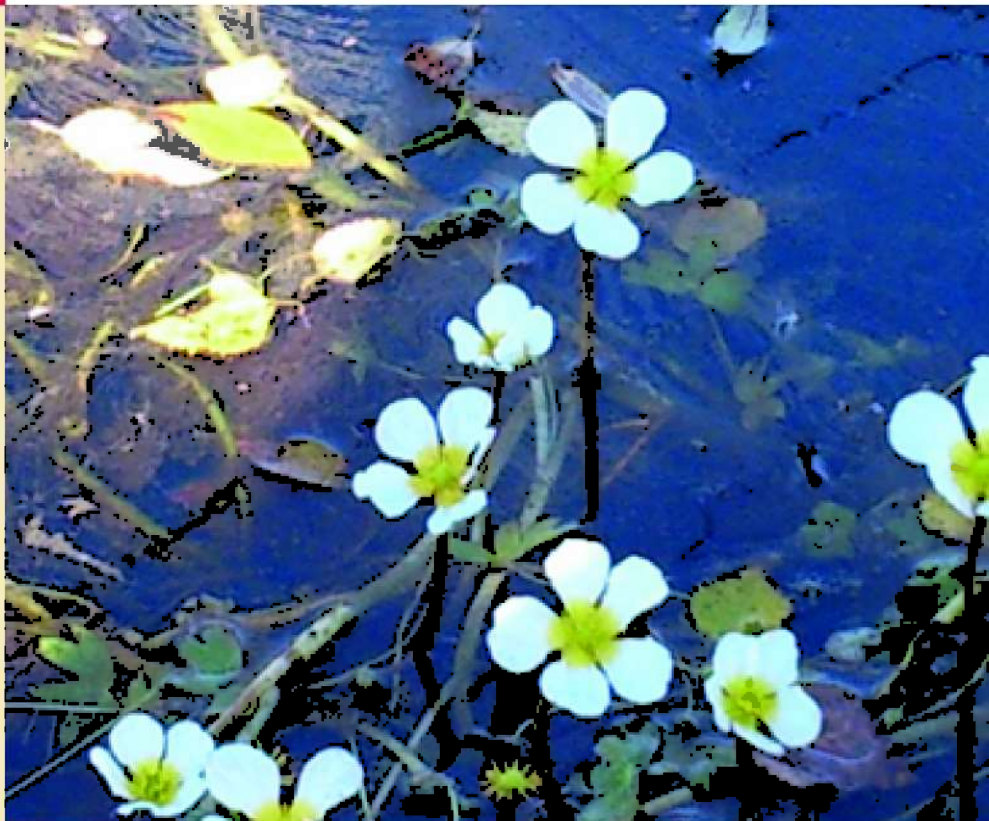


Mastergradsoppgave

Aud Sylvi Tellesbø

KLASSIFISERING AV  
MILJØTILSTAND I VANN  
VED BRUK AV VANNPLANTER



**Høgskolen i Telemark**

Fakultet for allmennvitenskapelige fag

Mastergradsoppgave i Natur-, Helse- og Miljøfag 2014

Aud Sylvi Tellesbø

## KLASSIFISERING AV MILJØTILSTAND I VANN VED BRUK AV VANNPLANTER



Høgskolen i Telemark

Fakultet for allmennvitenskapelige fag

Høgskolen i Telemark

Avdeling for allmennvitenskapelige fag

Institutt for natur-, helse- og miljøfag

Hallvard Eikas plass

3800 Bø i Telemark

<http://www.hit.no>

©2013 Chaina Aud Sylvi Tellesbø

Forsidebilde: Storvassoleie, *Batrachium floribundum*, tidligere *Ranunculus peltatus* i Glomma ved Kroken nær Røros. Foto: A. S. Tellesbø.

Bilde forrige side: Vannplanteforsker Hanne Edvardsen i sving på Havsjøen ved Røros. Foto A.S.Tellesbø

*“Man has travelled to the moon, but what does he know about his own planet? What does he know about the beauty of his own nature? What does he know about the mystery just hidden below the surface of the lakes and rivers?”*

*He is in a deep need of this water. It is said that he can't even survive for more than three days without it and still he has hardly seen the beauty of the hidden mystery just below the surface.*

*I was amazed when I first took a look. A new world opened up to me, so many forms and so many colours, so fragile, so dependent on the environment around it, nowhere to escape. Totally in the hands of the nature and how the humans treat them.*

*Plants in water, dancing in the light of the sun like glass-paintings on the most precious church, maybe more beautiful. It's alive, moving.*

*Some come from the darkness like hidden treasures in the moment the sun rays reach them. Some go all the way to the surface.*

*Other newer show themselves in the open sky.*

*We know the lotus. But a thousand more species are there. Hardly no one knows them. But we can't live without them even though we can't see the direct link. We are one with them.*

*In gratitude to this mystery of life I contribute my energy.*

*In gratitude to the beauty of these unseen screens I rejoice”.*

*Chaina*

## FORORD

Dette er en mastergradsoppgave ved Institutt for natur-, helse- og miljøvern (INHM) ved Høgskolen i Bø, avdeling Telemark. Oppgaven omfatter 60 studiepoeng, tilsvarende ett studieår.

Det er mange fine mennesker å takke for gode impulser til gjennomføringen av denne oppgaven. Først og fremst må jeg takke Shakti Shakila Albrigtsen for at jeg i det hele tatt har startet opp med disse studiene og for support til å vekke til live hjertenære interesser. Dernest vil jeg takke Synne Kleiven, førsteamanuensis i limnologi ved Høgskolen i Telemark, for veiledning og hjelp til å strukturere oppgaven og gi den en god kurs og faglig innhold. Uten Synne ville det bli vanskelig å få til noen konkret oppgave. Jeg setter stor pris på hennes positive, engasjerende og konstruktive personlighet. NIVA representert med Marit Mjelde og Hanne Edvardsen må takkes for et utrolig spennende og berikende feltarbeid sommeren 2013. Dette var gøy! De må også takkes for gode faglige innspill underveis. En stor takk rettes også til Arvid Odland, førsteamanuensis (professor) i botanikk ved Høgskolen i Telemark for hjelp med utførelse av statistiske analyser og faglige råd angående planter generelt. De ansatte ved biblioteket ved Høgskolen i Bø har også budt på mange gode og hjelpsomme opplevelser til fremskaffing av litteratur, veiledning i litteratursøk og bruk av programmet EndNote. En god tanke sendes den hyggelige og hjelpsomme «data-staben» på skolen, de fine lokalitetene, medstudentene, vaktmesteren, kantinepersonalet og støttende miljøet blant medstudenter på høyskolen og blant gode venner og medhjelpere ellers.

Bø, 15. mai 2014. Aud Sylvi Tellesbø/Chaina

## Ordforklaringer og forkortelser

Autøkologi	Studiet av enkeltarter og deres tilpasninger til miljøet, som oftest forholdet til abiotiske faktorer.
DCA	Detrended Correspondence Analysis. Ordinasjonsmetode for å visualisere samvariasjon i store komplekse datasett.
Eutrofiering	Økt planteproduksjon (av makrovegetasjon, fastsittende alger og planteplankton) som følge av økte tilførsler av plantenæringsstoffer som fosfor og nitrogen.
Indeks	Matematisk uttrykk for en indikator. Består av en formel som kan inneholde flere parametere.
Innsjømorfometri	Et uttrykk for hvordan en innsjø ser ut, og hvilke parametere en kan benytte for å beskrive den. Angir innsjøers størrelsesforhold og omhandler metoder for å måle fysiske dimensjoner.
Karakterisering	Identifisering av vannforekomster og kartlegging av belastning og tilstand (på bakgrunn av innsamlet og registrerte data). Typifisering og identifisering av påvirkninger inngår som en del av karakteriseringen.
Klassifisering	Fastsette økologisk og kjemisk tilstand i vannforekomster
Korrelasjonsanalyse	Statistisk test for å avdekke grad av samvariasjon mellom to variable.
Logaritmisk transformasjon	En variansstabiliserende transformasjon som gjør data mer normalfordelte
Lyskompensasjonsnivå	Nedre vekstgrense for plantevekst hvor ca. 5 - 10 % av innkommet PAR er igjen.
Miljøvariabler	Fysiske og kjemiske parametere med tilknytning til studieobjektets omgivelser og som kan variere i verdi med tid. For eksempel pH, næringsinnhold, siktedyp med mer.
NINA	Norsk Institutt for Naturforskning
NIVA	Norsk Institutt for Vannforskning

PAR	Photosynthetic Active Range. Den delen av det synlige lyset som plantene kan bruke til fotosyntese og som ligger i det fotosyntetiske aktive området: 380 – 720nm.
Primærdata	Nye data. For eksempel målte mengder av kjemiske parametere som er samlet inn av den eller de som lager undersøkelsen. Dette er data som enda ikke er publisert eller forandret på.
Referansetilstand	Naturtilstand. Antatt opprinnelig tilstand i en vannforekomst (i denne sammenhengen).
Strandlinjelengde, L	Omkretsen av innsjøen.
Strandlinjeutvikling, D	Uttrykker ujevnheter i strandlinjen. Man sammenligner strandlinjen(L) med omkretsen av en sirkel med areal lik innsjøens areal, D hvor $D = L / (2 \sqrt{\pi A})$ . Dersom $D = 1$ er innsjøen sirkelrund.
TIC	Trofisk indeks eller Trofisk makrofytt-indeks. Indikerer i hvor stad grad en naturlig vannforekomst er påvirket av eutrofiering. Høye verdier, nær 100, indikerer liten grad av påvirkning mens lave verdier, ned til – 100 indikerer høy grad av eutrofiering.
Typifisering	Inndeling av vanntyper etter fast system
Vannforekomst	En avgrenset og «betydelig» mengde overflatevann(f.eks. en innsjø, elv, fjord), eller et avgrenset volum grunnvann i et eller flere grunnvannsmagasin.
Vannforskriften	Forskrift om rammer for vannforvaltningen (FOR-2006-12-15-1446).
Vegetasjonsseksjoner	Inndeling som skisserer variasjonen i vegetasjonen fra kyst til innland, i Norge stort sett fra vest mot øst. Variasjonen henger sammen med forskjeller i oseanitet – kontinentalt hvor vintertemperatur (frost) og luftfuktighet (humiditet) er viktige klimafaktorer.
Vegetasjonssoner	Inndeling av vegetasjonen i regioner som viser variasjoner i vegetasjonen fra sør til nord og fra lavland til høyfjellet. Eksempler er nemoral-, boreal- og alpin sone med undergrupper.

## ABSTRACT

Anthropogenic activity is reducing the water quality in lakes worldwide. Europe has through the implementation of the Water Framework Directive, WFD, an objective for sustainable management of the water resources based on an assessment of ecological status. This is implemented through the Norwegian Water Framework Directive valid from January 2007. A system for monitoring and assessing water resources is under development. Based on biological quality elements such as plankton, periphytes, aquatic plants, benthic invertebrates, bryophytes and fish, the waterbodies should be assigned to an ecological status class ranging from very good, good, moderate, to poor and very poor. These quality classes are defined according to the degree of deviation from the natural state for each water type.

Since eutrophication is considered to be the most important anthropogenic influence in the EU, this thesis is focusing particularly on this effect. The biological quality-element of aquatic plants are the main focus, with an elaboration of to what extent aquatic plants can be used as or are suitable to describe ecological status in a waterbody according to eutrophication. The Norwegian index used to measure the effects of eutrophication, Tic (trophic index score), will be tested. The eight lakes included in the surveillance monitoring in 2013 are being used as a foundation for a further study of the aquatic plants and ecological condition concerning classification.

Determination of water type showed that four lakes appeared with new water types compared to previous typification. These are Holvatnet (extremely lime deficient, humic), Laugen (moderate calcareous, humic), Liavatnet (calcareous, clear) and Store Høysjøen (lime deficient, humic). Six out of eight lake types for aquatic plants in Norway is represented in the study.

The Norwegian lakes are normally described by their content of TOT-P, calcium, alkalinity, TOC and humic content. PCA - analyses showed that phosphate, followed by alkalinity and colour, was the most important predictors to explain the differences among the lakes in the surveillance monitoring. These results deviate from the average Norwegian lake, and can be explained by few research objects (8 lakes), and that the lakes do not form a representative picture of the national average since more lakes than usual are situated in areas with higher nutrition values than normal.

Ecological status with respect to aquatic plants is very good for four of the lakes (Holvatnet, Skjegstadvatnet, Songsjøen and Store Høysjøen) and good for 2 (Bjorvatn and Laugen). Lømsen (moderate) and Liavatnet (poor) are not within the reach of the environmental target of good



ecological status within 2021. Class boundary between good and moderate state seems to be more clear than the class boundary between very good and good ecological status by comparing lakes with same lake types or same lakes varying in ecological status from different years.

Comparing of Tic, Ellenberg index for nitrogen, K<sub>la</sub> and the chemical supporting parameters for eutrophication Tot-P and TOT-N indicates high degree of compliance. Running of water chemistry against biological records in a DCA-analysis did also show compliance with Tic where tolerant, sensitive and indifferent species clustered along DCA-axis 1, mainly explained by calcium, total phosphorus and alkalinity. Tic seems to be a good indicator to measure ecological conditions according to eutrophication.

Different multivariate statistical analyses, among others DCA, showed that aquatic plants are suitable to assess ecological status in a waterbody since the appearances and distribution of individual species can be measured and quantified in accordance to water chemistry. Species with a limited niche width relative to an environmental parameter can be used as indicator species. Knowledge about limnology, combined with knowledge about autecology, assist in setting borders between ecological classes.

Previous basic surveillance in Songsjøen and Bjorvatn imply that these lakes are affected by acidification. Therefore it might be possible that an index based on acidification would be more suitable.

## SAMMENDRAG

Menneskelige aktiviteter forårsaker antropogene påvirkninger som reduserer vannkvaliteten i mange innsjøer over hele kloden. Europa har gjennom Rammedirektivet for vann, heretter vanndirektivet, satt bærekraftig forvaltning av vannressursene basert på økologisk tilstandsvurdering som mål. Dette er implementert i norsk lovgivning gjennom vannforskriften gjeldende fra januar 2007. Et system for overvåkning og kartlegging av vannressursene er under utvikling. Vannforekomstene skal tildeles en økologisk tilstandsklasse fra svært god, god, moderat, dårlig til svært dårlig basert på biologiske kvalitetselementer som plankton, vannplanter, bunndyr, begroinger, mose og fisk. Klassegrensen defineres ut fra graden av avvik fra natur-/referansetilstanden.

Siden eutrofiering ofte anses som den største antropogene påvirkningsfaktoren innen EU, fokuserer oppgaven spesielt på denne effekten. Det er det biologiske kvalitetselementet vannplanter som står i fokus med en utdyping av i hvilken grad vannplanter kan benyttes til og egner seg til å beskrive økologisk tilstand i en vannforekomst i forhold til eutrofiering. Den norske indeksen for eutrofieringspåvirkning, TIC, vil bli testet. De åtte innsjøene som inngår i Utprøving av system for Basisovervåkning i 2013 er benyttet som grunnlag for en nærmere studie av vannplantene og økologisk tilstandsklassifisering.

Fastsettelse av vanntype viste at fire innsjøer fremkom med nye vanntyper i forhold til tidligere typifisering. Disse er Holvatnet (svært kalkfattig, humøs), Laugen (L-N8), Liavatnet (kalkrik, klar) og Store Høysjøen (L-N6). 6 av 8 innsjøtyper for vannplanter i Norge er representert i undersøkelsen. Normalt sett fordeler innsjøene seg i Norge etter innhold av TOT-P, Ca, Alkalinitet, TOC og humus. En kjøring av PCA analyse viste at fosfat etterfulgt av alkalitet og farge var de viktigste parameterne til å forklare forskjellen mellom innsjøene i basisovervåkingen. Dette avviker fra «normalen» og henger antakelig sammen med lite utvalg og at innsjøene ikke danner et representativt bilde av landsgjennomsnittet ved at flere av dem ligger i mer næringsrike og kalkrike områder enn hva som ellers er vanlig.

Økologisk tilstand med henblikk på vannplanter er svært god for 4 av innsjøene (Holvatnet, Skjegstadvatnet, Songsjøen og Store Høysjøen) og god for 2 (Bjorvatn og Laugen). Lømsen (moderat) og Liavatnet (dårlig) ligger ikke an til å nå miljømålet om god økologisk tilstand innen 2021. Klassegrensene mellom god og moderat tilstand ser ut til å være mer tydelig enn klassegrensene mellom god og svært god tilstand ved sammenligning av innsjøer med lik vanntype og sammenligning av resultater fra samme innsjø fra flere år.

Sammenligning av TIC med Ellenbergs nitrogenindeks, Kla og de kjemiske støtteparameterne for eutrofiering TOT-P og TOT-N antyder høy grad av samsvar. Kjøring av vannkjemiske data mot artsregistreringer i en DCA-analyse viste også et samsvar med TIC hvor tolerante, sensitive og indifferente arter grupperte seg langs DCA-akse 1 som i hovedsak er styrt av kalsium, TOT-P og alkalinitet. TIC ser derfor ut til å være en god indikator for fastsettelse av eutrofieringspåvirkning.

Forskjellige Multivariate analyser, som blant annet DCA, viste at vannplanter egner seg til å fastsette økologisk tilstand i en vannlokalitet da de enkelte artenes forekomst og utbredelse i forhold til ulike vannkjemiske og fysiske gradienter kan kvantifiseres. Arter med begrenset nisjebredde i forhold til en miljøvariabel kan benyttes som indikatorarter. På bakgrunn av limnologisk og autøkologisk kunnskap kan klassegrenser for de enkelte vanntypene fastsettes.

Tidligere basisovervåkning i Songsjøen og Bjorvatn antyder at disse vannene er noe forsuringspåvirket. Det kan derfor være mulig at en indeks basert på surhetspåvirkning ville være mer hensiktsmessig i disse vannene.

# INNHALDSFORTEGNELSE

Ordforklaringer og forkortelser

ABSTRACT

SAMMENDRAG

INNHALDSFORTEGNELSE

1.0. INTRODUKSJON .....	1
1.1. Utfordringen .....	1
1.2. Målsetting .....	2
1.3. Problemstilling .....	3
2.0. BAKGRUNN. ....	4
2.1. Lovgivning .....	4
2.2. Overvåkning .....	5
2.2.1. Biologisk overvåking .....	6
2.3. Typifisering .....	7
2.4. Fastsettelse av referansetilstand .....	8
2.5. Økologisk klassifisering .....	9
2.7. Metodeutvikling .....	9
2.7.1. TIC .....	10
2.7.2. Ellenberg-indeksen .....	12
2.7.3. Interkalibrering .....	12
2.8. Definisjon og inndeling av vannplanter. ....	13
2.8.1. Helofytter versus «ekte vannplanter» .....	16
2.8.2. Artsmangfold .....	17
2.8.3. Utbredelsesmønster og artssammensetning .....	17
2.8.4. Floristisk inndeling av innsjøene .....	25
3.0. Områdebeskrivelse .....	26
3.1. Bjorvatn .....	30
3.2. Holvatnet .....	32
3.3. Laugen .....	34
3.4. Liavatnet .....	35
3.5. Lømsen .....	37
3.6. Skjeggstadvatnet .....	38
3.7. Songsjøen .....	40

3.8. Store Høysjøen.....	41
4.0. MATERIAL OG METODE.....	43
4.1. Analysematerialet.....	43
4.2. Metodikk.....	43
4.2.1. Registrering av Vannplanter .....	43
4.2.2. Registrering og analyse av vannkjemi.....	44
4.3. Typifisering og klassifisering .....	45
4.3.1. TIC .....	45
4.3.2. EQR .....	45
4.3.3. Normalisert EQR, nEQR .....	45
4.3.4. Fastsettelse av økologisk tilstand .....	46
4.3.5. Ellenberg-indeks.....	46
4.3.6. Tilstandsklassifisering av fysisk-kjemiske støtteparametere og klorofyll a.....	46
4.4. Bearbeiding av innsamlet data for statistisk analyse.....	46
5.0. RESULTATER & DISKUSJON.....	49
5.1. Fysiske og kjemiske data.....	49
5.1.1. Typifisering.....	50
5.1.2. PCA-analyse.....	52
5.2. Biologiske data .....	55
5.3. Tilstandsklassifisering.....	57
5.3.1. TIC, økologisk tilstand, EQR og nEQR.....	57
5.3.2. Drøfting av tilstandsklassifiseringen basert på TIC.....	58
5.3.3. Sammenligning av TIC, Ellenberg, klorofyll a og fysisk- kjemiske støtteparametere for eutrofiering .....	63
5.4. Sammenligning av fysisk-kjemiske data og vannplantedata .....	65
5.4.1. Korrelasjonsanalyse av fysisk-kjemiske variable.....	65
5.4.2. DCA .....	66
5.4.3. GLM .....	69
5.4.4. Drøfting av DCA .....	69
6.0. KONKLUSJON.....	71
VEDLEGG 1. Oversikt over vannplanter, inkludert brakkvannsarter registrert i Norge....	74
VEDLEGG 2. Standard metode for analyse av vannkjemiske- og fysiske parametere. ....	78
VEDLEGG 3. Resultater vannkjemi .....	79
VEDLEGG 4. Korrelasjonsanalyse for fysisk-kjemiske parametere .....	83

<b>VEDLEGG 5. Summary of fitted Generalized Linear Models:</b> .....	84
<b>LITTERATURLISTE</b> .....	85
<b>INTERNETT-ADRESSER</b> .....	88

## 1.0. INTRODUKSJON

### 1.1. Utfordringen

I mangel av en overordnet ivaretagelse av vårt eksistensgrunnlag er jordens ferskvannsressurser, i likhet med mange andre naturressurser, i ferd med å bli forringet på grunn av blant annet befolkningsvekst, økt aktivitet innen industri og landbruk samt klimaforandringer (Gleick & Ajami, 2014). Økosystemene i ferskvann er blant de naturlige systemene på kloden som er mest utsatt for omfattende endringer. Endringene er av både kjemisk, fysisk og biologisk karakter og favner om alt fra næringsstoffanrikning (eutrofiering), vannstandsreguleringer og lokal forurensing til forsuring, tap av naturlige arter, innføring av fremmede arter, overbeskatning, økt fritidsbruk og annet. Også effekter fra den globale oppvarmingen er i ferd med å bli en voksende utfordring (Carpenter, et al., 2011; Lyche Solheim, A., et al., 2012).

Utviklingen av vanddirektivet i Europa (2000/60/EC) med bærekraftig bruk av vannet som hovedmålsetning, reflekterer den økende forståelsen for og behovet om en mer bevisst vannforvaltning. Mer enn halvparten av overflatevannforekomstene i Europa anses å ha en økologisk status som ikke tilfredsstiller kravene til en god vannkvalitet. Eutrofiering anses foreløpig som den største utfordringen i forhold til ferskvannsressursene i Europa. Hydromorfologiske endringer er for øvrig også i ferd med å bli en økende utfordring i mange vannforekomster (Lyche Solheim, A., et al., 2012).

Selve eutrofieringsproblemet er «lite» i Norge sammenlignet med andre land i Europa, men eutrofiering kan likevel være et stort problem lokalt, særlig i tettbebygde områder. De viktigste kildene til eutrofiering i Norge er landbruksforurensning og avløp fra husholdning (Faafeng & Oredalen, 1999).

Den beste måten å bestemme helsetilstanden til ferskvannsressursene er via kjennskap til de vannlevende plantene og dyrene, inkludert plankton, begroingsalger med mer som lever i vannforekomsten da disse gir et mer stabilt bilde av helsetilstanden over tid (Lyche Solheim, A., et al., 2013). Det er en stor utfordring å utvikle biologiske overvåkningsmetoder med en kvantifisert (tallfestet) forståelse av hvordan innsjøene reagerer på ytre påvirkninger og press fra ulike menneskelige aktiviteter samt å kunne fastsette graden av usikkerhet ved det endelige klassifiseringsresultatet. Det er nødvendig å finne ut hvilke beregningsmetoder som er minst påvirket av naturlige og metodologiske variasjoner og dermed best reflekterer de mest alminnelige

påvirkningene/presset på våre innsjøer samtidig som usikkerheten minimaliseres (Karr & Chu, 1999a).

Denne oppgaven fokuserer på vannplanter som et biologisk kvalitetselement i innsjøer og hvordan de kan benyttes til å fastsette økologiske tilstand i en vannforekomst. I forhold til den naturlige vannplantefloraen i Norge så er vannstandsendringer, eutrofiering og forsurening ansett som de største forstyrrelsene (Mjelde, 2011). Endret landbrukspraksis og introduksjon av fremmede arter er også store utfordringer. I følge vanddirektivet skal liknende vanttper ha liknende floristisk sammensetning hvis de har lik økologisk status (Penning, et al., 2008). Innsjøer fra Basisovervåkingen i 2013 i Norge vil bli brukt som «case» og feltarbeidet for oppgaven er utført regi av Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA. Innsamlet data om vannplanter og vannkjemi samt fysiske forhold vil bli analysert og tolket i lys av hvordan vannplanter kan benyttes til og egner seg til å fastsette økologisk tilstand i en vannforekomst.

## 1.2. Målsetting

Målsettingen med denne oppgaven er å bli kjent med hvordan vannplanter kan benyttes som et biologisk kvalitetselement til å bestemme økologisk tilstand i en vannforekomst samt å vurdere hvor pålitelig resultatet er. Med pålitelighet menes i hvor stor grad plantene kan benyttes til å si noe om:

- «Sunnhetstilstanden» i form av avvik fra naturtilstanden (økologisk tilstand).
- De fysiske - kjemiske forholdene i en vannforekomst
- Evnen til å indikere endringer på grunn av ulike antropogene påvirkninger.

Siden eutrofiering anses som den største antropogene forstyrrelsen på ferskvannsressursene fokuserer denne oppgaven på hvordan vannplantene kan gjenspeile eventuelle forandringer i trofigrad. Eutrofiering relaterer i denne sammenheng til konsentrasjonen av totalt fosfor, TOT-P.

Den nåværende vannplanteindeksen for eutrofiering i Norge, T1c, vil bli testet ut på et antall utvalgte innsjøer fra Basisovervåkingen. Resultatet vil bli sammenlignet med de fysiske og kjemiske forholdene i vannet for å se hvor godt det samsvarer med hensyn på vannkvalitet. Det vil bli vurdert hvor godt indeksen faktisk gjenspeiler innsjøens tilstand med henblikk på trofi-påvirkning. Styrker og svakheter med dagens metode samt hvordan vannplanter egner som et biologisk kvalitetselement vil bli diskutert.

I tillegg til å vurdere hvor godt samsvar det er mellom vannplantene i innsjøen og de kjemiske parameterne, vil en sammenligning av de to trofi-parameterne, T1c og Ellenbergs nitrogenverdier, bli gjennomført.



### **1.3. Problemstilling**

Problemstillingen er del i to deler hvor første del vil besvare spørsmålet om vannplanter egner seg til å fastsette økologisk tilstand i en vannforekomst? Den andre delen innebærer en praktisk uttesting av kvalitetselementet vannplanter i forhold til påvirkningen eutrofiering. Med vannforekomst menes i denne oppgaven en innsjø.

## 2.0. BAKGRUNN.

### 2.1. Lovgivning

Den overordnede vannforvaltningen i Norge er regulert av flere lover hvor særlig forurensningsloven, plan- og bygningsloven samt vannressursloven (lov om vassdrag og grunnvann) har en sentral rolle. Europaparlamentets og rådets direktiv 2000/60/EF om etablering av rammer for en felles vannpolitikk i EU (Vanndirektivet) er implementert i de norske lovene og uttrykkes gjennom forskrift om rammer for vannforvaltning, heretter kalt vannforskriften, som trådte i kraft 1.1.2007 (Lovdata.no<sub>A</sub>). Vannforskriften samler bestemmelser fra flere lover og forskrifter slik at vi har fått et mer samlet regelverk som styrker mulighetene for en mer helhetlig, nedbørsfelt- og økosystembasert vannressursforvaltning i Norge med hensyn til både overflate-, grunn- og kystvann.

Vanndirektivet ble formelt innlemmet i EØS-avtalen ved EØS-komiteens beslutning nr. 125/2007, som trådte i kraft 1.5.2009. Fra dette tidspunktet ble Norge forpliktet til å gjennomføre vanndirektivet i Norge. Miljøverndepartementet har det overordnede ansvaret og rapporterer til ESA, overvåkningsorganet i EU som kontrollerer at Norge oppfyller sine forpliktelser etter EØS-avtalen (Vannportalen.no<sub>A</sub>).

«Vannforskriften vedlegg V forutsetter at Norge utarbeider et klassifiseringssystem, med konkrete klassegrenser for å avklare den økologiske og kjemiske tilstanden for en vannforekomst i en av de fem klassene fra svært god til svært dårlig (vannportalen.no<sub>B</sub>)». Fastsettelse av kjemisk og økologisk miljøtilstand i vannforekomstene danner grunnlaget for å sette miljømål for naturlige vannforekomster samt utarbeidelsen av tiltaksanalyser og tiltaksprogram. Veileder 02:2013 Klassifisering av miljøtilstand i vann, skal bidra til at arbeidet blir gjort på en mest mulig ensartet måte i hele landet (Direktoratsgruppa, 2013).

I forhold til tidligere klassifiseringssystem av vann er det nå lagt mer vekt på biologi, klassegrenser er tilpasset vanntype, og det legges opp til et mer helhetlig system som på sikt skal ta hensyn til de viktigste påvirkningstyper på de økologiske forholdene i vann (Vannportalen.no<sub>B</sub>).

Biologiske kvalitetselementer som planteplankton, påvekstalger, vannplanter, makroalger og ålegress, bunndyr og fisk spiller derfor en større rolle. De brukes til fastsetting av den økologiske tilstanden til en vannlokalitet, mens fysiske og kjemiske forhold kun er støtteparametere. Dette innebærer at bl.a. vannplanter har fått en viktigere status med hensyn på fastsetting av miljøtilstanden i vann (Direktoratsgruppa, 2013).

Vanndirektivet understreker behovet for utviklingen av biologiske kriterier for å fastsette vannkvaliteten i innsjøene. Hovedmålet er å oppnå god økologisk tilstand i alle innsjøer innen 2015 for EU og 2021 for Norge. Vannplanter er et av de fire hoved biologiske kvalitetselementer som benyttes til å beskrive økologisk kvalitet. I følge direktivet skal liknende innsjøtyper ha en liknende arts-sammensetning av makrofytter hvis de har liknende økologisk status (Penning, et al., 2008).

## 2.2. Overvåkning

Vannforskriften legger opp til at tilstand i norske vannforekomster skal dokumenteres gjennom standardiserte overvåkingsprogrammer. Basisovervåkning inngår som en av tre typer overvåkning. De to andre er tiltaksovervåkning og problemkartlegging (Direktoratsgruppa, 2010; Schartau, et al., 2011).

Basisovervåkning er et forholdsvis nytt tiltak som startet opp i 2009. Intensjonen med overvåkingen er todelt og omfatter både overvåking av referansestasjoner (referanseovervåking) og overvåking av langsiktige endringer som følge av omfattende menneskelig virksomhet (Direktoratsgruppa, 2010; Schartau, et al., 2011). Siden vannforskriften setter krav om at både fysiske, kjemiske og biologiske forhold skal dokumenteres, innebærer dette at basisovervåkingen legger større vekt på biologisk overvåking enn det som har vært vanlig tidligere. Utvalget av fysiske, kjemiske og biologiske parametere varierer med påvirkningstype. Overvåking av referansesjøer omfatter alle vannkjemiske hovedkomponenter, plante- og dyreplankton, vannvegetasjon, bunndyr og fisk, mens overvåking av forurete og eutrofierte innsjøer er begrenset til de organismegrupper og parametere som er mest følsomme for disse påvirkningene (Miljødirektoratet.no <sup>A</sup>).

Basisovervåkingen kjennetegnes med å ha et fast stasjonsnett hvor prøvetaking skjer etter standard metode av alle viktige kvalitetselementer. Overvåkingen skal være landsdekkende slik at alle økoregioner, klimasoner, vanlige vann typer og påvirkningstyper blir representert (Schartau, et al., 2009).

Kartlegging av referansetilstand har blant annet til hensikt å fastslå referanseverdier for ulike økologiske kvalitetselementene samt å fastsette grenseverdier for eksisterende vann typer (Direktoratsgruppa, 2010). Langsiktig overvåking gjør det mulig å foreta fortløpende evaluering og revidering av referanse- og grenseverdier. Resultatene vil også kunne anvendes til å videreutvikle og eventuelt inkludere nye parametere i klassifiseringssystemet. Metodeutvikling for prøvetaking og tilstandsvurdering, rapportering og presentasjon av data med mer inngår som en del av utviklingsarbeidet innen overvåkingen (Miljødirektoratet.no).

Det er i praksis Norsk institutt for naturforskning, NINA, og Norsk institutt for vannforskning, NIVA, som utarbeider forslag til hvilke innsjøer som skal inngå i basisovervåkingen. Miljødirektoratet, MD, står som ansvarlig organ og øverste godkjenningssinstans. De økonomiske rammene som gjennomføringen av overvåkingsprogrammet har operert under de første årene har vært begrenset til 10-12 innsjøer per år. For å få et tilstrekkelig representativt utvalg av vannforekomster i ulike økoregioner, vanntyper og tilstandsklasser for en grunnleggende beskrivelse av klassegrenser og referanse-verdier ser det ut til at omfanget bør styrkes.

### 2.2.1. Biologisk overvåking

Inkludering av biologisk overvåking og krav til fastsettelse av økologisk tilstand i lovverket anerkjenner behovet for et mer helhetlig bilde av våre ferskvannsressurser og en aksept for at kjemien alene ikke er tilstrekkelig til å fastsette helsetilstanden i en vannlokalitet. Kjemisk vurdering alene kan fange opp et øyeblikksbilde av de vannkjemiske forholdene som måles men har en tendens til å underestimere den **totale degraderingen** og kan således medføre **feilslåtte tiltak** på grunn av manglende oversikt over den totale helsetilstanden (Karr & Chu, 1999b)

Tilstedeværelsen av levende organismer i vann representerer en oppsummering av miljøet de lever i siden økosystemet i vann er et produkt av årtusener med tilpasning til klima, geologi, kjemi samt andre fysiske- og biologiske faktorer. Organismene i vann integrerer alt som har skjedd der de lever samt i tilhørende nedbørsfelt og atmosfære. Når det skjer endringer i landskapet i og omkring en ferskvannlokalitet vil effektene nå økosystemet i vann. En biologisk evaluering av de forekommende artene kan derfor diagnostisere kjemiske, fysiske og biologiske konsekvenser så vel som deres samlede effekter (Karr & Chu, 1999b).

Biologisk overvåking identifiserer økologisk risiko av stor betydning for menneskelig helse.

Antropogen aktivitet degraderer akvatiske økosystemer på flere måter. Overfiske, innføring av fremmede arter, fysiske habitat-tap, vannstandsreguleringer og diverse aktiviteter kan forringe biologien og økosystemet i ferskvann uten at dette blir gjenspeilet i kjemisk prøvetaking.

Solheim med fler (2013) påpeker at biologisk overvåking fremskaffer et mye klarere bilde av en innsjø's status og kan lettere bli **forstått av allmenheten** enn de kjemiske data. Et mer helhetlig bilde av vannforekomsten vil gjøre det enklere å finne kjernen til eventuelle forringelser og dermed igangsette riktige tiltak (mer kostnadseffektiv forvaltning).

Dagens overvåkningsmetoder og kjennskap til biologi og økosystemenes funksjon muliggjør en langt mer presis og oversiktlig kartlegging av helsetilstanden i ferskvann enn hva som har vært mulig tidligere. Som eksempel kan nevnes bruk av store multimetriske analyseverktøy som muliggjør

kvantifisering av de enkelte artenes nisjebredde i forhold til ulike miljøparametere. Noen har svært begrenset nisjebredde for enkelte parametere og forekommer derfor kun under spesifikke forhold. Disse kan fungere som indikatorarter for den målte parameteren. Et eksempel er stivt brasmegras, *Isoetes lacustris*, som fungerer som blant annet indikatorart i forhold til vannstandsreguleringer (Mjelde, M., et al., 2012). Andre arter har vide nisjepreferanser og har dermed større toleranse og utbredelse i forhold til de målte parameterne. Vanlig tjønnaks, *Potamogeton natans*, finnes stort sett over alt i hele Norge og har derfor vide preferanser for mange kjemiske miljøparametere i vann (Lid, et al., 2005).

De ulike artenes toleranse i forhold til for eksempel fosfor og kalsium muliggjør en inngående studie av helsetilstanden i en vannforekomst. Noen arter forekommer hovedsakelig ved lave konsentrasjoner av disse næringsstoffene, som blant annet flere arter innenfor den funksjonelle gruppen isoetider. Andre arter må ha høy konsentrasjon av kalsium for å kunne leve og forsvinner når kalsium – innholdet blir for lavt. Dette gjelder for de fleste kransalger i Norge (Langangen, 2007a) Svært næringskrevende arter som vasspest, *Elodea canadensis*, og andemat, *Lemna minor*, trenger høye fosformengder for å kunne trives.

Variasjonen i de ulike artenes forekomst langs ulike miljøgradienter er en sentral forutsetning for å kunne bruke levende organismer og organismegrupper i vann til å fastsette vannets kvalitet og den økologiske tilstanden med henblikk på for eksempel vannplanter. Andre forutsetninger ved siden av at de ulike plantene reagerer forskjellig på fysiske, kjemiske og biologiske forhold i vannet er muligheten for kvantifiserbarhet og at usikkerheten ved resultatet ikke er for stort.

### 2.3. Typifisering

Innsjøene i Norge varierer mye i forhold til ulike miljøfaktorer. Det har vist seg at innsjøer med like fysisk-kjemiske forhold likner på hverandre økologisk (vannportalen.no [x](#)). På bakgrunn av dette kan vannforekomstene inndeles etter bestemte fysiske og kjemiske kriterier etter blant annet beliggenhet (økoregion), høyde over havet, størrelse, kalsiuminnhold og alkalinitet samt humusinnhold og innhold av totalt organisk karbon. Denne inndelingen av vanntyper kalles typifisering og danner grunnlaget for de 25 (8) innsjøtypene vi har i Norge (for vannplanter) (Direktoratsgruppa, 2013). Vanntypene anvendes til å fastsette forventet naturtilstand.

Det er nødvendig å fastsette vanntype før man kan gå inn med en nærmere analyse av økologisk tilstand for de enkelte biologiske kvalitetselementene. Forskjellig antropogen påvirkning kan ha ulik

effekt i ulike vanntyper slik at kjennskap til vanntype er nødvendig. Fastsettelse av riktig vanntype er derfor viktig for den videre tilstandsklassifiseringen.

Det har vist seg at det ikke har vært mulig å påvise noen variasjon med henblikk på vannplanter blant flere av de 24 innsjøtypene som vanndirektivet opererer med. Flere typer er derfor slått sammen slik at det nå eksisterer totalt 8 innsjøtyper med henblikk på vannplanter. Disse er hovedsakelig adskilt på bakgrunn av kalsium- og humusinnhold (Direktoratsgruppa, 2013), tabell 1.1.

**Tabell 1.1. Innsjøtyper for vannplanter i Norge med klassegrenser for trofi-indeksen, Tic. Vanntyper med fet skrift er interkalibrert med andre nordiske land. Kolonnen Norsk type angir hvilke av de generelle 25 norske vanntypene som inngår i hver enkelt innsjøtype for vannplanter (Klassifiseringsveileder 02:2013)**

Innsjøtype	Vannvegetasjon	Kalsium mg Ca/l	Farge mg Pt/l	Norsk type	Ref. verdi	SG/G	G/M	M/D	D/SD
001	Svært kalkfattige, klare	<1	<30	1,2,12,13	95	92	55	40	15
<b>002</b>	<b>Svært kalkfattige humøse</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&gt;30</b>	<b>3,14</b>	<b>78</b>	<b>71</b>	<b>55</b>	<b>40</b>	<b>15</b>
101	Kalkfattige, klare	1-4	<30	4,5,6,15,16	79	75	55	40	15
102	Kalkfattige humøse	1-4	>30	7,17	78	71	55	40	15
201	Moderat kalkrike, klare	4-20	<30	8,18	74	66	30	5	-35
202	Moderat kalkrike, humøse	4-20	>30	9,19	69	67	30	5	-35
301	Kalkrike, klare	>20	<30	10	75	63	30	5	-35
302	Kalkrike, humøse	>20	>30	11	73	63	30	5	-35

## 2.4. Fastsettelse av referansetilstand

Kjennskap til en vannforekomst eller vanntypes naturlige tilstand er helt avgjørende for å kunne vurdere eventuelle avvik fra denne som følge av antropogen påvirkning. En uberørt kalksjø på kambro-silurberggrunn på Jevnaker vil ha en helt annen artssammensetning enn en uberørt oligotrof innsjø på hard gneisberggrunn på Fosen-halvøya i Trøndelag. Derfor må man vite hvordan artssammensetningen er i naturlig uberørte lokaliteter for hver vanntype.

I følge vanndirektivet skal den økologiske tilstanden i en vannforekomst defineres i forhold til vannforekomstens avvik fra natur- eller også kalt referansetilstanden. Referansetilstanden angir den forventede økologiske tilstanden i fravær av antropogen påvirkning og tilsvarer god eller aller helst svært god økologisk tilstand. Da de ulike innsjøtypene kan reagere forskjellig på ulike stress-faktorer som bl.a. eutrofiering må referansetilstanden med tilhørende økologisk klassifisering beskrives for hver innsjøtype. Det er ofte utfordrende å definere referansetilstanden på grunn av begrenset tilgang på data og stor naturlig variasjon på innsjøene. Mange land i Europa har heller ikke tilgang på så mange naturlige lokaliteter. Nyere studier tilsier derfor at det kan være ekstremt vanskelig å finne minimalt påvirkede innsjøer som egner seg som referansesjøer (Sondergaard, et al., 2005).

## 2.5. Økologisk klassifisering.

Økologisk klassifisering av en vannforekomst innebærer fastsettelse av tilstanden til en av de fem gruppene svært god, god, moderat, dårlig eller svært dårlig på bakgrunn av de fem biologiske kvalitetselementene plankton, begroing, bunndyr, vannplanter og fisk samt fysiske og kjemiske støtteparametere. Klassifiseringen tar utgangspunkt i naturtilstanden til den enkelte innsjø/elv og de fem økologiske tilstandsgruppene representerer graden av avvik fra denne tilstanden (Direktoratsgruppa, 2013). For vannplanter innebærer fastsetting av økologisk tilstand å sammenligne naturlige tilstedeværelse av arter mot eventuelle endringer som forekommer ved ulik grad av påvirkning. En grunnleggende studie av hvordan vannplantesamfunnet endres ved ulike miljøpåvirkninger er derfor helt nødvendig for å kunne si noe om hva som skjer ved ulike grader av påvirkninger og påvirkningstyper

## 2.7. Metodeutvikling

Et mangfold av metoder for fastsettelse av økologisk tilstand og effekter av ulike typer forstyrrelser på det naturlige økosystemet i vann er utviklet både før og i etterkant av innføringen av vanddirektivet (Lyche Solheim, A., et al., 2013). En spørreundersøkelse blant landene i Europa fremla 297 metoder fra 28 land. Av disse omhandler 25 % innsjøer. Mer enn halvparten av metodene baserer seg på vannplanter (28 %) eller bunndyr (26 %) (Birk, et al., 2012). Poikane påpeker at det er en stor utfordring å lage pålitelige vurderingsmetoder for de biologiske kvalitetselementene (Poikane, et al., 2011). Solheim (2013) etterlyser et for behov å finne ut hvilke datainnsamlingsteknikker og videre beregningsmetoder som best reflekterer eventuelle forstyrrelser på innsjøsystemet med minst grad av usikkerhet og på virkninger av naturlige og metodologiske variasjoner (Lyche Solheim, A., et al., 2013).

De fleste nasjonale metodene har fokus på eutrofiering da dette anses som den største utfordringen i forhold til innsjøer i Europa (Lyche Solheim, A., et al., 2012). Solheim (2013) påpeker forøvrig at det i tillegg er svært viktig å utvikle metoder for å fange opp effekter av vannstandsreguleringer da dette er en økende utfordring. På sikt kan det være hensiktsmessig å utvikle en naturindeks som inkluderer flere aspekter av antropogen innvirkning på økosystemet slik at man får en mer helhetlig tilstandsvurdering for vannvegetasjonen i en vannforekomst. En slik indeks kan for eksempel inkludere eutrofiering, vannstandsreguleringer og forsurening med mer (Mjelde, 2011).

Hvilke muligheter man har til å beregne forskjellige indekser avhenger av feltmetodikken og hva slags parametere som er blitt undersøkt. Selve feltarbeidet varierer fra land til land og også innen samme land. Dette gir ulike forutsetninger for det videre arbeidet med innsamlet data.

Det er flere karakteristika ved forekomst av vannplantene som kan registreres i en innsjø. Noen av disse er forekomst av arter (artsrikhet), tilstedeværelse av indikatorarter der dette benyttes og maksimal vekstdybde,  $C_{max}$ , for de enkelte forekommende artene. Dekning og biomasse av ulike vekstformer/enkeltarter, biomasse med mer kan anvendes som parametere (Kolada, et al., 2011; Sondergaard, et al., 2005).

I en sammenligning av de ulike lands metoder med henblikk på eutrofieringspåvirkning har en interkalibrert artssammensetnings-indeks, ICM (Intercalibration Common Metric for lake macrophytes), som inkluderer følsomhet i forhold til TOT-P, ICM, Intercalibration Common Metric for lake macrophytes, vist seg å gi best resultat. Ellenberg-indeksen basert på artenes følsomhet til TOT-N viste seg også å være i stand til å gi en brukbar beskrivelse av eutrofieringspåvirkning, dog med unntak av enkelte innsjøtyper. Ved bruk av Ellenberg gir inkludering av helofytter oftest et bedre resultat. Sammenligningsstudiet til Solheim (2013) viste at en indeksberegning basert på maksimum dybde gav dårligst resultat (Kolada, et al., 2011; Lyche Solheim, A., et al., 2013).

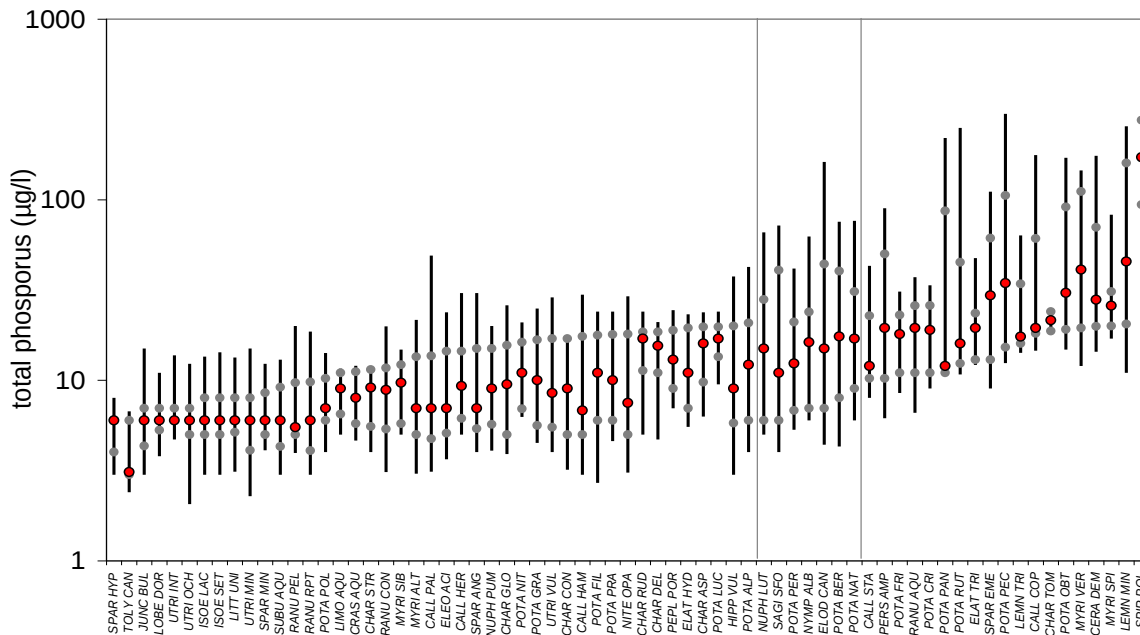
I Norge er det utviklet en indeks for eutrofiering basert på de enkelte artenes følsomhet i forhold til totalt fosfor, kalt Tic. Denne indeksen vist seg å ha sterkest korrelasjon ( $R=0,91$ ) med den internasjonale indeksen ICM av samtlige vannplanteindekser utviklet blant landene i Europa som ble testet i dette studiet (Lyche Solheim, A., et al., 2013). Dette til tross for at mengdevurderingen ikke er inkludert i denne indeksen.

### 2.7.1. Tic

Den norske trofi-indeksen, Tic, angir grad av eutrofiering når artssammensetningen og vanntype er kjent. Eutrofiering er i denne sammenheng definert i forhold til konsentrasjonen av totalt fosfor. Helofyttene er utelatt i denne beregningen som kun baserer seg på de «ekte vannplantene».

Mjelde (2008) har utviklet en tabell som illustrerer ulike vannplante-arter toleranse i forhold til fosforgradienten. Tabellen gir en indikasjon på den enkelte arts øvre og nedre toleransegrense i forhold til forekomsten av TOT-P i vannet (angitt med 25 % og 75 % percentilen) med de sensitive artene i forhold til eutrofiering gruppert til venstre i tabellen og de mest tolerante artene til høyre, figur 1.1. Denne tabellen danner grunnlaget for Tic indeksen (Penning, et al., 2008; Direktoratetsgruppe, 2013).





**Figur 1.1. Fordeling av vannplantearter langs total-fosforgradienten. Arter lengst til venstre i skjemaet med sin 75 % percentil under 20 µg fosfor (markert med den første vertikale linjen) er sensitive mens arter lengst til høyre i diagrammet med sin 25 % percentil over 10 µg P/l er tolerante (til høyre for den andre vertikale linjen). Indifferente arter befinner seg mellom de to vertikale linjene (Penning, et al., 2008).**

Sensitive arter foretrekker eller forekommer bare i upåvirkede innsjøer og får redusert forekomst og dekning ved eutrofiering. Alle arter som har sin 75 % percentil under 20 µg P/l er definert til sensitive i følge tabell 1.1. Tolerante arter har økt forekomst og dekning ved økt eutrofiering med begrenset dekning i upåvirkede innsjøer. De tolerante artene er definert til å ha sin 25 % percentil over 10 µg P/l. Indifferente arter befinner seg mellom disse to kategoriene. Totalt 51 karplanter og krasalger er karakterisert som sensitive, 28 som tolerante og 8 som indifferente. De øvrige artene som ikke inngår er enten sjeldne og /eller ikke karakterisert (Mjelde, M., pers. med.).

Selve beregningsmetoden baserer seg på forekomsten av sensitive og tolerante arter i forhold til det totale antall arter registrert i innsjøen. Det beregnes en Tlc-verdi for hver innsjø, men større innsjøer kan deles inn i underlokalteter hvor egne beregninger foretas. Tlc-verdien kan variere mellom +100 dersom alle tilstedeværende arter er sensitive og -100, hvis alle er tolerante.

Mengdeaspektet er ikke direkte inkludert i denne metoden til tross for krav om dette i følge vanddirektivets, kapittel V.

### 2.7.2. Ellenberg-indeksen

Ellenberg's nitrogenverdi er gjenspeiler i utgangspunktet artenes preferanse i forhold til næringsinnholdet i jordsmonnet. Indeksen er utviklet under mer sentral-europeiske forhold og baserer seg på den enkelte arts toleranse overfor nitrogen på en skala fra 1-9 hvor 1 angir ekstremt næringsfattige forhold og 9 er ekstremt næringsrike forhold (Ellenberg et al., 2001). Selv om innsjøer benevnes som eutrofe under norske forhold, kan de anses som mindre næringsrike i europeisk sammenheng. Sannsynligvis kommer ingen av de norske innsjøene opp i så høye tallverdier som 8-9 (Mjelde, M., pers. med.). Ut fra vegetasjonens sammensetning i den enkelte innsjø beregnes et vektet gjennomsnitt hvor forekomsten (mengden) av den enkelte art inkluderes. På denne måten kan vannplantevegetasjonen benyttes som en indikator på nitrogeninnholdet i innsjøen (inkludert bunnsedimentene).

### 2.7.3. Interkalibrering

Siden så mange ulike innsamlings- og bearbeidingsmetoder benyttes, er det et behov for å kunne sammenligne metodene mellom landene for å oppnå en felles forståelse av økologiske kvalitet. Denne prosessen kalles interkalibrering. Arbeidet er organisert i geografiske regioner med noenlunde like naturregioner og vanntyper. Norge tilhører i denne sammenheng Northern GIG, den nordiske interkalibreringsgruppen for elver og innsjøer bestående av Norge, Sverige, Finland, Irland og Storbritannia. Fra de ulike lands metoder er det blitt utviklet felles internasjonale tall-verdier som definerer de ulike økologiske tilstandsklassene fra svært dårlig til svært god, kalt normalisert EQR (Ecological Quality Ratio), nEQR. På denne måten oppnår man en felles forståelse av de ulike tilstandsklassene fra land til land (Poikane, et al., 2011; Direktoratgruppen, 2013). Denne interkalibreringsmetoden benyttes også for å sammenligne resultatene av tilstandsklassifisering til de ulike biologiske kvalitetselementene innen en innsjø for å fastsette samlet tilstand for innsjøen (Direktoratsgruppen, 2013).

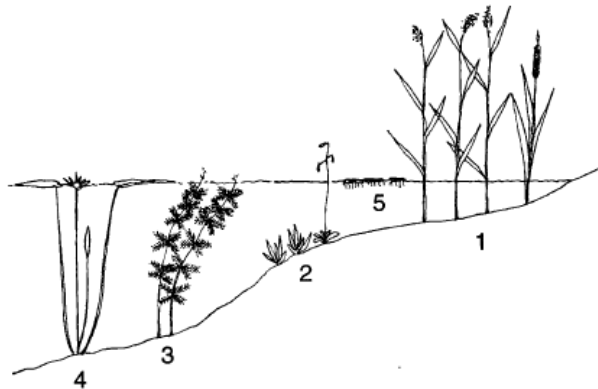
## 2.8. Definisjon og inndeling av vannplanter.

Vannplanter, også kalt makrovegetasjon i vann eller makrofytter, er planter som har sitt normale habitat i vann, nedenfor normalvannstands nivået. De forekommer oftere i vannvegetasjonen enn i landvegetasjonen og har sin største utbredelse i littoralsonen i innsjøer, grunne sakteflytende elver i lavlandet og våtmarker hvor de ofte dominerer primærproduksjonen (Rørslett & Hvoslef, 1986a; Aagaard, et al., 2002; Kalff, 2002).

Makroplantene kan inndeles på mange måter. De deles ofte inn etter voksested/habitat som semiakvatiske arter/ helofytter ("siv-vegetasjon") og akvatiske arter/"ekte" vannplanter/hydrofytter (Raunkiær, 1907). De semiakvatiske artene, helofyttene, har luftkanaler i rot, stengel, stilk og blad. De står med et velutviklet rotsystem under vann og med hoveddelen av de fotosyntetiserende organene over vannoverflata mesteparten av tiden. Helofyttene danner kantvegetasjon. De kan vokse ned til et dyp på 1-2 meter (også mer) og kan finnes over vannlinjen såfremt røttene har kontakt med fuktig jord (Aagaard, et al., 2002; Kalff, 2002). Eksempler på helofytter er elvesnelle, *Equisetum fluviale*, Takrør, *Phragmites australis* og brei dunkjevle, *Typha latifolia* (Økland, 1996; Lid, et al., 2005).

De ekte vannplantene, vokser helt neddykket eller har blader flytende på vannoverflata og deles inn i 4 livsformgrupper etter hvordan de ser ut og lever. Disse er isoetider (kortsukksplanter), elodeider (langskuddsplanter), nymphaeider (flytebladsplanter) og lemnider (frittflytende planter) (Du Rietz, 1921), figur 1.2. Representanter for disse fire gruppene, som representerer forskjellige livsformstrategier, har vist seg å utnytte miljøet på vidt forskjellige måter, noe som gjør at de kan anvendes til å karakterisere miljøforholdene i en innsjø (R. Rørslett & Hvoslef, 1986a). I tillegg til disse karplantegruppene inkluderes kransalgene, *Charophyceae*, i den økologiske miljøtilstandsvurderingen. Dette er en relativt homogen gruppe store grønnalger som finnes i ferskvann og brakkvann (Aagaard, et al., 2002; Direktoratgruppen, 2013).

- (1) helofytter, «siv-vegetasjon»
- (2) isoetider, kortskuddsplanter
- (3) elodeider, langskuddsplanter
- (4) nymphaeider, flytebladsplanter
- (5) lemnider, frittflytende planter, samt kransalgene (ikke inntegnet)



Figur 1.2. Ulike livsformgrupper av vannplanter. Kransalgene kommer i tillegg (Direktoratsgruppa, 2013).

De ekte vannplantene, **hydrofytterne**, er morfologisk tilpasset et liv i vann ved blant annet å ha lite støttevev i stengelen (konsentrert sentralt for å tåle bevegelser i vannet) og å mangle kutikula og spalteåpninger på plantedeler nedsenket i vann. De har undervannsblad som ofte er lange, tynne og flikete for å få størst mulig overflate noe som blant annet bedrer opptaket av næringsalter under vann. Hydrofytterne kjennetegnes også med å ha store intracellulære rom med mulighet for gassdiffusjon i fra øvre til nedre deler av planten. De kan ofte ha heterofylli, det vil si at en og samme plante har flere typer blader som for eksempel flyteblad og undervannsblad (Økland, 1996).

Som ekte vannplanter regnes de som er i stand til å gjennomføre en regenerativ syklus når alle vegetative plantedeler er nedsenket (de kan ha flyteblader), eller som vanligvis finnes nedsenket men reproduseres seksuelt når de vegetative plantedelene blir tørrlagt (Hartog & Segal, 1964; Flatberg, 1976).

Jfr. Økland har makrovegetasjonen i ferskvann utviklet seg fra landplanter. De har måtte tilpasse seg et miljø med bl.a. mindre lys, oksygen og ofte lite CO<sub>2</sub> samt økende hydrostatisk trykk nedover i dypet. Planter i vann har generelt større utfordringer med å drive fotosyntese enn de landlevende plantene i og med at de befinner seg under vann. Også formeringen er til dels annerledes i vann enn på land. Tilgangen på næringsalter og vann kan imidlertid være lettere (Økland, 1996).

**Isoetider**, også kjent som kortskuddsplanter, er rotfaste planter med blad som danner rosett under vann. Rotbiomassen er relativt stor. De små rosettplantene, inkludert isoetidene, er de eneste undervanns makroplantene som er kjent for å bruke mye CO<sub>2</sub> fra sedimentene. De har stengler med store intracellulære rom som muliggjør CO<sub>2</sub> diffusjon oppover fra røttene om dagen og oksygen ned

om natten (Økland, 1996). Rosettplanter er ofte dominerende i oligotrofe innsjøer i den boreale klimasone som er kjennetegnet med lav mengde oppløst karbon i vannet slik at en livsform med opptak av CO<sub>2</sub> og næringsstoffer via røttene er en fordel (Kalff, 2002). Isoetidene er derfor det mest karakteristiske vegetasjonselementet i norske næringsfattige innsjøer, og vokser vanligvis fra strandkanten ned til et par meters dyp, men enkelte arter kan forekomme på dypere vann (Aagaard, et al., 2002). Det er ikke uvanlig å finne dem på tørt land ved lav vannstand (Odland, A., pers. med.). Veksthastigheten er lav og artene overvintrer ofte grønne. Noen kortskuddsplanter er svært små og vokser stort sett bare i strandkanten (pusleplanter). De fleste av artene er ettårige og delvis amfibiske (Aagaard, et al., 2002).

**Elodeider** er langvokste planter, langskuddsplanter, og dominerer ofte i mer næringsrike lokaliteter. Lange stengler med blader nede i vannet gjør at de kan danne undervannsskoger. Flyteblader utvikles sjeldent. De kan enten flyte fritt i vannmassene som bl.a. hornblad, *Ceratophyllum demersum* eller være festet til bunnsstrat med røtter som bl.a. tusenblad, *Myriophyllum alterniflorum* og vasspest *Elodea canadensis*. De vokser fra ca. 0,5 meters dyp ned til flere meter. Plantene har liten rotbiomasse og som karbonkilde benytter de bikarbonat, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, eventuelt CO<sub>2</sub> fra vannmassene. Næringssaltene tas dels fra sediment og dels fra vann (Rørslett, 1985; Rørslett & Hvoslef, 1986a; Økland, 1996; Aagaard, et al., 2002; Lid, et al., 2005).

**Nymphaeider.** Flytebladsplanter. Vokser på omtrent samme dyp som langskuddsplantene, det vil si dypere enn ca. 0,5m. Plantene har lange stengler opp til overflata og blader som flyter på overflata. De er rotfestet med stor rotbiomasse og tar næringsstoffer fra sedimentet og CO<sub>2</sub> fra luften. Enkelte arter kan også ha rikelig med undervannsblader og danne skoger av undervannsvegetasjon sammen med elodeidene (Rørslett, 1985; Økland & Økland, 1999; Aagaard, et al., 2002;).

**Lemnider** er flyteplanter som flyter fritt i vannoverflaten. De har små røtter på bladens underside. Plantene henter CO<sub>2</sub> fra lufta og næringsalter fra vannet og konkurrerer dermed med det langt mer hurtigvoksende planteplanktonet i de frie vannmassene om næringen. De norske artene er ganske små (Rørslett, 1985; Rørslett & Hvoslef, 1986a; Økland & Økland, 1999; Aagaard, et al., 2002).

**Kransalger, Charales,** er en egen gruppe grønnalger som finnes i ferskvann og brakkvann. Kransalger varierer i størrelse fra noen få centimeter til godt over en meter og kan ligne litt på sneller, *Equisetum*, med sine kransstilte kortskudd. Plantene er festet til sedimentet med lange trådformete utvekster. Denne algegruppa antas å være forløperen til høyere planter. De foretrekker ofte innsjøer og tjern med rent og kalkrikt vann (Langangen, 2007a). Klassifiseringsveilederen opererer med 24 arter innen fire slekter (Direktoratsgruppa, 2013). De fleste er rødlistet hvorav 22 regnes som truet eller nær

truet. Seks av disse artene er også indikatorarter for «kalkrike innsjøer», en utvalgt naturtype i henhold til Naturmangfoldloven § 52 (artsdatabanken.no).

Mange vannplantearter kan forekomme i mer enn en vekstform (Rørslett & Hvoslef, 1986a).

Tabell 1.2. gir en oppsummering av de ulike økofysiologiske grupperingene av de ekte vannplantene etter karbonkilde, næringsopptak og rot-biomasse. Kransalgene oppføres ofte sammen med elodeidene da de fysiognomisk og funksjonelt har en del likhetstrekk (Rørslett, 1985). CAM - metabolisme står for «crassulacean acid metabolisme» og er en spesiell type fotosyntese (mn.uio.no).

Tabell 1.2. Funksjonell gruppering av vannplanter etter karbonkilde, næringsaltopptak og rotbiomasse (Rørslett, 1985).

GRUPPE	TYPISKE SLEKTER	KARBON-KILDE	NÆRINGSSALTER FRA	ROTBIOMASSE
ISOETIDER	<i>Isoetes</i> <i>Litorella</i>	CAM-metabolisme CO <sub>2</sub> fra sediment	Sediment	Stor
NYMPHAEIDER	<i>Nymphaea</i>	CO <sub>2</sub> fra luft	Sediment	Stor
ELODEIDER	<i>Elodea</i> <i>Potamogeton</i> <i>Najas</i>	HCO <sub>3</sub> fra vann evt. Fakultativt CO <sub>2</sub> fra vann	Sediment (P) + vann (K, N?)	Liten
LEMNIDER	<i>Lemna</i>	CO <sub>2</sub> fra luft	Vann	Liten

### 2.8.1. Helofytter versus «ekte vannplanter»

Det har pågått en diskusjon om hvorvidt helofyttene bør inkluderes i arbeidet med økologisk klassifisering i forhold til vanndirektivet. I land hvor makrofytt-baserte vurderingsmetoder for trofegrad ennå ikke er utviklet og hvor nasjonale/regionale trofi-beregninger i forhold til total fosfor for vannplantefloraen ikke foreligger, har beregninger basert på Ellenbergs nitrogen-verdier vist seg å gi brukbare resultater. I den sammenheng har inkludering av helofytter ofte forbedret resultatet (Kolada, et al., 2011).

Flere studier har for øvrig vist at beregninger basert på helofytter fungerer dårligere til å vurdere effektene av eutrofiering enn de ekte vannplantene. Helofyttene er utsatt for større grad av forstyrrelser fra faktorer som ikke direkte styres av vannkjemiske parametere som næringsforholdene i jorda de vokser i, graden av eksponering og vannstandsendringer de utsettes for, forvaltning av strandlinjen samt at de ikke utelukkende forholder seg kun til vannfasen med en stor del av planten over vann. Helofyttenes respons på eutrofiering anses derfor å bli forstyrret av for mange

utenforliggende parametere og er dermed mindre egnet til å si noe klart om forholdene i selve innsjøen (Penning, et al., 2008; Dudley, et al., 2012).

Helofyttene er derfor ofte utelatt i det videre arbeidet med økologisk klassifisering i forhold til vanddirektivet i mange land. Dette gjelder også for Norge, noe som medvirker til at denne oppgaven fortrinnsvis omhandler de «ekte» vannplantene, med unntak av en sammenligning mellom den norske trofi-indeksen, T1c, og trofi-beregninger basert på Ellenbergs nitrogen verdier. Også under feltarbeidet ble de viktigste helofyttene registrert (Edwardsen, H., pers. med.).

### 2.8.2. Artsmangfold

Klassifiseringsveilederen opererer med 148 vannplanter inkludert brakkvanns-arter og kransalger i Norge. Av disse er 19 isoetider, 71 elodeider, 23 nymphaeider, 11 lemnider og 24 kransalger (Direktoratsgruppa, 2013). Vedlegg 1 gir en oversikt over de norske vannplantene med den enkelte arts følsomhet overfor eutrofiering, vannstandsreguleringer og forsuring samt rødlistekategori. Norsk rødliste for arter, 2010 angir at 55 av de totalt 148 vannplantene inngår i kategorien truet eller nært truet (NT). Truede arter inkluderer kategoriene kritisk truet (CR), sterkt truet (EN) eller sårbar (VU) og har høy til ekstrem høy risiko for å dø ut. I tillegg anses klumpandemat, *Lemna gibba*, å være regionalt utdødd (RE) (artsdatabanken.no). Av de 55 rødlista artene er 7 isoetider, 19 elodeider, 2 nymphaeider, 5 lemnider og 22 kransalger. 22 av de 24 kransalgene inngår i denne gruppen. Dette skyldes i hovedsak at de fleste kransalgene foretrekker kalkrike lokaliteter, noe som vi har en begrenset utbredelse av her i Norge (Mjelde, M., et al. 2012). Begrenset areal av mer næringsrike og kalkrike avsetninger sammen med antropogen påvirkning fra tettbebyggelse, landbruk og endringer i landbruk (opphør av beite), vannstandsreguleringer og endringer i kantsoner samt forsuringer medvirker til denne høye andelen av rødlistede arter i Norge.

### 2.8.3. Utbredelsesmønster og artssammensetning

Aagaard m.fl. (2002) nevner at fordelingen av vannplanter først og fremst er bestemt av klima, innvandringshistorie og naturforhold. Ellers er det mange fysiske, kjemiske og biologiske faktorer som innvirker på utbredelsen, inkludert mengdefordeling og artssammensetning, av vannplanter både horisontalt og vertikalt i en ferskvannslokalitet. Blant faktorer som innvirker på fordelingen kan nevnes: geografisk beliggenhet (herunder årstidsvariasjoner, lysintensitet og høyden over havet), klima regionalt og lokalt (temperatur, nedbør, vind, vekstsesongens lengde), geologi (berggrunn og kvartærgeologiske forhold), substratet (alloktont - autokton, minerogent - organisk, partikkelstørrelser, humusinnhold, substratets stabilitet - erosjonssoner kontra sedimentasjonssoner),

topografiske forhold (terrengets helning, nedbørfeltets størrelse), innsjømorfometri (areal, strandlinjeutvikling, effektiv lengde og bredde, oppholdstid, maks- og middeldyp med mer), isforhold og -erosjon, bølgeeksponering/vind, vannstandsvekslinger, konkurranse og ulike antropogene påvirkninger. Kjemiske og fysiske parametere i selve vannet som fastsetter innsjøtype og andre parametere som turbiditet/partikkelinnhold, siktedyp, næringsstatus (trofigrad), trykk, pH, mengden oppløst karbon (DOC) og karbonets form i vannet, konduktivitet, fosfor, nitrogen og andre næringsstoffer er også med og bestemmer forekomst og utbredelse av vannplanter (Rørslett, 1991; Mjelde & Mjelde, 1997; Økland & Økland, 1999; Heegaard, et al. 2001; Kalff, 2002; Murphy, 2002; Direktoratetsgruppe, 2013).

**Den geografiske beliggenheten** i landet vil avgjøre hvilke vannplanter som kan vokse der både på bakgrunn av klima (veksts sesongens lengde), plantenes innvandringshistorie samt geologiske og andre fysiske faktorer som kan varierer med geografisk beliggenhet (Rørslett & Hvoslef, 1986b, Rørslett, 1991, Mjelde, 1997). Fordelingen av vannplanter i Norden deles ofte i seks grupper på bakgrunn av geografisk utbredelse i postglasial tid og innvandringshistorie etter siste istid. Den første gruppen benevnes som totalarter og finnes stort sett over hele Norden. Dernest følger de Nordlige arter som hører til i fjellområder og nordlige distrikter. De tåler ikke høye sommertemperaturer men trenger lang dag for blomstring og frøsetting. Østlige arter har innvandret fra øst og foretrekker innlandsklima med uavbrutt vinterdvale. Eksempel på en østlig art er storvass-soleie, *Ranunculus peltatus*, funnet under feltarbeidet sommeren 2013 i blant annet Glomma ved Røros. Vestlige arter mangler i Finland og har lav toleranse for vinterfrost i likhet med de sydvestlige artene som dominerer i Danmark, syd-Sverige og på Vestlandet. Den siste gruppen, de sydlige artene, inndeles i 5 undergrupper med utbredelse fra sydlige strøk og mangler lengst i nord (Påhlsson, 1998; Økland & Økland, 1999).

På global skala spiller breddegrad en avgjørende rolle. Den sesongvise og årlige solinnstrålingen en innsjø mottar er essensiell for artsdiversiteten og hvor dypt planter kan vokse samt på hvilke dyp man finner størstedelen av biomassen i vannet. Innsjøer på lavere breddegrader mottar større årlig solinnstråling, noe som bidrar til kontinuerlig veksts sesong gjennom året. Også vanntemperaturen er høyere og bidrar derfor til høyere produksjon samt muliggjør vekst på dypere vann, inntil det hydrostatiske trykket blir for stort for ledningsvevet til karplantene (Økland & Økland, 1999; Kalff, 2002). På høyere breddegrader (og også høyt til fjells) mangler ofte makrofytter fordi veksts sesongen blir for kort og kald (Rørslett & Hvoslef, 1986b; Kalff, 2002). Man antar at 5°C er det biologiske nullpunktet, eller den nedre kritiske grensen for å drive fotosyntese for de fleste arter (Odland, A., pers. med). Dette er sentral årsak til at vi i Norge kun har omkring 150 arter av vannplanter, et temmelig lavt artsmangfold sammenlignet med varmere breddegrader.



**Klima** henger sammen med breddegrad og omfatter temperatur (vintertemperatur, sommertemperatur, temperatur for varmeste sommermåned), nedbørsforhold, lengden på vekstsesongen, daglengde med mer. Mjelde oppgir at vekstperiodens lengde var den viktigste klimafaktoren for vannvegetasjonen (Mjelde, 1997).

Under tøffere klimaforhold, med sju måneder med isdekke eller mer, erstattes de dekkfrøede plantene (angiospermer) av moser (Kalff, 2002).

Nasjonalatlas for Norge om vegetasjon inndeler landet i fem vegetasjonssesjoner etter grad av oseanitet – innlandspåvirkning. Inndelingen henger sammen med forskjeller i oseanitet med luftfuktighet (humiditet), vintertemperatur (frost) og temperaturforskjell gjennom døgnet/året som sentrale klimafaktorer. Innsjøer lokalisert nær kysten vil ha større grad av oseanitet, det vil si at de er mer påvirket av kystklimaet, enn innsjøer lenger inn i landet, som er mer påvirket av innlandsklimaet. Innsjøens beliggenhet i forhold til de norske vegetasjonssonene blir også beskrevet i Nasjonalatlasen. Disse er i hovedsak bestemt av klimaet og plantenes krav til sommervarme samt for de to sørligste sonene (nemoral og boreonemoral sone) vintertemperatur. Vegetasjonssonene varierer fra sør til nord og fra lavland til fjell (Moen, 1998).

**Geologien med dens hydrogeokjemiske egenskaper** har en avgjørende betydning for omfang og artsutbredelse i en vannforekomst (Murphy, 2002). Berggrunnen med tilhørende løsmasser spiller en sentral rolle for tilgangen på næringssalter til vannet og arealbruken i nedbørsfeltet. Dette kan være avgjørende for blant annet trofigraden i innsjøen. Særlig beliggenheten i forhold til marin grense er sentral. Vestlige og nordlige regioner av nordlige Europa består av mer tungt forvitterlig berggrunn noe som gir næringsfattige oligotrofe innsjøer med lav alkalinitet og begrenset kalsiuminnhold. Dette gir grunnlag for vannplanter som er mer eller mindre begrenset av hvilken tilstand karbon forekommer i til oppbygning av plantene. *Lobelia*-sjøer dominert av isoetider som bruker CO<sub>2</sub> som karbonkilde blir ofte favorisert under slike forhold med hardt, lite forvitterlig grunnfjell (Murphy, 2002). Lavereliggende områder med marine avsetninger av silt og leire og kambro-silur områdene i Norge gir grunnlag for mer næringsrike og til tider kalk-krevende vannplanter. I disse lavereliggende områdene har vi ofte det høyeste artsantallet i Norge (Rørslett, 1991).

**Innsjømorfometri** omhandler innsjøens fysiske egenskaper og har vist seg å være sentral for arts sammensetningen og utbredelsen av vannplanter i mange studier (Rørslett, 1991; Heegaard, et al., 2001; Makela, et al., 2004). Faktorer som innsjøareal, strandlinjelengde, strandlinjeutvikling, maksimal og gjennomsnittlig dybde, oppholdstid, volum og volumutvikling, strandlinjens helning med mer inngår som innsjømorfometriske parametere (Kalff, 2002). Rørslett (1991) viste at innsjøareal

var den mest sentrale miljøparameteren for å forklare artsrikhet i Nordiske innsjøer, noe som siden er bekreftet av Murphy for innsjøer i Nord-Europa (Murphy, 2002). Et større areal kan inneholde større variasjon i nisje-habitater og dermed flere arter. Også strandlinjens lengde- og utvikling kan være sentral da en innsjø med flere «kroker og kriker» kan inneholde et større mangfold av nisjer og dermed arter. Maksimal og gjennomsnittlig dybde er sentral for hvor utbredt vannplantefloraen er da de alle har en nedre vekstgrense. Øyer, holmer og skjær medvirker til flere grunne områder hvor vannplanter kan etablere seg. I tillegg til de innsjømorfometriske parameterne er nedbørsfeltets topografi av betydning for forståelse av innsjøen og dens floristiske sammensetning.

Bunnens helning og substratets sammensetning innvirker på plantenes mulighet til rot-festing. Slakere helning gir grobunn for mer plantevekst i littoralsonen. Næringssaltanrikning i forhold til innløp og avrenning kan også medvirke til fordelingen horisontalt (Kalff, 2002).

### **Naturlige og antropogene påvirkninger**

Arealbruk i nedbørsfeltet som bl.a. landbruk- og gjødselvirksomhet, tettbebyggelse, rekreasjon, skogsdrift, gruvedrift, avløpsvann fra husholdninger og industri med mer har vist seg å ha en stor innvirkning på hvilke arter man finner i en innsjø (Heegaard, et al., 2001). Grime (1979), Lachavanne (1985) og Rørslett (1991) har påvist at middels grad av forstyrrelse gir den høyeste artsdiversiteten (både taksonomisk og funksjonelt) i ferskvannsinnsjøer. Fysisk stress kan være naturlige sesongmessige variasjoner i klima ved veksling mellom tørre og våte perioder, bølge- og is eksponering (naturlig og kunstig) temperaturforhold, vannstandsvekslinger, vannstrømninger eller miljømessig stress relatert til eutrofiering (Kalff, 2002). Rørslett (1991) skriver at lav artsdiversitet ofte henger sammen med innsjøregulering, lav pH eller hypereutrofe forhold mens den høyeste artsrikdommen forekommer i innsjøer med middels grad av forstyrrelse. Mindre mesotrofe innsjøer som har gjennomgått en senkning av overflatenivået og innsjøer med moderate endringer i vannstanden på 1-3 m år<sup>-1</sup> viste seg å ha høyest diversitet.

Bølgeslag og iserosjon kan hindre vannplanter i å trives på grunt vann, noe som medvirker til at vegetasjonen begynner dypere ned i littoralsonen. Vannstandsendringer kan forsterke slike effekter (Økland, 1996; Kalff, 2002).

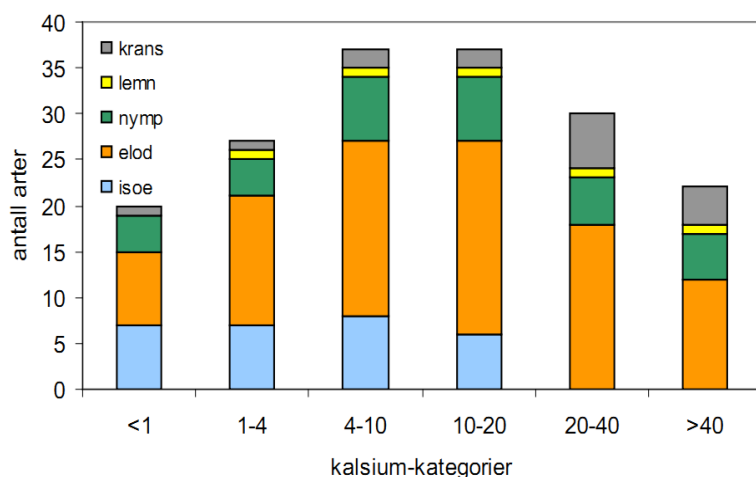
**Hvilke parameter er viktigst?** Forskjellige studier viser at miljøvariablene med høyest forklaringsverdi kan variere mye fra studie til studie. To store studier av Skandinaviske innsjøer og innsjøer i Nordlige Europa har vist at innsjøareal, høyde over havet, trofigrad og flere parametere knyttet opp mot vannkvalitet forklarte artsrikheten best (Rørslett, 1991; Murphy, 2002). Flere studier har vist at innsjøareal er den viktigste parameteren til å forklare artsrikhet (Rørslett 1991; Kalff, 2002; Makela, et al., 2004).

## Vannkvalitet

Innsjøens vannkemi er avgjørende for hvilke arter som kan leve der. Det er spesielt sammenhengen mellom de vannkjemiske – og fysiske parameterne og forekomst av vannplanter som har fokus i denne oppgaven. De mest sentrale parameterne for å forklare forekomst av vannplanter som blant annet kalsium/alkalinitet, lys- og humusforhold samt næringssalter (fosfor og nitrogen) vil bli diskutert her (Mjelde, M., pers. med.).

## Kalkinnhold

Naturlige forskjeller i kalkinnhold skaper markerte forskjeller i artsmangfold og sammensetning og benyttes til å gruppere innsjøene i ulike grupper med henblikk på vanntype generelt og floristiske innsjøtyper spesielt (Direktoratsgruppa, 2013). Mangfoldet av ferskvannsorganismer viser generelt positiv sammenheng med kalkinnhold. Figur 1.3. illustrerer hvordan de ulike funksjonelle vannplantegruppene forekommer i forhold til kalsiumkategorier. Isoetidene har sin hovedutbredelse i kalkfattige, oligotrofe lokaliteter og forsvinner ved høye kalsiumkonsentrasjoner mens kransalgene viser motsatt effekt. Vannvegetasjonen viser størst diversitet i moderat kalkrike innsjøer med en kalsiumkonsentrasjon på 4-20 mg Ca l<sup>-1</sup> (Mjelde, M., et al., 2008). De mest kalkrike kalksjøene kan imidlertid ha lavere artsrikhet antakelig på grunn av utfelling av næringsstoffer som bikarbonat og fosfat samt dannelse av kalkmergel (Mjelde, M., et al., 2012).

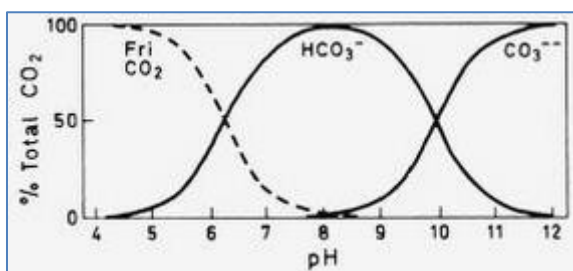


Figur 1.3. Antall arter i ulike vannplantegrupper, fordelt på innsjøer etter kalsium konsentrasjonen i vannet Kilde: Mjelde, M. et al., 2008.

Mjelde (1997) nevner at **elektrolyttgradienten** (inkludert konduktivitet og alkalinitet) er avgjørende for naturtilstanden fordi artene fordeler seg langs denne på bakgrunn av fysiologiske muligheter til å utnytte de ulike formene av uorganisk karbon i fotosyntesen. **Konsentrasjonen og fordelingen av de ulike formene av uorganisk karbon** ( $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ ) i vannmassene og sedimentene har en mer

sentral betydning for forekomsten av de ulike artene enn kalsiuminnholdet i seg selv, med unntak av flere kransalgarter som ser ut til å kreve høyt kalsiuminnhold (Mjelde & Mjelde, 1997).  $\text{CO}_2$  er sjeldent begrensende, men plantene må ha strategier for å ta opp  $\text{CO}_2$ . Både morfologiske tilpasninger, ved blader i overflaten og store rotsystemer i sedimentene som kan ta opp  $\text{CO}_2$ , samt fysiologiske tilpasninger der plantene i tillegg til  $\text{CO}_2$  kan bruke  $\text{HCO}_3^-$ , såkalte bikarbonatbrukere, er eksempel på ulike tilpasninger til karbonopptak i vann.

pH og pH-relaterte faktorer som alkalinitet og kalsiumkonsentrasjon i vannet er en sentral forklaringsvariabel for artsmangfold- og mengdeforekomst i innsjøer siden pH innvirker på form og mengde av oppløst karbon, figur 1.4.



Figur 1.4. Fordelingen av de ulike formene av uorganisk karbon i vannet i forhold til pH. Kilde: (Wetzel, 1983; Økland, 1996).

Artene benytter ulike karbonkilder; vann, luft og sediment, og har ulike opptaksmekanismer og tilpasninger, tabell 2.2. Isoetidene tar opp  $\text{CO}_2$  fra sedimentet via røttene og kan ha et konkurransefortrinn i mer sure vann hvor fritt  $\text{CO}_2$  dominerer ( $\text{pH} < 6,4$ ). Nymphaeidene har flyteblad som muliggjør opptak av  $\text{CO}_2$  fra lufta. Elodeidene har ulike karbonkilder og varierende tilpasninger. I pH-intervallet 6,4 til omkring 10 vil uorganisk karbon forekomme på bikarbonatform,  $\text{HCO}_3^-$ , noe som gir muligheter for bikarbonatbrukere som de fleste elodeidene og kransalgene. De har svært små eller mangler røtter og er avhengig av karbonopptak fra vannet (Wetzel, 1983; Økland, 1996). Elodeidene er derfor de første plantene som forsvinner ved forsuring. Enkelte elodeider er imidlertid tilpasset  $\text{CO}_2$  opptak ved fint fordelte blad, samt utvikling av flyteblad eller overvannsskudd (Lindstrøm, 2004).

### Lysforhold, siktedyp og humus-/partikkelinnhold

Lys er en viktig begrensende faktor for dybdeutbredelse av vannplanter og nedre dybdegrensning er korrelert med lysforholdene i vann (Middelboe og Markanger 1997; Canfield, et al., 1985).

Lysintensiteten og lysmengden i en innsjø avtar med dypet på grunn av refleksjon, absorpsjon i

vannmassen og spredning av lyset på grunn av partikler, innhold av løst organisk materiale med mer. Sammensetningen og mengden av oppløste stoffer i vannet, vannfargen, mengden plankton og graden av eutrofiering samt graden av antropogen påvirkning er faktorer som innvirker på lysforholdene (Kalff, 2006). Hvor fort lyset forsvinner varierer fra innsjø til innsjø. Det kan også være betraktelige variasjoner i maksimal vekstdybde på bunnfaste vannplanter fra år til år (Sondergaard, et al., 2013).

Dekkfrøete planter har et høyere lyskompensasjonsnivå enn kransalgene og forsvinner fra oligotrofe innsjøer i den nordlige tempererte klimasonen når PAR (Photosynthetic Active Range), det synlige lyset som plantene kan bruke, går under 21 % i vekstsesongen. Kransalgene klarer seg ned til større dyp. Kompensasjonsnivået eller nedre vekstgrense er ved ca. 10 % av innkommet PAR. De fleste plantene forsvinner når kun 1 % av overflatelyset er igjen (Kalff, 2002).

Sammen med kalsium benyttes humus som vannkjemisk parameter til å fastsette vanntype for vannplanter (Direktoratsgruppa, 2013). Humusinnholdet har stor betydning for blant annet lysforholdene, inkludert siktedypet i vannmassen. Humus reduserer effektivt lysgjennomtrengeligheten med en liknende effekt som klorofyllinnholdet gjør i forbindelse med eutrofiering. Dystrofe innsjøer med et høyt innhold av humus-stoffer har vist seg å ha et lavere antall makrofytt-arter enn klarvannsinnsjøer når næringsforholdet ellers er likt (Rørslett, 1991). Kvaliteten på lyset og den tilgjengelige lysmengden for vannplantene nedover i dypet i en humøs innsjø er svært annerledes enn i en klarvannsinnsjø. Generelt når lyset mye kortere ned. Dekkfrøede undervannsplanter med flyteblader i overflaten som blant annet tjønnaks-arter, *Potamogeton spp*, er typiske i humøse innsjøer med høy lyssvekking i den boreale sonen. Undervannsplanter kan trenge lenger ned når lysgjennomtrengeligheten/siktedypet er høyere som i en klar innsjø (Kalff, 2006).

### **Trofigrad og næringsalter og konduktivitet.**

Trofigraden angir innsjøens næringsstatus på en skala fra næringsfattige, oligotrofe innsjøer via middels næringsrike, mesotrofe til næringsrike eutrofe og hypereutrofe innsjøer. Klorofyllinnhold (Kla), forekomst av total fosfor (TOT-P) og fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), uorganisk nitrogen, totalt nitrogen (TOT-N), blågrønnalger, elektrolyttgradient, alkalitet, siktedyp med mer kan indikere denne tilstanden (Wetzel, 1983; J. Økland & Økland, 1999; Kalff, 2002). Tabell 2.3. angir verdier for en del av disse parameterne i forhold til innsjøens trofigrad. I forbindelse med Basisovervåkingen, og også i forbindelse med klassifisering av innsjøer generelt, anvendes de vannkjemiske parameterne TOT-P, TOT-N, klorofyll a og siktedyp til å si noe om graden av eutrofiering (Schartau, et al., 2011; Schartau, et al., 2012).

Tabell 1.5 Gjennomsnittlige næringsverdier målt nær overflaten på sommeren til bruk for klassifisering av innsjøer og elver til ulike trofiske tilstandsklasser. Kilde: tabell omarbeidet fra Kalff (2002).

	TROFIGRAD	UORG. N µg/l	TOT-N µg/l	TOT-P µg/l	TN:TP µg/l	Klorofyll a µg/l
INNSJØ- TYPER	Oligotrofisk	< 200	< 350	< 10	-35	< 3,5
	Mesotrofisk	200 – 400	350 – 650	10 -30	-25	3,5 – 9
	Eutrofisk	300 – 650	650 – 1200	30-100	-14	9 -25
	Hyper-eutrofisk	500- 1500	>1200	>100	-12	>25

Landskapets berggrunn og løsmasser samt antropogen påvirkning som forekomsten av dyrket mark og avløpsvann fra ulike kilder har stor innvirkning på hvilken trofigrad vannet befinner seg i.

I forbindelse med eutrofiering øker konsentrasjonen av næringssalter, spesielt forbindelser av nitrogen og fosfor, og dermed primærproduksjonen og vekst av alger i vannet med tilhørende endringer i artssammensetning (av blant annet alger og vannplanter) og vannkvalitet. Konsekvensen av eutrofiering er en forringelse av økosystemet og redusert bruksverdi. Blant annet har det vist seg at isoetidene raskt forsvinner på grunn av lysvekking og problemer med rotfesting.

Fosfor i form av TOT-P er blitt en sentral parameter i vanddirektivet til å fastsette grad av eutrofiering med henblikk på vannplanter.

### Tidsvariasjoner

Makrovegetasjonens utforming i en innsjø varierer med tiden. Det skilles mellom tre typer av tidsvariasjoner. Det er årstidsvariasjoner, års-variasjoner samt suksesjoner og tilgroing.

Årstidsvariasjoner avhenger av lokal-klima og gir en biomassetopp i Norge i august – september.

Vegetasjonen i en og samme vannforekomst kan ha forskjellig utforming med henblikk på arter og biomasse fra år til år. Her kan antropogen påvirkning og spesielle værforhold forsterke forandringene (Økland, 1996).

**Klimaendringer** med økt temperatur og endret nedbørsmønster kan bidra til mer løst organisk karbon(DOC) særlig fra boreale områder, økt vannfarge og dermed påvirke nedre vekstgrense for undervannsplanter fremover (Sondergaard, et al., 2013). Også konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i vannet og fordelingen av de ulike karbon-formene blir påvirket av mer CO<sub>2</sub> i atmosfæren, noe som kan forskyve artssammensetningen og vekstformfordelingen i vannplantenesamfunnene.

## Lokale variasjoner

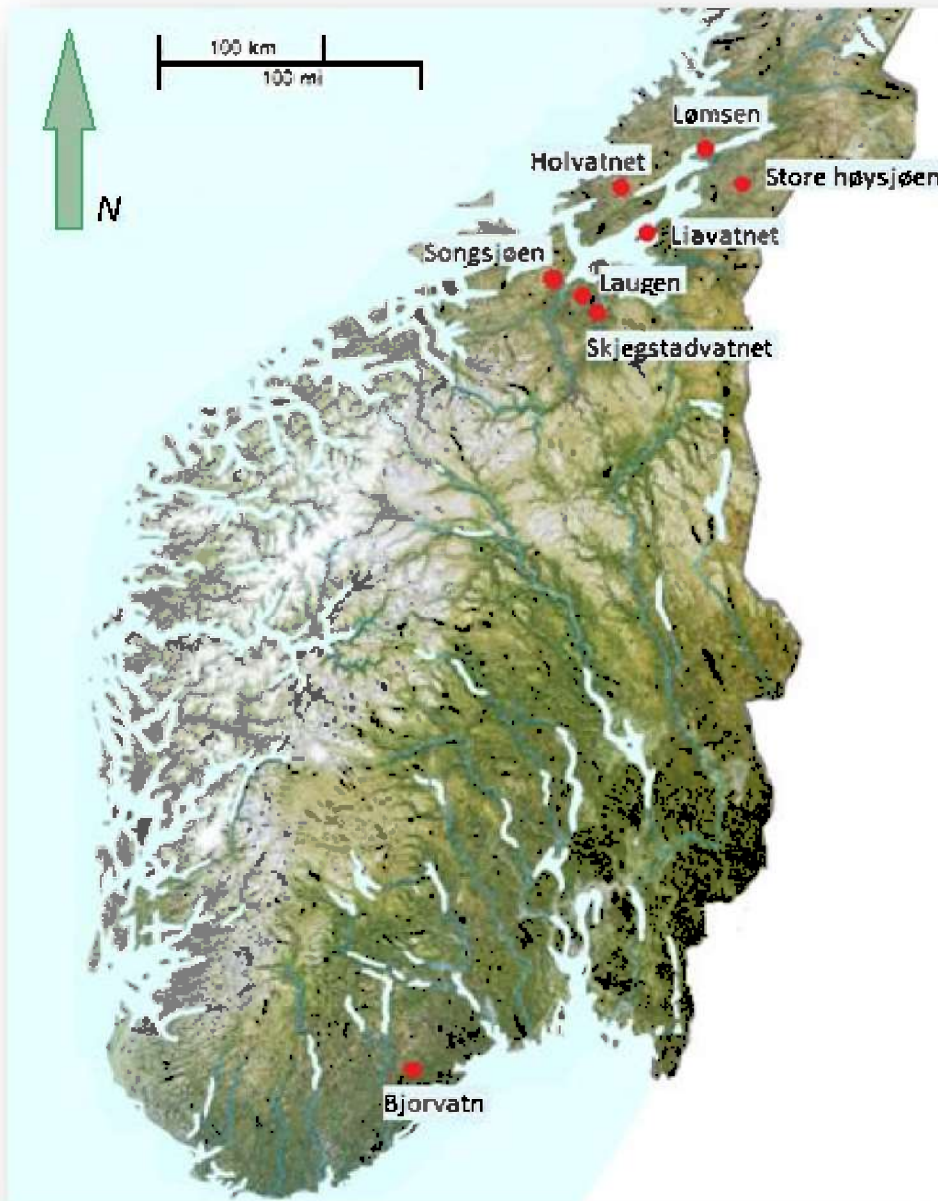
De ulike vannplante-artene kan også vise noe ulike reaksjoner i forhold til forskjellige miljøparametere i ulike geografiske regioner. I Norge forekommer for eksempel stivt brasmegras, *Isoetes lacustris*, i mindre næringsrike lokaliteter enn i land lenger sør. Dette medfører et behov for lokal tilpasning og utvikling av mer stedegne/regionale/nasjonale vannplanteindekser.

### 2.8.4. Floristisk inndeling av innsjøene

En velkjent floristisk inndeling mye anvendt i Norge fram til nå deler innsjøene i fem – seks floristiske typer etter makrovegetasjon hvor de næringsfattige, klare og isoetide-dominerte lobeliasjøene er den dominerende typen (Samuelson, 1934). Dernest følger dystrofe dy-/myrvannssjøer med sparsommelig vannvegetasjon og lagunesjøer ofte preget av sterk vanngjennomstrømning, store variasjoner i vannstand og rik elodeide-vegetasjon. De næringsrike Potamogeton-/eutrofe leirslettesjøene har ofte uklart vann hvor langskuddsplanter og flytebladsplanter kan forekomme i store mengder. Til sist har vi Chara-sjøer/kalksjøer som kan ha svært rike bestander av kransalger. Ved økende fosfat-tilførsel går Chara-sjøene ofte over til Potamogeton – sjøer (Aagaard, et al., 2002; Økland, 1996).

### 3.0. Områdebeskrivelse

Totalt 8 innsjøer, hvorav 7 er lokalisert til Nord- og Sør-Trøndelag og en i Aust-Agder, inngikk i basisovervåkningen i 2013, figur 1.5.



Figur 1.5. Basisovervåkningsinnsjøene i 2013. Bearbeidet fra norgeskart.noA 10.01.2014.

Den kalkfattige, klare vanntypen i lavland og skog (LN2 og LN5) er prioritert fordi dette er den vanligste vanntypen i Norge. Den finnes i alle regioner og er følsom for alle de aktuelle påvirkningstypene (Schartau, et al., 2009). I tillegg er de to moderat kalkrike innsjøtypene LN-1 (moderat kalkrik og klar) og LN-8 (moderat kalkrik og humøs) inkludert. Av disse er Bjorvatn



(innsjøtype LN-2), Holvatnet (LN-2), Skjegstadvatnet (LN-1), Songsjøen (LN-5) og Store Høysjøen (LN-5) valgt ut som mulige referanselokaliteter. I tillegg er de tre antatt eutrofierte lokalitetene Laugen (svært kalkfattig klar), Lømsen (LN-8) og Liavatnet (LN-8) inkludert (Schartau, et al., 2009).

Innsjøtypene angitt i parentes følger typeinndelingen til den gamle klassifiseringsveilederen 01:2009 og er basert på oppgitte typer i rapporten fra Schartau 2009. Det er derfor en mulighet at ny typifisering basert på feltarbeidet i 2013 vil resultere i nye vann typer. For Bjorvatn har innsjøtypen i etterkant vist seg å være L-N3 (Schartau, et al., 2011; Schartau, et al., 2012).

Ingen antatt forsurede lokaliteter ble valgt ut i denne sesongen, men Bjorvatn og utløpselven til Songsjøen ser ut til å være noe forsurede på grunn av utløpselven (Schartau, et al., 2011).

Tabell 1.4. gir en presentasjon av innsjøene med beliggenhet og innsjøkode (vann-nett.no), antatt vann type og antatt påvirkningstype/referanseinnsjø i forhold til Schartau 2009 og antatt økologisk tilstand (vann-nett.no). Navnsetting av innsjøene følger vann-nett.no.

**Tabell 1.4. Oversikt over innsjøene fra basisovervåkingen i 2013 med innsjøkode, beliggenhet, antatt vann type før sommerens feltarbeid, antatt referanse/påvirkningstype samt økologisk tilstand. AA = Aust-Agder, ST = Sør-Trøndelag og NT = Nord Trøndelag. A.sv. god = antatt svært god. Klimaregion er angitt i parentes etter høydeangivelsen med forkortelsene L = lavland og M = skog. Vann type koden er hentet fra Schartau 2009 og referer til veileder 01:2009. For Holvatnet baserer vann typen seg på tidligere basisovervåking (Schartau, et al., 2011; Schartau et al., 2012; Schartau, et al., 2009). Sv.kalkf.klar = svært kalkfattig klar. A.sv.god = antatt svært god. Andre kilder er norgeskart.no og vann-nett.no.**

Lokalitet	Bjorvatn	Holvatnet	Laugen	Liavatnet	Lømsen	Skjegstadvatnet	Songsjøen	Store Høysjøen
Innsjøkode	018-8995-L	133-653-L	122-888-L	125-37159-L	128-937-L	122-37661-L	121-965-L	127-928-L
Kommune	Vegårshei	Rissa	Skaun	Frosta	Steinkjer	Melhus	Orkdal	Verdal
Fylke	AA	ST	ST	NT	NT	ST	ST	NT
Høyde over havet	165 (L)	190 (M*)	65 (L)	42 (L)	38 (L)	187 (L)	260 (M)	221(M)
Vann type	L-N3	L-N2	Sv.kalkf.klar	L-N8	L-N8	L-N1	L-N5	L-N5
Antatt tilstand	Referanse	Referanse	Eutrof.	Eutrof.	Eutrof.	Referanse	Referanse	Referanse
Økologisk tilstand	Antatt god	A.sv.god	A. moderat	Dårlig	A. moderat	Antatt god	A. moderat	Antatt moderat

## Innsjø morfometri

Tabell 1.5. oppsummerer utvalgte innsjø morfometriske parametere for de åtte innsjøene.

**Tabell 1.5. Innsjø morfometriske parametere for basisovervåkningsinnsjøene i 2013. Kilde: (Lyche-Solheim, A., et al. 2014 (in prep); atlas.nve.no ; vann-net.no)**

Lokalitet	Bjorvatn	Holvatnet	Laugen	Liavatnet	Lømsen	Skjegstadvatnet	Songsjøen	Store Høysjøen
Areal (km <sup>2</sup> )	0,52	0,85	1,84	0,35	2,15	1,58	0,66	0,99
Max dybde (m)	22	33,5	28	10	6,2	38	32,9	23,2
Strandlinje (km)	5,9	10,5	8,2	4	6,5	10	4,9	14,6
Strandlinjeutvikling	2,31	3,21	1,71	1,91	1,25	2,24	1,70	4,14

Innsjøene har et forholdsvis begrenset innsjøareal med Liavatnet på 0,35 km<sup>2</sup> som den minste og Laugen på 2,15 km<sup>2</sup> som den største. Kun Liavatnet angis som størrelse små. De resterende 7 klassifiseres til middels størrelse definert til 0,5 – 5 km<sup>2</sup> (Direktoratsgruppa, 2013). Gjennomsnittlig størrelse er på 1,12 km<sup>2</sup>. Lømsen (6,2 meter) og Liavatnet (10 meter) har de laveste verdiene for maksimal dybde mens Skjegstadvatnet (38 meter), Holvatnet (33,5 meter) og Songsjøen (32,9 meter) er de tre dypeste. Gjennomsnittlig maksimal dybde for alle innsjøene er på 24,2 meter. Middeldyp er kun tilgjengelig for Lømsen som er angitt til 3 meter, målt i 1984 (atlas.nve.no <sub>A</sub>). Strandlinjens lengde varierer fra 4 til 14,6 kilometer med et snitt på 8,1 km per vann. Strandlinjens utvikling, D, sier noe om hvor stor strandlinjen er sammenlignet med en sirkelrund innsjø med samme innsjøareal. Formelen for strandlinjeutvikling er:  $D = L / 2\sqrt{\pi \times A}$  (Kalff, 2002). Dersom D = 1, så er innsjøen sirkelrund. Jo større tallverdi i forhold til 1, dess flere «kriker og kroker» har innsjøen. Lømsen (D = 1,25) er «tilnærmet» sirkelrund og har lite med kriker og kroker i innsjøen. Også Laugen (D = 1,71) og Liavatnet (D = 1,91) har en forholdsvis «avrundet» utforming. I den andre ytterligheten har vi Store Høysjøen (D = 4,14) og Holvatnet (D = 3,21) etterfulgt av Bjorvatn (D = 2,31). Gjennomsnittlig strandlinjeutvikling er på 2,15.

## Klima og vegetasjon

Tabell 1.6. viser årsnedbør, gjennomsnittlig temperatur for årets varmeste måned (juli), vegetasjonsseksjon og klimasone for den enkelte innsjø.

**Tabell 1.6. Klimatisk inndeling av basisovervåkningsinnsjøene etter grad av oseanitet (vegetasjonsseksjon) og vegetasjonssoner samt årstemperatur og snitt-temperatur for varmeste måned. O2 = klart oseanisk seksjon, O1 = Svakt oseanisk seksjon. BN = Boreonemoral, MB = Mellomboreal, NB = Nord-boreal og SB = Sørboreal vegetasjonsseksjon (Moen, 1998; atlas.nve.no <sub>B</sub>).**

Lokalitet	Bjorvatn	Holvatnet	Laugen	Lia- vatnet	Lømsen	Skjegstad- vatnet	Songsjøen	Store Høysjøen
Vegetasjons-seksjon	O2	O2	O1	O1	O1	O1	O2	O2 (O1)
Vegetasjonsseksjoner	BN	MB – NB	SB – MB	SB	SB	MB	MB	MB
Årsnedbør	1253	1910	817	866	1072	880	1575	1217
Snitt-temp, juni (°C)	14,9	11,1	12,0	13,2	13,0	12,1	11,0	11,2

Bjorvatn, Holvatnet og Songsjøen ligger i en klart oseanisk vegetasjonsseksjon, O2, med stor grad av kystpåvirkning. I tillegg antas Store Høysjøen også å ligge i O2 på grunn av en høyereliggende beliggenhet (Moen, 1998). Dette innebærer større grad av fuktighet og dermed også mer nedbør slik at disse fire vannene får den høyeste årsnedbøren fra 1910 mm år<sup>-1</sup> i Holvatnet til 1217 mm år<sup>-1</sup> i Store Høysjøen. Gjennomsnittstemperaturen for årets varmeste måned, juli, viser høyest verdi for Bjorvatn. Dette vannet har også den mest varmfølsomme vegetasjonssonen blant de åtte innsjøene og tilhører den boreonemorale vegetasjonssonen som preges av innslag av både edelløv- og barskoger. Eksakt fastsettelsen av vegetasjonssoner byr på utfordringer blant annet på grunn av

raske vekslinger mellom vegetasjonssoner med høydegradienten. Dette kan medføre at selve innsjøen ligger i en lavereliggende sone mens nedbørfeltet brer seg opp i høyereliggende vegetasjonssoner, noe som ser ut til å være tilfelle spesielt for innsjøene som ligger i terreng med kraftigere topografisk variasjon som blant annet Holvatnet, Laugen, Songsjøen og Store Høysjøen.

Laugen, Liavatnet, Lømsen og Skjegstadvatnet inngår i den svakt oseaniske vegetasjonsseksjonen med noe lavere årsnedbør. Liavatnet og Lømsen antas begge å ligge i sørboreal klimasone med sterkt innslag av arter som krever høy sommertemperatur. Flere av innsjøene ser ut til å ligge i mellomboreal sone med større myrdekte arealer og bakkemyrer. Lavurtgranskog, velutviklet gråorheggeskoger og flere varmekjære arter har sin høydegrense i denne sonen (Moen, 1998).

### Karakteristika ved nedbørfeltet

Tabell 1.7. viser andelen av de ulike arealkategoriene sjø, myr, skog, snaufjell, dyrket mark og urban i forhold til nedbørfeltets størrelse.

Tabell 1.7. Fordelingen av arealkategoriene sjø, myr, skog, snaufjell, dyrket mark og urban aktivitet i forhold til nedbørfeltets størrelse. Kilde atlas.nve.no <sub>B</sub>.

Lokalitet	Bjorvatn	Holvatnet	Laugen	Liavatnet	Lømsen	Skjegstadvatnet	Songsjøen	Store Høysjøen
Nedbørsfelt (km <sup>2</sup> )	18,5	134,2	95,9	8,6	35,2	8,6	44,4	23,4
Innsjø (%)	6,4	6,8	4,3	4,1	7,1	19,4	13,0	6
Myr (%)	5,0	10,3	15,0	2,5	14,7	2,4	17,7	18,1
Skog (%)	87,0	16,9	58,4	66,8	55,1	73,2	27,7	50,1
Dyrka mark (%)	1,1	0,1	16,5	22,2	19,6	2,3	0,3	0,0
Snaufjell (%)	0,0	61,5	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	0,5
Urban (%)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0

Holvatnet har det største nedbørfeltet på 134,2 km<sup>2</sup> mens Liavatnet og Skjegstadvatnet har det minste på kun 8,6 km<sup>2</sup>. Skog dominerer stort sett nedbørfeltene for alle vannene med unntak av Holvatnet og Songsjøen som også har en stor andel snaufjell i sitt nedbørsfelt. Spesielt Bjorvatn har en høy andel skog (87,0 %). Flere vann har også en god del myr (omkring 15 %). Andelen dyrka mark er stor for Liavatnet (22,2 %), Lømsen (19,6 %) og Laugen (16,5), de tre antatt eutrofieringspåvirkede innsjøene. Laugen og Lømsen har også antydninger til noe mer bebyggelse i sitt nedbørsfelt (atlas.nve.no <sub>B</sub>).

I den følgende presentasjonen av de enkelte innsjøene følger en nærmere beskrivelse av karakteristika ved innsjøene som kan ha stor betydning for hvilke vannplanter og fysisk- kjemiske verdier vi kan forvente å finne i de ulike innsjøene.

### 3.1. Bjorvatn



**Figur 1.6. Bjorvatn ved båtutsettingsplassen på Rossnes. Flytebladsvegetasjon av gul Nøkkerose, Nuphar lutea skimtes i høyre billedkant. Foto: Edvardsen, H.**

Bjorvatn ligger i Vegårshei kommune i Aust-Agder og er den eneste innsjøen i Basisovervåkingen i 2013 som befinner seg i Økoregion Sørlandet.

Beliggenheten 165 meter over havet tilsvarer klimaregion lavland. Vanntypen er satt til middels, kalkfattig, humøs (vann-nett.no <sub>A</sub>), tabell 3.1.

Bjorvatn er tidligere undersøkt for blant annet vannplanter i forbindelse med utprøving av system for basisovervåking i 2009 og 2011 (Schartau, et al., 2011; Schartau, et al., 2012). Jernbanelinjen

deler vannet i to og kun en liten passasje forbinder nordre og søndre del av vannet. Undersøkelsen av vannvegetasjonen i vannet har i alle tre år blitt utført i det sørlige bassenget, sør for jernbanelinja (Edvardsen, H., pers med.).

#### Geologi

Vannet ligger hovedsakelig i et næringsfattig grunnfjells-område preget av ulike typer gneiser. Øst for Bjorvatn er det imidlertid innslag av amfibolitt, men på grunn av små høydeforskjeller samt dominans av mer næringsfattige bergarter ser det ut til at denne næringsrike bergarten har liten innvirkning på vannet (ngu.no <sub>A1</sub>).

Figur 1.7. viser at tynn morene med innslag av bart fjell og myr/torv dominerer omkringliggende nedbørsfelt (ngu.no <sub>A2</sub>).

Bunnsstratet er dominert av stein og berg belagt med mudder og dy. Noen bukter har større torvansamlinger (Edvardsen, H., pers. med.).



**Figur 1.7. Kvartærgeologisk kart fra Bjorvatn. Tynn morene (grønt) med innslag av bart fjell (rosa) og myr/torv dominerer nedbørsfeltet. Kilde ngu.no <sub>A2</sub>.**

## Innsjømorfometri

Tabell 1.5. inneholder en oversikt over innsjømorfometriske parametere for Bjorvatn. Et småkupert landskap med små høydeforskjeller bidrar til flere grunne områder og små øyer (norgeskart.no<sub>B</sub>). Den store strandlinjen på 5,9 km sammen med slake helninger, muliggjør at vannplantene kan bre seg utover i store deler av vannet og også gi opphav til en større biomasseproduksjon.

## Klima

Beliggenheten i økoregion Sørlandet, tilsvarer milde vintre og varme somre. Dette kan medvirke til forekomster av mer vestlige og sydvestlige arter som hvit nøkkerose, *Nymphaea alba* og sydlige arter av type 3 og 5 som Gul Nøkkerose, *Nuphar lutea* og botnegras, *Lobelia dortmanna*, alle type 5 arter (Påhlsson, 1998; J. Økland & Økland, 1999). Jamfør Moen (1998) ligger Bjorvatn i boreonemoral vegetasjonssone preget av vekslinger mellom edelløvskog og barskog, tabell 1.6. Dette er også en klart oseanisk seksjon (O2) preget av vestlige arter og vegetasjonstyper, med noe østlig trekk på grunn av noe lavere vintertemperatur (Moen, 1998). Stor grad av oseanitet gir en høyere årsnedbør på 1253 mm. Gjennomsnittlig temperatur for den varmeste sommermåneden, juli, er satt til 14,9 °C (atlas.nve.no<sub>B</sub>). På grunn av mye grunnlendt mark er vegetasjonen preget av forholdsvis næringsfattig, lavbonitets skog og vegetasjon.

## Antatte påvirkninger

Bjorvatn antas å ha lite antropogen aktivitet i sitt nedbørsfelt. Tidligere ble vannet brukt som fløtnings dam og spor av den gamle reguleringssonen er fortsatt synlig (kulturminnesok.no). Per i dag er det imidlertid bare naturlige variasjoner i vannstanden. En betongterskel i utløpselven gjør at det ikke lenger er mulig for oppgang av fisk til vannet (Schartau, et al., 2011). Fyllmasser fra jernbanelinjen deler vannet i to med kun en liten passasje mellom vannene. Det er svært lite bebyggelse i området. Et mindre gårdsbruk i nordre del sammen med et par hytter i søndre del antas å bidra med minimal tilførsel av næringsstoffer. Tabell 1.7. viser at kun 1,1 % av nedbørsfeltet er dyrket mark, mens skog står for 87,0 % (atlas.nve.no<sub>B</sub>). Under befaringen sommeren 2013 var det grave-aktivitet på sørenden av vannet. Bjorvatn, som i utgangspunktet regnes som en referansesjø er trolig utsatt for lite til moderat grad av forsurening (Schartau, et al., 2012).

## 3.2. Holvatnet



Figur 1.8. Sørliche delen av Holvatnet, sett østover. Foto: Edvardsen, H. 06.08.13.

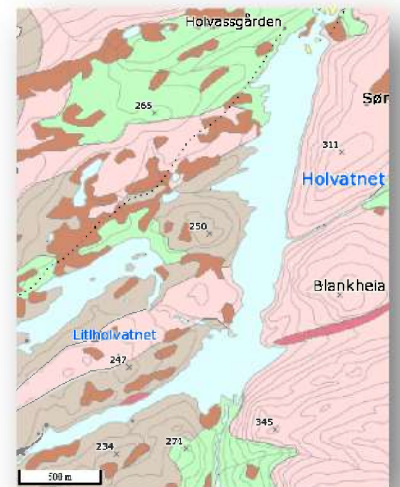
Holvatnet ligger i Rissa kommune i Sør-Trøndelag og tilhører Økoregion Midt-Norge. Vanntypen er angitt som middels kalkfattig, klar (Vann-nett.no<sub>B</sub>). Med sine 190 meter over havet tilsier dette en beliggenhet i lavlandet, men beliggenheten mot kysten og forholdsvis langt nord i landet gir en skoggrense på 300 meter, noe som gjør at vannet kan settes til høyderegionen skog (norgeskart.no<sub>B</sub>; Lyche Solheim, A., pers. med.). Holvatnet er ikke tidligere tilstandsklassifisert med henblikk på vannplanter (Edvardsen, H., pers. med.).

### Geologi

Berggrunnen er i hovedsak dominert av ulike gneisser med innslag av amfibolitt i syd-enden av vannet (ngu.no<sub>B1</sub>). Mye myr og karrig skog på grunnlendt mark med stedvis tynt morenedekke dominerer nedbørfeltet, figur 1.9. (ngu.no<sub>B2</sub>). Bunnsubstratet i den sørlige delen av innsjøen består av stein med mudder over (Edvardsen, H., pers. med.).

### Innsjø morfometri

Tabell 1.5. angir innsjø morfometriske parametere for Holvatnet. En mer variert topografi med berg i dagen og urer av blokksten og noen brattere partier ned mot vannet reduserer strandlinjens potensiale som vekstområder for vannplanter. Holvatnet har det desidert største nedbørfeltet av alle innsjøene på hele 134,2 km<sup>2</sup> (atlas.nve.no<sub>B</sub>).



Figur 1.9. Berg i dagen (lys rosa), tynt humusdekke (grå) og tynt morene (lys grønn) med innslag av myr/torv (brunt) dominerer nedbørfeltet rundt Holvatnet. Kilde ngu.no<sub>B2</sub>

## Klima

Tabell 1.6. angir grad av oseanitet, årsnedbør og gjennomsnittstemperatur for årets varmeste måned. Vegetasjonssonene på Fosen-halvøya veksler raskt med høyden over havet, noe som kan skape utfordringer i forhold til eksakt fastsettelse vegetasjonssone ved Holvatnet. Innsjøen ser imidlertid ut til å ligge i grenseland mellom nord boreal sone dominert av nordlig bar- og bjørkeskog og mellomboreal vegetasjonssone (Moen, 1998). Store myrarealer og bakkemyrer er typisk for den sistnevnte sonen, noe som ble observert under befarings.

## Antatte påvirkninger

Tilstanden for Holvatnet antas å være svært god og vil sannsynligvis nå miljømålet om god økologisk tilstand innen 2021 (vann-nett.no). Arealbruken i nedbørsfeltet er ubetydelig og Holvatnet antas å være en referanse-lokalitet. Tabell 1.7. viser at store deler av innsjøens nedbørsfelt er snaufjell (61,5 %). Kun 0,1 % dyrket mark (atlas.nve.no <sub>B</sub>).

### 3.3. Laugen

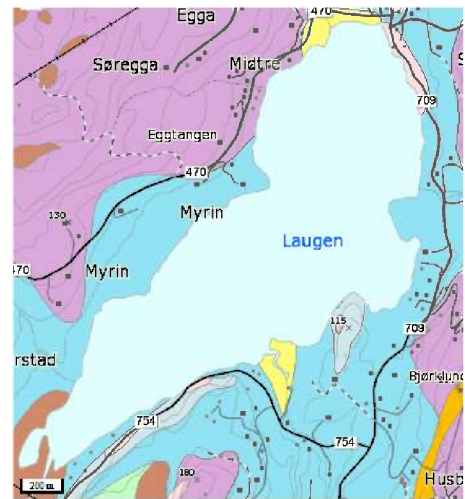


Figur 2.0. Laugen. Fra de grunne partiene i sørøst. Tettbebyggelsen Eggkleiva synes så vidt i andre enden av vannet. Mye landbruk preger arealene ned mot vannet. Foto Edvardsen, H. 30.07.2013

Laugen ligger i Skaun kommune i Sør-Trøndelag tilhørende økoregion Midt-Norge. Vannet ligger 65 meter over havet og tilhører høyderregion lavland. Vanntypen oppgis til middels, moderat klakrik og klar (vann-nett.no <sub>c</sub>). Vannet er ikke klassifisert tidligere med henblikk på vannplanter (Edvardsen, H., pers. med.).

#### Geologi

Leirskifer, sandstein og kalkstein dominerer berggrunnen. I sydøstre ende er det et parti med grønnstein og amfibolitt samt et lite innslag av grønnstein- og jaspiskonglomerat (ngu.no <sub>c1</sub>). Vannet ligger under marin grense med tykk havavsetning som dominerende løsmasse, figur 2.1. Ellers er det en del forvittringsmateriale samt torv og myr i nedbørsfeltet (ngu.no <sub>c2</sub>). Bunnsubstratet består hovedsakelig av grus- og sandstrender med stedvis en del berg i vannet. Et par steder synes jorda å være leirholdig (Edvardsen, H., pers. med.).



Figur 2.1. Tykk havavsetning (blå) og forvittringsmateriale (fiolett) dominerer nedbørsfeltet til Laugen. Kilde ngu.no <sub>c2</sub>.

#### Innsjø morfometri

Tabell 1.5. angir innsjø morfometriske parametere for Laugen.



## Klima

Med henblikk på kyst-innlandsgradienten tilhører Laugen en svakt oseanisk vegetasjonsseksjon, O1, tabell 1.6. Dette innebærer normalt sett et svakt innslag av både østlige og vestlige arter. Selve innsjøen ligger i sørboreal klimasone men en del av nedbørfeltet antas å ligge i midt-boreal sone. Mange arter i sørboreal klimasone krever høye sommertemperatur (Moen, 1998; norgeskart.no <sub>D</sub>).

## Antatte påvirkninger

Økologisk tilstand er antatt moderat med risiko for ikke å nå miljømålet innen 2021. Det er spesielt næringsforhold i form av TOT-P og TOT-N som medvirker til denne vurderingen (vann-nett.no <sub>C</sub>). Nedbørfeltet inkluderer store områder med ekstensivt landbruk (16,5 % dyrket mark) samt både spredt bebyggelse, hyttebebyggelse og tettbebyggelsen, Eggkleiva, i nordenden av vannet Bratli, 1998; atlas.nve.no B). Flere asfalterte veier følger nært store deler av vannkanten. Vannet er regulert og har svært lav vannstand om vinteren og i nedbørfattige perioder om sommeren. Under befaringen lå deler av strandsonen og utløpet tørrlagt. I vannbruksplan for Skaun kommune opplyses det om at vannet benyttes til bading, sportsfiske og rekreasjon. Samtidig er innsjøen og flere av tilførselsbekkene resipient for avløp fra spredte avløpsanlegg, kommunale renseanlegg samt arealavrenning og punktutslipp fra landbruket (Skaun kommune, 2012).

## 3.4. Liavatnet



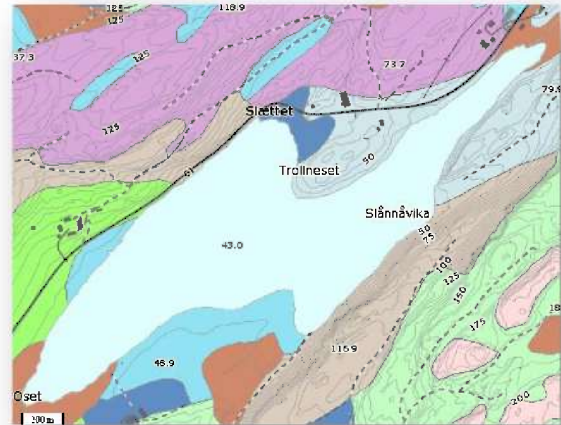
Figur 2.2. Liavatnet sett mot nord. Foto: Hanne Edvardsen og Marit Mjelde

### Beliggenhet

Liavatnet ligger i Frosta kommune i Nord-Trøndelag, økoregion Midt-Norge. Vannet ligger i klimaregion lavland på 42 meter over havet, det vil si godt under marin grense. Vanntypen er satt til små, kalkrik, humøs (vann-nett.no <sub>D</sub>). Liavatnet ble undersøkt for vannplanter i 2011 (Mjelde & Edvardsen, 2011).

## Geologi

Grå til dels grågrønn tynnlaminert fyllitt/leirskifer med tynne lag av metasandstein dominerer. Ellers er det en god del morene, grus, sand, leire med mer (ngu.no D1). Når det gjelder løsmassene som omgir Liavatnet består disse av en fantastisk mosaikk av flere typer. I nordøstre og sydvestre ende dominerer torv og myr (brun farge). Se ellers tekst til figur 2.3. (ngu.no D2).



Figur 2.3. En mosaikk av havavsetninger (blåtoner), tynt humusdekke (gråbrun), morene (grønn) og forvittringsmateriale (fiolett) dominerer nedbørsfeltet. Kilde ngu.no D2.

## Klima

Vannet ligger i O1, svak oseanisk vegetasjonsseksjon og sørboreal vegetasjonssone (Moen, 1998).

Tabell 1.6. viser årsnedbør og gjennomsnittlig juli-temperatur.

## Innsjømorfologi

Se tabell 1.5.

## Antatte påvirkninger

Økologisk tilstand er antatt dårlig med risiko for ikke å nå miljømålet innen 2021 (vann-nett.no D).

Nedbørsfeltet på 8,3 km<sup>2</sup> bestod i 1998 av 2,1 km<sup>2</sup> dyrket mark fordelt på 50 % gras-, 30 % potet- og 20 % kornproduksjon. Ingen eller få gjødslet etter tiltaksplan, en del tekniske anlegg hadde mangler og en meget stor andel av gjødsla (40 %) ble spredd utenom vekstsesongen. Lite eller ingenting av kornarealet lå i stubb om vinteren (Bratli, 1998). Stor grad av avrenning fra landbruk med påfølgende høye konsentrasjoner av total fosfor og forekomsten av den fremmede arten vasspest, *Elodea canadensis*, trekker den økologiske tilstanden ned. For totalt fosfor er den økologiske tilstanden satt til moderat mens den for vannplanter er satt til dårlig.

### 3.5. Lømsen

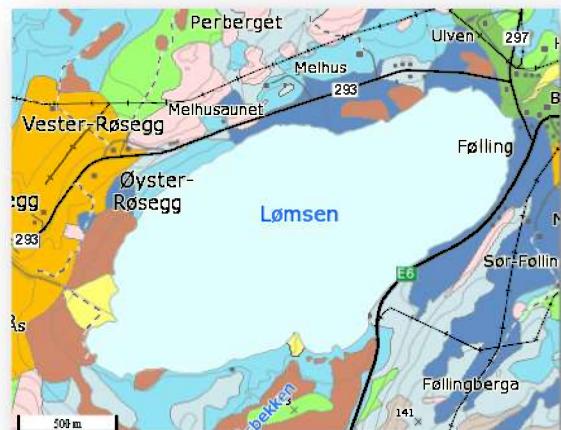


Figur 2.4. Lømsen med store helofyttbelter av takrør, *Phragmites australis*, og sjøsivaks, *Scirpus lacustris*. I forgrunnen Flytebladsvegetasjon av hvit nøkkerose, *Nymphaea alba*. Foto: Edvardsen, H.

Lømsen ligger i Steinkjer kommune i Nord-Trøndelag tilhørende Økoregion Midt-Norge. Innsjøen ligger 38 meter over havet i høyderegion lavlandet godt under marin grense. Vanntypen er satt til middels, moderat kalkrik og humøs (vann-nett.no<sub>E</sub>). Av tidligere undersøkelser kan nevnes at Langangen (2007) anser Lømsen til å være en kalksjø med funn av blant annet kransalgen skjørkrans, *Chara delicatula* (Langangen, 2007b). I handlingsplan for kalksjøer i Norge er Lømsen angitt som Norges 3. største kalksjø (Marit Mjelde, et al., 2012). Lømsen er undersøkt for vannvegetasjon i 2009. Østre del av innsjøen ble da undersøkt. Lømsen er også undersøkt i 2009 (Mjelde & Edvardsen, 2011).

#### Geologi

Morene, grus, sand, leir og lignende stedvis med spredte, små fjellblotninger dominerer nedbørfeltet. Det er også en god del av omdannet sandstein og omdannet kalkstein med overgang til kalkspatmarmor i nedbørfeltet (ngu.no<sub>E1</sub>). Løsmassene består av en mosaikk av marine avsetninger og havavsetninger (blå farge), torv og myr (brun farge) samt noe bart fjell (rosa), morene av varierende tykkelse (grønntoner), breelv- og elveavsetninger (orange/gul farge), figur 2.5. På vår befaring ble det observert rester av skjell etter gammel havstrand i store deler av vannet.



Figur 2.5. Kvartærgeologisk kart over Lømsen. Kilde: ngu.no<sub>E2</sub>.

#### Innsjømorfometri

Tabell 1.5. angir innsjømorfometriske parametere for Lømsen. Gjennomsnittlig dypde er i tillegg beregnet til 3 meter, det vil si en svært grunn innsjø (atlas.nve.no<sub>A</sub>).

## Klima

En tynn stripe av sørboreal vegetasjonssone ser ut til å passere over dalbunnen hvor Lømsen ligger. For parametere vedrørende klima henvises det til tabell 1.6.

## Antatte påvirkninger

Økologisk tilstand for Lømsen er satt til moderat med risiko for ikke å nå miljømålet innen 2021 (vann-nett.no <sub>E</sub>). Ekstensivt landbruk/kulturlandskap med stor nærings saltavrenning ser ut til å prege de gjengrodde kantsonene, med unntak av et skjøttet område ved utløpselven og et område midtveis på nordsiden av vannet hvor beitedyr holdt kantvegetasjonen nede og gav nisje for andre vannplanter som blant annet kransalger. Tabell 1.7 angir karakteristika ved nedbørsfeltet.

## 3.6. Skjeggstadvatnet



Skjeggstadvatnet ligger i Melhus kommune i Sør-Trøndelag, økoregion Midt-Norge.

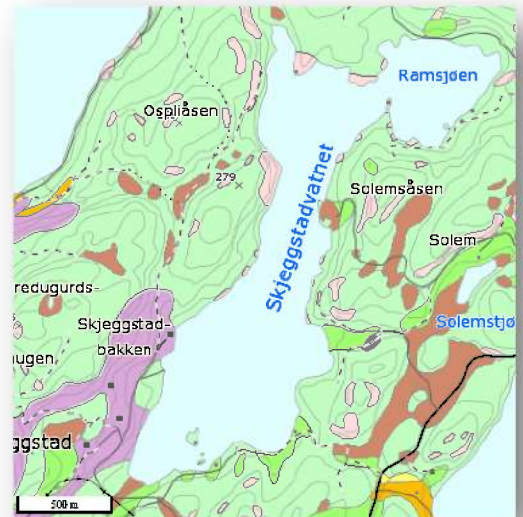
Vannet ligger mellom innsjøene Ånøya og Brenna. Med sine 187 meter over havet tilhører vannet høyderegion lavland.

Vanntypen er satt til middels, moderat kalkrik og klar (vann-nett.no <sub>F</sub>). Vannet er ikke undersøkt tidligere (Edwardsen, H., pers.med.).

**Figur 2.6. Skjeggstadvatnet ved Skjeggstad sett nordover. Flytebladsvegetasjon av soleinøkkerose, *Nuphar pumila*, og kantvegetasjon av bukkeblad, *Menyanthes trifoliata*. Foto: Edwardsen, H. 23.08.14.**

## Geologi

Grønnstein dekker mesteparten av arealene ned til vannet. I tillegg er det et parti på vestsiden der sandstein, leirskifer, kalkstein og porfyritt dominerer (ngu.no <sub>F1</sub>). Langangen (2004) skriver at Hølonda i Melhus kommune består av et interessant kalkområde med flere kalksjøer som blant annet Skjærsjøen, et lite vann sør for Skjegstadvatnet (Langangen, 2004b). Løsmassene består hovedsakelig av tynn morene over bart fjell med innslag av forvittringsmateriale der gårdene ligger i sydvestre ende av vannet, figur 2.7 (ngu.no <sub>F2</sub>). Ved innløpsbekken i sydenden er det et lite parti med morenemateriale, grus, sand, silt, leire og myr



Figur 2.7. Skjegstadvatnet. Tynn morene (lyst grønt) dominerer nedbørfeltet med innslag av forvittringsmateriale (fiolett). Kilde ngu.no <sub>F2</sub>.

## Innsjømorfologi

Vannet har et overflateareal på 1,58 km<sup>2</sup> med et meget begrenset nedbørsfelt på 8,6 km<sup>2</sup> (atlas.nve.no <sub>B</sub>; vann-nett.no <sub>F</sub>). Befaring viste at forholdsvis bratt topografi forårsaker bratte, korte strandkanter som forsvinner raskt i dypet. Se forøvrig tabell 1.5.

## Klima og vegetasjon

Jfr Moen, A (1998) ser Skjegstadvatnet ut til å ligge i mellomboreal vegetasjonssone dominert av barskog, lavurtgranskog og velutviklet gråor- heggeskog. Flere varmekjære arter har sin høydegrens i denne sonen. Innsjøen ligger i en svakt oseanisk seksjon, O1 med årsnedbør på 880 mm og temperatur for den varmeste måneden i juli på 12,1 °C (atlas.nve.no <sub>B</sub>) og (Moen, 1998), tabell 1.6.

## Antatte påvirkninger

Økologisk tilstand antas å være god og vil sannsynligvis nå miljømålet innen 2021. Det er lite bebyggelse rundt Skjegstadvatnet med kun noen få gårdsbruk i sydenden og noen spredte hytter langs vannet (norgeskart.no <sub>G</sub>). Dyrket mark utgjør kun 2,3 % av nedbørsfeltet mens skog dominerer med sine 73,2 %, tabell 1.7. Skjegstadvatnet vurderes som en mulig referanselokalitet (Schartau, et al., 2009).

### 3.7. Songsjøen



Figur 2.8. Songsjøen. Bilde fra sørenden ved utløpselva og nordover. Foto: Edvardsen, H. 29.07.13.

Songsjøen ligger i Orkdal kommune i Sør-Trøndelag, økoregion Midt-Norge. Vannflaten befinner seg 260 meter over havet og tilhører høyderegion skog. Schartau (2011) opplyser at vanntypen for Songsjøen ligger på grensen mellom kalkfattig, klar (L-N5) og kalkfattig humøs (L-N6) hvor den førstnevnte er benyttet (vann-nett.no <sub>G</sub>) og (Schartau, et al., 2011; Direktoratgruppen, 2013). Innsjøen er tidligere undersøkt i forbindelse med utprøving av system for basisovervåkning i 2009 og 2011 (Schartau, et al., 2011; Schartau, et

al., 2012). I 2009 og 2011 blei bare den nordlige delen av innsjøen undersøkt mens en i 2013 undersøkte hele innsjøen.

#### Geologi

Granitt og gneis dominerer nedbørfeltet sammen med noe innslag av glimmerskifer og sandstein av noe næringsrik karakter (ngu.no <sub>G1</sub>). Usammenhengende til tynne løsmassedekker over bart fjell preger løsmassene i området sammen med en god del torv og myr. Ved gårdsbruket i nordvestre ende av innsjøen samt lengst i sydøst finnes tykkere morene (ngu.no <sub>G2</sub>), figur 2.9. Bunnsstratet består av sand med mudder og dy, spesielt ved innløpselva i nord.

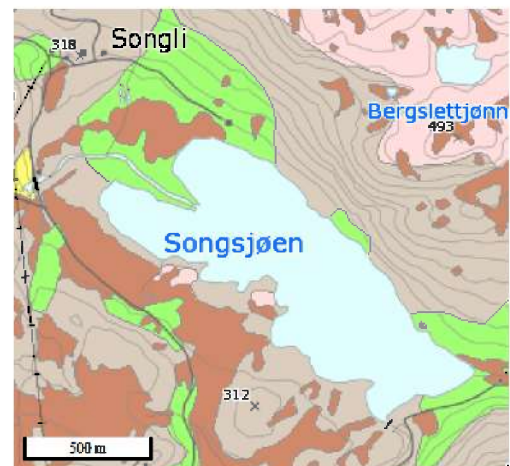
Ellers forekommer det litt grus og stein.

#### Morfometri

Se tabell 1.5. Store grunnområder og holmer så på befaringen ut til å være gunstig for høy biomasseproduksjon av vannplanter. Den skogkledte øst-siden av vannet var brattere og mer brådypp enn østsiden som var preget mer av myr og furu på impediment.

#### Klima

Se tabell 1.6.



Figur 2.9. Tynt humusdekke (grå), myr (brunt), bart fjell (rosa) og tykkere morene omgir Songsjøen.

## Antatte påvirkninger

Den økologiske tilstanden til Songsjøen i følge vann-nett.no er antatt moderat med risiko for ikke å nå miljømålet innen 2021 (vann-nett.no<sub>G</sub>). Innsjøen er imidlertid plukket ut som en mulig referansesjø i basisovervåkingen (Schartau, et al., 2009). I følge Schartau er den ubetydelig eller lite påvirket av næringssalter, forsuring, bakterier samt har generelt lite habitatendringer. Innsjøen ble anbefalt beholdt som referansesjø i 2011-evalueringa. 31,9 % av nedbørsfeltet består av snaufjell, 27,9 % av skog, 17,8 % myr og kun 0,3 % dyrket mark og lavintensivt, tabell 1.7 (atlas.nve.no<sub>B</sub>). Det er noen bakkemyrer ned til vannet i nordvest og vest (Edwardsen, H., pers. med.). Innsjøreguleringen i Våvatn, oppstrøms Songsjøen, vil kunne påvirke vannstanden i Songsjøen ved vannstandsendringer. Utløpseva fra Songsjøen har vist svak sur tilstand (Schartau, et al., 2011).

## 3.8. Store Høysjøen

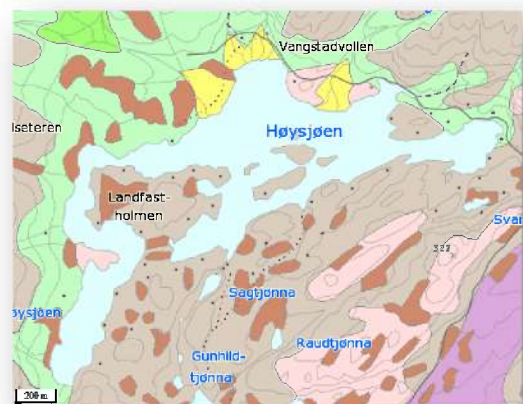


Figur 3.0. Store Høysjøen. Grunn bukt ved Vangstadvollen sæter og elveutløp. Flytebladsvegetasjon av hvit nøkkerose, *Nymphaea alba*. Foto: Edwardsen, H.

Store Høysjøen ligger i Verdal kommune i Nord-Trøndelag. Vannet tilhører høyderegion skog med sine 221 meter over havet. Vanntypen er satt til middels, moderat kalkrik og humøs (vann-nett.no<sub>H</sub>). Store Høysjøen er ikke kartlagt for vannvegetasjon tidligere (Edwardsen, H., pers. med.).

## Geologi

Største delen av nedbørsfeltet er dominert av harde næringsfattige bergarter med noe innslag av leirskifer, sandstein, kalkstein og glimmerskifer (ngu.no<sub>H1</sub>). Figur 3.1. viser at et tynt humusdekke/morene over berggrunn dominerer nedbørsfeltet (ngu.no<sub>H2</sub>).



Figur 2.1. Tynt morene (lys grønn) og tynt humusdekke (grå) dominerer nedbørsfeltet til Store Høysjøen. Kilde ngu.no<sub>H2</sub>.

## **Innsjømorfologi**

Strandlinjeutviklingen for Store Høysjøen er på 4,14 noe som tilsvarer en svært omfattende strandlinjelengde i forhold til en sirkelrund innsjø med likt areal. Det er imidlertid lite grunne områder bortsett fra utenfor den gamle setervollen og ved elve-/bekkeutløp på vestsiden. Substratet består hovedsakelig av berg og stein ned i vannet, men med et par-tre større bukter med finere substrat av grus, finsand og delvis silt. Utenfor setervollen og elve-utløpet er det en del mudder over finsubstratet (Edwardsen, H., pers med). Se for øvrig tabell 1.5. angående innsjømorfologi.

## **Klima og vegetasjon**

Innsjøen ser ut til å ligge i grenseland mellom klart og svakt oseanisk seksjon, noe som gir utslag i en del torv og myravssetninger med en års-nedbørsmengde på 1217 mm. Gjennomsnittstemperaturen for juli måned er satt til 11,2 °C. De tre boreale klimasonene veksler raskt i dette området men selve innsjøen ser ut til å ligge i mellomboreal vegetasjonssone, tabell 1.6.

## **Påvirkning**

Vann-nett oppgir økologisk tilstand til å være antatt moderat men samtidig utenfor risiko om å nå miljømålet innen 2021. Det er innholdet av jern som ser ut til å være utslagsgivende for tilstandsklassifiseringen (vann-nett.no<sub>H</sub>). Det er betydelig hyttebebyggelse og stor aktivitet rundt Høysjøen. På vest-siden ligger det noen gamle setre. Skog utgjør 50 % av nedbørfeltets areal og myr 18,1 %. Det er ikke dyrket mark i nedbørfeltet, tabell 1.7 (atlas.nve.no<sub>B</sub>).

Store Høysjøen mottok betydelige mengder radioaktivt nedfall etter Tsjernobylulykken i 1986, noe som bidro til overvåking av blant annet det akvatiske økosystemet samt buskåpen i området. Nivået i dyreplankton av Cs-137 umiddelbart etter nedfallet var på 32000 Bq/kg tørrvekt. Også ørret og røye hadde rekordhøye cesium-funn, men antas nå å være tilbake til naturlige bakgrunns verdier (Forseth, et al., 1993; Knutzen, et al., 1999). Innsjøen er satt opp som en mulig referansesjø (Schartau, et al., 2009).



## 4.0. MATERIAL OG METODE.

### 4.1. Analysematerialet

Materialet, som danner grunnlaget for studiet i denne masteroppgaven, består av vannplanteregistreringer og fysisk-kjemiske prøvetakninger fra innsjøene inkludert i utprøving av system for basisovervåking i henhold til vannforskriften sommeren 2013.

### 4.2. Metodikk

#### 4.2.1. Registrering av Vannplanter

Metoden som ble anvendt under feltarbeidet sommeren 2013 følger Norsk standard NS-EN 15460:2007: Vannundersøkelse – veiledning for overvåking av makrovegetasjon i innsjøer (miljødirektoratet.no <sub>B</sub>). Denne metoden er den samme som beskrives i klassifiseringsveilederen 02:2013. Det er de ekte vannplantene som ble registrert. I tillegg registreres de viktigste helofyttene. Det er foretatt en registrering per lokalitet i perioden juli til september.

Registreringene er foretatt fra båt med vannkikkert og vanlig rive på grunnere områder eller hvor sikten i vannet har tillatt det. I tillegg er kasterive benyttet for å få tak i planter på dypere vann eller områder med begrenset sikt. Undervannskamera ble benyttet noen steder i Songsjøen og Skjeggstadvatnet. Utstyr som redningsvester, vannfast notatbok og blyanter, dybdemåler (Echotest II fra Plastimo), plastposer til innsamling av planter og en plantepresse for pressing hører med.

Vedlegg V i Vanddirektivet inneholder tekniske krav til registrering av de ulike kvalitetselementene. For vannplanter skal både forekomst av arter (taxonomic composition) og dekning (abundance) benyttes (Lyche Solheim, A., et al., 2013). I tillegg skal den enkelte arts maksimum vekstdybde forsøkes registrert. Mengdeangivelse/dekning for hver enkelt art observert i innsjøen ble vurdert etter en skjønsmessig skala (semi-kvantitativ-skala) fra 1-5 hvor 5=dominerer lokaliteten, 4=lokalt dominerende, 3=vanlig, 2=spredd og 1=sjelden (<5 individer av arten). Funn av driveksemplar ble angitt med +.

Artsbestemmelse ble foretatt umiddelbart i felt så langt dette lot seg gjøre og følger Lid og Lid (2005) for vannplanter og Langangen (2007) for kransalger. Som en del av en standard prosedyre for kontrollbestemmelse og dokumentasjon av registreringene foretatt ute i felt, ble det kontinuerlig samlet inn planter fra hver lokalitet for pressing. Dobbeltkontroll av artsbestemmelse (særlig vanskelige grupper) ble foretatt etter endt feltsesong av fagkyndige personer.

Med intensjon å få med flest mulig av de artene som måtte befinne seg i innsjøen ble det kjørt eller rodd langs store deler av strandlinjen for å velge ut lokaliteter som gav et mest mulig representativt

bilde av artsmangfoldet i innsjøen. Både variasjon i kantvegetasjon, bunnsubstrat (stein, grus, sand, finpartikulært materiale), helning, grad av vind- og bølgeeksponering, inn- og utløpsbekker med mer ble undersøkt. I større innsjøer er alle nyanser av lokaliteter forsøkt dekket ved hjelp av forhåndsstudie av bilder, kart, tidligere undersøkelser med mer sammen med visuell vurdering og utvelgelse ute i felt. Registreringene omfatter hele dybdesona fra vannkanten og ned til vegetasjonens nedre grense. Det er innsjøens grunt-områder ut til nedre grense for vegetasjonen som undersøkes.

#### 4.2.2. Registrering og analyse av vannkjemi

De fysiske og vannkemiske prøvene ble innhentet av andre forskere på NIVA og NINA hvor standard metode for innsamling og analyse ble benyttet (Direktoratsgruppa, 2010; Vedlegg 5).

Vannkjemiprøvene ble innhentet fra antatt dypeste punkt på innsjøen og ble tatt månedlig i perioden mai til oktober. Det vil si til sammen seks prøvetakninger. En integrert blandprøve tas fra eufotisk sone, tilsvarende ca. 2,5 x siktedypet hvor selve siktedypet måles med en 25 cm secchiskive.

Alle kjemiske analyser ble gjennomført etter akkrediterte metoder ved NIVAs analyselaboratorium og følger standard analyse-metoder som angitt i vedlegg 5 til overvåkningsveilederen, standarder for ferskvann (Direktoratsgruppa, 2010; Vedlegg 5; Lyche-Solheim et al. 2014 (in prep.)). En oversikt over disse standardene følger som vedlegg 2 til denne oppgaven

For de antatt eutrofieringspåvirkede innsjøene (Laugen, Liavatnet og Lømsen) foreligger det vannkjemiprøver av 13 parametere: Surhetsgrad (pH), ledningsevne (konduktivitet), alkalitet, turbiditet, farge, totalt fosfor, fosfat, totalt nitrogen, ammonium, nitrat, totalt organisk karbon (TOC), kalsium og klorofyll a.

Referanseinnsjøene (Bjorvatn, Holvatnet, Skjegstadvatnet, Songsjøen og Store Høysjøen) har i tillegg: klorid, sulfat, reaktivt og ikke labilt aluminium, totalt aluminium, kalium, magnesium og natrium slik at det totalt sett blir 21 parametere.

### 4.3. Typifisering og klassifisering

Typifiseringen er utført etter kapittel 3.3. i Klassifiseringsveilederen 02:2013. Klimaregion (høyde over havet), kalsium, alkalinitet, humus, TOC er benyttet til å fastsette vanntype og baserer seg på vannkjemiske data og nettsidene vann-nett.no, norgeskart.no, og nveatlas.no.

#### 4.3.1. Tic

Trofi-indeksen, Tic, angir grad av eutrofiering når artssammensetningen og vanntype er kjent.

Indeksen er basert på forholdet mellom antall sensitive ( $N_s$ ), tolerante ( $N_T$ ) og totalt antall arter ( $N$ ) etter følgende formel:

$$Tic = \frac{N_s - N_T}{N} \times 100$$

#### 4.3.2. EQR

EQR, «Ecological Quality Ratio» eller økologisk kvalitetskvotient fastsetter økologisk tilstand, eller avviket fra referansetilstanden på en skala fra 0 til 1, hvor 1 er best. Når Tic-verdien for den enkelte innsjø er fastsatt, kan EQR-verdien beregnes etter følgende formel:

$$EQR = \frac{\text{observert verdi} + 100}{\text{referanseverdi} + 100}$$

Observert verdi = Tic. Referanseverdien for den aktuelle innsjøtypen tas fra tabell 4-6 a) i klassifiseringsveilederen. Siden Tic kan være negativ, tillegges formelen + 100 i nevner og teller for å få EQR på en kontinuerlig skala fra 0 til 1.

#### 4.3.3. Normalisert EQR, nEQR

For å kunne sammenligne de ulike biologiske parameterne i en innsjø, må EQR-verdiene for vannplanter normaliseres til en felles skala for alle biologiske kvalitetselementer. Denne skalaen går i likhet med skalaen for EQR fra 0 til 1, men har i tillegg faste klassegrenser med jevne intervaller.

Normalisering gjør det mulig å finne ut hvilke av de biologiske parameterne som kommer «dårligst ut» og dermed styrer innsjøens totale tilstandsklassifisering ut fra «det verste styrer prinsippet».

Beregning av nEQR gjør det også mulig å sammenligne tilstandsklasser mellom landene slik at det oppnås en felles forståelse av klassegrenser. nEQR beregnes som:

$$nEQR = \left[ \left( \frac{EQR - \text{nedre EQR klassegrense}}{\text{øvre EQR grense} - \text{nedre EQR grense}} \right) \times 0,2 \right] + \text{nedre klassegrense}_n$$

Nedre klassegrense = laveste EQR verdi for den relevante klassen. Øvre klassegrense = høyeste verdi for den relevante klassen. Øvre EQR grense – nedre EQR grense = klassebredden for ikke-normalisert

skala. 0,2 = standardisert klassebredde for normalisert skala (gjelder for alle klassebreddene på normalisert skala). Nedre klassegrensen  $n$  = nedre normaliserte EQR klassegrense for den relevante klassen. Det vi si 0 for svært dårlig tilstand, 0,2 for dårlig, 0,4 for moderat, 0,6 for god og 0,8 for svært god (Direktoratsgruppa, 2013). Tabell 4.6. b) i klassifiseringsveilederen gir en oversikt over EQR-verdiene for de ulike klassene i forhold til innsjøtype.

#### 4.3.4. Fastsettelse av økologisk tilstand

Det er først når vi kjenner vanntypen fra de enkelte lokalitetene og har beregnet Tlc at økologiske tilstand kan fastsettes. Tabell 4-6 a) og b) i veileder 02:2013 angir klassegrensene i a) absolutt-verdier (Tlc-verdier) og b) EQR-verdier for de ulike innsjøtypene.

#### 4.3.5. Ellenberg-indeks

Følgende formel for vektet gjennomsnitt (WA = «weighted average») benyttes:

$$WA = \frac{(\sum (\text{art}_1 \times \text{mengde art}_1) + (\text{art}_2 \times \text{mengde art}_2) + (\text{art}_3 \times \text{mengde art}_3) + \text{art}_n \times \text{mengde art}_n + \dots)}{\text{Totalt antall arter i innsjøen}}$$

Art<sub>1</sub> = Ellenbergs nitrogen-verdi for art 1. Mengde art<sub>1</sub> gjenspeiler dekningsgraden til art 1 i innsjøen. Siden Norge ikke har utarbeidet en egen «lokaltilpasset» skala for Ellenbergs nitrogenverdier benyttes verdiene utviklet for England og Irland i beregningen (Hill, Preston, & Roy, 2004).

#### 4.3.6. Tilstandsklassifisering av fysisk-kjemiske støtteparametere og klorofyll a.

Total fosfor (TOT-P), total nitrogen (TOT-N), siktedyp og klorofyll a (Kla) er tildelt tilstandsklasse etter tabell 7-7 (for TOT-P), tabell 7-9 for TOT-N, tabell 7-100 for siktedyp med humuskorrigerings etter følgende formel:

$$\text{Siktedyp} = (\ln(95) - \ln(20)) / [(0,037 \times A^{0,60}) + (0,02 \times \text{chla})]$$

Hvor A = farge (mg Pt/l) og chla = klorofyll a (µg/l) (Direktoratsgruppa, 2013). Klorofyll a er tildelt tilstandsklasse på bakgrunn av tabell 4-3 (innsjøtyper for planteplankton) og tabell 4-2 (klassegrenser for planteplankton). Snitt-verdien av prøvetakningene er benyttet for alle disse parameterne.

#### 4.4. Bearbeiding av innsamlet data for statistisk analyse.

Til sammen fire statistiske analyser er benyttet til analyse av innsamlet vannplante- og vannkjemi-data. Disse er Principal Component Analysis (PCA), korrelasjonsanalyse, Detrended Correspondence Analysis (DCA) og Generalized Linear Models (GLM). Eskilt (2012), Leps & Smilauer (2003) sammen med personlig veiledning av Odland, A. er benyttet som grunnlag for kjøring av analysene.

Principal Component Analysis (PCA) ble utført på vannkjemiske miljøvariabler for å se hvordan disse forklarer variasjonen i innsjøene. På grunn av et høyt antall miljøvariable i forhold til antall innsjøer ble det kjørt en korrelasjonsanalyse i programmet Minitab for å avdekke korrelerende parametere med intensjon å forenkle den videre analysen. Detrended Correspondence Analysis (DCA) ble brukt på de biologiske artsdataene for å se mulige sammenhenger mellom fysisk-kjemiske miljøvariabler og artsforkomst. Generalized Linear Models, GLM, ble kjørt for å teste for signifikans mellom de mest sentrale miljøparameterne og forekomst av observerte vannplantene. GLM er basert på normalfordelte data. I tillegg kunne det vært kjørt en test for signifikans for å teste holdbarheten på resultatet, noe som viste seg ikke være mulig i denne oppgaven.

De vannkjemiske målingene består av totalt 13 felles parametere for de åtte innsjøene. Dette betyr at det er mange miljøvariable å forholde seg til. For å undersøke mulige samvariasjonsmønstre i store datasett med mange variable benyttes Multivariate analyser som blant annet PCA, DCA, CCA og lignende. Disse analyseteknikkene består av flere forklaringsvariabler som benyttes til å undersøke hvilken variabel som best forklarer variasjonen i de objektene vi vil innhente mer informasjon om. I dette tilfellet er det de vannkjemiske parametere som analyseres for å se hvilke som best forklarer utbredelse og forekomsten av de ulike innsjøene og vannplante-artene. Multivariate analyser kan derfor brukes til å forenkle kompleksiteten i store datasett. Ved å transformere korrelerte variabler til et færre antall ukorrelerte, som representerer variasjonen i datasettet, forenkles analysen (noe som gjøres i en korrelasjonsanalyse). De ukorrelerte variablene kalles prinsipale komponenter og representerer variasjonen i datasettet. Prinsipal komponent 1 (PC-1, x-aksen) forklarer mest av variasjonen i datamaterialet, og hver påfølgende prinsipal komponent forklarer en mindre andel av variasjonen. Plottene blir lettere å tolke dersom mest mulig av variasjonen blir forklart av færrest mulige prinsipalkomponenter. Oftest benytter man seg av 2-3 prinsipalkomponenter for å forklare variasjonen i et datamateriale.

Primærdataene må bearbeides i Microsoft Excel 2010 før kjøring av statistiske tester som korrelasjonsanalyse og PCA i Minitab 16 eller mer omfattende DCA-analyse i programmet Canoco 5 (Odland, A., pers. med.). Før kjøring av korrelasjonsanalyse og PCA i Minitab 16, ble det laget en matrise i Microsoft Excel hvor studieobjektene, det vil si innsjøene, ble angitt per rad og forklaringsvariablene, det vil si de kjemiske miljø-parameterne, ble listet opp per kolonne. Minimumsverdien for alkalinitet, samt snittverdien av de andre kjemiske miljøparameterne ble benyttet.

Siden PCA og også kjøring av korrelasjonsanalyse krever normalfordelte data ble gjennomsnitt og varians beregnet for hver enkelt av de kjemiske parameterne. Der variansen viste seg å være mye

større enn gjennomsnittet, log10-transformeres dataene for å oppnå mer normalfordelte data, med unntak av pH som allerede befinner seg på en logaritmisk skala. Konduktivitet, farge, TOT-P, TOT-N,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og Klorofyll a (Kla), ble log10-transformert. For farge og Kla fremkommer negative verdier. Analyseprogrammet som benyttes kan ikke jobbe med negative verdier. Dette løses ved at kolonnene med de negative verdiene tillegges en verdi ( $x+1$  i dette tilfellet) slik at alle verdier blir positive.

Datamatrixene i Excel for DCA-analysen krever ikke normalfordelte data slik at primær-dataen kan legges direkte inn. DCA-analysen består imidlertid av to matriser som kjøres opp mot hverandre. Den første matrisen inneholder et primærdatasett med responsvariabler bestående av vannplante-artene og deres mengdeangivelse (radene) for hver enkelt innsjø(kolonnene). I tillegg til arts- og mengdeangivelsematrisen ble det i samme Excelark laget en matrise/datasett for de uavhengige forklaringsvariablene bestående av fysiske og kjemiske miljøvariabler hvor vannene er angitt i kolonnene og miljøvariablene i radene.

Da kjøringen av PCA viste at svært mange miljøvariabler korrelerer, kjøres en korrelasjon for å se hvilke miljøvariabler som korrelerer slik at disse kan slås sammen for å forenkle resultatet.

## 5.0. RESULTATER & DISKUSJON

Foreliggende data om vannplanter og de fysiske-kjemiske forholdene i basisovervåkningsinnsjøene er frigitt til bruk i denne masteroppgaven fra Miljødirektoratet og tilsendt fra NIVA som er ansvarlige for innsamling og analyse. Med unntak av Store Høysjøen i Verdal kommune og Liavatnet på Frosta har undertegnede deltatt på innsamlingen av vannplantedataene i de andre vannene. Tidsbruk per vann i varierte noe, men det ble brukt omkring 4-6 timer per vann.

### 5.1. Fysiske og kjemiske data

Resultatet av de vannkjemiske målingene i innsjøene med beregning av snitt, max og min-verdier foreligger i Vedlegg 3. For videre databehandling og bearbeidelse er målingen av farge i Bjorvatn fra 13. juli ekskludert da denne verdien ser ut til å være beheftet med feil på grunn av betydelig avvik fra de andre målingene. Det gjennomsnittlige humusinnholdet er derfor beregnet til 64,54 mg Pt/. For Holvatnet er også TOT-P og PO<sub>4</sub> for 13. august ekskludert da disse verdiene er usannsynlige høye og avviker sterkt fra de andre målingene. Den lave verdien for farge målt 13.mai i Holvatnet er for øvrig beholdt da dette kan indikerer en periode med snøsmelting og kort oppholdstid i innsjøen. Tabell 1.8. gir en oversikt over de vannkjemiske parameterne som er felles for de åtte innsjøene.

Tabell 1.8. Min, gjennomsnitt og max-verdier for kjemiske støtteparametere felles for de 8 basisovervåkningsinnsjøene i 2013. I tillegg kommer klorofyll a og siktedyp. Gjennomsnittsverdiene er uthevet.\*For Bjorvatn foreligger kun en måling av siktedyp tatt 28. mai 2013.

INNSJØ		pH	Kond. mS/m	Alk mmol	Turb 860	Farge mgPt/l	TOT-P µg /l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> µg/l	TOT-N µg /l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> µg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µg/l	TOC mg/	Ca mg/l	Kla µg/l	Sikte-dyp
Bjorvatn	Min	6,2	1,93	0,06	0,73	17,8	4	1	305	4	6	6,9	1,31	1,4	-
	<b>Gj. snitt</b>	<b>6,3</b>	<b>2,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,83</b>	<b>56,7</b>	<b>6,5</b>	<b>1,67</b>	<b>355,8</b>	<b>9,67</b>	<b>40,8</b>	<b>7,4</b>	<b>1,41</b>	<b>4,71</b>	<b>2,5*</b>
	Max	6,4	2,22	0,08	1,1	69,3	10	3	410	17	88	7,9	1,62	10	-
Holvatnet	Min	6,3	2,44	0,06	0,8	29	4	2	245	6	2	3,7	0,59	0,4	2,3
	<b>Gj. snitt</b>	<b>6,4</b>	<b>2,62</b>	<b>0,06</b>	<b>1,01</b>	<b>56,4</b>	<b>7</b>	<b>2,6</b>	<b>292,5</b>	<b>17,2</b>	<b>7,6</b>	<b>5,6</b>	<b>0,71</b>	<b>0,81</b>	<b>3,3</b>
	Max	6,5	3,06	0,07	1,31	75,1	13	4	355	31	12	6,7	0,83	0,98	4,5
Laugen	Min	7,5	9,78	0,67	0,85	33,7	8	1	655	15	315	5	12,5	2,3	2,3
	<b>Gj. snitt</b>	<b>7,6</b>	<b>10,4</b>	<b>0,72</b>	<b>1,54</b>	<b>38,0</b>	<b>9,7</b>	<b>3</b>	<b>767,5</b>	<b>20,8</b>	<b>426</b>	<b>5</b>	<b>16,8</b>	<b>5</b>	<b>2,8</b>
	Max	7,8	11	0,76	2,01	44,9	15	4	910	31	510	6,5	29	8,8	3,2
Liavatnet	Min	7,6	19,6	0,66	1,16	20,1	10	3	620	34	100	5,5	25,1	4,5	1,7
	<b>Gj. snitt</b>	<b>8</b>	<b>20,6</b>	<b>1,30</b>	<b>2,04</b>	<b>22,9</b>	<b>17,3</b>	<b>4,83</b>	<b>746,7</b>	<b>67,8</b>	<b>233</b>	<b>6,1</b>	<b>27,8</b>	<b>12,2</b>	<b>2,7</b>
	Max	8,6	21,8	1,52	2,92	26,7	25	9	940	120	315	7	32,6	30	3,5
Lømsen	Min	7,5	12,6	0,78	1,87	30,6	9	3	390	13	2	6,4	15,1	2,9	1,9
	<b>Gj. snitt</b>	<b>7,7</b>	<b>13,8</b>	<b>0,87</b>	<b>2,18</b>	<b>34,8</b>	<b>14,2</b>	<b>3,83</b>	<b>454,2</b>	<b>24,8</b>	<b>63,3</b>	<b>7,2</b>	<b>19,5</b>	<b>10,6</b>	<b>2,7</b>
	Max	8	14,9	0,94	2,86	39,5	18	4	560	38	125	8	32,4	23	3,8
Skjeggstadvatnet	Min	7,6	11,1	0,83	0,56	6,1	3	1	220	6	10	2,6	16,8	1	6,5
	<b>Gj. snitt</b>	<b>7,7</b>	<b>11,2</b>	<b>0,87</b>	<b>0,82</b>	<b>7,85</b>	<b>5,67</b>	<b>2</b>	<b>270</b>	<b>18</b>	<b>43,5</b>	<b>2,7</b>	<b>17,1</b>	<b>1,57</b>	<b>8,6</b>
	Max	7,9	11,2	0,85	1,65	10,8	10	3	335	28	77	2,9	17,3	2,4	10,5
Songsjøen	Min	6,4	2,94	0,08	0,65	24	3	1	170	4	14	3,2	1,16	0,69	4,0
	<b>Gj. snitt</b>	<b>6,5</b>	<b>3,03</b>	<b>0,08</b>	<b>0,90</b>	<b>26,5</b>	<b>6,33</b>	<b>2,17</b>	<b>227,5</b>	<b>22</b>	<b>19,7</b>	<b>3,4</b>	<b>1,18</b>	<b>1,18</b>	<b>4,8</b>
	Max	6,6	3,17	0,09	1,56	30,2	11	5	305	63	28	4,1	1,21	1,8	5,1
Store Høysjøen	Min	6,4	1,86	0,08	1,2	51,1	3	1	285	6	3	5,4	1,07	0,71	2,0
	<b>Gj. snitt</b>	<b>6,4</b>	<b>1,99</b>	<b>0,08</b>	<b>2,27</b>	<b>74</b>	<b>8,83</b>	<b>4</b>	<b>334,2</b>	<b>15,3</b>	<b>9,5</b>	<b>7,6</b>	<b>1,25</b>	<b>1,09</b>	<b>2,3</b>
	Max	6,5	2,08	0,09	5,8	86,3	20	7	385	29	16	8,5	1,42	1,3	2,5

Tabell 1.8. viser blant annet at 6 av 8 innsjøer oligotrofe med en TOT P < 10 µg P/l. Disse er Bjorvatn, Holvatnet, Laugen, Skjeggstadvatnet, Songsjøen og Store Høysjøen. Liavatnet og Lømsen grupperer til Mesotrofe innsjøer jamfør inndelingen i trofigrad etter Økland (1999), Wetzel (1983) og Kalff (2002).

### 5.1.1. Typifisering

Tabell 1.9. angir vanntype med bakenforliggende parametere for de åtte innsjøene. Turbiditet som typologifaktor for vannforekomster er tatt ut (merket som x i kolonnen under Vanntype i vann-nett) da resultatet fra målingen av Turb860 ikke lot seg direkte omregne til klassifiseringsveilederens STS-verdier på grunn av stor forskjell i analysemetode (Blakseth, T.A., pers. med).

**Tabell 1.9. Fastsettelse av vanntype for basisovervåknings-innsjøene. ØR er forkortelse for økoregion hvor S= Sørlandet og M=Midt-Norge. H.O.H. angir klimaregion hvor L= lavland og M= skog. Etterfølgende tall angir vannets høyde over havet. Vanntype-koden i vann-nett følger tabell 3-4 i klassifiseringsveilederen (02:2013). N-GIG angir den interkalibrerte innsjøtypen.**

INNSJØ	ØR	H.O.H	Km <sup>2</sup>	Ca mg	Alk	Farge mg Pt	TOC	Max dyp	Vanntype i Vann-nett	Norsk type	N-GIG type
Bjorvatn	S	L 165	0,52	1,41	0,07	64,54	7,4	(22)	LSL222x5	7	L-N3 og L-N-M102
Holvatnet	M	M190	0,85	0,71	0,06	56,43	5,6	33,5	LML212x6	14	L-N-M002
Laugen	M	L 65	1,84	16,8	0,72	38,07	5,6	(28)	LML232xx	9	L-N8 og L-N-M202
Liavatnet	M	L 43	0,35	27,8	1,3	22,9	6,1	(10)	LML141xx	10	L-N-M301
Lømsen	M	L 38	2,15	19,5	0,87	34,77	7,15	(6)	LML232x5	9	L-N-8 og L-N-M202
Skjeggstadvatnet	M	L 187	1,58	17,1	0,84	7,85	2,7	38	LML234x6	8	L-N1 og L-N-M201
Songsjøen	M	M260	0,66	1,18	0,08	26,45	3,14	33	LMM221x5	16	L-N5 og L-N-M101
Store Høysjøen	M	M221	0,99	1,25	0,08	74	7,6	23,2	LMM222xx	17	L-N6 og L-N-M102

Typifiseringen viser at 6 av totalt 8 vanntyper for vannplanter (Angitt med L-N-M-kode) er representert i basisovervåkingen for 2013. **Bjorvatn og Store Høysjøen** tilhører begge innsjøtype L-N-M102 for vannplanter, det vil si en kalkfattig og humøs vanntype. Bjorvatn ligger imidlertid i lavland og får derfor norsk type 7, interkalibrert til L-N3. Dette er i tråd med tidligere fastsatt vanntype-kode for innsjøen (Schartau, et al., 2011; Schartau, Haande, Skjelbred, et al., 2012). Siden Store Høysjøen ligger i høyderegion skog får den norsk type 17, interkalibrert til L-N6. Schartau (2009) har angitt denne til L-N5, kalkfattig og svært klar.

**Laugen og Lømsen** er fastsatt til norsk type 8, interkalibrert til L-N8 og vanntype L-N-M202 for vannplanter. Det vil si en moderat kalkrik og humøs vanntype. Lømsen har for øvrig et snitt på 19,5 mg Ca/l og tenderer helt opp mot grensen til en kalksjø, definert til en kalsiumkonsentrasjon på mer enn 20 mg Ca/l (Mjelde, M., et al., 2012). Schartau (2009) opererer med L-N8 for Lømsen og svært kalkfattig klar for Laugen. Den sistnevnte vanntypen avviker derfor fra årets resultat for Laugen.

Humusinnholdet i **Skjeggstadvatnet** gir en svært klar vanntype med henblikk på farge (7,85 mg Pt/l) og en klar innsjø med henblikk på TOC (2,7 mg C/l). I typifiseringen opereres det imidlertid kun med



innsjøtype klar for moderat kalkrike lokaliteter slik at innsjøen får norsk type 8, interkalibrert til L-N1 og L-N-M201, moderat kalkrik, klar. Dette er i tråd med angivelsen i vann-nett.no (vann-nett.no <sub>f</sub>) og også Schartau (2009).

**Songsjøen** har norsk vanntype 16, interkalibrert til L-N5 som tilsvarer innsjøtype L-N-M101 for vannplanter, kalkfattig og klar. Dette samsvarer med typifiseringen fra basisovervåkingen i 2009 og 2011 (Schartau, et al., 2011; Schartau, et al., 2012).

Siden vanntypifiseringen inkluderer både kalsiuminnhold og alkalinitet for beskrivelse av kalkpåvirkning og farge og TOC for angivelse av grad av humus-innhold, er det en del tilfeller hvor den enkelte innsjø vipper mellom to innsjøtyper. Dette gjelder blant annet for **Holvatnet** hvor 0,71 mg Ca/l tilsvarer en svært kalkfattig innsjø mens en alkalitet på 0,06 mmol/l plasserer innsjøen så vidt innenfor gruppen kalkfattige innsjøer definert til 0,05 – 0,2 mekv/l. Siden alkaliteten så vidt ligger over laveste grenseverdi for en kalkfattig innsjø er Holvatnet her satt til en svært kalkfattig lokalitet.

For Holvatnet er det også satt spørsmålsteget ved inndeling i klimaregion. I følge klassifiseringsveilederen ligger vannet i klimaregion lavland på 190 meter over havet. Vannet ligger imidlertid tett opp mot skoggrensa med stor påvirkning av kyst-klima (høy grad av oseanitet) på Fosen-halvøya i Trøndelag. Siden tregrensen er mye lavere så langt nord og ut mot kysten enn på Østlandet samt at vannet ligger så nært høydegrensen mellom lavland og skog ser klimaregion skog ut til å være et bedre valg (Lyche Solheim, A., pers. med.). Om innsjøen anses å ligge i klimaregion lavland tilhører Holvatnet norsk type 3. For skog blir den 14. Type 14 er interkalibrert til L-N-M002. Begge disse innsjøtypene klassifiseres imidlertid til norsk type 002 for vannplanter. Schartau (2009) angir for øvrig Holvatnet til innsjøtype LN2, små kalkfattige, klare. Dette stemmer ikke overens med sommerens målinger som angir lokaliteten til å være svært kalkfattig og humøs.

**Liavatnet** har en gjennomsnittlig kalsiumkonsentrasjon på 27,8 mg Ca/l, noe som tilsier at Liavatnet er en kalksjø. I veileder 02:2013 er dette benevnt som en kalkrik lokalitet. Farge-verdien er målt til 22,9 mg Pt/l, det vil si en klar innsjø. TOC har imidlertid en snitt-verdi på 6,1 mg C/l, noe som tenderer til en humøs innsjø, definert til 5-15 mg C/l. Den lave farge-verdien er anvendt til å sette humusinnholdet til en klar innsjø. Innsjøen er derfor typifisert til norsk type 10 og L-N-M301 for vannplanter, kalkrik, klar men med tendenser til en noe mer humøs vanntype (L-N-M302) på grunn av det noe høyere TOC-innholdet. Schartau (2009) og Vann-nett.no beskriver innsjøen til moderat kalkrik og humøs (Vann-nett.no <sub>d</sub>).

### 5.1.2. PCA-analyse

PCA analysen, kjørt i programmet Minitab 16, avslører hvordan innsjøene varierer etter de vannkjemiske parameterne. Analysen gav følgende resultat:

#### Principal Component Analysis: pH; Kond; Alk; Turb; Farg; TOT-P; Po4; TOT-N; NH4

Eigenanalysis of the Correlation Matrix

Eigenvalue	7,0645	4,3642	0,9466	0,4080	0,1613	0,0322	0,0233	0,0000
Proportion	0,543	0,336	0,073	0,031	0,012	0,002	0,002	0,000
Cumulative	0,543	0,879	0,952	0,983	0,996	0,998	1,000	1,000

Eigenvalue	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000
Proportion	0,000	0,000	0,000	-0,000	-0,000
Cumulative	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
pH	0,309	0,258	0,165	0,123	-0,034
Kond	0,310	0,250	0,189	0,152	-0,047
Alk	0,324	0,225	0,143	-0,015	0,317
Turb	0,301	-0,244	-0,201	0,368	-0,136
Farg	0,306	-0,242	-0,186	0,314	-0,222
TOT-P	-0,063	-0,457	0,103	-0,237	-0,303
Po4	0,330	-0,170	-0,315	-0,075	0,112
TOT-N	0,325	-0,173	-0,344	-0,031	-0,146
NH4	0,304	-0,056	0,450	-0,474	-0,510
NO3	0,301	0,119	-0,351	-0,622	0,326
TOC	0,103	-0,423	0,331	0,115	0,464
Ca	0,113	-0,425	0,326	-0,055	0,349
Kla	0,308	0,238	0,267	0,191	-0,023

Eigenvalue er et matematisk uttrykk som angir hvor stor andel den enkelte komponent forklarer av den totale variasjonen i datasettet. Som et alternativ til Eigenvalue angir «proportion» andelen i prosent. «Cumulative» summerer sammen forklaringsgraden til de enkelte komponentene.

Resultatet viser at den første komponenten forklarer over halvparten av variasjonen mellom innsjøene på 54,3 % som tilsvarer en

Eigenvalue på 7,06. Komponent 2

forklarer 33,6 % (Eigenvalue 4,36) og

3. Komponenten forklarer 7,3 %

(Eigenvalue 0,95). Til sammen

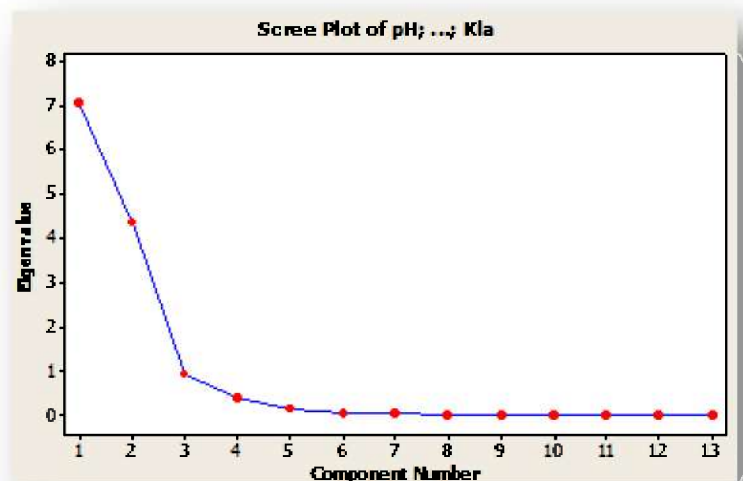
forklarer de tre første komponentene

95,2 % av variasjonen i dataene. Dette

betyr at de tre første komponentene

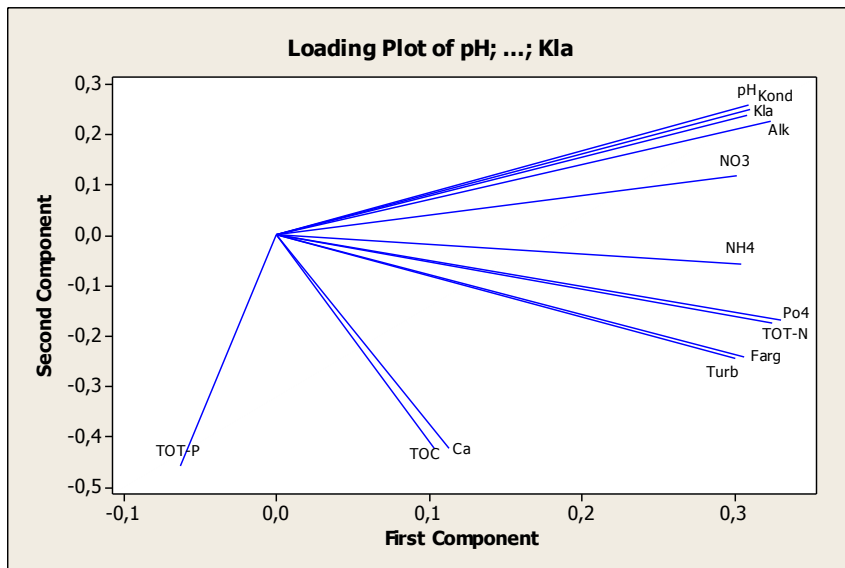
stort sett forklarer all variasjonen i

dataene, figur 4.1.



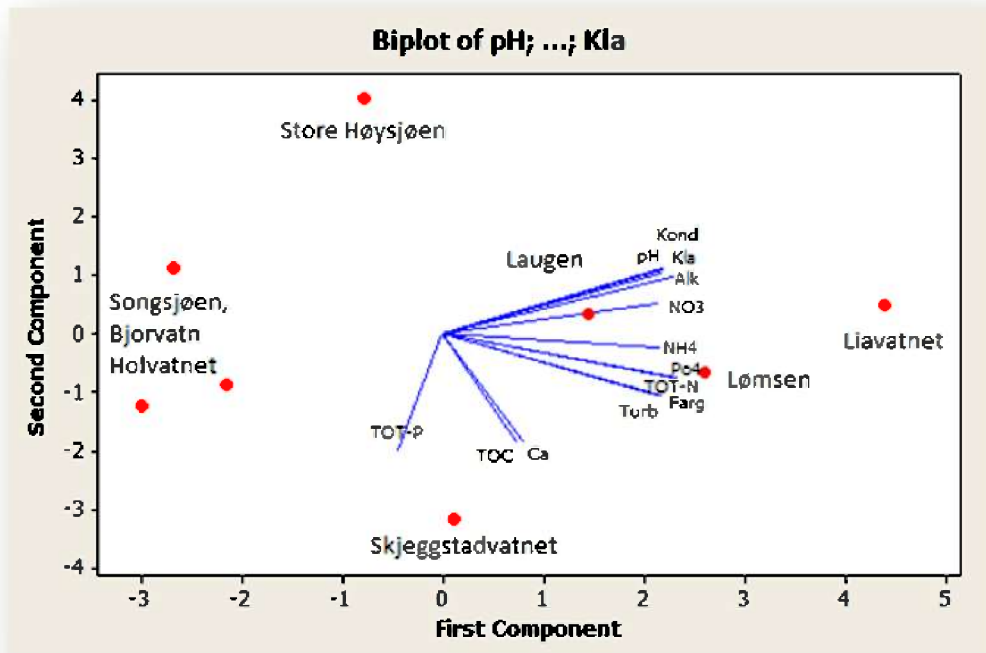
Figur 3.2. Scree Plot for de kjemiske miljøvariablene viser at de tre første komponentene stort sett forklarer all variasjonen mellom innsjøene.

Loading plot, figur 3.3. gir en grafisk fremstilling av hvilke kjemiske parametere som forklarer variasjonen mellom innsjøene best. Det er de kjemiske parameterne som har lengst vektor parallelt med PCA-akse 1, første komponent, som forklarer mest av variasjonen, mens PCA-akse 2 forklarer andre komponent best. Fosfat,  $\text{PO}_4^{3-}$ , (33 %) tett etterfulgt av TOT-N (32,5 %) og alkalinitet (32,4 %) forklarer variasjonen i innsjøene mest. Derneft følger farge, turbiditet, pH, klorofyll a, konduktivitet i respektive retterfølger. Andre komponenten er styrt av TOT-P (-45,7 %), Ca (-42,5 %) og TOC (-42,3 %) mens tredje komponent hovedsakelig bestemmes av  $\text{NH}_4^+$ .



Figur 3.3. Loading-plot, PCA. Kjemiske parametere med vektorer parallelt med PCA akse 1 forklarer mesteparten av variasjonen mellom innsjøene.

Figur 3.4. gir et visuelt bilde av hvordan innsjøene fordeler seg i forhold til de ulike kjemiske parameterne/miljøgradientene. Vi ser at de næringsfattige oligotrofe innsjøene konsentreres til venstre i diagrammet mens de næringsrike innsjøene ligger lenger til høyre i diagrammet. Lengst ute til høyre er det svært næringsrike Liavatnet med de høyeste verdiene for konduktivitet, alkalitet, TOT-P, fosfat, ammonium, kalsium og klorofyll a. Lømsen følger som en god nummer to etter Liavatnet og Laugen får en tredje plass i forhold til høye verdier av de målte kjemiske parameterne. Plasseringen av innsjøene er skjønsmessige og baserer seg kun på antakelser etter målte verdier av de kjemiske parameterne. Spesielt plasseringen av Skjegstadvatnet og Store Høysjøener har vært beheftet med noe usikkerhet. Skjegstadvatnet har fått sin plassering på grunn av sin klarhet, forholdsvis høye kalsiumkonsentrasjon, alkalinitet og konduktivitet. Fargen og turbiditeten (på en i og for seg snever skala) ser ut til å være sentrale for at beliggenheten til Store Høysjøen avviker fra gruppen lengst til venstre.



Figur 3.4. Biplot, PCA. Illustrerer hvordan innsjøene fordeler seg i forhold til de ulike kjemiske parametrene/miljøgradientene.

#### Drøfting av PCA.

Både humusinnhold, kalsiumkonsentrasjonen og TOT-P er sentrale miljøvariabler til å adskille en innsjø fra en annen i forhold til vannkjemiske parametere. Når innsjøene skal typifiseres anvendes blant annet kalsiumkonsentrasjon/alkalinitet og farge/TOC (Direktoratsgruppa, 2013). Ved inndeling etter grad av eutrofiering er TOT-P den mest brukte parameteren.

I dette tilfelle viste imidlertid fosfat, TOT-N, alkalinitet (etterfulgt av pH, konduktivitet, klorofyll a, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, farge og turbiditet) å ha en størst forklaringsverdi. Avviket i resultatet fra denne analysen i forhold til «normalen» henger antakelig sammen med lite utvalg og at de åtte innsjøene ikke danner et representativt bilde av landsgjennomsnittet ved at flere av dem ligger i mer næringsrike og kalkrike områder enn hva som ellers er vanlig.

## 5.2. Biologiske data

Registreringen av vannvegetasjonen ble utført i perioden 16. juli til 23. august 2013. Tabell 2.0. gir en oversikt over registrerte arter med dekningsgrad (på semi-kvantitativ skala).

**Tabell 2.0. Arter registrert i basisovervåkningsinnsjøene i 2013. Lokalitetene er angitt med følgende forkortelser: BJO = Bjorvatn, HOL = Holvatnet, LAU = Laugen, LIA = Liavatnet, LØM = Lømsen, SKJ = Skjeggstadvatnet, SON = Songsjøen og S.HØY = Store Høysjøen. Artene er angitt med mengde: + = driveksemplar, 1 = sjelden, 2= spredt (<5 individer av arten), 3=vanlig, 4= lokalt dominerende, 5 = dominerer lokaliteten. Lys blå farge indikerer planter som er sensitive for eutrofiering. Mørk blå indikerer tolerante arter. Indifferente arter har hvit bakgrunn.**

Norske navn	Latinske navn	BJO	HOL	LAU	LIA	LØM	SKJ	SON	S. HØY
Undersøkt dato		16.7	6.8	30.7	3.8	8.8	30.7/23.8	29.7	11.8
<b>ISOETIDER</b>									
Nålesivaks	<i>Eleocharis acicularis</i>			1					1
Mykt brasmegras	<i>Isoetes echinospora</i>	3	3					2	3
Stivt brasmegras	<i>Isoetes lacustris</i>	2		2					
Tjønngras	<i>Litorella uniflora</i>		1					1	
Botnegras	<i>Lobelia dort manna</i>	5	4					5	2
Evjesoleie	<i>Ranunculus reptans</i>	2		2			2	1	2
Sylblad	<i>Subularia aquatica</i>								1
<b>ELODEIDER</b>									
Klovasshår	<i>Callitriche hamulata</i>	1	2	3		2		2	1
Høstvasshår	<i>Callitriche hermaphroditica</i>			2					
Småvasshår	<i>Callitriche palustris</i>		1	2			1		
Vasspest	<i>Elodea canadensis</i>				5				
Hesterumpe	<i>Hippuris vulgaris</i>								2
Krypsiv	<i>Juncus bulbosus</i>	3	5	2			2	4	5
Tusenblad	<i>Myriophyllum Alterniflorum</i>		4	3			3	3	3
Rusttjønnaks	<i>Potamogeton alpinus</i>			2	1	1			
Småtjønnaks	<i>Potamogeton berchtoldii</i>			1		2			
Grastjønnaks	<i>Potamogeton gramineus</i>			4	2				
Buttjønnaks	<i>Potamogeton obtusifolius</i>			4	3	+			
Hjertetjønnaks	<i>Potamogeton perfoliatus</i>			4		2	3		
Nøkketjønnaks	<i>Potamogeton praelongus</i>			1	5	4-5			
	<i>Potamogeton x zizii</i>				5				
Gytjebærerrot	<i>Utricularia intermedia</i>						1	3	3
Småblærerrot	<i>Utricularia minor</i>		2						
Mellomblærerrot	<i>Utricularia ochroleuca</i>		3			2	1		2
Storblærerrot	<i>Utricularia vulgaris</i>		1			2		2	3
<b>NYMPHAEIDER</b>									
Gul nøkkerose	<i>Nuphar lutea</i>	5		2	3	3			2
Soleinøkkerose	<i>Nuphar pumila</i>					2	2		
Hvit nøkkerose	<i>Nymphaea alba coll</i>	3		1	4	5		2	5
Vanlig tjønnaks	<i>Potamogeton natans</i>	1	4	4	4	5	2-3	2	2
Flotgras	<i>Sparganium angustifolium</i>	2	3	3		3	1	2	2
Stautpiggknopp	<i>Sparganium emersum</i>			2		2			
<b>LEMNIDER</b>									
Andemat	<i>Lemna minor</i>				2	2			
<b>KRANSALGER</b>									
Skjørkrans	<i>Chara delicatula (virgata)</i>					2	2		
Mattglattkrans	<i>Nitella opaca</i>					1	1		
Totalt antall arter		10	12	19	10	17	12	12	16

Totalt ble det funnet 34 arter. Bjorvatn og Liavatnet hadde 10 arter, Holvatnet, Skjegstadvatnet og Songsjøen 12 arter, Store Høysjøen 16, Lømsen 17 og Laugen 19 arter. Gjennomsnittlig artsrikhet for de åtte innsjøene er på 13,5 arter. Dette er noe under antakelsene til Hvoslef og Rørslett (1986) om et gjennomsnitt på 15 arter i en norsk innsjø med høyere forekomst i lavlandet men Wiser deliverable D3.2-3 (2011) antyder at det er alminnelig med mindre enn 15 arter i norske innsjøer (Rørslett & Hvoslef, 1986b; Kolada, et al., 2011). I forhold til tidligere basis overvåkinger er imidlertid artsantallet forholdsvis høyt med det høyeste gjennomsnittet av samtlige år siden oppstart (Schartau, et al., 2011; Schartau & Fløystad, et al., 2012; Schartau & Skjelbred, et al., 2012; Schartau, et al., 2013). Lavere artsdiversitet i de førstnevnte 5 innsjøene kan indikere mer næringsfattige lokaliteter dominert av oligotrofe vann, med unntak av Liavatnet som er en kalksjø og av den grunn ofte kan ha et lavere artsinventar i tillegg til at den er påvirket av eutrofiering (TOT P = 17,3 µg/l), noe som kan ha redusert antallet. For Skjegstadvatnet kan bratte og steinete kantsoner med redusert egnethet for vannplante-habitater ha avgjørende betydning, men her var det også en vesentlig del av innsjøen ved innløpsbekken vi ikke fikk undersøkt på grunn av tidsmangel. Det er derfor mulig et par arter til kunne vært funnet. Også feltarbeidet i Holvatnet ble noe redusert da tendenser til uvær medførte at registreringsarbeidet ble avsluttet før vi hadde fått undersøkt den større nord-sydgående vannkroppen.

Det større artsantallet i Lømsen (17) og Laugen (19) kan indikere mer næringsrike vann (mesotrofe) med større grad av forstyrrelser fra omkringliggende bebyggelse og landbruk. Jamfør Rørslett (1991) har ofte vann med middels forstyrrelse et høyere artsantall («Intermediate disturbance hypothesis») (Rørslett, 1991). Det større artsantallet i Store Høysjøen (16) kan imidlertid henge sammen med stort areal og høy standlinjeutvikling og dermed mulighet for flere nisjer da innsjøen i seg selv ligger i næringsfattige omgivelser.

Enkelte arter forekommer hyppigere enn andre: Vanlig tjønnaks, *Potamogeton natans*, som er vanlig i det meste av landet med unntak av Nord-Troms og Finnmark og kanskje den mest alminnelige vannplanten vi har, ble registrert i samtlige innsjøer (Lid, et al., 2005). Vanlig flotgras, *Sparganium angustifolium*, som også er nokså vanlig i hele landet, ble funnet i alle innsjøene med unntak av kalksjøen Liavatnet (Lid, et al., 2005). Klovasshår, *Callitriche hamulata*, hvit nøkkerose, *Nymphaea alba* coll, tusenblad, *Myriophyllum alterniflorum*, ble funnet i 6 av 8 innsjøer. Evjesoleie, *Ranunculus reptans*, og gul nøkkerose, *Nuphar lutea*, ble funnet i 5 av 8 innsjøer. Antakelig er dette arter med vide nisjepreferanser slik at de kan leve under forholdsvis varierte forhold.

Noen arter ble kun funne i noen få lokaliteter, slik som småblærerot, *Utricularia minor*, som bare var i Holvatnet. De moderate kalkrike innsjøene Lømsen og Skjegstadvatnet, med henholdsvis 16,9 og

17,1 mg Ca/l, inneholdt kransalgene Skjørkrans, *Chara virgata*, og Mattglattkrans, *Nitella opaca*. To i og for seg lite kalkkrevende planter som er mye utbredt (Langangen, 2007a). Lømsen og Liavatnet har forekomst av Andemat, *Lemna minor*. Dette er en kosmopolitt som finnes utbredt over omtrent hele jorda og er tolerant overfor eutrofiering (Lid, et al., 2005; Direktoratgruppen).

Den uønskede planten Vasspest, *Elodea canadensis*, ble funnet i Liavatnet.

Fordelingen av vekst-former viste at isoetidene er fraværende i Lømsen og Liavatnet og med kun en art (Evjesoleie, *Ranunculus reptans*,) i Skjeggstadvatnet. Store Høysjøen har det største antall isoetider med fem arter etterfulgt av Songsjøen og Bjorvatn med 4 og Holvatnet og Laugen med 3. I Bjorvatn er det få elodeider (2). Songsjøen har 5, Liavatnet og Skjeggstadvatnet har 6, Store Høysjøen og Holvatnet har 7 mens Lømsen har 8 og Laugen 11. Antall nymphaeider er 2 for Holvatnet, 3 for Liavatnet, Skjeggstadvatnet og Songsjøen mens Store Høysjøen har 4, Laugen 5 og Lømsen 6. Av lemnidene er kun andemat, *L. minor*, funnet henholdsvis i Liavatnet og Lømsen. Lømsen og Skjeggstadvatnet har to krans-algearter hver seg.

Av de totalt 34 artene funnet i de 8 innsjøene, så er 22 sensitive til eutrofiering, 5 tolerante og 7 indifferente (Direktoratsgruppen, 2013). Siden utvalget av innsjøer til basis-overvåkingen domineres av næringsfattige referanse-innsjøer er en dominans av sensitive arter et nokså naturlig resultat.

## 5.3. Tilstandsklassifisering

### 5.3.1. TIC, økologisk tilstand, EQR og nEQR

Tabell 2.1. viser beregnet TIC, samt fastsettelse av økologisk tilstand med tilhørende EQR- og nEQR-verdier for vannplantene i basisovervåkningsinnsjøene.

Tabell 2.1. TIC og økologisk tilstand i absolutt-verdier, EQR og nEQR for den enkelte innsjø. Sens. art = antall sensitive arter, toler. art = antall tolerante arter, tot. antall = totalt antall arter i innsjøen. Ref.verdi = referanseverdi.

INNSJØ	INNSJØ-TYPE	SENS. ARTER	TOLER. ARTER	TOT. ANTALL	TIC	ØKOLOGISK TILSTAND	REF. VERDI	EQR	nEQR
Bjorvatn	102	7	0	10	70,0	God	78	0,96	0,8
Holvatnet	002	10	0	12	83,33	Svært god	78	1,03	1,0
Laugen	202	11	2	19	47,36	God	69	0,87	0,69
Liavatnet	301	2	4	10	-20	Dårlig	75	0,46	0,28
Lømsen	202	7	3	17	23,53	Moderat	69	0,73	0,55
Skjeggstadvatnet	201	10	0	12	83,33	Svært god	74	1,05	1,0
Songsjøen	101	9	0	12	75	Svært god/God	79	0,98	0,8
Store Høysjøen	102	12	0	16	75	Svært god	78	0,98	0,9

## Økologisk tilstand

Fire innsjøer (Holvatnet, Skjegstadvatnet, Songsjøen og Store Høysjøen) oppnår svært god tilstand. Songsjøen har imidlertid en TIC på 75 som representerer overgangen mellom svært god og god tilstand slik at denne innsjøen «vipper» mellom disse to kategoriene. Tidligere undersøkelser viser at innsjøen i 2009 ble klassifisert til god og i 2011 til svært god (Schartau, et al., 2011; Schartau, Haande, Skjelbred, et al., 2012). Laugen og Bjorvatn oppnår god tilstand og ligger derfor an til å nå miljømålet om god økologisk tilstand innen 2021. For Lømsen er imidlertid resultatet mer nedslående og innsjøen oppnår kun moderat tilstand mens Liavatnet «har lavest score» av basisovervåkningsinnsjøene med tilstand dårlig, dette før forekomst av vannplanten vasspest, *Elodea canadensis*, inkluderes i vurderingen.

## EQR og nEQR

Verdiene for Holvatnet og Skjegstadvatnet er på over 1. Dette skyldes at TIC i disse to vannene overgår den fastsatte referanseverdiene som er basert på resultater fra tidligere antatte referanseinnsjøer. Ved beregning av nEQR må derfor disse verdiene nedjusteres til 1.

### 5.3.2. Drøfting av tilstandsklassifiseringen basert på TIC

På bakgrunn av at liknende innsjøtyper med lik økologisk tilstand bør ha noenlunde lik vannplanteflora (Penning, et al., 2008), er innsjøer med lik innsjøtype forsøkt sammenlignet med henblikk på økologisk tilstand. Disse innsjøene er Laugen og Lømsen med vanntype L-N-M202 og Bjorvatn og Store Høysjøen med innsjøtype L-N-M102.

I tillegg har Bjorvatn og Songsjøen en liten «tids-serie» hver fra de tre undersøkelsesårene 2009, 2011 og 2013. Resultatene fra disse tre årene vil også bli sammenlignet.

**Sammenligning av Laugen og Lømsen:** Laugen og Lømsen har begge vanntype L-N-M202, det vil si en moderat kalkrik og humøs vanntype. Beregning av økologisk tilstand satte Laugen til god tilstand mens Lømsen fikk moderat. Det bør derfor være både en viss likhet i den floristiske sammensetningen siden vannene representerer lik vanntype, samtidig bør det være en vesentlig forskjell da de har forskjellig økologisk tilstand. Siden grensen mellom god og moderat innebærer overgangssonen hvor tiltak skal iverksettes bør forskjellen være tydelig.

De to Innsjøene har mange sammenfallende arter, noe som harmonerer med at de i utgangspunktet har samme innsjøtype men artsantallet i Lømsen (17) er noe lavere enn for Laugen (19). Antall sensitive arter er høyere i Laugen (11) enn i Lømsen (7), mens for tolerante arter har Lømsen (3) noen flere arter enn Laugen (1), tabell 2.0.



Tabell 2.0. viser at det er en vesentlig forskjell på den floristiske sammensetningen i de to innsjøene med hensyn på blant annet livsform. Lømsen mangler den mer nøysomme og lysfølsomme isoetide-vegetasjonen som vokser på innsjøbunnen. Også elodeide-vegetasjonen, som ofte kan danne store «skoger» i vannmassene, forekommer med lavere artsmangfold og stort sett lavere dekning enn i Laugen. «Helsetilstanden» i Laugen er bedre med henblikk på vannplanter. Det viser blant annet forekomsten av de tre isoetide-artene samt den mangfoldige artssammensetningen av elodeidene. Selv om Laugen oppnår en god tilstand skal man holde et våkent øye med innsjøen på grunn av de store antropogene påvirkningene i og rundt innsjøen som fort kan forringe den. Når vi kommer til nymphaeidene, som har flyteblader og dermed ofte kan være mer tolerante for eutrofieringer/partikkelinnhold i vannet, har den mesotrofe Lømsen (TOT-P på 14,2 µg/l) i motsetning til den oligotrofe Laugen (TOT-P på 9,7 µg/l) flere arter og stort sett større dekning av den enkelte art. Den eneste registrerte lemniden andemat, *Lemna minor*, som godt kan tåle stor grad av eutrofiering med sin flytende livsform på vannoverflaten, finnes også kun i Lømsen. I dette tilfellet forsterker det beregningen om at Lømsen er mer «belastet» enn Laugen og derfor rettferdiggjør en dårligere tilstandsklassifisering. Angående kransalgene så er de kun registrert i Lømsen. Disse artene er sensitive i forhold til TOT-P og dermed eutrofiering. De ble hovedsakelig funnet i et beitet område på innsiden av det kraftige helofyttbelte av takrør, *Phragmites australis*, og sjøsvaks, *Schoenoplectus lacustris*, hvor det så ut til å være en nisje med klarere vann på grunne områder. Lømsen er ansett til å være en kalksjø hvor flere kransalge-arter er registrert tidligere, men Laugen ligger ikke lang unna med sommerens gjennomsnitt på 16,8 mg Ca/l.

**Sammenligning av Bjorvatn og Store Høysjøen:** Bjorvatn og Store Høysjøen har samme innsjøtype, L-N-M102, men for Bjorvatn er tilstanden god (på grensen mot svært god) og for Store Høysjøen svært god. Det betyr at den floristiske sammensetningen i Høysjøen bør være noe bedre enn for Bjorvatn jamfør Penning (2008).

Når vi ser på antall arter har store Høysjøen et betraktelig større antall arter i forhold til Bjorvatn på 16 mot 7 arter. Her må det imidlertid tilføyes at Store Høysjøen har et langt større innsjøareal på 0,99 km<sup>2</sup> i forhold til Bjorvatn på 0,52 km<sup>2</sup>. Dette kan innvirke på at Store Høysjøen kommer ut med et større antall arter. Som tidligere nevnt har Rørslett(1991) og mange andre påpekt at større innsjøareal ofte gir et større artsantall. Den sørligste viken av Bjorvatn ble heller ikke registrert for vannplanter slik at det teoretisk sett kan ha vært en art eller to mer der. Uansett vil artsantallet være mindre i Bjorvatn enn i store Høysjøen. Antall sensitive arter er også større i Høysjøen (12) mot 7 i Bjorvatn, tabell 2.0. og tabell 2.1. Alle artene funnet i Bjorvatn med unntak av stivt brasmegras, *Isoetes Lacustris*, er til stede i Store Høysjøen. Begge innsjøene har et forholdsvis høyt antall isoetider mens elodeidene er svært sparsommelig representert i Bjorvatn i forhold til Store Høysjøen med fem

færre arter. I 2009 ble for øvrig elodeidene gytjebærerrot, *Utricularia intermedia*, og Småblærerrot, *Utricularia minor*, registrert. Disse elodeidene er ikke funnet i Store Høysjøen. Vedrørende nymphaeide-artene så er de sammenfallende med omtrent lik dekning totalt sett. Begge innsjøene mangler lemnider og kransalger, noe som vanligvis heller ikke forekommer i en naturlig innsjø av denne typen, med unntak av enkelte nøysomme kransalger. Den floristiske sammensetningen i de to innsjøene blir derfor forholdsvis lik, men med et større artsmangfold og forekomst av sensitive arter og vekstformen elodeider i Store Høysjøen. Ingen av innsjøene har tolerante arter i forhold til Eutrofiering, noe de i utgangspunktet kanskje heller ikke bør ha særlig mange av for å tilfredsstille en god til svært god økologisk tilstand.

**Bjorvatn fra svært god til god tilstand:** Bjorvatn har gått fra svært god økologisk tilstand i 2009 til god økologisk tilstand i 2011 og 2013, tabell 2.2. I 2009 var det totale artsantallet 11, mot 10 i 2011 og 2013. Artssammensetningen er stort sett den samme, men blærerrot-artene, *Utricularia spp*, som ble observert i 2009 og 2011 ble ikke gjenfunnet i 2013. Klovasshår, *Callitriche hamulata*, var for øvrig ny i 2013. Det er noen endringer i angivelse av mengde, noe Tlc-indeksen ikke umiddelbart fanger opp. Flere arter viser en økt dekningsgrad, fra 2011 til 2013. Antall sensitive arter har gått fra 11 i 2009 til 10 i de to påfølgende undersøkelsene. Siden vannet har en Tlc-verdi som befinner seg helt i «grenseland» mellom de to tilstandsklassene god og svært god, gjør forskjellen i denne ene sensitive arten utslag på resultatet med en Tlc på 72,2 (svært god) i 2009 mot Tlc på 70,0 (god) i 2011 og 2013. Klassegrensen mellom god og svært god tilstand ligger på Tlc = 71,0.

**Tabell 2.2. Artslister med dekningsgrad for Bjorvatn i 2009, 2011 og 2013. Arter merket med lys blå er sensitive overfor eutrofiering. Arter på hvit bakgrunn er indifferente. Kilde: (Schartau, et al., 2011; Schartau, Haande, Skjelbred, et al., 2012) samt årets målinger.**

ART		2009	2011	2013
<b>ISOETIDER</b>				
Mykt brasmegras	Isoetes echinospora	2	2	3
Stivt brasmegras	Isoetes lacustris	2	2	2
Botngras	Lobelia dortmanna	4	4	5
Evjesoleie	Ranunculus reptans	1	2	2
<b>ELODEIDER</b>				
Klovasshår	Callitriche hamulata			1
Krypsiv	Juncus bulbosus	2	3	3
Gytjebærerrot	Utricularia intermedia	1-2		
Småblærerrot	Utricularia minor	1-2	1	
<b>NYMPHAEIDER</b>				
Gul nøkkerose	Nuphar lutea	2-3	3	5
Hvit nøkkerose	Nymphaea alba coll.	2-3	2	3
Vanlig tjønnaks	Potamogeton natans	2	2	1
Flotgras	Sparganium angustifolium	2	2	2
Totalt antall arter		11	10	10
Tlc		72,2	70	70

Schartau (2011) antyder at Bjorvatn er svakt forsuret slik at en tilstandsklassifisering av vannplanter muligens kunne vært fokusert på påvirkningen forsurening fremfor eller i tillegg til påvirkningen av eutrofiering.

### **Songsjøen 2009, 2011 og 2013:**

Vanntype for 2009 og 2011 er satt til L-N5 og samsvarer med målingene for 2013, det vil si L-M-101 for vannplanter, kalkfattig klar (Schartau, et al., 2011; Schartau & Skjelbred, et al., 2012) samt Solheim, 2014 (in prep.).

Tlc på 76,92 i 2009 og 78,57 i 2011 gav svært god økologisk tilstand de to første undersøkelsesårene. Resultatet fra årets registrering med en Tlc på 75,0 er akkurat på grensa mellom svært og god tilstand.

Om vi tar utgangspunkt i det «beste året» i forhold til økologisk tilstand, det vil si i 2011, så har dette året det største artsantallet (14) med flest sensitive arter (11), tabell 2.3. Også antall isoetider er størst dette året med to fler enn de to andre årene. 2009 har 1 mindre sensitiv art og en art mindre art totalt sett enn 2011. Elodeide-vegetasjonen er imidlertid mest rikholdig i 2009 med en art mer enn de to andre årene. For 2013 hvor vanntypen tenderer ned mot god tilstand er artsantallet det laveste av de tre undersøkelsesårene med 12 arter totalt sett og ni sensitive. Blant isoetidene ble stivt brasmegrass, *Isoetes lacustris*, og sylblad, *Subularia aquatica*, ikke gjenfunnet i 2013. Tjønngress, *Littorella uniflora*, hadde en liten nedgang fra de første to årene til 2013, mens Gytjeblererot, *Utricularia intermedia*, ble registrert med en noe større dekning i 2013. Alle tre årene angir en dominans av botnegress, *Lobelia dortmanna*, i hele innsjøen og stedvis/lokal dominans av krypsiv, *Juncus bulbosus*.

De beregnede Tlc verdiene for Songsjøen antyder «robustheten» eller graden av variasjon som finnes innenfor en klassegrense.

Tabell 2.3. Arts- og mengdefordelinger av vannplanter registrert i Songsjøen i 2009, 2011 og 2013. Lys blå: sensitive arter i forhold til eutrofiering. Mørk blå: tolerante og hvit: indifferente.

Norske navn	Latinske navn	2009	2011	2013
Undersøkt dato				29.7
ISOETIDER				
Mykt brasmegras	Isoetes echinospora		2	2
Stivt brasmegras	Isoetes lacustris	3	3	
Tjønngras	Litorella uniflora	1-2	2	1
Botnegras	Lobelia dort manna	4-5	5	5
Evjesoleie	Ranunculus reptans	1-2	1	1
Sylblad	Subularia aquatica		1	
ELODEIDER				
Klovasshår	Callitriche hamulata	2-3	2	2
Krypsiv	Juncus bulbosus	4-5	4	4
Tusenblad	Myriophyllum Alterniflorum	3	3	3
Gytjeblåererot	Utricularia intermedia	2	2	3
Mellomblåererot	Utricularia ochroleuca	2-3		
Storblåererot	Utricularia vulgaris	2-3	2	2
NYMPHAEIDER				
Soleinøkkerose	Nuphar pumila			
Hvit nøkkerose	Nymphaea alba coll	2	2	2
Vanlig tjønnaks	Potamogeton natans	2	2	2
Flotgras	Sparganium angustifolium		2	2
Fjellpiggeknoopp	Sparganium cf hyperboreum	2-3		
Antall sensitive arter		10	11	9
Antall tolerante arter		0	0	0
Totalt antall arter		13	14	12
TIC		76,92	78,57	75

Variasjonen i artsantall mellom de tre undersøkelses-årene kan henge sammen med naturlige variasjoner fra år til år, variasjoner i tid brukt til registreringene, variasjoner i hvilke deler av innsjøen som ble undersøkt fra år til år, erfaringer med mer (Om det var Marit Mjelde og Hanne Edvardsen som undersøkte innsjøen i 2011 og 2012 så har jo de samlet mer erfaring enn Hanne og Chaina).

Det er imidlertid interessant å observere endringene av stivt brasmegras da denne arten var vanlig forekommende i 2009 og 2011 men ikke tilstedeværende i 2013. Stivt brasmegras er følsom for vannstandsreguleringer (Lindstrøm, 2004; Mjelde, M., et al., 2012). Innsjøen, Våvatnet, oppstrøms Songsjøen er regulert. Utløpseva fra Songsjøen er klassifisert til moderat forsura i følge basisundersøkelsen i 2011 (Schartau & Skjelbred, et al., 2012). Det kan derfor være mulig at andre påvirkninger enn eutrofiering, gjenspeilt i TIC, har en innvirkning på vannplantefloraen i denne innsjøen og burde vært undersøkt for å få en mer korrekt tilstandsklassifisering i forhold til vannplanter.

**Sluttkommentar:** Det er bemerkelsesverdig å notere seg at Liavatnet og Lømsen, de to innsjøene som ikke oppnår miljømålet om god økologisk tilstand i forhold til vannplanter, er de to eneste innsjøene hvor isoetide-vegetasjon ikke er registrert. Isoetidene har en tendens til å forsvinne ved økende grad av eutrofiering da blant annet lystilgangen blir svekket.

### 5.3.3. Sammenligning av TIC, Ellenberg, klorofyll a og fysisk- kjemiske støtteparametere for eutrofiering

Resultatet for samtlige parametere vises i tabell 2.4.

Tabell 2.4. Tilstandsklassifisering av aktuelle eutrofi-parametere i basisovervåkningsinnsjøene.\* Tlc for Songsjøen ligger akkurat på grensen mellom Svært god og god tilstand og kunne derfor vært grønn. \*\* Økologisk tilstand for Lømsen ligger 0,13 µg/l unna klassegrensen for god/moderat tilstand og kunne vært markert som grønn.

«SAMPLE UNIT»	INNSJØ-TYPE	FARGE mg Pt	TOC	ELLENBERG (WA)	Tlc	TOT-P µg/l	TOT-N µg/l	SIKTE-DYP (m)	Kla µg/l
Bjorvatn	7/L-N3	64,54	7,4	2,89	70,0	6,5	355,8	2,5	4,72
Holvatnet	14/L-N6	56,43	5,6	2,44	83,33	7,0	292,5	3,3	0,81
Laugen	9/LN8	38,07	5,6	3,98	47,36	9,7	767,5	2,8	5,0
Liavatnet	10/L-N1	22,9	6,1	4,79	-20	17,3	746,7	2,7	12,15
Lømsen	9/L-N8	34,77	7,15	4,38	23,53	14,2	454,2	2,7	10,63**
Skjegstadvatnet	8/L-N1	7,85	2,7	3,14	83,33	5,7	270,0	8,6	1,57
Songsjøen	16/L-N5	26,45	3,14	2,59	75*	6,3	227,5	4,8	1,18
Store Høysjøen	17/L-N6	74	7,6	2,95	75	8,8	334,2	2,3	1,09

nEQR er ikke beregnet for disse parameterne så en sammenligning baserer seg derfor kun på tilstandsklassifiseringen basert på absolutt verdier. I tillegg er ikke økologisk tilstand for Ellenberg fastsatt i forhold til vanntype da opplysninger om klassegrenser i forhold til vanntype ikke foreligger i denne oppgaven.

#### Ellenberg:

Lave Ellenberg-verdier ser ut til å samsvare med verdiene av TOT-P som også befinner seg i nedre «endre ende av skalaen» med at seks av innsjøene er oligotrofe (TOT-P < 10 µg P/l) og ingen av innsjøene har over 20 µg P/l.

Dersom Ellenberg-verdiene kan sammenlignes direkte med Tlc, kan vi se en sammenfallende trend med Tlc hvor innsjøene kategorisert som svært god og god i følge Tlc har lavere Ellenberg-verdier mens Lømsen (moderat tilstand) og Liavatnet (dårlig tilstand) har de høyeste Ellenberg/TOT-N-verdiene. Liavatnet, med høyest konsentrasjon av fosfor (17,3 µg/l) får den høyeste Ellenberg-verdien på 4,79. Også TOT-N i vannmassene er blant de høyeste på 747,6 µg/l for Liavatnet. Kun

Laugen har høyere verdi. Verdien av TOT-N i vannmassene kan imidlertid variere mye da de inngår i biologiske prosesser. Det er bemerkelsesverdig å observere at samtlige parametere faller dårlig ut for Liavatnet, noe som støtter fastsettelsen av Liavatnet til i alle fall ikke noe bedre enn moderat tilstand.

Holvatnet etterfulgt av Songsjøen har lavest Ellenberg score og er tildelt svært god tilstand med henblikk på Tic. Dernest er det en miks mellom svært gode og gode innsjøer i forhold til Tic og Ellenberg verdiene. Grenselinjene mellom svært god og god økologisk tilstand er for øvrig heller ikke så klar som grensen mellom god og moderat da det er jobbet mye mer på å definere den sistnevnte grenselinjen siden den har konsekvenser for iverksetting av tiltak (Mjelde, M., pers. med.).

Kolada et al. (2011) bekrefter at den Norske Ellenberg-indeksen blir bedre for Norge ved inkludering av helofyttene, men siden data for helofyttene ikke foreligger, er alle Ellenberg-verdiene basert på kun vannplanter

**TOT-P:** De fleste innsjøene oppnår svært god tilstand med henblikk på totalt fosfor. Kun Liavatnet (moderat), Lømsen (god) og Songsjøen (god) faller dårligere ut.

**TOT-N:** Resultatet vises i tabell 4.6. Alle innsjøene med unntak av Laugen (god) og Liavatnet (moderat) oppnår svært god tilstand med henblikk på total nitrogen.

### **Siktedyp**

Resultatet, tabell 4.6. viser såpass «nedslående» verdier at et eller annet med beregningen ser ut til å være beheftet med feil. Antakelig er det noe med inkludering av humuskorrigeringsfaktor, som medfører at tilstanden for blant annet Store Høysjøen blir for lavt. Resultatet vil derfor ikke tillegges mye vekt. Også Anne Lyche Solheim påpeker at siktedypet har en tendens til å gi for dårlige verdier, særlig i innsjøer med svært høyt humusinnhold (Lyche Solheim, A., pers. med.)

### **Klorofyll a**

Konsentrasjonen av klorofyll a for Lømsen ligger 0,13 µg fra grenseverdien god/moderat klasse slik at god tilstand kunne vært et aktuelt resultat. Alle innsjøene med unntak av Liavatnet (moderat) og Lømsen (moderat) oppnår svært god tilstand med henblikk på klorofyll a.

### **Sammenstilling av parameterne**

Det ser ut til å være et visst samsvar mellom de ulike parameterne, med unntak av siktedyp som skulle vært humuskorrigert.

## 5.4. Sammenligning av fysisk-kjemiske data og vannplantedata

### 5.4.1. Korrelasjonsanalyse av fysisk-kjemiske variable

Analysen, vedlegg 5, viser en svært høy korrelasjon mellom de fire miljø-variablene alkalinitet, pH, Konduktivitet og klorofyll a med verdier på Pearson korrelasjons-koeffisient fra  $r = 0,99$  til  $r = 0,95$  og alle med en høyst signifikant korrelasjon,  $p < 0,001$ . Også de to næringsstoffene TOT-N og  $\text{PO}_4^{3-}$  har høy korrelasjon ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,001$ ). Det samme gjelder de to parameterne som kan beskrive partikkelinnholdet i vann, farge og turbiditet ( $r = 0,995$ ,  $p < 0,001$ ). Turbiditet og farge viste seg hver for seg å ha en høy, signifikant korrelasjon med  $\text{PO}_4^{3-}$  og TOT-N. TOC og Ca har også en høy korrelasjon på ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,001$ ). Disse sistnevnte variablene ansees forøvrig ikke som naturlig å se under ett da de ut fra en vannkjemisk vurdering vanligvis ikke har en sterk korrelasjon.

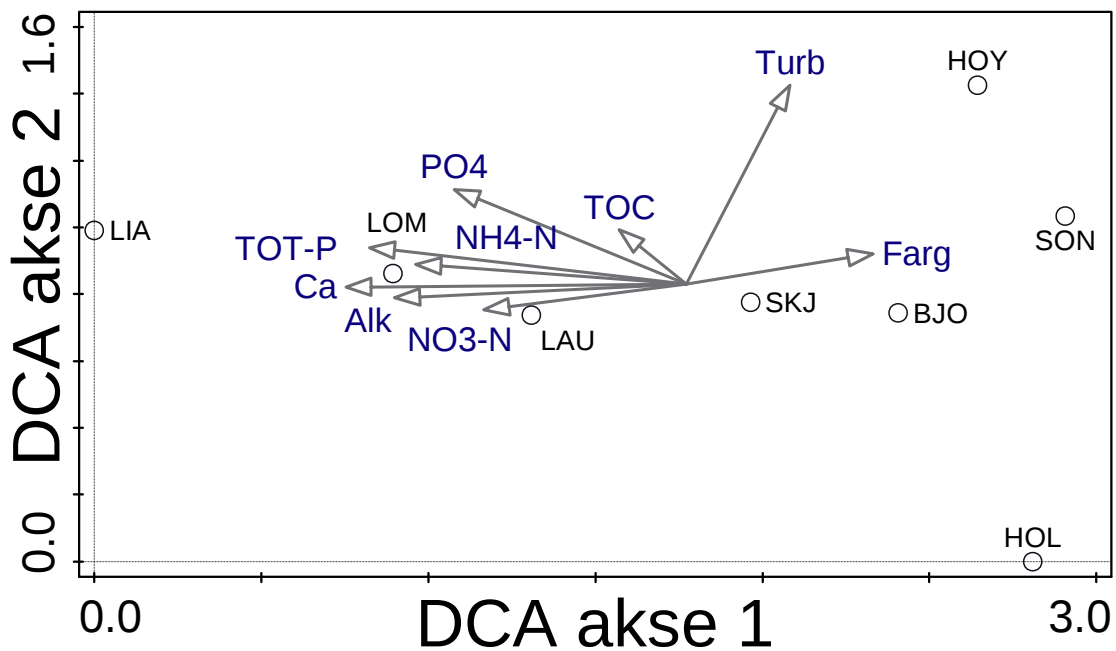
**Utvelgelse av alkalinitet:** Høyt korrelasjon mellom parameterne alkalinitet, pH, klorofyll a og konduktivitet sammen med en «logisk sammenheng» gjør det mulig å velge ut parameteren med høyest forklaringsverdi i den videre analysen for kjøring av PCA og DCA. «Den logiske sammenhengen» mellom pH og alkalinitet er at mengden bikarbonat har en direkte virkning på pH. Den sterke korrelasjonen mellom klorofyll a og pH antas å være forårsaket av sammenhengen mellom intensiteten av fotosyntesen og pH, hvor høy fotosyntese forårsaker økte verdier av pH. Høy korrelasjon mellom konduktivitet og pH antas å henge sammen med at et høyere ioneinnhold i vannene ofte henger sammen med høyere pH. Også høy korrelasjon mellom konduktivitet og alkalinitet ( $r=0,95$ ,  $p = 0,000$ ) antas å henge sammen med at høyere ledningsevne/konduktivitet forklares med høyere ioneinnhold generelt, inkludert bikarbonat-ionene som benyttes til å fastsette alkaliteten.

Av de fire korrulerende komponentene pH, konduktivitet, alkalinitet og Klorofyll a kan vi se av PCA - analysen at alkalinitet har høyest score (0,435) og dermed forklarer mest av variasjonen blant innsjøene, tabell 3.3. Alkalinitet velges derfor ut for videre analyse.

**Utvelgelse av  $\text{PO}_4^{3-}$ :** De to næringsstoffene TOT-N og  $\text{PO}_4^{3-}$  har en sterk korrelasjon ( $r = 0,99$  og  $p = 0,000$ ). Siden  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,33) har en noe høyere forklaringsverdi enn TOT-N (0,325) i PCA-analysen og det kan være en «logisk sammenheng» mellom dem, med økte konsentrasjoner for begge ved økende næringsstoffanrikning, velges fosfat ut for videre analyse.

Den videre analysen kunne vært forenklet enda mer ved blant annet å «slå sammen» turbiditet (uorganiske partikler) og farge (humus) som korrelerer sterkt ( $r = 0,96$ ,  $p < 0,001$ ) og som begge bidrar til å redusere lysgjennomtrengeligheten i vann. Men, siden en tidlig kjøring av DCA viste at disse pilene pekte i svært forskjellige retninger ble begge beholdt i den videre analysen

### 5.4.2. DCA



Figur 3.5. DCA Biplot. Sammenhengen mellom innsjøene med hensyn til vannkjemi basert på registrerte arter.

De miljøvariablene som har lengst vektor parallell med DCA akse 1 er de som forklarer variasjonen mellom innsjøene med henblikk på vannplanter og forekomsten av de enkelte artene best. Figur 3.5. antyder at kalsium, tett etterfulgt av TOT-P, alkalinitet (inkluderer også pH, Kla og konduktivitet) samt næringsstoffene  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (inkludert TOT-N) og  $\text{NO}_3^-$  er de parameterne som har høyest forklaringsverdi. TOC inngår i denne gruppen dog enn med en noe svakere korrelasjon og er antakelig ikke signifikant. Også farge er en sentral parameter. Denne parameteren er positivt korrelert med DCA-akse 1 i motsetning til de øvrige. Turbiditet er i dette tilfellet mest parallell med DCA-akse 2 og kan da anses som den sekundært viktigste parameteren etter de foran opplistede variablene.

Biplotet viser en tydelig næringsgradient langs DCA akse 1 hvor konsentrasjonen av næringsstoffene øker til venstre i diagrammet (De er negativt korrelert med DCA-akse 1). Også pH, alkalinitet og ledningsevne øker mot venstre. Farge øker mot høyre.

I tillegg til å «avsløre» hvilke vannkjemiske parametere som forklarer forekomsten av vannplanter i basisovervåkningsinnsjøene best, viser biplotet hvordan innsjøene fordeler seg med hensyn til vannkjemi basert på artene som er registrert. Innsjøene med den mest næringskrevende vannvegetasjonen, eller med de vannplantene som kan tolerere høyest konsentrasjoner av næringsstoffer, pH, alkalinitet, konduktivitet og klorofyll a innenfor den skalaen vannplantedataen opererer på, ligger lengst til venstre i diagrammet. Liavatnet, Lømsen og Laugen peker seg ut i dette henseende.

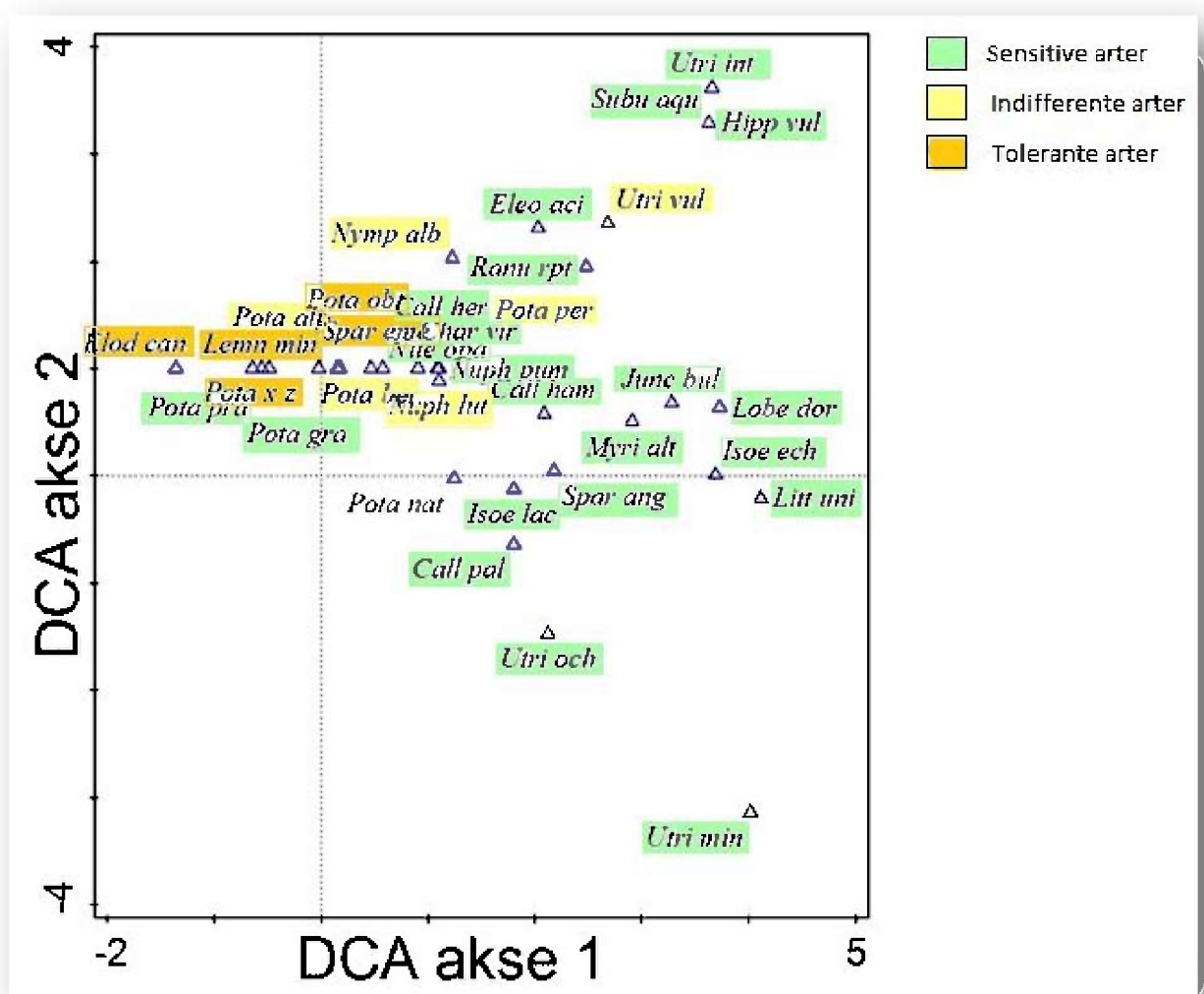


De mer næringsfattige innsjøene, med den minst krevende vannplantefloraen i forhold til forannevnte parametere får en plassering lengst til høyre i diagrammet. Songsjøen, Holvatnet, Store Høysjøen og Bjorvatn ligger «nederst på næringskalaen. Den noe mer kalkrike Skjegstadvatnet kommer litt høyere på «nærings-skalaen» enn de mest næringsfattige innsjøene.

Fargen antyder en økning mot høyre i biplottet, men det er mulig at farge og turbiditet ikke er signifikante, noe vi har for lite datagrunnlag for å få testet.

DCA biplottet antyder betydningen av å benytte kalsium og alkalinitet til å fastsette vanntyper med henblikk på vannplanter i Norge siden de ser ut til å være viktige prediktorer for forekomsten av vannplanter. I tillegg anvendes farge og TOC. Farge ser ut til å ha stor forklaringsverdi i følge biplottet, men TOC ser ut til å være av mindre betydning for de åtte aktuelle innsjøene. Et større utvalg innsjøer ville kunne vise et annet og mer signifikant resultat. Det er imidlertid spennende å se at TOT-P i vår analyse «seiler opp som en god nummer en» til å forklare vannplantenes variasjon mellom innsjøene, når vi ser bort fra de parameterne som allerede anvendes til å inndele innsjøene i typer etter forekomst av vannplanter. TOT-P er den vannkjemiske parameteren som er benyttet til å utvikle TIC-indeksen og biplottet antyder at dette er «et godt valg». Siden pH, klorofyll a og konduktivitet har en sterk korrelasjon med alkalinitet er også disse parameterne av sentral verdi for å forklare forekomsten av vannplantene. Antakelig vil de samme artene som er signifikante med kalsium i dette tilfellet også være signifikante med fosfor på tilsvarende vis da vektorene for kalsium og TOT-P er såpass korrelert i biplottet.

## DCA Scatterplot



Figur 3.6. DCA Scatterplot. Fordeling av vannplante-artene etter DCA akse 1 og DCA akse 2.

Artenes plassering i scatterplottet angir hvilke miljøfaktorer de er assosiert til, figur 3.6. De ulike artene viser forskjellig preferanse i forhold til forskjellige miljøparametere og fordeler seg derfor utover i diagrammet avhengig av den enkelte miljøparameteren. Biplottet antydnet en næringsgradient langs DCA akse 1 med økende konsentrasjon av næringsstoffer (TOT-P, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> og TOT-N), kalsium, alkalinitet, konduktivitet, pH og K<sub>la</sub> til venstre i diagrammet. Scatterplottet antyder derfor en gruppering av de mer næringskrevende artene (orange farge) i forhold til eutrofiering til venstre i diagrammet og de mer nøysomme artene, spesielt isoetidene, lengst til høyre i diagrammet (grønn farge). De indifferente artene antyder en «posisjonering» nærmere midten av diagrammet samt noe opp mot høyre hjørne (gul farge). En lokalisering mer mot midten

antyder vide preferanser i forhold til de oppgitte parameterne, noe som stemmer godt overens med at artene er indifferente. I følge DCA-biplotet, er det spesielt turbiditet som forklarer en utbredelse opp mot høyre hjørne i diagrammet, men det stilles spørsmålsteget om det er for lite variasjonsbredde i denne parameteren til at den kan vektlegges i noen særlig grad (Laveste verdi for Turb860 er 0,81 FNU i Skjegstadvatnet og høyeste verdi er på 2,67 FNU i Store Høysjøen, det vil si en svært begrenset skala).

#### 4.4.3. GLM

Siden kalsium viste seg å ha sterkest forklaringsgrad i Biplotet for DCA-analysen, ble lineær analyse anvendt for å avdekke signifikante sammenhenger mellom vannplanter og kalsium. Da biplotet antyder en sterk korrelasjon mellom kalsium, TOT-P og alkalinitet vil resultatet også avdekke om det er noen signifikant sammenheng mellom vannplanter og TOT-P og alkalinitet i tillegg.

Kjøring av normalfordelte data i General Linear Model, GLM-modellen viser at følgende arter har et høyest signifikant ( $p < 0,001$ ) og signifikant ( $p < 0,05$ ) sammenheng til Ca- og TOT-P konsentrasjonen i vannet samt til alkaliteten (herunder inkludert pH, konduktiviteten og klorofyll a ):

Mykt brasmegras, *Isoetes echinospora*  $R^2 = 86 \%$  (F= 0,057,  $p < 0,001$ )

Botnegras, *Lobelia dortmanna*  $R^2 = 75,9 \%$  (F= 0,057,  $p = 0,005$ )

Krypsiv, *Juncus bulbosus*  $R^2 = 84,6 \%$  (F=32,9,  $p = 0,001$ )

Disse tre artene, med sin plassering lengst til venstre i DCA-scatterplottet har en signifikant sammenheng med de foran nevnte kjemiske parameterne. Den lineære sammenhengen er slik at artsantallet avtar med stigende konsentrasjoner av de nevnte parameterne. Modellen antyder at de kjemiske parameterne (Ca, TOT-P og alkalitet) forklarer 86 % av forekomsten til Mykt brasmegras, 75,9 % av forekomsten til botnegras og 84,6 % av forekomsten til krypsiv.

#### 4.4.4. Drøfting av DCA

På grunn av for mange miljøvariable og for få innsjøer er materialet for lite til å kunne kjøre noe særlig statistikk eller komme med noen «store konklusjoner». Mer data og flere innsjøer med artsbeskrivelser ville kunne muliggjøre kjøring av mer avanserte arts-responsmodeller hvor man vil kunne se en gradvis økning og avtak i mengden av den enkelte vannplanteart i forhold til den enkelte kjemiske variabel. En ville da raskt kunne avsløre nisjearter og generalister. Da forekomsten av arten langs miljøparameteren vil fremstå.

For å svare på problemstillingen om vannplanter egner seg godt for fastsettelse av vannkvalitet så er ikke vår DCA så god siden de vannkjemiske parameterne er så sammenfallende, men det er en

antydning til at Ca, alkalinitet og farge er viktige parametere til å klassifisere innsjøer etter floristisk innhold. Innsjøer med høyt kalsiuminnhold er «overrepresentert» i dette lille utvalget i forhold til landsgjennomsnittet. Et større utvalg samt inkorporering av flere næringsfattige lokaliteter vil kunne skape større spredning på miljøparameterne i DCA-analysen slik at det blir lettere å avsløre signifikante sammenhenger mellom artssammensetning og kjemiske forhold i vannene.

En sammenligning med ordinasjonsdiagrammet (bilde 10) i Øklands bok fra 1999 og DCA-analysen fra basisovervåkningsinnsjøene bekrefter at kalsium og alkalinitet er sentrale kjemiske parametere til å beskrive forekomsten av ulike vannplantearter. Også TOT-P, Kla-a og TOT-N er sentrale. Begge diagrammene har en tendens til gruppering av isoetider der forholdene er mer næringsfattige mens for eksempel *Andemat*, *L. minor*, og *Vasspest*, *E. canadensis*, finnes høyere på fosforgradienten slik resultatet fra DCA også antyder.

Tlc har ikke inkludert mengdeaspektet i beregningen av økologisk tilstand slik kravene til vanddirektivets kapittel V tilsier. DCA inkluderer imidlertid mengdeaspektet. Det sammenfallende mellom Tlc og DCA henger antakelig sammen med at trofi-indeksen er basert på artenes følsomhet overfor TOT-P, noe som gjenspeiles i den økende næringsgradienten i PCA-analysen. Det stilles derfor spørsmålsteget om ikke mengdeaspektet indirekte er tatt hensyn til ved at fosforgradienten er innbakt i Tlc.

## 6.0. KONKLUSJON

Riktig typifisering av avgjørende for videre tilstandsklassifisering. I en del tilfeller byr fastsettelse av vanntype by på utfordringer som når kalsium og alkalinitet eller humus og TOC ikke går inn under sammenfallende gruppe. Dette gjelder blant annet for Holvatnet hvor kalsiuminnholdet tilsvarer en svært kalkfattig innsjø mens alkaliteten så vidt kommer innenfor kalkfattig, noe som gjorde at innsjøen ble fastsatt til en svært kalkfattig lokalitet. For Liavatnet tilsvarer fargen en klar innsjø mens TOC ligger like innenfor gruppen humøse innsjøer. Siden farge-verdien er såpass lav ble Liavatnet satt til en klar innsjø.

Noen innsjøer avviker i forhold til tidligere typifisering. Disse er Holvatnet, Laugen, Liavatnet og Store Høysjøen. Holvatnet er i 2013 fastsatt til svært kalkfattig og humøs mens den i følge Schartau (2009) er kalkfattig og klar. Laugen fikk vanntype L-N8, moderat kalkrik og klar i 2013 mens Schartau (2009) har satt den til svært kalkfattig klar. Liavatnet er i følge årets prøvetakninger tildelt innsjøtype kalkrik, klar og avviker dermed fra vanntypen i følge Schartau (2009) og vann-nett.no<sub>D</sub> som har satt innsjøen til kalkrik, humøs. Store Høysjøen ble typifisert til L-N6, kalkfattig og humøs. Tidligere har Schartau (2009) fastsatt denne til L-N6, kalkfattig og svært klar.

PCA analyse av de vannkjemiske parameterne viste at fosfat, TOT-N, alkalinitet forklarte variasjonen i de åtte innsjøene best. Dette avviker fra «normalen» hvor blant annet TOT-P og kalsium/alkalinitet og farge/TOC vanligvis har en høy forklaringsverdi og derfor brukes til å definere innsjøtyper. Avviket henger antakelig sammen med lite utvalg og at de åtte innsjøene ikke danner et representativt bilde av landsgjennomsnittet ved at flere av dem ligger i mer næringsrike og kalkrike områder enn hva som ellers er vanlig.

Totalt 34 arter fordelt på 8 innsjøer med et snitt på 13,5 arter (maks 19, min 10) per innsjø representerer det høyeste snittet blant basisovervåkningsundersøkelsene til nå. 22 sensitive og 5 tolerante arter ble funnet, noe som kan gjenspeile et innsjøutvalg basert på 5 antatte referanse-innsjøer og kun 3 eutrofe innsjøer.

Det viste seg at ingen av innsjøene hadde over 20 µg P/l og alle befinner seg derfor i øvre enden av trofiskalaen.

Holvatnet, Skjegstadvatnet og Store Høysjøen oppnår alle god tilstand med henblikk på vannplanter i forhold til påvirkningen eutrofiering. Songsjøen ligger akkurat på grenseverdien mellom svært god og god tilstand. Bjorvatn og Laugen har god tilstand og kommer i likhet med de forannevnte innsjøene innenfor kravet om god økologisk tilstand innen 2021. Laugen er imidlertid sårbar på grunn av stor antropogen aktivitet i nedbørsfeltet med ekstensivt landbruk og tettbebyggelse og bør antakelig

følges nøye opp for å unngå en forverring av tilstand. Lømsen med moderat tilstand og Liavatnet med dårlig tilstand oppnår imidlertid ikke miljømålene og det bør derfor sees på tiltak for å forbedre vannkvaliteten i disse vannene.

Sammenligning av Laugen (god tilstand) og Lømsen (moderat tilstand) med lik vanntype avslørte mange sammenfallende arter men også betydelige forskjeller i vannplantefloraen med henblikk på livsform. Lømsen hadde litt færre arter totalt sett med flere tolerante og færre sensitive arter i forhold til eutrofiering enn Laugen. Med henblikk på livsform var isoetidene fraværende i Lømsen. Dette vannet hadde også færre elodeide-arter enn Laugen mens nymphaeidene med sine flyteblader dominerte i antall og dekning. I tillegg hadde Lømsen en Lemnide og to nøysomme kransalger. Det er i dette tilfellet et tydelig skille mellom god og moderat tilstand som støtter opp om klassifiseringen i forhold til Tlc.

Avgrensningen mellom svært god og god tilstand virker imidlertid noe mer usikker. Et eksempel er Bjorvatn hvor tilstedeværelse/fravær av kun en art blir avgjørende for om tilstanden er god eller svært god. Sammenligning av tilstandsklassifiseringen fra Songsjøen og også mellom Bjorvatn og Store Høysjøen indikerer imidlertid noe mer robusthet mellom god og svært god tilstand.

Grensen mellom god og svært god tilstand med henblikk på Tic ser ut til å ikke være så klar og god som grensen mellom god og moderat tilstand. Det er for øvrig den sistnevnte som er viktigst da den medfører tiltak og forbruk av økonomiske ressurser.

Det er et samsvar mellom Tlc, Ellenbergs indeksen, total fosfor, total nitrogen og klorofyll hvor blant annet samtlige parametere kommer ut med dårligst verdi/tilstandsklassifisering for Liavatnet. Alle de vannkjemiske parameterne setter Liavatnet til moderat tilstand mens Tlc har dårlig. Holvatnet, Skjegstadvatnet og Store Høysjøen kommer ut med svært god tilstand for alle parameterne med unntak av siktedyp for Høysjøen som antakelig viser for dårlig tilstand og trenger videre humuskorrigerings. Også Bjorvatn og Songsjøen kommer ut med god til svært god tilstand for alle parameterne. Alle disse førstnevnte fem innsjøene ser ut til å bikke mot svært god tilstand med unntak av TOT-P for Songsjøen og litt merkelige siktedypsresultater som ikke bør tillegges for mye vekt. Disse fem innsjøene har også de laveste Ellenberg-verdiene. Det ser derfor ut til å være et godt samsvar mellom Tlc og samtlige parametere med unntak av siktedyp for disse fem første innsjøene.

Lømsen har imidlertid flere parametere, ved siden av Tlc, som indikerer at tilstanden er moderat i forhold til Eutrofiering. Dette gjelder klorofyll a og også Ellenberg-verdien som her har den nest høyeste verdien etter Liavatnet. Også TOT-P indikerer en noe lavere tilstand.

Laugen får «tredje-plass» bakfra ved sammenligning av de 6 parameterne med Tlc på god tilstand, den tredje høyeste Ellenberg-verdien, TOT-N på god tilstand.

DCA viser en næringsgradient hvor kalsium TOT-P og alkalinitet (inkludert pH, konduktivitet og klorofyll a) er de mest sentrale miljøparameterne til å forklare forekomst og utbredelse de registrerte artene. Innsjøer med en floristisk sammensetning av mer næringskrevende arter, som Liavatnet, Lømsen og Laugen er lokalisert ved høyere verdier av disse gradientene. De mer nøysomme artene forekommer ved lavere verdier av næringsgradienten i de mer oligotrofe innsjøene som Store Høysjøen, Holvatnet, Songsjøen, Bjorvatn og Skjegstadvatnet.

DCA-analysen kan benyttes til å fastsette den enkelte vannplante-arts preferanser i forhold til ulike miljøparametere som total fosfor, kalsium, humus med mer. Dette gjør det mulig å utvikle modeller hvor artenes nisjepreferanser/følsomhet i forhold til ulike miljøparameter (som for eksempel TOT-P i Tlc-indeksen) «avsløres». Slike modeller sammen med autøkologisk kunnskap, (som blant annet muliggjør inkludering av kjente indikatorarter for fastsetting av ulike tilstandsklasser), kan benyttes til å fastsette økologisk tilstand med henblikk på vannplanter. Dette betyr at vannplanter egner seg til å fastsette økologisk tilstand og dermed vannkvalitet i en innsjø.

Det ser ut til å være et samsvar mellom Tlc og DCA ved at de tolerante artene i forhold til eutrofiering grupperer seg ved høyere verdier av næringsgradienten mens de sensitive har en tendens til å gruppere seg ved lavere verdier av den samme gradienten. De indifferente artene er gruppert mer mot midten av scatterplottet, noe som er i samsvar med at de har vide toleransegrenser (større nisjepreferanser) og finnes mer «spredt overalt». Tlc har ikke inkludert mengdeaspektet i beregningen av økologisk tilstand slik kravene til Vanndirektivets kapittel V tilsier. DCA inkluderer imidlertid mengdeaspektet. Det sammenfallende resultatet kan henge sammen med at trofiindeksen er basert på artenes følsomhet overfor TOT-P, noe som gjenspeiles i den økende næringsgradienten i PCA-analysen.

## VEDLEGG 1. Oversikt over vannplanter, inkludert brakkvannarter registrert i Norge.

Navngitt etter Lid & Lid 2005. Der flere navn er oppgitt, er det det første navnet som gjelder.

Etterfølgende navn er tidligere brukte navn. Kolonnene til høyre indikerer plantenes følsomhet i forhold til påvirkningene eutrofiering (ES, ET), vannstandsendringer (VS, VT) og surhet (ST, SS, MS og ZS). ES= Sensitive, ET= tolerante overfor eutrofiering. Arter med noe usikker plassering på grunn av data fra mindre enn 4 lokaliteter er vist i parentes i tabellen, (x) i den påfølgende ista. VS = Sensitive og VT= tolerante arter over for vannstandsendringer. ST= Surhetstolerant samfunn, SS= Svakt surhetsfølsomt samfunn, MS= Moderat surhetsfølsomt samfunn og ZS=Svært surhetsfølsomt samfunn. NR= Norsk rødliste for arter 2010, angitt med kategori. Utheva arter =Truede og nært truede arter samt lokalt utrydda arter. Fremmede arter med uheldige effekter er angitt med kodene SE= Svært høy risiko og HI = Høy risiko i artsdatabanken og finnes i samme kolonne som rødlista. (Lindstrøm, 2004; Langangen, 2004a; Langangen, 2007; Lide, et al, 2005; Direktoratgruppen, 2013; Artsdatabanken.no).

Nr.	Latinske navn	Norske navn	ES	ET	VS	VT	ST	SS	MS	ZS	NR
<b>ISOETIDER (kortsukksplanter)</b>											
1	<i>Baldellia repens</i> (Lam.) Lawalrée	Soleigro									EN
2	<i>Elatine alsinastrum</i> L.	kransevjeblom									
3	<i>Elatine hexandra</i> (Lapierre) DC.	Skaftevjeblom		(x)					X		NT
4	<i>Elatine hydropiper</i> L.	Korsevjeblom	x		x				X		LC
5	<i>Elatine orthosperma</i> Düben	Nordlig evjeblom	(x)						X		LC
6	<i>Elatine triandra</i> Schkuhr	Trefelt evjeblom		x					X		NT
7	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roemer & Schultes	Nålesivaks	x			x		x			LC
8	<i>Eleocharis parvula</i> (Roemer & Schultes) Link ex Bluff, Nees & Schauer	Dvergsivaks									NT
9	<i>Isoetes echinospora</i> Durieu	Mjukt brasmegras	x				x				LC
10	<i>Isoetes lacustris</i> L.	Stivt brasmegras	x		x		x				LC
11	<i>Limosella aquatica</i> L.	Evjebrodd	x			x			X		LC
12	<i>Littorella uniflora</i> (L.) Ascherson	Tjønngras	x		x		x				LC
13	<i>Lobelia dortmanna</i> L.	Botngras	x		x		x				LC
14	<i>Lythrum portula</i> (L.) D. A. Webb	Vasskryp	x						X		VU
15	<i>Persicaria foliosa</i> (Lindb. fil.) Kitagawa	Evjeslirekne									EN
16	<i>Pilularia globulifera</i> L.	Trådbregne									EN
17	<i>Ranunculus reptans</i> L.	Evjesoleie	x			x		x			LC
18	<i>Subularia aquatica</i> L.	Sylblad	x			x	x				LC
19	<i>Tillaea aquatica</i> , <i>Crassula aquatica</i> (L.) Schönl.	Firling	x						X		VU
<b>ELODEIDER (langskuddsplanter)</b>											
			ES	ET	VS	VT	ST	SS	MS	ZS	NR
1	<i>Batrachium aquatile</i> (L.) Dumort. <i>Ranuncul. aquatilis</i>	kystvassoleie		x						x	LC
2	<i>Batrachium aquatile</i> x <i>floribundum</i>										
3	<i>Batrachium eradicatum</i> (Laest.) Fr. <i>Ran. confervoides</i>	Dvergvassoleie	x							x	LC
4	<i>Batrachium eradicatum</i> x <i>floribundum</i>										
5	<i>Batrachium floribundum</i> (Bab.) Dumort <i>Ran. peltatus</i>	Storvassoleie	x		x				X		LC





52	<b>Potamogeton trichoides Cham. &amp; Schldl.)</b>	<b>Knorttjønnaks</b>																	EN	
53	<i>Ruppia cirrhosa</i> (Petagna)Grande	Skruehavgras																	LC	
54	<i>Ruppia maritima</i> L.	Småhavgras																	LC	
55	<i>Stuckenia filiformis</i> (Pers.) Börner. Pot. filiformis	Trådtjønnaks	x															x	LC	
56	<i>Stuckenia x suecicus</i> , <i>Stuckenia filiformis x pectinata</i> . Pot. x suecicus			(x)														x		
57	<i>Stuckenia filiformis x vaginata</i>																			
58	<b><i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Potamogeton pectinatus</b>	<b>Busttjønnaks</b>		x														x	NT	
59	<b><i>Stuckenia vaginata</i> (Turcz.) Holub. Pot. vaginatus</b>	<b>Sliretjønnaks</b>	(x)																VU	
60	<b><i>Utricularia australis</i> R.Br.</b>	<b>Vrangblærerot</b>																	VU	
61	<i>Utricularia intermedia</i> Hayne	Gytjebærerot	x						x *										LC	
62	<i>Utricularia minor</i> L.	Småblærerot	x						x										LC	
63	<i>Utricularia ochroleuca</i> R.W.Hartm.	Mellomblærerot	x						x										LC	
64	<i>Utricularia stygia</i> G.Thor	Sumpblærerot																	LC	
65	<i>Utricularia vulgaris</i> L.	Storblærerot						x		x									LC	
76	<b><i>Zannichellia palustris</i> L.</b>	<b>Vasskrans</b>		(x)															EN	
77	<b><i>Zannichellia palustris ssp. Palustris</i></b>	<b>småvasskrans</b>																	EN	
78	<b><i>Zannichellia palustris ssp. polycarpa</i> (Nolte) K.Richt.</b>	<b>storvasskrans</b>																	CR	
79	<i>Zostera angustifolia</i> (Hornem.)Rchb.	Smalt ålegras																	LC	
80	<i>Zostera marina</i> L.	Ålegras																	LC	
81	<b><i>Zostera noltei</i> Hornem.</b>	<b>Dvergålegras</b>																	EN	
<b>NYMPHAEIDER (flytebladsplanter)</b>												<b>ES</b>	<b>ET</b>	<b>VS</b>	<b>VT</b>	<b>ST</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>ZS</b>	<b>NR</b>
1	<b><i>Luronium natans</i> (L.)Raf.</b>	<b>Flytegro</b>	(x)																VU	
2	<i>Nuphar lutea</i> (L.)Sm.	Gul nøkkerose			x			x											LC	
3	<i>Nuphar lutea x pumila</i> (=N. x spenneriana Gaudin)																			
4	<i>Nuphar pumila</i> (Timm.)DC.	Soleinøkkerose	x		x							X							LC	
5	<i>Nymphaea alba</i> L. coll.	Hvit nøkkerose med alle underartene			x			x											LC	
6	<i>Nymphoides peltata</i> Kuntze	Sjøgull																	HI	
7	<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Gray	Vass-slirekne		x	x							X							LC	
8	<i>Potamogeton natans</i> L.	Vanlig tjønnaks			x					x									LC	
9	<b><i>Sagittaria natans x sagittaria</i></b>																			
10	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	Pilblad			x														LC	
11	<b><i>Sagittaria sagittifolia x natans</i></b>																			
12	<i>Sparganium angustifolium</i> Michx	Flotgras	x				x	x											LC	
13	<i>Sparganium angustifolium x emersum</i> (= S. x diversifolium Graebn.)																			
14	<i>Sparganium angustifolium x gramineum</i>																			
15	<i>Sparganium angustifolium x hyperboreum</i>																			
16	<i>Sparganium angustifolium x natans</i>																			
17	<i>Sparganium emersum</i> Rehmman	Stautpiggnopp		x	x														LC	
18	<i>Sparganium emersum x gramineum</i>																			
19	<i>Sparganium emersum x hyperboreum</i>																			
20	<i>Sparganium emersum x natans</i>																			
21	<b><i>Sparganium gramineum</i> Georgi</b>	<b>Sjøpiggnopp</b>	(x)									X							NT	
22	<i>Sparganium hyperboreum</i> Læst. ex Beurl.	Fjellpiggnopp	x				x					X							LC	
23	<i>Sparganium hyperboreum x natans</i>																			
24	<i>Sparganium natans</i> L.	Småpiggnopp	x		x							X							LC	
<b>LEMNIDER (flytere)</b>												<b>ES</b>	<b>ET</b>	<b>VS</b>	<b>VT</b>	<b>ST</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>ZS</b>	<b>NR</b>
1	<i>Azolla filiculoides</i> L.	Andematbregne																		
2	<b><i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.</b>	<b>Froskebit</b>																	EN	



## VEDLEGG 2. Standard metode for analyse av vannkjemiske- og fysiske parametere.

Kilde: Overvåkningsveilederen, Direktoratgruppen, 2010; Vedlegg 5.

Parameter	Lab.kode	Benevning	NS Norsk Standard
Temperatur	X	°C	
Oksygen	X	mgO <sub>2</sub> /L	NS-ISO 5813
Siktedyp	X	M	
Konduktivitet (ledningsevne)	KOND	mS/m	NS-ISO 7888
Totalfosfor	Tot-P/L	µg P/L	NS-4725
Fosfat	PO <sub>4</sub> -P,m	µg P/L	NS-4724
Totalnitrogen	Tot-N/L	µg N/L	NS-4743
Nitrat	NO <sub>3</sub> -N	µg N/L	NS-4745
Totalt organisk karbon	TOC	mg C/L	NS-EN 1484
Turbiditet	TURB.	FNU	NS-EN ISO 7027
Farge	FARG.	mg Pt/L	NS-EN ISO 7887
pH (surhet)	pH		NS-4720
Klorofyll-a	KLA/S	µg/l	NS-4767
Kalsium	Ca	mg/L	NS-EN ISO 14911
Alkalitet	ALK	mmol/L	NS-ISO 9963-1
Ammonium	X	µg/l N	NS-EN ISO 14911
Magnesium	Mg	mg/L	NS-EN ISO 14911
Natrium	Na	mg/L	NS-EN ISO 14911
Kalium	K	mg/L	NS-EN- ISO 14911
Klorid	Cl	mg/L	NS-EN ISO 10304-1
Sulfat	SO <sub>4</sub>	mg/L	NS-EN ISO 10304-1
Reaktiv og ikke labil aluminium	Al/R,Al/II	µg/L	Ikke standardisert
Total aluminium	X	µg/L	Ikke standardisert

## VEDLEGG 3. Resultater vannkjemi

Lyche-Solheim et al. 2014 (in prep.).

### BJORVATN

Måned	pH	Kond. mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	Al/R µg/l	Al/l1 µg/l	Al/ICP mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	KLA/S µg/l	O2 MG O/l
mai.13	6,2	2,03	0,06	1,1	69,3	7	1	410	17	88	7,3	2,17	1,75	89	80	0,193	1,35	0,29	0,35	1,7	2,8	8,52
jun.13	6,4	2,16	0,07	0,82	66,2	7	1	380	15	55	7,4	2,21	1,74	80	76	0,186	1,31	0,28	0,36	1,72	1,4	
jul.13	6,4	2,06	0,07	0,8	17,8	6	3	395	4	24	7,9	2,21	1,61	72	67	0,189	1,35	0,26	0,35	1,72	9,9	
aug.13	6,4	1,93	0,07	0,8	61,1	10	2	325	7	6	7,6	2,04	1,44	64	60	0,174	1,43	0,21	0,37	1,65	10	
sep.13	6,4	1,97	0,076	0,74	58,8	4	2	305	5	25	6,9	2,12	1,47	51	42	0,17	1,41	0,19	0,35	1,63	2,8	
okt.13	6,4	2,22	0,075	0,73	67,3	5	1	320	10	47	7,5	2,18	1,81	60	57	0,18	1,62	0,26	0,39	1,74	1,4	
min	6,2	1,93	0,06	0,73	17,8	4	1	305	4	6	6,9	2,04	1,44	51	42	0,17	1,31	0,19	0,35	1,63	1,4	
middel	6,3	2,062	0,0702	0,83167	56,75	6,5	1,667	355,83	9,667	40,833	7,433	2,16	1,637	69	63,7	0,182	1,41	0,25	0,36	1,69	4,717	
maks	6,4	2,22	0,076	1,1	69,3	10	3	410	17	88	7,9	2,21	1,81	89	80	0,193	1,62	0,29	0,39	1,74	10	

### HOLVATNET

Prøve- dato	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Cl mg/l	SO4 mg/l	Al/R µg/l	Al/l1 µg/l	Al/ICP mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	6,3	3,06	0,067	1,31	29	13	4	355	21	12	3,7	6,11	1,01	26	24	0,08	0,67	0,74	0,46	3,65	0,4
jun.13	6,3	2,68	0,058	0,95	54,6	4	2	295	31	2	5,4	5,11	0,94	53	53	0,12	0,68	0,48	0,37	3,22	0,92
jul.13	6,3	2,46	0,058	0,8	58,8	6	2	280	24	5	5,7	4,48	0,94	56	53	0,14	0,59	0,34	0,38	3,04	0,98
aug.13	6,5	2,5	0,068	1,13	75,1	76	56	245	13	< 1	6,7	4,19	0,9	63	59	0,16	0,78	0,29	0,42	3,14	0,91
sep.13	6,4	2,44	0,066	0,99	58,4	8	3	280	6	7	5,9	4,28	0,94	49	46	0,14	0,72	0,31	0,35	3,01	0,97
okt.13	6,3	2,6	0,063	0,89	62,7	4	2	300	8	12	6,2	4,6	0,96	52	52	0,15	0,83	0,35	0,4	3,28	0,68
min	6,3	2,44	0,058	0,8	29	4	2	245	6	2	3,7	4,19	0,9	26	24	0,08	0,59	0,29	0,35	3,01	0,4
middel	6,4	2,623	0,0633	1,01167	56,433	18,5	11,5	292,5	17,17	7,6	5,6	4,8	0,948	50	47,8	0,132	0,71	0,42	0,4	3,22	0,81
maks	6,5	3,06	0,068	1,31	75,1	76	56	355	31	12	6,7	6,11	1,01	63	59	0,16	0,83	0,74	0,46	3,65	0,98

## LAUGEN

Prøve- dato	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Ca mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	7,6	9,78	0,669	1,77	36,4	15	4	655	15	315	5	12,5	8,8
jun.13	7,7	9,9	0,666	0,85	36	8	3	745	20	430	5,4	29	2,3
jul.13	7,7	10,5	0,723	1,44	33,7	9	4	765	20	440	5,2	14,5	5,9
aug.13	7,6	10,5	0,72	2,01	44,9	10	3	785	18	455	6,5	14,3	5,3
sep.13	7,8	10,76	0,76	1,45	38,3	8	1	745	21	405	5,7	14,8	4,7
okt.13	7,5	11	0,754	1,7	39,1	8	3	910	31	510	6	15,5	3
min	7,5	9,78	0,666	0,85	33,7	8	1	655	15	315	5	12,5	2,3
middel	7,6	10,41	0,7153	1,53667	38,067	9,6667	3	767,5	20,83	425,83	5,633	16,8	5
maks	7,8	11	0,76	2,01	44,9	15	4	910	31	510	6,5	29	8,8

## LIAVATNET

Prøve- dato	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Ca mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	8,6	19,6	1,327	2,92	26,7	24	5	910	69	310	5,7	28,3	30
jun.13	7,8	20	0,656	1,38	21,7	15	9	710	60	310	5,6	25,1	12
jul.13	8,1	20,6	1,416	1,16	20,1	10	3	645	34	205	5,5	32,6	6,4
aug.13	8,4	20,6	1,423	2,33	22,1	25	4	620	49	100	7	26,3	14
sep.13	7,9	21,11	1,47	1,97	22,1	14	3	655	75	155	6,7	26,8	4,5
okt.13	7,6	21,8	1,517	2,48	24,8	16	5	940	120	315	6,2	27,5	6
min	7,6	19,6	0,656	1,16	20,1	10	3	620	34	100	5,5	25,1	4,5
middel	8	20,62	1,3015	2,04	22,917	17,333	4,833	746,67	67,83	232,5	6,117	27,8	12,15
maks	8,6	21,8	1,517	2,92	26,7	25	9	940	120	315	7	32,6	30

## LØMSEN

Prøve- dato	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Ca mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	7,5	12,6	0,78	2,86	39,5	18	4	555	25	125	6,4	15,1	7,6
jun.13	8	12,9	0,816	1,87	34,8	13	4	410	13	< 1	7,2	32,4	23
jul.13	7,9	13,5	0,854	1,94	32,9	9	4	420	38	< 1	6,9	17,3	12
aug.13	7,8	14,3	0,911	1,87	32,5	17	4	390	17	2	7,5	16,8	11
sep.13	7,8	14,52	0,939	1,9	30,6	14	3	390	32	6	6,9	17,1	2,9
okt.13	7,6	14,9	0,93	2,64	38,3	14	4	560	24	120	8	18,1	7,3
min	7,5	12,6	0,78	1,87	30,6	9	3	390	13	2	6,4	15,1	2,9
middel	7,7	13,79	0,8717	2,18	34,767	14,167	3,833	454,17	24,83	63,25	7,15	19,5	10,63
maks	8	14,9	0,939	2,86	39,5	18	4	560	38	125	8	32,4	23

## SKJEGSTADVATNET

Prøve- dato	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Cl mg/l	SO4 mg/l	Al/R µg/l	Al/l1 µg/l	Al/ICP mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	7,8	11,2	0,84	0,69	8,1	9	3	335	16	77	2,6	5,81	3,39	7	< 5	0,008	17,1	0,54	0,98	3,67	1,4
jun.13	7,7	11,1	0,833	0,56	7,4	3	1	265	21	10	2,7	5,8	3,43	14	6	0,01	16,8	0,46	0,91	3,52	1,2
jul.13	7,9	11,1	0,835	0,6	7	5	2	280	24	41	2,7	5,87	3,46	15	6	0,01	17,3	0,47	0,98	3,58	1,8
aug.13	7,8	11,2	0,834	0,84	10,8	10	3	265	28	34	2,9	5,87	3,46	< 5	< 5	0,006	17	0,48	1,03	3,61	2,4
sep.13	7,6	11,2	0,837	0,57	6,1	4	< 1	255	6	40	2,7	5,83	3,42	6	< 5	0,007	17,1	0,46	0,95	3,56	1,6
okt.13	7,7	11,2	0,847	1,65	7,7	3	1	220	13	59	2,6	6,22	3,67	10	< 5	0,009	17,3	0,53	0,98	3,69	1
min	7,6	11,1	0,833	0,56	6,1	3	1	220	6	10	2,6	5,8	3,39	6	6	0,006	16,8	0,46	0,91	3,52	1
middel	7,7	11,17	0,8377	0,81833	7,85	5,6667	2	270	18	43,5	2,7	5,9	3,472	10	6	0,008	17,1	0,49	0,97	3,61	1,567
maks	7,9	11,2	0,847	1,65	10,8	10	3	335	28	77	2,9	6,22	3,67	15	6	0,01	17,3	0,54	1,03	3,69	2,4

## SONGSJØEN

Prøve- dato	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Cl mg/l	SO4 mg/l	Al/R µg/l	Al/l1 µg/l	Al/ICP mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	6,5	3,17	0,08	0,79	25,9	9	3	245	4	24	3,3	5,88	1,03	25	21	0,064	1,19	0,54	0,53	3,46	0,69
jun.13	6,5	3,09	0,076	0,65	25,2	5	2	200	21	17	3,5	5,87	1,04	24	22	0,06	1,16	0,45	0,48	3,36	0,69
jul.13	6,6	3,01	0,078	0,76	25,9	11	5	215	19	14	3,2	5,62	1,04	22	20	0,064	1,16	0,36	0,48	3,56	1,8
aug.13	6,6	2,94	0,079	0,81	30,2	5	1	305	63	15	4,1	5,42	1,02	24	20	0,073	1,17	0,38	0,51	3,29	1,6
sep.13	6,4	2,96	0,078	0,82	24	5	1	230	9	20	3,2	5,49	1,04	20	17	0,06	1,16	0,35	0,47	3,21	1,3
okt.13	6,6	3,01	0,089	1,56	27,5	3	1	170	16	28	3,2	5,75	1,13	19	14	0,066	1,21	0,33	0,48	3,3	0,98
min	6,4	2,94	0,076	0,65	24	3	1	170	4	14	3,2	5,42	1,02	19	14	0,06	1,16	0,33	0,47	3,21	0,69
middel	6,5	3,03	0,08	0,89833	26,45	6,3333	2,167	227,5	22	19,667	3,417	5,67	1,05	22	19	0,065	1,18	0,4	0,49	3,36	1,177
maks	6,6	3,17	0,089	1,56	30,2	11	5	305	63	28	4,1	5,88	1,13	25	22	0,073	1,21	0,54	0,53	3,56	1,8

## STORE HØYSJØEN

Måned	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	Turb860 FNU	Farge mg Pt/l	Tot-P/L µgP/L	PO4-P µg P/l	Tot-N/L µgN/l	NH4-N µgN/l	NO3- N µgN/l	TOC mg C/L	Cl mg/l	SO4 mg/l	Al/R µg/l	Al/l1 µg/l	Al/ICP mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	KLA/S µg/l
mai.13	6,4	2,01	0,081	2,07	51,1	11	3	305	11	14	5,4	2,95	0,55	27	23	0,11	1,07	0,5	0,34	1,84	< 0,89
jun.13	6,4	1,94	0,077	1,2	69,7	6	3	320	27	7	7,2	2,54	0,54	40	40	0,13	1,16	0,36	0,31	1,79	0,71
jul.13	6,4	1,86	0,075	1,83	86,3	3	5	355	29	3	8,4	2,3	0,54	42	38	0,14	1,17	0,29	0,34	1,77	1,3
sep.13	6,4	1,99	0,084	1,3	81,7	20	7	385	10	7	8,5	2,31	0,54	40	41	0,14	1,33	0,28	0,35	1,86	0,83
sep.13	6,5	2,05	0,09	1,4	74,3	3	1	285	6	10	7,6	2,37	0,58	33	31	0,13	1,33	0,25	0,36	1,83	1,3
okt.13	6,5	2,08	0,082	5,8	80,9	10	5	355	9	16	8,5	2,6	0,61	36	34	0,15	1,42	0,29	0,38	2	1,3
min	6,4	1,86	0,075	1,2	51,1	3	1	285	6	3	5,4	2,3	0,54	27	23	0,11	1,07	0,25	0,31	1,77	0,71
middel	6,4	1,988	0,0815	2,26667	74	8,8333	4	334,17	15,33	9,5	7,6	2,51	0,56	36	34,5	0,133	1,25	0,33	0,35	1,85	1,088
maks	6,5	2,08	0,09	5,8	86,3	20	7	385	29	16	8,5	2,95	0,61	42	41	0,15	1,42	0,5	0,38	2	1,3



## VEDLEGG 4. Korrelasjonsanalyse for fysisk-kjemiske parametere

05.03.2014 13:37:14

Welcome to Minitab, press F1 for help.

### Correlations: pH; Kond; Alk; Turb; Farg; TOT-P; Po4; TOT-N; ...

Kond	pH 0,990 0,000	Kond	Alk	Turb	Farg	TOT-P	Po4	TOT-N	NH4
Alk	0,980 0,000	0,946 0,000							
Turb	0,366 0,372	0,354 0,389	0,411 0,312						
Farg	0,387 0,343	0,375 0,360	0,426 0,293	0,995 0,000					
TOT-P	-0,642 0,086	-0,654 0,078	-0,597 0,118	0,302 0,467	0,314 0,448				
Po4	0,472 0,238	0,425 0,294	0,554 0,154	0,927 0,001	0,934 0,001	0,158 0,709			
TOT-N	0,461 0,250	0,427 0,292	0,520 0,186	0,933 0,001	0,948 0,000	0,181 0,668	0,990 0,000		
NH4	0,645 0,084	0,609 0,109	0,680 0,063	0,563 0,146	0,615 0,104	0,083 0,845	0,626 0,097	0,609 0,109	
NO3	0,705 0,051	0,628 0,095	0,777 0,023	0,482 0,226	0,509 0,198	-0,360 0,382	0,738 0,037	0,711 0,048	0,560 0,149
TOC	-0,200 0,635	-0,232 0,580	-0,113 0,790	0,614 0,105	0,604 0,113	0,794 0,018	0,460 0,251	0,434 0,283	0,408 0,316
Ca	-0,185 0,660	-0,225 0,593	-0,098 0,817	0,614 0,106	0,615 0,105	0,821 0,012	0,488 0,220	0,468 0,243	0,466 0,245
Kla	0,985 0,000	0,982 0,000	0,962 0,000	0,378 0,355	0,394 0,334	-0,603 0,113	0,437 0,279	0,418 0,303	0,675 0,066
D	-0,599 0,117	-0,570 0,140	-0,553 0,155	0,100 0,813	0,074 0,861	0,473 0,236	0,060 0,888	0,071 0,867	-0,340 0,410
TOC	NO3 -0,117 0,783	TOC	Ca	Kla					
Ca	-0,056 0,894	0,991 0,000							
Kla	0,619 0,101	-0,121 0,775	-0,119 0,779						
D	-0,387 0,344	0,278 0,504	0,246 0,557	-0,617 0,103					

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

## VEDLEGG 5 Summary of fitted Generalized Linear Models:

Predictors Ca  
 Distribution normal  
 Link function identity

GLM fitted for 34 response variables:

Response	Type	R2 [%]	F	P
Eleo aci	linear	0.9	0.05692	0.81937
Isoe ech	linear	86.0	36.9	0.0009
Isoe lac	linear	0.9	0.05162	0.8278
Litt uni	linear	31.3	2.7	0.1494
Lobe dor	linear	75.9	18.9	0.00485
Ranu rpt	linear	8.8	0.5776	0.52395
Subu aqu	linear	12.6	0.864	0.6115
Call ham	linear	7.6	0.4932	0.50882
Call her	linear	5.2	0.3286	0.58733
Call pal	linear	2.2	0.1373	0.72371
Elod can	linear	41.0	4.2	0.08741
Hipp vul	linear	12.6	0.864	0.6115
Junc bul	linear	84.6	32.9	0.00122
Myri alt	linear	21.9	1.7	0.24262
Pota alp	linear	44.4	4.8	0.07116
Pota ber	linear	17.7	1.3	0.29897
Pota gra	linear	27.1	2.2	0.18582
Pota obt	linear	48.6	5.7	0.05479
Pota per	linear	24.2	1.9	0.21517
Pota pra	linear	66.8	12.0	0.01329
Pota x z	linear	57.8	8.2	0.02855
Utri int	linear	24.5	1.9	0.21271
Utri min	linear	14.1	0.9819	0.64001
Utri och	linear	0.5	0.02884	0.87073
Utri vul	linear	19.6	1.5	0.27218
Nuph lut	linear	3.2	0.196	0.67351
Nuph pum	linear	18.8	1.4	0.28277
Nymp alb	linear	2.4	0.1445	0.71694
Pota nat	linear	33.7	3.0	0.13145
Spar ang	linear	19.6	1.5	0.27255
Spar eme	linear	18.1	1.3	0.29348
Lemn min	linear	54.8	7.3	0.03577
Char vi	linear	18.8	1.4	0.28277
Nite opa	linear	18.8	1.4	0.28277

Summary of fitted Generalized Linear Models:

Analysis 'Analysis 3'

Method: CA

Total variation is 1.50755, explanatory variables account for 0.0%

Summary Table:

Statistic	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0.5262	0.3007	0.2260	0.1699
Explained variation (cumulative)	34.91	54.85	69.84	81.11

## LITTERATURLISTE

- Aagaard, K., Bækken, T., & Jonsson, B. (2002). *Biologisk mangfold i ferskvann: regional vurdering av sjeldne dyr og planter* (Bind 21). Trondheim: Instituttet.
- Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., et al. (2012). Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 18, 31-41.
- Bratli, J. L. (1998). *JOVÅ - Overvåking av jordbrukspåvirkede vannforekomster: næringsstoffsforhold, vannkvalitetstilstand og -utvikling* (Bind 3928-98). Oslo: NIVA.
- Carpenter, S. R., Stanley, E. H., & Vander Zanden, M. J. (2011). State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes. I A. Gadgil & D. M. Liverman (Red.), *Annual Review of Environment and Resources*, Vol 36 (Bind 36. 75-99).
- Direktoratsgruppa (2010). *Overvåking av miljøtilstand i vann. Veileder for vannovervåking iht. kravene i vannforskriften. Veileder 02:2009. Versjon 1.5: Direktoratets gruppa for gjennomføring av vanndirektivet.*
- Direktoratsgruppa (2013). *Klassifisering av miljøtilstand i vann: økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, innsjøer og elver i henhold til vannforskriften* (Bind 02:2013). Trondheim: Direktoratets gruppa for gjennomføringen av vanndirektivet.
- Dudley, B., Dunbar, M., Penning, E., Kolada, A., Hellsten, S., Oggioni, A., et al. (2012). Measurements of uncertainty in macrophyte metrics used to assess European lake water quality. *Hydrobiologia*, 704(1), 179-191.
- Eskildt, C. (2012). *Effekter av skogbrann på phytoplankton i innsjøer. Mastergradsavhandling i Natur-, Helse- og Miljøvernsvetenskap ved Høgskolen i Telemark, Avdeling for allmennvitenskapelige fag. 99s.*
- Faafeng, B., & Oredalen, T. J. (1999). *Landsomfattende trofiundersøkelse av norske innsjøer: oppsummering av første fase av undersøkelsen 1988-1998* (Bind 4120-99). Oslo: NIVA.
- Flatberg, K. I. (1976). *Klassifisering av flora og vegetasjon i ferskvann og sump* (Bind 1976:3). Trondheim: Seksjon for naturhistorie, botanikk.
- Forseth, T., Ugedal, O., Brittain, J. E., Jonsson, B., Njåstad, O., & Næuman, R. (1993). *Radioaktiv forurensning i ferskvann. -NINA Oppdragsmelding 242: 1-15.* Trondheim: NINA, Norsk Institutt for Naturforskning.
- Gleick, P. H., & Ajami, N. (2014). *The world's water : volume 8 : the biennial report on freshwater resources.* Washington DC: Island Press.
- Hartog, C. d., & Segal, S. (1964). *A new classification of waterplant communities.* . Neerl.
- Heegaard, E., Birks, H. H., Gibson, C. E., Smith, S. J., & Wolfe-Murphy, S. (2001). Species-environmental relationships of aquatic macrophytes in Northern Ireland. *Aquatic Botany*, 70(3), 175-223.
- Hill, M. O., Preston, C. D., & Roy, D. B. (2004). *PLANTATT, Attributes of British and Irish Plants: Status, Size, Life History, Geography and Habitats.*: Centre for Ecology & Hydrology.
- Kalff, J. (2002). *Limnology: inland water ecosystems.* Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Karr, J. R., & Chu, E. W. (1999a). *Restoring life in running waters: better biological monitoring.* Wash.: Island Press.
- Karr, J. R., & Chu, E. W. (1999b). *Restoring life in running waters: better biological monitoring.* Washington, D.C.: Island Press.
- Knutzen, J., Fjeld, E., Hylland, K., Killie, B., Kleivane, L., Lie, E., et al. (1999). *Miljøgifter og radioaktivitet i norsk fauna - inkludert Arktis og Antarktis. - DN-utredning 1999 -5.*
- Kolada, A., Hellsten, S., Søndergaard, M., Mjelde, M., Dudley, B., Van Geest, G., et al. (2011). *Deliverable D3.2-3: Report on the most suitable lake macrophyte based assessment methods for impacts of eutrophication and water level fluctuations:* Wiser.
- Langangen, A. (2004a). *En enkel flora over norske kransalger* (Bind H. 1). Oslo: [A. Langangen].

- Langangen, A. (2004b). *Norges kransalger : H. 5 : Kransalgene i Trøndelag*. Oslo: A. Langangen.
- Langangen, A. (2007a). *Kransalger og deres forekomst i Norge: med korte beskrivelser av viktige norske lokaliteter* (s. book). Gan: Saeculum forl.
- Langangen, A. (2007b). *Kransalger og deres forekomst i Norge: med korte beskrivelser av viktige norske lokaliteter*. Gan: Saeculum forl.
- Leps, J., Smilauer, P. (2003). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge university press.
- Lid, J., Lid, D. T., Elven, R., & Alm, T. (2005). *Norsk flora*. Oslo: Samlaget.
- Lindstrøm, E.-A. (2004). *Vannvegetasjon i norske vassdrag: kritiske grenseverdier for forsurening : effekter av kalking* (Bind 4821-2004). [Oslo]: Norsk institutt for vannforskning.
- Makela, S., Huitu, E., & Arvola, L. (2004). Spatial patterns in aquatic vegetation composition and environmental covariates along chains of lakes in the Kokemdenjoki watershed (S. Finland). *Aquatic Botany*, 80(4), 253-269.
- Mjelde, M. (1997). *Virkning av forurensning på biologisk mangfold: Vann og vassdrag i by og tettstedsnære områder: Vannvegetasjon i innsjøer-effekter av eutrofiering.-En kunnskapsstatus: NIVA*.
- Mjelde, M. (2011). *Naturindeks for Norge. Videreutvikling av kunnskapsgrunnlaget for vannplanter*. Oslo: Norsk Institutt for vannforskning.
- Mjelde, M., Andersen, T., & Halvorsen, R. (2008). *Livs- og vekstformgruppeinndeling av vannplanter og disses fordeling på innsjøer av ulike typer. Artikkelsamling. Naturtyper i Norge. Bakgrunnsdokument 6: 1-93.:*
- Mjelde, M., & Edvardsen, H. (2011). *Undersøkelser av kalksjøer i Nord-Trøndelag, 2011*. Oslo: NIVA.
- Mjelde, M., Hellsten, S., & Ecke, F. (2012). A water level drawdown index for aquatic macrophytes in Nordic lakes. *Hydrobiologia*, 704(1), 141-151.
- Mjelde, M., Langangen, A., & Edvardsen, H. (2012). *Handlingsplan for kalksjøer. Utredning av miljøkrav for kransalger og tjønnaks i kalksjøer*. (Bind 6450-2012). Oslo: NIVA.
- Mjelde, M., & Mjelde, M. (1997). *Vannvegetasjon i innsjøer - effekter av eutrofiering: en kunnskapsstatus* (Bind 3755-97). Trondheim: Norsk institutt for naturforskning.
- Moen, A. (1998). *Nasjonalatals for Norge: Vegetasjon*. I A. Odland & A. Lillethun (Red.) (s. book). Hønefoss: Norges geografiske oppmåling.
- Murphy, K. J. (2002). Plant communities and plant diversity in softwater lakes of northern Europe. *Aquatic Botany*, 73(4), 287-324.
- Penning, W. E., Mjelde, M., Dudley, B., Hellsten, S., Hanganu, J., Kolada, A., et al. (2008). Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes. *Aquatic Ecology*, 42(2), 237-251.
- Poikane, S., van den Berg, M., Hellsten, S., De Hoyos, C., Ortiz-Casas, J., Pall, K., et al. (2011). *Lake ecological assessment systems and intercalibration for the European Water Framework Directive: Aims, achievements and further challenges*: Elsevier Ltd.
- Påhlsson, L. (1998). *Vegetationstyper i Norden* (Bind 1998:510). København: Nordisk ministerråd.
- Raunkjær, C. (1907). *Planteriget's livsformer og deres betydning for geografien*. Kjøbenhavn: Gyldendal.
- Rørslett, B. (1991). PRINCIPAL DETERMINANTS OF AQUATIC MACROPHYTE RICHNESS IN NORTHERN EUROPEAN LAKES. *Aquatic Botany*, 39(1-2), 173-193.
- Rørslett, B. (1985). *Regulation impact on submerged macrophyte communities in some Norwegian lakes*. Oslo: [B. Rørslett].
- Rørslett, R., & Hvoslef, S. (1986a). *Makrovegetasjon i Norske innsjøer I. Avgrensning av vannvegetasjon og regional forekomst*. Trondheim: Det Kgl. Norske Videnskabers Selskap, Museet.
- Rørslett, R., & Hvoslef, S. (1986b). *Makrovegetasjon i Norske innsjøer II. Empiriske art-areal relasjoner*. Trondheim: Det Kgl. Norske Videnskabers Selskap, Museet.

Schartau, A. K., Berg, M., Deimantovica, I., Eriksen, T. E., Mjelde, M., Petrin, Z., et al. (2011). *Utprøving av system for basisovervåking i henhold til vannforskriften: Resultater for utvalgte innsjøer 2009. Miljøovervåking i vann 2011-1*. Trondheim: Direktoratet for naturforvaltning, Klima og forurensningsdirektoratet.

Schartau, A. K., Haande, S., Fløystad, L., Eriksen, T. E., Halvorsen, G., Jensen, J. P., et al. (2012). *Utprøving av system for basisovervåking i henhold til vannforskriften*.

*Resultater for utvalgte innsjøer 2010.*

*Miljøovervåking i vann 2012-2*: Direktoratet for naturforvaltning

Klima og forurensningsdirektoratet.

Schartau, A. K., Haande, S., Skjelbred, B., Mjelde, M., Edvardsen, H., Jensen, T. C., et al. (2012). *Utprøving av et system for basisovervåking i henhold til vannforskriften. Resultater for utvalgte innsjøer 2011. Miljøovervåking i vann 2012-3*, : Direktoratet for naturforvaltning, Klima og forurensningsdirektoratet.

Schartau, A. K., Lyche Solheim, A., Halvorsen, G., Høgaasen, T., Lindholm, M., Skjelbred, B., et al. (2009). *Nettverk for basisovervåking i innsjøer og elver i Norge i hht. vannforskriften: forslag. NINA Rapport 520 (Bind 520)*. Trondheim: Norsk institutt for naturforskning.

Schartau, A. K., Skjelbred, B., Edvardsen, H., Fløystad, L., Jensen, T. C., Mjelde, M., et al. (2013). *Utprøving av system for basisovervåking i henhold til vannforskriften. Resultater for utvalgte innsjøer 2012. Miljøovervåking i vann 2013-4*: Miljødirektoratet.

Skaun kommune (2012). *Skaun kommune. Vannbruksplan 2013-2016*.

Solheim, A. L., Austnes, K., Kristensen, P., Peterlin, M., Vit, K., Collins, R., et al. (2012). *Ecological and chemical status and pressures in European waters*. Prague: European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine Waters.

Solheim, A. L., Feld, C. K., Birk, S., Phillips, G., Carvalho, L., Morabito, G., et al. (2013). *Ecological status assessment of European lakes: a comparison of metrics for phytoplankton, macrophytes, benthic invertebrates and fish*. (Bind 704).

Sondergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J. P., & Amsinck, S. L. (2005). Water framework directive: Ecological classification of danish lakes. *Journal of Applied Ecology*, 42(4), 616-629.

Sondergaard, M., Phillips, G., Hellsten, S., Kolada, A., Ecke, F., Maemets, H., et al. (2013). Maximum growing depth of submerged macrophytes in European lakes. *Hydrobiologia*, 704(1), 165-177.

Vedlegg 5 Vedlegg 5 til overvåkningsveilederen. Standarder for ferskvann.

Wetzel, R. G. (1983). *Limnology*. Philadelphia, Pa.: Saunders.

Økland (1996). *Økologi* (Bind 2). Stabekk: Vett & viten.

Økland, J., & Økland, K. A. (1999). *Vann og vassdrag 4. Dyr og planter: innvandring og geografisk fordeling* (Bind 4). Stabekk: Vett & viten.

## INTERNETT-ADRESSER

Artsdatabanken.no: Rødlistearter. <http://artsdatabanken.no/publikasjoner/faktaark/rarter>. Lest 07.11.13.

Atlas.nve.no<sub>A</sub>: Strandlinjeberegning og dybdeangivelse for Lømsen.

<http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas> Lest 18.02.14.

Atlas.nve.no<sub>B</sub>: Nedbørsfelt- og arealbruksberegninger:

<http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?site=Lavvann> Lest 07.05.14.

Kulturminnesok.no: Riksantikvarens liste over kulturminner, Bjorvatn.

<http://www.kulturminnesok.no/Lokaliteter/Aust-Agder/Vegaarshei/Bjorvatn-soer-og-midtre> Lest 05.04.14.

Lovadta.no<sub>A</sub>: Forskrift om rammer for vannforvaltningen. Vannforskriften.

<http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446?q=forskrift+om+rammer+for+vannforvaltning> Lest 03.09.13.

Miljødirektoratet.no<sub>A</sub>: Basisovervåkning.

<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Miljoovervakning/Naturovervakning/Elver-og-innsjoer/Basisovervakning-i-ferskvann/> Lest 29.04.14.

Miljødirektoratet.no<sub>B</sub>: Norsk standard for vannplanter.

<http://vannmiljokoder.miljodirektoratet.no/SamplingMethod.aspx> lest 01.05.14.

Miljødirektoratet.no<sub>C</sub>: Vedlegg 5:

[http://www.miljodirektoratet.no/old/dirnat/attachment/1885/Vedlegg%20%20-%20Standarder\\_ferskvann.pdf](http://www.miljodirektoratet.no/old/dirnat/attachment/1885/Vedlegg%20%20-%20Standarder_ferskvann.pdf) Lest 01.05.14.

mn.uio.no: CAM-metabolisme.

<http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/plfys/fotosyntese/cam.html> lest 06.05.14.

Ngu.no<sub>A1</sub>: Berggrunns-kart Bjorvatn.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=149519:6531253:151120:6532253> Lest 11.02.14.

Ngu.no<sub>B1</sub>:Berggrunns-kart Holvatnet.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=268093:7081899:274845:7086116> Lest 11.02.14.

Ngu.no<sub>C1</sub>:Berggrunns-kart Laugen.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=248074:7023430:254826:7027647> Lest 11.02.14

Ngu.no<sub>D1</sub>: Berggrunns-kart Liavatnet.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=288813:7058040:292101:7060094> Lest 12.02.14.

Ngu.no<sub>E1</sub>: Berggrunns-kart Lømsen.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=326146:7110473:332898:7114690> Lest 12.02.14.

Ngu.no<sub>F1</sub>: Berggrunns-kart Skjeggstadvatnet.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=254160:7012689:260911:7016906> Lest 13.02.14

Ngu.no<sub>G1</sub>: Berggrunns-kart Songsjøen.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=229071:7030895:235823:7035112> Lest 13.02.14.

Ngu.no<sub>F1</sub>: Berggrunns-kart Store Høysjøen.

<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=345193:7083626:351944:7087843> Lest 17.02.14.

Ngu.no<sub>A2</sub>: Løsmassekart Bjorvatn.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=146901:6529625:153652:6533842> Lest 11.02.2014

Ngu.no<sub>B2</sub>: Løsmassekart Holvatnet.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=264750:7080830:278614:7089490> Lest 12.02.14.

Ngu.no<sub>C2</sub>: Løsmassekart Laugen.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=248075:7023430:254826:7027647> Lest 12.02.2014.

Ngu.no<sub>D2</sub>: Løsmassekart Liavatnet.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=288814:7058040:292101:7060094> Lest 12.02.2014.

Ngu.no<sub>E2</sub>: Løsmassekart Lømsen.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=326337:7110513:333088:7114730> Lest 12.02.14.

Ngu.no<sub>F2</sub>: Løsmassekart Skjeggstadvatnet.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=253798:7011974:260549:7016191> Lest 13.02.14.

Ngu.no<sub>G2</sub>: Løsmassekart Songsjøen.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=231421:7031823:234709:7033876> Lest 13.02.14.

Ngu.no<sub>H2</sub>: Løsmassekart Store Høysjøen.

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?Box=347848:7085063:349449:7086063> Lest 17.02.14

Norgeskart.no<sub>A</sub>: Oversiktskart. <http://norgeskart.no/#4/310904/6811207/-land/+flybilder> Lest 10.01.2014

Norgeskart.no<sub>B</sub>: Bjorvatn.

<http://norgeskart.no/?sok=Bjorvatn%2C%20vann%20veg%C3%A5rdshei#12/150177/6532380/+hits> Lest

Norgeskart.no<sub>C</sub>: Holvatnet. <http://norgeskart.no/?sok=Holvatnet#11/271865/7086082/+hits> Lest 10.01.14

Norgeskart.no<sub>D</sub>: Laugen. <http://norgeskart.no/?sok=laugen#8/251444/7025526/+hits> Lest 04.04.14.

Norgeskart.no<sub>E</sub>: Liavatnet. <http://norgeskart.no/?sok=liavatnet#8/290949/7059126/+hits> Lest

Norgeskart.no<sub>F</sub>: Lømsen. <http://norgeskart.no/?sok=L%C3%B8msen#12/330145/7112605/+hits> Lest

Norgeskart.no<sub>G</sub>: Skjeggstadvatnet.

<http://norgeskart.no/?sok=Skjeggstadvatnet#11/257273/7014869/+hits> Lest 09.01.14.

Norgeskart.no<sub>H</sub>: Songsjøen. <http://norgeskart.no/?sok=Songsj%C3%B8en#11/232683/7032973/+hits>

Norgeskart.no<sub>I</sub>: Store Høysjøen.

<http://norgeskart.no/?sok=Store%20h%C3%B8ysj%C3%B8en#11/348791/7085446/+hits> Lest

Norsk standard.

<http://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=316949>

Lest 11.04.14.

2000/60/EC: Vanndirektivet i Europa, [http://eur-lex.europa.eu/legal-](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399371863358&uri=CELEX:02000L0060-20140101)

[content/EN/TXT/?qid=1399371863358&uri=CELEX:02000L0060-20140101](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399371863358&uri=CELEX:02000L0060-20140101) lest 06.05.14.

Vann-nett.no: Fakta-ark for samtlige vannforekomster. Nettadresse følger under den enkelte vannforekomst:

Vann-nett.no<sub>A</sub>: Bjorvatn. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=018-8995-L> Lest 02.04.14.

Vann-nett.no<sub>B</sub>: Holvatnet. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=133-653-L> Lest 04.04.14

Vann-nett.no<sub>C</sub>: Laugen. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=122-888-L> Lest 04.04.14

Vann-nett.no<sub>D</sub>: Liavatnet. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=125-37159-L> Lest 04.04.14

Vann-nett.no<sub>E</sub>: Lømsen. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=128-937-L> Lest 04.04.14

Vann-nett.no<sub>F</sub>: Skjeggstadvatnet. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=122-37661-L> Lest 09.01.14.

Vann-nett.no<sub>G</sub>: Songsjøen. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=121-965-L> Lest 44.04.14.

Vann-nett.no<sub>H</sub>: Store Høysjøen. <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=127-928-L> Lest 08.04.14.

Vannportalen.no<sub>A</sub>: Vannforskriften. <http://www.vannportalen.no/enkel.aspx?m=57521> Lest 22.04.14.

Vannportalen.no<sub>B</sub>: Vannforskriftens vedlegg V.

<http://www.vannportalen.no/hovedEnkel.aspx?m=43465&amid=3212000> Lest 22.04.14.

vannportalen.no<sub>X</sub>: Typifisering <http://www.vannportalen.no/hovedEnkel.aspx?m=43072> lest 02.05.14