

7952-2024

Undersøkelse av innsjøresipienter fra Larvikittbruddene, fase 2 - 2023

Hallevannet og Mørjetjern



Rapport

Norsk institutt for vannforskning

Løpenummer: 7952-2024

ISBN 978-82-577-7688-6
NIVA-rapport
ISSN 1894-7948

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Camilla H. Corneliussen
Hagman
Prosjektleder/
Hovedforfatter

Jan-Erik Thrane
Kvalitetssikrer

Laurence Carvalho
Forskningsleder

© Norsk institutt for vannforskning.
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

www.niva.no

Tittel norsk/engelsk	Sider	Dato
Undersøkelse av innsjøresipienter fra Larvikitt-bruddene, fase 2 – 2023. Hallevannet og Mørjetjern.	32 + vedlegg	28.02.2024

Surveys of lakes downstream Larvikitt quarries, phase 2 – 2023. Hallevannet and Mørjetjern.

Forfatter(e)	Fagområde	Distribusjon
Camilla Hedlund Corneliussen Hagman, Jonas Persson, Kirstine Thiemer og Birger Skjelbred	Overvåking	Åpen

Oppdragsgiver(e)	Kontaktperson hos oppdragsgiver
Lundhs AS	Rolf Nilsen

Utgitt av NIVA
Prosjektnummer 220268

Sammendrag

To innsjøer med nær beliggenhet til Larvikittbruddene Saga Pearl og Tvedalen vest i Larvik kommune ble i 2023 undersøkt for å vurdere påvirkning fra steinbruddene på vannkvalitet, sedimenter, vannplanter og bunndyr. Undersøkelsene ble utført som en oppfølging av tidligere undersøkelser i 2007 og 2008, og som en videreføring av undersøkelser i to andre innsjøer i Larvik i 2022. Resultatene tyder på at Hallevannet fremdeles er lite eller ikke påvirket av steinbruddene, med god vannkvalitet og gode forhold for bunndyr og vannplanter, samt lite eller ingen avsetning av steinslam i sedimentene. I Mørjetjern viste resultatene forhøyede konsentrasjoner av næringssalter, men lave konsentrasjoner av alger (klorofyll a), noe som kan tyde på påvirkning fra fosfor-rikt steinslam fra bruddet, som trolig ikke fører til økt algevekst pga. lav biotilgjengelighet. Turbiditeten i Mørjetjern var betydelig lavere enn i 2007-2008, og det var noe bedring i siktedyp. Videre viste resultatene god tilstand for vannplanter i Mørjetjern, men en indikasjon på redusert lystilgang, som kan være forårsaket av både steinslam og humøse forhold i innsjøen. Sedimentundersøkelsen tydet på at det hovedsakelig har blitt avsatt steinslam i sedimentene i Mørjetjern, mens det nylig, på overflaten, var avsatt annet materiale.

Emneord: Steinbrudd, tiltaksrettet overvåking, partikkelpåvirkning, sediment
Keywords: Quarries, operational monitoring, fine particles, sediment

Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	5
Summary	6
1 Innledning	7
2 Metode	8
2.1 Om vannforekomstene	8
2.2 Feltmetodikk og analysemetoder	10
2.3 Vurdering av påvirkning og økologisk tilstand	13
3 Resultater	14
3.1 Vannkvalitet	14
3.2 Sedimentundersøkelser	22
4 Oppsummering og vurderinger	26
4.1 Hallevannet	27
4.2 Mørjetjern	28
5 Konklusjoner	31
6 Referanser	32
Vedlegg A, metoder	33
A.1. Analyserte parametere i Hallevannet og Mørjetjern 2023 med benyttede metoder og standarder utført ved NIVAs laboratorium.	33
A.2 Beskrivelse av metode for forberedelse av prøver fra sedimentfeller til analyse for glødetap/gløderest.	33
Vedlegg B, resultater	34
B.1 Kjemiske analyser	34
B.2. Klassifisering av økologisk tilstand	35
B.3 Bunndyr	36

Forord

NIVA gjennomførte i 2023 undersøkelser i Hallevannet og Mørjetjern i Larvik kommune på oppdrag fra Lundhs AS, som drifter flere Larvikitt-brudd i Larvik, bl.a. Saga Pearl og Tvedalen. I henhold til pålegg fra Statsforvalteren er Lundhs AS pålagt å overvåke innsjøene som mottar avrenning fra steinbruddene, og i 2022 ble fase 1 av overvåkingen gjennomført med undersøkelser i Bålsrødvannet og Torpevannet. I 2023 gjennomførte NIVA fase 2, som omfattet overvåking i Hallevannet og Mørjetjern.

Formålet med undersøkelsene var å undersøke sedimentasjon av steinslam i innsjøene og effekter på biota. Sediment- og bunndyrundersøkelsene ble utført som en oppfølging av undersøkelsene NIVA gjorde i 2007 og 2008. I tillegg ble vannplanter undersøkt, og det ble gjort rutinemessig prøvetaking av vannkvalitet.

Birger Skjelbred (NIVA) utførte feltarbeid og prøvetaking av vannkvalitet og sedimenter. Jan Inge Karlsen (Lundhs AS), samt Jørgen Tinnseth og medarbeiderne fra iVekst takkes for assistanse ved feltarbeidet og for å stille med båter. En egen metode for bearbeiding av prøvene fra sedimentfeller ble justert og gjennomført av Tina Bryntesen (NIVA). Bunndyr ble samlet inn, identifisert og rapportert av Jonas Persson (NIVA), mens Jan Inge Karlsen (Lundhs AS) assisterte ved prøvetakingen. Vannplanter ble undersøkt og rapportert av Kirstine Thiemer (NIVA). Marthe Torunn Solhaug Jenssen assisterte ved feltarbeidet.

Rapporten i sin helhet er kvalitetssikret av Jan-Erik Thrane (NIVA).

Oslo, 22. februar 2024

Camilla Hedlund Corneliussen Hagman
prosjektleder

Sammendrag

NIVA gjennomførte i 2023 en omfattende undersøkelse av innsjøene Hallevannet og Mørjetjern som ligger i nærheten av steinbruddene Saga Pearl og Tvedalen i Larvik kommune. Målet var å følge opp undersøkelsene utført i 2007 og 2008, med fokus på å avdekke eventuelle effekter av påvirkning fra steinbruddene på vannkvalitet, sedimenter, bunnfauna og vannvegetasjon.

Undersøkelsen viste at Hallevannet hadde lave konsentrasjoner av næringssalter (fosfor og nitrogen) samt planteplanktonbiomasse (klorofyll *a*), tilsvarende *svært god* økologisk tilstand i henhold til vannforskriften. I Mørjetjern var det noe høyere konsentrasjoner, tilsvarende *moderat* økologisk tilstand for næringssalter, mens det var *svært god* tilstand for klorofyll *a*. Dette tyder på at Mørjetjern mottar tilførsler av fosforrikt steinslam fra steinbruddet, men fosforet er trolig lite biotilgjengelig for alger.

Turbiditeten i Hallevannets overflatevann var tilsvarende som i 2007-2008, men med noe mer partikler i de dypere vannmassene i 2023. Siktedypet var likevel lavere i 2023, noe som antakelig kan tilskrives høyere fargetall. Det var *svært god* tilstand for vannplanter i innsjøen, og ingen indikasjon på at plantesamfunnet var påvirket av reduserte lysforhold eller eutrofiering.

I Mørjetjern var det vesentlig lavere i turbiditet sammenliknet med 2007-2008. Det er likevel vanskelig å vite om dette er pga. en langvarig endring eller spesielle forhold i 2023. Som i 2007-2008 var turbiditeten høyest i de dypeste vannmassene, under 1-2 m dyp. Siktedypet var også noe høyere enn ved forrige undersøkelse, men likevel lavt, og det var indikasjoner på reduserte lysforhold for vannplanter med kun funn av arter som evner å strekke seg etter lyset. Det var imidlertid *god* tilstand for vannplantene basert på eutrofieringsindeksen TIC , og den dårlige lystilgangen kan også skyldes de humøse forholdene i Mørjetjern.

Sedimentundersøkelsene viste at Hallevannet, som i 2007-2008, fremdeles ikke er synlig påvirket av steinslam, og i de undersøkte buktene nær steinbruddet var det kun ved 4 og 8 m dyp at det ble observert noe som liknet på steinslam. Observasjonene tydet på at det har vært perioder med høy avrenning og avsetning av steinslam de siste 15 årene, men at dette ikke har skjedd nylig. I Mørjetjern var det, som ved tidligere undersøkelse, for det meste steinslam nedover i sedimentene. Det ble derimot observert et 2 cm tykt lag med annet (trolig organisk) sediment på toppen i 2023, som viser at det den seneste tiden trolig har vært mindre avsetning av steinslam. Sedimentfellene som ble satt ut viste lav avsetning av materiale i begge innsjøene sammenlignet med innsjøene som ble undersøkt i 2022, men det var vesentlig høyere avsetningsrate i Mørjetjern enn i Hallevannet. Det var en stor andel mineralsk materiale i fellene, men dette var altså ikke synlig på overflaten av selve sedimentene i noen av innsjøene. Dette kan tyde på at partikler fra steinbruddene som fraktes inn i innsjøene raskt føres ut igjen.

Bunndyrundersøkelsene i Hallevannet i 2023 ble gjort som en oppfølging av tidligere undersøkelser (2007-2008) og dermed ikke med metodikk som kreves for å beregne indekser iht. vannforskriften. Det var lite eller ingen endring i bunndyrsamfunnet siden 2007-2008, og heller ingen tydelige forskjeller mellom den antatt påvirkede Messingvika og det antatt upåvirkede referanseområdet. Resultatene gir derfor ingen indikasjon på dårlige forhold for bunndyr pga. påvirkning fra steinbruddet. Det anbefales å følge opp undersøkelsene i Hallevannet, og gjøre et nytt forsøk i Mørjetjern, for å avdekke evt. årsvariasjoner og om mulig inkludere referansestasjoner i nærliggende upåvirkede innsjøer.

Summary

In 2023, NIVA carried out a comprehensive survey of the lakes Hallevannet and Mørjetjern, located near the Larvikitt-quarries Saga Pearl and Tvedalen in Larvik municipality. The aim of the survey was to follow up a similar survey carried out in 2007 and 2008, with focus on effects from the quarries on sediments, benthic fauna and aquatic vegetation (macrophytes). Certain physical and chemical parameters were also included for support, in order to determine the ecological status of the lakes.

Results showed that Hallevannet had low concentrations of nutrients (phosphorus and nitrogen), as well as phytoplankton biomass (chlorophyll I), corresponding to *high* ecological status according to the Water Framework Directive (WFD). In Mørjetjern higher concentrations were found, corresponding to *moderate* ecological status for nutrients, whilst *high* ecological status for chlorophyll *a*, indicating that Mørjetjern receives phosphorus-rich particles from the quarry, while the phosphorus is not available to algal growth.

In Hallevannet, turbidity was similar in 2023 as in 2007-2008, but with slightly more particles found at greater depths in 2023. The Secchi-depth was low in 2023 than in the previous survey, and the water color slightly higher. There was *good* ecological status for macrophytes, and no indication that reduced light conditions or eutrophication affected the plant community.

In Mørjetjern, there was a significant improvement in turbidity, with a large decrease since 2007-2008. Whether this is due to long-term changes or certain conditions occurring in 2023, is difficult to state based only on one year of data. As in 2007-2008, turbidity was highest in the deepest layers of the water, below 1-2 m. The Secchi-depth was also somewhat better than in the previous survey, but still low, and there were indications that macrophytes experienced reduced light conditions due to observations only of species that are able to reach towards light. Nevertheless, macrophytes showed *good* ecological status based on the trofic index TIC, and the poor light availability may also be caused by the humic conditions in Mørjetjern.

The sediment surveys showed that Hallevannet, as in 2007-2008, was not significantly affected by quarry-derived particles, which were only observed at 4 and 8 m depth in the investigated bays near the quarry. The observations indicated that there have been periods with high runoff and deposition of quarry-derived sediments some time during the last 15 years, but not recent. In Mørjetjern, the sediments consisted mainly of quarry-derived material in 2023, as they did in 2007-2008. Yet, a 2 cm layer of other (probably organic) material was observed on the surface of the sediments in 2023, indicating less deposition of quarry-derived particles the most recent years. The sediment traps had low deposition of material in both lakes compared to the lakes examined in 2022, but there were significantly higher concentrations in Mørjetjern than in Hallevannet. A large proportion of the material was inorganic, however this was not clearly visible on the surface of the sediments in any of the lakes. This may indicate that particles from the quarries transported into the lakes are quickly transported out.

The surveys of benthic fauna in 2023 were carried out in Hallevannet as a follow-up to the previous survey (2007-2008). These did not follow the methodology required to calculate indices in respect of the Water Framework Directive. No significant changes in the benthic community was observed since 2007-2008, and there were no clear differences between the presumed affected bay Messingvika and the reference bay. Therefore, there is no indication of poor conditions for benthic invertebrates due to impact from the quarry. It is still recommended to follow up the survey in Hallevannet, and make another effort in Mørjetjern, to uncover any annual variations and, if possible, include reference stations in nearby, unaffected lakes.

1 Innledning

Lundhs AS driver omfattende uttak av Larvikitt i flere steinbrudd i Larvik kommune i Vestfold. Blant disse bruddene er bl.a. Tvedalen vest og Saga Pearl, som begge har vært aktive de siste 10 årene. I tråd med pålegg fra Statsforvalteren i Vestfold og Telemark skal Lundhs AS sørge for overvåking av innsjøer som mottar avrenning fra disse steinbruddene. I 2022 utførte NIVA undersøkelser i Bålsrødvannet og Torpevannet som en første fase i overvåkingen. Andre fase omfattet overvåking i Hallevannet og Mørjetjern i 2023. Hallevannet ligger svært nær Saga Pearl-bruddet og mottar avrenning direkte fra en bekk med opprinnelse i steinbruddet. Denne er påvirket av steinslam (Moe m.fl. 2017, Persson 2024). Det er imidlertid ikke funnet vesentlige effekter av steinslampåvirkning i selve innsjøen tidligere (Berge m.fl. 2009). Mørjetjern ligger ved Tvedalen vest, og mottar tilførsler fra steinbruddet via Mørjebekken. Både innsjøen og bekken er tidligere funnet å være svært påvirket av steinslam (Berge m.fl. 2009, Moe m.fl. 2017, Persson 2024).

Den største påvirkningen fra steinindustrien kommer hovedsakelig fra utslipp av finpartikulært steinstøv. Dette er først og fremst synlig som gråfarge i bekker og innsjøer som mottar denne avrenningen, i tillegg til at det fører til høy turbiditet (mye partikulært materiale) i resipientene (Berge m.fl. 2009, Moe m.fl. 2017, Persson 2022 og 2024). Avrenningen kan føre til nedslamming av bunnen av innsjøen, noe som på negativ måte kan påvirke organismene som lever der – spesielt bunnlevende virvelløse dyr (bunndyr). Tilførsler av steinslam vil i tillegg forårsake høy konsentrasjon av partikler i vannmassene, som reduserer lystilgangen for fotosyntetiserende organismer som alger og vannplanter.

Per i dag finnes det ingen biologiske kvalitetselementer i vannforskriften for å beregne effekter av partikkelforurensning i innsjøer. I 2016 ble zooplankton undersøkt i Mørjetjern, men rapporten konkluderte med at det var vanskelig å påvise effekter av partikkelpåvirkningen, da det er nødvendig med kjennskap til fiskebestandene for å skille eventuell partikkelpåvirkning fra effekter av beiting. Det utføres årlig omfattende undersøkelser av bunndyr i elvene/bekkene i området som er påvirket av steinbruddsaktiviteten (bl.a. Persson 2022 og 2024). Derimot foreligger det få tidligere undersøkelser i innsjøene, med unntak av en omfattende studie fra 2007-2008 (Berge m.fl. 2009) og en mer begrenset undersøkelse i 2016 (Moe m.fl. 2017).

For å undersøke påvirkningen fra steinslam i avrenning fra steinbruddene på de nærliggende innsjøene, ble det i 2023 gjort sedimentundersøkelser ved hjelp av sedimentkjerner og sedimentfeller, bl.a. som en oppfølging av undersøkelsen i 2007-2008. Sedimentkjerner kan benyttes til å undersøke sedimentets innhold av både organisk og mineralsk materiale, samt forurensning (som f.eks. steinstøv) som kontinuerlig avsettes på bunnen av innsjøene. De gir derimot kun et bilde på sedimenteringen over lengre og ubestemt tid, da hastigheten og mengden på avsetningen er variabel og avhengig av flere forhold. For å få et inntrykk av selve sedimentasjonshastigheten ble det satt ut sedimentfeller i innsjøene tidlig og sent på sommeren.

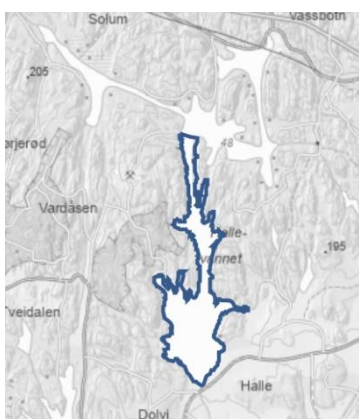
I 2023 ble det utført bunndyrundersøkelser i littoralsonen som en oppfølging av undersøkelsene i 2007-2008. Økologiske preferanser og habitatsutnyttelse hos ulike grupper av bunndyr er svært forskjellige, og dominansforholdene mellom ulike grupper av bunndyr kan dermed indikere ulike typer stress.

I 2022 ble det gjort et forsøk med undersøkelser av vannplanter i Bålsrødvannet og Torpevannet, og dette ble gjentatt i Hallevannet og Mørjetjern i 2023. Dette er planter som har sitt normale habitat i vann, og de er et biologisk kvalitetselement i vannforskriften. Siden de er sensitive for både nedslamming og redusert lystilgang kan vannplantene sannsynligvis kunne påvirkes av steinslam og partikkelforurensning.

2 Metode

2.1 Om vannforekomstene

Innsjøundersøkelsene i 2023 omfattet Hallevannet (Larvik kommune) og Mørjetjern (Larvik og Porsgrunn kommuner), som i ulik grad er påvirket av avrenning fra Larvikittbruddene. Det ble kun foretatt undersøkelser i søndre del av Hallevannet, da det er dette området som tidligere har vist seg å være mest påvirket av partikkelavrenning (Figur 1, Berge m.fl. 2009). Denne delen av innsjøen ligger 48 m.o.h., har et areal på 1,9 km² og ligger i nærheten av driftsområdet Saga Pearl. Innsjøen mottar avrenning via flere bekker som er påvirket av steinbruddet (Moe m.fl. 2017, Persson 2022). Mørjetjern ligger 2 m.o.h., har et areal på 0,004 km² og ligger vest for driftsområdet Tvedalen. Tjernet mottar avrenning via Mørjebekken som også er påvirket av avrenning fra steinbruddet (Moe m.fl. 2017). Figur 2 viser kart over området med begge vannforekomstene samt steinbruddene. De samme stasjonene som ble undersøkt av Berge m.fl. i 2007 og 2008 ble benyttet for å kunne vurdere eventuelle endringer de siste 15 årene. Alle stasjoner med koordinater og undersøkte parametere er angitt i Tabell 1. Tre stasjoner i hovedbassenget i Hallevannet, samt dypeste punkt i Mørjetjern ble undersøkt for vannkvalitet og fysiske forhold (Figur 2). I Mørjetjern ble denne stasjonen også benyttet til å undersøke sedimenteringsforholdene, mens det i Hallevannet ble benyttet 10 stasjoner i Messingvika, som en påvirket bukt, og en nærliggende referansebukt (Figur 3).



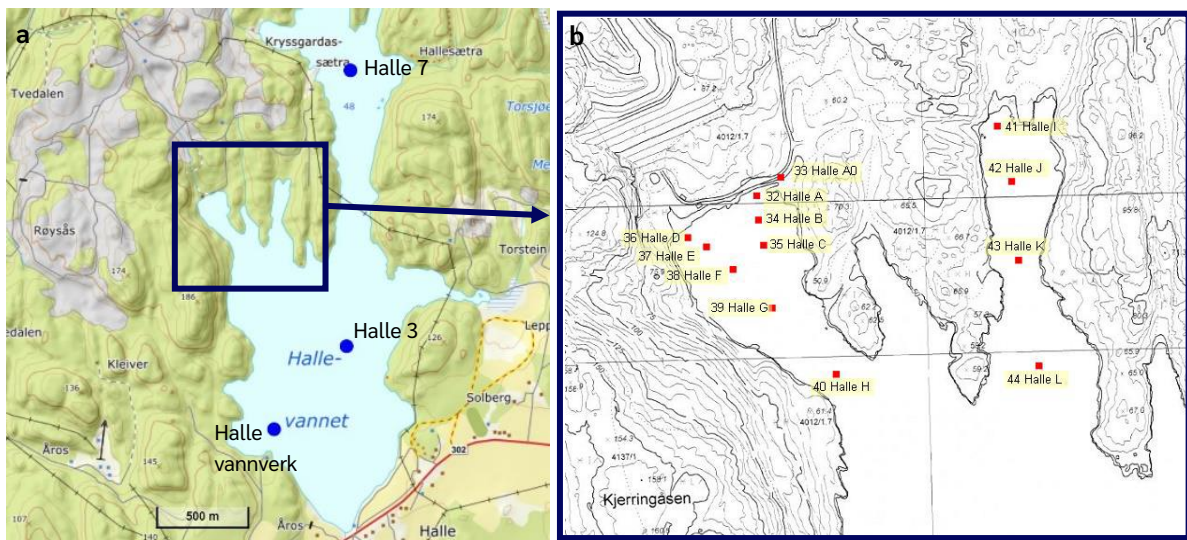
Figur 1. Kun søndre del av Hallevannet (markert med blått omriss) er inkludert i undersøkelsene da det er dette området som tidligere viste seg å være mest påvirket av steinbruddene (Berge m.fl. 2009). Kart: Vann-nett.no.

Tabell 1. Undersøkte stasjoner i de to innsjøene. Koordinater (WGS84) og undersøkte parametere er angitt.

Innsjønavn VannforekomstID	Stasjon	Breddegrad	Lengdegrad	Parametere
Hallevannet, søndre 015-433-2-L	3 - nord for hovedbasseng	59,03905	9,9074	Vannprøver
	7 - hovedbasseng	59,0257	9,90906	Vannprøver
	Vannverk, hovedbasseng	59,02132	9,90288	Vannprøver
	12 stasjoner i Messingvika og upåvirket referansebukt			Sedimentkjerner Sedimentfeller Bunndyr Vannplanter
Mørjetjern 016-129441-L	Littoralsone			Vannprøver
	Dypeste punkt	59,047629	9,840027	Sedimentkjerne Sedimentfelle
	Littoralsone			Vannplanter



Figur 2. Kartet viser Mørjetjern (blå diamant) og stasjonene i søndre del av Hallevannet (blå sirkler). Steinbruddene Tvedalen og Saga Pearl er visualisert med grå farge i kartet. Kilde: Norgeskart.no.



Figur 3. Prøvetaksstasjoner i Hallevannet. **a)** Hovedstasjoner (blå sirkler). Kilde: Norgeskart.no. **b)** Ekstra prøvetaksstasjoner i Messingvika (A-H) og upåvirket referansebukta (I-L). Hentet fra Berge m.fl. (2009).

2.2 Feltmetodikk og analysemetoder

2.2.1. Vannkvalitet, fysiske og kjemiske parametere

Det ble foretatt prøvetaking månedlig fra mai til oktober i 2023. Ved hver runde ble det målt temperatur og oksygen (konsentrasjon (mg/L) og % metning) med en YSI EXO sonde ved hver meter fra overflaten til bunnen ved hver hovedstasjon (**Tabell 1**) for å avdekke sjiktforholdene. Med samme sonde ble det også målt turbiditet og klorofyll-fluorescens ved hver meter i hele vannsøylen. Siktedyp ble målt med en Secchi-skive, og fargen på vannet ble visuelt vurdert. Integrerte vannprøver fra de øvre vannmassene ble hentet opp med en Ramberg vannhenter. Dybden på prøvene ble iht. vannforskriften bestemt ut fra en tabell basert på fargetallet (NS-EN 16698:2015). Datoer for prøvetaking og dyp for integrerte vannprøver er angitt i **Tabell 2**. Vannprøvene ble analysert for kalsium, farge, turbiditet, pH, Tot-N, Tot-P, ammonium og klorofyll *a* ved NIVAs akkrediterte laboratorium (Oslo).

Tabell 2 Datoer for prøvetaking i Hallevannet og Mørjetjern i 2023, samt dybdesjikt for integrerte vannprøver ved hovedstasjonene.

Prøvetakingsdato	Prøvetakingsdyp (m)			
	Halle 3	Halle 7	Halle vannverk	Mørjetjern
25.05.2023	0-4	0-4	0-4	0-2
22.06.2023	0-6	0-6	0-6	0-2
13.07.2022	0-8	0-8	0-8	0-2
15.08.2023	0-6	0-6	0-6	0-2
05.09.2023	0-6	0-6	0-6	0-2
03.10.2023	0-4	0-4	0-4	0-2
Maks. dyp målt	48,5	57	51	3,4

2.2.2. Vannvegetasjon

Vannplanter er høyere planter som har sitt normale habitat i vann. De deles ofte inn i helofytter («sivvegetasjon» eller «sumpplanter») og «ekte» vannplanter. Helofyttene er semi-akvatiske planter med hoveddelen av fotosyntetiserende organer over vannflata det meste av tida og et velutviklet rotsystem. «Ekte» vannplanter er planter som vokser helt neddykket eller har blader flytende på vannoverflaten Disse kan deles inn i 4 livsformgrupper: isoetider (kortskuddplanter), elodeider (langskuddplanter), nymphaeider (flytebladplanter) og lemnider (frittflytende planter). I tillegg inkluderes de største algene, kransalgene, blant vannplantene.

Feltarbeid

Vannvegetasjonen i Mørjetjern og Hallevannet ble registrert hhv. 16. juli og 21. juli 2023. Registreringene ble foretatt i henhold til standard metodikk (jf. Direktoratgruppen 2018), som inkludere registrering av vannvegetasjon fra båt med vannkikkert og kasterive. Forekomst og mengde av hver art ble notert. Mengde av hver art ble kvantifisert i henhold til en 5-delt semi-kvantitativ skala, hvor 1=sjelden (<5 individer av arten), 2=spredt, 3=vanlig, 4=lokalt dominer-ende, 5=dominerer lokaliteten. Nedre voksegrense for vannvegetasjon ble registrert. Det ble gjort registreringer fra vannkanten ned til maksdypet for vannvegetasjon, hvor alle dybdeangivelser er gitt i forhold til vannstand på observasjonstidspunktet. Navnsettingen for karplantene følger Elven m.fl. (2022) og Mjelde m.fl. (2022).

Bearbeiding og vurdering

Det foreligger ingen indekser for å vurdere effekter av sedimentavleiring og forhøyet turbiditet på vannvegetasjon, men eventuelle forskjeller fra forventet tilstand og mulige effekter fra steinbruddene vil bli beskrevet og diskutert. I tillegg har vi vurdert økologisk tilstand med hensyn til eutrofiering basert på trofiindeksen Tlc (Direktoratsgruppen 2018). I indeksen inkluderes arter innenfor alle livsformene av vannplanter (isoetider, elodeider, nymphaeider, lemnider og kransalger). Moser, begroingsalger og helofytter inkluderes ikke. Indeksen er basert på forholdet mellom antall arter som er sensitive overfor eutrofiering og antall arter som er tolerante overfor eutrofiering. Det beregnes én verdi for eutrofiering og én for forsuring for hver av innsjøene. Verdien kan variere mellom +100, dersom alle tilstedeværende arter er sensitive, og -100, hvor alle er tolerante. Indeksen bør bare brukes for vannforekomster med 3 arter eller mer.

2.2.3. Sedimentundersøkelser

Sedimentkjerner

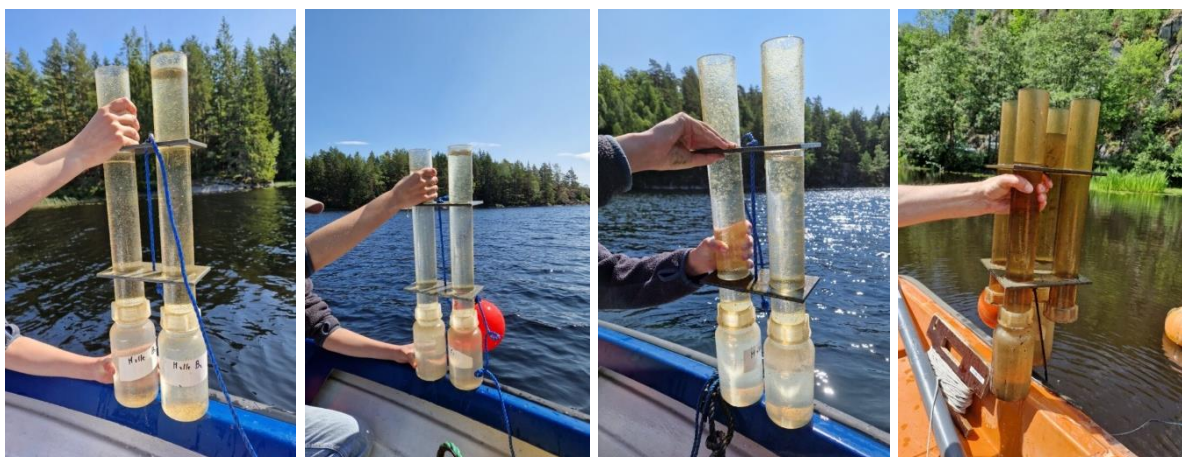
Sedimentkjerner ble 15. august 2023 hentet opp fra 10 stasjoner i Messingvika og en nærliggende bukt i Hallevannet (**Figur 3**), samt det dypeste punktet i Mørjetjern, for å gjøre en visuell vurdering og måling av mengden avsatt steinslam. Observasjonene ble sammenlignet med resultatene fra en tilsvarende undersøkelse utført av Berge m.fl. i 2007-2008. Sedimentkjernene varierte fra 5 til 17 cm i lengde, og ble hentet opp ved hjelp av en gravity-corer (kjernehenter).

Sedimentfeller

Sedimentfeller ble satt ut sent på våren (mai-juni) og tidlig om høsten (august-september) i 2023 for å måle nåværende avsetning av steinslam i innsjøene. Dette ble utført ved punktene B og E i Messingvika og J i den nærliggende referansebukten (**Figur 3**) samt ved det dypeste punktet i Mørjetjern. De valgte stasjonene i Hallevannet er de nest innerste punktene i hvert transekt, hvor påvirkning fra steinbruddet kan forventes samtidig som vanndybden tillot utsetting av fellene.

Selve sedimentfellene bestod av to sammenkoblede, sylindrerformede rør (diameter 5 cm, **Figur 4**) som var skrudd fast til hver sin flaske i bunnen. Rørene fungerte som paralleller og fanget opp sedimenterende partikler, inkludert steinslam, som ble avsatt i flaskene. Fellene ble festet til en bøye på vannoverflaten og forankret med lodd på innsjøbunnen slik at de holdt seg vertikale i vannsøylen. Fellene ble stående i 4 uker fra mai til juni og i 3 uker fra august til september. På grunn av differansen i tid ble mengden avsatt materiale per uke beregnet.

Det avsatte materialet fra fellene ble analysert med samme metode som prøvene fra Bålsrødvannet og Torpevannet i 2022. Materialet ble forberedt til analyse av glødetap og gløderest etter en omfattende tørkeprosess. Metoden gir informasjon om andel organisk (glødetap) og mineralsk (gløderest) materiale i prøvene, og vil derfor gi en indikasjon på andelen steinslam. Fullstendig beskrivelse av metoden er gitt i Vedlegg A.2.



Figur 4. Sedimentfeller hentet opp etter fire uker, juni 2023 i Hallevannet **a)** punkt B, **b)** punkt E, **c)** punkt J, og **d)** Mørjetjern. Foto: Birger Skjelbred.

2.2.4. Bunndyr

Prøvetaking og bearbeiding

Det ble gjennomført samme bunnundersøkelser som i 2007-2008 (Berge m.fl., 2009) for å kunne avdekke eventuelle endringer. Bunndyrprøver ble tatt 21. november i 2023. Det ble anvendt en håndholdt Ekman-grabb (ISO 10870 2012; **Figur 5**) med åpning 15 x 15 cm, og prøvene ble tatt i Messingvika (A-H) og en upåvirket referansebukta (I-L) i Hallevannets søndre del, se kart i **Figur 3 b** og prøvetakingsdyp i **Tabell 3**. Prøven ble deretter vasket i en sil med maskevidde 0,5 mm for å fjerne finsediment, før materialet ble fiksert med etanol (96%) i felt for senere analyser i laboratoriet.

Pga. svært lave temperaturer og uvanlig tidlig islegging var det ikke mulig å foreta bunndyrundersøkelser i Mørjetjern i november 2023.

Tabell 3. Prøvedyp for bunndyr ved hver av stasjonene i Messingvika (A-H) og nærliggende upåvirket referansebukta (I-L).

Stasjon:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Dyp (m):	0,5	2	5	0,5	2	5	8	10	0,5	2	5	8

Taksonomisk bestemmelser av bunndyr

Bunnfaunaprøvene ble talt opp og bestemt til lavest praktisk mulige taksonomiske nivå ved hjelp av stereolupe. Etter NIVAs metode for subsampling (Eriksen mfl., 2015) blir hele prøven analysert for å få med alle taksa, mens mengden av hvert takson (dominansforhold) blir ekstrapolert fra delprøver. Prøven blir overført i en bakk og homogenisert. Materialet for analyse deles så opp i åtte delprøver før analysen begynner. Første delprøve velges tilfeldig fra bakken og gjennomgås under stereolupe med telling av samtlige individer. For andre delprøve gjentar man prosedyren, men her kan man unnlate å telle taksa der man registrerte mer enn 40 individer ved første delprøve. For de taksa der man etter to delprøver har registrert mer enn 40 individer til sammen, ekstrapolerer man antallet til full prøve. Tellingen fortsetter videre ved å slå sammen de to neste delprøvene (totalt 1/4 av den samlede prøven) og telle de taksa det

er få av i denne. Også denne gangen ekstrapolerer man antall individer av tallrike takson i henhold til prosedyren beskrevet over. Til sist slår man sammen de siste fire delprøvene (totalt 1/2 av den samlede prøven) og går frem på samme måte som over.



Figur 5. Utstyr benyttet til prøvetaking av bunndyr. Nederst i bildet ses Ekman-grabben som ble benyttet for innhenting av sediment. Øverst i bildet ses den runde silen med maskevidde 0,5 mm som ble benyttet for å fjerne finsediment fra prøvene. Foto: Jonas Persson.

2.3 Vurdering av påvirkning og økologisk tilstand

Dette prosjektet ble gjennomført med hensikt å avdekke eventuelle påvirkninger fra aktiviteten i steinbruddene på innsjøenes miljøtilstand, og å gjøre en sammenligning med tilstanden 15 år tidligere som rapportert i Berge m.fl. (2009). Det ble også gjort en klassifisering av de fysiske-kjemiske støtteparameterne totalnitrogen, totalfosfor og siktedyp, samt klorofyll a , for å vurdere generell eutrofipåvirkning iht. klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa 2018). Følgende tilstandsklasser og fargeangivelser benyttes:

Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
-----------	-----	---------	--------	--------------

Det finnes ikke noen indeks i klassifiseringsveilederen som egner seg for vurdering av bunndyrprøver tatt med metoden benyttet i 2007-2008. Vurderingene av resultatene i 2023 er derfor gjort opp mot tidligere undersøkelser og eventuelle endringer som observeres.

Det foreligger ingen indekser for å direkte vurdere effekter av sedimentavleiring og forhøyet turbiditet på vannvegetasjon. Men, reduserte lysforhold (pga. høy biomasse av planteplankton) er sannsynligvis den viktigste effekten av eutrofiering på vannplanter, og dette vises med trofiindeksen (TIC) (Direktoratsgruppa, 2018), som dermed kan benyttes som en indikasjon på vannplantenes lysforhold. Indeksen er basert på forholdet mellom antall sensitive og antall tolerante arter ut fra liste for artsspesifikk følsomhet for eutrofiering. Det beregnes én indeksverdi for hver innsjø basert på innsjøens totale artliste. En beregning av trofiindeksen for vannplanter sammen med en vurdering av innsjøens eutrofistatus (næringssalter) inkludert planteplanktonbiomasse (klorofyll a) vil derfor kunne gi informasjon om eventuelle påvirkninger på vannplantene.

3 Resultater

Resultater er hovedsakelig oppgitt som gjennomsnittsverdier (årsmiddel) for alle seks prøver tatt månedlig fra mai til oktober 2023. Fullstendige data for alle vannkjemiske parametere finnes i Vedlegg B sammen med beregnet EQR og nEQR for aktuelle parametere samt artslistene fra bunndyrundersøkelsene.

3.1 Vannkvalitet

3.1.1. Kjemiske og fysiske kvalitetselementer

Sjiktforhold, temperatur og oksygen

Det var kraftig temperatursjiktning i Hallevannet fra slutten av mai til begynnelsen av oktober i 2023 (**Figur 6 a-c**). Termoklinen (sprangsjiktet) lå for det meste på mellom 5 og 10 m dyp ved alle stasjonene, og det var i denne perioden aldri full sirkulasjon i vannmassene. De høyeste temperaturene ble målt i juni, da overflaten nådde 20,7 °C ved Halle vannverk. I Mørjetjern var det svakere, men likevel noe temperatursjiktning fra juli til september (**Figur 6 d**). Mørjetjern ble heller ikke like oppvarmet som Hallevannet, da høyeste målte temperatur var 18 °C ved overflaten i juli. Dette henger trolig sammen med mye tilsig av kaldere bekke- eller grunnvann. Minimumstemperaturen i hypolimnion (bunnet) var 7,4 °C (25. mai), og temperaturforskjellen mellom epilimnion (overflatelaget) og hypolimnion var ikke like kraftig som i Hallevannet, noe som er naturlig da Mørjetjern er en grunn innsjø (maks. dyp 3,4 m). Det var likevel gode oksygenforhold i begge innsjøene, også i bunnet, gjennom hele sesongen (**Figur 6 a-d**). Det var kun redusert oksygenmetning i bunnet ved Halle 7 i juli og august, men aldri mindre enn 18 % (**Figur 6 b**).

Typologifaktorer som angir vanntype – kalsium og farge

I Hallevannet var det gjennomsnittlig kalsiumkonsentrasjoner på 4,7 mg/L ved Halle 3, og 4,6 mg/L ved Halle 7 og vannverket (vedlegg B.1). Gjennomsnittlig fargetall var hhv. 29, 28 og 29 mg Pt/L ved Halle 3, Halle 7 og vannverket. Dette betyr at Hallevannets hovedbasseng var moderat kalkrikt (4-20 mg Ca/L) og klart (farge < 30 mg Pt/L) i 2023, noe som tilsvarer vanntype L107 i henhold til vannforskriften (Direktoratsgruppa 2018). Fargetallet ligger imidlertid nær grensen mellom klar og humøs vanntype (30 mg Pt/L), og i Vann-nett er Hallevannet tildelt vanntype L108 (moderat kalkrikt, humøs, lavlandssjø). Iht. prinsippet i klassifiseringsveilederen om å bruke vanntypen med de strengeste klassegrensene der det er tvil om vanntypen, har vi benyttet vanntype L107. Resultatene viser likevel at valget av vanntype ikke utgjør noen forskjell for tilstandsvurderingene i 2023.

I Mørjetjern var gjennomsnittlig kalsiumkonsentrasjon 10,3 mg/L, mens fargeverdiene var 65 mg Pt/L. Mørjetjern tilhører derfor vanntype L108 (moderat kalkrikt, humøs lavlandssjø).

Turbiditet, siktedyp og pH

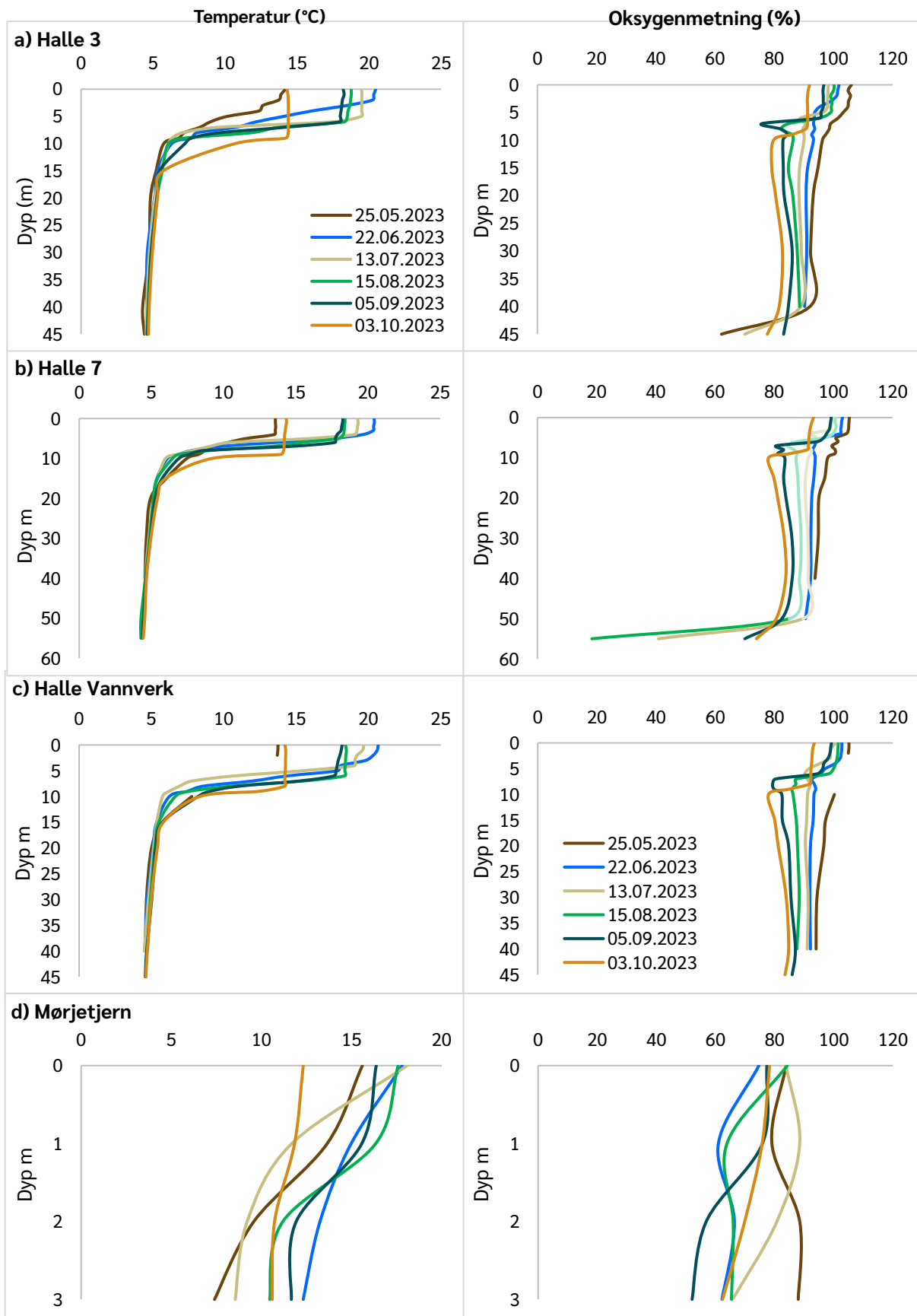
Turbiditet og pH ble målt i integrerte vannprøver tatt fra epilimnion (overflatelaget) etter dyp oppgitt i **Tabell 2**. Siktedyp og turbiditet er gitt i **Tabell 3** sammen med visuell vurdering av vannfargen ved måling av siktedyp. Siktedyp var i gjennomsnitt 4,4 m ved Halle 3 og Halle 7 i 2023, og 4,5 m ved Halle vannverk, noe som ved alle stasjoner tilsvarer *svært god* økologisk tilstand (**Tabell 4**). Fargen ble vurdert som «gulbrun» i mai og deretter brunlig gul resten av året, noe som antyder påvirkning av organisk materiale og humusstoffer. Turbiditeten var lav i Hallevannet fra mai til oktober 2023, i gjennomsnitt 0,7 FNU ved Halle 3 og 0,6 FNU ved Halle 7 og ved vannverket. Turbiditeten var lavest i mai ved alle stasjoner, deretter stabil resten av sesongen (**Tabell 4**). Ved alle stasjonene var gjennomsnittlig pH-verdi 7,1, og det var lite variasjon i pH gjennom året (Vedlegg B.1.).

I Mørjetjern var siktedypet i gjennomsnitt 1,9 m, noe som tilsvarer *moderat* økologisk tilstand (**Tabell 4**).

Fargen ble også her vurdert som gulbrun gjennom året (brungul i juli). Turbiditeten var høyere enn i Hallevannet, med gjennomsnitt på 5,9 FNU. Juli-målingen på 22 FNU dro opp gjennomsnittet vesentlig, og resten av sesongen lå turbiditeten mellom 2 og 4,3 FNU. Gjennomsnittlig pH-verdi var 7,3 og det var lite variasjon i pH fra mai til oktober (Vedlegg B.1).

Tabell 4. Månedlige målinger av siktedyp, turbiditet samt visuell vurdering av fargen i innsjøene gjennom vekstsesongen 2022. Blå farge = svært god status, gul farge = moderat status.

Innsjø	Halle 3			Halle 7		
	Siktedyp (m)	Turbiditet (FNU)	Visuell fargevurdering	Siktedyp (m)	Turbiditet (FNU)	Visuell fargevurdering
25.05.2023	3,0	0,47	Gulbrun	3,1	0,39	Gulbrun
22.06.2023	5,0	0,86	Brunlig gul	5,1	0,66	Brunlig gul
13.07.2022	5,5	0,63	Brunlig gul	5,0	0,75	Brunlig gul
15.08.2023	4,5	0,76	Brunlig gul	4,5	0,63	Brunlig gul
05.09.2023	4,6	0,67	Brunlig gul	4,7	0,62	Brunlig gul
03.10.2023	3,7	0,73	Brunlig gul	4,1	0,65	Brunlig gul
Gjennomsnitt	4,4	0,7		4,4	0,6	
Innsjø	Halle vannverk			Mørjetjern		
	Siktedyp (m)	Turbiditet (FNU)	Visuell fargevurdering	Siktedyp (m)	Turbiditet (FNU)	Visuell fargevurdering
25.05.2023	3,0	0,4	Gulbrun	1,8	2	Gulbrun
22.06.2023	5,5	0,72	Brunlig gul	2,0	4,3	Gulbrun
13.07.2022	5,0	0,57	Brunlig gul	1,6	22	Brungul
15.08.2023	4,5	0,59	Brunlig gul	2,4	3	Gulbrun
05.09.2023	4,7	0,64	Brunlig gul	2,0	2,5	Gulbrun
03.10.2023	4,1	0,63	Brunlig gul	1,7	1,7	Gulbrun
Gjennomsnitt	4,5	0,6		1,9	5,9	



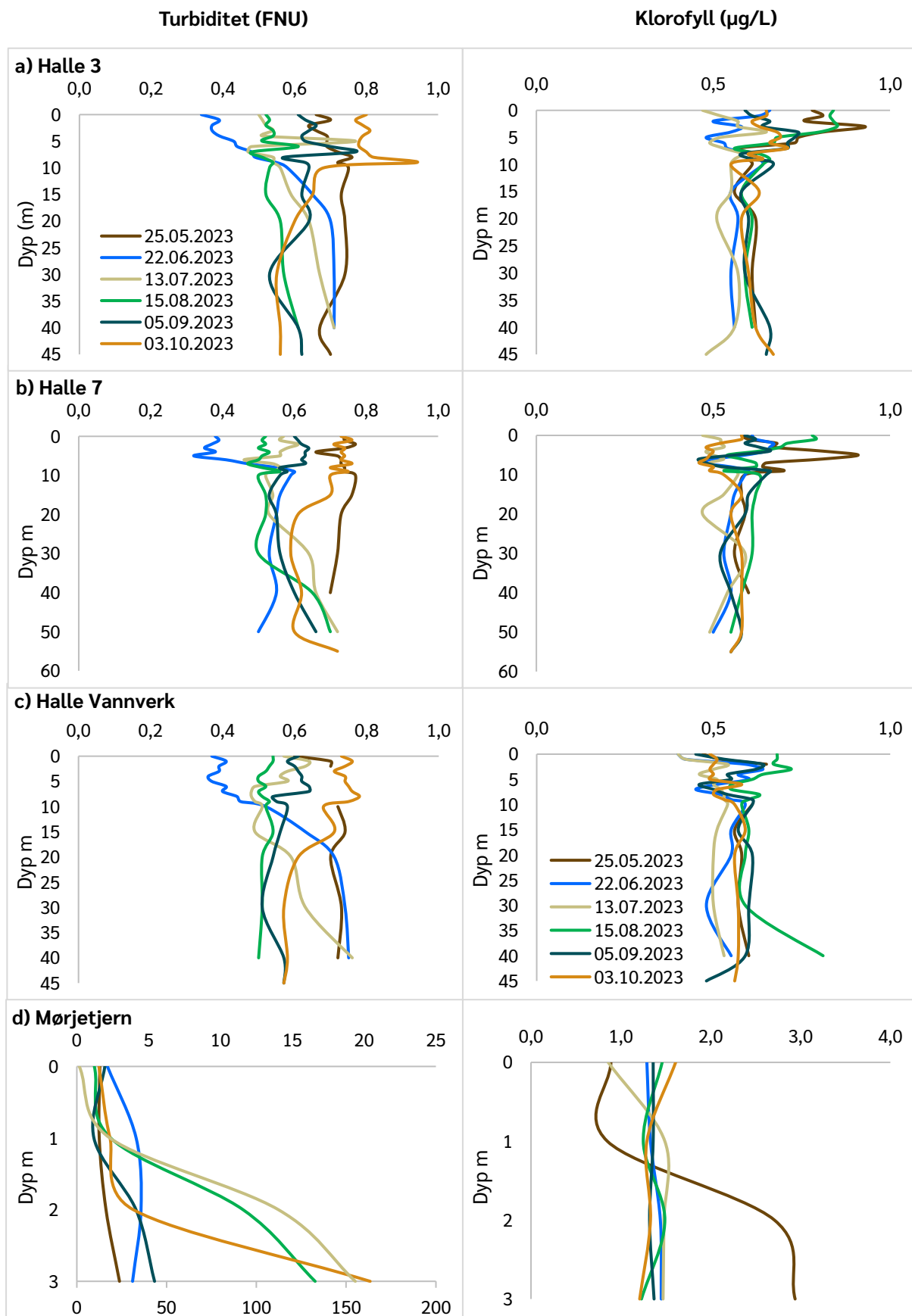
Figur 6. Temperatur (°C) og oksygenmetning (%) ved hver meter i hele vannsøylen målt med sonde månedlig fra mai til oktober ved tre stasjoner i Hallevannet (a-c) samt hovedstasjonen i Mørjetjern (d).

Turbiditetsmålinger med sonde viste også at turbiditeten i Hallevannet var relativt lav, med målinger under 0,8 FNU. Det var forholdsvis jevn fordeling av partikler gjennom vannsøylen (**Figur 7 a-c**), med unntak av i juni. Så lave FNU-målinger gir noe usikkerhet i forhold til små variasjoner, men det var likevel antydning til økende turbiditet mot dypet ved alle stasjoner (kun mot 9 m ved Halle 7). Ved Halle 3 var det tydelig forhøyede målinger like over sprangsjiktet i juli (5 m dyp) og oktober (9 m dyp) (**Figur 7 a-c**).

I Mørjetjern viste sondemålingene høyere turbiditet enn i Hallevannet, og spesielt i juli, da nivåene nådde 155 FNU mot bunnen av innsjøen (**Figur 7 d**, merk at juli-verdiene er på egen akse). I august og oktober var turbiditeten i de dypere vannmassene også opp mot og over 20 FNU, mens målingene ellers var under 5 FNU (**Figur 7 d**). Turbiditeten var for det meste lavest ved 0-1 m og høyere fra 1-3 m dyp, og økningen mot dypet var spesielt tydelig i juli, august og oktober (**Figur 7 d**).

Vertikalprofilene av klorofyll-fluorescens i Hallevannet viste lave verdier gjennom vekstsesongen 2023, noe som indikerer lav algebiomasse. Stort sett var det som forventet høyere verdier av klorofyll og mer variasjon fra måned til måned øverst i vannsøylen (epilimnion), mens det var lite variasjon under sprangsjiktet (**Figur 7 a-c**). Ved Halle 3 var det forhøyede verdier ved 3 m dyp i mai og august, ved Halle 7 ved 5 dyp i mai og ved Halle vannverk ved 3 m dyp i august. Ved sistnevnte stasjon var det også høye verdier ved 40 m dyp i august.

I Mørjetjern var det noe høyere målinger av klorofyll enn i Hallevannet, men stort sett lite variasjon både fra måned til måned og fra overflate til bunn (**Figur 7 d**). I mai var det derimot en vesentlig økning i klorofyll-fluorescens mot bunnen.



Figur 7. Turbiditet (FNU) og klorofyll-fluorescens ($\mu\text{g/L}$) målt med sonde gjennom vannsøylen månedlig fra mai til oktober. Resultater er vist for tre stasjoner i Hallevannet (a-c) samt hovedstasjonen i Mørjetjern (d). Merk at målingen av turbiditet i Mørjetjern i juli er på en egen akse (under) mens øvrige måneder er på samme akse (over).

Eutrofiparametere

Gjennomsnittsverdier for eutrofirelaterte parametere i Hallevannet og Mørjetjern fra mai til oktober 2023 er gitt i **Tabell 5**. Fullstendige data er gitt i Vedlegg B.1. Ved alle stasjoner indikerer forholdet mellom Tot-N og Tot-P ($\text{Tot-N/Tot-P} > 20$) fosforbegrensning heller enn nitrogenbegrensning i innsjøene. Tot-N skal da, i henhold til klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa 2018), ikke benyttes i samlet tilstandsklassifisering. Økologisk tilstand for Tot-N er likevel vist for å gi en indikasjon på hvor høye nitrogenkonsentrasjonene er i forhold til referansenivå.

Gjennomsnittskonsentrasjoner for Tot-N var 445–455 µg N/L ved de tre stasjonene i Hallevannet, noe som indikerer *god* økologisk tilstand. Gjennomsnittskonsentrasjonene av Tot-P var 5,4–6,2 µg P/L, som tilsvarer *svært god* økologisk tilstand (**Tabell 5**). Klorofyllkonsentrasjonene indikerte også *svært god* økologisk tilstand, med årsgjennomsnitt for de tre stasjonene fra 2,3–2,7 µg/L.

I Mørjetjern var det både høyere konsentrasjoner av næringsalter og klorofyll *a* enn i Hallevannet (**Tabell 5**). Både Tot-N og Tot-P indikerte *moderat* tilstand, med årsgjennomsnitt på hhv. 815 µg N/L og 25,7 µg P/L. Klorofyll *a* var i gjennomsnitt 5,8 µg/L, tilsvarende *svært god* økologisk tilstand.

Tabell 5. Gjennomsnittsverdier fra mai-oktober 2023 for total nitrogen (Tot-N), total fosfor (Tot-P), ammonium og klorofyll *a*. Økologisk tilstand er angitt som farger, der blå = svært god, grønn = god og gul = moderat. Tot-N er ikke inkludert i samlet vurdering av økologisk tilstand, men tilstandsklassen er vist for å gi et inntrykk av hvor høye konsentrasjonene er i forhold til referansenivå .

	Tot-N µg N/L	Tot-P µg P/L	Ammonium µg N/L	Klorofyll-a µg/L
Halle 3	455	6,2	14,5	2,7
Halle 7	448	5,4	9,5	2,5
Halle vannverk	445	5,6	15,0	2,3
Mørjetjern	815	25,7	14,7	5,8

3.1.2. Vannplanter

Artsantall og artssammensetning

Registrerte vannplanter i Hallevannet og Mørjetjern i 2023 er vist i **Tabell 6**. Det ble ikke påvist noen rødlistede arter i vannvegetasjonen. Det er ikke tidligere registrert vannplanter i Mørjetjern (se <https://artskart.artsdatabanken.no/>), men i Hallevannet er enkelte arter tidligere registrert, eksempelvis vasskryp (*Lythrum portula*), botngras (*Lobelia dortmanna*), gul nøkkerose (*Nuphar lutea*) og hesterumpe (*Hippurus vulgaris*). Derimot er systematiske vegetasjonsundersøkelser som følger standard metodikk for vegetasjonsundersøkelser ikke foretatt tidligere.

Tabell 6. Vannvegetasjon i Hallevannet og Mørjetjern i 2023. Forekomst: 1=sjelden, 2=spredt, 3=vanlig, 4=lokalt dominerende og 5=dominerer lokaliteten. Kolonnen til venstre viser sensitive (S) og tolerante (T) arter med hensyn til eutrofiering (TI).

Latinske navn	Norske navn	Tic	Hallevannet	Mørjetjern
ISOETIDER (kortskuddplanter)				
<i>Isoetes echinospora</i>	Mjukt brasmegras	S	2	
<i>Isoetes lacustris</i>	Stivt brasmegras	S	2	
<i>Littorella uniflora</i>	Tjønngras	S	3	
<i>Lobelia dortmanna</i>	Botngras	S	4	
<i>Ranunculus reptans</i>	Evjesoleie	S	2	
ELEODEIDER (langskuddplanter)				
<i>Callitriche sp.</i>			1	
<i>Juncus bulbosus</i>	Krypsiv	S	2	
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	Tusenblad	S	2	3
<i>Potamogeton gramineus</i>	Grastjønna	S	2	
<i>Utricularia sp.</i>		S		1
NYMPHAEIDER (flytebladplanter)				
<i>Nuphar lutea</i>	Gul nøkkerose		2	3
<i>Nymphaea alba</i>	Hvit nøkkerose		1	1
<i>Potamogeton natans</i>	Vanlig tjønna			1
CHAROPHYTES				
<i>Nitella opaca</i>	Mattglattkrans	S	2	
Antall arter			12	5

Hallevannet

I Hallevannet ble den sørlige delen og bukter nær steinbruddet undersøkt den 21 juli 2023. Det ble generelt observert en del fint rødlig sediment på vegetasjonen (**Figur 8**).

Undervannsvegetasjonen var dominert av kortskudsvegetasjon på de grunne områdene og særlig i den sørlige enden, hvor botngras (*Lobelia uniflora*, **Figur 8**) og tjønngras (*Littorella uniflora*) var dominerende. Artene mjukt og stivt brasmegras (*Isoetes echinospora* og *Isoetes lacustris*) også ble registrert, men stod mer spredt. Botngras ble registrert ut til 2,5 m dyp. En del langskuddarter ble registrert, deriblant krypsiv (*Juncus bulbosus*), tusenblad (*Myriophyllum alterniflorum*) og grastjønna (*Potamogeton gramineus*). Gul nøkkerose (*Nuphar lutea*) og hvit nøkkerose (*Nymphaea alba*) ble registrert i bukter i den sørlige enden av innsjøen (**Figur 8**).

I den sørlige delen var det en frodig kantvegetasjon, dominert av takrør (*Phragmites australis*), elvesnelle (*Equisetum fluviatile*), sjøsivaks (*Schoenoplectus lacustris*), brei dunkjevle (*Typha latifolia*) og flaskestarr (*Carex rostrata*). Flere av disse indikerer god næringstilgang.



Figur 8. Gul og hvit nøkkerose (venstre) og botngras med fint rødlig sediment (høyre) i Hallevannet 21. juli 2023. Foto: Kirstine Thiemer.

Mørjetjern

Hele Mørjetjern ble undersøkt. Det vanligste substratet i innsjøen var fin sand og løst finmateriale. Innsjøen er forholdsvis grunn.

Vannvegetasjonen var dominert av langskuddplanten tusenblad (*Myriophyllum alterniflorum*) og flytebladplanten gul nøkkerose (*Nuphar lutea*), hvor sistnevnte vokste ut til ca. 2,5 m. Øvrige arter hadde sparsom forekomst (Tabell 6). Undervannsvegetasjonen var generelt påvirket av fint rødlig sediment hele innsjøen, men mer uttalt i den nordlige delen, tett på elveinnløpet. Det lave antallet langskuddplanter skyldes sannsynligvis dårlige lysforhold, som kan skyldes at innsjøen er humøs, eller partikler fra steinbruddet.

Kantvegetasjonen var frodig rundt innsjøen, med dominans av helofyttene sverdlinje (*Iris pseudacorus*), vassgro (*Alisma plantago-aquatica*), flaskestarr (*Carex rostrata*), elvesnelle (*Equisetum fluviatile*), solie (*Ranunculus sp.*) og brei dunkjevle (*Typha latifolia*). De fleste av disse indikerer god næringstilgang.

Økologisk tilstand

Basert på trofiindeksen Tlc kan økologisk tilstand for vannvegetasjon i forhold til eutrofiering karakteriseres som *svært god* i Hallevannet og *god* i Mørjetjern (Tabell 7).

For eutrofieringsindeksen (Tlc) dominerer de sensitive artene i Hallevannet og ingen tolerante arter for eutrofiering ble registrert. I Mørjetjern var litt under halvparten av artene sensitive arter. Flere arter som regnes som indifferente arter, dvs. arter som kan forekomme i både oligotrofe og eutrofe innsjøer og dermed ikke har klare preferanser, ble også registrert. Disse inkluderte gul og hvit nøkkerose (*Nuphar lutea* og *Nymphaea alba*) og vanlig tjønnaks (*Potamogeton natans*).

Tabell 7. Økologisk tilstand med hensyn til eutrofiering for vannvegetasjon i Hallevannet og Mørjetjern i 2023 oppgitt både med indeksverdi for Tlc og nEQR. Farger angir tilstandsklasser: Blå=svært god, grønn=god.

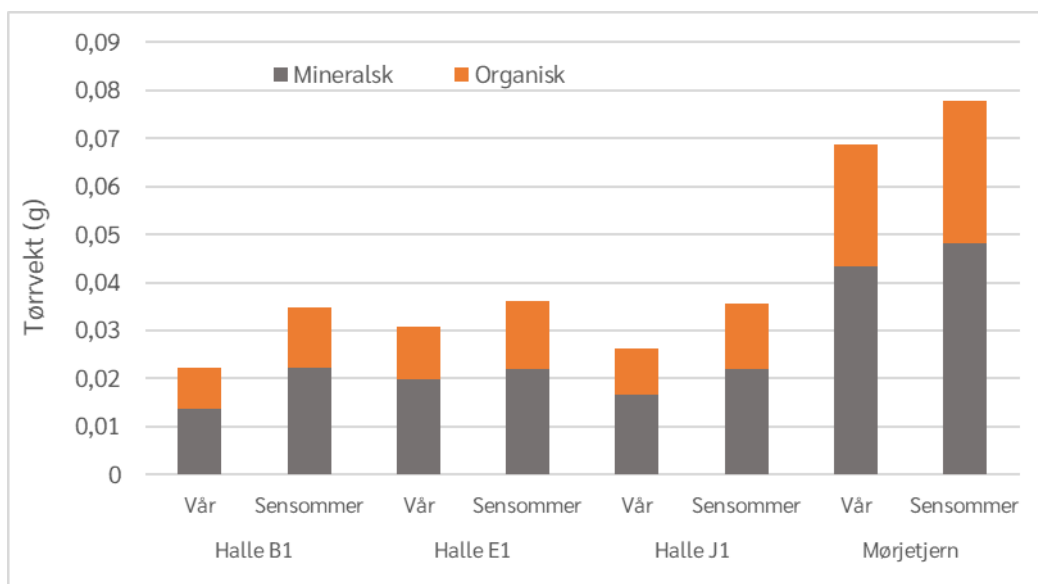
Innsjø	Innsjøtype	Tlc	nEQR	Økologisk tilstand
Hallevannet	107	75	1	Svært god
Mørjetjern	108	40	0.65	God

3.2 Sedimentundersøkelser

3.2.1. Sedimentfeller

I Hallevannet ble det fanget opp minimalt mer sedimenterende materiale per uke på sensommeren enn sent på våren, som vist i **Figur 9**. Ved de tre punktene B, E (øst og vest i Messingvika) og J (referansebukten) ble det i snitt avsatt hhv. 0,02, 0,03 og 0,03 g tørrvekt per uke på våren mens det ble avsatt 0,03, 0,04 og 0,04 g tørrvekt per uke på sensommeren. Dette tilsvarer en estimert gjennomsnittlig avsetning på 0,08 g/cm²/år ved punkt B (hhv. 0,06 og 0,07 g/cm²/år vår og sensommer), 0,09 g/cm²/år ved punkt E (hhv. 0,08 og 0,07 g/cm²/år vår og sensommer) og 0,08 g/cm²/år ved punkt J (hhv. 0,07 og 0,09 g/cm²/år vår og sensommer). Ved punkt B var det høyere andel mineralsk materiale på sensommeren (**Figur 9**), hhv. 61 og 64 % vår og sensommer, mens ved punkt E og J var andelen mineralsk høyere tidlig på året, hhv. 64 og 61 % vår og sensommer begge steder.

I Mørjetjern var det vesentlig høyere sedimenteringsrate enn i Hallevannet, og en liten økning fra 0,07 g tørrvekt per uke på våren til 0,08 g på sensommeren (**Figur 9**). Dette tilsvarer en estimert gjennomsnittlig avsetning på 0,19 g/cm²/år (hhv. 0,18 og 0,21 g/cm²/år vår og sensommer). Andelen mineralsk materiale minket fra 63 til 62 % over sommeren. Sedimentfellene i Mørjetjern ble dekket av et tykt lag rødlig sediment (**Figur 4 d**), tilsvarende det som ble funnet på vannplantene (**Figur 8**).



Figur 9. Andelen mineralsk og organisk materiale samt totalmengde (tørrvekt) avsatt per uke i sedimentfellene i Hallevannet og Mørjetjern vår (25. mai-22. juni) og sensommer (15. august-5. september) 2023.

3.2.2. Sedimentkjerner

I Hallevannet ble det hentet opp sedimentkjerner på mellom 5 cm (punkt I) og 17 (punkt B) cm lengde ved ulike dyp fra land og utover i Messingvika og referansebukten 15. august 2023. Punktene for prøvetaking med dybde er gitt i **Tabell 8** sammen med observasjoner av steinslam i sedimentene. Punktene H og L ble ikke prøvetatt.

Ved undersøkelsen i 2007-2008 ble det kun observert noe lyst materiale som kunne være steinslam på toppen av sedimentene helt innerst i Messingvika, ved punktene A og D (Berge m.fl. 2009). Dybden ved disse punktene var større i 2023. Om dette var pga. endringer i vannstanden eller om prøvene ble tatt noe lengre ut fra land i 2023 vites ikke. Det ble likevel ikke observert tydelig steinslam ved disse punktene i 2023 (**Tabell 8, Figur 10**). Kun ved de dypeste punktene vest i Messingvika (F og G, hhv. ved 4 og 8 m dyp) ble det observert noe som kan være steinslam. Dette ble ikke observert på overflaten av sedimentet, men fra ca. 4-8 cm nede i sedimentkjernen (**Figur 10 f og g**).

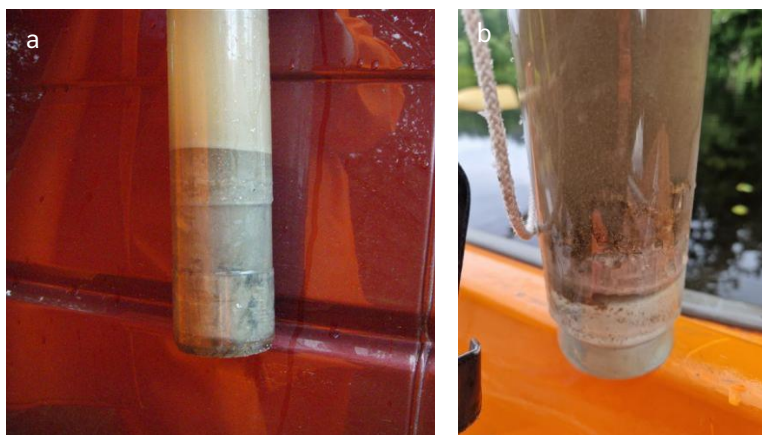
I Mørjetjern ble det i 2007-2008 observert steinslam i hele sedimentkjernen (**Figur 11 a**), mens det i august 2023 ble observert noe mørkere materiale i de to øverste centimeterne (**Figur 11 b**), som tyder på at det på toppen ligger mer organisk materiale som har blitt avsatt de seneste årene og at det dermed kan ha vært mindre avsetning av steinslam. Under disse øvre 2 cm var det fremdeles hovedsakelig steinslam (**Figur 11 b**).

Tabell 8. Stasjoner og dyp for prøvetaking med sedimentkjernehefter i 2007-2008 og 2023. Observasjoner av steinslam og hvor i sedimentkjernene dette eventuelt ble observert (i cm fra overflaten) i 2023 er også oppgitt.

	Hallevannet								Mørjetjern		
	Messingvika							Referansebuk	Dypeste punkt		
Stasjon:	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	
Dyp 2007 (m)	0,5	2	5	0,5	2	5	8	0,5	2	5	
Dyp 2023 (m)	2	3	4	1,5	3	4	8	1,5	4	8	3,4
Steinslam 2023	Ikke observert					Fra 4-8 cm dybde	Fra 4-5 cm dybde	Ikke observert			Fra 2 cm dybde og nedover



Figur 10. Sedimentkjerne hentet opp ved syv punkter i Messingvika (a-g) og nærliggende referansebukta (i-k) 15. august 2023. Bildene er markert med bokstaver tilsvarende stasjonsbenevnelsen i **Figur 3** og **Tabell 8** (a=A, b=B osv.). Foto: Birger Skjelbred.

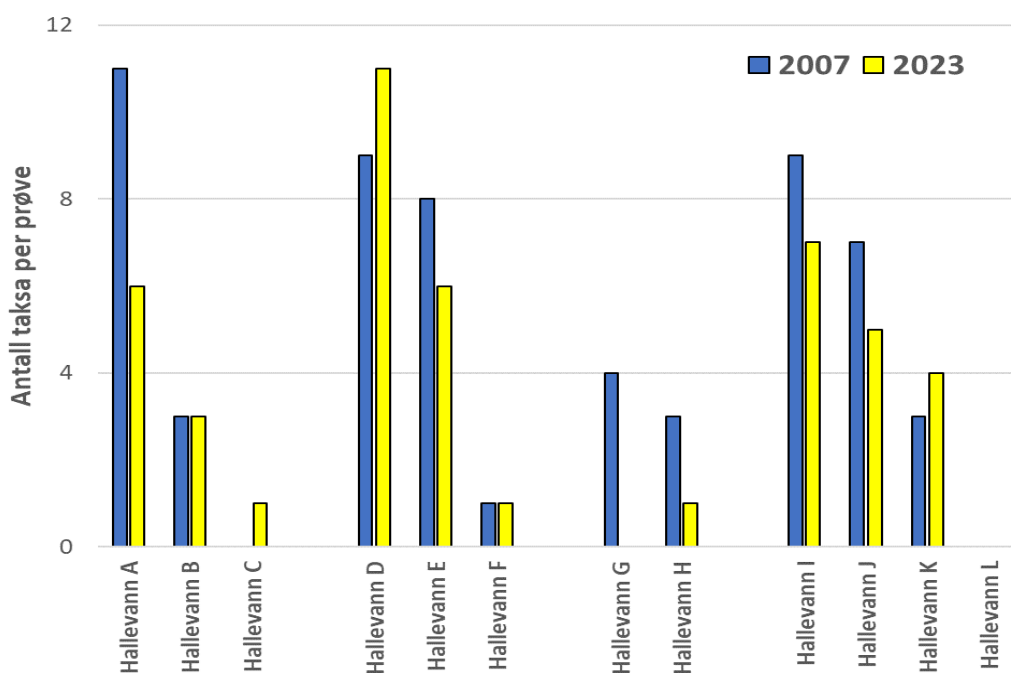


Figur 11. Sedimentkjerne hentet opp fra det dypeste punktet i Mørjetjern i **a)** 2007-2008, hentet fra Berge m.fl. 2009, og **b)** 15. august 2023. Foto: Birger Skjelbred.

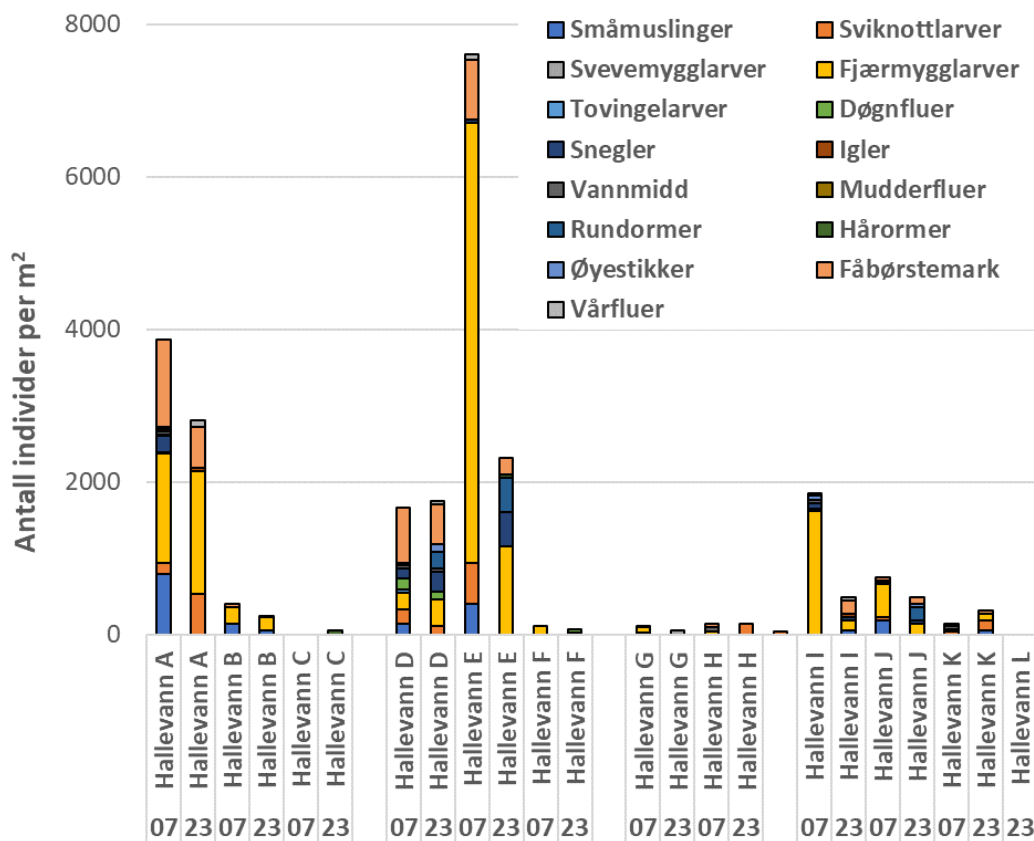
3.2.3. Bunndyr

Det var omtrent like mange taksa av bunndyr ved transektet som får avrenning fra bruddet Saga Pearl i Messingvika (stasjon A-H) som ved transektet i den antatt upåvirkede referansebukten (I-L), som vist i **Figur 12**. Antall taksa per prøve var relativt likt i 2023 sammenliknet med i 2007. Mangfoldet var høyest i de grunneste prøvene og avtok med økende dyp, noe som er normalt å observere i grabbprøver av bunndyr fra innsjøer.

Grupesammensetningen i 2023 og 2007 var dominert av fjærmygglarver (*Chironomidae*), men hadde også store innslag av fåbørstemark (*Oligochaeta*) (**Figur 13** og vedlegg B.3). Andre taksagrupper forekom i betydelig lavere antall og med stor variasjon mellom stasjoner og år.



Figur 12. Antall taksa av bunndyr per prøve i de ulike stasjonene Hallevannet i 2007 og 2023. Det ble ikke tatt prøve fra Hallevannet L i 2007, men stasjonen ble undersøkt i 2023 uten funn av bunndyr.



Figur 13. Antall individer per taksagruppe av bunndyr per kvadratmeter i Hallevannet 2007 (“07”) og 2023 (“23”). Det ble ikke tatt prøve fra Hallevannet L i 2007, men stasjonen ble undersøkt i 2023 uten funn av bunndyr.

4 Oppsummering og vurderinger

Turbiditetsmålinger utført ukentlig i bruddene og tilførselsbekkene er benyttet som bakgrunnsinformasjon. Oppdragsgiver rapporterer disse resultatene via Altinn (<https://www.altinn.no/>).

Ved Saga Pearl øst var det stort sett lav turbiditet (FNU <1) gjennom hele 2023. Ved Saga Pearl vest var det vesentlig høyere verdier hele året, med en topp den 6. juli (FNU = 35). Denne perioden var det store nedbørsmengder, og mye av turbiditeten kom trolig fra veiavrenning (meddelelse fra oppdragsgiver).

I Mørjebekken var det lav turbiditet (FNU < 1) stort sett hele året.

Steinbruddene var stengt i uke 29-31 (17. juli til 6. august 2023).

4.1 Hallevannet

4.1.1. Vannfasen

Vannkvalitet

Det var kun mindre variasjoner i vannkvalitet mellom de tre stasjonene i Hallevannet, og ingen forskjeller i økologisk tilstandsvurdering. Hallevannet ble derfor vurdert samlet for alle stasjonene. Oppsummert var Hallevannet (søndre del) i *svært god* økologisk tilstand for de utvalgte parameterne som ble målt i dette prosjektet (Vedlegg B.2). Denne delen av innsjøen så ikke ut til å være eutrofi-påvirket, og det var lave konsentrasjoner av klorofyll *a* (planteplankton) og fosfor. Nitrogen er ikke inkludert i klassifiseringen, men de lave konsentrasjonene av Tot-N indikerte isolert sett *god* økologisk tilstand. Det var en reduksjon i Tot-N konsentrasjoner siden 2007-2008, da gjennomsnittet ved alle stasjonene var > 600 µg N/L, mot 445-460 µg N/L i 2023. Konsentrasjonene av Tot-P og klorofyll *a* i 2023 var relativt like som i 2007-2008.

Partikkelpåvirkning og lystilgang

Siktedypet i Hallevannet var lavest i mai og høyest i juni og juli, og varierte med opptil 2,5 m gjennom sesongen. Årsgjennomsnittet på 4,4-4,5 m er høyt, og indikerer *svært god* økologisk tilstand, men er likevel 1-1,5 m lavere enn ved de samme stasjonene i 2007-2008 (Berge m.fl. 2009). Dette kan muligens forklares av en økning i farge fra 22-25 mg Pt/L i 2007-2008 til 28-29 mg Pt/L i 2023. Turbiditeten i Saga-Pearl bekkene målt av oppdragsgiver viste ekstremt høye verdier 6. juli forårsaket av kraftig nedbør, men dette så altså ikke ut til å nå ut i vannmassene i hovedbassenget, da nest høyeste siktedyp ble målt i juli. Turbiditeten målt i overflatelagene ved de ulike stasjonene var noe variabel, men svært lav (< 0,9 FNU) gjennom sesongen. Dette er omtrent likt som i 2007-2008, da gjennomsnittsverdiene ved alle tre stasjonene var mellom 0,6 og 0,8 FNU (Berge m.fl. 2009). Turbiditetsmålingene korrelerer positivt med siktedypet, dvs. turbiditeten er høyest når siktedypet også er størst, noe som tyder på at siktedypet i Hallevannets søndre del ikke er sterkt påvirket av partikkelpåvirkning. Turbiditeten, når målt gjennom hele vannsøylen, var høyere mot dypet på sommeren (mai-juli ved Halle 3, juni-september ved Halle 7 og juni-juli ved Halle vannverk), samtidig ble det ofte målt høyest turbiditet rundt 10 m dyp, noe som ikke fanges opp av målingene i overflatelagene (**Tabell 2**). Dette er noe motsatt av det som ble observert i 2007-2008 da turbiditeten stort sett var høyest mot overflaten (Berge m.fl. 2009). Det ser ut til at turbiditeten i overflatelagene kan forklares noe av tilstedeværelsen av alger, men det er heller ingen klar, positiv korrelasjon mellom disse parameterne annet enn noe ved Halle 3. Ingen av de pelagiske stasjonene i søndre del av Hallevannet ser dermed ut til å være påvirket av tilførsler fra steinbruddet i 2023, noe som også ble observert i 2007-2008 (Berge m.fl. 2009).

Vannplanter

I Hallevannet ble det funnet flere arter vannplanter av ulike vekstformer, og det var ingen indikasjoner på redusert lystilgang eller på annen måte påvirkning fra partikkelforurensning i 2023. Derimot ble det observert et fint lag rødlig sediment på flere av plantene, tilsvarende lignende funn fra 2022 i Bålsrødvannet, som er direkte påvirket av steinbruddet i Tvedalen (Hagman m.fl. 2023). Men hva dette er og om det har noe tilknytning til steinslam er uvisst. Steinslammet fra bruddene er typisk grått, og det er mer trolig at de rødlig avsetningene har annen opprinnelse, f.eks. jernforbindelser. Samlet sett er Hallevannet i *svært god* økologisk tilstand med hensyn til vannplanter. Det ble funnet flere arter som indikerer god næringstilgang, men de fleste tilstedeværende artene er faktisk sensitive for eutrofiering. Det ble ikke funnet noen arter som er tolerante for eutrofiering, noe som underbygger funnene om at Hallevannet sannsynligvis ikke er eutrofi-påvirket, basert på resultater fra undersøkelsen i 2023.

4.1.2. Sedimentundersøkelser

Undersøkelsene av sedimenter, inkludert bunndyr, i Hallevannet ble utført i to transekter (øst og vest) i Messingvika, hvor bekken med avrenning fra Saga Pearl bruddet har utløp, samt i en nærliggende referansebukta som ikke mottar slik avrenning.

Sedimenter

Sedimentfellene i Hallevannet viste svært lite avsetning både vår og høst i 2023. Avsetningen var vesentlig lavere enn i Mørjetjern, og også lavere enn Bålsrødvannet og Torpevannet som ble undersøkt i 2022 (Hagman m.fl. 2023). Andelen mineralsk materiale var også lavere enn i Bålsrødvannet og Torpevannet, men tilsvarende som i Mørjetjern. Høy andel av mineralsk materiale kan komme fra steinslam, men også fra leirpåvirkning. Ved visuell undersøkelse av sedimentkjernene ble det kun observert noe som lignet steinslam i et sjikt på 1-4 cm ved to av stasjonene, og da under et 4 cm tykt sjikt med mørkere, trolig mer organisk materiale. I 2007-2008 ble det ikke observert mye steinslam i sedimentene, kun noe helt innerst i Messingvika (Berge m.fl. 2009). I 2023 ble det kun observert ved 4 og 8 m dyp, og det er uvisst når dette har blitt avsatt da man ikke har informasjon om sedimentasjonshastigheten i innsjøen og hvor mange år de 4 øvre cm tilsvarer. Mengden materiale avsatt i sedimentfellene antyder likevel at det er lite sediment som avsettes hvert år. At funn av steinslam var ved dypere punkter i Messingvika enn i 2007-2008 kan tyde på at steinslam som kommer fra bekken transporteres utover og avsettes, men at dette har skjedd over en kortere periode i løpet av de siste 15 årene, og ikke hverken kontinuerlig eller helt nylig. Undersøkelser i bekkene nedenfor Saga Pearl viste stor påvirkning fra steinslam i 2014-15 med noe bedring i 2016-2022 grunnet redusert aktivitet i steinbruddet (Persson 2024), noe som godt kan være årsaken til denne sedimenteringen i innsjøen. Etter oppstart av full aktivitet i steinbruddet i 2022 ser det ut til at påvirkningen igjen har økt i bekkene, men med liten grad av utvasking av sedimentert steinslam (Persson 2024). Denne økte påvirkningen var ikke synlig i Messingvika i 2023, siden det ikke ble observert steinslam i øvre del av sedimentene ved noen av de undersøkte punktene.

Bunndyr

Sammenlignet med undersøkelsen i 2007 var det lite eller ingen endring i bunndyrsamfunnet i Messingvika og referansebukten i 2023. Det ble funnet omtrent like mange taksa i 2023 som tidligere, og antallet avtok med økende prøvetakingsdyp. De viktigste gruppene var i 2023 fjærmygglarver og fåbørstemark, som i 2007. Likhetene i bunndyrsamfunn mellom Messingvika og referansebukten tyder på steinbruddene ikke har ført til dårligere forhold for bunndyr i Messingvika, i likhet med i 2007.

4.2 Mørjetjern

4.2.1. Vannfasen

Vannkvalitet

I Mørjetjern indikerte både klorofyll *a* (planteplankton) og vannplanter *svært god* og *god* økologisk tilstand, men eutrofieringsparameterne Tot-P og siktedyp trakk totalvurderingen ned til *moderat*. Også Tot-N ville vært i *moderat* tilstand, men den var ikke med i totalvurderingen pga. fosforbegrensning. Mørjetjern er tidligere funnet å være svært påvirket av avrenning fra steinbruddet i Tvedalen (Berge m.fl. 2009 og Moe m.fl. 2017), og tilførsler av fosfor-rikt steinslam kan forklare både høye verdier av fosfor og lavt siktedyp i Mørjetjern. Likevel har det vært en betydelig nedgang i Tot-P konsentrasjoner de siste 15 årene, da gjennomsnittskonsentrasjonene juni-september i 2007 og 2008 var hhv. 32 og 80 µg/L (Berge m.fl. 2009), mens den var 25,7 µg/L mai-oktober i 2023. Fosforet i steinslammet er ikke biotilgjengelig og

vil derfor ikke påvirke algeveksten i stor grad (Berge m.fl. 2009). Tidligere undersøkelser viste likevel svært høye klorofyll *a* konsentrasjoner (hhv. 23 og 15 µg/L i 2007 og 2008, Berge m.fl. 2009), som ikke korrelerte med Tot-P. I 2023 var det mye lavere konsentrasjoner av klorofyll *a* i vannprøvene fra overflatelaget (årgjennomsnitt på 5,8 µg/L), noe som tyder på at fosforet fremdeles er lite tilgjengelig for alger, og dermed trolig kan komme fra steinslam. Sondemålingene av klorofyll fra hele vannsøylen viste også lave verdier. De høye næringskonsentrasjonene ser dermed ikke ut til å gi økt produksjon av alger, og Mørjetjern er derfor ikke eutrofipåvirket i stor grad.

Partikkelpåvirkning og lystilgang

Siktedypet i Mørjetjern var lavest i juli (1,6 m), da også turbiditeten var ekstremt høy (22 FNU). Resten av året var siktedypet positivt korrelert med turbiditeten, dvs. høyt siktedyp sammenfalt med høy turbiditet og motsatt, mens siktedypet var svakt negativt korrelert med klorofyll *a* konsentrasjonene i overflatelaget. Dette kan tyde på at det er algemengden som påvirker siktedypet mest gjennom vekstsesongen. I Mørjebekken ble det ikke registrert spesielt høy turbiditet 6. juli slik som i tilførselsbekkene til Hallevannet, så det er uklart hva den høye turbiditeten 13. juli skyldes. Målt gjennom hele vannsøylen var turbiditeten stort sett 2-5 FNU, men vesentlig høyere i juli, da den over bunnen nådde 155 FNU. Fra juli til oktober (mindre tydelig i september) var turbiditeten vesentlig høyere mot bunnen enn i overflaten, og de høyeste målingene var fra 1-2 m og nedover. Dette ble også observert i 2007-2008, og har trolig sammenheng med at kjølig bekkevann med tilførsler av steinslam kommer inn i Mørjetjern og legger seg i bunnlagene (Berge m.fl. 2009).

Mørjetjern ser ut til å ha blitt vesentlig klarere siden forrige undersøkelse, da det ble målt gjennomsnittlig turbiditet på hhv. 11 og 37 FNU i 2007 og 2008, mot 5,9 FNU i 2023. Tilsvarende har det også vært noe bedring i siktedyp, som i 2007-2008 var gjennomsnittlig 1,2-1,3 m, mens det i 2023 var 1,9 m. Siktedypet var noe høyere i august enn i juli, etter tre uker med driftsstans, til tross for mye nedbør i juli og august (yr.no). Driftsstansen hadde derimot ingen stor effekt på turbiditeten, slik det hadde i 2007-2008. Berge m.fl. (2009) vurderte tilstanden i Mørjetjern til å være kraftig påvirket av steinslam, og at innsjøen fungerte som et sedimentasjonsbasseng. Dette ble til dels tilbakevist av Moe m.fl. (2017), da påvirkningen fra steinslam syntes like stor nedstrøms Mørjetjern som oppstrøms, noe som indikerte at mye av steinslammet forsvinner ut av innsjøen igjen. I 2007-2008 var Mørjetjern på sensommeren synlig preget av steinslam i vannfasen (**Figur 14 a-b**), noe som ikke ble observert i hele tatt under prøvetakingen i 2023 (**Figur 14 c**). Undersøkelsene fra 2023 tyder på at Mørjetjern fremdeles er påvirket av avrenning av steinslam, men ikke i like stor grad som tidligere.

Vannplanter

Ulike arter og grupper av planter har forskjellige krav til lys og toleranse for dårlige lysforhold. Eutrofiering påvirker samfunnet av vannplanter i innsjøen og den relative dominansen mellom arter, hovedsakelig pga. dårligere lysforhold og redusert næringstilgang som følge av den økte algemengden. Flere av artene i Mørjetjern indikerer derimot god næringstilgang. Lysforholdene har stor betydning for hvor dypt plantene kan vokse og hva slags type planter som dominerer. Mørjetjern hadde ingen kortskuddplanter eller kransalger, og vannvegetasjonen var dominert av langskuddplanten tusenblad. Innsjøen hadde dermed kun planter som evner å strekke seg mot lyset. Redusert lystilgang i Mørjetjern kan skyldes påvirkning fra steinslam, men den humøse karakteristikken til innsjøen (fargetall 65 mg Pt/L) vil også redusere lystilgangen.



Figur 14. Det var synlig steinslam under vannoverflaten i Mørjetjern på sensommeren 2007 (a-b, hentet fra Berge m.fl. 2009), mens det ikke ble observert lignende i 2023 (c, foto: Birger Skjelbred).

4.2.2. Sedimentundersøkelser

Sedimentfellene i Mørjetjern viste noe høyere sedimentering på sensommeren enn på våren, noe som kan henge sammen med at mai og juni i 2023 hadde mindre nedbør enn normalen, mens juli-september hadde mer (yr.no). Dette ga mer avrenning til innsjøen på sensommeren. Mengden avsatt materiale var nesten dobbelt så høy som i Hallevannet, men kun omtrent halvparten av det som ble avsatt i Bålsrødvannet i 2022 (Hagman m.fl. 2023). Det var også mindre andel mineralsk materiale enn i Bålsrødvannet og Torpevannet med kun 62-63 %. De to øverste cm av sedimentene bestod av mørkt, trolig organisk materiale. De dypere sedimentene besto for det meste av steinslam, noe de også gjorde i 2007-2008 (Berge m.fl. 2009). Dette kan tyde på at tilførselen av steinslam til Mørjetjern har minket de siste årene. Sedimentfellene fanget opp materiale som tilsvarer en sedimentasjonshastighet på 0,18-0,21 g/cm²/år ved det dypeste punktet i Mørjetjern, noe som betyr at sedimentet i teorien vil øke med omtrent 1 g tørrvekt per cm² på fem år. Det er derimot vanskelig å overføre dette direkte til tykkelsen (cm) på sedimentet som vil avsettes per år, dermed kan vi ikke vurdere hvor mange år disse to øverste cm tilsvarer.

5 Konklusjoner

Undersøkelsene i Hallevannet og Mørjetjern i 2023 var en oppfølging av tilsvarende undersøkelser i 2007-2008 (Berge m.fl. 2009) og viser at Hallevannet fremdeles synes upåvirket av steinslam fra steinbruddet Saga Pearl. Basert på denne undersøkelsen er det ingen antydning til påvirkning på bunndyrfaunaen i Hallevannet, og det ser ut til at forholdene ikke har endret seg vesentlig siden undersøkelsene i 2007-2008. Det har heller ikke avsetningene av steinslam i sedimentene; verken i 2007-2008 eller i 2023 ble det observert betydelig påvirkning fra steinslam. Unntaket var ved to av de dypeste punktene i Messingvika i 2023, hvor det ble observert et opptil 4 cm dypt lag med mulig steinslam. Da dette laget var under 4 cm dybde og nedover kan dette ha vært enkelte år med høye tilførsler av steinslam, men synes ikke å være kontinuerlig. Det ser likevel ikke ut til å ha hatt langvarig påvirkning på forholdene i innsjøen, hverken i Messingvika, i hovedbassenget eller nord for dette. Mangelen på forskjeller i sedimentene mellom Messingvika og den nærliggende referansebukten støtter dette. Vannkvaliteten i Hallevannets søndre del indikerer *svært god* økologisk tilstand, og det ser heller ikke ut til å være påvirket av eutrofiering. Vannplantesamfunnet vitnet heller ikke om hverken eutrofiering eller dårlige lysforhold, er synes dermed ikke å være negativt påvirket av steinslam.

Undersøkelsen i Mørjetjern i 2023 viste at innsjøen trolig fremdeles er påvirket av avrenning fra steinbruddet i Tvedalen i form av partikler og næringsstoffer, spesielt fosfor. Likevel påvirker ikke dette algeveksten i like stor grad som man skulle forvente av så høye næringskonsentrasjoner, men partikler kan være årsaken til at vannplantesamfunnet bærer preg av dårlige lysforhold. De dårlige lysforholdene kan derimot også være forårsaket av det høye humusinnholdet i innsjøen. Selv om Mørjetjern ser ut til å være påvirket av steinbruddet, har det vært en bedring i vannkvalitet sammenlignet med undersøkelsen utført i 2007-2008, i form av redusert turbiditet og algemengde (klorofyll *a*), samt en økning i siktedyp. I tillegg har det de seneste årene trolig blitt avsatt annet, mer organisk materiale i sedimentene, og ikke kun steinslam som ble observert i 2007-2008.

Selv om forholdene i innsjøene synes å være gode, og bedre enn for 15 år siden, er det fremdeles påvirkninger av partikkelforurensning i Mørjetjern, og vi anbefaler at det følges opp med undersøkelser i årene som kommer. Det samme gjelder Hallevannet, da det siden 2022 har vært full aktivitet i Saga Pearl bruddet etter en periode med redusert aktivitet (Magne Martinsen ved Lundhs AS, pers medd., Persson 2024). Selv om det i 2023 syntes å være bedring i en del forhold i begge innsjøene sammenlignet med undersøkelsen i 2007-2008, er det ikke mulig å fastslå om dette er en langvarig endring, eller om 2023 var et spesielt år. Det er derfor anbefalt å gjøre hyppigere undersøkelser.

Da det ikke finnes noen indekser som går direkte på partikkelforurensning i vanddirektivet, anbefaler vi fortsatt fokus på sedimentforhold og undersøkelser av bunndyr, lysforhold (bl.a. turbiditet) og effekter på vannplanter og planteplankton.

6 Referanser

Berge, D., Bækken, T., Romstad, R., Källqvist, T., Corneliussen, C. H., Dahl-Hansen, G. A., Christensen, G. N. & Rygg, B. (2009). Samlet plan for utslipp til vann fra steinindustrien (larvikittprodusentene) i Larvik, Del I: Resipientundersøkelser 2006-2008 (Tekstdel). NIVA-rapport 5834-2009

Direktoratsgruppen (2018). Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiserings-system for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02:2018

Elven, R., Bjorå, Charlotte S., Fremstad, E., Hegre, H., Solstad, H. (2022). Norsk flora. Samlaget

Eriksen, T. E., Bækken, T. & Moe, J. (2010). Innsamling og bearbeiding av bunnfauna i rennende vann – et metodestudium. NIVA-rapport 6043-2010

Mjelde, M., Rørslett, B. og Langangen, A. (2022). Fotoflora for norske vannplanter. Versjon 1. Norsk institutt for vannforskning. <https://www.niva.no/en/projectweb/fotoflora-for-norske-vannplanter>

Moe, T. F., Persson, J., Hobæk, A. & Ranneklev, S. B. (2017) Overvåking av vassdrag i forbindelse med larvikittbrudd i Larvikområdet. Resultater fra biologiske og vannkjemiske undersøkelser i 2016. NIVA-rapport 7120-2017

NS-EN 16698:2015. Vannundersøkelse – Veiledning for kvantitativ og kvalitativ prøvetaking av planktonalger i ferskvann

NS-EN ISO 10870:2012. Vannundersøkelse. Veiledning i valg av prøvetakingsmetoder og utstyr til bentiske makroinvertebrater i ferskvann. Standard Norge

Persson, J. 2022. Tiltaksorientert overvåking av larvikittbruddene i Larvik kommune i 2021. NIVA-rapport 7698-2022

Persson, J. 2024. Tiltaksorientert overvåking av larvikittbruddene i Larvik kommune i 2023. NIVA-rapport 7940-2024

Vedlegg A, metoder

A.1. Analyserte parametere i Hallevannet og Mørjetjern 2023 med benyttede metoder og standarder utført ved NIVAs laboratorium.

Parameter	Standard (NIVA metodekode)
Ammonium	NS-EN ISO 10304-1:2009 (Anioner), NS-EN ISO 14911:1999 (Kationer) (C4-4)
Kalsium	NS-EN ISO 10304-1:2009 (Anioner), NS-EN ISO 14911:1999 (Kationer) (C4-4)
Fargetall	NS-EN ISO 7887:2011 (A5-2)
Klorofyll a	NS 4767:1983 (H1-1)
pH	NS-EN ISO 10523:2012 (A1-5)
Total nitrogen	NS-EN ISO 11905-1:1998, Mod. NS 4743:1993 (D6-1)
Total fosfor	NS 4725:1984 (D2-1)
Turbiditet	NS-EN ISO 7027;2016 (A4-3)

A.2 Beskrivelse av metode for forberedelse av prøver fra sedimentfeller til analyse for glødetap/gløderest.

Det ble benyttet en 0,9 liters skåler ("brødforn") av aluminium merket med innsjønavn. Skålene ble veid i tørr tilstand (**vekt aluskål**), på vekt med lesbarhet på 0,0001 gram (NIVA-44-6). For å få en stabil vekt ble skålene plassert med kortsiden ned på vekten, og det var viktig å få balansert de riktig på vekten. Etter at vektene av skålene var notert ned, ble ca 2/3 av prøvene helt over i hver sin aluminiumskål. Disse ble deretter plassert i tørkeskap på 105 grader C, der de stod over natten. Det dannet seg små bobler i bunn men det ble ingen koking i vannet. Neste morgen var mye av vannet fordampnet, men ikke alt. Skålene ble påfylt av resten av vannprøvene. Til slutt ble hver flaske skylt 2 ganger med en liten mengde Type1 vann, som også ble helt over i skålene, for å få med siste rester av tørrstoff fra innsiden av flaskene. Skålene fikk stå på 105 grader C til de var helt tørre. Det tok nok totalt i underkant av 2 døgn i juni og 30 timer i oktober.

Etter tørking, ble skålene hentet ut fra ovnen, og plassert i tørkeskap for avkjøling. Etter avkjøling ble skålene igjen veid på vekten med lesbarhet 0,0001 gram (**vekt aluskål + tørrstoff**). Det var her viktig å påse at ikke noe materiale ville falle ut av skålen når den ble plassert på høykant. **Gram tørrstoff** ble regnet ut ved

$$\text{Tørrstoff (g)} = \text{«vekt aluskål + tørrstoff»} - \text{«vekt aluskål»}$$

Deretter ble hver skål glødet i 2 timer på 480°C (en om gangen, pga. begrenset størrelse på glødeovnen). De ble deretter avkjølt i eksikator igjen, og til slutt veid enda en gang (**gram aluskål + gløderest**). **Gram gløderest** ble regnet ut ved

$$\text{Gløderest (g)} = \text{"vekt aluskål + gløderest"} - \text{"vekt aluskål"}$$

Deretter:
$$\text{Glødetap (g)} = \text{tørrstoff (g)} - \text{gløderest (g)}$$

Prosentvis organisk og uorganisk ble deretter utregnet.

Vedlegg B, resultater

B.1 Kjemiske analyser

Tabell B.1.1. Resultater fra kjemiske analyser i 2023. Konsentrasjoner under deteksjonsgrensen er angitt som «<x» og halvparten av deteksjonsgrensen er benyttet til beregning av gjennomsnitt.

Halle vannet 3		26.05.2023	22.06.2023	13.07.2022	15.08.2023	05.09.2023	03.10.2023	Gjennomsnitt
Ammonium	µg N/L	16	<2	8	14	25	23	14,5
Kalsium	mg/L	4,48	4,68	4,32	4,56	4,83	5,04	4,7
Farge	mg/L Pt	33	29	27	25	28	34	29,3
Klorofyll-a	µg/L	2,2	2,2	2,6	4	3,3	1,9	2,7
pH	pH units	7,05	7,07	7,11	7,22	7,16	7,14	7,1
Tot-N	µg N/L	500	470	450	*	430	450	460,0
Tot-P	µg P/L	8,7	5,2	5	5,9	6,1	6,3	6,2
Turbiditet	FNU	0,47	0,86	0,63	0,76	0,67	0,73	0,7
Halle vannet 7		26.05.2023	22.06.2023	13.07.2022	15.08.2023	05.09.2023	03.10.2023	Gjennomsnitt
Ammonium	µg N/L	<2	6	<2	15	13	21	9,5
Kalsium	mg/L	4,46	4,67	4,43	4,51	4,65	5,04	4,6
Farge	mg/L Pt	32	29	26	24	27	30	28,0
Klorofyll-a	µg/L	2,1	2,1	2,5	3	3,4	1,6	2,5
pH	pH units	7,03	7,05	7,11	7,2	7,16	7,14	7,1
Tot-N	µg N/L	490	460	440	430	410	460	448,3
Tot-P	µg P/L	5,5	4,6	5,3	5,2	5,9	5,8	5,4
Turbiditet	FNU	0,39	0,66	0,75	0,63	0,62	0,65	0,6
Halle vannverk		26.05.2023	22.06.2023	13.07.2022	15.08.2023	05.09.2023	03.10.2023	Gjennomsnitt
Ammonium	µg N/L	8	12	24	10	15	21	15,0
Kalsium	mg/L	4,46	4,63	4,11	4,59	4,8	4,92	4,6
Farge	mg/L Pt	32	29	27	24	30	30	28,7
Klorofyll-a	µg/L	2,1	1,7	2	3,8	3	1,3	2,3
pH	pH units	7,06	7,04	7,04	7,19	7,16	7,17	7,1
Tot-N	µg N/L	490	450	450	430	400	450	445,0
Tot-P	µg P/L	6,4	6,9	4,6	4,8	4,9	5,9	5,6
Turbiditet	FNU	0,4	0,72	0,57	0,59	0,64	0,63	0,6
Mørjetjern		26.05.2023	22.06.2023	13.07.2022	15.08.2023	05.09.2023	03.10.2023	Gjennomsnitt
Ammonium	µg N/L	<2	<2	<2	<2	58	26	14,7
Kalsium	mg/L	9,65	11,5	9,26	10,6	11,1	9,83	10,3
Farge	mg/L Pt	50	58	59	58	73	94	65,3
Klorofyll-a	µg/L	6,5	10	8,4	3,9	4,2	1,8	5,8
pH	pH units	7,28	7,15	7,31	7,33	7,22	7,31	7,3
Tot-N	µg N/L	750	700	1000	750	820	870	815,0
Tot-P	µg P/L	18	23	56	19	20	18	25,7
Turbiditet	FNU	2	4,3	22	3	2,5	1,7	5,9

B.2. Klassifisering av økologisk tilstand

Tabell B.2.1. Utdrag fra tilstandsklassifiseringskjema for innsjøtype L-107 for Hallevannet og innsjøtype L-108 for Mørjetjern. For Hallevannet er kun Halle7 oppgitt her. Totalvurderingene og klassifiseringen er de samme for alle tre stasjoner, med noen små variasjoner i verdier. Total nitrogen (kursiv) er kun oppgitt til informasjon, men er ikke med i totalvurderingene da begge innsjøene er fosforbegrenset.

Vannforekomst (navn)		Hallevannet (Halle7)			
Høyderregion (h.o.h., m)		48			
Størrelse (overflateareal, km ²)		1,9			
Middeldyp (antatt ut fra maks dyp/3)		19			
Kalsium (mg/L) 4,0-20		4,7			
Farge (mg Pt/L) (humus) < 30		29,3			
Vanntype (N-GIG kode)		L-N1, L-N-M201			
Kvalitetsparameter	Verdi	Klasse	EQR	nEQR	
Planteplankton, klorofyll a (µg/L)	2,50	SG	1,20	1,00	
Vannplanter, trofisk indeks (TIC)	75	SG	1,01	1,00	
Totalvurdering biologiske kvalitetselementer		SG		1,00	
Total fosfor (µg/L)	5,4	SG	1,11	1,00	
<i>Total nitrogen (µg/L)</i>	<i>448</i>	<i>G</i>	<i>0,61</i>	<i>0,77</i>	
Siktedyp, m	4,4	SG	0,96	0,95	
Totalvurdering eutrofieringsparametre		SG		0,97	
Totalvurdering for vannforekomsten		SG		0,97	
Vannforekomst (navn)		Mørjetjern			
Høyderregion (h.o.h., m)		2			
Størrelse (overflateareal, km ²)		0,004			
Middeldyp (antatt ut fra maks dyp/3)		1,13			
Kalsium (mg/L) 4,0-20		10,3			
Farge (mg Pt/L) (humus) < 30		65,3			
Vanntype (N-GIG kode)		L-N8a, L-N-M202			
Kvalitetsparameter	Verdi	Klasse	EQR	nEQR	
Planteplankton, klorofyll a (µg/L)	5,8	SG	0,60	0,84	
Vannplanter, trofisk indeks (TIC)	40	G	0,83	0,65	
Totalvurdering biologiske kvalitetselementer		G		0,65	
Total fosfor (µg/L)	25,7	M	0,27	0,51	
<i>Total nitrogen (µg/L)</i>	<i>815</i>	<i>M</i>	<i>0,40</i>	<i>0,58</i>	
Siktedyp, m	1,90	M	0,64	0,43	
Totalvurdering eutrofieringsparametre		M		0,47	
Totalvurdering for vannforekomsten		M		0,47	

B.3 Bunndyr

Tabell B.3.1. Taksaliste og individantall fra bunndyrprøver tatt i Hallevannet 21. november 2023. Antall individer er angitt per kvadratmeter.

Taksagruppe		Navn	Hallevann A	Hallevann B	Hallevann C	Hallevann D	Hallevann E	Hallevann F	Hallevann G	Hallevann H	Hallevann I	Hallevann J	Hallevann K	Hallevann L
Bivalvia	Småmuslinger	<i>Sphaeriidae</i>		44							44		44	
Diptera	Sviknottlarver	<i>Ceratopogonidae</i>	533			178	533				133		44	
Diptera	Svevemygglarver	<i>Chaoborus</i>								44				
Diptera	Fjærmugglarver	<i>Chironomidae</i>	1600	178		356	1156				133	133	89	
Diptera	Tovingelarver	<i>Diptera</i>				44								
Ephemeroptera	Døgnfluer	<i>Ephemera vulgata</i>						44						
Ephemeroptera	Døgnfluer	<i>Kageronia fuscogrisea</i>				44								
Ephemeroptera	Døgnfluer	<i>Proclonia bifidum</i>				44								
Gastropoda	Snegler	<i>Radix labiata/balthica</i>				267	444				44	44		
Hirudinea	Igler	<i>Erpobdella octoculata</i>	44								44			
Hydrachnidia	Vannmidd	<i>Hydrachnidia</i>				44								
Nematoda	Rundormer	<i>Nematoda</i>				222	444					178		
Nematomorpha	Hårormer	<i>Nematomorpha</i>			44		44							
Odonata	Øyestikker	<i>Coenagrionidae</i>				89						44		
Oligochaeta	Fåbørstemark	<i>Oligochaeta</i>	533	6		533	222				178	89	44	
Trichoptera	Vårfluer	<i>Cyrrus flavidus</i>				44								
Trichoptera	Vårfluer	<i>Molannodes tinctus</i>									44			
Trichoptera	Vårfluer	<i>Oxyethira</i>	44											
Trichoptera	Vårfluer	<i>Polycentropodidae</i>	44											
Antall taksa			6	3	1	11	6	1	0	1	7	5	4	0
Antall individer			2800	228	44	1867	2844	44	0	44	622	489	222	0



Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressurs spørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.