



Avsnøring av innsjøen Breidflå

- Innvirkning på vannkvalitet og økologiske forhold

Fragmentation of the lake Breidflå.

- Effects on water quality and environmental conditions

Fredrik Jacobsen

Masteroppgave ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, IMV.

Ås, januar 2014



Feltarbeid sommeren 2013, med utsikt mot øst over Voilandelen av Breidflå. (F.Jacobsen)

Forord

Denne masteroppgaven er en 30 studiepoengs oppgave ved Institutt for miljøvitenskap ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (tidligere Institutt for plante- og miljøvitenskap, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap). Oppgaven avslutter mitt 5-årige studium innen "Miljø og naturressurser", retning "Limnologi og vannressurser" her på Ås.

Jeg vil gjerne takke Statens vegvesenet, som kom med forslag til oppgaven og støttet den økonomisk, samt takke kontaktpersonene mine der Renate Veia Petersson og Pål Arnfinn Haugen for god hjelp. Takk til Nils Osmund Hegland for lån av robåt og kano, og for opplysninger om lokale forhold i Voilan. Takk også til mine utmerkede feltassistenter Johnny Kristiansen, Thorbjørn Johannesen, Kari Lise Høgseth, Håkon Jacobsen og Jon Lauvstad Sættem for godt samarbeid og hyggelig samvær. En spesiell takk til Johnny Kristiansen og de andre laboratorieansatte for uvurderlig hjelp og veiledning på labben. Takk også til Sondre Aasan, Lina Rundlöf, Anna-Sara Magnusson og Kari Lise Høgseth for korrektur- og gjennomlesninger av oppgaven. Takk til Evje og Hornnes kommune for flyfotografi.

Sist, men ikke minst, takk til mine tre veiledere Gunnhild Riise, Thomas Rohrlack og Nils-Otto Kitterød, som i hele perioden har latt kontordørene sine stå åpne for meg når jeg har hatt bruk for råd og veiledning. En ekstra takk til min hovedveileder Gunnhild Riise som også har hatt seg av kontakten og det formelle samarbeidet med Statens vegvesenet.

Ås, januar 2014.

Fredrik Jacobsen

Sammendrag

Oppgaven handler om hvordan en veifylling langs riksvei 9 i Setesdalen, kan ha påvirket vannkvaliteten og økologiske forhold i Voilan, en avsnørt del av innsjøen Breidflå i Otravassdraget. Veifyllingen fører trolig til redusert vanngjennomstrømning og oppstuing av sedimentmateriale, noe som kan endre vannkvaliteten og økologiske forhold i den avsnørte Voilandelen. For å svare på disse forholdene fremsettes to null-hypoteser og to delspørsmål. Hypotese nr. 1 er: "Det er *ingen* klare forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og den avsnørte delen Voilan." Hypotese nr. 2 er: "Dersom det forekommer en signifikant forskjell i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilan, skyldes dette *ikke* veifyllingen med dens påvirkning på vannutskiftning og dybdeforhold i Voilan." For å vurdere hypotese 2 er det utledet to spørsmål som også drøftes: Spm. 1: "Har veifyllingen minsket vannutskiftningen mellom Breidflå og Voilan?". Og spm. 2: "Har veifyllingen gjort dybdeforholdene i Voilan grunnere?"

For å belyse problemstillingen og svare på hypotesene er det gjennomført feltarbeid i løpet av vekstsesongen fra og med 3. mai til og med 12. september 2013, fordelt på 7 feltrunder. Det er foretatt målinger og observasjoner direkte i felt og tatt vannprøver som ble analysert på laboratoriet. Eldre kart og flyfotografier ble benyttet for å få en oversikt over utviklingen av sedimenteringsprosessen og gjengroingen over tid.

Hovedfunnene fra undersøkelsene er at Voilan skiller seg fra Breidflå på flere viktige punkter. Voilan er en svært grunn vik av Breidflå med dybdeforhold på mellom ca. 0.5 og 3 meter, hvor siktedyp og eufotisk sone når bunnen over hele Voilan. Breidflå har derimot et maksimumsdyp på 43 meter. Konduktivitetsverdiene for Voilan er i gjennomsnitt 2.2 mS/m og likner mer på verdiene for hovedtilførselselva Kjetsåna enn på Breidflå, som har en middelvei på 1.1 mS/m. Dette kan tyde på at vannet i Voilan i hovedsak kommer fra Kjetsåna og i stor grad er preget av dens vannkvalitet.

Resultatene viser at Voilan er noe mer turbid, og har en høyere konsentrasjon av suspendert stoff enn Breidflå har. Voilan og Breidflå har midlere verdier på henholdsvis 1.3 FNU og 0.7 FNU for turbiditet og 2.7 mg/l og 1.1 mg/l for suspendert stoff. Videre viser resultatene for flere av parametrene at det er et høyere humusinnhold i Voilan enn i Breidflå. Dette støttes av farge- og optisk tetthetsmålinger som i gjennomsnitt er henholdsvis 3.6 og 2.9 ganger høyere i Voilan enn i Breidflå. Vurdering av tilsynelatende farge i felt viste videre en større dominans av fargenyansene gult og brunt i Voilan enn i Breidflå.

Dessuten er konsentrasjonen av totalt organisk karbon høyere i Voilan med en middelværdi på 5.7 mg/l, mens den for Breidflå er 2.2 mg/l. Resultatene for spesifikk farge tyder også på en annen kvalitet på det organiske materialet med mer humuspreg i Voilandelen enn i Breidflå.

Det er generelt lave konsentrasjoner av plantenæringsstoffer og klorofyll a i begge lokalitetene, men også her viser Voilan høyere verdier enn i Breidflå. For totalt nitrogen har Voilan og Breidflå gjennomsnittsverdier på henholdsvis 0.41 mg/l og 0.20 mg/l. For totalt fosfor er middelværdiene 10.4 µg/l for Voilan og 3.2 µg/l for Breidflå. Resultatene for klorofyll a viser liknende forhold med middelværdier på 2.7 µg/l for Voilan og 1.0 µg/l for Breidflå.

Voilan viser generelt større variasjon gjennom hele måleperioden, sammenliknet med Breidflås verdier som var svært stabile gjennom hele prøveperioden.

Totalt sett vurderes det som mest sannsynlig at det er reelle forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilandelen og at hypotese nr. 1, om at det *ikke* forekommer klare forskjeller i vannkvalitet mellom Breidflå og Voilan, dermed kan forkastes.

På grunnlag av dybdeforhold, konduktivitetsverdier, sammenlikning av historiske kart og flyfoto med dagens forhold, samt erfaringer fra liknende lokaliteter, virker det sannsynlig at vannutskiftningen mellom Voilan og Breidflå har avtatt etter at veifyllingen ble anlagt. Sedimenteringsraten og gjenslammingen har trolig økt. Det vurderes også som mest at disse to forholdene har påvirket vannkvaliteten og økologiske forhold i Voilan, og dermed kan være med på å forklare de observerte forskjellene i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Voilan og Breidflå. Hypotese 2, om at signifikante forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilan *ikke* skyldes veifyllingen, og den påvirkning på vannutskiftning og dybdeforhold i Voilan, anses derfor som forkastet.

Abstract

The objective of this study was to find out whether the road-fill along “riksvei 9” in Setesdalen has affected the water quality and environmental conditions in Voilan, an isolated part of the lake Breidflå in the Otra watercourse. The road-fill probably reduces the water renewal rate and increases the sedimentation rate in Voilan, and by that changes the water quality and environmental conditions. To investigate the problem two “null-hypotheses” are formulated. Hypothesis 1 is: “There are *no* significant differences in water quality and environmental conditions between Breidflå and the isolated part Voilan”, hypothesis 2 is: “If there *are* significant differences in water quality and environmental conditions between Breidflå and Voilan, those are *not* caused by the effects of the road-fill on water renewal and sedimentation rate”. Two questions are derived from the hypotheses. Question 1: “Have the road-fill decreased the exchange of water between Breidflå and Voilan?”. Question 2: “Have the road-fill made Voilan shallower?”

The methods used were direct measurements in field, and water samples that were analyzed in laboratory for common water quality parameters. Those were measured over a period from May 3rd to September 12th, divided on seven field trips. Old maps and aerial photographs were used to get an impression of the sedimentation process and overgrowth from the period before the road-fill was constructed.

The results show differences between Voilan and Breidflå in several ways. Voilan is a very shallow part of the lake Breidflå with depths from 0.5 to 3 meters. The Secchi- depth and euphotic zone reaches the whole bottom area of Voilan. Breidflå has a maximum depth of 43 meters. The average conductivity values for Voilan is 2.2 mS/m and is similar to the values of its primary supply river Kjetsåna. By contrast Breidflå has an average value of 1.1 mS/m. This might indicate that the water renewal in Voilan mainly originates from the river Kjetsåna which influence its water quality.

The results also show that Voilan is more turbid and has a higher concentration of suspended solids than Breidflå. With mean values of respectively 1.3 FNU and 0.7 FNU for turbidity, and 2.7 mg/l and 1.1 mg/l for suspended solids.

Voilan has a higher content of humic substances than Breidflå. This is supported by the color- and optical density values which in average are respectively 3.6 and 2.9 times higher in Voilan than in Breidflå. The assessment of the apparent water color in field also showed a greater dominance in the shades of yellow and brown in Voilan. Moreover, the concentration of total organic carbon is higher in Voilan with an average value of 5.7 mg/l, while it is 2.2 mg/l in Breidflå. The “specific color” results also

indicate a different quality of the organic material in Voilan than in Breidflå, with more humic substances in the water.

The concentrations of plant nutrients and chlorophyll a are generally low in both of the two locations, but also for these parameters Voilan show higher values. For total nitrogen Voilan and Breidflå have average values of respectively 0.41 mg/l and 0.20 mg/l. While the average values for total phosphorus is 10.4 µg/l for Voilan and 3.2 µg/l for Breidflå. The results for chlorophyll a indicates some of the same tendencies with average values of 2.7 µg/l for Voilan and 1.0 µg/l for Breidflå.

In general, Voilan shows a greater variation in its parameters values, unlike Breidflås values which were very stable throughout the test period.

Overall, it is considered to be most likely that there are real differences in water quality and environmental conditions between Breidflå and Voilan, and hypothesis 1 can be rejected.

With field observations of depths, interpretation of conductivity values, comparison of historical maps with aerial photographs, and experiences in similar localities, it seems likely that the water exchange between Voilan and Breidflå has decreased after the road-fill came. The rate of sedimentation has probably increased. Most likely these two factors have affected water quality and environmental conditions in Voilan, and thus may help to explain the observed differences in water quality and environmental conditions between Voilan and Breidflå. Hypothesis 2, which states that the differences in water quality and environmental conditions between Breidflå and Voilan are *not* caused by the road-fill, can therefore be rejected.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	s. 1
1.1 Bakgrunn.....	s. 1
1.2 Formål.....	s. 1
1.3 Hvordan belyse problemstillingen og besvare hypotesene i oppgaven.....	s. 2
1.4 Tidligere studier.....	s. 3
2. Områdebeskrivelse	s. 4
2.1 Oversiktskart over studieområdet.....	s. 4
2.2 Beskrivelse av Breidflå.....	s. 4
2.3 Beskrivelse av Voilan.....	s. 5
2.4 Historisk kart.....	s. 7
2.5 Flyfotografier.....	s. 8
2.6 Nedbørsfelt.....	s. 10
2.7 Avrenning.....	s. 12
2.8 Geologiske forhold.....	s. 13
2.9 Klimatiske forhold og værstatistikk.....	s. 15
3. Materialer og metoder	s. 17
3.1 Prøvetagningslokalitetene.....	s. 18
3.2 Feltarbeidet og fremgangsmåte i felt.....	s. 18
3.3 Metodebeskrivelse for ” in-situ målingene” som ble gjennomført på hver prøvelokalitet.....	s. 19
3.4 Vannføringsmålinger i elva Kjetsåna.....	s. 20
3.5 Usikkerhet, feilkilder og metodekritikk ved feltarbeidet.....	s. 21
3.6 Metoder og utstyr benyttet i laboratoriearbeidet.....	s. 23
3.6.1 Turbiditet.....	s. 23
3.6.2 Suspendert stoff (seston) og glødetap.....	s. 24
3.6.3 Totalt organisk karbon.....	s. 25
3.6.4 Farge (absorbans 410 nm) og absorbans ved UV 254 nm.....	s. 25
3.6.5 pH.....	s. 26

3.6.6	Alkalitet.....	s. 26
3.6.7	Totalt nitrogen.....	s. 27
3.6.8	Totalt fosfor.....	s. 28
3.6.9	Klorofyll a.....	s. 28
3.6.10	Lineær regresjonsanalyse.....	s. 29
4.	Resultater.....	s. 30
4.1	Dybdeforhold, vannstand og vannføring.....	s. 30
4.1.1	Dybdeforhold.....	s. 30
4.1.2	Dybdeforhold i Voilan og vannstand under RV 9.....	s. 31
4.1.3	Dybdeforhold i Voilan og vannføring i Kjetsåna.....	s. 32
4.1.4	Temperatur.....	s. 33
4.1.5	Manuelle temperaturmålinger og automatisk logging av bunnvannstemperatur.....	s. 34
4.2	Vannkvalitet.....	s. 35
4.2.1	Konduktivitet.....	s. 35
4.2.2	Oksygen.....	s. 36
4.2.3	Oksygenmetning.....	s. 36
4.2.4	Siktedyp.....	s. 37
4.2.5	Turbiditet.....	s. 37
4.2.6	Suspendert stoff.....	s. 38
4.2.7	Glødetap som prosent av suspendert stoff.....	s. 39
4.2.8	Totalt organisk karbon.....	s. 39
4.2.9	Farge (absorbans 410 nm).....	s. 40
4.2.10	TOC korrelert mot farge.....	s. 41
4.2.11	Spesifikk farge.....	s. 41
4.2.12	Absorbans ved UV 254 nm.....	s. 42
4.2.13	TOC korrelert mot optisk tetthet.....	s. 43
4.2.14	Tilsynelatende farge.....	s. 43
4.2.15	pH.....	s. 44
4.2.16	Alkalitet.....	s. 44
4.2.17	Totalt nitrogen.....	s. 45

4.2.18	C:N-forhold.....	s. 46
4.2.19	Totalt fosfor.....	s. 47
4.2.20	N:P-forhold.....	s. 48
4.2.21	Klorofyll a.....	s. 49
4.2.22	Korrelasjon mellom totalt fosfor og klorofyll a.....	s. 50
5.	Diskusjon.....	s. 51
5.1	Hydrologi og vannkvalitet.....	s. 51
5.1.1	Dybdeforhold, vannstand og vannføring.....	s. 51
5.1.2	Konduktivitet.....	s. 53
5.1.3	Temperatur og oksygen.....	s. 53
5.1.4	Siktedyp og turbiditet.....	s. 55
5.1.5	Farge, optisk tetthet og totalt organisk karbon.....	s. 56
5.1.6	Suspendert stoff og organisk materiale.....	s. 58
5.1.7	pH og alkalitet.....	s. 58
5.1.8	Totalt nitrogen, totalt fosfor og klorofyll a.....	s. 59
5.2	Oppsummerende sammenlikning av Voilan og Breidflå.....	s. 64
5.3	Vurdering av hypotese 1: "Det er <i>ingen</i> klare forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og den avsnørte delen Voilan."	s. 64
5.4	Vurdering av hypotese 2: "Dersom det forekommer signifikante forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilan, skyldes dette <i>ikke</i> veifyllingen og dens påvirkning på vannutskiftning og dybdeforhold i Voilan."	s. 65
5.5	Avsluttende diskusjon.....	s. 69
6.	Konklusjon.....	s. 70

7. Referanseliste.....s. 72

8. Vedlegg

- Alle prøveresultatene

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Norges omfattende veinett strekker seg på kryss og tvers over det ganske land og har blitt en forutsetning for vår moderne livsførsel. Men hvordan påvirkes vannforekomster der veifyllinger legges tvers over innsjøer eller elver, og fysisk avsnører en innsjødel eller en elvekil fra resten av hovedbassenget? Her er det behov for mer kunnskap som er viktig i blant annet veiplanleggings- og naturforvaltingsarbeid.

Bakgrunnen for oppgaven er Statens vegvesens notat om "økologiske konfliktsonekartlegging" langs eksisterende stamvegnett (riks- og europaveier). Arbeidet har påvist store kunnskapshull om hvordan eksisterende vegnett påvirker naturmangfoldet. Et av kunnskapshullene gjelder effekten av veifyllinger på naturmangfoldet i vann. Naturmiljøet i vannforekomster som i stor grad er fysisk avsnørt vil opplagt kunne endre seg, men ofte er dokumentasjonen av påvirkningen så sparsom at riktige tiltak ikke kan forsvares uten mer kunnskap.

Vegvesenet tok kontakt med Universitetet for miljø- og biovitenskap (Norges miljø- og biovitenskapelige universitet) med forlag til problemstillinger for masteroppgave, for å øke kunnskapsnivået om denne type problemstillinger. Vegvesenet hadde sett seg ut 4 potensielle studie lokaliteter langs Otravassdraget i Setesdalen. Disse var alle avsnørt som følge av veifyllinger i vann. Valget av studieområde falt på Breidflå og dens avsnørte del Voilan, siden Voilan er kjent som et svært verdifullt våtmarksområde med blant annet et rikt fugleliv og en relativt sjelden karplanteflora (Miljødirektoratet 2013). Instituttet for plante- og miljøvitenskap tok det faglige ansvaret for oppgaven, mens Vegvesenet region sør bidro med finansiell støtte.

1.2 Formål med oppgaven

Målet med oppgaven er å undersøke om det er forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og den avsnørte Voilandelen. Hvis forskjeller forekommer, er det vurdert i hvilken grad dette skyldes veifyllingen. Den overordnede problemstillingen er at veifyllingen trolig fører til redusert

vanngjennomstrømning og oppstuing av sedimentmateriale, noe som igjen fører til endring i vannkvalitet og økologiske forhold i Voilandelen.

Som hjelp til å svare på disse forholdene er det fremsatt to hypoteser og to delspørsmål som vil bli drøftet og vurdert grundig i diskusjonsdelen av oppgaven. For å unngå å gjøre falske positive slutninger, samt å ha en bedre mulighet til å falsifisere hypotesene vil disse formuleres som såkalte null-hypoteser. Disse vil ikke bli testet direkte med statistikk, men det blir gjort en helhetsvurdering av alle resultatene sett under ett, der også annen relevant informasjon om de lokale forholdene blir tatt med i vurdering.

Hypotese nr. 1: "Det er *ingen* klare forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og den avsnørte delen Voilan".

Hypotese nr. 2: "Dersom det forekommer signifikante forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilan, skyldes dette *ikke* veifyllingen med dens påvirkning på vannutskiftning og dybdeforhold i Voilan".

Som hjelp til å vurdere hypotese nr. 2 utledes spørsmålene:

Spørsmål nr. 1: "Har veifyllingen minsket vannutskiftningen mellom Breidflå og Voilan?"

Spørsmål nr.2: "Har veifyllingen gjort dybdeforholdene i Voilan grunnere?"

I oppgaven er vannkvalitet og økologiske forhold definert som en samlebetegnelse på de fysiske og kjemiske tilstandsparametrene: turbiditet, totalt fosfor, totalt nitrogen, totalt organisk karbon, suspendert stoff, fargetall, siktedyp, konduktivitet, pH, alkalitet, oksygen og klorofyll a. I tillegg vurderes også vannføring, dybdeforhold og vanntemperatur.

Miljøgifter, tungmetaller eller biologiske kvalitetselementer vurderes ikke i denne oppgaven.

1.3 Hvordan belyse problemstillingen og besvare hypotesene i oppgaven

For å kunne svare på hypotesene og spørsmålene i oppgaven er det gjennomført feltarbeid i vekstsesongen fra og med 3. mai til og med 12. september 2013, fordelt på 7 feltrunder. Her er det for de ulike tilstandsparametrene tatt målinger direkte i felt i Voilan og Breidflå, samt gjort vannføringsmålinger i Voilans hovedtilførselselv Kjetsåna. Det er i tillegg tatt vannprøver som er transportert med til instituttet for videre analyser. For tolkning av flere av parametrene er disse

sammenliknet med vannforskriftens karakterisering og klassegrenser for vurdering av miljøtilstand i norske innsjøer. Dette gjør det mulig å vurdere absoluttverdiene og sette dem i en større sammenheng.

Det er ukjent hvordan vannkvaliteten og økologiske forhold var i både Breidflå og Voilan før veifyllingen ble bygget, så en direkte sammenlikning mellom før - og nåtilstand er ikke mulig. Feltarbeidet er lagt opp som en sammenlikning mellom Breidflå og Voilan ut i fra dagens forhold.

Det er dessuten fremskaffet gamle kart og flyfoto som blir sammenliknet med nåtilstanden for å gi en pekepinn på hvordan sedimentasjonstransporten og gjengroingen i området har utviklet seg. Geologiske kart, klimadata og opplysninger fra lokalkjente personer er også benyttet i en helhetsvurdering av situasjonen.

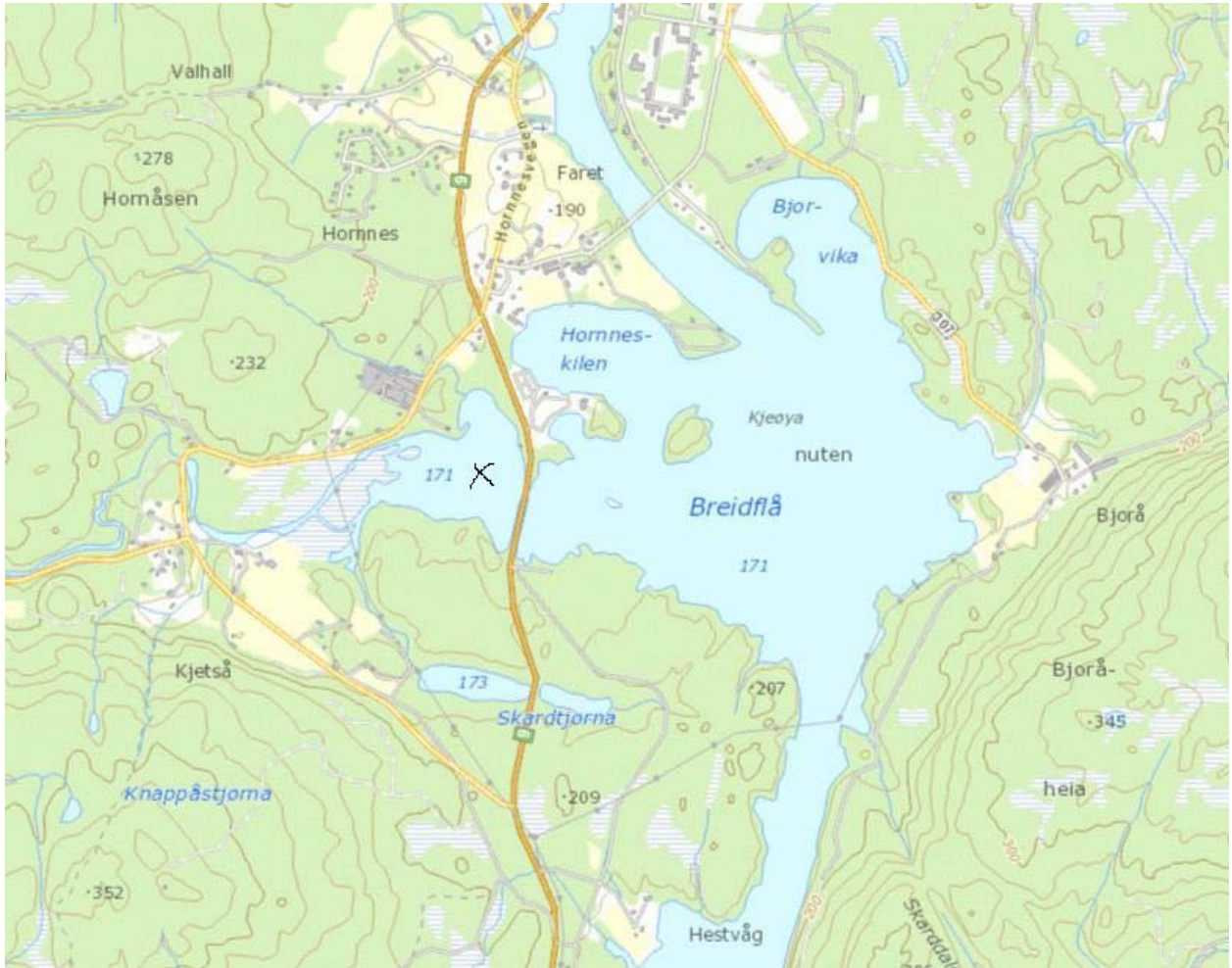
1.4 Tidligere studier

Det foreligger ingen tidligere studier eller undersøkelser direkte i Voilan eller Breidflå med hensyn på vannkvalitet, men NIVA har flere rapporter om vannkvalitet og biologiske forhold i Otravassdraget. I en rapport fra 2003 var konklusjonen at forurensningsbegrensende tiltak har gitt en betydelig bedring i vannkvalitet, med en tilbakevending av laksen, men forurensningssituasjonen fremdeles er et problem og hemmer artsdiversiteten blant bunnfaunaen (NIVA 2003). Som en del av implementeringen av vannrammedirektivet ble Otravassdraget fullkarakterisert i 2007. I den forbindelse beregnet NIVA med datahåndteringsverktøyet TEOTIL tilførsler av nitrogen og fosfor til vassdraget fra kjente kilder, og tilhørende vannkvalitet i alle vassdragsavsnitt (NIVA 2007). Beregningene viste at vannkvaliteten i store deler av Otra er nær naturtilstanden, men at enkeltstrekninger er belastet, og at de viktigste lokale tilførslene er fra jordbruket.

Et liknende tilfelle i Norge som kan ha overføringsverdi til denne oppgaven er situasjonen i Steinsfjorden med dens avsnøring fra Tyrifjorden ved veifyllingen i Kroksund. Her har NIVA over flere år gjort utredninger og undersøkelser av vannkvalitet og vannutskiftning mellom de to innsjøene. Blant annet er det vurdert muligheten for vannkvalitetsforbedring i Steinsfjorden gjennom økning av vannutskiftningen med Tyrifjorden (NIVA 1992 og 1996) og det er gjort beregninger og modelleringer for hvordan fosfor- og klorofyll konsentrasjonene vil avta ved en eventuell fjerning av veifyllinger i Kroksund (NIVA 2004).

2. Områdebeskrivelse

2.1 Oversiktskart over området



Figur 1. Topografisk kart over Breidflå og Voilandelen, samt riksvei 9 som krysser Breidflå. Nord er rett opp i kartet. Voilandelen ligger helt i vest, og er markert inn med en X. (Kartverket 2013). Målestokk ca. 1:25 777.

2.2 Breidflå

Breidflå er i følge "vann-nett.no" (2013) kategorisert som innsjø i Otravassdraget og ligger i Evje og Hornnes kommune i Aust Agder. Breidflå ligger 171 meter over havet og har innløp fra Otra i nord og

utløp i sør (figur 1). Breidflå har et overflateareal på 1.76 km², inkludert Voilandelen. Maksimumsdypet er angitt å være 43 meter og totalvolumet, inkludert Voilandelen, er 22.3*10⁶ m³. Videre er den typifisert til å være en klar, svært kalkfattig og middels stor innsjø, med en total organisk karbon-konsentrasjon på mellom 3- 5 mg/l. Den økologiske tilstanden antas å være dårlig. Her er bunnfaunaen det eneste kvalitetselementet som er blitt undersøkt, men denne oppgis til gjengjeld å være i en dårlig tilstand. Langtransportert forurensning er vurdert til å utgjøre en svært stor påvirkning og det er stor risiko for at miljømålet for Breidflå ikke nås innen 2021 (Vann-nett 2013).

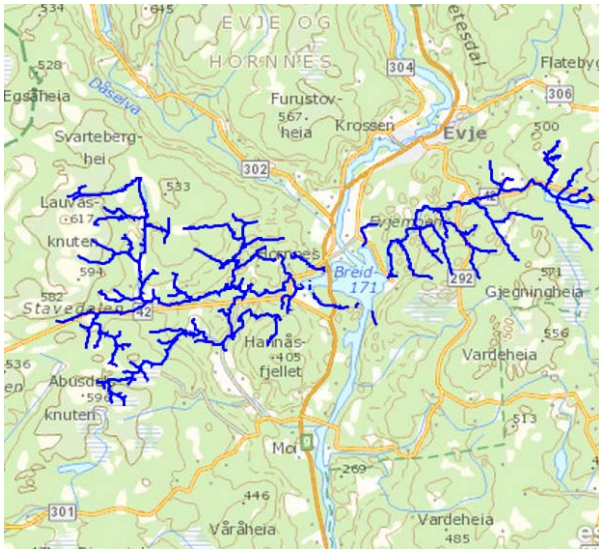
Vannføringsregimet i Otra er i stor grad regulert. Nærmeste dam oppstrøms er dammen i sørenden av Byglandsfjorden, bygd i 1973, denne påvirker også vannstanden i Breidflå.

2.3 Voilan

Voilandelen av Breidflå er en isolert vik i vestenden av innsjøen og har elven Kjetsåna som hovedtilførselselv (fig. 1, og fig. 2 under). Denne danner et elveos med en tydelig deltadannelse i utløpet. Voilan er i "vann-nett.no" (2013) ikke kategorisert som en egen vannforekomst, men er en del av innsjøen Breidflå. Det er ingen morfometriske data for Voilan. På grunnlag av Norges vassdrags- og energidirektorats karttjeneste på nett (NVE Atlas 2013) er innsjøarealet i Voilan estimert til å være 0.215 km². Arealet av vannspeilet tilsvarer en vannstand omtrent slik den er om sommeren, men være betraktelig større om våren eller høsten. Breidflås bekkefelt er karakterisert og klassifisert i Vann-nett (2013), og her faller Kjetsåna også inn, se figur 2 under. Her er vurderingene for vanntype og økologiske status den samme som for Breidflå, men her er forsuringsgraden i tillegg blitt vurdert som dårlig.

Direktoratet for naturforvaltning har gjort en feltkartlegging av biologien i Voilan i 2001 (Miljødirektoratet 2013) med vekt på artsmangfold og rødlistede arter. Her tok de også for seg landområdene som i hovedsak ligger over vann og fikk da et totalareal på 0.373 km². Naturtypen ble karakterisert som et elvedelta/mudderbanke av svært høy verdi og med stor regional betydning. Dette på grunn av dets særlig artsrike fugleliv og dets meget store betydning som rasteplass for vann- og vadefugler under trekk. Det er blant annet notert 17 rødlistede arter de siste de årene, og hvert år registreres det over 100 ulike arter under trekk. Voilan har også en relativt sjelden karplanteflora med flere regionalt sjeldne arter knyttet til mudderbanker og flomløp. Videre kommer det fram at området er under en langsom tilgroing, men har forandret seg relativt lite de seneste ti årene (dvs. 1990-2001), bortsett fra at hovedløpet ble endret ved gravearbeider i overgangen mellom 80- og 90- tallet. Tidligere ble vannet fordelt på flere løp, men nå renner elva ved normalvannstand bare i løpet lands sydsiden.

Dette har ført til en rask gjengroing av gamle løpsstrukturer på nordsiden og i midtre deler. En viss forbusking av indre/midtre deler av deltaet kan være gunstig for deler av fuglefaunaen, men hvis en slipper gjenroingen for langt vil alle sonene i deltaet forskyve seg utover, og det åpne deltaarealet som er av stor viktighet for vadefuglene vil kunne krympe betydelig (Miljødirektoratet 2013).



Figur 2. Tilførselsbekkene til Breidflå og Voilandelen slik de er tegnet inn i "vann-nett.no" (2013). Målestokk ca. 1:183 750.

Ifølge Pål Arnfinn Haugen i Statens vegvesenet (personlig meddelelse) ble vegfyllingen som skiller Voilan fra Breidflå anlagt allerede i 1890 årene i tilknytning til Setesdalsbanen. Da banen blei nedlagt kom riksvei 9 på samme sted i 1960-årene. Veifyllingen har en lengde på ca. 230 meter hvor åpningen for vanngjennomstrømning under brua er ca. 10 meter. Det antas at resten av veifyllingen er impermeabel for vanngjennomstrømning. Resultatet fra opploding av dybdeforholdene under brua er vist under resultater kapittel 4.1.2.

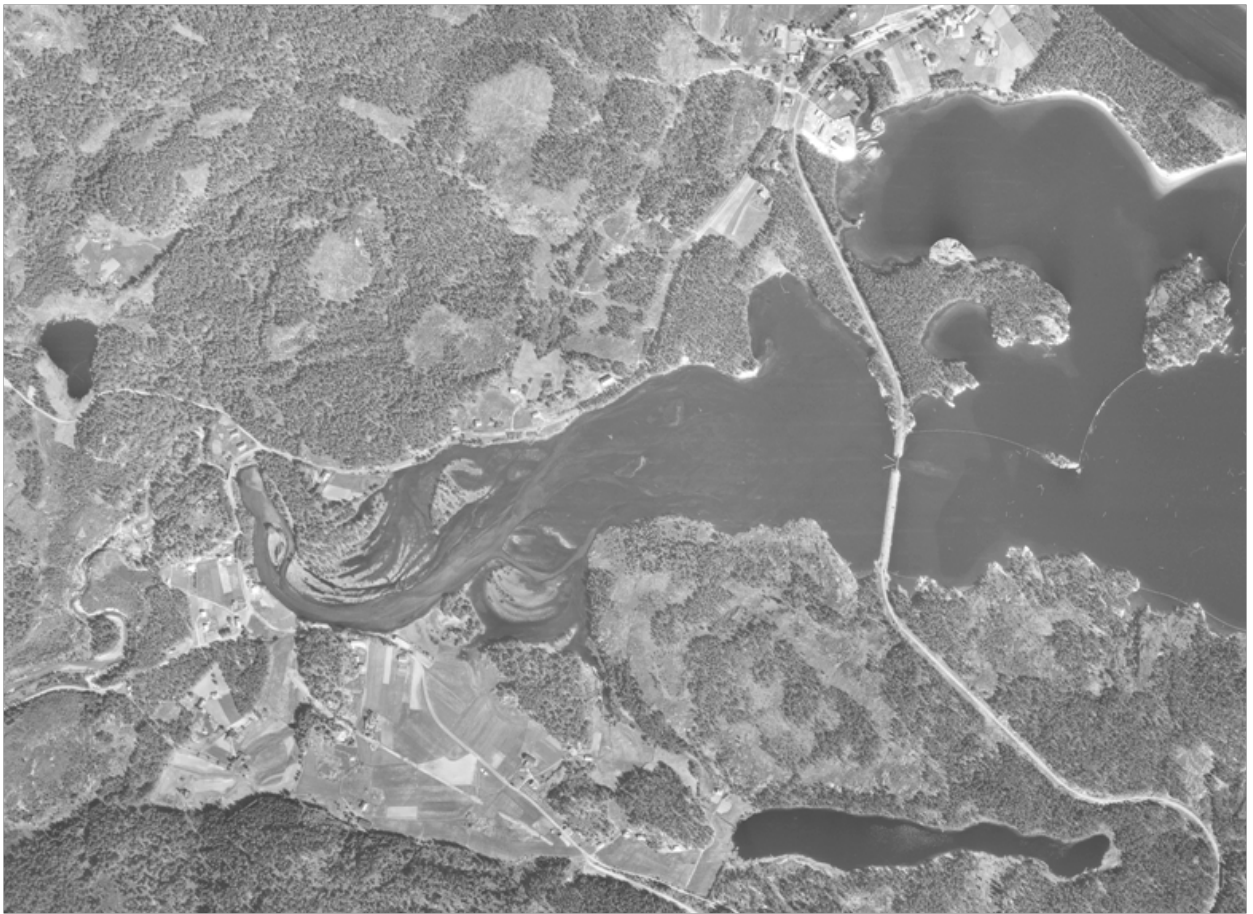
2.4 Historisk kart



Figur 3. Amtskart over Breidflå og Voilandelen. Årstallet det ble tegnet er ukjent. Amtskartene ble iflg. Kartverket (2013) utgitt mellom 1826 og 1916. Kartet må være laget før 1890 årene siden veifyllingen og Setesdalsbanen ikke er tegnet inn. Målestokk ca. 1:52 600.

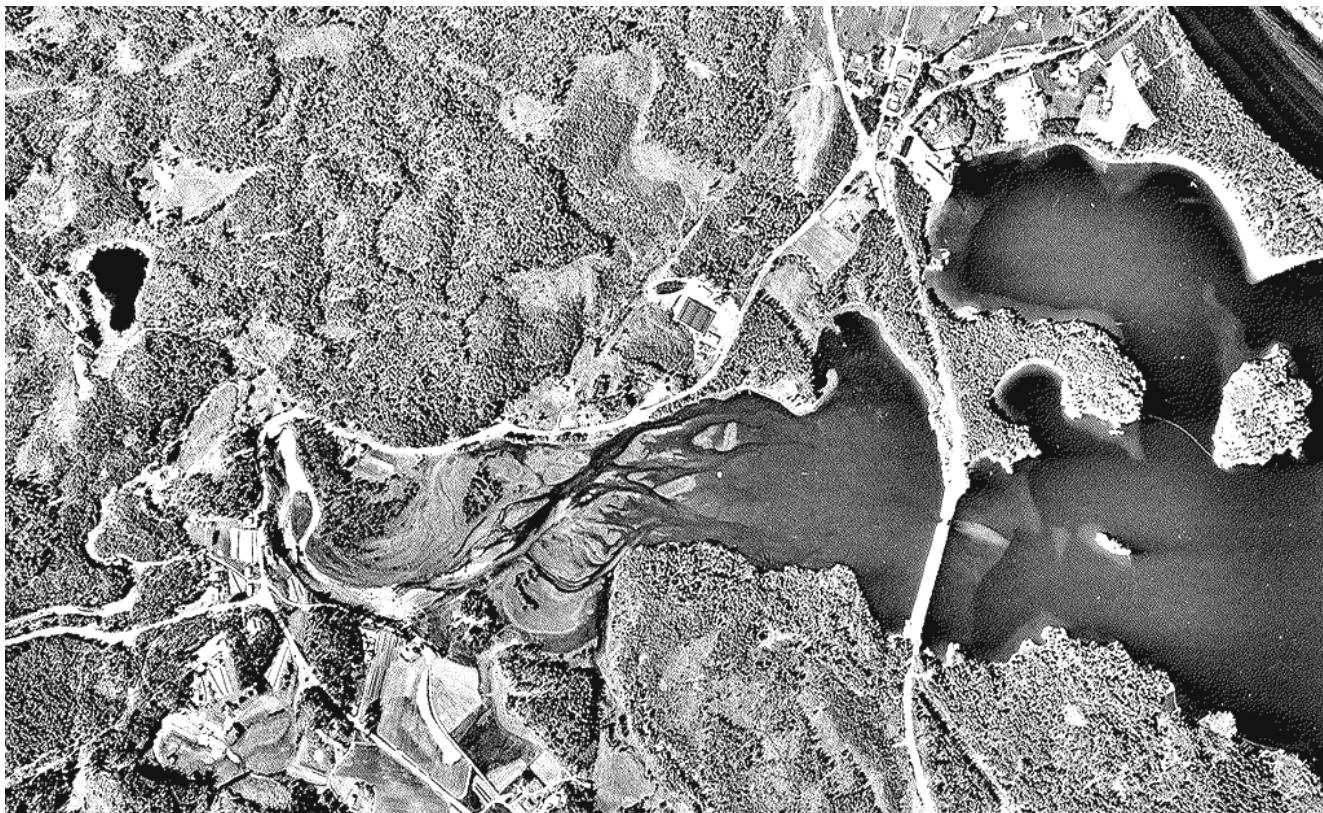
Kartet tolkes nærmere under avsnitt 5.4.2.

2.5 Flyfotografier



Figur 4. Flyfoto over Voilan og deler av Breidflå, tatt 12. juni 1958 (Statens kartverk 1958). Målestokk ca. 1:12 888.

Kartet tolkes nærmere under avsnitt 5.4.1 og 5.4.2.



Figur 5. Flyfoto fra 1972 over Voilan og deler av Breidflå. Det er ukjent når på året det er tatt (Evje og Hornnes kommune 2013). Målestokk ca. 1:13 650.

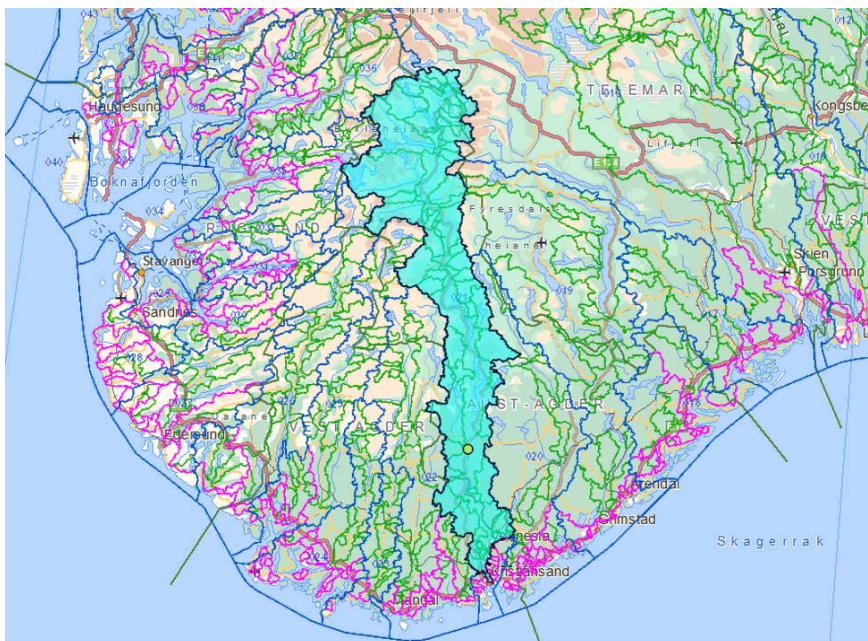
Kartet tolkes nærmere under avsnitt 5.4.2 i diskusjonsdelen.



Figur 6. Flyfoto over Voilan og deler av Breidflå tatt 30. mai 2009 (Statens kartverk 2009). Målestokk ca. 1:10 545.

Amtskartet og de tre flyfotografiene er tolket og drøftet i del 5.4.1 og del 5.4.2.

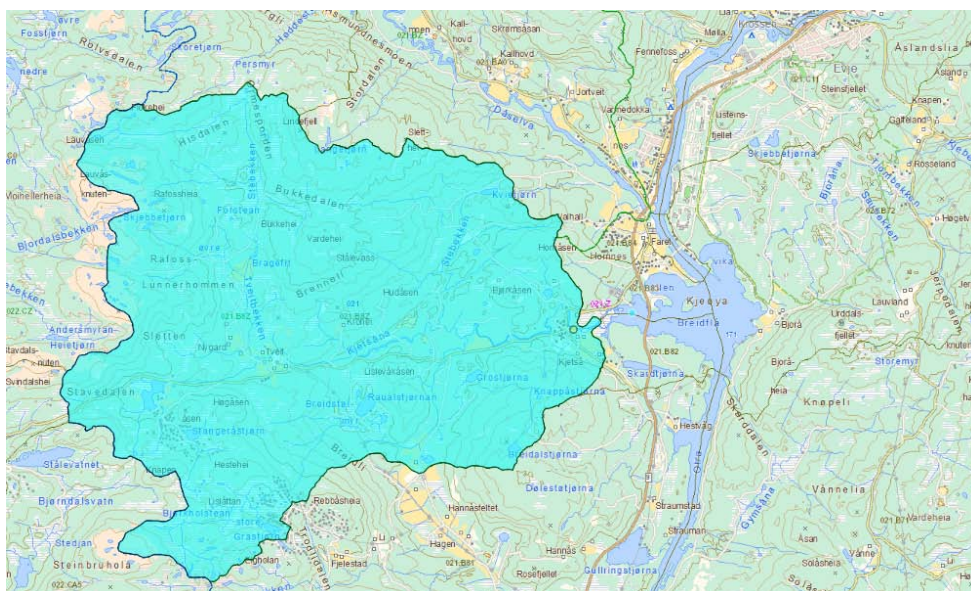
2.6 Nedbørsfelt



Figur 7. Kartet til venstre viser hele nedbørsfeltet til Otravassdraget, hvor Breidflå er markert inn med en grønn sirkel (Norges vassdrags- og energidirektorat 2013). Breidflås totale nedbørsfelt er den delen av Otras nedbørsfelt som ligger over dette punktet og utgjør iflg. "vann-nett.no" (2013) 3133

km². Målestokk ca. 1:3 800 000.

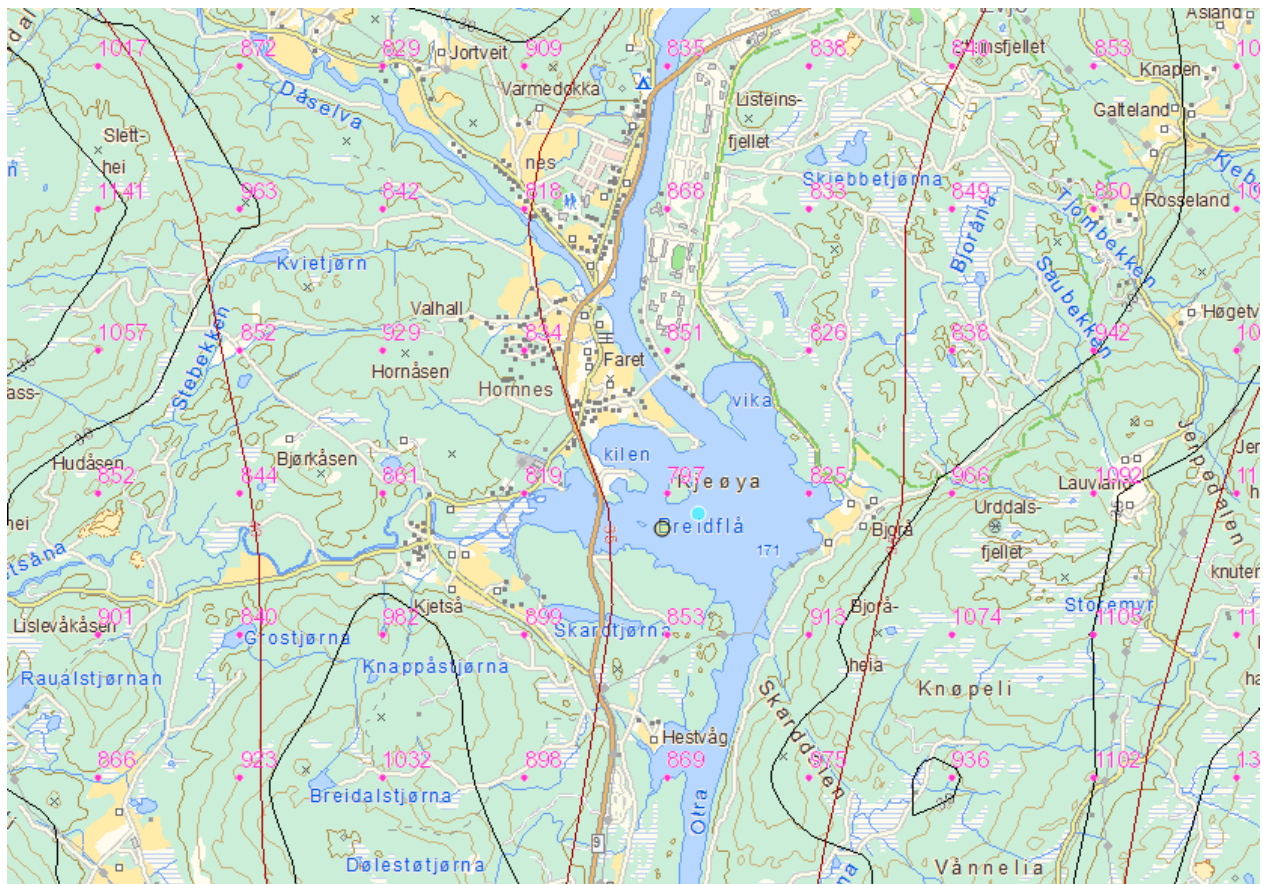
Ved å trekke det estimerte overflatearealet for Voilandelen fra Breidflå, blir den estimerte innsjøoverflaten for bare Breidflå på 1.55 km^2 . Det estimerte forholdet mellom Breidflås nedbørsfelt og dens innsjøoverflate blir da ca. 2012:1.



Figur 8. Kartet til venstre viser nedbørsfeltet til elva Kjetsåna, som er et sidevassdrag til Breidflå og Otra (Norges vassdrags og energidirektorat 2013). Målestokk ca. 1: 105 200.

Nedbørsfeltet til bare Voilan er for lite til å bli skilt ut som en egen vannforekomst i "vann-nett.no" (2013). Elva Kjetsånas nedbørsfelt er imidlertid kartlagt, og denne utgjør hoveddelen av Voilans nedbørsfelt, hvis vannutvekslingen med Breidflå holdes utenfor. Størrelsen på Kjetsånas nedbørsfelt er 37 km^2 . Nedbørsfeltet som drenerer fra nord for Voilan er estimert i karttjenesten NVE Atlas (Norges vassdrags og energidirektorat 2013) til å være omtrent 0.77 km^2 , mens nedbørsfeltet i sør som drenerer fra innsjøen Skardtjørna er estimert til å være omtrent 0.6 km^2 . Det estimerte totale nedbørsfeltet for Voilan blir da ca. 38.4 km^2 , og det estimerte forholdet mellom nedbørsfelt og innsjøoverflate er ca. 179:1.

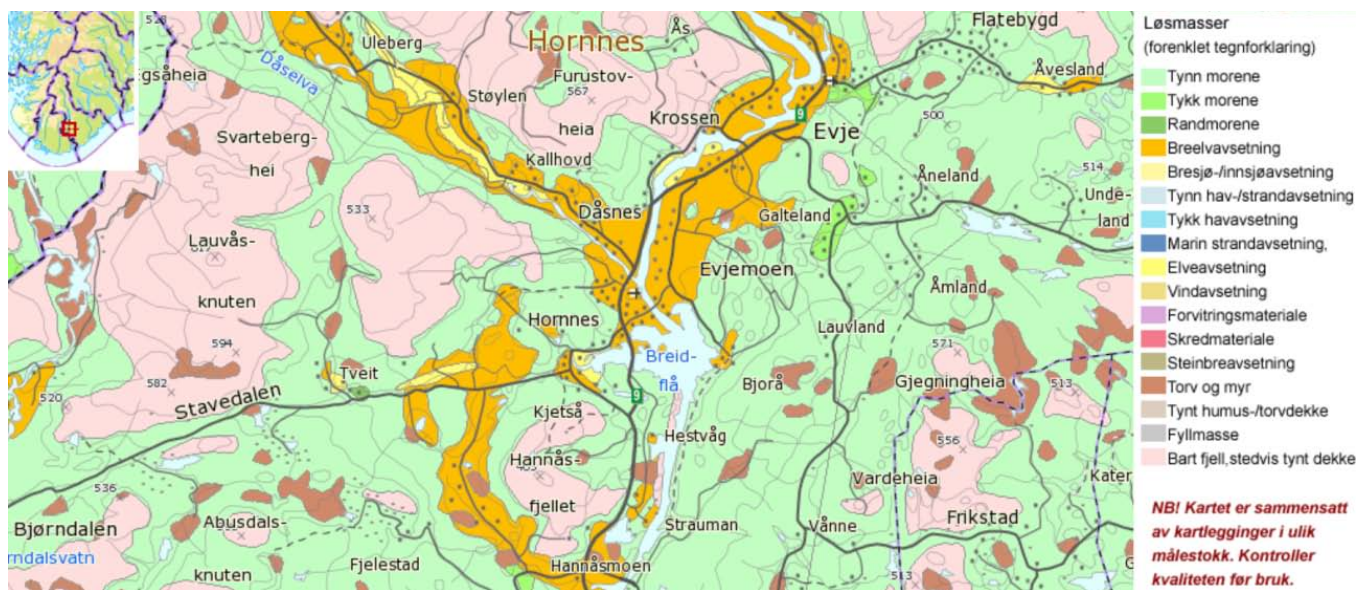
2.7 Avrenning



Figur 9. Årsavrenningen i de næreste delene av nedbørsfeltene til Voilan og Breidflå for normalperioden 1961-90. Vist som punkter, med enheten mm/år. Hentet fra NVE Atlas (Norges vassdrags og energidirektorat 2013). Målestokk ca. 1:40 461.

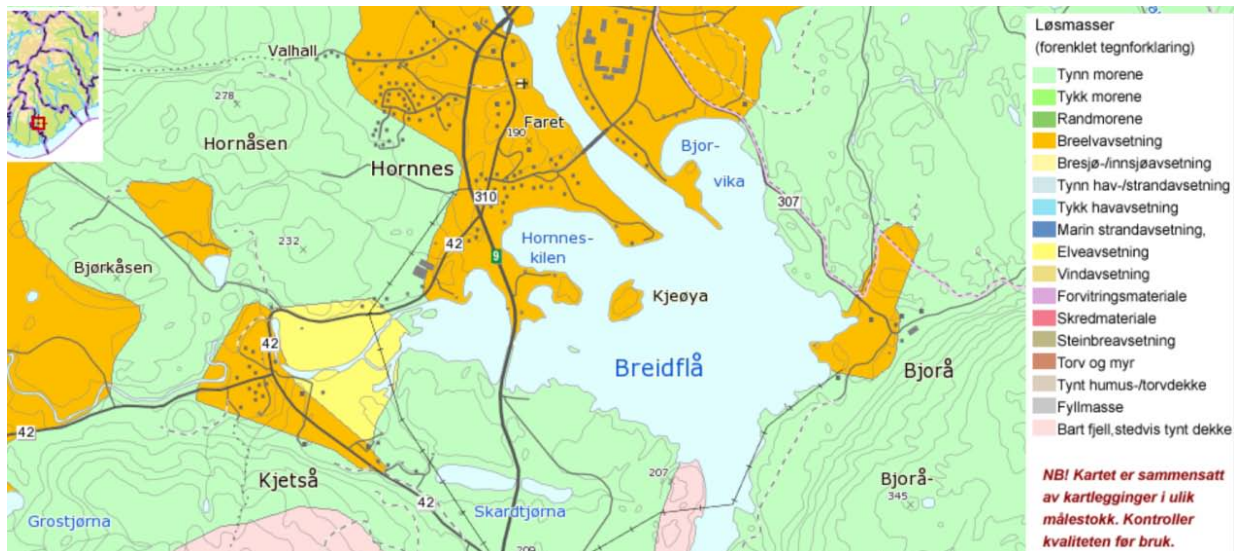
Årsavrenningen i forrige normalperiode er i nærområdet til Voilan og Breidflå mellom 797 mm/år og 1141 mm/år (figur 9).

2.8 Geologiske forhold



Figur 10. Løsmassekart over nedbørsfeltet til Voilan, og en liten del av Breidflås nedbørsfelt (Norges geologiske undersøkelse 2013). Målestokk ca. 1: 131 500.

Området er dominert av moreneavsetninger i et tynt eller usammenhengende dekke (fig. 10). Tykkelsene på avsetningene er ifølge NGU (2013) normalt mindre enn 0.5 meter, men kan lokalt være noe mer. I tillegg forekommer det brelvavsetninger hvor sedimentene består av sorterte og ofte skråstilte lag av forskjellig kornstørrelse fra fin sand til stein og blokk. Mektigheten er ofte flere tiltalls meter. Bart fjell utgjør også en betydelig del av området. Ifølge Norges geologiske undersøkelse (2013) er grunnfjellet i området en berggrunn som er gneisdominert, kalk- og næringsfattig, samt forvittringsmotstandig. Hele området ligger over marin grense.



Figur 11. Løsmassekart som for figur 10, men med en mindre målestokk (Norges geologiske undersøkelse 2013). Målestokk ca. 1: 37 571.

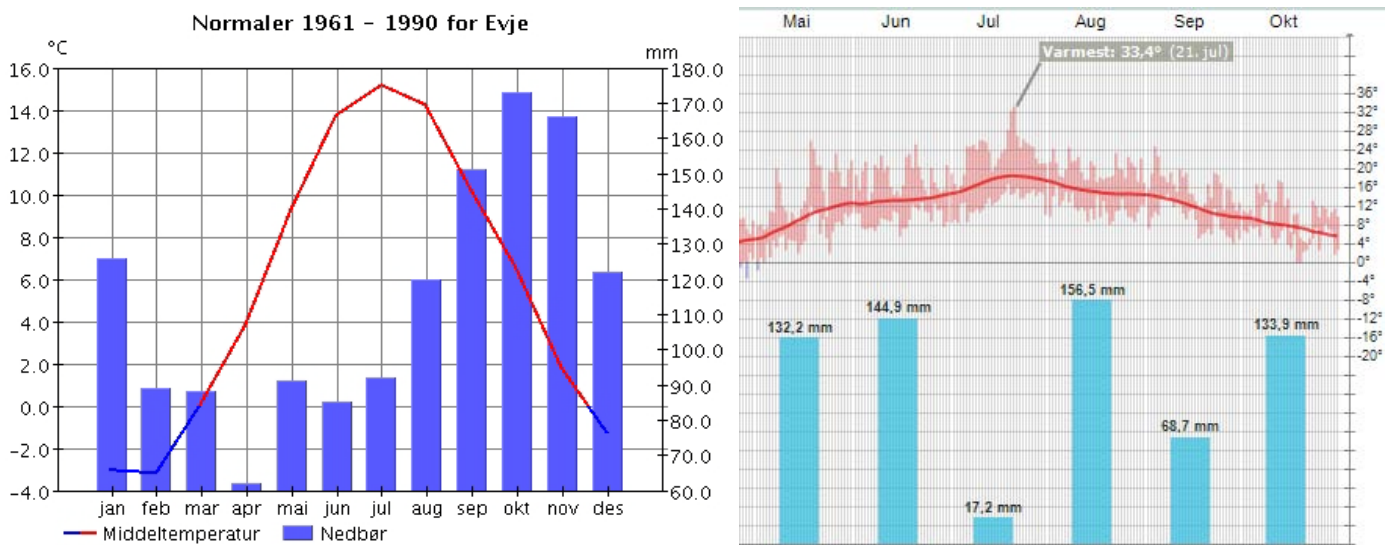
På kartutsnittet (fig. 11) kommer det tydelig frem at det er dannet fluviale elve- og bekkeavsetninger rett foran brelvavsetningene innerst ved elveoset i Voilan. Ifølge Norges geologiske undersøkelse (2013) domineres denne sedimenttypen av sortert og avrundet sand og grus, hvor mektigheten kan variere fra 0.5 til 10 meter. Elva Kjetsåna kan skimtes buktende langs vei 42 lengst til venstre i kartet og munner ut i overgangen mellom brelv- og elveavsetningene.



Figur 12. Grunnvannspotensialet for nærområdet til Voilan og Breidflå. De lysegrå områdene er uten grunnvannspotensiale i løsmassene, mens de blågrå områdene har antatt betydelig grunnvannspotensiale (Norges geologiske undersøkelse. Granada. 2013). Målestokk ca. 1: 105 200.

Den nærmeste brønnen til Voilan er angitt som en fjellbrønn (blå prikk fig. 12), så det finnes sannsynligvis ikke noen store løsmasseakviferer i umiddelbar nærhet.

2.9 Klimatiske forhold og værstatistikk



Figur 13 og 14. Figuren over til venstre viser midlere månedstemperatur og total månedsnedbør i Evje for forrige normalperiode hentet fra www.eklima.no (Meteorologisk institutt. 2013). Figuren over til høyre viser temperatur- og nedbørsmålinger for Byglandsfjord målestasjon fra mai til og med oktober 2013 hentet fra www.yr.no (Meteorologisk institutt. 2013).

Tabell 1. Interpolert normalperiode for middeltemperatur og månedsnedbør hentet fra www.eklima.no og www.yr.no (Meteorologisk institutt. 2013), sammenlikning med observasjoner fra mai til og med september 2013.

Temperatur:				Nedbør:		
Periode:	Interpolert normalperiode 1961-90 for Evje:	Målte verdier for Byglandsfjord målestasjon i 2013:	Temperatur avvik fra normalperioden:	Interpolert Normalperiode 1961-90 for Evje:	Målte verdier for Byglandsfjord målestasjon i 2013:	Nedbørsavvik fra normalperioden:
Mai	9.2 °C	9.6 °C	+ 4 %	91 mm	132.2 mm	+ 46 %
Juni	13.7 °C	13.3 °C	-3 %	85 mm	144.9 mm	+ 70 %
Juli	15.1 °C	17.6 °C	+ 17 %	92 mm	17.2 mm	- 81 %
August	14.2 °C	15.3 °C	+ 8 %	120 mm	156.5 mm	+30 %
September	10.2 °C	12.0 °C	+ 17 %	151 mm	68.7 mm	- 54 %

Den nærmeste målestasjonen for temperatur og nedbør er Byglandsfjord målestasjon, som ligger 15.3 km unna Breidflå og 207 m.o.h. Disse observasjonene kan derfor avvike noe fra forholdene ved Breidflå og Voilan under feltarbeidet 2013.

Tabell 1 kan gi en viss pekepinn på hvor representative temperatur- og nedbørsforholdene var under feltperioden 3. mai til 12. september 2013 sammenliknet med forrige normalperiode. Tabellen viser at temperaturene i juli og september skiller seg mest fra normalperioden med 17 % varmere enn normalt. For juli utgjør det 2.6 °C varmere inn normalt.

For nedbør var det i 2013 store forskjeller fra normalperioden, med mer nedbør enn normalt i både mai, juni og august. Mens det var tørt i juli og september. I en klimatisk sammenheng er det vanlig med årsvariasjoner over og under normalverdiene.

3. Materialer og metoder

3.1 Prøvetagningslokalitetene

Det var i alt 5 feltlokaliteter som var langt opp langs en vest, øst gradient. Disse er kalt Kjetsåna, Voilan 1, Voilan 2, Voilan 3 og Breidflå. Lokalitetene er merket av i figur 15 under, med henholdsvis K, V1,V2,V3 og B.

Feltlokalitetene har følgende GPS - posisjoner og karakteristikk:

Kjetsåna: N58°32.857' E007°45.267'

Elva Kjetsåna regnes som hovedinnløpselven til Voilan i flg. nettjenesten til NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat 2013). Lokaliteten ligger ca. 3-4 meter høyere i terrenget enn de andre prøvelokalitetene.

Voilan 1: N58°32.703' E007°45.604'

Denne lokaliteten representerer en form for videreføring av Kjetsånas løp ut i Voilan og ligger ved hovedløpet i sør, slik DN beskrev (Miljødirektoratet 2013). Voilan 1 ligger svært nær land og en privat tomt med gårddrift og okser på beite fra midten av mai til midten av oktober iflg. grunneier Nils Osmund Hegland (personlig meddelelse). Bunnforholdene bestod stort sett av grus og sand, men er ikke undersøkt i detalj.

Voilan 2: N58°32.892' E007°46.306'

Denne prøvelokaliteten representerer hovedarealet i Voilan. Her var det mulig å se til bunn under det meste av feltperioden. Bunnforholdene er plane og i all hovedsak myke.

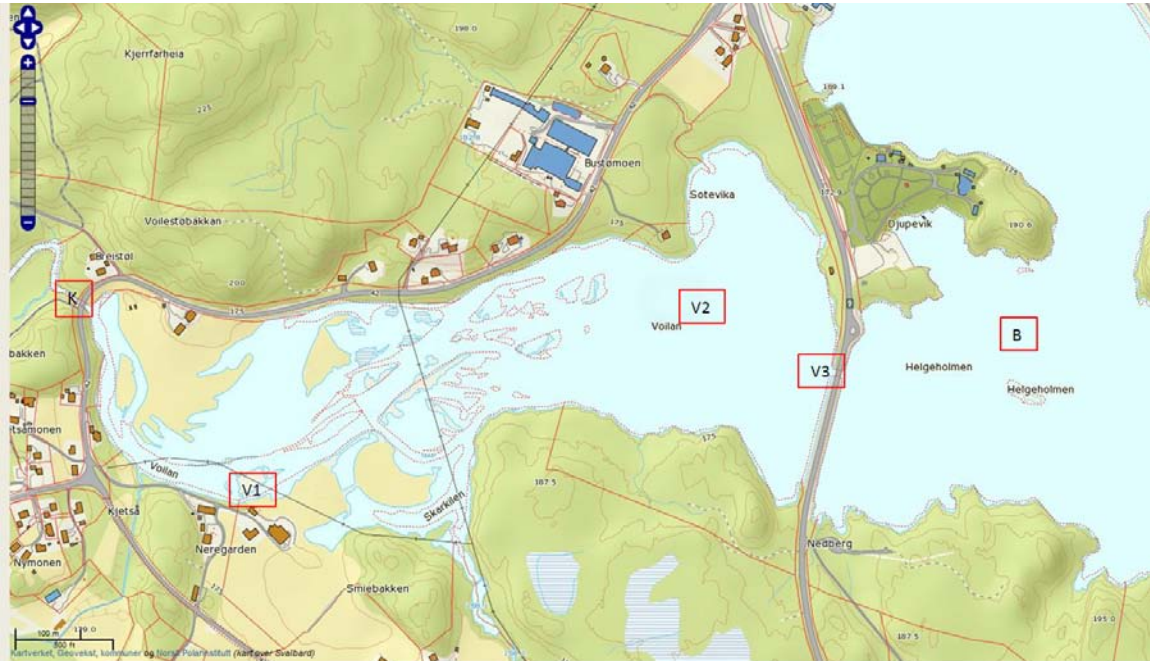
Voilan 3: N58°32.866' E007°46.503'

Prøvelokaliteten er bare 4-5 meter fra broåpningen under veifyllingen. Her kan vannet lett strømme begge veier fra enten Voilan eller Breidflå.

Breidflå: N58°32.921 E007°46.816'

Denne prøvelokaliteten representerer innsjøen Breidflå og har et mye større dyp enn Voilan 1, Voilan 2 og Voilan 3.

Den håndholdte GPSen hadde en nøyaktighet på ca. 3-4 meter ved de fleste målingene. Og høyden over havet for Voilan 1 viste 158 meter.



Figur 15: Kartutsnitt der de fem prøvelokalitetene er merket inn (Kartverket 2013). K= Kjetsånelven, V1= Voilan 1, V2= Voilan 2, V3= Voilan 3 og B= Breidflå. Målestokk ca. 1:11 600.

3.2 Generelt om feltarbeidet og framgangsmåte i felt

Hovedhensikten med feltundersøkelsene var å sammenlikne de fysisk-, kjemiske variablene for Voilan 1, Voilan 2 og Voilan 3 med Breidflå for å svare på hypotesene i oppgaven. Ved disse lokalitetene er det hentet vannprøver og gjort målinger direkte i felt fra båt. (Undertegnede hadde med seg en feltassistent ved hver felttur, som manøvrerte robåten og hjalp til med bæring av utstyr. Assistentene gjorde ikke målinger eller tok vannprøver.) Målet med feltarbeidet var også å få en viss oversikt over hydrologi og strømningsforhold i Voilan. Vannprøvene fra Voilan 1-3 og Breidflå ble analysert på laboratoriet for totalt nitrogeninnhold, totalt fosforinnhold, totalt organisk karbon, turbiditet, pH, alkalitet, virkelig farge, suspendert stoff, glødetap og klorofyll a. I felt ble det på de samme prøvelokalitetene gjort in-situ målinger av temperatur, konduktivitet, løst oksygeninnhold og oksygenmetning, siktedyp og tilsynelatende farge. Det er også foretatt måling av vannstanden under brua i veifyllingen (RV9) og dybdemåling på hver lokalitet. Små HOBO- loggere ble lagt på bunnen på Voilan 1-3 hvor de automatisk registrerte vanntemperaturen hver time gjennom hele feltperioden. I Kjetsåna er det foretatt

vannføringsmålinger med saltløsningsmetoden, samt temperatur- og konduktivitetmåling i den forbindelse, og som er sammenliknet med de andre prøvelokalitetene. Dybdeforholdene på hver lokalitet er vist i egen figur under resultatdelen.

Det var i alt syv turer i felt som var forsøkt lagt med jevne intervaller på omtrent 3 uker, med unntak av siste felttur som ble gjennomført så sent som mulig. Feltdatoene var valgt for å få med størsteparten av vekstperioden med økning i temperatur og lys, og med en siste felttur så sent det lot seg praktisk gjennomføre, for å få med en nedgang i temperatur og lystilgang. Dette er de følgende feltdatoene:

1.) 3.mai, 2.) 21.-22. mai, 3.) 8.-9. juni, 4.) 29.-30. juni, 5.) 20. juli, 6.) 12.august og 7.) 11.-12. september.

Vannprøver og feltmålinger ble ved de første feltturene tatt fra robåt og senere kano, ettersom vannstanden sank i løpet av sommeren og gjorde det for grunt for robåt enkelte steder. Målingene og vannprøvene ble foretatt på 1 meters dyp. En vertikal vannprøvehenter ble benyttet for å ta vannprøver fra 1 meters dyp på alle lokalitetene, bortsett fra på lokaliteten Voilan 2 der dybdeforholdene var under 1 meter. Disse ble isteden tatt på mellom ca. 0.3 og 0.5 meters dyp. Dette for å unngå å virvle opp bunnsedimenter av ulikt slag og forurensede prøvene. Også for Voilan 1 var vannstanden ved 5. og 6. felttur så lav at vannprøver og målinger fra 0.5 meter måtte benyttes. Det samme gjelder for Voilan 3 under 6. felttur. Det ble benyttet 0.5 liters plastflasker for vannprøvene som skulle analyseres på instituttlaboratoriet og 2.5 liters plastdunker for vannprøvene som skulle filtreres i felt for suspendert stoff og klorofyll a. Flaskene og dunkene ble skylt grundig tre ganger hver før de ble benyttet og senere oppbevart mørkt og kjølig.

3.3 Metodebeskrivelse for ” in-situ målingene” som ble gjennomført på hver prøvelokalitet

Konduktivitet og temperatur ble målt med en håndholdt ledningsevne måler som kan senkes ned til ønsket dybde. Instrumentet korrigerer for at ledningsevnen er temperaturavhengig. Apparatet fungerer ved at den elektriske motstanden mellom to flater måles, der den inverse av motstanden kalles ledningsevne eller konduktivitet. Enheten oppgis i milliSiemens pr. meter (mS/m). For å måle løst oksygen og oksygenmetning ble det benyttet et håndholdt måleinstrument, denne metoden er elektrokjemisk og tar også med i beregning at O₂-metning er temperaturavhengig. Apparatet har en oksygenelektrode hvor oksygenet i vannet diffunderer gjennom en selektiv membran og dernest reagerer med to metall-elektroder i et kammer med en elektrolytt. Siktedyptet ble målt med en ”secchi-

skive” som senkes ned til det dypet hvor platen ikke lenger er synlig. På halve siktedypet ble tilsynelatende farge vurdert med skiva som bakgrunn. Strøms modifisering av Lundqvists skala er benyttet for å angi farge i felt (Økland & Økland. 2006. s.69). Med håndholdt ekkolodd direkte fra båt ble det ved hver felttur målt hvordan dybdeforholdene på lokalitetene var. Bortsett fra for Breidflå som bare ble målt 3 ganger. Disse målingene er ikke å betrakte som gyldige vannstandsmålinger, siden bunnprofilen sannsynligvis ikke er helt stabilt og målingene ikke ble gjort på eksakt samme sted hver gang. De kan gi en beskrivelse av hvordan dybdeforholdene er på hver lokalitet, og til en viss grad hvordan de endrer seg fra gang til gang. De små endringene i vannstand for Breidflå-målingene kan ikke sammenliknes direkte med dybdene i Voilan, eller vannstanden under brua, da det ikke var mulig å ankre opp i Breidflå. Dette gjorde det vanskelig å måle på samme posisjon hver gang. Dermed er nok bunnprofilen også forskjellig fra gang til gang. Ved 7. feltturen den 11. september ble også bunnprofilen under brua ved riksvei 9 loddet opp, for å kunne så noe om potensialet for vanngjennomstrømning mellom Voilan og Breidflå.

For å måle endringer i vannstand under brua ble en fast og stabil betongkant i veifyllingen benyttet som referansemålepunkt. Her ble målingene angitt som antall centimeter over eller under betongkanten.

I tillegg til de manuelle temperaturmålingene ved hvert feltbesøk ble små Hobo-loggere lagt på bunn av prøvelokalitetene Voilan 1, Voilan 2 og Voilan 3 ved første felttur 3. mai. Det var alt dypt ved lokaliteten Breidflå (ca. 20 meter) til at en Hobo-logger kunne legges på bunnen der. Loggerne målte temperaturen hver time gjennom hele døgnet og lagrer dem, og kan når de tas opp kobles til pc hvor man henter ut alle tallverdiene for hele feltperioden. Hver Hobo-logger ble bundet under en flat takstein for å ligge i skyggen og festet til noe fast på land med et tau slik at det var mulig å hente dem opp igjen senere. Ved Voilan 2 ble taksteinen festet med tau til en plastkanna som fungerte som dupp.

3.4 Vannføringsmålinger i elva Kjetsåna

Vannføringen i Kjetsåna ble ved hver felttur målt ved hjelp av saltløsningsmetoden utviklet av Dag Hongve, som beskrevet av Helge Lundekvam (1998). Ved denne forenklede metoden med direkte tilsetning av tørrsalt slipper man å kalibrere konduktivitetsmåleren med utblanding av saltløsning i vann fra bekken. Forutsetningen er at forholdene i bekken er slik at den tilsatte mengden salt ikke reagerer med bekkevannet og dermed gir et annet utslag på ledningsevnen enn teorien forutsetter. Dvs. forholdsvis lav turbiditet og lavt innhold av suspendert stoff. Disse forholdene så ut til å være gunstige i Kjetsåna.

Saltløsningsmetoden baserer seg på kontinuitetsprinsippet: (Volum a* konduktivitet a) = (Volum b* konduktivitet b), på bakgrunn av en teoretisk sammenheng mellom konduktivitet og saltkonsentrasjon. En viktig forutsetning er at saltet blir tilsatt i et strekk i elva med tilstrekkelig turbulens slik at saltet blir fullt innblandet og fullstendig oppløst i vannmassene.

Under vannføringsmålingene ble først bakgrunnskonduktivitet og temperatur målt, deretter ble vanlig NaCl tilsatt direkte i elva i ulike doser avhengig av hvor stor vannføringen virket å være den aktuelle feltturen. Et lite stykke nedstrøms ble endringer i konduktivitet registrert med det håndholdte måleinstrumentet ettersom det oppløste saltet passerte målepunktet som en bølge. Konduktiviteten ble registrert til bakgrunnsnivået var nådd. Vannføringa ble deretter regnet ut ved først å finne integralet i "konduktivitet over tid- grafen", fratrukket bakgrunnsverdien, og deretter benytte følgende likning:

$$Q = \frac{\text{Saltmengde} * 10^6}{F * T_k * \text{Integral}}$$

Der:

Q= vannføring i liter/sekund

Saltmengde = tilsatt NaCl i kg

10^6 = omregningsfaktor fra kg til mg

F = saltkonsentrasjon (mg/l) som gir et utsalg i konduktivitet på 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ved 25 °C.

T_k = Temperaturavhengig korreksjonsfaktor for konduktivitet. Tabellen for de aktuelle verdiene er utelatt her.

Integral = arealet under konduktivitet/tid grafen fratrukket bakgrunnsverdiene.

3.5 Usikkerhet, feilkilder og metodekritikk ved feltarbeidet

Total dybde på Voilan 2 kan ha vært litt større enn det ekkoloddet viste, som følge av mye vannplanter i bunn. Dypet er i så tilfelle maksimalt 0.4 meter dypere enn det som er angitt i resultatdelen.

Usikkerheten i det håndholdte apparatet som måler temperatur, samt Hobo-loggerne, ligger i størrelsesorden +/- 0.1 – 0.2°C og nøyaktigheten er +/- 0.1°C. Temperaturen ble også validert med apparatet som ble brukt til å måle oksygeninnhold og oksygenmetning. Denne viste systematisk ca. 0.1°-

0.2°C høyere temperatur enn det konduktivitetsmåleren gjorde, men siden forskjellen var såpass liten benyttet jeg bare verdiene fra konduktivitetsmåleren. Usikkerheten for oksygen målt som løst O₂ er +/- 0.1 – 0.2 mg/l og +/- 0.1 – 0.2 % ved O₂-metning, mens nøyaktigheten oppgis i bruksanvisningen til å være +/- 1.5 % når oksygenmetningen er rundt 100 %. For løst oksygen antas samme størrelsesorden. Konduktivitetsmåleren var ikke stilt inn på desimalnivå, men viste heltall i enheten µS/cm. Nøyaktigheten er oppgitt til å være +/- 0.5 %, mens usikkerheten sannsynligvis er i intervallet +/- 0.1 – 0.2 µS/cm. I resultatdelen er konduktiviteten angitt som mS/m da dette bør brukes som standard iflg. Norsk standard (NSF 1993d. NS-ISO 7888). (1 µS/cm = 0.1 mS/m)

For sammenlikningens skyld burde helst alle målingene og vannprøvene blitt tatt på samme dyp. Dette lot seg ikke gjøre da vannstanden og dybdeforholdene i Voilan var mye grunnere enn det på som på forhånd var antatt. Det forelå ingen dybdekart over Voilan. Det ble målt temperatur, konduktivitet, løst- og mettet oksygeninnhold på både 0.5 og 1 meter ved de prøvelokaliteten hvor det var mulig. Resultatene viser at det var ubetydelige verdiforskjeller på parametrene på 0.2-0.5 meters - og 1 meters dyp.

For nesten alle målingene på Voilan 1, Voilan 2 og Voilan 3 gikk siktedypet helt til bunns. Så det blir her snakk om et teoretisk minimums siktedyp. Valget falt derfor på å vurdere tilsynelatende farg på bunn og ikke halve teoretiske siktedyp, da siktedypet nok ville vært mye større hvis bunnforholdene var dypere. En annen feilkilde er siktedyp - og fargevurdering under 3. felttur 8.-9. juni. Da var ikke "secchi-skive" med blant utstyret og en improvisert alternativ metode ble benyttet, nemlig en lysegrå vannprøvedunk med lysegrå kork. Denne reflekterer sannsynligvis ikke lyset like godt som en hvit "secchi-skive" dermed er denne verdien for Breidflå oppgitt som en minimumsverdi, da den sanne verdien nok var høyere.

Filtrering av vannprøvene for suspendert stoff og klorofyll a bør gjennomføres så hurtig som mulig etter at de er tatt. Dette gjøres vanligvis i felt, men av tekniske årsaker var dette ikke mulig. Prøvene ble ved de to første feltturene oppbevart kjølig og tatt med på laboratoriet på UMB og filtrert der påfølgende dag. For felttur 3 t.o.m. 7 ble vannprøvene filtrert i privat hjem i Kragerø, samme dag eller dagen etter de var tatt, siden dette lå nærmest.

En mulig feilkilde ved vannprøvetakningen er at det ved enkelte anledninger kan ha blitt virvlet opp bunnsedimenter under roing og dregging. Dette antas å ha skjedd ved prøvestasjon Voilan 2 under 4. felttur 29. juni.

Det er bare oppgitt en minimumsverdi for 2. felttur 22. mai for vannstandsmålingen ved betongkanten under brua. Vannstanden var da såpass høy at det ikke var mulig å gå helt ned til fots under brua. Samtidig var det mye vind, og var så sterk strøm under brua, at det var umulig å komme til med robåt.

At Hobo-loggerne ligger på litt ulikt dyp må tas med i beregningen når man sammenlikner temperaturverdiene. Se figur 17 over dybdeendringene for Voilan 1- Voilan 3 i resultatdelen.

Metodekritikk av vannføringsmetoden

Den benyttede metoden var muligens ikke den mest ideelle metoden for hver felttur siden utblandingsforholdene var veldig varierende og det dessuten fantes bakevjer som saltet kunne ende opp i, men dette var den eneste tilgjengelige metoden for feltarbeidet. De tre første feltmålingene var på et litt annet strekk oppstrøms i elva enn de fire siste feltturene. Resultatet fra vannføringsmålingene foretatt under 4. felttur 29. juni kan ikke brukes da det var svært stor variasjon mellom de tre målingene og mistanke om målefeil var opplagt. Dette skyldes mest sannsynlig at utblandingsevnen i elva var for liten sammenliknet med mengden tilsatt salt. Ifølge Lundekvam (1998) vil man ved bruk av saltløsningsmetoden for å måle vannføring under optimale forhold oppnå en nøyaktighet på +/- 2-5 %, mens praktisk oppnåelig nøyaktighet vil ligge i området +/- 5-20 %.

3.6 Metoder og utstyr benyttet i laboratoriearbeidet

3.6.1 Turbiditet

Metoden måler uoppløst stoff i vannprøven. Fremgangsmåte og metode fulgte Norsk Standard (NSF 1994e) ved bruk av et turbidimeter. Her fylles små glasskyvetter med 10 ml prøvevann. Romtemperert prøvevann ristes forsiktig slik at ikke små luftbobler skal forstyrre målingene. I apparatet bestråles vannprøven med lys med bølgelengde 860 nm og spredningen måles vinkelrett på lysretningen. Formazin ($C_2H_4N_2$) brukes som standard og angis i FNU – "Formazin Nephelometric Units". To blankprøver med destillert vann (DI-vann) brukes for å kontrollere og korrigere målingene.

Feilkilder: Prøvene bør iflg. Norsk Standard helst måles innen 24 timer, men i noen av målingen tok det et par dager før prøvene analysert. Verdiene ved noen av målingene var temmelig ustabile og pendlet en del opp og ned og anslått til omtrent +/- 0.15 FNU på det meste ved noen av målingene.

3.6.2 Suspendert stoff (seston) og glødetap

Ved disse metodene kan man finne ut hva konsentrasjonen av partikulært materiale som holdes tilbake av et filter med porestørrelse 0.45 μm (såkalt seston) er. Norsk standard (NSF 1996a) er fulgt, men her er ikke glødetapet beskrevet.

Avhengig av hvor turbid prøvene var fra lokalitet til lokalitet, ble et prøvolum på mellom 515 ml og 1416 ml filtrert i en oppsats bestående av en 0.7 l glasskolbe og et GF/C Whatman glassfiberfilter på 47 mm. i diameter med poreåpning på 0.45 μm . En vannstrålepumpe ble koblet til for å lage undertrykk så filtreringen kunne gå hurtigere. Filteret ble tørrsugd i ca. 30 sekunder og deretter lagt til lufttørring i omtrent to timer i mørke omgivelser. Filtrene var på forhånd veid på en vekt med en nøyaktighet på 0.1 mg. Tre filtre ble også filtrert med 1 liter DI- vann hver. Dette var for å beregne hvor mye filter som løsrives og tapes underveis. Etter tørring ble filtrene veid på nytt, differansen regnet ut, og delt på volumet av vannprøven. Dette gir suspendert tørrstoff i mg/l. Her korrigeres det for gjennomsnittet av løstrevet filter fra blankprøvene. Tap at filtermasse bør være mindre enn 0.3 mg pr. filter.

Nedre grense for bestemmelse ved hjelp av denne metoden er 2 mg/liter. Tørr-resten (SS) på filteret bør være minimum 2 mg pr. filter (uavhengig av volum filtrert) for å gi et valid resultat. Tolkning av prøver som er lagret mer enn 24 timer bør gjøres med varsomhet.

Filtrene ble så glødet ved 480 °C i ovn i en time og veid på nytt. Differansen mellom denne og forrige veiing gir glødetapet, og regnes også ut som prosent av suspendert tørrstoff. Verdiene ble korrigert for filtertap ved gløding.

Usikkerhet og feilkilder ved suspendert stoff og glødetap

Det var generelt veldig lave SS-verdier. Alle Breidflå-verdiene var under bestemmelsesgrensen på 2 mg/l, unntatt en som var nøyaktig 2 mg/l. De fleste av alle Voilanlokalitetene hadde dessuten en tørrstoffrest på under 2 mg pr. filter, den mengde som iflg. Norsk standard kreves for å få et valid resultat. Snittet av de tre blankprøvene gav et filtertap på 0.37 mg/l, noe som er 0.07 mg/l høyere enn anbefalt, med et standardavvik på 0.14 mg/l. Sannsynligvis var filtertapet for feltprøvene en del høyere, da mange av filtrene gikk tette og trykket økte i kolben. Da SS - verdiene og filtrert volum i utgangspunktet er lave påvirker dette også usikkerheten i resultatene mye.

Snittet av filtertapet fra gløding i ovn var 0.97 mg/l, med standardavvik på 0.07 mg/l. Fire av glødetapsverdiene er fjernet fra resultatene da de gav irrasjonelle tall (for eksempel mer enn 100 % av SS, samt minusverdi). Disse er fjernet fra fremstillingen i grafen. De irrasjonelle tallene kan nok skyldes at filtertapene var høyere enn estimert ut fra blankprøven og dermed også påvirket glødetapsverdiene.

Andre potensielle feilkilder er at noen av filtrene ble frosset ned i dypfryser, og at noen ble lagret lengre enn det som anbefales i norsk standard.

3.6.3 Totalt organisk karbon

Totalt organisk karbon (TOC) er et mål på vannets innhold av både løst og partikulært (<0.1 mm) organisk karbon. Metoden følger Norsk Standard (NSF 1997b), hvor det i dette tilfellet ble brukt en Shimadzu TOC-VCPN maskin. Uttak av ubehandlet vannprøve var 10 ml og målingen foregikk i to trinn; først ble deler av vannprøven oksidert til CO₂ ved hjelp av en platina-katalysator ved 680°C, noe som gir det totale karboninnholdet (TC). Deretter ble en annen del av vannprøven tilsatt fosforsyre som driver ut uorganisk karbon (IC). En infrarød detektor måler i begge tilfeller konsentrasjonen av CO₂ og differansen mellom TC og IC gir det totale innholdet av organisk karbon (TOC). Nedre kvantifiseringsgrense for metoden er 0.3 mg.

Usikkerhet: Angis å være ca. +/- 10 %.

3.6.4 Farge ved 410 nm og optisk tetthet (absorbans ved UV 254 nm)

Virkelig farge måler bare oppløste stoffer i vannprøven. Norsk Standard (NSF 1994f) ble fulgt. Først ble prøvevannet romtemperert, deretter filtrert gjennom et membranfilter med porestørrelse 0.45 µm. Filtrene ble skylt med 3-4 ml av prøvevannet. Manuell pipette ble brukt for å overføre 20 ml av vannprøvene til 5 cm glasskyvetter. Deretter ble absorbansen målt i et spektrofotometer ved bølgelengde 410 nm. DI-vann ble brukt for å nullstille målecellene. Fargetallet ble sammenliknet med en referanse bestående av en standardløsning med platina/kobolt og angis i mg/l Pt, eller som fargeenheter.

På vannprøvene ble også absorbansen ved bølgelengden UV 254 nm, da i 1 cm kyvetter. Denne sammenliknes ikke med en standardløsning, men måleverdiene oppgis bare som absorbans* cm⁻¹.

Usikkerhet: Iflg. Norsk standard (NSF 1994f) har tidligere undersøkelser ved Norske vannlaboratorier vist at standardavviket ligger et sted mellom 1.1 og 3.9 ved middelværdier fra 10.3 til 48.3 fargeenheter.

3.6.5 pH

Norsk standard (NSF 1979) ble fulgt. Ved måling av pH ble det benyttet et voltmeter, der glassmembranen på pH - elektroden genererer en spenning (volt) som er proporsjonal med H^+ konsentrasjonen. I Norsk standard står det at prøvene helst bør analyseres ved 25 °C, men apparatet på laboratoriet hadde en egen funksjon der man kunne angi romtemperaturen (temperaturen på prøvevannet). pH ble målt på 50 ml ufiltrerte prøver i glassbeger. Vannprøvene kan oppta eller avgi sure eller basiske gasser, det er derfor viktig å ha minimal kontakt med luft og analysere så snart som mulig. Her er særlig CO_2 -gassen av betydning ved prøver med lav bufferkapasitet.

Usikkerhet i metoden: Det er mulig å oppnå en presisjon på +/- 0.02 pH og en nøyaktighet på +/- 0.02 pH.

Feilkilder: En mulig feilkilde er eksponering for luft og reaksjon med CO_2 slik at pH blir lavere enn den skal være. Dette kommer av at vannprøvene hadde svært lav alkalitet (bufferkapasitet). Ved avlesning var verdiene noen ganger ustabile og falt sakte, men sikkert. Ideelt sett burde også vannprøvene fra noen av feltturene blitt analysert tidligere enn det ble gjort for å unngå kjemiske reaksjoner og kontakt med luft. Sannsynligvis ble ikke utslagene så store da vannprøvene generelt sett ikke er fra store dyp, men i hovedsak har overflatepreg.

3.6.6 Alkalitet

Norsk standards metode (NSF 1996b) ble fulgt. Alkaliteten utgjør primært en funksjon av bikarbonat, karbonat og hydroxylioner, men andre buffere som ammonium, borat, fosfat, silikat og organiske anioner kan også forekomme. Alkaliteten ble her bestemt ved såkalt endepunktstitrering. Målingene ble foretatt på 50 ml filtrerte vannprøver (0.45 μm poreåpning i filteret) for å unngå reaksjon med suspendert stoff og karbonat. Oppsettet med pH - meter og glasskolbe var det samme som for pH - målingene. Dette tillot å dosere nøyaktig med en 0.02 molar HCl - løsning helt til pH- nådde 4.5. Samtidig roterte en liten magnetstav i bunnen av glassbegeret for å blande prøven. Enhet er $mmol_{charge}/liter$.

Alkalitetskonsentrasjonen regnes ut med følgende formel:

$$C_{\text{alk45}} = \frac{C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{prøve}}}$$

Anbefalte nedre grense for å bestemme alkalitet ved denne metoden er 0.4 mmol_e/l. Ved resultater under 0.3 mmol_e/l bør det ifølge Digernes (ukjent årstall) benyttes en formel for korrigering av alkalitetsverdier. Denne kalles Henriksens formel (Henriksen 82).

Alle vannprøvene var lavere enn 0.3 mmol_e/l og måtte derfor korrigeres med følgende formel:

$$C_{\text{Alk45}_\text{korr}} = (C_{\text{alk45}} - 32) + 0.646 \cdot \sqrt{C_{\text{Alk}_45} - 32}$$

Der C_{Alk45} i formelen er oppgitt som $\mu\text{ekv/l}$.

Feilkilder: På grunn av lave verdier øker sannsynligvis usikkerheten i resultatene noe.

3.6.7 Totalt nitrogen

Norsk standard (NSF 1993d NS 4743) ble benyttet for å oksidere alt nitrogenet i vannprøven til nitrat. Deretter ble en såkalt "Flow injection analysis" (FIA) maskin, betjent av ansatt laboratoriepersonale, brukt for å måle konsentrasjonen av nitrat. Først ble 10 ml av vannprøvene konserverte med svovelsyre, dernest tilsatt 5 ml kaliumperoksodisulfat-løsning ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) slik at alle uorganiske og organiske nitrogenforbindelser gikk over på nitratform. Deretter ble prøvene autoklavert i en trykkoker ved 121°C i drøye 30 minutter. I FIA-instrumentet blir nitraten redusert til nitritt v.h.a. granulært Cd, deretter tilsatt sulfanilamid og naftyletylendiamin, som til sammen danner et rødfarget kompleks. Denne bestemmes med absorbans ved bølgelengde 540 nm i et innebygget spektrofotometer. Det ble analysert tre blankprøver med DI-vann, samt tre standard/referanseløsninger på 1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$.

Usikkerhet: Konsentrasjonen som kan bestemmes med metoden ligger mellom 0.01 mg/l og 1.2 mg/l. Alle prøveresultatene lå innenfor dette intervallet.

De tre blankprøvene med DI-vann hadde ett snitt på 0.071 mg/l og et standardavvik på 0.05 mg/l. Dette kan gi en indikasjon på presisjonen i målingene. FIA-apparatet har en innebygd korrigering av resultatene ved utslag på blankprøver.

Gjennomsnittet av de tre standard/referanseløsningene viste 1.07 mg/l. Dette gir et standardavvik på 0.07 mg/l og kan gi en indikasjon på nøyaktigheten i metoden.

Mulige feilkilder: Heterosykliske nitrogenforbindelser med fem atomer i ringen kan ikke bestemmes ved denne metoden. Hvis det kommer luftbobler i FIA- instrumentet kan absorpsjonsmålingene bli uriktige.

3.6.8 Totalt fosfor

Norsk standard (NSF 1997a) for bestemmelse av fosfat ble benyttet, men for å finne den totale fosforkonsentrasjonen ble 10 ml av prøvene oksidert med 2 ml peroxidisulfat til det kommer på fosfatform. Deretter ble prøvene autoklavert på samme måte som med totalt nitrogen. Deretter tilsatt 0.5 ml askorbinsyre og 0.5 ml molybdat og ristet godt slik at det ble dannet et kompleks med en sterk blåfarge. Prøvene ble så målt i et spektrofotometer på bølgelengde 880 nm i en 5 cm glasskvyette, i tidsrommet mellom 10 og 30 minutter etter at de siste reagensene ble tilsatt. Tre blankprøver med DI-vann og 3 standard/referanseløsninger på 240 µg/l ble også analysert. Man antar en lineær sammenheng mellom absorpsjon og total- P konsentrasjon, derfor ble snittet av standardløsningen brukt til å regne ut fosforkonsentrasjonene.

Usikkerhet: Metoden kan anvendes i området 10 µg/l til 1200 µg/l, men flere av resultatene var så lave at de lå under bestemmelsesgrensen for metoden. Dette var tilfellet for seks av de syv prøvene for Breidflå. DI-prøvene gav utslag på absorpsjonsmålingene så snittet av disse ble trukket fra alle resultatene. Snittet på DI-prøvene utgjør 1.06 mg/l total fosfor med et standardavvik på 0.44 mg/l. Snittet av de tre standardprøvene gav en milliabsorpsjon på 680.3 med et standardavvik på 1.17 mAbs. Dette utgjør 0.41 µg/l omregnet til total fosfor, der standarden er 240 µg/l total- P.

3.6.9 Klorofyll a

Norsk standard (NSF 1983b) ble fulgt. Klorofyll a benyttes gjerne som et grovt mål på biomassen av alger i ferskvann. Filtrering av prøvevolum på mellom 451 ml og 2530 ble gjort på samme måte som ved suspendert stoff, men filtrene ble ikke veid på forhånd og ble etter tørking til slutt dypfrys ved - 20°C. Forut for analysering ble filtrene ekstrahert i 7 ml metanol mellom 6 og 20 timer, og deretter sentrifugert i 10 minutter ved 4000 omdreininger pr. minutt. Absorpsjonen ble målt ved både 665 nm og 750 nm i et spektrofotometer. 665 nm er absorpsjonsmaksimum for klorofyll a, mens absorpsjonsmålingene ved 750 nm gir anledning til å trekke fra utslag som kan skyldes turbiditet eller bakterieklorofyll (svovel, purpurbakterier etc.). Disse verdiene bør ikke være høyere enn 10. Metanol ble brukt for å nullstille

målecellene. Milliabsorbansen ved 665 nm bør ligge mellom 50 og 800 uansett kyvettelengde. Følgende formler ble brukt for å regne ut klorofyll a-konsentrasjonen:

$$C_{Kl_a_metanol} = \frac{OD_{655} - OD_{750}}{Kl_a * Lysvei} \quad (\text{Enhet gram/liter})$$

$$C_{Kl_a_vannprøve} = \frac{C_{Kl_a_metanol} * V_{metanol}}{V_{vannprøve}} * 10^6 \quad (\text{Enhet } \mu\text{g/l})$$

Der Kl_a er absorpsjonskoeffisienten i metanol = 77 liter * g⁻¹, og Lysvei = 1 cm.

Usikkerhet: Den minste konsentrasjonen som kan bestemmes ved for eksempel 4 liter prøvevann, 1 cm kyvette og 7 ml ekstraktvolum er 1 µg/l. Ved filtrering av et mindre vannvolum, som i dette tilfellet, er nok grensen høyere. Milliabsorbansen til alle resultatene, unntatt to verdier, var under 50 og må derfor tolkes forsiktig da usikkerheten ved mengdebestemmelsen kan være høy. I tillegg var det filtrerte vannvolumet under 1 liter ved flere av prøvene, siden filtrene gikk tette som følge av turbid vann. Dette kan også øke usikkerheten noe.

Metodens framgangsmåte i norsk standard har ingen blankprøver eller referanseløsninger, så standardavvik kan ikke regnes ut.

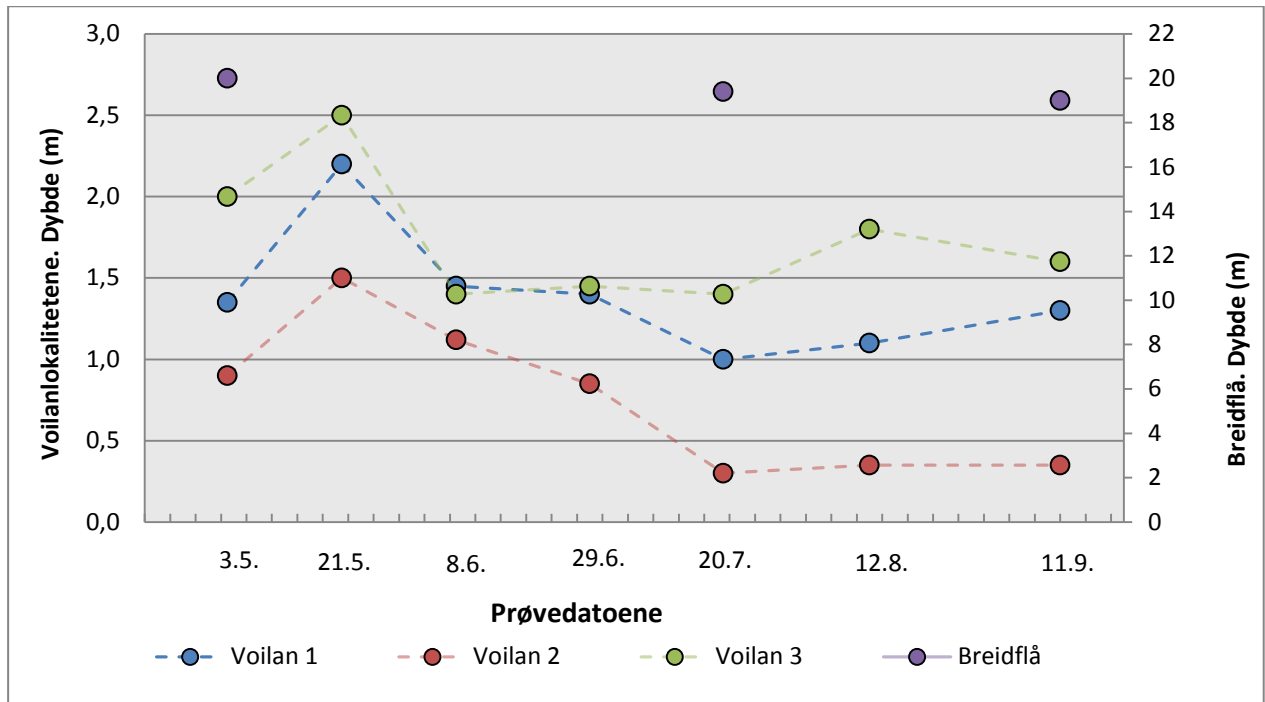
3.6.10 Lineær regresjonsanalyse

For å finne mulige sammenhenger og korrelasjoner mellom utvalgte parametre ble det ved fremstilling av resultatene i figurer benyttet en regresjonsanalyse i Microsoft Office Excel 2007, med funksjonen lineær trendlinje og tilhørende R² – verdier. Figurene er vist i kap. 4 av oppgaven.

4. Resultater

4.1 Dybdeforhold, vannstand og vannføring

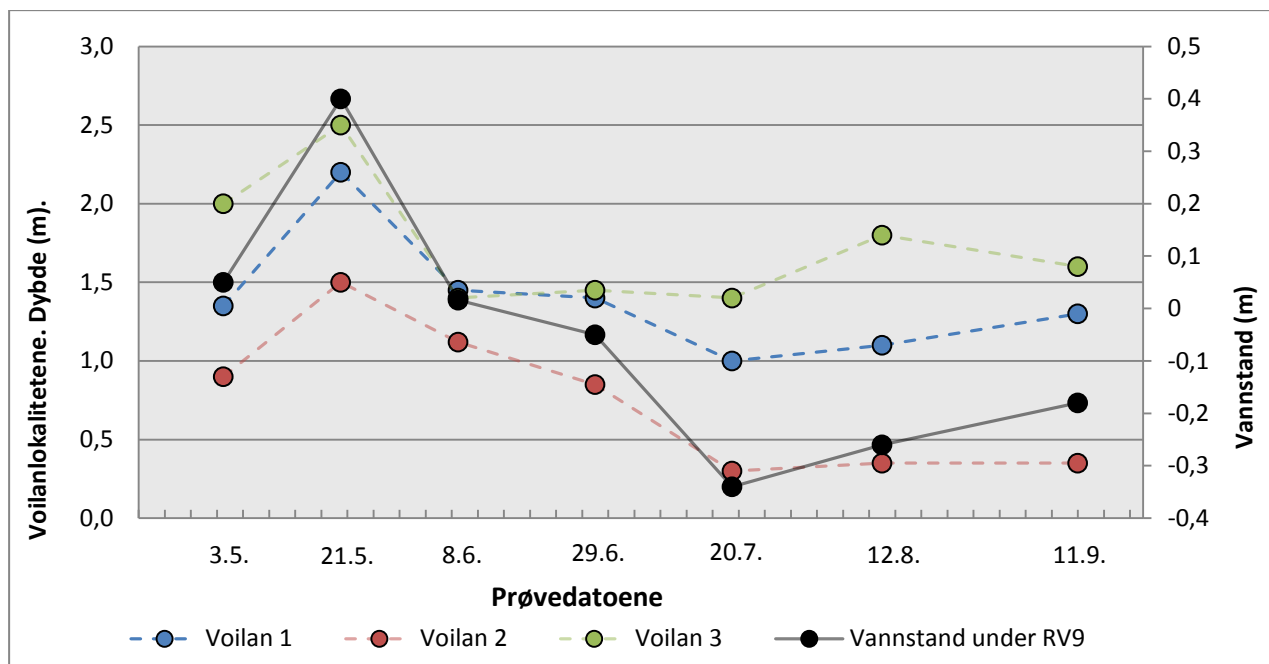
4.1.1 Dybdeforhold



Figur 16. Endringer i dybdeforholdene for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen med dybdeforholdene for Voilanlokalitetene på venstre y-akse og Breidflås på høyre y-akse. Merk: Ulik skala på y-aksene.

Resultatene viser (fig. 16) at dybdeforholdene ved prøvelokaliteten i Voilan er betraktelig grunnere enn ved prøvelokaliteten i Breidflå. Dybdeforholdene i Voilan varierer fra 0.3 meter til 2.5 meter, og for Breidflå varierer dypet fra 19 -20 meter. For Breidflå er det bare tatt 3 dybdemålinger. Voilan 2, som representerer det største innsjøarealet i Voilan, er grunnest med en variasjon i dybdeforhold fra ca. 0.3 meter til 1.5 meter. Variasjonene mellom de tre Voilan-lokalitetene følger omtrent samme mønster med en klar topp 21. mai.

4.1.2 Dybdeforhold i Voilan og vannstand under RV 9

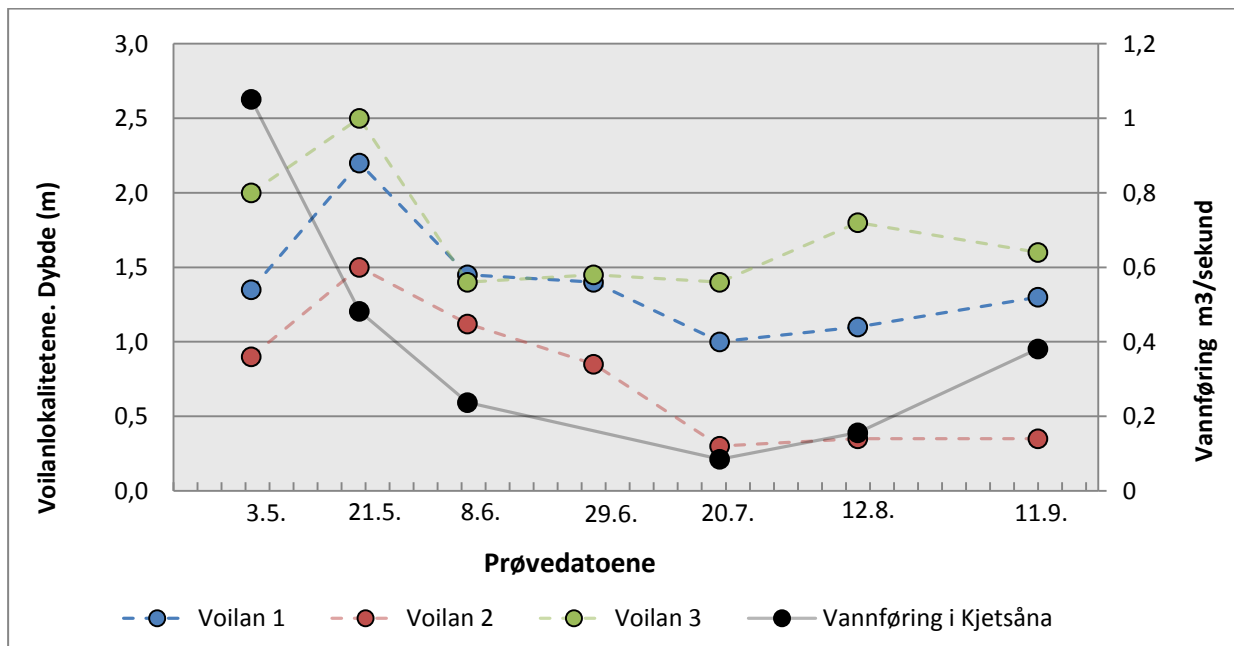


Figur 17. Endringer i dybdeforholdene for de ulike prøvelokalitetene i Voilan gjennom vekstsesongen sammenliknet med vannstanden under brua på riksvei 9. Vannstanden er målt i forhold til en fast betongkant under brua. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen med dybdeforholdene for Voilan vist på venstre y-akse og vannstanden under brua på høyre y-akse. Merk: Ulik skala på y-aksene.

Variasjonene i vannstanden under brua samsvarer rimelig godt med variasjonene i dybdeforhold i Voilan- lokalitetene (fig. 17). Vannstandsendingene viser tydelig når det var høyest og lavest vannstand, med høyest 21. mai og lavest 20 juli. Dybdevariasjonene i Voilan i løpet av sesongen ligger på omtrent 1.2 meter, mens den for Breidflå, målt som vannstanden i forhold til betongkanten under brua, har en variasjon på minimum 0.8 meter. (Forskjellene i dybdeforhold i Breidflå er ikke vist i figuren på grunn av måleusikkerhetene som ikke gjør dem sammenliknbare med de andre.)

Oppmåling av bunnprofilet under brua ved riksvei 9 den 11. september viste at dybdeforholdene varierte fra ca. 1 til 3 meter. (Dette resultatet er ikke med i noen figur.)

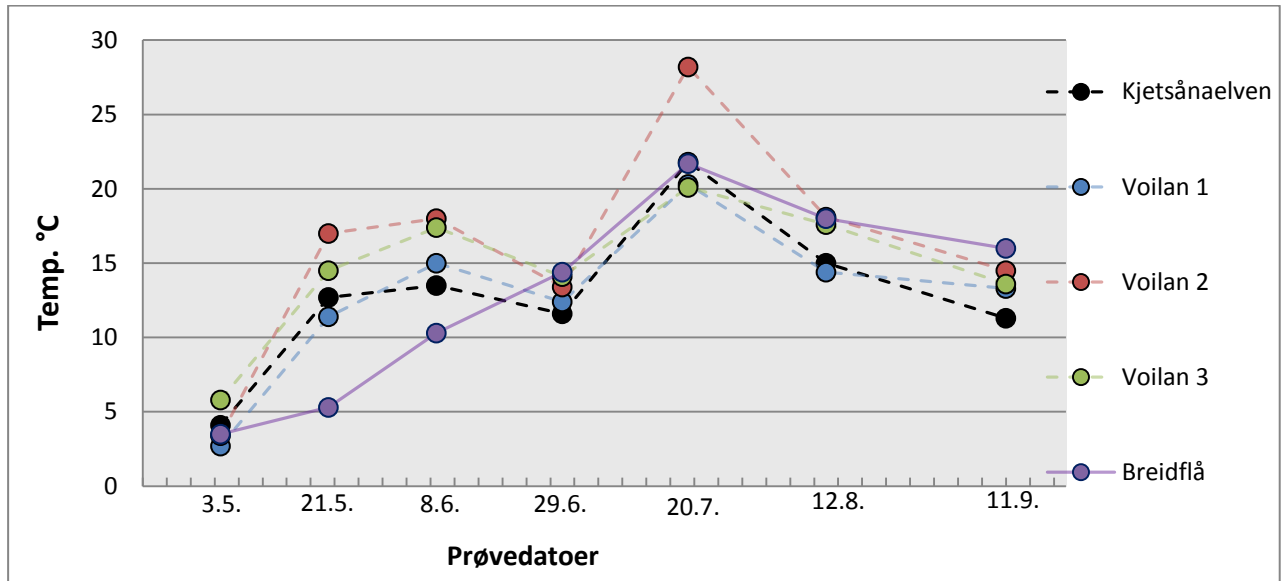
4.1.3 Dybdeforhold i Voilan og vannføring i Kjetsåna



Figur 18. Endringer i dybdeforholdene for de ulike prøvelokalitetene i Voilan gjennom vekstsesongen sammenliknet med vannføringen i hovedinnløpselven Kjetsåna. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen med dybdeforholdene på venstre y-akse og vannføringen på høyre y-akse. Merk: Ulike enheter på y-aksene.

Det er stor variasjon i vannføringen i Kjetsåna i løpet av prøveperioden (fig.18). Den 3. mai er den målt til 1051 liter pr. sekund, mens den 20. juli var helt nede i 85 liter pr. sekund. Vannføringen økte igjen i september med en vannføring på 381 liter/sekund. Det er vanskeligere å se et klart mønster i variasjonene mellom dybdeforhold og vannføring enn det er mellom dybdeforhold og vannstanden under brua.

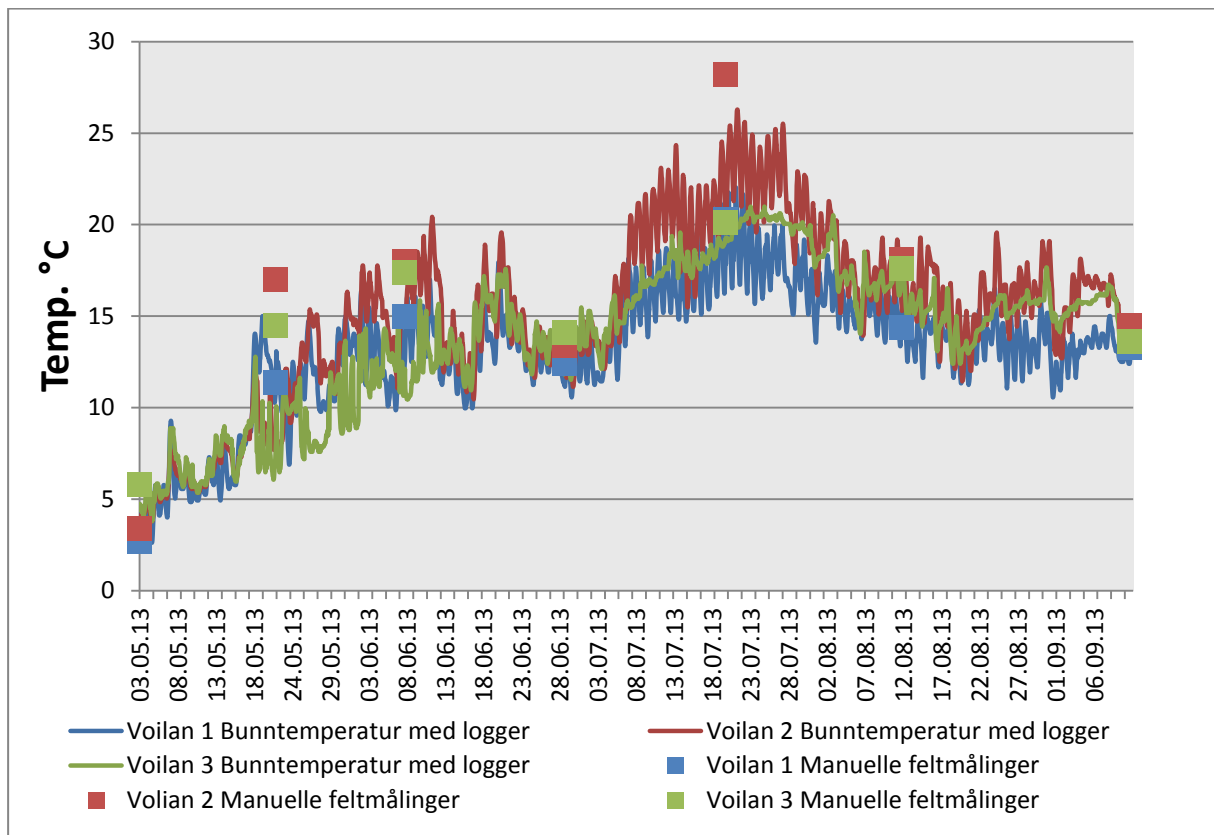
4.1.4 Temperatur



Figur 19. Temperaturendringer for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og temperaturen angitt på y-aksen.

Vanntemperaturene er lavest i starten av mai og høyest 20. juli for alle lokalitetene (fig. 19). Elva Kjetsåna og de tre Voilanlokalitetene viser en hurtigere økning i temperatur i løpet av mai og i starten av juni enn Breidflå gjør. Avtagningen i temperatur i august og september er i tillegg litt hurtigere for disse fire lokalitetene. Vanntemperaturvariasjonene i Kjetsåna samsvarer godt med mønsteret i Voilanlokalitetene.

4.1.5 Manuelle temperaturmålinger og automatisk logging av bunnvannstemperatur



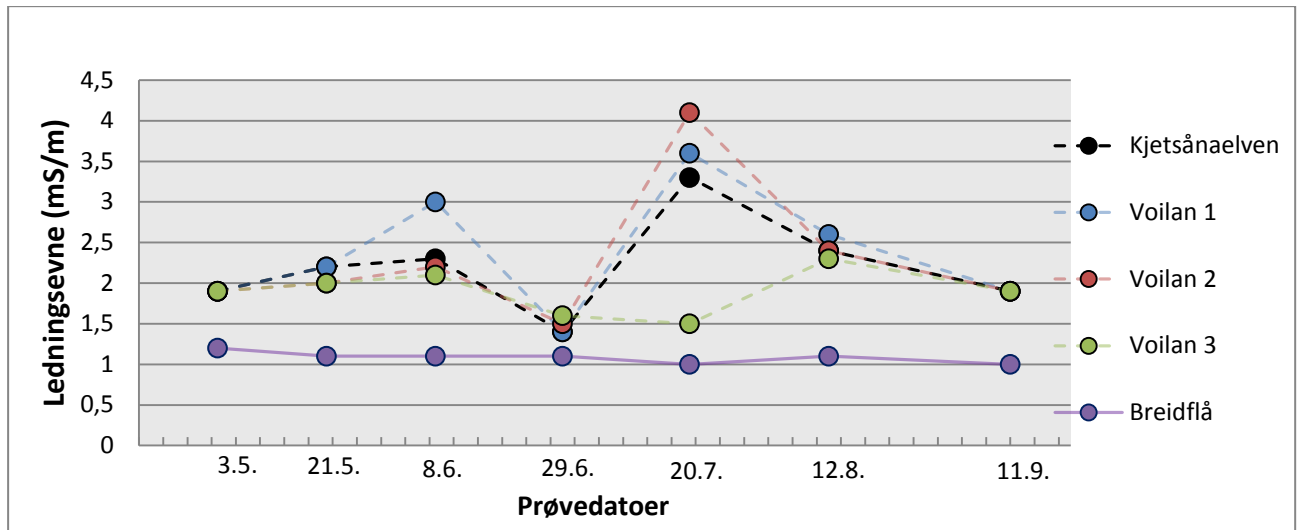
Figur 20. Temperaturendringer i bunnvannet for prøvelokalitetene Voilan 1, Voilan 2 og Voilan 3 gjennom vekstsesongen målt automatisk med Hobo-loggere. Loggene målte temperaturen hver time gjennom hele døgnet. Figuren viser i tillegg de 28 manuelle feltmålingene lagt inn for sammenlikning og validering. Datoer er angitt på x-aksen og temperaturen angitt på y-aksen.

De to ulike målemetodene viser mye av det samme mønsteret, men de manuelle målingene var 21. mai, 8. juni og 20. juli høyere enn de automatiske målingene (fig. 20). De automatiske loggerne viser samme tidspunkt for maksimums- og minimumstemperatur som de manuelle målingene.

Av de tre lokalitetene i Voilan har Voilan 2, som representerer det største vanndekte arealet av Voilan, klart høyest bunnvannstemperatur om sommeren. Fra omtrent begynnelsen av juli til omtrent starten av august ligger temperaturen mellom 20 og 25°C. I samme perioden og helt fram til 11. september svinger bunnvannstemperaturen i Voilan 1 og 2 mer enn bunnvannstemperaturen i Voilan 3.

4.2 Vannkvalitet

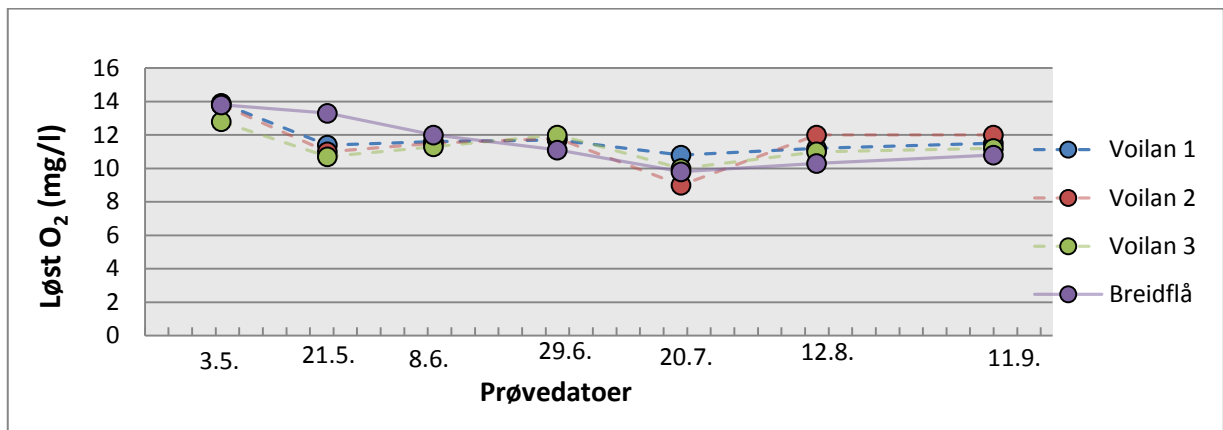
4.2.1 Konduktivitet



Figur 21. Endringer i konduktivitet for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og konduktiviteten angitt på y-aksen.

Både Kjetsånelven og Voilanlokalitetene har en gjennomsnittlig konduktivitet for hele prøveperioden på 2.2 mS/m. I tillegg til identisk middelvei er variasjonsmønsteret nesten helt likt bortsett fra en lav verdi for Voilan 3 den 20. juli (fig. 21). Breidflå skiller seg klart ut med svært lave og stabile konduktivitetsverdier, med en middelvei på 1.09 mS/m.

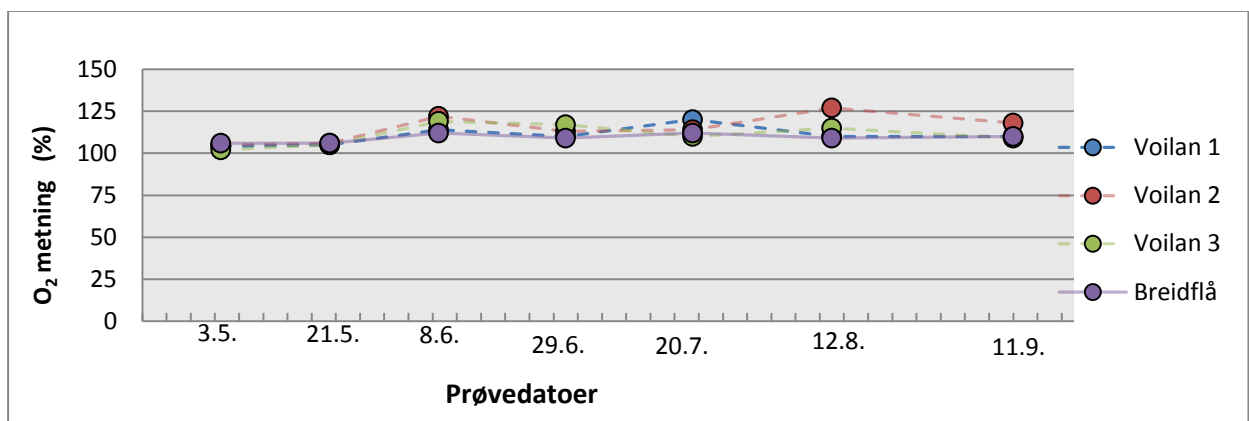
4.1.2 Oksygen



Figur 22. Endringer i løst oksygen for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og oksygenverdiene angitt på y-aksen.

Resultatene viser nærmest ubetydelige forskjeller mellom Voilan og Breidflå (fig. 22). Førstnevnte har en middelerverdi på 11.5 mg/l-O₂ mens sistnevnte har en middelerverdi på 11.6 mg/l-O₂. Det er heller ingen tydelige sesongvariasjoner å spore, men det høyeste månedsgjennomsnittet for alle lokalitetene var 13.6 mg-O₂/l den 3. mai og det laveste var 9.9 mg-O₂/l den 20. juli.

4.1.3 Oksygenmetning



Figur 23. Endringer i oksygenmetning for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og oksygenmetningen angitt på y-aksen.

Voilan og Breidflå ligger i samme område med ubetydelige forskjeller i verdiene (fig.23). Gjennomsnittet for alle lokalitetene viser en overmetning på 111 %. Det er heller ingen tydelige sesongvariasjoner.

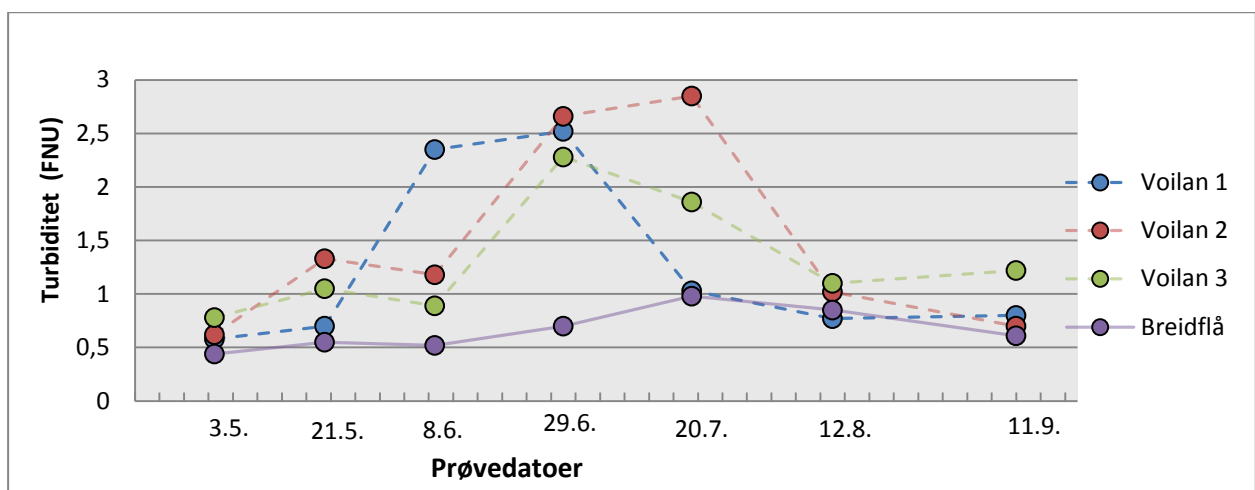
4.2.4 Siktedyp

Tabell 2. Målt siktedyp på lokalitetene. Alle tallene er i meter. Der hvor siktedypet gikk helt til bunnen er den målte dybden angitt i parentes.

	3.mai	21.-22. mai	8.-9. juni	29.jun	20.jul	12.aug	11.sep
Voilan 1	Til bunns.(1.35)	Til bunns. (2.2)	Til bunns. (1.45)	1,18	Til bunns. (1)	Til bunns. (1.1)	Til bunns.(1.3)
Voilan 2	Til bunns. (0.9)	Til bunns. (1.5)	Til bunns. (1.12)	Tilbunns. (0.85)	Til bunns. (0.3)	Til bunns.(0.35)	Til bunns.(0.35)
Voilan 3	Til bunns. (2)	Til bunns. (2.5)	Til bunns.(1.4)	Til bunns. (1.45)	Til bunns. (1.4)	Til bunns. (1.8)	Til bunns.(1.6)
Breidflå	6	5	3.1	4	4.4	3.4	5.5

Voilanlokalitetene skiller seg tydelig fra Breidflå ved at alle siktedypsmålingene, unntatt Voilan 1 den 29. juni, når helt til bunns (tabell 2). Derfor kan man bare kalle Voilanmålingene for "minimums teoretisk siktedyp." Breidflå har sine største siktedyp ved første og siste feltdato, og en middelvei for hele prøveperioden på 4.5 meter.

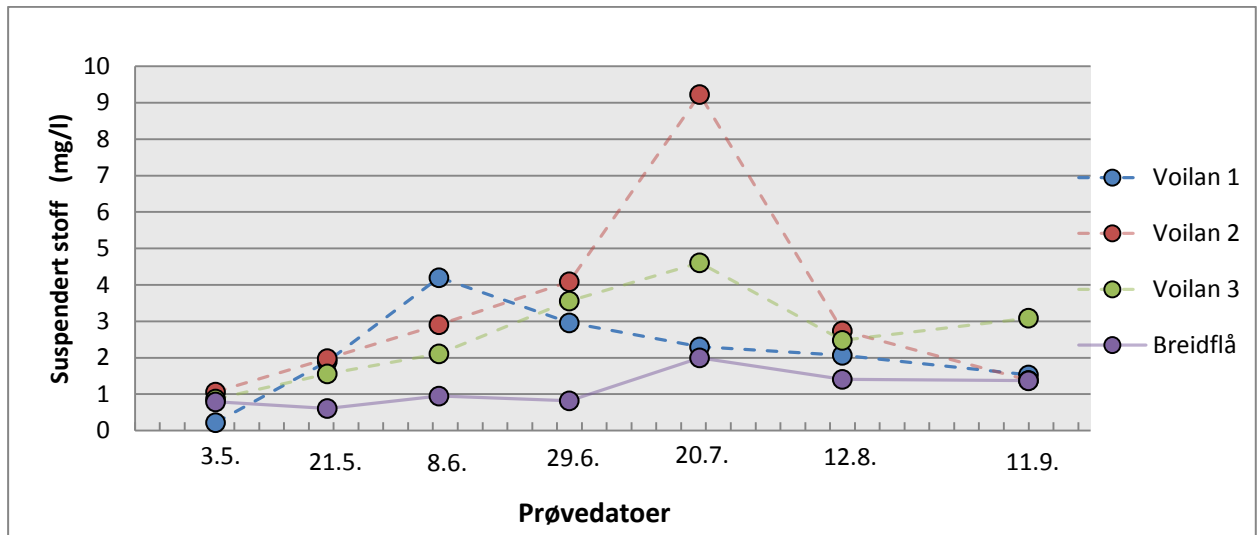
4.2.5 Turbiditet



Figur 24. Endringer i turbiditet for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og turbiditetsenheten angitt på y-aksen.

Voilanlokalitetene viser jevnt over høyere turbiditet enn Breidflå, med aller størst forskjeller i månedene juni og juli (fig. 24). For 12. august er turbiditetsverdiene betraktelig likere. Midlere verdier er for Voilan 1.3 FNU og for Breidflå 0.7. Høyeste turbiditet har Voilan 2 med 2.9 FNU 20. juli.

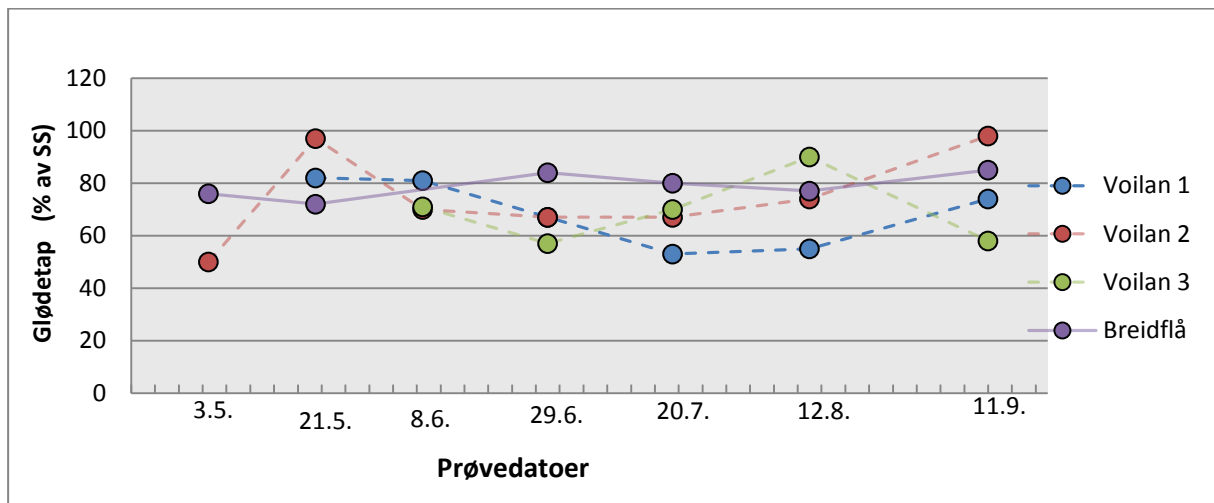
4.2.6 Suspendert stoff



Figur 25. Endringer i konsentrasjonen av suspendert tørrstoff for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og suspendert stoff angitt på y-aksen.

Voilanlokalitetene har jevnt over et høyere innhold av suspendert stoff enn Breidflå, og verdiene ved Voilanlokalitetene varierer dessuten en del seg imellom (fig. 25). Breidflå har et gjennomsnitt på 1.1 mg/l og Voilan 2.7 mg/l.

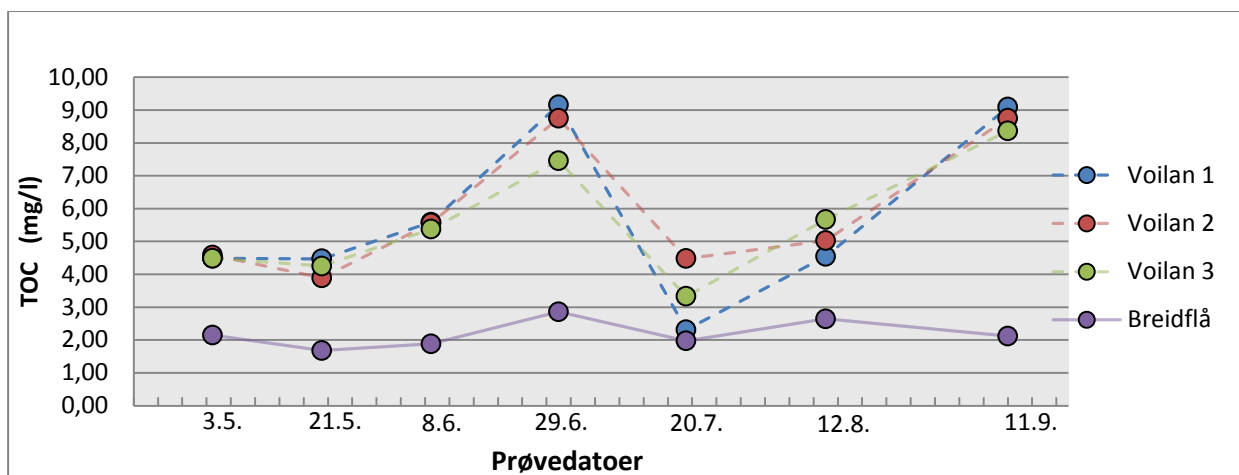
4.2.7 Glødetap som prosent av suspendert stoff



Figur 26. Endringer i glødetapsandelen av suspendert stoff for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og prosentandelen angitt på y-aksen.

Breidflå har med et gjennomsnittlig glødetap på 79 % en noe høyere fraksjon av organisk materiale enn Voilan-lokalitetene med et glødetap på 71 %. Variasjonene er større i Voilan enn for Breidflå, men det fremtrer ikke noe tydelig mønster gjennom sesongen (fig. 26).

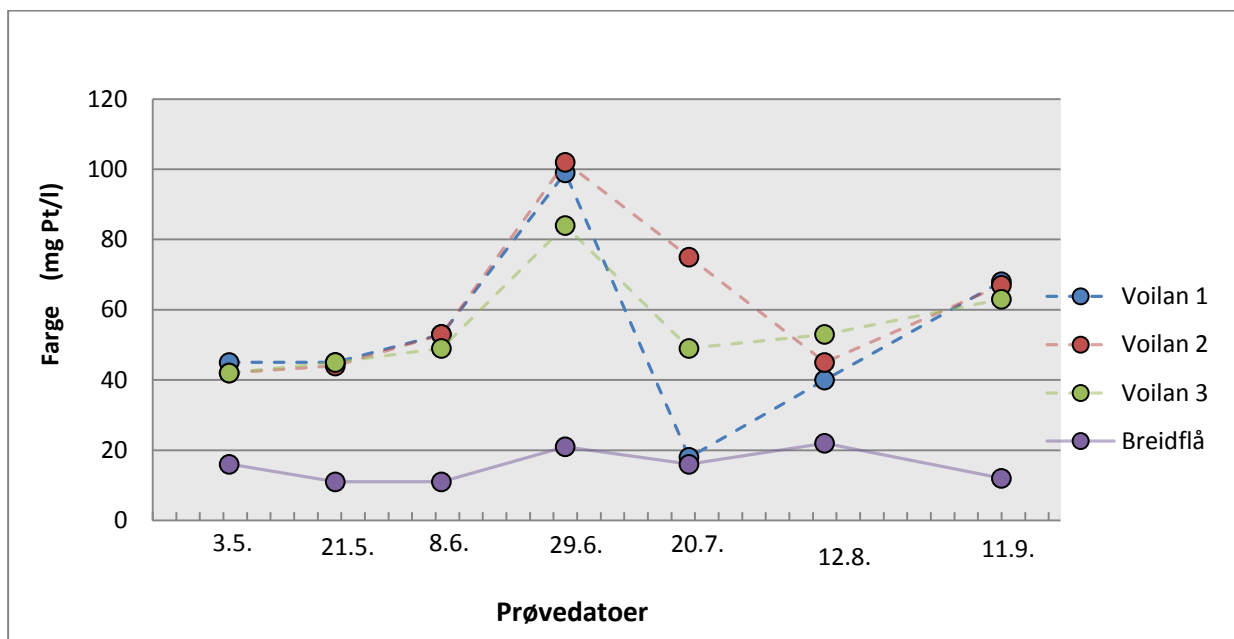
4.2.8 Totalt organisk karbon



Figur 27. Endringer i konsentrasjonen av totalt organisk karbon (TOC) for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og TOC angitt på y-aksen.

Voilanlokalitetene skiller seg fra Breidflå med generelt høyere TOC- verdier og med større svingninger gjennom sesongen (fig. 27). De tre Voilanlokalitetene følger samme mønster og har to klare topper i løpet av prøveperioden med 9.2 mg/l den 26. juni og 9.1 mg/l den 11. september, samt en minimumsverdi den 20. juli på 2.3 mg/l. Midlere verdier er for Voilan er 5.7 mg/l og for Breidflå 2.2 mg/l.

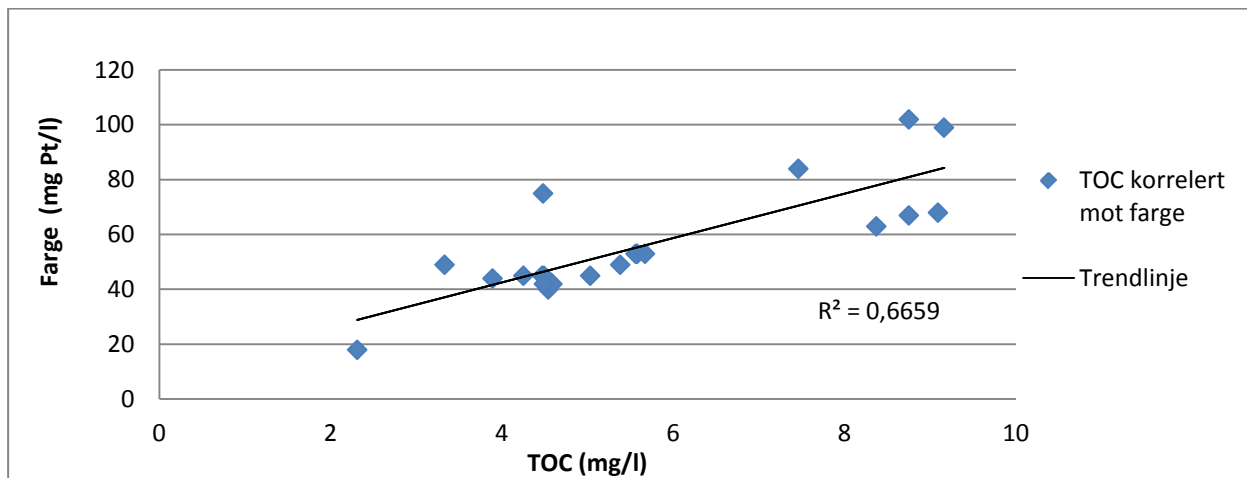
4.2.9 Farge



Figur 28. Fargeendringer for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og fargeenheter angitt på y-aksen.

Voilanlokalitetene har gjennom hele perioden et høyere fargetall enn Breidflå og har en klar topp 29. juni med 102 fargeenheter for Voilan 2 (fig. 28). Variasjonene mellom de tre Voilanlokalitetene er generelt små, bortsett fra 20. juli der forskjellene er betydelige. Voilan viser et gjennomsnitt på 56 fargeenheter og Breidflå 16 fargeenheter. Breidflå har svært stabile fargeverdier i løpet av perioden.

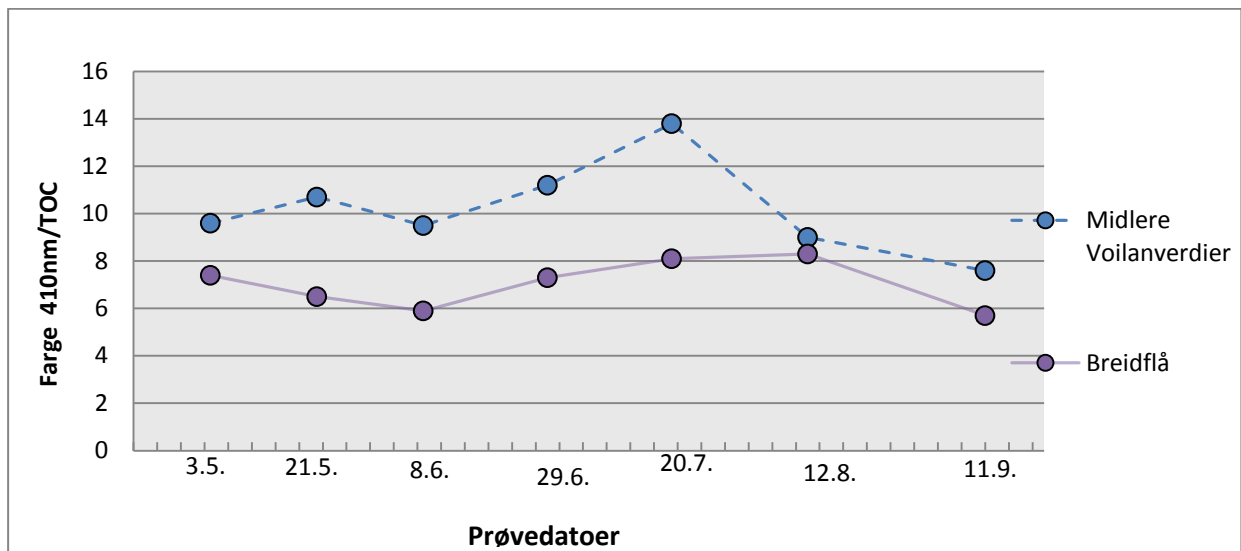
4.2.10 TOC korrelert mot farge



Figur 29. Lineær sammenheng mellom farge og totalt organisk karbon i Voilanlokalitetene. R² verdien i grafen indikerer i hvilken grad det er en lineær korrelasjon mellom parametrene.

Med en R²-verdi på 0.67 viser figuren at det er en relativt god korrelasjon mellom TOC og fargeverdier (fig. 29).

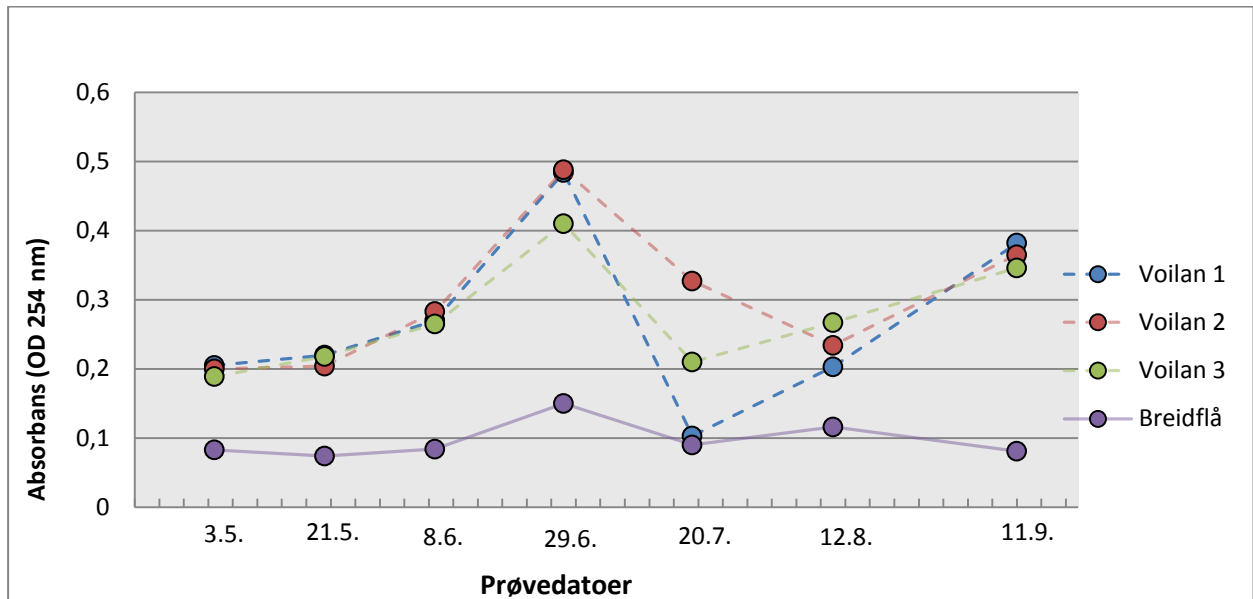
4.2.11 Spesifikk farge



Figur 30. Endringer i spesifikk farge (definert som $\text{absorbans} \cdot \text{cm}^{-1} / \text{TOC} \text{ -mg/l}$) for Breidflå og gjennomsnittet av de tre Voilanlokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og forholdstallet angitt på y-aksen.

Voilanlokalitetene har over hele perioden høyere farge pr. TOC enn Breidflå har (fig.30). Forskjellen mellom Voilan og Breidflå er størst 20. juli og minst 12. august.

4.2.12 Optisk tetthet (absorbans ved 254 nm)

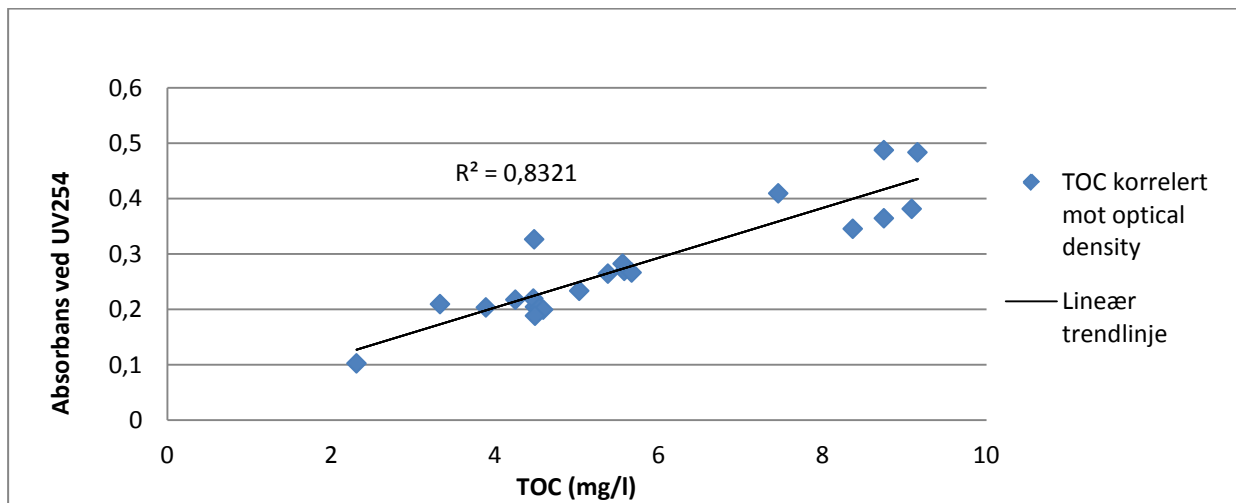


Figur 31. Endringer i optisk tetthet (UV 254 nm), for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og absorbansverdiene angitt på y-aksen.

Figur 31 viser for optisk tetthet et nesten identisk mønster som fargemålingene ved 410 nm.

Voilanlokalitetene har jevnt over høyere verdier. Også her har Voilan 1 nesten like lave verdier som Breidflå den 20. juli, slik det kom fram på figur 28 for farge.

4.2.13 TOC korrelert mot optisk tetthet



Figur 32. Spredingsplott av totalt organisk karbon (TOC) mot optisk tetthet (absorbans). TOC - verdiene er angitt på x-aksen og absorbans ved UV 254 er angitt på y-aksen. Det er tegnet inn en lineær trendlinje i grafen hvor R^2 verdien indikerer hvor stor grad av sammenheng det er mellom parametrene.

Figur 32 viser en bedre rettlinjet sammenheng mellom TOC- innhold og optisk tetthet enn figur 30 som viser korrelasjon mellom TOC og farge ved 410 nm.

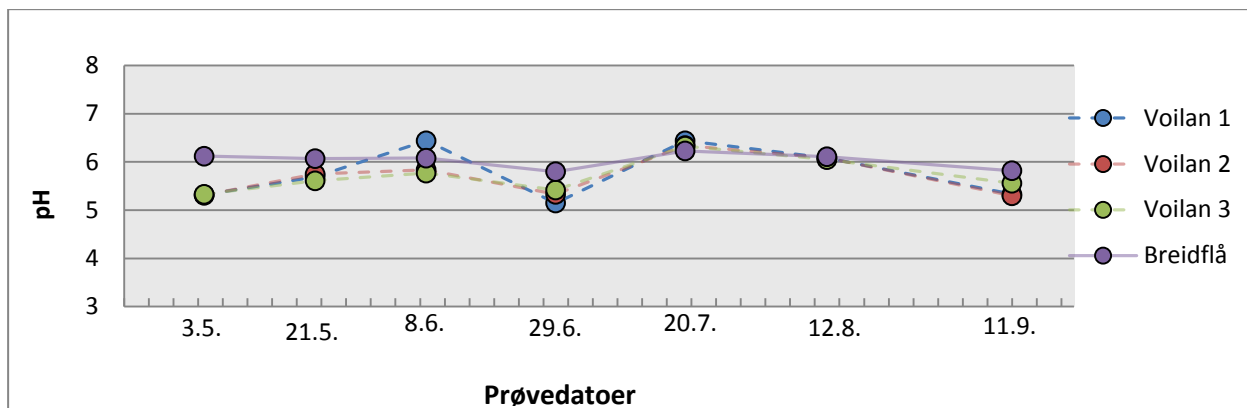
4.2.14 Tilsynelatende farge

Tabell 3. Tilsynelatende farge vurdert med secchi-skive på halve siktedypet, eller på bunnen der siktedypet gikk helt til bunns.

	3.mai	21.-22. mai	8.-9. juni	29.jun	20.jul	12.aug	11.sep
Voilan 1	Gulig-brun	Gulig-brun	Gulig-brun	Brunlig-gul	Svakt brunlig-gul	Brunlig-gul	Gulig-brun
Voilan 2	Gulig-brun	Gulig-brun	Gulig-brun	Brunlig-gul	Gulig-brun	Brunlig-gul	Gulig-brun
Voilan 3	Gulig-brun	Gulig-brun	Brunlig-gul	Gulig-brun	Gulig-brun	Brun	Brunt
Breidflå	Ingen vurdering	Blått	Blått	Brun-gult	Brun-gult	Gulig-brun	Brunlig-gult

Voilanlokalitetene domineres av fargeopplevelsene "gulig-brun", "brunlig-gul" og "brunt" gjennom hele prøvetakningsperioden. Breidflå har blå farge på vannet i mai og begynnelsen av juni, men dette endres mellom feltdatoene 9. og 29. juni og blir senere dominert av "brunlig gult" og "gulig-brun" ut hele perioden.

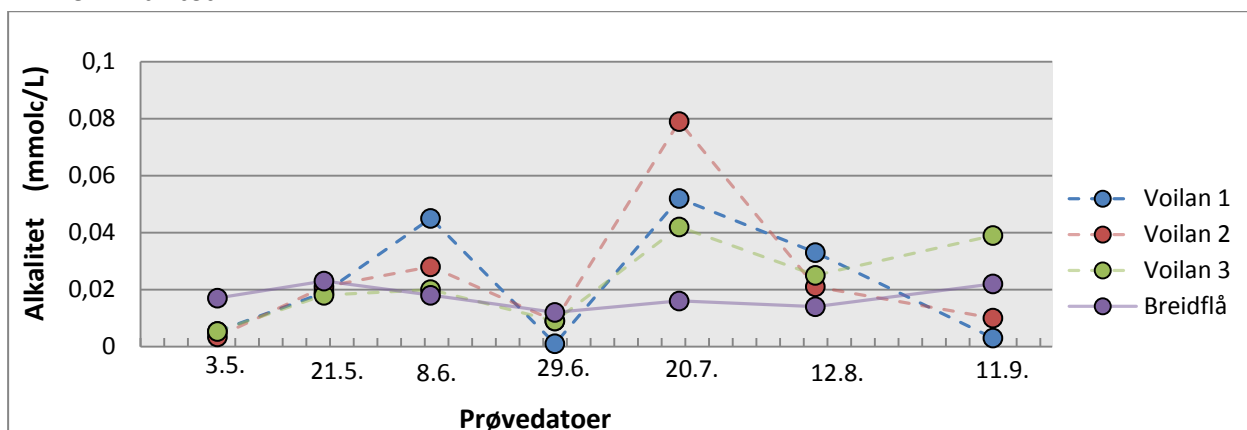
4.2.15 pH



Figur 33. pH-endringer for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og pH-verdiene angitt på y-aksen.

pH verdiene for Voilanlokalitetene varierer litt mer enn for Breidflå i løpet av perioden med en minstemåling på 5.15 pH enheter 29. juli og maksimumsverdier på 6.44 pH-enheter både 8. juni og 20. juli (fig. 33.), alle for Voilan 1. Dessuten er midlere pH for alle Voilanlokalitetene med pH 5.73 lavere enn Breidflå som har et gjennomsnitt på 6.03 for hele perioden.

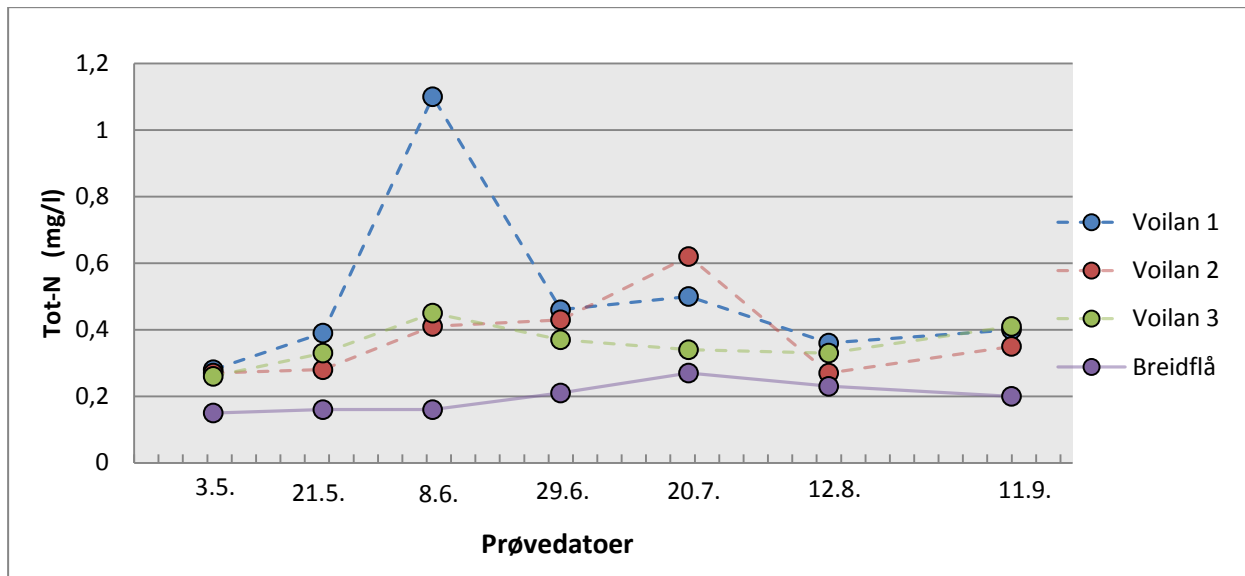
4.2.16 Alkalitet



Figur 34. Endringer i alkalitet for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og alkalitetsverdiene angitt på y-aksen.

Her viser resultatene store variasjoner for Voilanlokalitetene med en minsteverdi på 0.001 mmol_e/l den 29. juni og en maksimumsverdi på 0.079 mmol_e/l den 20. juli (fig. 34). Breidflås verdier er mer stabile. Gjennomsnittsverdiene for de tre Voilanlokalitetene er 0.023 mmol_e/l og for Breidflå 0.017 mmol_e/l. De tre lokalitetene i Voilan følger samme variasjonsmønster, bortsett fra Voilan 3 den 11. september.

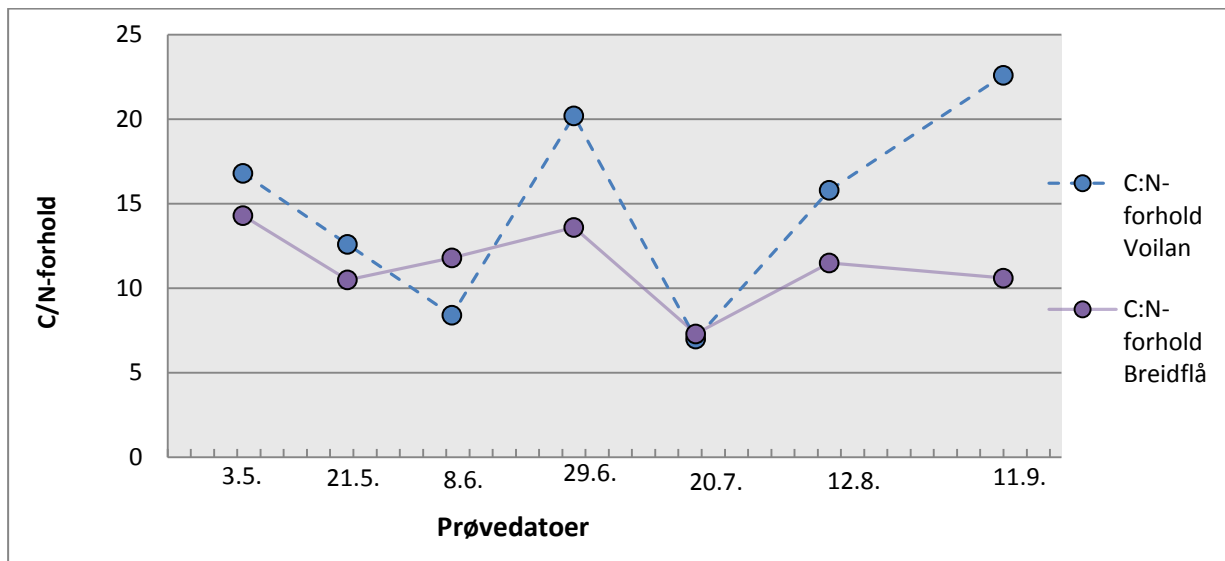
4.2.17 Totalt nitrogen



Figur 35. Endringer i total nitrogenkonsentrasjon for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og nitrogenkonsentrasjon angitt på y-aksen.

Nitrogenkonsentrasjonene er høyere i Voilan for hele perioden, med et gjennomsnitt på 0.41 mg/l, der en høy verdi for Voilan 1 den 8. juni trekker snittet opp. Bortsett fra denne er ikke variasjonene i løpet av sesongen spesielt store. Middelerdien til Breidflå ligger på 0.2 mg/l totalt nitrogen.

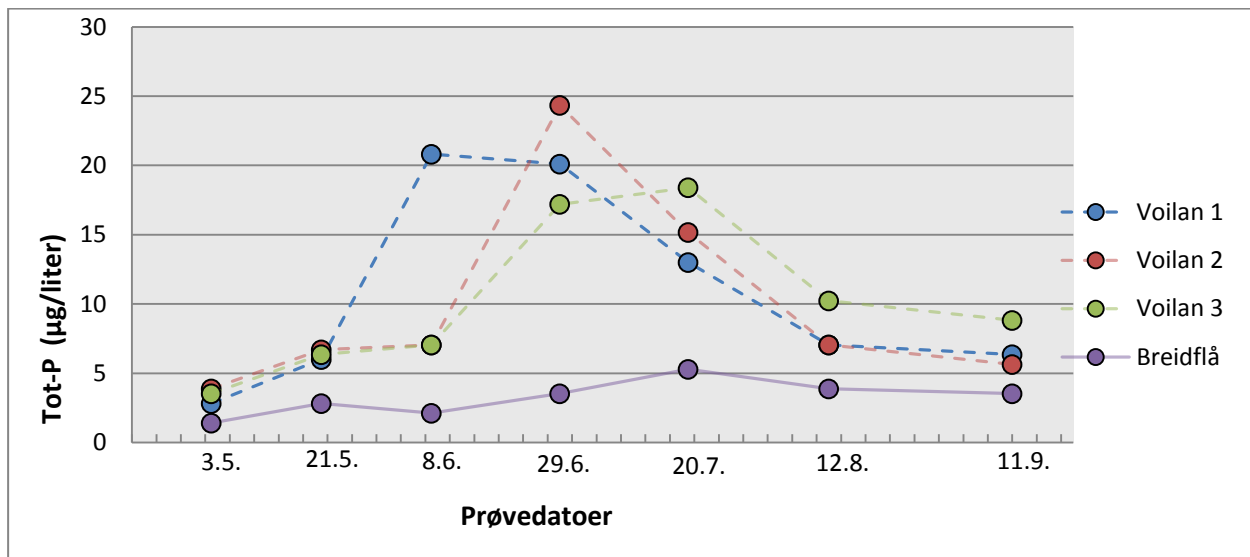
4.2.18 C:N-forhold



Figur 36. Endringer i forholdet mellom totalt organisk karbon og totalt nitrogen i løpet av prøveperioden. For Voilan er det benyttet et gjennomsnitt av de tre prøvelokalitetene for hver gang. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og forholdstallene angitt på y-aksen.

Voilan viser en større variasjon i C:N-forholdet i løpet av prøveperioden enn Breidflå, og har i tillegg, ved to anledninger, et tydelig høyere forholdstall (fig. 36). Den høyeste viser 23 den 11. september. Ved fire prøvedatoer ligger Voilan og Breidflå i omtrent samme område. Det laveste forholdet har de samtidig, den 20. juli med henholdsvis 7 og 7.3. Det lave forholdstallet for Voilan 8. mai skyldes i hovedsak en svært høy nitrogenverdi for prøvelokaliteten Voilan 1 den samme datoen. Voilan har for hele perioden sett under ett en middelvei på 14:1 med et standardavvik på 5.8. Breidflå har en middelvei på 11:1 og et standardavvik på 2.3.

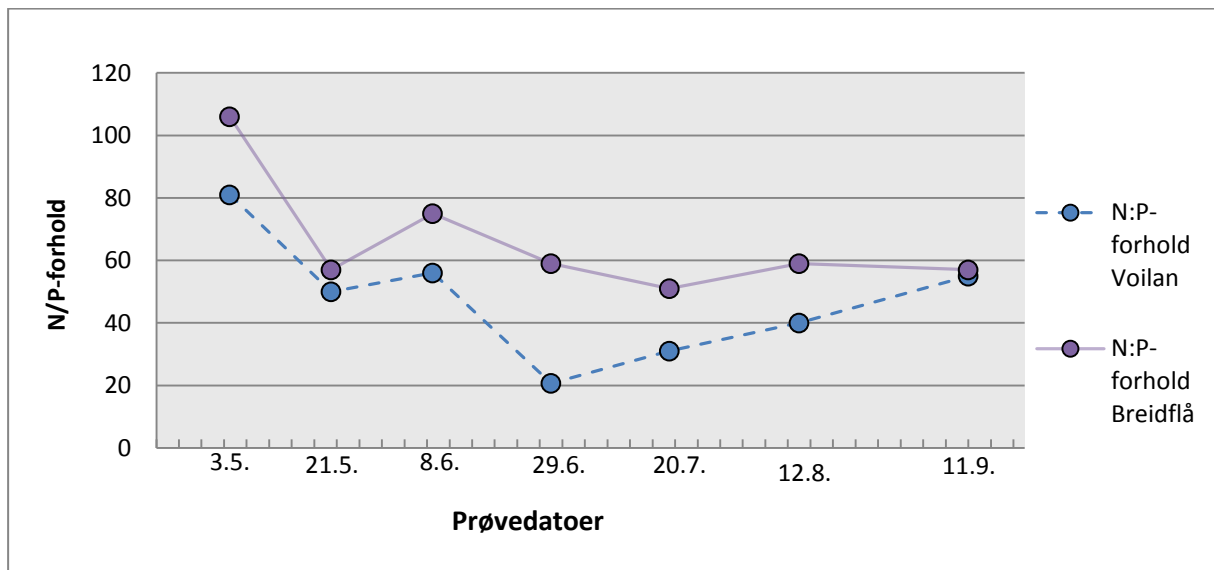
4.2.19 Totalt fosfor



Figur 37. Endringer i total fosforkonsentrasjon for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og fosforkonsentrasjon angitt på y-aksen.

Voilanlokalitetene skiller seg fra Breidflå med en betraktelig høyere konsentrasjon av fosfor i løpet av månedene juni og juli (fig. 37). I resten av sesongen er ikke forskjellen like stor, men den er fremdeles høyere i Voilan. De tre Voilanlokalitetene viser omtrent samme utvikling. Sammenliknet med nitrogenresultatene er forskjellene mellom Voilan og Breidflå større her, særlig i juni og juli. Middelerverdiene for hele perioden er 10.4 µg/l for Voilanlokalitetene og 3.2 µg/ for Breidflå.

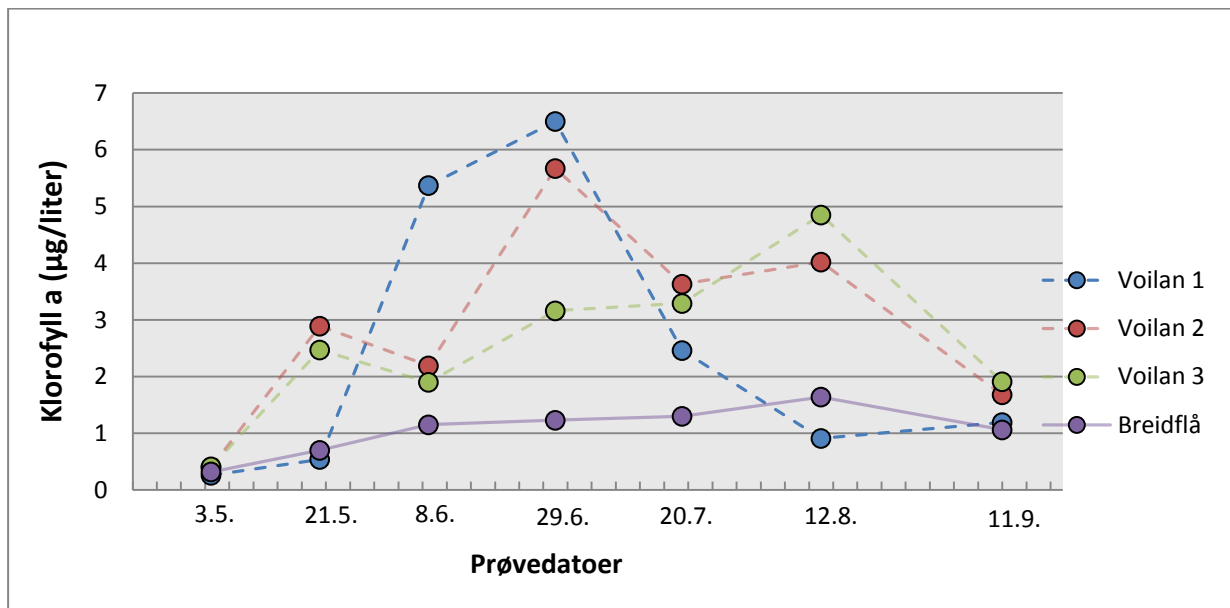
4.2.20 N:P-forhold



Figur 38. Endringer i forholdet mellom totalt nitrogen og totalt fosfor i løpet av prøveperioden. For Voilan er det benyttet et gjennomsnitt av de tre prøvelokalitetene for hver gang. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og forholdstallene angitt på y-aksen.

Breidflå har over hele perioden et høyere N:P-forhold enn Voilan, med gjennomsnitt på henholdsvis 61:1 og 39:1 for de to lokalitetene (fig. 38). Standardavviket er for Breidflå 19.2 og for Voilan 19.6. Figuren viser visse likehetstrekk i utviklingen av N:P-forholdene mellom de to lokalitetene gjennom hele prøveperioden. De lave forholdstallene for Voilan 29. juni og 20. juli skyldes høye fosfor-verdier ved disse datoene.

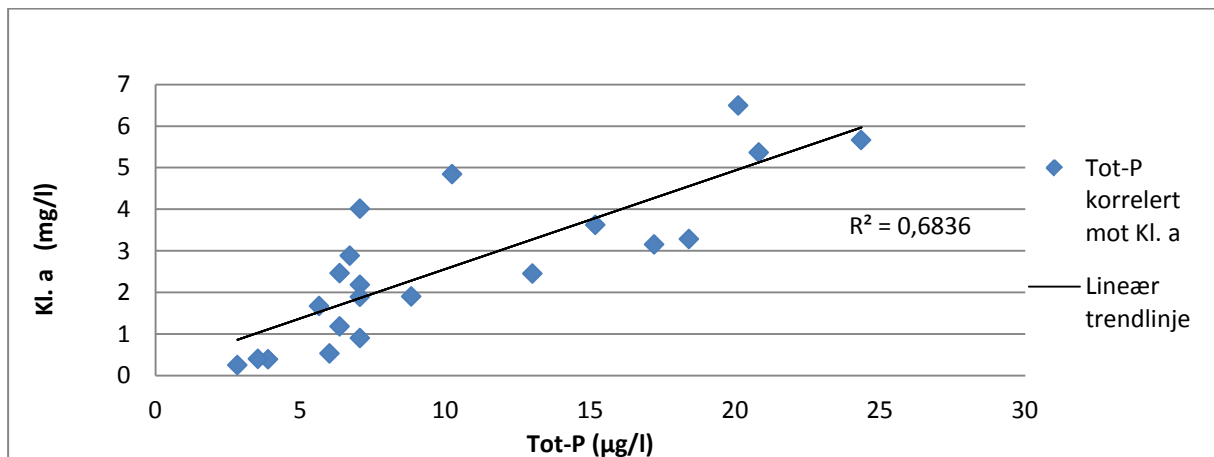
4.2.21 Klorofyll a



Figur 39. Endringer i klorofyll a-konsentrasjon for de ulike prøvelokalitetene gjennom vekstsesongen. De syv prøvedatoene er vist på x-aksen og klorofyll a konsentrasjon angitt på y-aksen.

Voilan har markant høyere gjennomsnittsverdier i sommermånedene enn Breidflå. Den 3. mai og 11. september er derimot forskjellene langt mindre (fig. 39). Det er en dynamisk utvikling i klorofyll a konsentrasjonene for Voilanlokalitetene i løpet av vekstsesongen. Voilan 1 har ved tre prøvedatoer lavere konsentrasjon av klorofyll a enn Breidflå, men har også til gjengjeld de høyeste verdiene av de ulike lokalitetene. Middelerdien for Voilanlokalitetene er 2.7 µg/l og for Breidflå 1.06 µg/l. Breidflås klorofyll- a utvikling viser en svak, men jevn økning fra 3. mai og frem mot 12. august.

4.2.22 Korrelasjon mellom totalt fosfor og klorofyll a



Figur 40. Konsentrasjonen av totalt fosfor korrelert med klorofyll a- konsentrasjonene i Voilanlokalitetene.

Grafen viser at det er en relativt god lineær korrelasjon mellom økning i totalt fosfor og økning i klorofyll- a i Voilan med en R^2 -verdi på 0.68 (fig. 40).

5. Diskusjon

5.1 Hydrologi og vannkvalitet

5.1.1 Dybdeforhold, vannstand og vannføring

Resultatene viser at Voilan er svært grunn sammenliknet med Breidflå. Breidflå ligger på grensen mellom en middels dyp og dyp innsjø. Dette er en grunnleggende forskjell mellom de to lokalitetene og påvirker i stor grad hvordan vannkvaliteten og de økologiske forholdene er i de to vannforekomstene. Målinger med ekkolodd og visuelle observasjoner i felt indikerer at så mye som omtrent 70-90 % av bunnarealet i Voilan ligger grunnere enn ca. 3 meters dyp. Bunnen virker flat og det er mulig å se helt til bunns over det meste av den bentiske sonen. Resultatene viser også at dybdeforholdene i Voilan og vannstanden under brua har en forholdsvis god samvariasjon gjennom prøveperioden. Det er mulig at vannstanden i Breidflå også styrer vannstanden i Voilan ved at de deler felles vannspeil. Til sammenlikning hevder en NIVA-rapport (92) at det er Tyrifjorden som bestemmer vannstanden i Steinsfjorden, på tross av liten vannutskiftning mellom dem. Vannstandsendingene i Breidflå er i stor grad påvirket av Otravassdraget med reguleringsmagasiner bare få kilometer oppstrøms. Dette kan dermed påvirke variasjonene i Voilan også. Det har ikke vært mulig å skaffe vannføringsdata for Otra fra det aktuelle kraftselskapet, men vannføringen antas å være såpass stor at den dominerer både de hydrologiske - og vannkvalitetsmessige forholdene i Breidflå. Arealet av nedbørsfeltet til Breidflå er svært stort sammenliknet med innsjøens overflate, med et forholdstall på hele 2012:1. Dette kan gi stor vanngjennomstrømning og kortere teoretisk oppholdstid, som påvirker vannkjemien på ulike måter. Voilans forhold mellom nedbørsfelt og innsjøareal er til sammenlikning bare 179:1, estimert på bakgrunn av målinger i karttjenesten NVE Atlas på nett (Norges vassdrags- og energidirektorat 2013). Det er heftet noe usikkerhet ved dette estimatet, men det gir en pekepinn på størrelsesforskjellene.

Selv om vannstandsendingene i stor grad er styrt av reguleringsregimet til Otravassdraget, spiller klimavariasjonene fra år til år også inn. Den høye vannstanden 21. mai kan sannsynligvis tilskrives en forholdsvis sein og nedbørsrik vår med 46 % mer nedbør enn normalen (tabell 1). Den laveste vannstanden ble målt 20. juli og stemmer overens med at det i juli kom 81% mindre nedbør enn normalen. Sammenhengene mellom værforholdene og hydrologien kompliseres nok av at nedbørsfeltet som drenerer til Breidflå er meget stort, samt av Otras reguleringer.

Vannføringsmålingene viser at Kjetsåna har en svært lav vannføring om sommeren. Dette er helt vanlig i følge grunneieren, som har bodd ved elveoset til Kjetsåna i ca. 50 år. Elva tørker vanligvis heller ikke helt ut (Nils Osmund Hegland. Pers. meddelelse). Det finnes ingen tidligere vannføringsmålinger å

sammenlikne med, men klimadata fra eKlima.no (Meteorologisk institutt 2013) kan benyttes for å vurdere hvor representative de er for sesongen.

Den største vannføringen ble målt til 1051 l/sekund den 3. mai. Dette kan sannsynligvis tilskrives snøsmelting, da det fremdeles lå snø langs elva på dette tidspunktet. På tross av at det kom 41 % mer nedbør enn normalt i mai var vannføringen sunket til 482 l/sekund ved andre felttur 22. mai.

Vannføringsmålingene fra 29. juli er ikke tatt med i figur 18 siden det er for stor måleusikkerhet knyttet til denne målingen, men ved observasjoner i felt var det tydelig at vannføringen var større da enn for både 22. mai og 8-9. juni. Dette kan muligens forklares med at det i løpet av hele juni kom 70 % mer nedbør enn normalen, og som ved slutten av måneden gav høyere vannføring enn i starten av måneden. Laveste vannføring var 20. juli med bare 85 l/sekund, dette samsvarer også med at juli i år var både tørr og varm, med i snitt 2.5 °C høyere temperatur enn normalperioden og 81 % mindre nedbør enn normalperioden. Vannføringen i år var 156 l/sekund. I denne måneden var det 30 % mer nedbør enn normalen ifølge eKlima.no (Meteorologisk institutt 2013).

Vannføringen i Kjetsåna samsvarer bare til en viss grad med dybdeforholdene i Voilan, men det er vanskelig å angi noen sikker sammenheng basert på målingene. Det kan for eksempel være forsinkelser i avrenningsmønsteret som gjør det vanskelig å sammenligne vannføringen direkte med dybdeforhold og vannstand. Det kan, som tidligere nevnt, være vannstanden under brua (og i Breidflå) som i hovedsak styrer vannstanden i Voilan.

Breidflås vannvolum, inkludert Voilandelen, er oppgitt i offentlige databaser over norske vannforekomster (Vann-nett 2013) til å være $22.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Den finnes ikke noen volumverdi for bare Voilandelen, men ved å benytte det estimerte arealet av vannoverflaten ganget med minimums- og maksimumsdybder basert på målingene i felt, befinner volumet seg sannsynligvis et sted mellom $0.175 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ og $0.430 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Anslaget er noe usikkert da dybdeprofilen ikke er kartlagt i detalj, men kan allikevel si noe om omfanget av volumforskjellene mellom Voilan og Breidflå.

Mulige implikasjoner av så grunne forhold og lite volum i Voilan, er at det relative vannvolumet endres svært mye i løpet av et år. Da kan fortykningseffekten eller konsentrasjonseffekter bli viktige for vannkvaliteten og økologiske forhold. På den annen side trer det ikke fram noe tydelig mønster ved å sammenlikne vannstandsendringer under brua med konsentrasjonsendringer av for eksempel suspendert stoff og plantenæringsstoffer, men stor sedimentoverflate i forhold til vannvolum kan gi omfattende interaksjoner mellom vannsøylen og sedimentene.

5.1.2 Konduktivitet

Breidflå har meget lave verdier for konduktivitet, noe som stemmer overens med at nedbørsfeltet er dominert av harde og kalkfattige bergarter med et tynt løsmassedekke (fig.10). Innsjøen Byglandsfjorden, som ligger oppstrøms av Breidflå i Otra, er dessuten et lærebokeksempel på en innsjø med naturlig lav konduktivitet, med verdier rundt 0.8 mS/m, ifølge Økland & Økland (2006 s. 122-123). Dette kan gi opphav til, og forklare, de lave konduktivitetsverdiene i Breidflå.

Hva som gjør at Voilan og Kjetsåna har høyere verdier kan ikke fastslås sikkert, men det kan være ulike forhold i nedbørsfeltet som medvirker til forskjellen. En annen forklaring kan være at lokale grunnvannstilsig har en større relativ betydning siden vannvolumet i Voilan er mindre. Ved tolkning av kart (fig. 12) fra Norges geologiske undersøkelse (2013), tyder ingenting på at det er stort grunnvannspotensiale eller store akviferer i nærheten.

En mulig forklaring på de lave verdiene for Kjetsåna og Voilan 29. juni kan være at det i juni var 70 % mer regn enn normalen, noe som kan ha hatt en fortynnende effekt med ionefattig nedbør. De høye verdiene for Kjetsåna og Voilan 1 og 2 den 20. juli kan skyldes at det i juli var særdeles lav vannstand og vannføring. Dette kan ha gitt en konsentrasjonseffekt for de løste forbindelsene som gir utslag på ledningsevnen. Hvis Kjetsåna og Voilan i denne perioden er dominert av grunnvannstilsig kan dette kanskje forklare høyere verdier, da grunnvann har høyere ledningsevne enn overflatevann.

Voilan viser samme verdier og variasjonsmønster som Kjetsåna gjennom hele prøveperioden. Dette kan tyde på at vannet som renner inn i Voilan i hovedsak kommer fra Kjetsånaelven i vest, og er årsak til forskjellene i vannkjemi mellom Voilan og Breidflå. Det er også interessant at konduktivitetsverdiene for Voilan 3 den 20. juli likner mer på Breidflås verdi enn de andre lokalitetene. Konduktivitetsmålingene i felt stabiliserte seg ikke, men svingte kraftig opp og ned. Dette kan tyde på at vannet renner i begge retninger under brua og at det oppstod en blandingssone hvor vann med lav ledningsevne fra Breidflå strømmet inn i Voilan rett vest for brua.

5.1.3 Temperatur og oksygen

Resultatene viser at oppvarmingen om våren er hurtigere i Kjetsåna og Voilan enn i Breidflå. Det er vanlig med større temperatursvingninger i elver, og volumet og dybden i Voilan er dessuten betraktelig mindre og grunnere enn i Breidflå, noe som fører til hurtigere opptak og frigivelse av varmeenergi. Dette kan nok gi Voilan noen flere dager med plante- og dyrevekst i løpet av våren enn Breidflå, men samtidig kan man av grafen antyde en tendens til at Voilan og Kjetsåna faller hurtigere i temperatur i august og

september. På høsten vil det dermed kanskje være noen færre dager med gode vekstforhold der sammenliknet med Breidflå.

Resultatene og observasjoner i felt tyder på at Voilan er så grunn at det ikke er noen klar termisk stratifisering. Selv om det er en viss forskjell på bunnvannstemperaturene og de manuelle målingene på 0.5 og 1 meter i oppvarmingsperioden i mai. Den uniforme vanntemperaturen skyldes at Voilan er såpass grunn og samtidig lyseksonert over det meste av arealet. Dette kan ha innvirkning på både strømningsmønsteret og de fysiske-, kjemiske- og biologiske prosessene i Voilan. For eksempel gjør de små tetthetsforskjellene det lettere for vinden å blande hele vannmassene og dermed fordele næringsstoffene jevnt, som en polymiktisk innsjø med mange fullsirkulasjoner i løpet av året istedenfor to, slik som er vanlig for mange dype dimiktiske innsjøer i Norge. Med god fordeling av varmeenergi og næringsstoffer i hele vannmassene påvirker dette de biologiske prosessene direkte og kan for eksempel bidra til økt primærproduksjon, noe som igjen kan gi ringvirkninger i resten av næringsnettet.

Det er ikke foretatt vertikale målinger i dybdeprofilen i Breidflå for noen av parametrene i feltundersøkelsen, dermed kan ikke resultatene si noe om stratifiseringsforholdene i Breidflå. Med et maksimumsdyp på 43 meter er det sannsynlig med en tetthetsgradient både om vinteren og om sommeren. Her spiller sannsynligvis Otras vanntilførsel inn i Breidflå også en viktig rolle. Dette kan muligens gjøre epilimnion-sjiktet i Breidflå noe kaldere om sommeren når kjøligere elvevann fra Otra munner ut i Breidflå.

Temperaturresultatene samsvarer forholdsvis godt med variasjonene i lufttemperaturene for prøveperioden, hentet fra værtjenesten Yr.no (Meteorologisk institutt 2013). Foreksempel viser både de manuelle og automatiske vanntemperaturmålingene lave verdier 29. juni for alle prøvelokalitetene, sammenliknet med tidligere i måneden og i mai. Her viser også lufttemperaturen den 23.-29. juni midlere døgnverdier som samsvarer med vanntemperaturene i den samme perioden. Solinnstråling er riktig nok generelt den viktigste kilden til oppvarming av vannmassene, og kan hende er den primære faktoren. Alle lokalitetene er dessuten varmest 20. juli, noe som passer inn i bildet med varmere temperaturer enn normalt for måneden, se tabell 1.

Voilan 1 viser jevnt over litt lavere temperaturer enn Voilan 2 og Voilan 3, og kan nok forklares ved at den mottar kjøligere elvevann fra Kjetsåna. Temperaturutviklingen i Voilan 1 er dessuten omtrent den samme som for Kjetsåna, noe som støtter denne antagelsen. Voilan 2 er lokaliteten med minst dyp, størst soleksponering og har sannsynligvis mye stillestående vann i løpet av sommeren. Dette kan forklare hvorfor den har høyest temperatur av alle lokalitetene. De manuelle vanntemperaturmålingene er noe høyere enn bunnvannsmålingene. Dette kan blant annet forklares med at disse ble målt høyere i vannsøylen og dermed var mer eksponert for direkte sollys enn Hobo-loggerne. Bunnvannsmålingen for

Voilan 3 er mer stabil enn Voilan 1 og Voilan 3. Dette kan skyldes at den ligger litt dypere, ca. 1-2 meter, og at den sannsynligvis mottar noe vann fra Breidflå som er mer temperaturstabil.

Både Voilan og Breidflå viser generelt gode oksygenforhold gjennom hele vekstsesongen. Høyt O₂ – innhold, og sannsynligvis omrøring av hele vannmassene i Voilan, tyder på at det er et godt potensiale for nedbrytning av organisk materiale. Dette kan også motvirke anaerobe forhold rett over bunnsedimentene og hindre interngjødsling av fosfor.

I "Veilederen for klassifisering av miljøtilstand i vann. Veileder 01:2009." utgitt av "Direktoratsgruppa for gjennomføring av vannrammedirektivet" (Direktoratsgruppa 2009 s.92) benyttes tålegrenser for laksefisk som basis for klassegrensene ved klarvannstypen og karpfisk for humusvannstypen. Breidflå ville havnet i klassen "God", på grensen til "Svært god". Og Voilan i klassen "Svært god" hvis den plasseres i humustypen, eller "God" hvis den plasseres i klarvannstypen.

Sidene målingene er gjort på 1 meter, og i noen tilfeller 0.5 meters dyp, er det i stor grad vanntemperaturen som styrer hvor mye oksygen som løser seg opp i vannet. Målingen ble dessuten målt på dagtid med mulighet for fotosyntese og oksygen produksjon. De laveste O₂-verdiene ble målt 20. juli og kan sannsynligvis tilskrives at dette var den klart varmeste feltdagen. Årsaken til at Breidflå hadde høyere O₂-innhold 21. mai kan skyldes at temperaturen da var ca. 10 grader lavere enn i Voilanlokalitetene.

5.1.4 Siktedyp og turbiditet

Resultatene viser at siktedypet når helt til bunns i Voilan. Breidflå har et gjennomsnittlig siktedyp på 4.5 meter i løpet av prøveperioden, men målingen i felt 8. juni er sannsynligvis litt for lav da en alternativ metodikk måtte benyttes. Dermed er nok det reelle gjennomsnittet noe høyere. Siktedypet befinner seg da på grensen mellom "God" og "Moderat" tilstandsklasse ved bruk av veilederen "Klassifisering av miljøtilstand i vann" (Direktoratsgruppa 2009 s.90). Siktedypet og turbiditeten kan til sammen si noe om lysforholdene og dybden på den eufotiske sonen i en innsjø. For Voilan når den eufotiske sonen helt til bunnen, siden det er tett plantevekst over det meste av den bentiske sonen. Ved å gange det gjennomsnittlige siktedypet i Breidflå med 2.5 kan man få et omtrentlig anslag på hvor dypt ned den eufotiske sonen går. Dette tilsvarer i år ca. 11 meter.

Turbiditetsverdiene for Voilan er for hele prøveperioden ca. dobbelt så høye som for Breidflå, og de varierer dessuten mye i løpet av prøveperioden med høyest turbiditet i juni og juli. Det er usikkert hva

variasjonsmønsteret skyldes, for turbiditeten samsvarer verken direkte med variasjonene i suspendert stoff eller vannstandsendingene. Det finnes ikke klassegrenser for turbiditet i den siste klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa 2009), men ved å sammenlikne med tilstandsklassene i SFTs tidligere veileder om miljøtilstand i ferskvann (Statens forurensningstilsyn 97.s.15), ville Breidflå havnet i klassen "God", men Voilan havnet i klassen "Mindre god". (Her er det benyttet FTU- verdier, men disse er sammenliknbare med FNU-verdiene i denne undersøkelsen.) Både siktedyps- og turbiditetsresultatene stemmer forholdsvis godt overens med at Breidflå allerede er karakterisert som en klar innsjø i "vann-nett.no" (2013).

Til tross for at turbiditeten er høyere i Voilan, er lysforholdene såpass gode at det tillater vannplanter å vokse over det meste av den bentiske sonen. Observasjoner og anslag i felt tyder på at ca. 70% - 80% av bunnforholdene er bevakst med ekte vannplanter. Særlig er det i området omkring Voilan 2 og Voilan 3 stor produksjon. Betydningen av perifyton for stoffomsetningen i en innsjø øker dessuten med andelen av den bentiske sonen som ligger over kompensasjonsdypet. I svært grunne innsjøer kan bentisk produksjon utgjøre en betydelig del av karbonmassen hos primærprodusentene, som beskrevet hos Wetzel (2001 s. 621).

5.1.5 Farge, optisk tetthet (absorbans ved UV 254) og totalt organisk karbon

Voilan har gjennom hele prøveperioden et mye høyere fargetall, og høyere optisk tetthets-verdier og TOC- konsentrasjoner enn Breidflå. Også vurderingen av tilsynelatende farge i felt viser mer farge, samt en annen fargetype i Voilandelen. Disse fire parametrene peker sterkt i retning av at det er mer humus i Voilan enn i Breidflå. For det første ligger alle Voilans fargeverdier, bortsett fra én måling, over 30 mg Pt/l, og en stor andel av TOC- verdiene ligger i intervallet 5- 15 mg/L. Dette er for begge parametrene innenfor grensene som gjør at den kan typifiseres som humøs, iflg. "Veileder 01:2009" (Direktoratsgruppa 2009 s.21). Også resultatene for tilsynelatende farge med dominans av gulbrunt tyder på at det er mer humusmateriale i Voilan enn i Breidflå, da det er velkjent at økende gulbrun farge henger sammen med økende humusinnhold. Resultatene fra tilsynelatende farge i felt er dermed på linje med de andre parametrene som indikerer den samme forskjellen mellom Voilan og Breidflå. Påtakelig er også fraværet av grønnnyanser. Dette kan antyde lave algekonsentrasjoner og stemmer overens med de lave klorofyll a -verdiene for både Voilan og Breidflå.

Breidflå har derimot en gjennomsnittlig TOC- konsentrasjon på bare 2.2 mg/l, og de fleste fargeverdiene ligger under 20 mg Pt/l. Den tilsynelatende fargen i felt er også preget av mer blått og gult enn Voilan, og har færre brun-nyanser. Alt dette passer inn i oppfatningen av Breidflå som en forholdsvis klar innsjø

med lavt humusinnhold. Gulbrune fargenyanser i vann er ofte stabile i pH- område 5-7, et intervall både Voilan og Breidflå befinner seg i.

For Voilanlokalitetene ble det gjort enkle korrelasjonstester mellom TOC, farge og optisk tetthet for å kunne se nærmere på sammenhengene mellom variablene. Variasjonsspennet i TOC, farge og optisk tetthet i Breidflå var ikke store nok til å gjøre korrelasjon mellom parametrene.

Figur 29 viser en viss positiv og lineær sammenheng mellom økende TOC- konsentrasjoner og økende farge for Voilan med en R^2 -verdi på ca. 0.67. Resultatet er helt i overensstemmelse med en stor norsk undersøkelse om sammenhengen mellom TOC og farge gjennomført av Hongve og Andersen (1991) ifølge Økland & Økland (2006 s.175). Her var også R^2 -verdien på 0.67, men med stor spredning i materialet. Dette viser at mye av fargeforskjellene mellom Voilan og Breidflå sannsynligvis kan tilskrives forskjeller i TOC- innhold. Videre viser figur 32 en høy positiv og lineær sammenheng mellom økende TOC- konsentrasjon og økende optisk tetthet. Her er sammenhengen bedre enn mellom TOC- konsentrasjon og farge ved 410 nm, med en R^2 -verdi på hele 0.83. Det er ifølge Økland & Økland (2006 s.173) vanlig å bestemme humusmengden etter vannets evne til å absorbere ultrafiolett stråling. Dermed kan resultatene her indikere at tungt nedbrytbare humusmolekyler utgjør en stor del av TOC- fraksjonen i Voilan.

Resultatene for spesifikk farge viser også at det er en annen kvalitet på det organiske materialet for Voilan, med mer farge pr. TOC- innhold, noe som tyder på humuspreg. Dette stemmer overens med at det var større korrelasjon mellom TOC og UV-absorbans enn det var mellom TOC og farge ved 410nm.

Det er viktig å bemerke at korrelasjonstester ikke nødvendigvis angir en kausal sammenheng, samt at det kan være andre bakenforliggende faktorer som gir opphav til sammenhengene. På den annen side er resultatene som forventet da små vannforekomster ofte har mer humus enn store fordi de proporsjonsmessig har større kontaktsone mellom substrat, omgivelser og vann. Dessuten er prosessene i et stort vannvolum mer effektive til å fjerne humus med både fysiske -, kjemiske - og biologiske mekanismer.

Andre mulige forklaringer kan være at en stadig omrøring av vannmassene i Voilan forhindrer at humusstoffene sedimenteres, og at de dermed holdes lettere svevende i vannmassene. Eller det kan skyldes at nedbørsfeltet til Voilan skiller seg fra Breidflås med større andel myrer. En annen mulig forklaring er hvis Voilan har et høyere forhold mellom produksjon og respirasjon i vannmassene ($P>R$ forhold) enn det Breidflå har.

5.1.6 Suspendert stoff og organisk materiale

Det er generelt lave verdier av suspendert stoff i både Voilan og Breidflå, men Voilanlokalitetene har jevnt over høyere verdier enn Breidflå. En høy verdi for Voilan 2 den 20. juli trekker snittet noe opp. Dette kan foreksempel skyldes en mulig konsentrasjonseffekt, siden dypet var grunnere enn 1 meter denne datoen, eller det kan skyldes oppvirvling av sedimenter under prøvetakning, noe som var vanskelig å forhindre.

Resultatene stemmer godt overens med typifiseringen av Breidflå som en klar innsjø med suspendert stoff under 10 mg/l (Vann-nett 2013). Det finnes ingen klassegrenser for suspendert stoff i den nye klassifiseringsveilederen "01:2009" (Direktoratsgruppa 2009), men hvis den tidligere SFTs-veilederen "Klassifisering av miljøtilstand i ferskvann" fra 1997 benyttes, ville Breidflå med sin middelvei på 1.1 mg/l havnet i tilstandsklassen "Meget god", og Voilanlokalitetene med middelvei 2.7 mg/l havner i tilstandsklassen "God". SFTs system tar dog ikke hensyn til forskjellige innsjøtyper med ulik forventet naturtilstand.

I følge Scheffer (2004 s. 47) kan makrofytter og bunnvegetasjon hemme vindindusert resuspensjon (Scheffer 2004 s.47). Dette kan tenkes å være tilfellet i Voilan også, ellers ville muligens SS-verdiene vært høyere enn de er, siden det var svært bløte bunnsedimenter over store deler av bunnarealet. Dette var lett å observere i felt når vannstanden var såpass lav at kano eller robåt måtte dras over grunne partier, blant annet mudderbanker.

Resultatene for glødetap, med en middelvei for alle lokalitetene på 73 %, viser at en betydelig del av det suspenderte stoffet er organisk materiale. Voilan skiller seg ikke vesentlig fra Breidflå annet enn med litt mindre variasjoner i løpet av prøveperioden, men det riktige nok heftet forholdsvis stor usikkerhet ved disse resultatene, da verdiene var såpass lave.

5.1.7 pH og alkalitet

Alle lokalitetene heller mot en svakt sur vanntype, men Voilanlokalitetene skiller seg fra Breidflå med en midlere pH-verdi som er 0.3 pH-enheter lavere enn Breidflå og med svingninger som litt større.

Grenseverdiene beskrevet i veileder "01:2009" (Direktoratsgruppa 2009 s.92-93) baserer seg på laveste målte pH-verdi ved fire prøver årlig, vår, sommer, høst og vinter. Mens det i denne undersøkelsen bare er undersøkt fra vår og til sensommer/tidlig høst. For Breidflås vanntype er grensen mellom "God" og "Moderat"-tilstand satt ved pH 5.9. Resultatene viser at laveste pH-verdi er 5.8, dermed ville den havnet i klassen "Moderat". Hvis Voilan typifiseres som en humøs innsjø har denne vanntypen lavere

grenseverdier for pH, men Voilan ville allikevel havnet i klassen "Svært dårlig" da laveste pH-verdi er målt til 5.15. Dette resultatet stemmer godt overens med den tidligere vurderingen av Breidflås bekkefelt, som også inkluderer Kjetsåna, der forureningstilstanden ble vurdert som dårlig (Vann-nett 2013).

Resultatene viser generelt svært lave alkalitetsverdier for både Voilan og Breidflå, noe som gir en begrenset bufferkapasitet mot pH-endringer. Voilanlokalitetene varierer betraktelig mer gjennom prøveperioden enn Breidflå. Gjennomsnittsverdiene for både Voilan (0.023 mmol_c/l) og Breidflå (0.017 mmol_c/l) er lavere enn grensen for "God" tilstand, som er satt til henholdsvis 40 mmol_c/l for humøst vann og 0.02 mmol_c/l for klar vanntype (Direktoratsgruppa 2009 s.95). I disse gjennomsnittsberegningene er heller ikke vintermålinger tatt med.

Karbonatfattige gneissbergarter, tynt løsmassedekke og jordsmonn i nedbørsfeltene kan antageligvis bidra til at vannene har en naturlig forholdsvis lav pH og alkalitet. Langtransportert sur nedbør kommer nok eventuelt som en tilleggsbelastning.

Noen biologiske følger av lav pH og alkalitet kan blant annet være vanskelige levevilkår for dyr med kalsiumkarbonatskall eller skjell. Et annet poeng er at de fleste cyanobakterier (men ikke alle) trenger HCO₃⁻ som karbonkilde, mens grønnalger som er ekte planter, derimot kan bruke CO₂ i tillegg til HCO₃⁻. Dette fører til at cyanobakterier kan utkonkurreres når pH er lavere enn 6.5 og uorganisk karbon i hovedsak foreligger som fritt CO₂. Den totale mengden uorganisk karbon tilgjengelig er dessuten i dette tilfellet meget liten da alkaliteten er veldig lav, så cyanobakterieandelen av algesamfunnet er sannsynligvis lav både i Voilan og i Breidflå. Mangel på uorganisk karbon kan dessuten medføre en rask kollaps ved en eventuell algeoppblomstring.

5.1.8 Totalt nitrogen, totalt fosfor og klorofyll a

Voilanlokalitetene viser høyere nitrogenkonsentrasjoner gjennom hele prøveperioden enn Breidflå. En svært høy verdi for Voilan 1 den 8. juni trekker gjennomsnittet noe opp. Dette kan være en feilmåling, men fosforkonsentrasjonen er også høy ved denne feltmålingen for Voilan 1, noe som kan tyde på en mulig sammenheng med punktkilde som årsak. For eksempel ekskrementer fra husdyr på beite innerst i bukta.

Her er også resultatene sammenliknbare med veileder "01:2009" sine klassegrenser (Direktoratsgruppa 2009 s.91) og Breidflå ville havnet i klassen "Svært god" med en gjennomsnittsverdi på 0.2 mg/l-Tot. N. Dette er til og med lavere enn referanseverdien for vanntypen "Kalkfattig, klar og dyp innsjø i lavlandet".

Voilanlokalitetene har en middelvei på 0.41 mg/l-Tot. N og ville ha havnet i klasse "God" når den typifiseres som humøs.

Nitrogennivåene i grunne Voilan er høyere enn i Breidflå på tross av at forskning fra Jensen et. al (1991), ifølge Scheffer (2004 s. 50), har vist at betydelige mengder nitrogen kan forsvinne fra grunne innsjøer som følge av denitrifikasjon. De hevder imidlertid at nitrogendynamikken i sedimentene er mindre studert enn den er for fosfor.

TOC/Tot-N- forholdet over hele perioden er for Breidflå 11:1 og Voilan 15:1. De to lokalitetene ligger i samme størrelsesorden, men Voilans noe høyere verdier er i overensstemmelse med at den er mer humøs. Selv om Hutchinson (1957), ifølge Wetzel (2001), hevder at svært dystrofe innsjøer kan ha et C:N-forhold mellom 45:1 og 50:1 på det organiske materialet av alloktont opprinnelse. Forskjeller i nedbørsfeltene kan også forklare resultatene. De to prøvedatoene 29.6 og 11.9 hvor C:N-forholdet er ekstra høyt sammenliknet med Breidflå, skyldes høye TOC-verdier. Kanskje kan dette indikere større terrestrisk dominans i perioder med intens nedbør og større avrenning fra nedbørsfeltet til Voilan, da det for eksempel i juni var 70% mer nedbør enn normalt. Både forholdsvis lave pH-verdier og lave klorofyll a verdier tyder på liten egenproduksjon av organisk materiale i begge lokalitetene. Breidflå har dessuten et særdeles stort nedbørsfelt i forhold til innsjøoverflaten, noe som kan gi opphav til en betydelig tilførsel av alloktont materiale til vannforekomsten.

Når det gjelder innholdet av totalt fosfor, skiller Voilanlokalitetene seg fra Breidflå med et betraktelig høyere innhold av fosfor i løpet av månedene juni og juli. I resten av sesongen er ikke forskjellene like store, men fortsatt tydelige. Totalt sett er forskjellene mellom de to lokalitetene større enn det den er for totalt nitrogen.

Klassegrensene fra veilederen "01:2009" gjelder årsmiddelveidier basert på månedlige målinger i vekstsesongen og kan således anvendes direkte på resultatene for Voilan og Breidflå. Breidflå ville havnet i klassen "Svært god" med en middelvei på 3.2 µg/l-Tot.P, og det samme gjør Voilan med en middelvei på 10.4 µg/l-Tot.P. Hvis Voilan skulle typifiseres som en kalkfattig, grunn og klar innsjø ville den bare havnet i klassen "God". Her er det glidende overganger og usikkerhet involvert, så det bør gjøres målinger for vannkvalitetsparametrene over flere år før slike klassifiseringer tillegges stor betydning, men de kan allikevel være et hjelpemiddel i tolkningen av resultatene.

En stor andel av vanntransportert fosfor er ofte partikulært bundet, så muligens kan den lave vannstanden og vannføringen i Voilan om sommeren ha gitt en konsentrasjonseffekt på fosforverdiene.

På den annen side, viser ikke suspendert stoff og fosfor noen tydelig korrelasjon i løpet av prøveperioden. Det er med andre ord vanskelig å skulle forklare dette med de hydrologiske forholdene.

En enklere og mer plausibel forklaring på forskjellene mellom Voilan og Breidflå er husdyrgjødsel fra beitet som ligger innerst i elveoset. Sannsynligvis skylles mye avføring fra storfe direkte ut i Voilan ved kraftige regnskyll, og kanskje kan dette forklare de høye fosforverdiene i juni, siden det var ekstra mye nedbør i juni i år. Dette kan også støttes ved å studere fosforutviklingen for de tre Voilanlokalitetene gjennom hele prøveperioden. Her viser Voilan 1, som ligger nærmest beiteområdet, høyest fosforkonsentrasjon 8. juni, men den avtar deretter. Den 29. juni er det Voilan 2, som ligger lengre øst, som har den høyeste fosforverdien, og som deretter avtar ut perioden. Den 20. juli er det Voilan 3, som ligger lengst øst ("nedstrøms"), som har den høyeste verdien, og som deretter avtar. Det kan nærmest se ut som en "fosfor-puls" som beveger seg nedstrøms. Dette passer dessuten inn i bildet for hvordan strømningsmønsteret virket å være under feltarbeidet i Voilan.

Kunstgjødsel fra den nærliggende åkeren kan også bidra med fosfor, det samme kan fugleavføring fra det store antallet fugler som benytter Voilan.

De observerte forskjellene mellom Voilan og Breidflå kan ha en naturlig forklaring. For ifølge Scheffer (2004 s. 49-59) er sesongdynamikken for næringsstofftilgjengelighet helt annerledes i grunne innsjøer uten termisk stratifisering, sammenliknet med dypere og stratifiserte innsjøer. I de sistnevnte er det et kontinuerlig tap av næringsstoffer fra epilimnion til hypolimnion gjennom sommeren, som ikke blir resirkulert for høstomrøringen fører tilbake mineraliserte næringsstoffer. Grunne innsjøer viser på den annen side ikke dette systematiske tapet av næringsstoffer gjennom sommeren. Interaksjonen mellom vannsøylen og sedimentene medfører at det meste av det sedimenterte materialet føres hurtig tilbake til vannmassene. I tillegg vil den relativt høye temperaturen i sedimentene om sommeren føre til en økning av mineraliseringsraten og dermed også øke frigivelse av næringsstoffer fra sedimentene. Resultatet av disse forholdene er for eksempel at fosforkonsentrasjonene i grunne og dype innsjøer gjerne viser motsatt sesongvarisjoner ifølge Scheffer (2004 s. 50). Dette bør muligens tas med noe forbehold, da Scheffers eksempler er fra eutrofe innsjøer med betydelig høyere fosforkonsentrasjoner enn det Voilan og Breidflå har. Figur 37 viser heller ikke noe fosfortap fra Breidflås epilimnionsjikt om sommeren. Verdiene er svært stabile og lave.

Når N:P forholdet er over 12:1 på vektbasis markerer dette ifølge Økland & Økland (2006 s. 142) skillet mellom nitrogen- og fosforbegrensning. Figur 38 viser at både Voilan og Breidflå ligger høyt over dette for hele perioden, og de kan dermed regnes som fosforbegrenset sammenliknet med nitrogen. Voilan har dessuten over hele prøveperioden et lavere forholdstall enn Breidflå, noe som også kan indikere at denne er mindre fosforlimitert. Samtidig er Voilandelen minst limitert i de periodene hvor

temperaturforholdene vanligvis er høyest om sommeren. Dette fordi fosforkonsentrasjonen i Voilan øker mer om sommeren enn det nitrogenkonsentrasjonen gjør. Dette kan sammen bidra til en eutrofierende effekt i bukta. Noen biologiske følger av det forholdsvis høye N:P-forholdet i de to lokalitetene, er at det er uvanlig med cyanobakterier når N:P-forholdet på mol-basis overstiger 29 i epilimnion, ifølge Wetzel (2001 s.279). Et forholdstall som overstiges både i Voilan og Breidflå.

Resultatene viser at både Voilanlokalitetene og Breidflå har svært lave konsentrasjoner av klorofyll a. Her er også resultatene sammenliknbare med veilederen "01:2009" sine klassegrenser (Direktoratsgruppa 2009 s.90) og Breidflå ville med et gjennomsnitt på 1.06 µg/l havnet i klassen "Svært god", og ligger dessuten nærmere referanseverdien for "Kalkfattige, klare **skogsvann**" som har enda lavere grenseverdier. Voilanlokalitetene med en middelverdi på 2.6 µg/l ville havnet i klassen "Svært god" for både humøse og klare vanntyper, samt for vanntypen "Humøse **skogsvann**".

Til tross for at Voilan har høyere verdier for farge, turbiditet, TOC og suspendert stoff enn Breidflå, alle forhold som kan være med på å svekke lystilgangen, er klorofyll a konsentrasjonen totalt sett over dobbelt så høy i Voilan. Forskjellene er dessuten størst om sommermånedene. Den 3. mai og 11. september er derimot forskjellene langt mindre. Voilan 1 har ved tre prøvedatoer lavere konsentrasjon av klorofyll a enn Breidflå, men har til gjengjeld de høyeste resultatene av lokalitetene. Dette kan kanskje tyde på at Voilan 1-lokaliteten har et mer elveaktig preg enn de andre lokalitetene.

I følge veilederen "01:2009" er det en solid korrelasjon mellom klorofyllkonsentrasjon og algebiomasse i norske innsjøer med en R^2 -verdi over 0.8. Selv om enkeltlokaliteter kan ha store variasjoner i forholdet mellom klorofyll og algevolum avhengig av artssammensetning og lysforhold (Direktoratsgruppa 2009 s. 45). Så det kan i hovedsak antas at algebiomassen i både Voilan og Breidflå er svært lave. Dette er sannsynligvis relatert til de lave nitrogen- og fosforverdiene.

I følge Scheffer (2004 preface) forekommer grunne innsjøer ofte i et av to stabile ytterpunkter; enten i en klar tilstand dominert av undervannsmakrovegetasjon, eller i en turbid tilstand dominert av fyttoplankton. Her spiller stabiliserende positive feedback-mekanismer inn. For Voilans del tyder funnene på at dette er en grunn innsjø der de bentiske makrofyttene dominerer over algene som viktigste primærprodusenter. Dette var tydelig å se direkte fra båt og kano i hele prøveperioden. Muligens utkonkurrerer de bunnvoksende makrofyttene fyttoplankton som følge av forholdsvis klart vann med en eufotisk som når sone helt til bunns.

Scheffer (2004 s. 47,48 og s.225) hevder videre at makrofytter spiller en nøkkelrolle i å holde en grunn innsjø klar ved å hemme vindindusert resuspensjon av bunnsedimenter, samt at zooplankton finner skjul fra fisk i vegetasjonen og kan dermed bidra til kontroll av algebiomassen i innsjøen. Muligens kan

dette ha bidratt til at suspendert stoff- og turbiditetsverdiene i Voilan ikke er høyere enn det de faktisk er. Hadde Voilan derimot vært svært turbid, kunne det tenkes at makrofyttensamfunnet fikk for dårlige lysforhold og algene ville ta over som den dominerende fotosyntetiserende organsimegruppen i Voilan.

Figur 40 viser en relativt god positiv og lineær sammenheng mellom konsentrasjonene av totalt fosfor og klorofyll a for Voilan, men dette bør tolkes med forsiktighet da bare to av klorofyll a målingene var over bestemmelsesgrensen for analysemetoden, og usikkerheten derfor er stor. Disse to parametrene er ofte autokorrelerende og kan begge være uttrykk for det samme, siden fosfor for eksempel er en viktig del av celleveggen til vannorganismer med klorofyll a. Det ble ikke gjennomført korrelasjon med Breidflås parametre da det var for lite spenn i de to parameterresultatene.

I NIVAs rapport om pumping av vann fra Tyrifjorden inn i Steinsfjorden som et mulig tiltak for å bedre vannkvaliteten der (NIVA 1996 s.10), hevder forfatterne at økende fosforkonsentrasjon og minkende vannfornyelse er de to hovedparametrene som styrer den totale fosforbelastningen og algeutviklingen i en innsjø. Begge disse faktorene kan være med på å forklare hvorfor det er høyere klorofyll a verdier i Voilan om sommeren, siden fosforkonsentrasjonen da er høyere, og vannutskiftningen sannsynligvis er lavere. Disse hovedparametrene kan også gi en indikasjon på hvorfor klorofyll a verdiene er høyere i Voilan sammenliknet med Breidflå siden fosfor konsentrasjonene er lavere og vannutskiftningen sannsynligvis raskere i Breidflå.

På den annen side, som Dag Berge bekrefter under NIVAs foredrag (NIVA 2008) om fosforbelastning i ulike innsjøer; så øker en innsjøes tålegrense for fosfor og alger, før det blir cyanobakterieoppblomstring og oksygenvinn, med minkende middeldyp i innsjøen. Dvs. at Voilan nok "tåler" mer totalt fosfor og alger før dette blir problematisk. Dette er også på linje med forskningen til Janse et al. (2008), som benyttet datamodelleringer for å undersøke hvordan ulike parametre påvirker den kritiske tålegrensen for fosfor i grunne innsjøer. Disse var enten i en klar, makrofyttedominert tilstand eller i en turbid, algedominert tilstand. Modelleringen viser blant annet at den kritiske tålegrensen for fosfor blir lavere med økende innsjøareal, økende middeldyp og økende oppholdstid. I følge forfatterne var funnene i hovedsak i overensstemmelse med empiriske bevis. Dermed kan det tenkes at den hydrauliske oppholdstiden i Voilan, som muligens er forholdsvis kort, kan virke i motsatt retning og senke dens kritiske grense for fosforbelastning.

5.2 Oppsummerende sammenlikning av Voilan og Breidflå

Ifølge resultatene er Breidflå en dyp, klar og næringsfattig innsjø, med et veldig lavt totalt nitrogen- og fosforinnhold. Begge parametrene er så lave at man kan diskutere nitrogen og/eller fosfor limitasjon. Dette gjenspeiles også med svært lave klorofyll a verdier for Breidflå. Stort siktedyp, lave fargeverdier, totalt organisk karbon, suspendert stoff og turbiditet tyder på gode lysforhold og lite humus. Det dermed trolig nitrogen, fosfor og muligens temperaturen som begrenser veksten mest. Resultatene for Voilan derimot viser at den kan typifiseres som en svært grunn, humøs innsjø, eller våtmark, med litt lavere pH enn Breidflå. Konduktivitetsverdiene tyder på at hovedtilførselen av vannet kommer fra Kjetsåna, noe som kan prege vannkjemien i bukta. Vannkvaliteten i Voilanbukta er mer farget og turbid og har dessuten en høyere konsentrasjon av suspendert stoff, totalt organisk karbon, totalt nitrogen, totalt fosfor og klorofyll a. Selv om både totalt fosfor-, totalt nitrogen- og klorofyll a verdiene er lave sammenliknet med andre norske innsjøer i lavlandet. N:P forholdet indikerer at Voilan nok er noe mindre fosforlimitert sammenliknet med nitrogen enn det Breidflå er. Temperaturøkningen om våren er også hurtigere enn i Breidflå. Dette kan til sammen gi noe bedre vekstforhold. Noe av det viktigste som skiller Voilan fra Breidflå er et siktedyp som når helt til bunnen over det aller meste av dens arealet og dermed tillater vannplanter å vokse over hele den bentiske sonen.

5.3 Vurdering av hypotese 1: "Det er ingen klare forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og den avsnørte delen Voilan."

Etttersom det ikke finnes noen tidligere data og undersøkelser for hvordan dybdeforhold, vannkvalitet og økologiske forhold var i Voilan før veifyllingen kom rundt 1890, kan det ikke dokumentere direkte hvordan vannkvaliteten i Voilan har endret seg over tid, eventuelt som følge av veifyllingen.

Datagrunnlaget er heller ikke stort nok til å gjøre statistiske tester på det. Undersøkelsene er dessuten bare over en vekstsesong og resultatene kan dermed i prinsippet skyldes naturlige variasjoner. For eksempel var de klimatiske forholdene ikke spesielt representative for årstiden sammenliknet med normalperioden, med en svært våt mai og juni etterfulgt av en særdeles tørr, og forholdsvis varm juli.

Pross av disse usikkerhetene og forbeholdene, gir oppsummeringen av forskjellene mellom Voilan og Breidflå en tydelig pekepinn på at det **er** signifikante forskjeller mellom dem i vannkvalitet og økologiske forhold. På bakgrunn av at Voilan både er vesentlig grunnere og har et betraktelig mindre vannvolum enn Breidflå, fremtrer de observerte forskjellene mellom dem som til dels naturlige og konsistente. Det vurderes dermed som mest sannsynlig å forkaste hypotese 1 fremfor å beholde den.

5.4 Vurdering av hypotese 2: ”Dersom det forekommer signifikante forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilan skyldes dette *ikke* veifyllingen, og dens påvirkning på vannutskiftning og dybdeforhold i Voilan.”

Til hjelp for å vurdere holdbarheten i denne hypotesen bør to forhold diskuteres nærmere. Det første er hvorvidt veifyllingen faktisk har minsket vannutskiftningen mellom Voilan og Breidflå. Det andre er i hvilken grad veifyllingen har økt sedimenteringsraten i Voilan og gjort den grunnere. Disse to faktorene henger sammen, og svarene på disse spørsmålene vil legge premissene for hvorvidt veifyllingen kan forklare de observerte forskjellene i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Voilan og Breidflå.

Voilans konduktivitetsverdier samvarierer med, og er svært like, Kjetsånas verdier, noe som tyder på at vannet holdes tilbake og i forholdsvis liten grad blander seg med Breidflås vannmasser, ellers ville de sannsynligvis ha liknet mer på Breidflås lave verdier. Målingene for Voilan 3 den 20.juli indikerer en blandingszone rett på innsiden av veifyllingen i Voilانبukta, så vannet kan tydeligvis strømme begge veier gjennom åpningen. Dette støttes også av tolkninger av flyfotoet fra 1958. Når fotoet forstørres, ser man fløta tømmerstokker som muligens har kommet inn i Voilan under brua fra Otra.

Situasjonen i Voilan og Breidflå kan til en viss grad sammenliknes med situasjonen til Steinsfjordens avsnøring fra Tyrifjorden, som følge av vegfyllinger i Kroksund. Særlig ettersom lengden på veifyllingen er tilsvarende, selv om vannvolumene der er av en høyere størrelsesorden. NIVAs undersøkelser og teoretiske beregningene for strømningsmønster og vannutskiftning mellom Tyrifjorden og Steinsfjorden, kom fram til at vannutvekslingen grovt sett antas å øke proporsjonalt med økningen i det åpne tverrsnittarealet i veifyllingen/brua (NIVA 92 s.9).

Spørsmålet er i hvilken grad Voilانبukta delvis var skjermet fra Breidflå også før veifyllingen ble bygget. Kan en fysisk avnøring så fall skyldes naturlige forhold og prosesser, som for eksempel en geologisk terskel i området hvor veifyllingen ligger nå? Eller at elva Kjetsåna kan ha bygd opp en terskel av elvetransportert løsmasser i forbindelse med flomepisoder? Denne terskelen kunne gitt en naturlig ”avnøring” av vannet i Voilan og hemme vannutskiftning med Breidflå, med en påfølgende gradvis endring i vannkvalitet og gjensedimentering. Det har ikke vært mulig å fremskaffe kart eller liknende som kan si noe sikker om disse forholdene, og det er ukjent hvordan dybdeforholdene var før veifyllingen kom rundt 1890.

Felt observasjoner og målinger av dybdeforholdene med ekkolodd i Voilan, og rett utenfor veifyllingen på Breidflå- siden i øst, tyder imidlertid ikke umiddelbart på en naturlig avsnøring som følge av en geologisk formet terskel. Inntrykket er heller at Voilanbukta har vært en naturlig langgrunn og plan del av Breidflå, med et elveos i vest, som ytterligere har fått forsterket dette preget etter at veifyllingen ble bygget. Det er ikke mulig å trekke noen sikker konklusjon rundt dette, basert på denne oppgavens undersøkelser og forutsetninger.

Kjetsåna munner ut i Voilan som et elveos og her har det nok uansett utviklet seg en naturlig oppbygning av et elvedelta over tid, uavhengig av veifyllingen. Dette er markert inn på løsmassekartet, figur 10 og 11, som gule elveavsetninger. Når disse ble avsatt vites ikke, men slik elvesedimentene er tegnet inn på løsmassekartet, er de av en så stor utstrekning at mye nok må ha blitt dannet allerede før veifyllingen og vei nr. 42 rundt Voilanbukta ble bygget.

Veifyllingen er ikke tegnet inn på amtskartet, figur 3, så kartet er mest sannsynlig eldre enn 1890 årene. Her er Kjetsånas løp tegnet inn i vest, men det er ingen synlige tegn til elvedeltadannelse helt innerst i Voilan. Det må tas forbehold om hvor detaljert og nøyaktig inntegningene i kartet er, for ved nærmere ettersyn er det klare forskjeller mellom flere landskapsformer slik de fremstilles på amtskartet og slik de er på løsmassekartet og flyfotoet fra 1958 og senere. (Blant annet er innsjøen Skardtjørna sør for Voilan tegnet inn i en helt annen vinkel enn det den er på nyere kart og flyfoto.)

Flyfotoet fra 1958, figur 4, viser tydelig at det er blitt dannet et stort elvedelta vest i Voilan med et hovedløp som munner ut nesten midt i Voilan. En del av elvesletten er allerede begrodd med trær. Det er også mulig å se transporterte sedimenter som har blitt skylt ut i Voilan og som farger hovedløpet lysere. Rett utenfor åpningen, under brua i øst, skimtes de samme lyse fargene, noe som tyder på en avsatt sand- og grusbank. Denne ble også observert under feltarbeidet.

Flyfotoet fra 1972, figur 5, viser at det på bare 14 år er skjedd en tydelig økning i elvedeltaet som har bygd seg ut østover i Voilan og gjort vannspeilets areal betraktelig mindre. Hovedløpet er vanskeligere å få øye på, og isteden er det en mer forgreining av elveløpet. I midlertidig må det tas høyde for at det kan være forskjellig vannstand på bildene. Sedimentbanken utenfor brua er tydeligere på fotoet fra 1972, noe som tyder på oppbremsing av vannhastigheten med påfølgende sedimentasjon.

Flyfotoet fra 2009, figur 6, viser at det på de siste 40 årene har skjedd en ytterligere utvikling av elvedeltaet, mot mer solide og permanente landformer. Dette kunne også observeres i felt. Blant annet har bonden på sørsiden fått et nytt areal for dyrket mark. På den annen side, lå i år store deler av landarealet (elvesletten) under vann til langt ut i mai og bonden måtte derfor utsette frislipp av okser på beite innerst i bukta i forhold til tidligere år (Nils Osmund Hegland. Personlig meddelelse).

Det finnes flere mulige prosesser og årsaker som kan gi opphav til grunnere forhold, for eksempel er tilbakeholdelse av alloktont materiale en kjent effekt når elver demmes opp og magasineres, ved at de med tiden fylles igjen med både leire, silt, sand og grus. Denne prosessen kan ha økt i omfang som følge av redusert vannhastighet og vannutskifting etter at veifyllingen kom. På den annen side viser resultatene svært lave verdier for suspendert stoff og bare moderate turbiditetsverdier, noe som indikerer en moderat tilførsel av alloktont materiale.

Kanskje er det først og fremst ved store vannføringer, når Kjetsånas erosjons- og transportkapasitet er større enn den er om sommeren, at fangdameeffekten fra veifyllingen vil være vesentlig. For eksempel under vårsmeltinga og høstflommen eller i andre flomsituasjoner. Muligens har Kjetsåna da sto nok kraft å frakte med seg morene- og breelvmateriale fra området like i nærheten, som vist på løsmassekartet figur 11.

En annen viktig faktor er hvorvidt sagverket, som tidligere var i drift oppstrøms Kjetsåna, kan ha forårsaket mye av nedslammingen, ved store tilførsler av organisk materiale som har blitt holdt tilbake av veifyllingen. Dette hevder den lokalkjente grunneieren (Nils Osmund Hegland. Personlig meddelelse), som har sett utviklingen de siste 50 årene.

Nettoproduksjon av autoktont materiale kan også ha økt hvis veifyllingen har bidratt til å holde tilbake næringsstoffer, samt bidratt til høyere vanntemperatur i Voilan. Dermed kan den ha lagt forholdene til rette for en eutrofieringsutvikling.

Et annet moment er hvorvidt gjensedimenteringen har bidratt til et betraktelig grunnere dyp slik at hele den bentiske sonen har fått tilstrekkelig med lystilgang for fotosyntese, og dermed bidratt til eutrofiering? Et grovt regneoverslag ved å gange gjennomsnittlig teoretisk siktedyp i Voilan med faktoren 2.5 viser at dybden må ha vært minst 2.5 meter dypere enn i dag for at eufotisk sone **ikke** skulle nå helt til bunns (1 snitt ca. 2 meters siktedyp* 2.5 = ca. 5 meter). Med forbehold om at vannet ikke var betydelig mer turbid tidligere og lyssvekkelsen større. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig sedimenteringshastighet på ca. 20.8 mm/år over en periode på 120 år for å gjøre dybdeforholdene såpass grunne at eufotisk sone når helt til bunns. Dette scenarioet er nok lite trolig da en sedimentasjonsrate på 3-5 mm/år ifølge Økland & Økland (2006 s. 36) regnes som uvanlig høyt. Dermed kan det antas at stor deler av bunnarealet i Voilan må ha ligget i eufotisk sone allerede før veifyllingen ble anlagt.

Det er tidligere i oppgaven slått fast at det forekommer signifikante forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilanbukta. I tillegg er det sannsynlig at veifyllingen har

reduisert vannutskiftningen mellom dem og gitt opphav til noe grunnere dybdeforhold. Dette peker i retning av at veifyllingen har påvirket vannkvaliteten og økologiske forhold.

Hadde ikke veifyllingen skilt Voilan fra Breidflå ville vannutskiftningen vært større eller fullstendig, og vannmassene i Voilan ville blitt fortynnet med vann fra de betraktelig større vannmassene i Breidflå. Det er derfor rimelig å anta at vannkvalitetsparametrene og økologiske forhold i Voilan ville liknet mer på Breidflås verdier. Dette støttes av Scheffers argumentasjon (2004 s. 293) om at sammenkoblede heterotrofe innsjøer kan koeksistere side om side når vannutvekslingen er ekstremt liten, men hvis vannutskiftningen er svært stor vil vannkvaliteten til hele systemet dreie mot den største og mest stabile vannforekomsten. Han peker imidlertid også på forskning fra Van den Berg *et al.* (1997), Pokorný (1984) og Timms & Moss (1984), som viser at en turbid og en klar innsjødel i praksis kan koeksistere, selv med åpen forbindelse, avhengig av blant annet dybdeforholdene, vegetasjonsdekke og vegetasjonstyper (Scheffer 2004 s.294).

NIVA gjennomførte i 2004 (NIVA 2004 s.6) oppdaterte beregninger og modelleringer for hvordan fosfor- og klorofyllkonsentrasjonene i Steinsfjorden ville avta hvis veifyllingen i Kroksund ble fjernet, og vannutvekslingen med den mer oligotrofe Tyrifjorden ble større. Steinsfjordens middelvei for fosfor i 2003 var 10.3 µg/l og er sammenliknbar med Voilans middelvei på 10.4 µg/l, mens klorofyll nivået var nesten dobbelt så høyt. Resultatene deres viste at fosforverdiene ble redusert med henholdsvis 17.5 % og 29 %, avhengig av hvor dyp muddringen i Kroksund var, samt at klorofyllverdiene avtok med 16.3 % og 28 %. Det er mulig noe liknende ville skje i Voilan hvis veifyllingen som skiller den fra Breidflå ble fjernet. På den annen side hevder Wetzel (2001 s. 626) at næringstilførsel ikke alltid påvirker fytoplanktonproduktiviteten i grunne innsjøer på samme måte som det gjør det i større innsjøer, blant annet som følge av de komplekse konkurranseinteraksjonene mellom makrofytter, epifyttisk mikrobiota og fytoplankton.

Et annet moment er at veifyllingen sannsynligvis isolerer Voilandelen til en egen innsjø med et eget nedbørsfelt som er betraktelig mindre enn Breidflås. Dette øker den relative betydningen av Kjetsånas vannkjemisammensetning for Voilans vannkvalitet, samt betydningen av tilførsel fra lokale kilder, som for eksempel husdyrgjødsel som punktkilde til nitrogen og fosfor. Fuglegjødsel fra trekkfugler ville nok uansett gitt et næringsstoffbidrag til Voilandelen, men minsket vannutskiftning gjør at disse holdes mer tilbake.

Økt sedimentering, minkende dyp og mindre fortynningspotensiale for næringsstoffer kan sette i gang en naturlig eutrofieringsprosess med positive feedback-mekansimer. Dette griper inn i en innsjøes økologiske suksesjonssteg, eller "aldringsprosess", på vei mot terrestriske landformer, som beskrevet hos Wetzel (2001 kap. 25), og forkorter dens "livslengde" som innsjø eller våtmark.

Ved en samlet vurdering fremstår det som mest sannsynlig at veifyllingen har vært med på å påvirke vannkvalitet og økologiske forhold i Voilan. Hypotese 2 kan dermed forkastes. Det er likevel viktig å bemerke at også andre og evt. ukjent faktorer og årsaksforhold kan spille en viktig rolle.

5.5 Avsluttende diskusjon

Et inngrep i naturen kan sees fra flere synsvinkler, og det er i denne oppgaven blitt diskutert hvorvidt veifyllingen har påvirket Voilan. Men kan veifyllingen også ha påvirket Breidflå? Det kan tenkes at veifyllingen har fungert som en slags fangdam for Breidflå, hvor planter og alger fjerner bla. nitrogen og fosfor fra vannet før det renner ut i Breidflå. Dette kan over tid ha skjermet Breidflå fra lokale kilder i Voilans nedbørsfelt, som for eksempel husdyrgjødsel og fugleavføring, samt suspendert stoff og sedimenter, inkludert trevirke fra sagbruket oppstrøms Kjetsåna.

Dermed kan Breidflå i teorien ha fått forsterket sitt klare og oligotrofe preg, og de observerte forskjellene i vannkvalitet mellom Voilan og Breidflå trer således tydeligere frem. Dette er det imidlertid ikke mulig å fastslå sikkert på bakgrunn av denne oppgavens undersøkelser.

Resultatene viser i hovedtrekk at veifyllingen har delt innsjøen i to, og det nokså fullstendig. Den avsnørte Voilandelen er så grunn at det virker som om at den kan ha utviklet seg til å bli en helt annet naturtype enn det den mest sannsynlig kan ha vært da den hang sammen med Breidflå for mer enn 110 år siden. Voilan har tildels mer preg av en artsrik våtmark med bløte mudderbanker enn en vanlig innsjø, og en direkte sammenlikning av vannkvalitet med Breidflå kan derfor virke noe kunstig.

Sett i en større sammenheng kan et menneskelig inngrep som veifyllingen, hvis den har gjort vekstbetingelsene bedre, vært med på å fremskynde utviklingen av en verdifull naturtype. Nærmere bestemt et våtmarksområde med mudderbanker som gir grunnlag for et rikt plante- og fugleliv. Dessuten kan større dynamiske svinginger i miljøfaktorene i Voilan sammenliknet med Breidflå i teorien kan også tillate koeksistens blant konkurrerende organismegrupper og bidra til høyere artsdiversitet.

6. Konklusjon

Resultatene fra undersøkelsene i denne masteroppgaven viser at Voilandelen skiller seg fra Breidflå på flere viktige områder. For det første er Voilandelen svært grunn med dybdeforhold på mellom ca. 0.5 meter og 2.5 meter. Siktedypet og eufotisk sone når dessuten helt til bunns over hele Voilan. Breidflå har derimot et maksimumsdyp på 43 meter og dybdeforhold på rundt 18-20 meter i området hvor vannprøvene ble tatt. Konduktivitetsverdiene for Voilan er i gjennomsnitt 2.2 mS/m og er tilnærmet identiske til Kjetsånas middelverdier, mens Breidflås er i snitt 1.1 mS/m. Dette kan tyde på at vannet i Voilan i hovedsak kommer fra Kjetsåna og i stor grad er preget av dens vannkvalitet.

Funnene viser at Voilan er noe mer turbid, og har en høyere konsentrasjon av suspendert stoff enn Breidflå, med midlere verdier på henholdsvis 1.3 FNU og 0.7 FNU for turbiditet og 2.7 mg/l og 1.1 mg/l for suspendert stoff.

Videre peker resultatene for flere av parametrene i tydelig retning av et høyere humusinnhold i Voilan enn i Breidflå. Dette støttes av farge- og optisk tetthetsverdier som i gjennomsnitt er henholdsvis 3.6 og 2.9 ganger høyere i Voilan enn i Breidflå. Det støttes også av vurdering av tilsynelatende farge i felten som gav en større dominans av fargenyansene gult og brunt i Voilan enn i Breidflå. Konsentrasjonen av totalt organisk karbon er dessuten høyere i Voilan, med en middelverdi på 5.7 mg/l, mens den er 2.2 mg/l i Breidflå. Resultatene for spesifikk farge tyder også på en annen kvalitet på det organiske materialet, med mer humuspreg i Voilandelen enn i Breidflå.

Det er generelt lave konsentrasjoner av plantenæringsstoffer og klorofyll a i begge lokalitetene, men også her viser Voilan tydelig høyere verdier. For totalt nitrogen har Voilan og Breidflå gjennomsnittsverdier på henholdsvis 0.41 mg/l og 0.20 mg/l, mens det for totalt fosfor er middelverdier på 10.4 µg/l for Voilan og 3.2 µg/l for Breidflå. Resultatene for klorofyll a viser et liknende forhold med middelverdier på 2.7 µg/l for 1.0 µg/l for Breidflå.

Ved alle parametrene der det forekommer forskjeller, har Voilan også større variasjon, i motsetning til Breidflås verdier som var svært stabile gjennom hele prøveperioden.

Ved en samlet vurdering av resultatene samlet kan hypotese 1; om at det ikke er klare forskjeller i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Breidflå og Voilan, forkastes.

Ved generelle feltobservasjoner av dybdeforholdene, tolking av konduktivitetsverdiene, sammenlikning av historiske kart og flyfoto med dagens forhold, samt undersøkelser fra liknende lokaliteter, virker det mest sannsynlig at vannutskiftningen mellom Voilan og Breidflå har avtatt etter at veifyllingen kom, og

at sedimenteringsraten og gjenslammingen trolig har økt. Det vurderes også som mest sannsynlig at disse to forholdene har påvirket vannkvaliteten og de økologiske forholdene i Voilan, og kan være med på å forklare de observerte forskjellene i vannkvalitet og økologiske forhold mellom Voilan og Breidflå. Hypotese 2, som hevder at eventuelle forskjeller mellom Voilan og Breidflå ikke skyldes veifyllingen og dens påvirkning på vannutskiftning og dybdeforhold, kan derfor forkastes. Det er imidlertid ikke mulig å avgjøre hvorvidt det er eneste årsak til de observerte forskjellene, da det ikke foreligger noen tidligere studier av Voilan og Breidflå fra før veifyllingen kom. Det er derfor viktig å bemerke at også andre, og hittil ukjente, faktorer og påvirkninger kan spille en viktig rolle.

Videre forskning kan gjøre studier av samme type over mer enn én vekstsesong for å få et mer robust datamateriale og statistisk grunnlag. Det finnes tre liknende lokaliteter i Otravassdraget, som også er avsnørt av veifyllinger, like oppstrøms og nedstrøms for Breidflå. Disse kan det være svært relevant å undersøke for å se om noen av de samme mønstrene og tendensene viser seg der. Slik kan man forhåpentligvis oppnå mer kunnskap om hvordan veifyllinger påvirker avsnørte vannforekomster på generell basis. Det bør dessuten gjennomføres vannkvalitetsundersøkelser av innsjødeler hvor det er planlagt å bygge solide veifyllinger, slik at det finnes datamateriell for hvordan forholdene var der før en innsjødel blir avsnørt fra hovedbassenget.

7. Referanseliste

- Berge, Dag. NIVA. (2008). *Fosforbelastningsmodeller av Vollenweider – typen. Prinsipp – bruk – begrensninger*. Foredrag for NIVA 22. september 2008. Lokalisert: [http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/743323/\(6\)%20Dag%20Berge.pptx.pdf](http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/743323/(6)%20Dag%20Berge.pptx.pdf) Lest:18/12-2013.
- Digernes, Ivan. (Ukjent årstall). *Kjemiske og fysikalske metoder for målinger i vann*. Internt notat ved Institutt for plante- og miljøvitenskap, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- Direktorsgruppa for gjennomføringen av vannrammedirektivet. (2009). *Klassifisering av miljøtilstand i vann. Veileder 01:2009*. Trondheim. 45 s.,91-93 s.,95 s.
- Evje og Hornnes kommune (2013). *Flyfoto fra 1972*. Tatt av Nor-Fly A/S. Skannet og digitalisert fra Evje og Hornnes kommunes arkiver november 2013.
- Henriksen,A. (1982). *Alkalinity and acid precipitation research*. *Vatten*, 38:83-85. (Sisert etter Digernes, Ivan. Ukjent årstall)
- Hongve,D. & Andersen,T.(1991). *Factors determining the light absorbtion of aquatic humus substance*. *Humus- uutiset*. Finnish Humus News 3: 209-214. (Sisert etter Økland & Økland 2006. S. 175)
- Hutchinson, G.E. (1957). *A Treatis on Limology. I. Geography,Physics, and Chemistry*. John Wiley & Sons, New York. 1015 s. (Sisert etter Wetzel 2001. S. 225)
- Janse, JH.,Domis,LNDS., Scheffer,Marten.,Lijklema, L., Van Liere, L., Klinge & M. & Mooij, WM. (2008). *Critical phosphorus loading of different types of shallow lakes and the consequences for management estimated with the ecosystem model PCLake*. *Limnologica*. Årgang:38. Utgave:3-4. 203- 219 s. Lokalisert på world wide web:

http://apps.webofknowledge.com/summary.do?SID=Y21UUQ4FegIGUor8JIB&product=WOS&qid=1&search_mode=GeneralSearch Lest: 27/12-2013

- Jensen, J.P., Kristiansen, P. & Jeppesen, E. (1991). *Relationships between N loading and in-lake N concentrations in shallow Danish lakes*. Verhandlungen Internationale Vereinigung Theoretisch Angewandte Limnologie. 24 s., 201-204.s. (Sitert etter Scheffer 2004. 50.s)
- Kartverket (2013). "Oversiktskart figur 1" og "Prøvelokalitetene i figur 15". Lokalisert på world wide web: www.norgeskart.no Lest: 23/11-2013 og "Amtskart figur 3", lokalisert på world wide web: <http://gammel.norgeskart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>. Lest 3/1-2014.
- Lundekvam, Helge (1998). *Vannføringsmålinger. Bakgrunnsstoff. Forenkla saltmetode med direkte tilsetjing av tørrsalt*. Undervisningsnotat til emnet Vann211 ved Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- Meteorologisk institutt. eKlima. (2013). Lokalisert på world wide web: <http://www.eklima.no>. Lest 28/11-2013.
- Meteorologisk institutt. Yr. (2013). Lokalisert på world wide web: http://www.yr.no/sted/Norge/Aust-Agder/Evje_og_Hornnes/Breidflå/statistikk.html Lest 28/11-2013
- Miljødirektoratet (2013). Tidligere Direktoratet for naturforvaltning. *Naturbase for Voilan (Kjetsånas delta)*. Lokalisert på world wide web: <http://faktaark.naturbase.no/naturtype?id=BN00006918&srid=32633>. Lest 7/8-2013
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2013). NVE Atlas. Lokalisert på world wide web: <http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas> Lest 11/11-2013.

- Norsk standardiseringsforbund (NSF). (1979). *Vannundersøkelse. Måling av pH. NS 4720*. 1.utg. 7 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- -(1983b). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av klorofyll a, spektrofotometrisk måling i metanolekstrakt. NS 4767*. 1. utg. s 7. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- -(1993d). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av nitrogeninnhold etter oksydasjon med peroksodisulfat. NS 4743*. 2. utg. 10 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- -(1993d). *Vannundersøkelse. Måling av konduktivitet. NS-ISO 7888*. 1. utg. s 12. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- - (1994e). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av turbiditet. NS-ISO 7027*. 1. utg. 8 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- - (1994f). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av farge. NS 4787*. 1.utg. 7 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- - (1996a). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av suspendert stoff. Metode med filtrering gjennom glassfiberfiltre. NS-EN 872*. 1.utg. 7 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- - (1996b). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av alkalitet .Del 1: Bestemmelse av total og sammensatt alkalitet. NS-EN ISO 9963-1*. 1.utg. 5 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- - (1997a). *Vannundersøkelse. Bestemmelse av fosfor. Spektrometrisk metode med ammoniummolybdat. NS-EN 1189*, 1.utg. 18 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- - (1997b). *Vannundersøkelse. Retningslinjer for bestemmelse av totalt organisk karbon (TOC) og løst organisk karbon (DOC). NS-EN 1484* 1.utg. 12 s. Norges standardiseringsforbund, Oslo.

- NIVA. (1992). *Vannbruksplan for Tyriffjorden. Delutredning om: Mulighet for vannkvalitetsforbedring i Steinsfjorden gjennom økning av vannutskiftningen*. Rapport 0-90096. Oslo. 9 s., 27 s.
- NIVA. (1996). *Pumping av vann fra Tyriffjorden inn i Steinsfjorden som tiltak for å bedre vannkvaliteten i Steinsfjorden*. Rapport 0-95297. Oslo. 10 s.
- NIVA. (2003). Aanes, K. *Overvåking av nedre Otra med sidebekker ved hjelp av vassdragets bunnfauna. Årene 2001 og 2002*. Løpenummer OR-4673. Oslo. Lokalisert på world wide web: http://www.NIVA.no/rapporter/sok?writer=&writer_c=AND&heading=Otra&heading_c=AND&subject=vannkvalitet&subject_c=AND&ProjectNr=&DateFrom=&DateTo=&Format_C=1#result-18 Lest: 21/1-2014.
- NIVA. (2004). *Vannutskiftning, fosfor og algevekst i Steinsfjorden ved fjerning av veifyllinger i Kroksund*. Rapport. Løpenummer 4823. Oslo. 6 s.
- NIVA. (2007). Hindar, A & Tjomsland, T. *Beregning av tilførsler og konsentrasjon av N og P i NVEs REGINEfelter i Otra ved hjelp av TEOTIL-modellen*. Rapport. Løpenummer. OR-5490. Grimstad. Lokalisert på world wide web: http://www.NIVA.no/rapporter/sok?writer=&writer_c=AND&heading=Otra&heading_c=AND&subject=vannkvalitet&subject_c=AND&ProjectNr=&DateFrom=&DateTo=&Format_C=1#result-1 Lest 21/1-2014.
- Norges geologiske undersøkelse. Granada. (2013). Lokalisert world wide web: <http://geo.ngu.no/kart/granada/> Lest 21/11-2013.
- Norges geologiske undersøkelse (2013). Løsmassekart. Lokalisert på world wide web: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> Lest 21/11-2013. Tolkning av grunnfjellkart, lokalisert: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>. Lest 20/12-2013.
- Pokorný, J., Květ, J., Ondok, J. P., Toul, Z. & Østrý, I. (1984). *Production-ecological analysis of a plant community dominated by Elodea Canadensis*. Aquatic Botany, Årgang?: 19, 263-292 s. (Sitert etter Scheffer 2004 s.294)

- Scheffer, Marten. (2004). *Ecology of shallow lakes*. 3. utg. Dordrecht, Nederland, Kluwer Academic publishers. Preface, introduction, 47 s., 49-50 s., 225 s., 293 s.
- Statens forurensningstilsyn. (1997). *Klassifisering av miljøtilstand i ferskvann. Veiledning 97:04*. Oslo. 15 s.
- Statens kartverk (1958). *Flyfoto fra 1958*. Tatt av Widerøe Flyselskap & Polarfly A/S 12. juni 1958. Skannet og digitalisert fra kartvekets arkiver 4. desember 2013.
- Statens kartverk (2009). *Flyfoto fra 2009*. Lokalisert på world wide web <http://www.norgebilder.no/> Lest 14/10-2013.
- Timms, R.M & Moss, B. (1984). *Prevention of growth of potentially dense phytoplankton populations by zooplankton grazing in the presence of zooplanktivorous fish in shallow wetland ecosystem*. *Limnology and Oceanography*, Årgang: 29. 472-486 s. (Sitert etter Scheffer 2004 s.294)
- Van den Berg, M.S., Coops, H., Meijer, M.-L., Scheffer, M. & Simons, J. (1997). *Clear water associated with a dense Chara vegetation in the shallow and turbid Lake Veluwemeer, The Netherlands*. In E. Jeppesen, M. Søndergaard, M. Søndergaard and K. Christoffersen (eds.) *The structuring role of submerged macrophytes in lakes*, Springer-Verlag, New York, in press. (Sitert etter Scheffer 2004 s.294)
- Vann-nett.no (2013). "Breidflå klassifisering". Lokalisert world wide web: <http://vann-nett.no/portal/Waters.aspx?WaterbodyID=021-1081-L> og "Breidflås bekkefelts klassifisering". Lokalisert: <http://vann-nett.no/portal/Waters.aspx?WaterbodyID=021-927-R> Lest 16/10-2013.

- Wetzel, Robert.G.(2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3.utg. California. Elsevier Academic Press. 225 s., 278 s., 621 s., 626 s., kap. 25.
- Økland, Jan & Økland, Karen Anna. (2006). *Vann og vassdrag 3. Kjemi, fysikk og miljø*. 2. utg. Nesbru, Forlaget Vett og Viten. 36 s., 63-64 s., 69 s., 122-123 s., 142s., 173 s., 175 s.

8. Vedlegg. Alle resultatene

Dybdeforhold, vannføring og vannstand

Dybdeforholdene er for de fire feltlokalitetene og er angitt i meter. Mens vannføringen er for elva Kjetsåna og er angitt i l/sek. Vannstanden er målt under brua ved Rv 9 og angir antall meter over og under definert nullpunkt. Det er ikke målinger vel alle feltdatoene.

	03.mai	21.-22. mai	08.-9. juni	29.jun	20.jul	12.aug	11.sep
Voilan 1	1,35	2,2	1,45	1,4	1	1,1	1,3
Voilan 2	0,9	1,5	1,12	0,85	0,3	0,35	0,35
Voilan 3	2	2,5	1,4	1,45	1,4	1,8	1,6
Breidflå	20				19,4		19
Vannføring	1051	482	237		85	156	381
Vannstand	0,05	0,4	0,016	-0,05	-0,34	-0,26	-0,18

Temperatur

Manuelle målinger. Enhet i °C.

De automatiske målingene legges ikke ved da oppløsningen er høy og tallmaterialet for stort til å legges ved.

Kjetsånaelven	Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå	
4,1	2,7	3,4	5,8	3,5	03.mai
12,7	11,4	17	14,5	5,3	21.-22. mai
13,5	15	18	17,4	10,3	8.-9. juni
11,6	12,4	13,4	14,1	14,4	29.jun
21,8	20,3	28,2	20,1	21,7	20.jul
15	14,4	18,1	17,6	18	12.aug
11,3	13,3	14,5	13,6	16	11.-12. september

Konduktivitet

Alle målingene er i mS/m.

Kjetsånaelven	Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå	
1,9	1,9	1,9	1,9	1,2	03.mai
2,2	2,2	2	2	1,1	21.-22. mai
2,3	3	2,2	2,1	1,1	8.-9. juni
1,4	1,4	1,5	1,6	1,1	29.jun
3,3	3,6	4,1	1,5	1	20.jul
2,4	2,6	2,4	2,3	1,1	12.aug
1,9	1,9	1,9	1,9	1	11.-12. september

Løst oksygen							
Alle verdiene i mg/l-O2							
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå				
13,9	13,8	12,8	13,8	03.mai			
11,4	11	10,7	13,3	21.-22. mai			
11,6	11,5	11,3	12	08.jun			
11,7	11,8	12	11,1	29.jun			
10,8	9	10	9,8	20.jul			
11,2	12	11	10,3	12.aug			
11,5	12	11,2	10,8	11.sep			
Temperaturmetning							
Alle verdier i %.							
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå				
104	105	102	106	03.mai			
105	106	105	106	21.-22. mai			
114	122	119	112	08.jun			
110	113	117	109	29.jun			
120	114	110	112	20.jul			
110	127	115	109	12.aug			
110	118	109	110	11.sep			
Siktedyp							
Alle verdier i meter. TB= til bunns.							
Kolonne1	Kolonne2	Kolonne3	Kolonne4	Kolonne5	Kolonne6	Kolonne7	Kolonne8
	03.mai	21.-22. mai	08.-9. juni	29.jun	20.jul	12.aug	11.sep
Voilan 1	TB. 1,35	TB. 2,2	TB. 1,45	1,18	TB. 1	TB. 1,1	TB. 1,3
Voilan 2	TB. 0,9	TB. 1,5	TB. 1,12	TB. 0,85	TB. 0,3	TB. 0,35	TB. 0,35
Voilan 3	TB. 2	TB. 2,5	TB. 1,4	TB. 1,45	TB. 1,4	TB. 1,8	TB. 1,6
Breidflå	6	5	3,1	4	4,4	3,4	5,5
Turbiditet							
Alle verdiene er i FNU.							
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå				
0,58	0,62	0,78	0,44	03.mai			
0,7	1,33	1,05	0,55	21.-22. mai			
2,35	1,18	0,89	0,52	08.-9. juni			
2,52	2,66	2,28	0,7	29.jun			
1,03	2,85	1,86	0,98	20.jul			
0,77	1,02	1,1	0,85	12.aug			
0,8	0,7	1,22	0,61	11.sep			

Suspendert stoff						
Alle verdier i mg/l.						
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå			
0,22	1,06	0,87	0,79	03.mai		
1,9	1,98	1,56	0,61	21.-22. mai		
4,2	2,91	2,11	0,95	08.-9. juni		
2,96	4,09	3,56	0,82	29. juni		
2,3	9,23	4,61	2	20. juli		
2,07	2,74	2,48	1,41	12.aug		
1,53	1,38	3,09	1,37	11.sep		
Glødetap som prosent av suspendert stoff						
Uriktige verdier er fjernet.						
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå			
	50		76	03.mai		
82	97		72	21.-22. mai		
81	70	71		08.-9. juni		
67	67	57	84	29. juni		
53	67	70	80	20. juli		
55	74	90	77	12.aug		
74	98	58	85	11.sep		
Totalt organisk karbon						
Alle verdier i mg/l.						
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå			
4,49	4,59	4,49	2,15	03.mai		
4,47	3,89	4,25	1,68	21.-22. mai		
5,58	5,56	5,38	1,88	08.-9. juni		
9,16	8,75	7,46	2,86	29. juni		
2,31	4,48	3,33	1,98	20. juli		
4,54	5,03	5,67	2,64	12.aug		
9,09	8,75	8,37	2,12	11.sep		
Farge ved 410 nm						
Enheden er mg Pt/l.						
					Spesifikk farge:	
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå		Voilan:	Breidflå
45	42	42	16	03.mai	9,6	7,4
45	44	45	11	21.-22. mai	10,7	6,5
53	53	49	11	08.-9. juni	9,5	5,9
99	102	84	21	29.jun	11,2	7,3
18	75	49	16	20.jul	13,8	8,1
40	45	53	22	12.aug	9	8,3
68	67	63	12	11.sep	7,6	5,7

Optist tetthet							
Enheten er absorbans.							
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå				
0,205	0,2	0,189	0,083	03.mai			
0,22	0,204	0,218	0,074	21.-22. mai			
0,27	0,283	0,265	0,084	08.-9. juni			
0,484	0,488	0,41	0,15	29.jun			
0,103	0,327	0,21	0,09	20.jul			
0,203	0,234	0,267	0,116	12.aug			
0,382	0,365	0,346	0,081	11.sep			
Tilsynelatende farge							
Vurdert i felt							
	03.mai	21.-22. mai	8.-9. juni	29.jun	20.jul	12.aug	11.sep
Voilan 1	Gulig-brun	Gulig-brun	Gulig-brun	Brunlig-gul	Svakt brunlig-gu	Brunlig-gul	Gulig-brun
Voilan 2	Gulig-brun	Gulig-brun	Gulig-brun	Brunlig-gul	Gulig-brun	Brunlig-gul	Gulig-brun
Voilan 3	Gulig-brun	Gulig-brun	Brunlig-gul	Gulig-brun	Gulig-brun	Brun	Brunt
Breidflå	Ingen vurdering	Blått	Blått	Brun-gult	Brun-gult	Gulig-brun	Brunlig-gult
pH							
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå				
5,32	5,31	5,33	6,12	03.mai			
5,69	5,75	5,61	6,07	21.-22. mai			
6,44	5,84	5,77	6,08	8.-9.juni			
5,15	5,33	5,42	5,8	29.jun			
6,44	6,34	6,33	6,23	20.jul			
6,08	6,08	6,05	6,11	12.aug			
5,33	5,3	5,56	5,82	11.sep			
Alkalitet							
Enheter mmolc/l.							
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå				
0,0053	0,0034	0,0053	0,017	03.mai			
0,019	0,021	0,018	0,023	21.-22. mai			
0,045	0,028	0,02	0,018	8.-9.juni			
0,001	0,009	0,009	0,012	29.jun			
0,052	0,079	0,042	0,016	20.jul			
0,033	0,021	0,025	0,014	12.aug			
0,003	0,01	0,039	0,022	11.sep			

Totalt nitrogen				
Alle verdier i mg/l.				
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå	
0,28	0,27	0,26	0,15	03.mai
0,39	0,28	0,33	0,16	21.-22. mai
1,10	0,41	0,45	0,16	8.-9. juni
0,46	0,43	0,37	0,21	29.jun
0,50	0,62	0,34	0,27	20.jul
0,36	0,27	0,33	0,23	12.aug
0,40	0,35	0,41	0,20	11.sep
Totalt fosfor				
Alle verdier i µg/l.				
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå	
2,82	3,88	3,53	1,41	03.mai
6	6,7	6,35	2,82	21.-22. mai
20,81	7,05	7,05	2,12	08.jun
20,1	24,34	17,2	3,53	29.jun
13	15,17	18,4	5,29	20.jul
7,05	7,05	10,23	3,88	12.aug
6,35	5,64	8,82	3,53	11.sep
Klorofyll a				
Alle verdier i µg/l.				
Voilan 1	Voilan 2	Voilan 3	Breidflå	
0,26	0,4	0,41	0,32	03.mai
0,54	2,89	2,47	0,7	21.-22. mai
5,37	2,19	1,9	1,15	08.jun
6,5	5,67	3,16	1,23	29.jun
2,46	3,63	3,29	1,3	20.jul
0,91	4,02	4,85	1,64	12.aug
1,19	1,68	1,91	1,06	11.sep



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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