,856246915	0
He16	Helge	1976	44,29302989	23,73024863	4,354196203	0
He17	Helge	1973	30,22256676	25,29319018	0	0
He18	Helge	1971	13,54841695	15,2169704	0	0
He19	Helge	1968	13,36962102	8,970698727	0	0
He20	Helge	1966	8,994854836	13,02051902	0	0
He21	Helge	1963	10,96921567	14,07792963	0	0
He22	Helge	1960	12,00408524	5,294506801	0	0
He23	Helge	1958	10,32281401	6,705796368	0	0
He24	Helge	1955	11,5098761	3,957873831	0	0
He25	Helge	1953	4,346570869	11,83782426	0	0
He26	Helge	1950	5,047774813	8,657094309	0	0

He27	Helge	1948	6,235895344	4,562422013	0	0
He28	Helge	1945	6,721318846	3,752687008	0	0
He29	Helge	1943	7,637633709	4,839944247	0	0
He30	Helge	1940	5,031709139	0,698127246	0,3866866	0
He31	Helge	1938	3,896666231	2,619190822	0,930097562	0
He32	Helge	1935	5,7418575	3,377072405	0	0
He33	Helge	1932	10,58817411	0	0	0
He34	Helge	1930	7,078609472	2,656622125	0	0
He35	Helge	1927	8,204285275	16,39099465	1,528787774	0
He36	Helge	1925	5,413528871	7,094023977	0,724652609	0
He37	Helge	1922	10,72843253	4,512178384	0	0
He38	Helge	1920	7,004060932	6,72807018	0	0
He39	Helge	1917	6,676437874	4,030333436	0	0
He40	Helge	1915	4,010180869	7,144326625	1,305051521	0
He41	Helge	1912	4,37622423	5,827953898	0,507188358	0
He42	Helge	1909	14,61604394	17,1199373	2,078343289	0
He43	Helge	1907	4,446452531	2,142605806	0	0
He44	Helge	1904	15,24627314	19,31775466	0,125160908	0
He45	Helge	1902	10,09089974	6,906288048	0	0
He46	Helge	1899	9,082485988	9,646989261	0	0
He47	Helge	1897	7,800497274	4,904729133	0	0
He48	Helge	1894	7,464245845	7,15274053	0,495009985	0
He49	Helge	1892	10,68651102	10,28505644	0	0
He50	Helge	1889	11,3542941	14,90483999	2,457490786	0
He51	Helge	1887	6,66414164	6,847700508	0,19568942	0
He52	Helge	1884	7,616796632	7,545532281	0	0
He53	Helge	1881	11,67512718	11,68303941	0,466566518	0

He54	Helge	1879	9,354307673	10,15738849	0,18194797	0
He55	Helge	1876	14,10214992	16,95053923	2,564432894	0
He56	Helge	1874	7,026205244	10,88083355	1,396127029	0
He57	Helge	1871	8,894929414	12,69838588	1,29821497	0
He58	Helge	1869	8,239444634	8,744893823	0,279143174	0
He59	Helge	1866	6,998361634	9,30076264	0,179606092	0
He60	Helge	1864	9,654868744	14,08041006	1,001520501	0
He61	Helge	1861	5,343992431	8,356711076	0,439034472	0
He62	Helge	1858	10,90578138	21,27748671	3,408875866	0
He63	Helge	1856	8,077393826	15,58948904	2,106449853	0
He64	Helge	1853	6,855160189	8,666953199	0,788836388	0
He65	Helge	1851	9,422517741	1,493228271	0	0
He66	Helge	1848	12,17349561	4,756077168	0,116115207	0
			Kl.a, µg/g tørrvekt	Kl.b, µg/g tørrvekt	Kl.c1, µg/g tørrvekt	Kl.c2, µg/g tørrvekt
He1	Helge	2014	165,9263352	65,77675677	0	0
He2	Helge	2011	107,502163	34,48355454	0	0
He3	Helge	2009	155,8597342	42,991169	0	0
He4	Helge	2006	150,4607195	72,46772701	0	0
He5	Helge	2004	112,9123422	58,35586333	0	0
He6	Helge	2001	97,3103883	48,29464394	0	0
He7	Helge	1999	94,87333957	17,56208461	0	0
He8	Helge	1996	79,35073609	30,13990269	0	0
He9	Helge	1994	64,68660026	24,69818859	0	0
He10	Helge	1991	107,7363108	15,67691164	0	0
He11	Helge	1989	106,233143	17,49302811	0	0
He12	Helge	1986	61,7909733	18,1919122	0	0
He13	Helge	1983	102,1797607	8,790697956	0	0

He14	Helge	1981	133,8661424	13,30787646	0	0
He15	Helge	1978	129,1842567	11,58128659	0	0
He16	Helge	1976	65,73935174	7,488288455	0	0
He17	Helge	1973	60,43984802	4,467252927	0	0
He18	Helge	1971	34,8313896	3,826585349	0	0
He19	Helge	1968	32,97615943	0,758766812	0	0
He20	Helge	1966	26,63605132	4,066974721	0	0
He21	Helge	1963	36,32448982	2,187957212	0	0
He22	Helge	1960	26,68650848	0,971677376	0	0
He23	Helge	1958	26,9803453	1,285861367	0	0
He24	Helge	1955	27,48226233	1,314269341	0	0
He25	Helge	1953	24,65487402	2,131086556	0	0
He26	Helge	1950	26,51419937	0	0	0
He27	Helge	1948	18,82176502	0	0	0
He28	Helge	1945	21,9244925	0	0	0
He29	Helge	1943	29,37158707	0	0	0
He30	Helge	1940	13,60987374	0	0	0
He31	Helge	1938	12,277013	0,116168846	0	0
He32	Helge	1935	21,34030604	0	0	0
He33	Helge	1932	35,50227914	0	0	0
He34	Helge	1930	21,4754372	0	0	0
He35	Helge	1927	37,82693309	0	0	0
He36	Helge	1925	18,59458523	0	0	0
He37	Helge	1922	31,39480128	0	0	0
He38	Helge	1920	24,4075491	0	0	0
He39	Helge	1917	21,00921137	0	0	0
He40	Helge	1915	15,51593201	0	0	0

He41	Helge	1912	15,12597426		0	0	0
He42	Helge	1909	44,161487		0	0	0
He43	Helge	1907	13,30492274		0	0	0
He44	Helge	1904	51,44666189		0	0	0
He45	Helge	1902	27,98776952		0	0	0
He46	Helge	1899	30,23369108		0	0	0
He47	Helge	1897	24,5138631		0	0	0
He48	Helge	1894	21,03175869		0	0	0
He49	Helge	1892	31,48326671		0	0	0
He50	Helge	1889	34,82220071		0	0	0
He51	Helge	1887	19,50212776		0	0	0
He52	Helge	1884	15,0988715	1,144508891	0	0	0
He53	Helge	1881	32,72624292		0	0	0
He54	Helge	1879	25,1196759		0	0	0
He55	Helge	1876	35,83336232		0	0	0
He56	Helge	1874	20,45984718		0	0	0
He57	Helge	1871	28,60404704		0	0	0
He58	Helge	1869	23,54776744		0	0	0
He59	Helge	1866	20,72947734		0	0	0
He60	Helge	1864	21,45175396	0,715061646	0	0	0
He61	Helge	1861	17,02502412		0	0	0
He62	Helge	1858	38,80730273		0	0	0
He63	Helge	1856	24,63790884		0	0	0
He64	Helge	1853	20,73196904		0	0	0
He65	Helge	1851	25,36267487		0	0	0
He66	Helge	1848	28,00118011		0	0	0
			Diadino, µg/g tørrvekt		Diato, µg/g tørrvekt	Dino, µg/g tørrvekt	Echin, µg/g tørrvekt

He1	Helge	2014	0	216,5700475	0	93,5673155
He2	Helge	2011	0	139,026899	0	49,72982055
He3	Helge	2009	0	200,2574857	0	77,89623025
He4	Helge	2006	0	186,5579493	0	82,98444831
He5	Helge	2004	0	155,2905641	0	77,16005066
He6	Helge	2001	0	151,0358633	0	80,20193797
He7	Helge	1999	0	179,9699437	0	48,12345278
He8	Helge	1996	0	150,9879339	0	72,21295821
He9	Helge	1994	0	124,3435417	0	47,35360888
He10	Helge	1991	0	208,993806	0	99,22506584
He11	Helge	1989	0	243,6649273	0	134,7719365
He12	Helge	1986	0	208,5532514	0	0
He13	Helge	1983	0	121,0055159	0	40,11477723
He14	Helge	1981	0	127,8570092	0	20,43526856
He15	Helge	1978	0	131,7260981	0	14,71404585
He16	Helge	1976	0	80,97170251	0	23,65908173
He17	Helge	1973	0	60,93926817	0	10,65069864
He18	Helge	1971	0	31,98799726	0	4,893918123
He19	Helge	1968	0	28,88930064	0	10,5095841
He20	Helge	1966	0	22,21032232	0	0
He21	Helge	1963	0	29,83323074	0	5,294157104
He22	Helge	1960	0	23,66313168	0	9,761656251
He23	Helge	1958	0	23,74848895	0	8,700754115
He24	Helge	1955	0	22,1370326	0	11,17506822
He25	Helge	1953	0	17,67757891	0	0
He26	Helge	1950	0	17,12358494	0	5,746737592
He27	Helge	1948	0	12,35750713	0	6,17912566

He28	Helge	1945		0	14,13478548	0	6,674723937
He29	Helge	1943		0	19,26595517	0	2,386495593
He30	Helge	1940		0	10,63781028	0	4,116379359
He31	Helge	1938		0	10,95468973	0	0
He32	Helge	1935		0	15,98739559	0	3,345594515
He33	Helge	1932		0	26,78612987	0	6,24192762
He34	Helge	1930		0	17,85710257	0	2,643696842
He35	Helge	1927		0	32,84829152	0	4,598394195
He36	Helge	1925		0	15,3632244	0	0
He37	Helge	1922		0	21,28689627	0	0
He38	Helge	1920		0	17,33435407	0	0
He39	Helge	1917		0	14,02577642	0	0
He40	Helge	1915		0	12,5317067	0	0,148149951
He41	Helge	1912		0	11,35504828	0	0
He42	Helge	1909		0	34,10125062	0	0
He43	Helge	1907		0	9,836899114	0	3,042307043
He44	Helge	1904		0	37,87232527	0	0
He45	Helge	1902		0	20,45181137	0	0
He46	Helge	1899		0	21,28055975	0	0
He47	Helge	1897		0	17,45996852	0	1,118569301
He48	Helge	1894		0	17,65147142	0	0,641041982
He49	Helge	1892		0	25,24567658	0	1,137686224
He50	Helge	1889		0	31,88568195	0	2,364192032
He51	Helge	1887		0	15,47380676	0	0
He52	Helge	1884		0	13,09058974	0	1,980045862
He53	Helge	1881		0	26,7771553	0	0
He54	Helge	1879		0	21,18729601	0	0,625333412

He55	Helge	1876		0	33,9463945		0		
He56	Helge	1874		0	18,99282184		0		0
He57	Helge	1871		0	24,48798901		0		0,449752028
He58	Helge	1869		0	19,923681		0		0
He59	Helge	1866		0	18,66197769		0		0,769953841
He60	Helge	1864		0	22,41971386		0		1,032786177
He61	Helge	1861		0	14,37471489		0		0
He62	Helge	1858		0	34,90616509		0		0
He63	Helge	1856		0	23,04755167		0		0
He64	Helge	1853		0	16,63285382		0		1,695454581
He65	Helge	1851		0	20,23029976		0		10,7685618
He66	Helge	1848		0	21,24816753		0		12,18768025
				Fuco, µg/g tørrvekt	Lut, µg/g tørrvekt	Myxo, µg/g tørrvekt	Peri, µg/g tørrvekt		
He1	Helge	2014		0	0	0	0		181,7751805
He2	Helge	2011		0	1,964612723		0		144,595691
He3	Helge	2009		0	0	0	0		191,6415701
He4	Helge	2006		0	4,875268467		0		163,7507802
He5	Helge	2004		0	8,832270337		0		125,8774155
He6	Helge	2001		0	0	0	0		100,0431677
He7	Helge	1999		0	0	0	0		205,4338195
He8	Helge	1996		0	19,00126102		0		128,9041798
He9	Helge	1994		0	14,18937224		0		129,7058252
He10	Helge	1991		0	0	0	0		171,1043954
He11	Helge	1989		0	39,50629153		0		256,7208658
He12	Helge	1986		0	57,50871943		0		567,6756023
He13	Helge	1983		173,5830328	136,4942986		0		207,0690814
He14	Helge	1981		205,2298945	196,2154693		0		155,219419

He15	Helge	1978	162,4966129	171,2833904	0	162,5856721
He16	Helge	1976	0	26,91675237	0	58,37106358
He17	Helge	1973	0	4,913773866	0	26,26099414
He18	Helge	1971	0	1,628737187	0	14,56490065
He19	Helge	1968	0	0	0	8,158309673
He20	Helge	1966	0	0	0	14,5736381
He21	Helge	1963	0	0	0	14,73361001
He22	Helge	1960	0	0	0	6,233545369
He23	Helge	1958	0	0	0	7,012783466
He24	Helge	1955	0	0	0	6,843717671
He25	Helge	1953	0	0	0	13,83530348
He26	Helge	1950	0	0	0	6,203958803
He27	Helge	1948	0	0	0	2,919316075
He28	Helge	1945	0	0	0	4,229216472
He29	Helge	1943	5,441859247	0	0	17,50063015
He30	Helge	1940	0	0	0	6,169619803
He31	Helge	1938	0	0	0	11,64826552
He32	Helge	1935	5,154686392	0	0	12,5050369
He33	Helge	1932	5,356354683	0	0	20,29982902
He34	Helge	1930	5,51713972	0	0	14,68062016
He35	Helge	1927	0	0	0	18,07635975
He36	Helge	1925	3,398246864	0	0	15,66292271
He37	Helge	1922	7,597464718	0	0	23,39992953
He38	Helge	1920	9,083037889	0	0	17,79209087
He39	Helge	1917	6,64386153	0	0	16,1887591
He40	Helge	1915	0	0	0	12,36639938
He41	Helge	1912	1,804682073	0	0	11,20410255

He42	Helge	1909	5,273791833	0	0	36,23601834
He43	Helge	1907	2,983916938	0	0	4,875965494
He44	Helge	1904	12,34488019	0	0	32,51598531
He45	Helge	1902	7,876398014	0	0	19,8306371
He46	Helge	1899	9,858388595	0	0	18,59880222
He47	Helge	1897	6,836019373	0	0	14,8702828
He48	Helge	1894	3,784962168	0	0	14,55927575
He49	Helge	1892	8,831103102	0	0	20,76675456
He50	Helge	1889	0,312593631	0	0	24,80817186
He51	Helge	1887	5,542415334	0	0	13,00819539
He52	Helge	1884	0	0	0	7,588271705
He53	Helge	1881	8,149091278	0	0	22,08729404
He54	Helge	1879	6,533677508	0	0	16,21052645
He55	Helge	1876	0	0	0	28,7939701
He56	Helge	1874	0	0	0	15,73617638
He57	Helge	1871	2,407759729	0	0	22,0926073
He58	Helge	1869	7,118504482	0	0	18,19965456
He59	Helge	1866	6,465866389	0	0	15,04829039
He60	Helge	1864	0	0	0	19,2945747
He61	Helge	1861	3,194985509	0	0	11,27719283
He62	Helge	1858	0	0	0	28,08216412
He63	Helge	1856	0,159907248	0	0	19,71910218
He64	Helge	1853	3,022572151	0	0	11,96695688
He65	Helge	1851	0	0	0	3,867809785
He66	Helge	1848	0	0	0	1,966475559
			Phe.a, µg/g tørrvekt	Phe.b, µg/g tørrvekt	Viola, µg/g tørrvekt	
He1	Helge	2014	384,2983365	75,50199723	58,50300753	

He2	Helge	2011	243,8165805	38,91442127	37,90612121
He3	Helge	2009	324,7894864	48,67707934	50,92208477
He4	Helge	2006	325,1634838	79,81515884	43,35213214
He5	Helge	2004	266,0773977	65,80664056	44,84272381
He6	Helge	2001	233,0080719	61,93676298	46,7196592
He7	Helge	1999	274,4000892	30,18010382	43,49093111
He8	Helge	1996	206,8733656	27,27332192	45,75027316
He9	Helge	1994	171,7238146	22,53936339	37,67930645
He10	Helge	1991	315,9114092	25,45377497	56,74577698
He11	Helge	1989	298,7713836	19,41267143	62,74806621
He12	Helge	1986	218,5639092	10,48854594	68,81512521
He13	Helge	1983	193,7755692	0	47,79027262
He14	Helge	1981	219,6758441	0	58,01005052
He15	Helge	1978	201,0308188	0	48,6783902
He16	Helge	1976	130,9710732	3,587864883	31,98971252
He17	Helge	1973	126,2792759	1,446348931	23,36339786
He18	Helge	1971	74,67094359	1,767023769	11,01694693
He19	Helge	1968	70,43474096	0,697616849	8,326657072
He20	Helge	1966	57,09550367	1,207732263	7,930155065
He21	Helge	1963	79,91178345	0	6,890750582
He22	Helge	1960	63,64336097	0,997565161	4,880589789
He23	Helge	1958	64,68308631	1,318651922	4,331146321
He24	Helge	1955	65,37630682	0,55594143	4,703223087
He25	Helge	1953	57,54539926	0,422031896	3,329609349
He26	Helge	1950	63,59220734	0	1,824229592
He27	Helge	1948	43,2849226	0	2,142711215
He28	Helge	1945	50,32795166	0	1,689145743

He29	Helge	1943	67,77147134	0	0
He30	Helge	1940	36,15482437	0,93790228	0,933579236
He31	Helge	1938	38,82679759	2,108934552	0,594601017
He32	Helge	1935	61,38467808	2,119198475	0,15889551
He33	Helge	1932	104,6230724	4,404578736	0
He34	Helge	1930	71,93198226	4,320089636	0
He35	Helge	1927	119,2150281	6,332338986	1,516180449
He36	Helge	1925	55,80562675	1,989836744	0,275116189
He37	Helge	1922	77,05842718	0,322793005	0
He38	Helge	1920	66,66459967	1,19285333	0
He39	Helge	1917	49,53538339	0	0
He40	Helge	1915	35,98009152	0	0,81470247
He41	Helge	1912	36,03045997	0	0,583229853
He42	Helge	1909	107,5808919	0	1,333554043
He43	Helge	1907	34,29746942	0,428785497	0
He44	Helge	1904	141,8614344	2,225767775	0,628143722
He45	Helge	1902	76,74965666	1,242042101	0,122265192
He46	Helge	1899	81,28460042	0,881198148	0
He47	Helge	1897	66,22540222	0,751227456	0
He48	Helge	1894	64,07897835	2,345677678	0,860456617
He49	Helge	1892	97,37603761	3,732793146	0,832394768
He50	Helge	1889	109,1928806	4,095072165	1,361893595
He51	Helge	1887	58,50324007	2,009614066	0,52760145
He52	Helge	1884	48,50265401	2,450352356	2,882730107
He53	Helge	1881	101,8079804	4,053215046	1,103538128
He54	Helge	1879	79,73837474	3,469320532	0,815467502
He55	Helge	1876	116,8046513	5,255860728	2,0821199

He56	Helge	1874	65,7940656	2,735455066	1,104218959	
He57	Helge	1871	86,76732545	3,089690765	1,403989382	
He58	Helge	1869	75,42655724	3,601329069	0,623803692	
He59	Helge	1866	70,87577404	4,117752302	0,869441544	
He60	Helge	1864	80,55975296	5,909296599	2,677971937	
He61	Helge	1861	52,34202083	2,18398711	0,443622705	
He62	Helge	1858	116,6890461	5,283140929	1,098559209	
He63	Helge	1856	73,63164647	3,057871792	0,748544009	
He64	Helge	1853	56,9075715	1,446941949	0,490342448	
He65	Helge	1851	76,57820149	2,991885492	0,967668109	
He66	Helge	1848	72,61541535	1,475674397	1,607134297	

Vedlegg G: Rådata *Planktothrix* kjemotyper.

År	Cht1.ng.gOM	Cht5.ng.gOM	Cht7.ng.gOM	Cht9.ng.gOM
2014	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,09920641
2011	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,10224818
2009	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,17018333
2006	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,28682093
2004	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,20737112
2001	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0935694
1999	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,03006072
1996	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1994	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1991	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00920567
1989	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00460681
1986	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1983	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1981	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1978	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1976	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1973	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1971	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1968	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1966	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1963	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1960	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1958	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1955	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1953	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1950	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1948	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1945	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1943	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1940	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1938	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1935	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,04511831
1932	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1930	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1927	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1925	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1922	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1920	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1917	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00644102
1915	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1912	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1909	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1907	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1904	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

1902	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1899	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1897	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1894	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1892	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1889	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1887	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1884	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1881	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1879	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1876	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1874	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1871	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1869	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1866	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1864	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1861	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1858	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1856	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1853	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1851	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1848	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

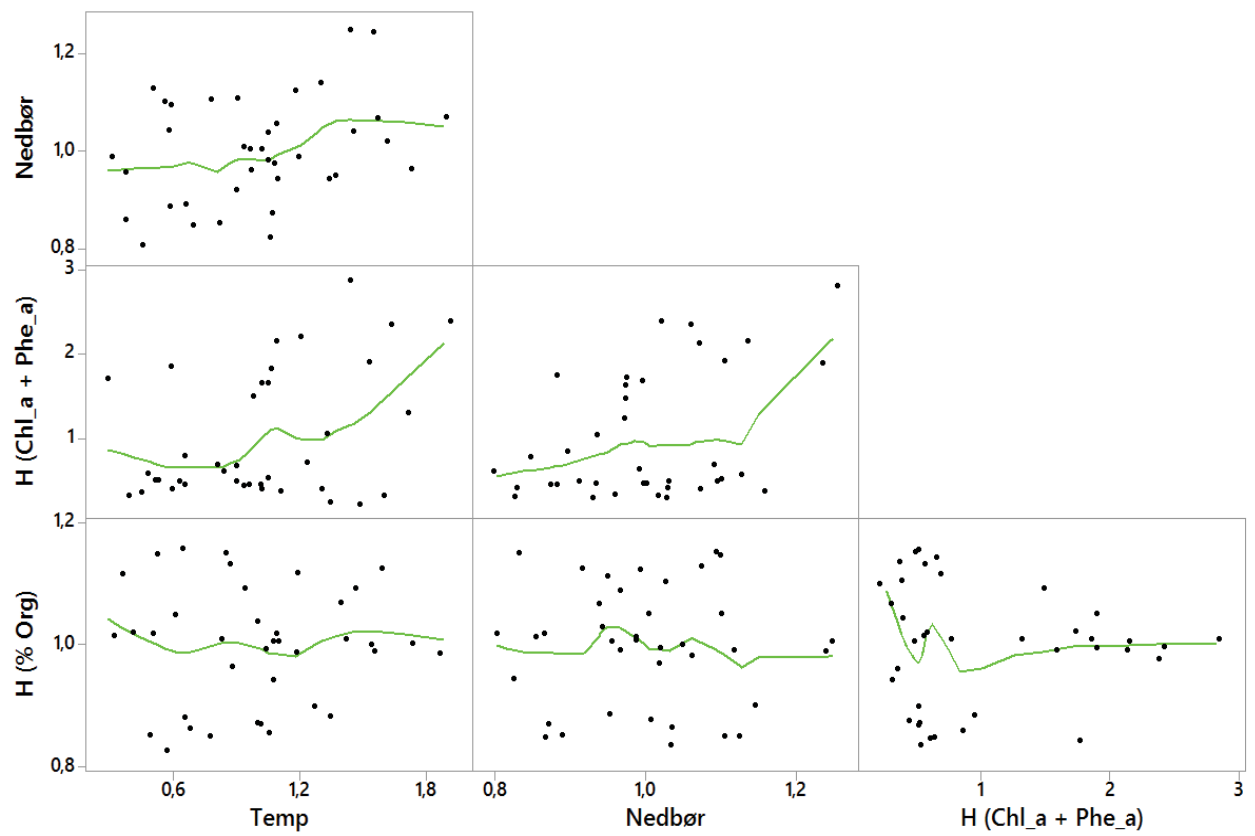
Vedlegg H: Normaliserte data PCA

År	Temp	Nedbør	H (Chl_a + Phe_a)	H (%) Org)	JS (Chl_a + Phe_a)	JS (%) Org)
1902	0,12	0,00	0,14	0,59	0,41	0,51
1905	0,34	0,10	0,19	0,56	0,37	0,44
1908	0,49	0,30	0,10	0,60	0,32	0,49
1911	0,44	0,45	0,07	0,66	0,28	0,67
1914	0,68	0,31	0,00	0,74	0,29	0,61
1917	0,04	0,33	0,05	0,87	0,35	0,66
1920	0,36	0,26	0,09	0,92	0,32	0,55
1923	0,23	0,08	0,08	1,00	0,23	0,61
1926	0,36	0,66	0,16	0,98	0,24	0,58
1929	0,16	0,65	0,11	1,00	0,22	0,52
1932	0,57	0,42	0,16	0,91	0,25	0,43
1935	0,81	0,59	0,04	0,93	0,11	0,30
1938	0,73	0,51	0,00	0,82	0,11	0,24
1941	0,08	0,14	0,06	0,56	0,12	0,31
1944	0,39	0,46	0,05	0,42	0,08	0,24
1947	0,49	0,03	0,03	0,36	0,07	0,07
1950	0,62	0,78	0,07	0,19	0,01	0,10
1953	0,45	0,52	0,07	0,12	0,00	0,12
1956	0,21	0,17	0,08	0,13	0,03	0,08
1959	0,44	0,44	0,08	0,14	0,07	0,02
1962	0,32	0,69	0,12	0,06	0,11	0,00
1965	0,17	0,52	0,08	0,00	0,16	0,01
1968	0,14	0,72	0,11	0,07	0,20	0,01
1971	0,25	0,20	0,22	0,07	0,19	0,03
1974	0,64	0,31	0,29	0,17	0,19	0,04
1977	0,48	0,16	0,57	0,05	0,26	0,04

1980	0,00	0,41	0,57	0,58	0,23	0,05
1983	0,42	0,38	0,48	0,82	0,22	0,04
1986	0,18	0,67	0,63	0,69	0,21	0,05
1989	0,56	0,73	0,74	0,51	0,21	0,02
1992	0,88	0,37	0,39	0,53	0,17	1,00
1995	0,45	0,39	0,53	0,50	0,23	0,12
1998	0,51	0,40	0,60	0,56	0,28	0,15
2001	0,78	0,99	0,62	0,51	0,32	0,20
2004	0,82	0,49	0,82	0,50	0,36	0,26
2007	1,00	0,58	0,82	0,46	0,44	0,32
2010	0,49	0,58	0,73	0,52	0,54	0,30
2013	0,71	1,00	1,00	0,56	1,00	0,28
Ar	JS (S g/kg)	JN (Chl_a + Phe_a)	JN (% Org)	JN (S g/kg)		
1902	0,13	0,03	0,98	0,03		
1905	0,11	0,05	0,92	0,01		
1908	0,09	0,03	0,98	0,02		
1911	0,09	0,04	0,97	0,06		
1914	0,11	0,03	0,72	0,04		
1917	0,13	0,05	0,72	0,05		
1920	0,09	0,05	0,58	0,04		
1923	0,15	0,05	0,64	0,05		
1926	0,13	0,05	0,64	0,04		
1929	0,17	0,05	0,69	0,06		
1932	0,33	0,05	0,65	0,05		
1935	0,37	0,05	0,64	0,04		
1938	0,22	0,04	0,56	0,07		

1941	0,37	0,04	0,41	0,13	
1944	0,57	0,03	0,25	0,14	
1947	0,72	0,01	0,33	0,06	
1950	0,63	0,01	0,20	0,09	
1953	0,85	0,01	0,22	0,14	
1956	0,48	0,00	0,21	0,11	
1959	0,63	0,00	0,22	0,07	
1962	0,65	0,00	0,28	0,02	
1965	1,00	0,02	0,18	0,00	
1968	0,98	0,05	0,17	0,04	
1971	0,83	0,11	0,00	0,07	
1974	0,70	0,26	0,25	0,23	
1977	0,65	0,59	0,56	1,00	
1980	0,59	0,63	0,63	0,97	
1983	0,61	0,56	0,49	0,49	
1986	0,35	0,54	0,47	0,39	
1989	0,26	0,54	0,50	0,46	
1992	0,52	0,54	0,37	0,63	
1995	0,52	0,44	0,35	0,32	
1998	0,37	0,30	0,69	0,24	
2001	0,20	0,50	0,85	0,04	
2004	0,07	0,49	0,85	0,23	
2007	0,00	0,49	0,88	0,29	
2010	0,00	0,67	0,95	0,32	
2013	0,02	1,00	1,00	0,07	

Vedlegg J: Multi XY normaliserte data, PCA.



Vedlegg K: Rådata svovel, Løken 1978 – 2014.

År	mgS/L
1978	1.0823
1979	1.0237
1980	0.9755
1981	0.7680
1982	1.0706
1983	0.9059
1984	0.9030
1985	0.8574
1986	0.9576
1987	0.7893
1988	0.7590
1989	0.9227
1990	0.7363
1991	0.6486
1992	0.6111
1993	0.6579
1994	0.4275
1995	0.5172
1996	0.4871
1997	0.4180
1998	0.4290
1999	0.3825
2000	0.3261
2001	0.3290
2002	0.2643
2003	0.3253
2004	0.2328
2005	0.3433
2006	0.2120
2007	0.2435
2008	0.1925
2009	0.1675
2010	0.2260
2011	0.2108
2012	0.1627
2013	0.1732
2014	0.2333

Kilde: Aas, W., Solberg, S. og Yttri, K. E. 2014: Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsler 2013. Norsk Institutt for Luftforskning, NILU. 108s.

Vedlegg L: Rådata temperatur og nedbør, Østlandet 1900 – 2014.

År	Middeltemp.	År	Middelnedbør
1900	0,5	1900	685,4
1901	1,7	1901	647
1902	0,1	1902	561,4
1903	1,5	1903	849,7
1904	0,9	1904	513,2
1905	1,6	1905	634,9
1906	2,2	1906	709,9
1907	1,3	1907	818,6
1908	1,7	1908	685,9
1909	0,6	1909	848,4
1910	2	1910	932,9
1911	2,2	1911	586,1
1912	1,5	1912	887,5
1913	2,4	1913	651,5
1914	2,7	1914	680
1915	-0,2	1915	692,1
1916	1,5	1916	935,9
1917	0,4	1917	611,4
1918	1,5	1918	742,2
1919	0,6	1919	603,6
1920	2,1	1920	821,1
1921	2,1	1921	519,7
1922	0,7	1922	698,2
1923	0,4	1923	759,6
1924	1,4	1924	930,1
1925	1,4	1925	756,4
1926	1,4	1926	905
1927	0,7	1927	982,1
1928	0,7	1928	780,9
1929	1,2	1929	810,9
1930	2,8	1930	919,6
1931	0,7	1931	704,5
1932	2,3	1932	706,1
1933	2,3	1933	583,1
1934	3,3	1934	1025
1935	2	1935	906,8
1936	2	1936	717,7
1937	1,9	1937	815,9
1938	3,1	1938	901,4

1939	1,7	1939	791,4
1940	0,2	1940	666,2
1941	0,1	1941	584,3
1942	0,1	1942	746,6
1943	2,4	1943	745,6
1944	1,9	1944	886,6
1945	2,3	1945	647,2
1946	1,9	1946	816
1947	1	1947	461,2
1948	1,8	1948	872,9
1949	2,9	1949	804,5
1950	1,5	1950	1035,7
1951	1,5	1951	952,9
1952	0,6	1952	663,5
1953	2,8	1953	819,9
1954	1,2	1954	923,2
1955	1,1	1955	514,1
1956	0,7	1956	635,2
1957	1,7	1957	810,9
1958	0,6	1958	753
1959	2,5	1959	792,3
1960	1,2	1960	906,6
1961	2,2	1961	889
1962	0,5	1962	818,8
1963	0,6	1963	831,6
1964	1,5	1964	799,8
1965	0,6	1965	813
1966	0,2	1966	912,2
1967	1,6	1967	994,2
1968	0,7	1968	748,6
1969	0,9	1969	658,3
1970	0,4	1970	775,5
1971	2	1971	666,6
1972	1,8	1972	730,1
1973	2	1973	657,3
1974	2,5	1974	835,3
1975	2,8	1975	655,3
1976	1,2	1976	629,5
1977	1,1	1977	776,4
1978	0,7	1978	698,4
1979	0,1	1979	848,6
1980	0,6	1980	776,3
1981	0,4	1981	733

1982	1,8	1982	809,5
1983	2,4	1983	746,8
1984	2	1984	912,2
1985	-0,1	1985	869,4
1986	0,9	1986	815,1
1987	0,3	1987	900,8
1988	2,2	1988	1032
1989	3,2	1989	726,6
1990	3,4	1990	848,5
1991	2,2	1991	651,2
1992	2,6	1992	781,1
1993	1,5	1993	779,3
1994	1,6	1994	799,3
1995	1,8	1995	728,5
1996	0,7	1996	718,2
1997	2,6	1997	746,6
1998	2	1998	844,8
1999	2,5	1999	915,8
2000	3,3	2000	1175,8
2001	1,6	2001	841,9
2002	2,5	2002	804,1
2003	2,6	2003	762,9
2004	2,6	2004	844,5
2005	3	2005	731,9
2006	3,3	2006	954
2007	2,8	2007	821,2
2008	3	2008	920,6
2009	2,2	2009	894,2
2010	0	2010	685,3
2011	3	2011	1040,9
2012	1,9	2012	922,4
2013	2	2013	867,6
2014	4	2014	954,1

Kilde: Meteorologisk Institutt 2015: Rådata middelverdier for temperatur og nedbør Østlandet fra 1900–2014. Tilgjengelig ved etterspørsel, Meteorologisk Institutt, klimavakten@met.no



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no