



Havs
och Vatten
myndigheten



CALLUNA



PELAGIA



eurofins



Aluminiumbehandling av Norrviken för att minska övergödning – effekter på sjöns miljötillstånd

Delprojekt C13 inom Life IP Rich Waters.

SOLLENTUNA
KOMMUN

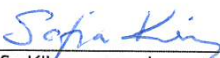


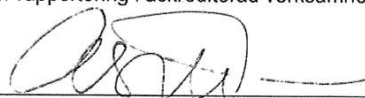
Upplands Väsby
kommun



Länsstyrelsen
Stockholm

Denna rapport har upprättats och granskats enligt Callunas rutiner för rapportering i ackrediterad verksamhet.


Sofia Kling, ansvarig rapportör/projektledare


Annika Delbanco, kvalitetsgranskare



Ackred. nr 1959
Provning
ISO/IEC 17025



OM RAPPORTEN:

Titel: Aluminiumbehandling av Norrviken för att minska övergödning – effekter på sjöns miljötillstånd

– Delprojekt C13 inom Life IP Rich Waters

Version/datum: 2022-05-17

Rapporten bör citeras enligt följande: Hill, C. Kling, S. Barthel Svedén, J. (2022). Aluminiumbehandling av Norrviken för att minska övergödning – effekter på sjöns miljötillstånd. Delprojekt C13 inom Life IP Rich Waters Calluna AB.

Foton i rapporten: © Calluna AB där inget annat anges

Omslag: Bilden föreställer Norrviken under aluminiumbehandling juni 2020. Foto: Towe Holmborn, Sollentuna kommun

Ansvar för innehållet ligger helt hos författarna. Innehållet återspeglar inte Europeiska unionens hållning.

OM UPPDRAGET:

På uppdrag av: Sollentuna kommun (Norra Malmvägen 143, 191 86 Sollentuna)

Uppdragsgivarens kontaktperson: Towe Holmborn (towe.holmborn@sollentuna.se)

Utfört av: Calluna AB (organisationsnummer: 556575-0675)
Adress huvudkontor: Linköpings slott, 582 28 Linköping
Hemsida: www.calluna.se
Telefon (växel): +46 13-12 25 75

Projektledare: Sofia Kling (Calluna AB)

Rapportförfattare: Cathy Hill (Aquamarine Catalyst), Sofia Kling, Jennie Barthel Svedén (Calluna AB)

GIS och kartproduktion: Andreas Souropetsis (Calluna AB)

Kvalitetssäkring: Annika Delbanco (Calluna AB)

Callunas interna projektkod: NEH0012e

Innehåll

1	Summary	4
2	Inledning	4
	Uppdrag och syfte.....	4
	Sjön Norrviken	5
3	Metod och genomförande	6
3.1	Fysikalisk-kemiska parametrar	9
3.2	Växtplankton.....	10
3.3	Djurplankton	10
3.4	Bottenfauna	10
3.5	Makrofyter	10
3.6	Fisk.....	11
3.7	Miljögifter hos abborre	13
3.8	Tillstånds- och statusklassningar	14
4	Resultat och diskussion	15
4.1	Fysikalisk-kemiska parametrar	15
4.2	Växtplankton.....	23
4.3	Djurplankton	26
4.4	Bottenfauna	29
4.5	Makrofyter	31
4.6	Fisk.....	33
4.7	Miljögifter i abborre.....	36
4.8	Betydelsen av aluminiumbehandlingen av Norrviken – idag och i framtiden	38
5	Slutsatser	40
	Lägre halter av näringsämnen	41
	Klarare vatten.....	41
	Fortsatt syrebrist i den djupaste delen av sjön.....	41
	Fortsatt måttlig status hos växtplanktonsamhället.....	41
	Djurplanktonsamhället visar näringsrika förhållanden.....	41
	Bottenfaunan visar fortsatt näringsrika och syrefattiga förhållanden.....	41
	Något bättre status för makrofyter.....	42
	Ingen tydlig förändring i status för fisksamhället i sjön.....	42
	Miljögifter i abborre: möjlig ökning av kvicksilverhalten, möjlig minskning av PFOS	42
	Referenser	43

Bilaga 1 Provtagningsfrekvenser

1 Summary

As a part of the EU-project LIFE IP Rich Waters, Lake Norrviken was treated with aluminum in 2020, as a measure to bind phosphorus, mitigate internal nutrient load and improve water quality. Sampling and analyses of chemical, physiological and biological parameters have been performed before, during and after the treatment. This report aims to assess the results.

So far, concentrations of phosphorus in the water column have been reduced, and the ecological status regarding nutrients (total phosphorus) has increased from *bad* before treatment to *good* after the treatment (values from August). In addition, the status regarding secchi depth (values from August) has increased from *moderate* to *high*, indicating improved light conditions. The phytoplankton biomass has decreased but the prevailing *moderate* status indicates that more time is needed for the community to adapt to the new trophic level and achieve *good* status. The zooplankton community still indicates nutrient rich conditions. As a probable result of the increased water clarity, the most common macrophyte species have increased their distribution post-treatment. The ecological status of the macrophyte community has improved, but is however still assessed as *moderate*, and it is likely that rarer species need more time to colonize. The oxygen situation in the bottom water is still assessed as *bad*, and the benthic fauna community even showed a decrease in status after the treatment. It is possible that the treatment has a short-term negative effect, and that positive effects of reduced primary production and sedimentation will appear in a few years. A slight improvement was seen regarding the fish community post-treatment, whereas conclusions regarding the concentrations of pollutants in fish will need further investigations.

In conclusion, the aluminum-treatment of Norrviken has been successful in terms of reducing the phosphorus concentration and increasing water clarity. Further investigations are needed to follow and determine current and expected positive effects on biological parameters, as well as to study the longevity of the treatment.

2 Inledning

Uppdrag och syfte

EU-projektet LIFE IP Rich Waters genomförs under 2017–2024 för att förbättra vattenmiljön i Norra Östersjöns vattendistrikt. LIFE IP Rich Waters består av 20 delprojekt som utvecklar och testar nya metoder och åtgärder som stöd för vattenförvaltningsarbetet. Inom delprojekt C13 "Be-gränsning av internbelastning av fosfor – aluminiumfällning i Norrviken" har en aluminiumbehandling av bottensediment utförts i sjön för att minska effekterna av övergödning i Norrviken (LIFE IP Rich Waters 2022).

Under perioden har övervakning av fysikalisk-kemiska och biologiska parametrar genomförts inför och efter aluminiumbehandlingen av Norrviken. I denna rapport görs en utvärdering av behandlingens effekter. Kontrollprogrammet för Norrviken utgör en viktig del i uppföljningen och utvärderingen av delprojekt C13. Kontrollprogrammet används för att utvärdera om behandlingen varit framgångsrik med avseende på minskade halter av fosfor och övergödningssymptom i Norrviken samt om behandlingen förändrar upptaget av miljögifter i fisk (Sollentuna kommun m. fl. 2017).

Detta uppdrag om uppföljning av effekterna av aluminiumbehandling av sediment i Norrviken (Delprojekt C13 inom Life IP Rich Waters) genomfördes av Calluna AB med underkonsulter genom upphandling under våren 2017. Arbetet har bedrivits inom projektet LIFE IP Rich Waters. Stöd har beviljats av EU/LIFE och Havs- och Vattenmyndigheten. Ansvaret för innehållet ligger helt hos författarna. Innehållet återspeglar inte Europeiska unionens hållning.

Sjön Norrviken

Norrviken är en långsmal, näringsrik sprickdalssjö som ligger inom Oxundaåns avrinningsområde och delas av Upplands Väsby och Sollentuna kommuner. Sjön har en yta på 2,6 km², ett medeldjup på drygt 5 m, och ett största djup på drygt 12 m (Sollentuna kommun 2022).

Från början av 1900-talet och fram till 1970-talet tog Norrviken emot spillvatten från jästfabriken, från andra industriella verksamheter och från bebyggelsen runt sjön. Norrviken drabbades av omfattande algblomningar av släktet *Microcystis* och under 1947 behandlades sjön med stora mängder kopparsulfat (3000 kg kopparsulfat, motsvarande 1195 kg koppar) för att förhindra algblomningarna.

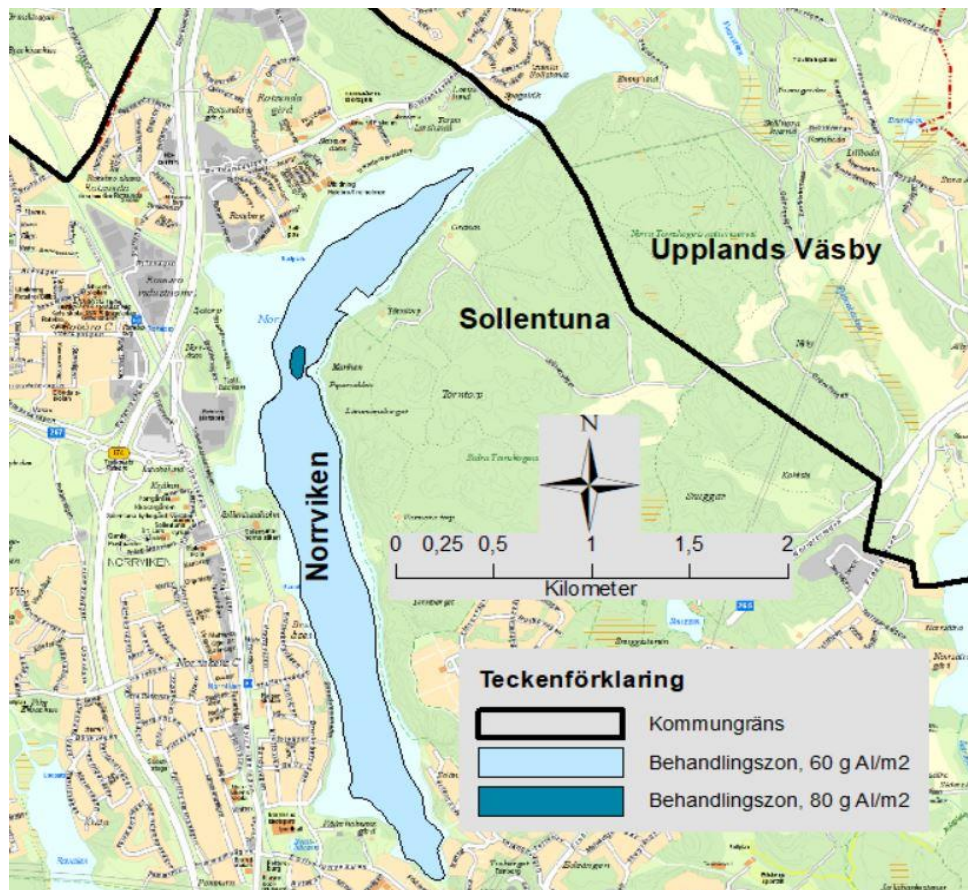
Norrviken har under lång tid uppvisat symptom på övergödning, såsom höga halter av näringsämnena fosfor och kväve och en stark påverkan på vattenlevande växter och djur. Sjön har även problem med miljögifter, exempelvis gränsvärdesöverskridande halter av det fluorhaltiga ämnet PFOS. Vattenmyndigheten för Norra Östersjöns vattendistrikt bedömer att Norrviken inte uppnår god kemisk status och har otillfredsställande ekologisk status (VISS 2022a). Stor näringstillförsel har orsakat höga halter av fosfor i Norrviken, följt av en hög produktion av mikroskopiska alger, syrebrist på sjöbotten vid nedbrytning av algerna, och en frisättning av fosfor från de syrefria bottenarna. Resultatet blir en ond cirkel med intern gödning av fosfor som frisätts och som leder till hög produktion, även vid minskad näringstillförsel från avrinningsområdet.

Upplands Väsby och Sollentuna kommuner har i samarbete med Länsstyrelsen i Stockholm genomfört aluminiumbehandling av Norrvikens botten för att binda fosfor i sjöbotten, minska sjöns interna fosforbelastning, minska övergödningen och förbättra vattenkvaliteten. Behandlingen genomfördes under perioden 1 april till 8 juli 2020 av Vattenresurs AB med 936,33 ton polyaluminiumkloridlösning av typen Ekoflock 96 från tillverkaren Feralco Nordic AB. Aluminiuminnehållet i lösningen var $9,6 \pm 0,3$ viktprocent vilket ger en total tillsats om cirka 90 ton aluminium till sjön. Alla botten djupare än 4 meter inom Sollentuna kommun behandlades. Hela behandlingsområdet (136 ha), undantaget ena djuphålan, behandlades med cirka 60 g Al/m², medan djuphålan (cirka 1 ha) fick ytterligare cirka 20 g Al/m² (Figur 1). Behandlingen genomfördes med flera överfarter med lägre doser (10–15 g Al/m²). Nedharvningsmetoden användes vilket innebar att de översta 20 cm av sedimenten behandlades. Kontroll av arbetsdjup i sedimenten skedde kontinuerligt med kameraövervakning av spridarrören. I samband med behandlingen fastnade diverse skräp (textspökgarn) på spridaren vilket togs om hand och kasserades.

De förväntade resultaten av aluminiumbehandlingen av sjön Norrviken (delprojekt C13 inom LIFE IP Rich Waters) var följande:

- Minskade halter av fosfor i vattenpelaren.
- En förbättring av näringsstatusen från *dålig* till *god* eller *hög* om restaureringsåtgärden har lyckats.
- Förbättrade ljusförhållanden som ett resultat av minskad grumlighet, mätt som ökat siktdjup (Secchi-djup). Förbättrad status vad gäller ljusförhållandena, dvs en ökning från *måttlig* till *god* eller *hög*.
- Minskad biomassa av växtplankton och minskad grumlighet. Minskade algblomningar och generell minskning av biomassan växtplankton. Statusklassningen av växtplankton ökar från *måttlig* till *god* eller *hög*.
- Förbättrade syreförhållanden i de djupaste delarna av sjön som ett resultat av mindre sedimentering av partikulärt organiskt material som förbrukar syre.
- Ökad utbredning av makrofyter, både vad gäller djupfördelning och ytmässigt. Exempelvis ökad utbredning av makrofyter som ett resultat av förbättrade ljusförhållanden. En ökning av statusen för makrofyter från *dålig* till *god* eller *hög*.

- Ökad utbredning av djurplankton och fisk, både vad gäller djupfördelning och ytmässigt. Statusen hos fisksamhällena i sjön (statusklassificering med hjälp av bedömningsindexet EQR8) ska öka från *måttlig* till *god*.
- Förbättrade kunskaper om effekterna av aluminiumbehandlingen på den interna massbalansen i sjön och effekterna på sjöns växter och djur.
- Kemisk status i fisk ska övervakas och vid behov genomförs lämpliga åtgärder (utanför projektet) för att minska risken för negativa trender i sjön och avrinningsområdet.



Figur 1. Kartan visar behandlingszoner för aluminiumbehandling av Norrvikens bottenar 2020. Karta från Towe Holmborn, Sollentuna kommun.

3 Metod och genomförande

Övervakning av Norrvikens miljötillstånd genomfördes enligt kontrollprogrammet som har tagits fram av Sollentuna kommun, Upplands Väsby kommun och Länsstyrelsen i Stockholm, vilka alla tre är partners i delprojekt C13 i EU-projektet LIFE IP Rich Waters (Sollentuna kommun m.fl. 2017). Kontrollprogrammet omfattade provtagning av näringsförhållanden, temperatur, syrgashalt, surhetsgrad (pH), ljusförhållanden (siktdjup och absorbans), grumlighet, växtplankton, djurplankton, bottenfauna, makrofyter, fisk och miljögifter i abborre (Tabell 1).

Aluminiumbehandling av Norrviken för att minska övergödning – effekter på sjöns miljötillstånd

Tabell 1. Dataunderlag för utvärdering av resultaten av aluminiumbehandlingen av sjön Norrviken enligt kontrollprogrammet för LIFE IP Rich Waters action C13. Provtagning av olika parametrar.

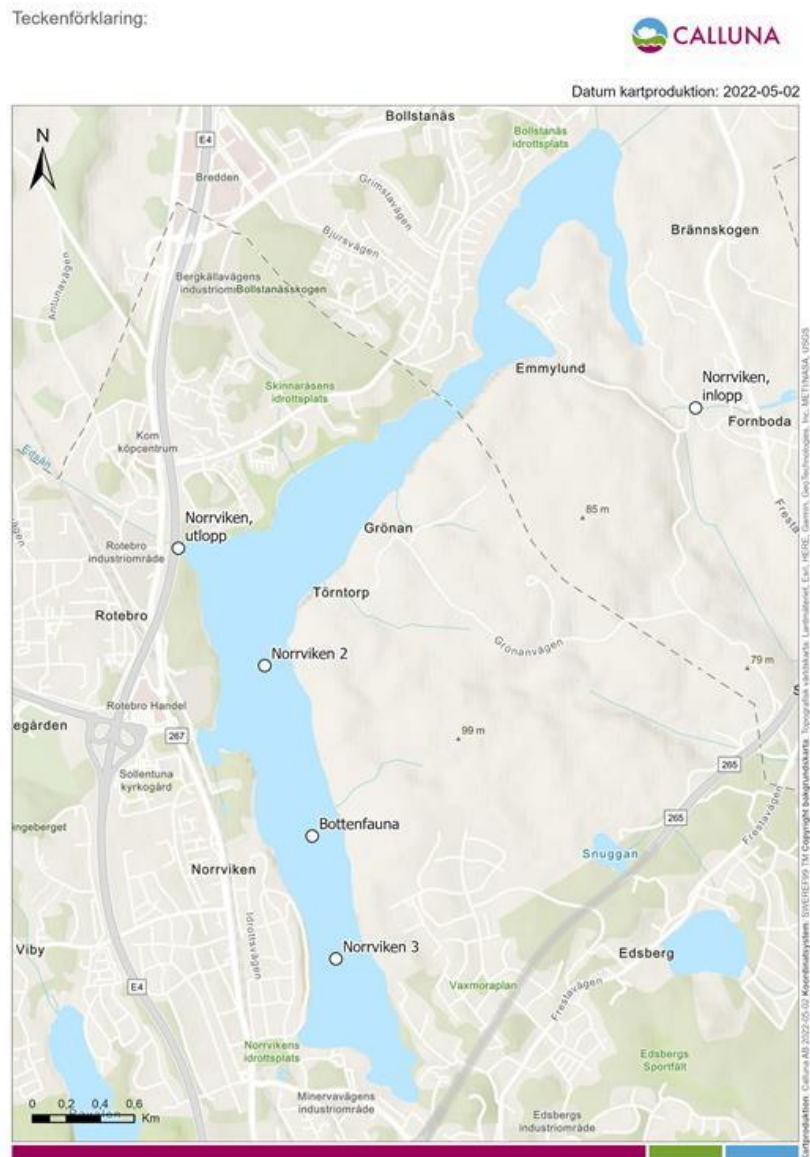
Parameter	Område	Provtagning	Variabler
Fys-kem-variabler A	Station "Norrviken 3" i djupaste delen av Norrviken, vattendjup 11 meter (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> Provtagning vid tre olika djup (0,5 m, 2 m över botten, samt 0,5–1 m över botten) Provtagning minst 6 gånger per år från 2017–2021. Se provtagnings-schema i Bilaga 1 	<ul style="list-style-type: none"> Fosfatfosfor (PO₄) Totalfosfor (Tot P) Nitratkväve + nitritkväve (NO₂+NO₃) Ammoniumkväve (NH₄) Totalkväve (Tot N) Alkalinitet pH Turbiditet
Fys-kem-variabler B	Station "Norrviken 3" i djupaste delen av Norrviken, vattendjup 11 meter (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> Provtagning samkördes med Fys-kem-variabler A (se ovan). 	<ul style="list-style-type: none"> Siktdjup (med vattenkikare) Syreprofil (varje meter avläses i fält) Temperaturprofil (varje meter avläses) Klorofyll a (0,5 m djup)
Fys-kem-variabler	Station "Norrvikens utlopp" vid sjöns utlopp vid Edsån och Norrvikens inlopp vid Hagbyån (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> 12 gånger/år 2017–2021 	<ul style="list-style-type: none"> Absorbans, ofiltrerad/filtrerad Aluminium (endast under 2019) Fosfatfosfor (PO₄) Totalfosfor (Tot P) Nitratkväve + nitritkväve (NO₂+NO₃) Ammoniumkväve (NH₄) Totalkväve (Tot N) TOC Alkalinitet pH Turbiditet Konduktivitet Sulfat (SO₄) Kisel K, Na, Mg, Ca, Cl, F Klorofyll Al, Fe, Mn (2019) DOC (Norrvikens utlopp år 2017, 2018, 2020)
Aluminium	Station "Norrviken 3" i djupaste delen av Norrviken, vattendjup 11 meter (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> Data endast från provet från 2 m över botten (samkördes med Fys-kem A på detta djup). 	<ul style="list-style-type: none"> Fraktionering av aluminium i vatten
Växtplankton	Station "Norrviken 3" i djupaste delen av Norrviken, vattendjup 11 m (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> Provtagning årligen (sommar) 2017–2021 	<ul style="list-style-type: none"> Antal per liter för ingående taxa. Biovolym per liter för ingående taxa Fullständig artlista baserad på det kvalitativa provet.
Djurplankton	Station "Norrviken 2" (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> Årligen 2017–2021 	<ul style="list-style-type: none"> Antal djur Biomassa
Bottenfauna	Data från 5 punkter inom en radie på 100 m från fixpunkt (Figur 1).	<ul style="list-style-type: none"> 2014 och 2021 	<ul style="list-style-type: none"> Antal taxa Antal individer Fjädermyggselarver totalt Fjädermyggselarver med mundelsskador
Makrofyter	Data från 12 transekter (Figur 2).	<ul style="list-style-type: none"> 2017 och 2021 	<ul style="list-style-type: none"> Beskrivning av undervattensväxter vid olika djup Notering av flytväxter

Aluminiumbehandling av Norrviken för att minska övergödning – effekter på sjöns miljötillstånd

Parameter	Område	Provtagning	Variabler
			<ul style="list-style-type: none"> Siktdjup (Secchi-skiva och vattenkikare)
Fisk	Standardiserat provfiske med 32 nät (Figur 3).	<ul style="list-style-type: none"> 2016 och 2021 	<ul style="list-style-type: none"> Antal arter Antal individer Längd Fångst/nätansträngning Temperatur Siktdjup
Miljögifter i abborre	Provtagning i Edsvikens södra bassäng (söder om utloppet, Edsån) (Figur 4).	<ul style="list-style-type: none"> 2017 och 2021 	<ul style="list-style-type: none"> Metaller (As, Cd, Pb, Hg, Cu, Ni, Zn) PBDE, 13 substanser PFAS, 11 substanser inkl. PFOS PCB:er, 7 substanser Fetthalt Analyser av kväve-isotoper Ålder Längd Våtvikt Konditionsfaktor

3.1 Fysikalisk-kemiska parametrar

Provtagning av fysikalisk-kemiska parametrar enligt undersökningsmetod från Havs- och Vattenmyndigheten, Vattenkemi i sjöar 1:4, 2016-11-01 (HaV 2016a) 2017–2021 genomfördes av Calluna AB vid station Norrviken 3, medan provtagning av absorbans och fosfor vid Norrvikens utlopp provtogs av Länsstyrelsen i Stockholms län enligt motsvarande metod för vattendrag (HaV 2016b) under samma period (Figur 2). Data från Norrvikens utlopp har erhållits från Länsstyrelsen i Stockholms län. Se avsnitt 3.8 *Tillstånd och statusklassningar* för information om statusbedömningar av fysikalisk-kemiska parametrar.



Figur 2. Översikt över alla provtagningspunkter för fys-kem-variabler, växtplankton, djurplankton och bottenfauna i Norrviken enligt kontrollprogrammet för LIFE IP Rich Waters action C13.

3.2 Växtplankton

Calluna AB utförde provtagning av växtplankton enligt undersökningsmetod från Havs- och Vattenmyndigheten, Växtplankton i sjöar 1:4, 2016-11-01 (HaV 2016c) juli–oktober 2017–2021 vid station Norrviken 3 (samt ytterligare månader, se tabell 4). Provtagning av växtplankton utfördes också vid punkten Norrviken 2 under juli–augusti 2014–2021 som en del av den regionala miljöövervakningen (Länsstyrelsen Stockholm 2015a, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022) (Tabell 1; Figur 2). Se avsnitt 3.8 *Tillstånd och statusklassningar* för information om statusbedömningar av växtplankton.

3.3 Djurplankton

Djurplanktonsamhället i Norrviken har provtogs vid Norrviken 2 årligen under sommaren (juli–augusti) från 2014 till 2021 (Tabell 1; Figur 2), som en del av den regionala miljöövervakningen (Länsstyrelsen Stockholm 2015a, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022). För provtagningsmetod hänvisas till nämnda rapporter. Bedömning av status har gjorts enligt expertbedömning då bedömningsgrunder i dagsläget saknas.

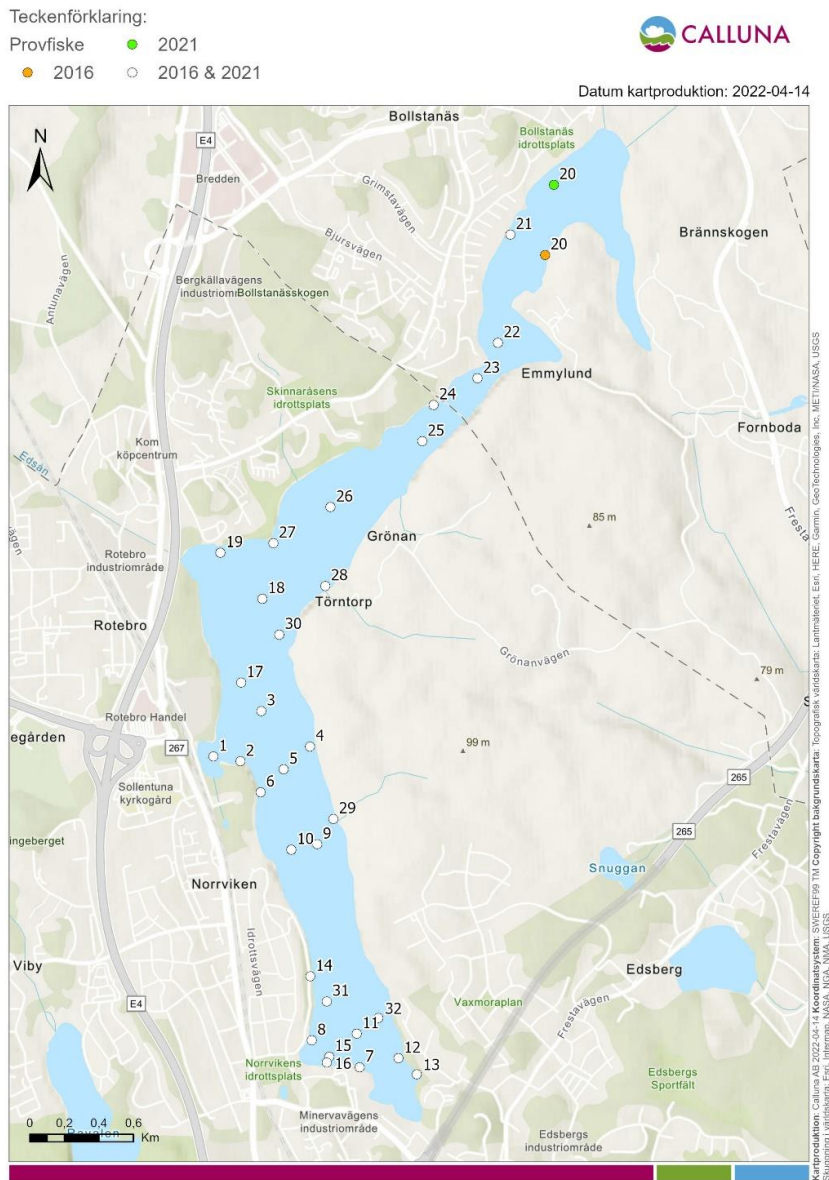
3.4 Bottenfauna

Bottenfaunan i Norrviken undersöktes under hösten 2014 av Medins Havs- och Vattenkonsulter och under hösten 2021 av Calluna AB. Vid båda provtagningarna följde man den standardiserade metoden SS 02 81 90 (SIS 1986). År 2014 följdes anvisningarna i Naturvårdsverkets handledning för miljöövervakning (Naturvårdsverket 2010) medan man 2021 följde uppdaterade anvisningar i Havs- och Vattenmyndighetens handledning undersökningstyp: bottenfauna i sjöars profundal och litoral (HaV 2016d). Provtagningsmetoden skiljer sig dock inte åt mellan handledningarna. Bottenfaunaprover togs i mellanbottenzonen (sublitoralen) vid Norrviken 2 (endast 2014) och i djupzonen (profundalen) i centrala Norrviken där största djupet är 10 meter (2014 och 2021; Figur 1). Vid undersökningen 2014 bedömdes status enligt de äldre bedömningsgrunderna (Naturvårdsverket 2010, HaV 2013) medan undersökningen 2021 bedömdes enligt HaV (2018a, 2019).

3.5 Makrofyter

Calluna AB inventerade makrofyter i Norrviken under augusti 2017 och augusti 2021 (Olbers 2017, Sandsten & Kling 2021). Dessförinnan har två inventeringar av makrofyter genomförts, under 2008 respektive 2010 (Gustafsson 2008, Arvidsson 2010). Makrofytinventeringarna gjordes enligt undersökningstypen Makrofyter i sjöar version 3, 2015-06-26 (HaV 2015), med tillägg enligt Sollentunas kontrollprogram (Sollentuna kommun m. fl. 2017). Vid undersökningarna 2017 och 2021 inventerades Norrvikens makrofyter längs med 12 transekter med samma startpunkter

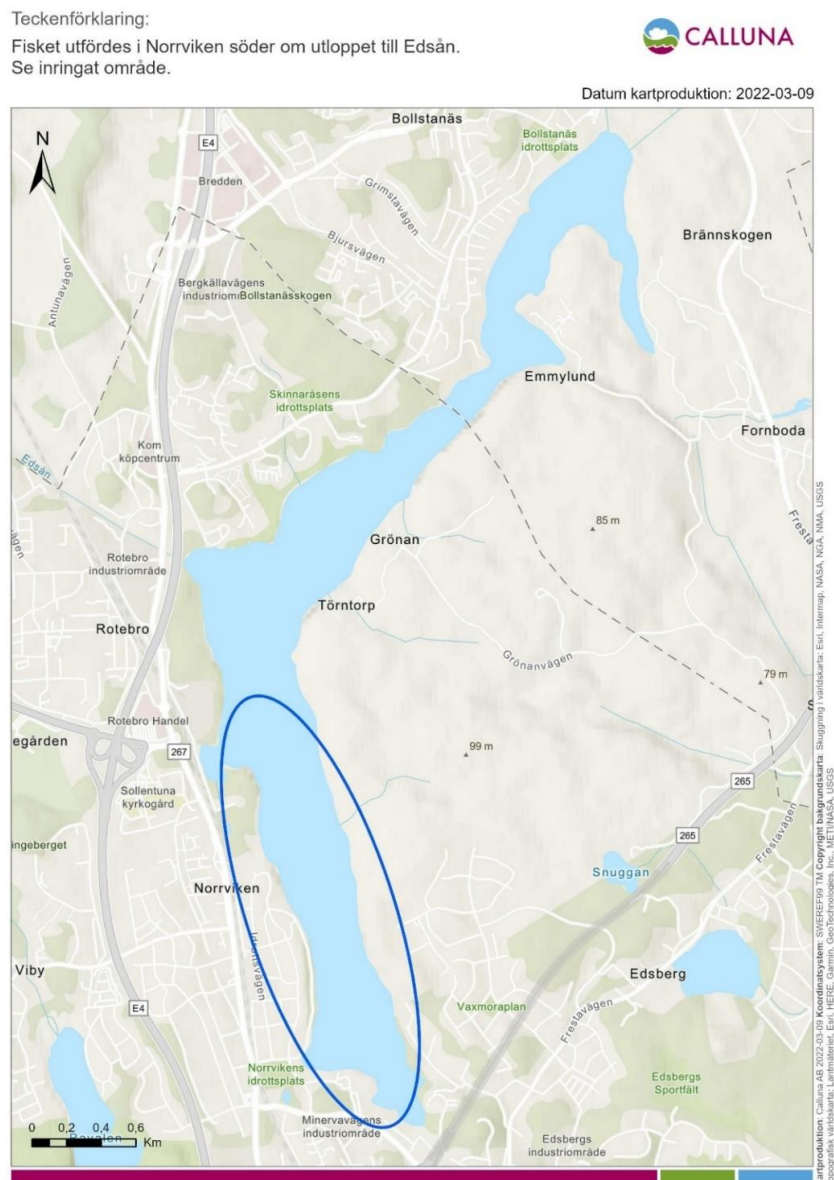
enlighet med den standardiserade metoden SS-EN 14757:2015 samt Havs- och vattenmyndigheten handledning för miljöövervakning (SIS 2015, HaV 2016). Provfiskena omfattade 32 botten-satta översiktsnät av typen Norden12 och näten placerades vid samma platser bortsett från två (nät 20 och 21) som har annan position 2021 jämfört med 2016 (Figur 4). Bedömning av den ekologiska statusen gjordes enligt HaV 2013 (2016 års provfiske) respektive 2019 (2021 års provfiske).



Figur 4. Nätplacering vid provfisket i sjön Norrviken enligt kontrollprogrammet för LIFE IP Rich Waters action C13.

3.7 Miljögifter hos abborre

Undersökningar av miljögifter i abborre har genomförts av Medins Havs- och Vattenkonsulter AB. Miljögifter i abborre undersöktes före behandlingen i augusti 2017 (Engdahl & Bergh 2017) och efter behandlingen i augusti 2021 (Forssén m.fl. 2021). För beskrivning av metod hänvisas till nämnda rapporter. Syftet var att utvärdera om behandlingen har förändrat upptaget av miljögifter i abborre. Fisket utfördes i Norrviken, söder om Edsåns utlopp (Figur 5) under både 2017 och 2021. Analyser utfördes på samlingsprov för olika storleksklasser av abborre.



Figur 5. Området i sjön Norrviken där fiske utfördes för provtagning av miljögifter i abborre enligt kontrollprogrammet för LIFE IP Rich Waters action C13.

3.8 Tillstånds- och statusklassningar

Tillstånds- och statusklassningar utgår främst från de nya föreskrifterna HaV (2019) och dess förlaga Hav (2013) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. Bedömningsgrunderna är framtagna efter krav från EU:s vattendirektiv att samtliga vattenförekomster (inom olika tidsramar) ska uppnå *god* status. Statusklassning med avseende på totalfosfor i Norrviken (närlingsämnen i sjöar) har gjorts utifrån data från Norrviken 3, vilket är den sjöstation som ingår i kontrollprogrammet och som har provtagits mest frekvent under perioden. För parametrar som inte ingår i de nya föreskrifterna (turbiditet, absorptions) har Naturvårdsverkets äldre bedömningsgrunder från 1999 använts för klassning. För en parameter (djurplankton) saknas bedömningsgrund helt i nuläget.

Gemensamt för bedömningsgrunderna (HaV 2019, Naturvårdsverket 1999) är den femgradiga skalan som används för att beskriva den ekologiska statusen för biologiska och fysikalisk-kemiska parametrar och kvalitetsfaktorer. I de nu gällande bedömningsgrunderna (HaV 2019) benämns statusklasserna *hög*-, *god*-, *måttlig*-, *otillfredsställande*- och *dålig* status, vilket grovt sett kan jämföras med klass 1–5 i den gamla bedömningsgrunden, där klass 1 är den högsta statusklassen och klass 5 är den lägsta statusklassen (Tabell 3).

Tabell 3. Benämningar och statusfärger för gällande (HaV 2019) respektive gamla (Naturvårdsverket 1999) bedömningsgrunderna.

Statusklasser benämning Hav 2019	Statusklasser benämning Naturvårdsverket 1999
Hög status	Klass 1
God status	Klass 2
Måttlig status	Klass 3
Otillfredsställande status	Klass 4
Dålig status	Klass 5

Statusklassificering enligt HaV (2019) utförs genom att man räknar ut ekologiska kvalitetskvoter (EK-värden). EK-värden motsvarar förhållandet mellan observerade värden för en specifik parameter i en ytvattenförekomst och de referensvärden som är tillämpliga på denna ytvattenförekomst. Kvoten uttrycks som ett numeriskt värde mellan 0 och 1, där hög ekologisk status motsvaras av värden nära ett (1) och dålig ekologisk status motsvaras av värden nära noll (0).

Årliga bedömningar av den ekologiska statusen hos växtplanktonsamhället har gjorts utifrån prov från den djupaste delen av Norrviken (Norrviken 3; Figur 2) under 2017, 2018, 2019, 2020 och 2021 (Pelagia 2018a, 2018b, 2020a, 2020b, 2021). Bedömningsgrunderna för växtplankton har dock förändrats under perioden. Statusbedömningen av växtplanktonsamhället utgick tidigare från delparametrarna biomassa, andel cyanobakterier (blågröna bakterier) och ett trofiskt index för växtplankton (TPI), som indikerar om sjön är eutrof (närlingsrik) eller oligotrof (närlingsfattig). Vid uppdatering av bedömningsgrunderna togs den ingående parametern cyanobakterier bort och klorofyll lades till, och det trofiska indexet TPI ändrades till PTI (plankton trofiskt index). År 2017 och 2018 bedömdes enligt tidigare föreskrifter (HaV 2013). År 2019 bedömdes enligt både gamla och nya bedömningsgrunder, medan 2020 och 2021 har bedömts enligt de nya, nu gällande föreskrifterna (HaV 2018b och 2019). Jämförelser mellan år ska därför göras med viss försiktighet.

I föreliggande rapport görs jämförelser mellan perioden *före* och *efter* aluminiumbehandlingen. Perioden *före* behandlingen innefattar provtagningar från 2017 (maj–november), 2018 (februari, april, juli–november), 2019 (februari, april, juli–november) samt 2020 (februari–mars). Behandling utfördes under perioden april–juli 2020. Perioden *efter* behandling innefattar provtagningar från 2020 (augusti–november) samt 2021 (februari, april, juli–november). Se även bilaga 1. Erhållna data från Norrvikens utlopp (Edsån) består av månatliga mätvärden januari 2017 till december 2021. I rapporten anges löpande vilka data som ingår i figurer och bedömningar. I vissa fall används samtliga data från *före* respektive *efter* behandling. Eftersom provtagningarna är ojämnt fördelade över årstiderna *före* jämfört med *efter* behandling används i indikerade fall endast augusti-värden, för att göra de två perioderna mer jämförbara.

4 Resultat och diskussion

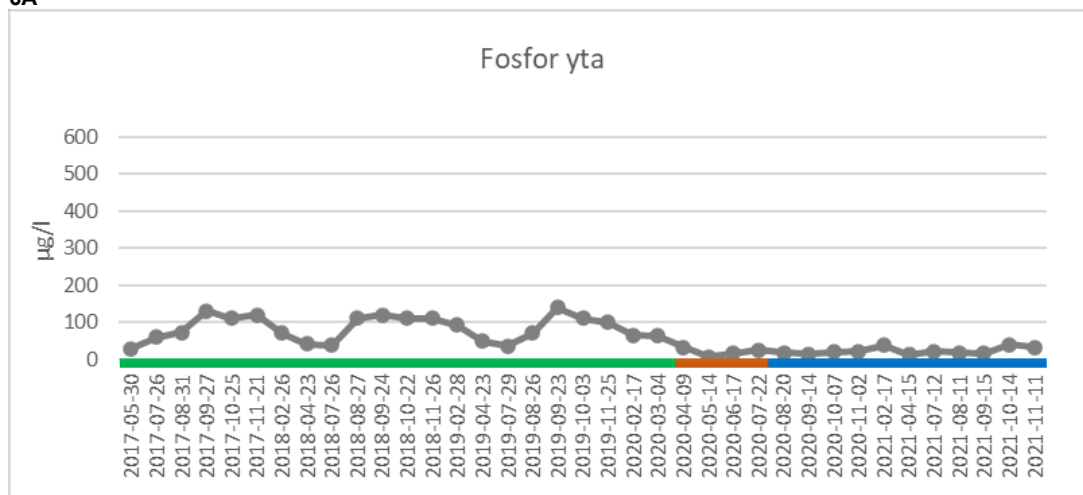
4.1 Fysikalisk-kemiska parametrar

Vattenkemiska undersökningar i sjöar syftar till att beskriva tillstånd och förändringar med avseende på kemiska förhållanden. De kemiska förhållandena utgör en viktig del av livsvillkoren för levande organismer och avspeglar även tillståndet i marken i sjöarnas tillrinningsområden. Resultaten används för att bedöma sjöarnas tillstånd samt påverkan från bland annat utsläpp och markanvändning (HaV 2016a).

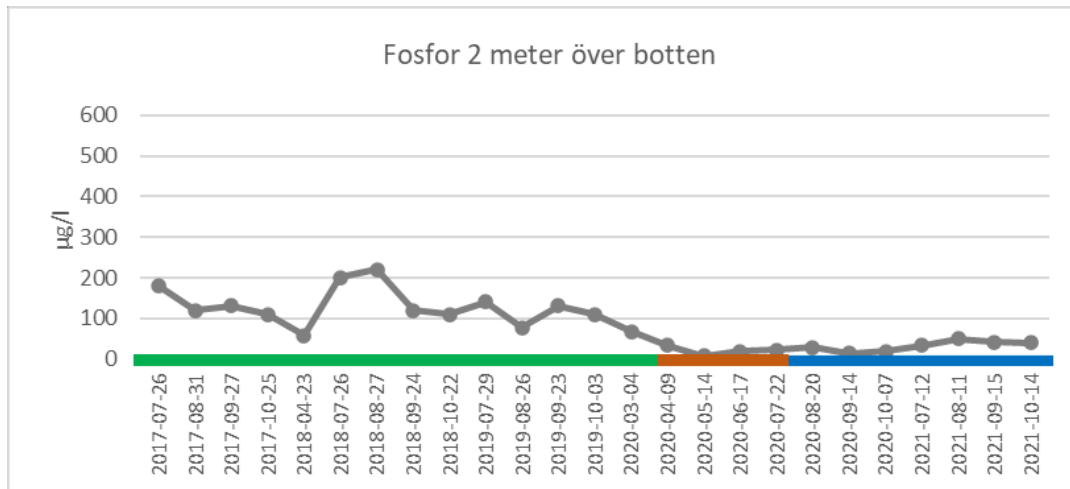
Fosfor Norrviken 3

Tidsserier över den totala mängden fosfor (totalfosfor) vid station Norrviken 3 visar att fosforhalten i vattenpelaren var märkbart lägre under tiden efter aluminiumbehandlingen, jämfört med tiden före behandlingen (Figur 6). Samma skillnad syns på alla tre djupnivåer i vattenpelaren.

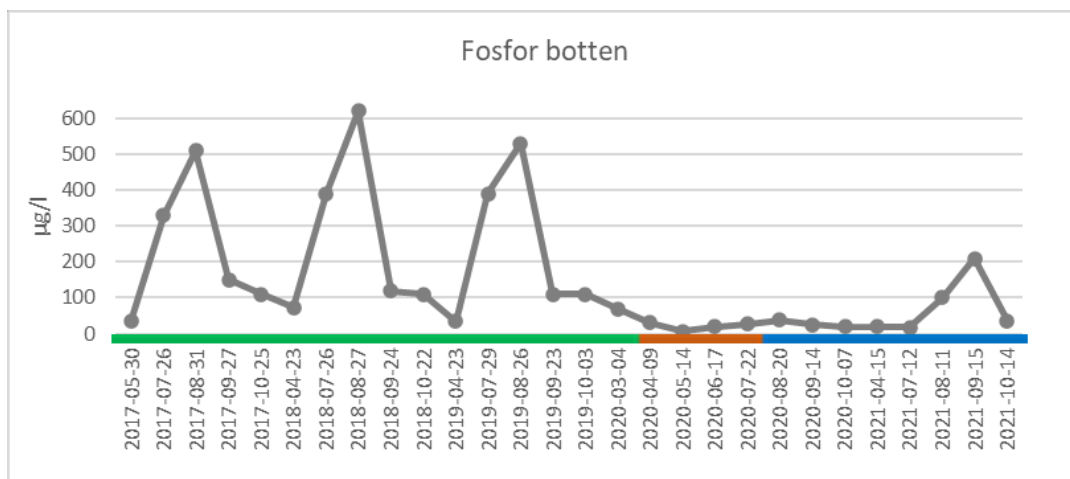
6A



6B

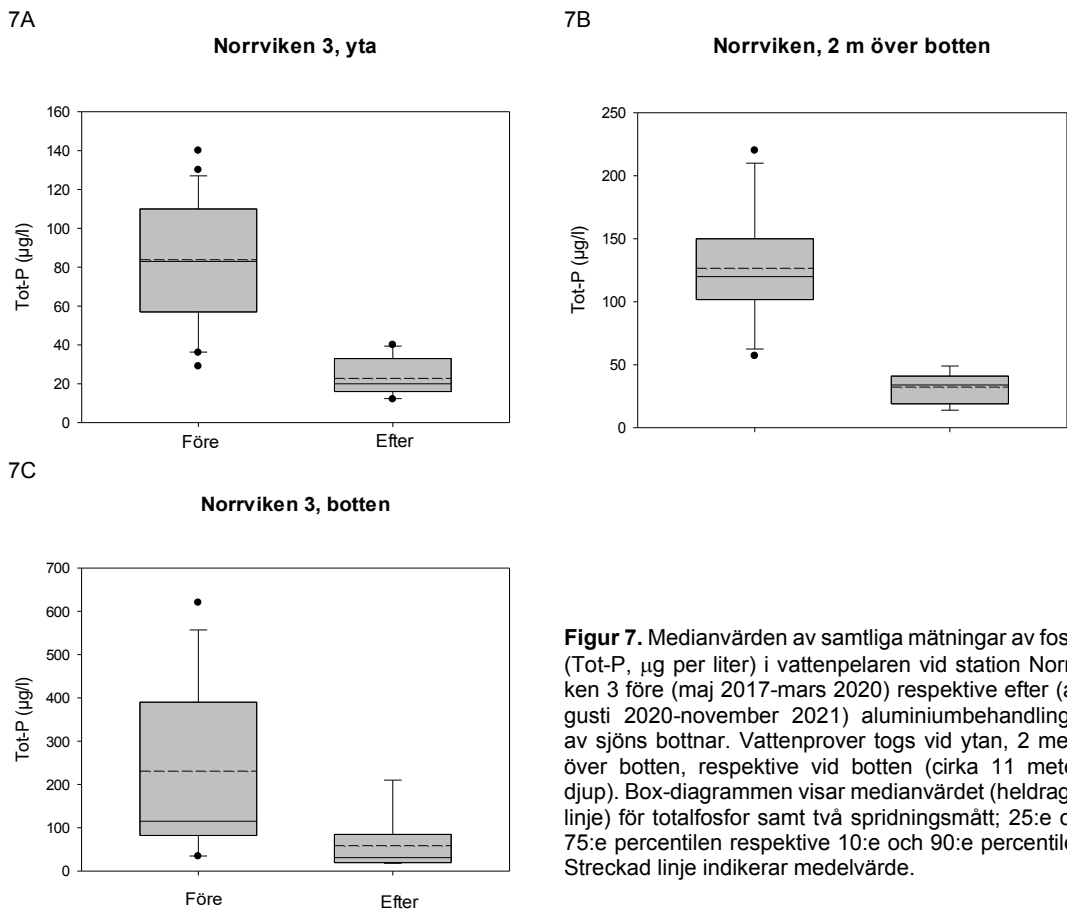


6C



Figur 6. Tidsserier över fosfor (totalfosfor, µg per liter) på tre olika djup vid station Norrviken 3 åren 2017–2021. Totalfosfor mättes i vattenprover tagna vid ytan (5A), 2 meter över botten (5B), respektive vid botten (cirka 11 meters djup) (5C). De tre perioderna före, under och efter aluminiumbehandling är färgmarkerade på x-axeln; före behandling=grön, under behandling=brun, och efter behandling=blå.

Medianvärdena av samtliga uppmätta totalfosforhalter vid Norrviken 3 visar också att fosforhalterna i vattenpelaren var tydligt lägre efter aluminiumbehandlingen, jämfört med före behandlingen (Figur 7). Det gäller för hela vattenpelaren, dvs vid ytan, 2 meter ovanför sjöns botten, och på cirka 11 meters djup (Figur 7).

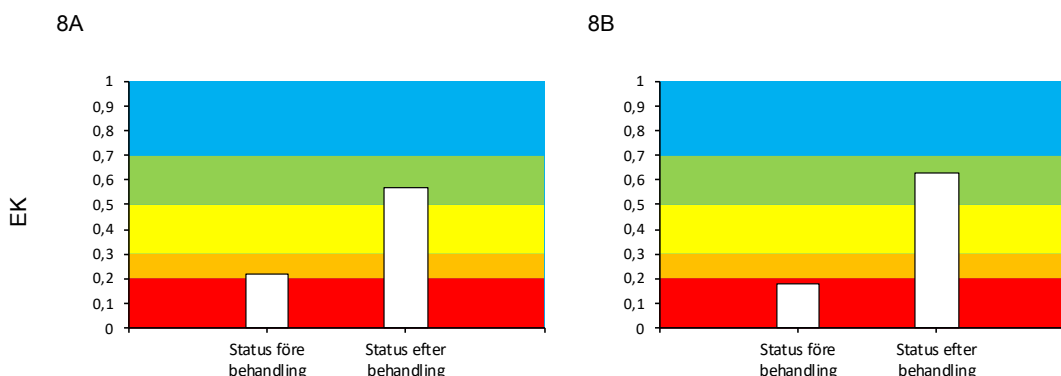


Figur 7. Medianvärden av samtliga mätningar av fosfor (Tot-P, µg per liter) i vattenpelaren vid station Norrviken 3 före (maj 2017-mars 2020) respektive efter (augusti 2020-november 2021) aluminiumbehandlingen av sjöns botten. Vattenprover togs vid ytan, 2 meter över botten, respektive vid botten (cirka 11 meters djup). Box-diagrammen visar medianvärdet (heldragen linje) för totalfosfor samt två spridningsmått; 25:e och 75:e percentilen respektive 10:e och 90:e percentilen. Streckad linje indikerar medelvärde.

Klassningen av näringsstatusen enligt HaV (2019) vid Norrviken 3 visar att med avseende på totala halten fosfor (Totalfosfor) förbättras sjöns näringsstatus från *otillfredsställande* (EK 0,22) före aluminiumbehandlingen till *god* (EK 0,57) efter behandlingen, om samtliga uppmätta värden 2017–2021 tas med i bedömningen (Figur 8A). Om bedömning görs på endast augusti-värden förbättras status från *dålig* (EK 0,18) till *god* (EK 0,63) före respektive efter behandling (Figur 8B).



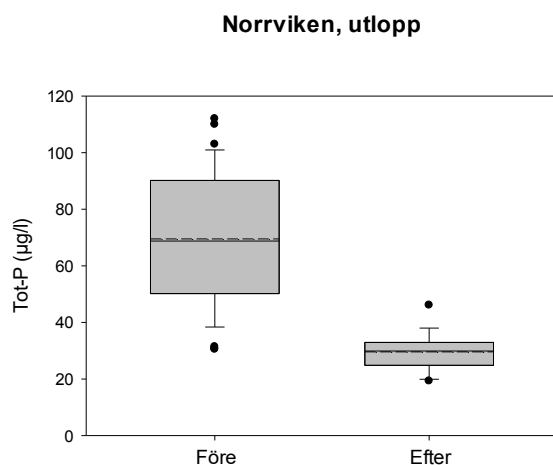
Fosfor Norrviken 3



Figur 8. Ekologisk status (baserat på EK-värde) för sjön Norrviken med avseende på fosfor (Totalfosfor) vid sjöns station Norrviken 3 baserat på A) samtliga uppmätta värden före (maj 2017-mars 2020) respektive efter (augusti 2020-november 2021) aluminiumbehandlingen och B) endast augusti-värden före (2017–2019) respektive efter (2020–2021) behandling.

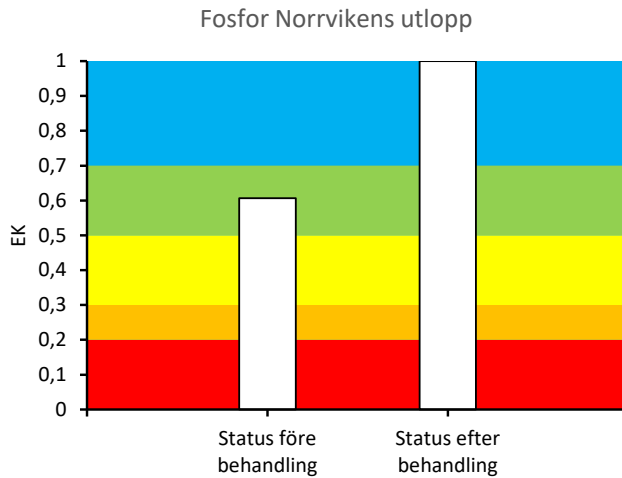
Fosfor Norrvikens utlopp

Halterna av fosfor minskade även i vattnet från Norrvikens utlopp vid Edsån. Medianvärdena för halten av totalfosfor vid station Norrviken utlopp var tydligt lägre efter aluminiumbehandlingen jämfört med före behandlingen (Figur 9).



Figur 9. Medianvärden av samtliga mätningar av fosfor (Tot-P, µg per liter) vid Norrvikens utlopp före (maj 2017-mars 2020) respektive efter (augusti 2020-december 2021) behandling av Norrvikens bottnar med aluminium. Box-diagrammen visar medianvärdet (heldragen linje) för totalfosfor samt två spridningsmått; 25:e och 75:e percentilen respektive 10:e och 90:e percentilen. Streckad linje indikerar medelvärde.

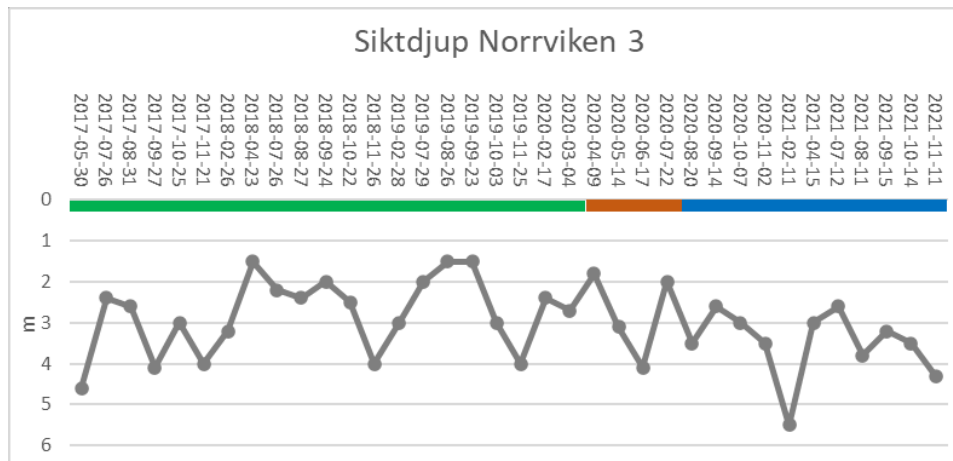
Statusklassning av vattnet vid Norrvikens utlopp (bedömning av vattendrag enligt HaV 2019) visar att näringsstatusen med avseende på totalfosfor förbättrades från *god* (0,61) före aluminiumbehandlingen till *hög* (>1) efter behandlingen (Figur 10). Bedömningen gjordes på samtliga månadsvisa uppmätta värden vid provpunkten, före (januari 2017 till mars 2020) respektive efter (augusti 2020 till december 2021) behandling.



Figur 10. Ekologisk status (baserat på EK-värde) vid Norrvikens utlopp med avseende på totalfosfor före (januari 2017-mars 2020) respektive efter (augusti 2020-december 2021) aluminiumbehandlingen. Samtliga tillgängliga månatliga mätvärden ingår i bedömningen.

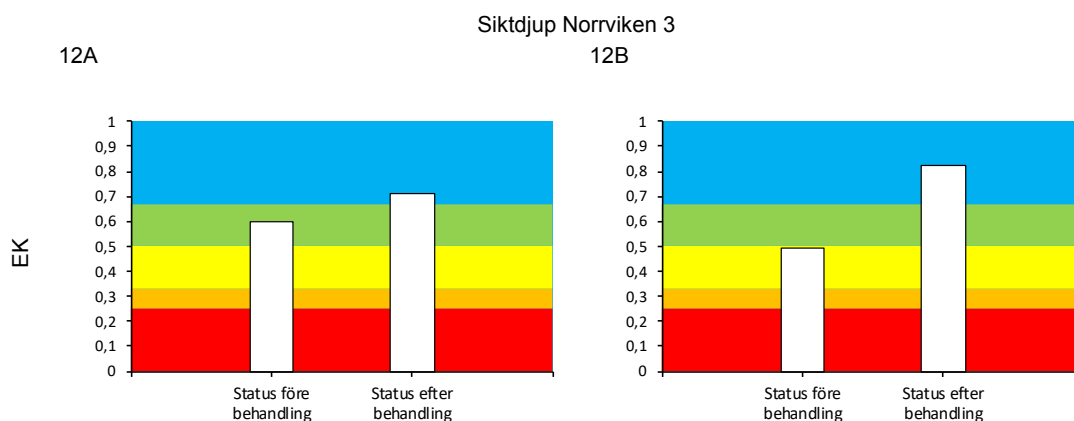
Ljusförhållanden: Siktdjup

Vattnets siktdjup mättes med hjälp av vattenkikare vid station Norrviken 3 (Figur 2) 2017–2021. Resultatet visar att ljusförhållandena har förbättrats efter aluminiumbehandlingen. Siktdjupet påverkas av mängden växtplankton, dött organiskt material, vattnets färg och partiklar i vattenmassan. En tidsserie över uppmätta siktdjup 2017–2021 visar att siktdjupet varierade mellan 1,5–4,6 m före behandling och mellan 2,6–5,5 m efter behandling (Figur 11).



Figur 11. Siktdjupet i Norrviken enligt mätningar med vattenkikare vid station Norrviken 3 under perioden maj 2017 till november 2021. De tre perioderna före, under och efter aluminiumbehandling är färgmarkerade på x-axeln; före behandling=grön, under behandling=brun, och efter behandling=blå.

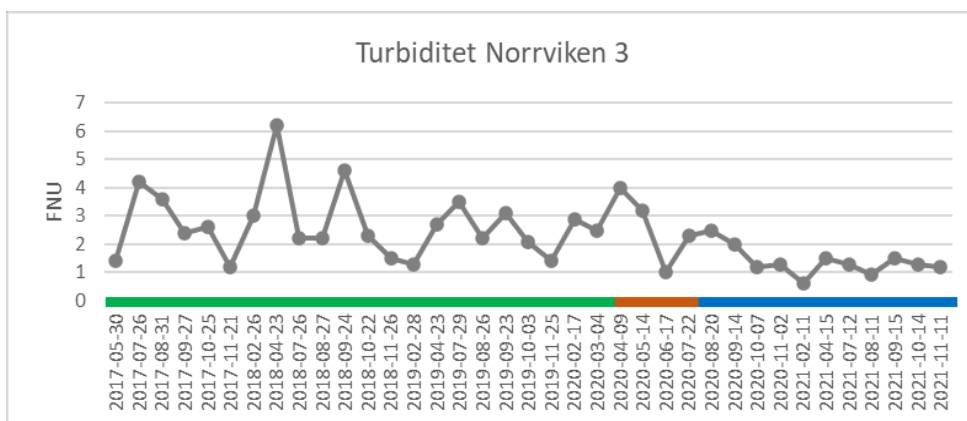
Statusbedömning av siktdjupet i Norrvikens djupaste område enligt HaV (2019), baserat på samtliga uppmätta värden under maj-oktober 2017–2021, visade *god* status (EK 0,6) före aluminiumbehandlingen av sjöns botten, och en ökning till *hög* status (EK 0,71) efter behandlingen (Figur 12A). Endast augusti-värden tas med i bedömningen blir skillnaden större och status förbättras från *måttlig* (EK 0,496, strax under *god*) före behandling till *hög* (EK 0,82) efter behandling (Figur 12B).



Figur 12. Statusbedömning av siktdjupet i Norrviken station Norrviken 3 före (maj 2017-oktober 2019) och efter (augusti 2020-oktober 2021) aluminiumbehandlingen, enligt Vattendirektivets nya bedömningsgrunder från 2019, baserat på A) samtliga mätvärden maj-oktober och B) endast augustivärden.

Ljusförhållanden: Turbiditet

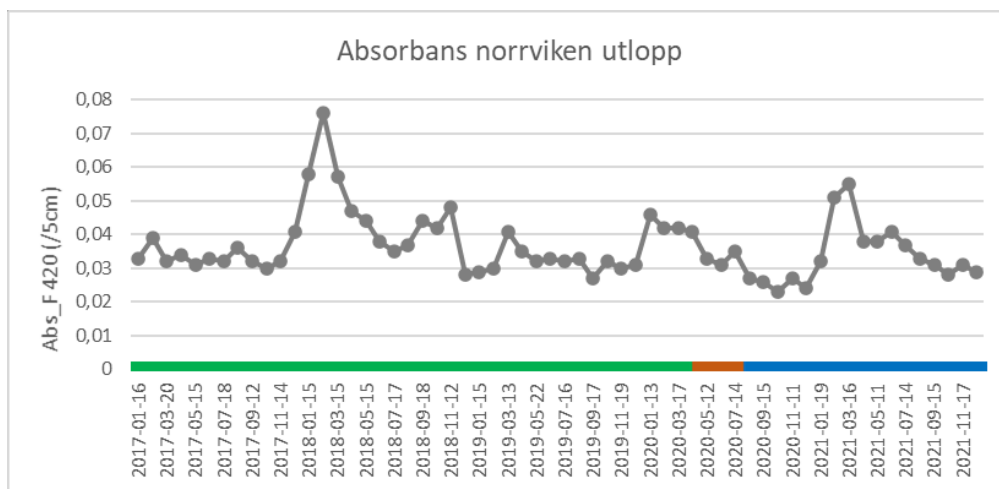
Grumligheten i vattenpelaren mättes som turbiditet vid sjöns djupaste punkt (Norrviken 3; Figur 2) och ger ett mått på halten av partiklar i vattnet, t.ex. plankton eller mineralpartiklar. En tidsserie över turbiditeten under perioden 2017–2021 visar att uppmätta värden efter behandling generellt var lägre än de som uppmättes före behandlingen (Figur 13). Statusklassning av turbiditet enligt Naturvårdsverket (1999) visar dock på *betydligt grumligt vatten* (Klass 4) både före och efter aluminiumbehandlingen.



Figur 13. Tidsserie över grumlighet (turbiditet) vid station Norrviken 3. Turbiditet utgör ett mått på partikelhalten i vattnet och mättes som enheten FNU (*Formazine Nephelometric Unit*). Figuren visar FNU-värdet för turbiditet 2017–2021. De tre perioderna före, under och efter aluminiumbehandling är färgmarkerade på x-axeln; före behandling=grön, under behandling=brun, och efter behandling=blå.

Ljusförhållanden: Absorbans

Absorbans har mätts i ytvatten vid Norrvikens utlopp vid Edsån (Figur 2). Absorbans är ett mått på vattnets ljusgenomsläpplighet. Mätning av ljusets absorption i filtrerade vattenprov indikerar förekomsten av ämnen som kan färga vattnet brunt, t.ex. humusämnen eller järn- och manganföreningar. Absorbans används som en hjälpparameter vid beräkningar av näringsstatus. En tidsserie baserad på samtliga analyser av absorbans i vattnet vid Norrvikens utlopp 2017–2021 visar på likartade värden före och efter behandling (Figur 14).

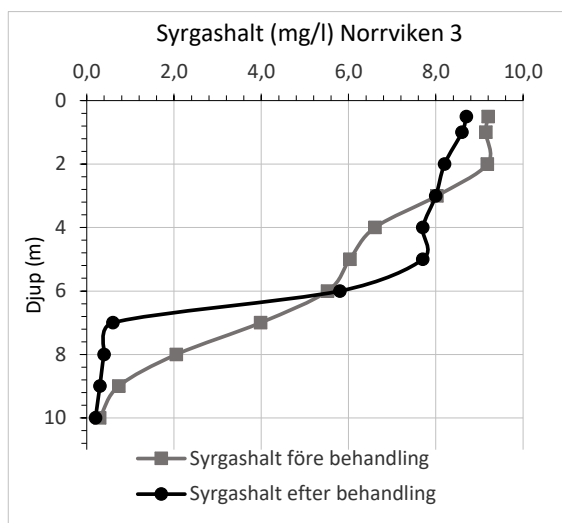


Figur 14. Tidsserie över absorbans i vatten från Norrvikens utlopp vid Edsån 2017–2021. Vattnets färgtal uppskattades genom att mäta absorbansen i filtrerade vattenprov i 5 cm kyvett vid 420 nm (Abs_F 420/5cm). De tre perioderna före, under och efter aluminiumbehandling är färgmarkerade på x-axeln; före behandling=grön, under behandling=brun, och efter behandling=blå.

Klassning av absorbans enligt Naturvårdsverket (1999) visar inte heller någon skillnad före och efter aluminiumbehandlingen. Under hela perioden var medelvärdet för absorbans cirka 0,03 (Medel av Abs_F 420/5cm) vilket motsvarar Klass 2, *svagt färgat vatten*.

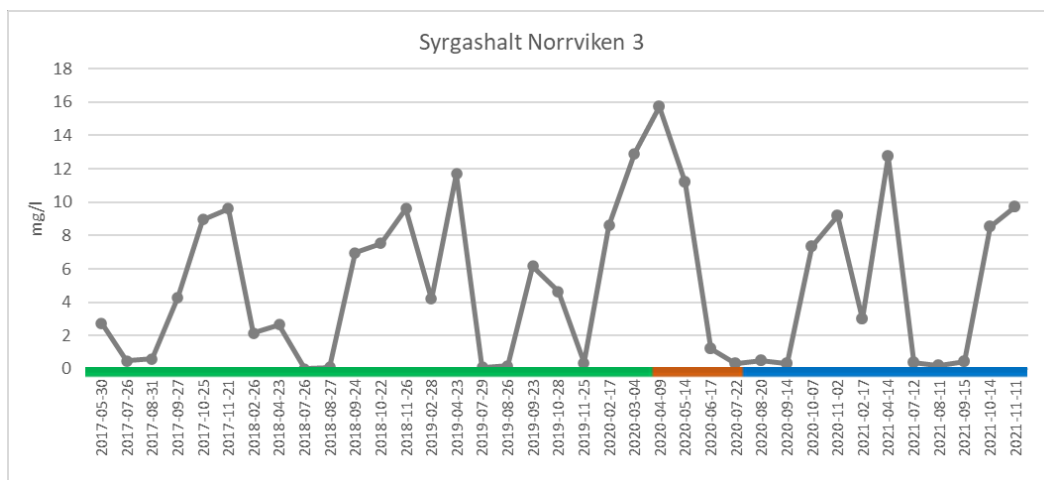
Syreförhållanden

Syrgashalten har mätts i syreprofil vid station Norrviken 3 (Figur 2). De lägsta syrgashalterna förekommer under sommaren i sjöns bottenvatten. En jämförelse av sommarhalter (juli och augusti) visar att det var syrebrist (under 2 mg O₂ per liter) i bottenvattnet under 8 meters djup både före och efter aluminiumbehandlingen (Figur 15). Förhoppningen var att syrgashalterna skulle stiga efter aluminiumbehandlingen, som en följd av ett minskat nedfall av partikulärt organiskt material som förbrukar syre (vid nedbrytningen).



Figur 15. Syrgasprofiler i vattenpelaren under sommaren vid station Norrviken 3 baserat på medelvärdena av syrgashalten (mg O₂/L) under juli och augusti före aluminiumbehandling (2017–2019) och efter aluminiumbehandlingen (augusti 2020 och juli-augusti 2021).

En tidsserie över vattnets syrgashalt närmast botten (> 10 meters djup) vid Norrviken 3 visas i figur 16, nedan. Det finns ingen tydlig skillnad i syrgashalterna före och efter aluminiumbehandlingen.



Figur 16. Tidsserier över syrgashalten (mg O₂/L) i bottenvattnet (>10 meters djup) vid station Norrviken 3 under perioden 2017–2021. De tre perioderna före, under och efter aluminiumbehandling är färgmarkerade på x-axeln; före behandling=grön, under behandling=brun, och efter behandling=blå.

Statusbedömning enligt HaV (2019) med avseende på syrgashalten närmast botten (>10 meters djup) vid Norrviken 3 indikerar *dålig* status, både före och efter aluminiumbehandlingen. Statusbedömningen av syrgashalten i sjöar baseras på minimumvärden (HaV 2019) och utgår ifrån sammansättningen hos fisksamhället och fiskarternas känslighet för syrgashalter. Norrviken hyser främst varmvattenfiskar som inte är lika syrekrävande som laxfiskar (salmonider). Samtliga årsminimivärden av syrgashalten i Norrviken ligger långt under gränsen för *dålig* status både före, under och efter aluminiumbehandlingen, oavsett om klassgränserna för varmvattenfiskar (<2 mg O₂/L) eller salmonider (<4 mgO₂/L) i HaV (2019) används.

Det är möjligt att den kraftigt förändrade näringssituationen i och med aluminiumbehandlingen, där näringsanpassade organismer får svårare att klara sig, kortsiktigt kan öka sedimentationen av plankton till botten, och därmed initialt påverka syresituationen negativt.

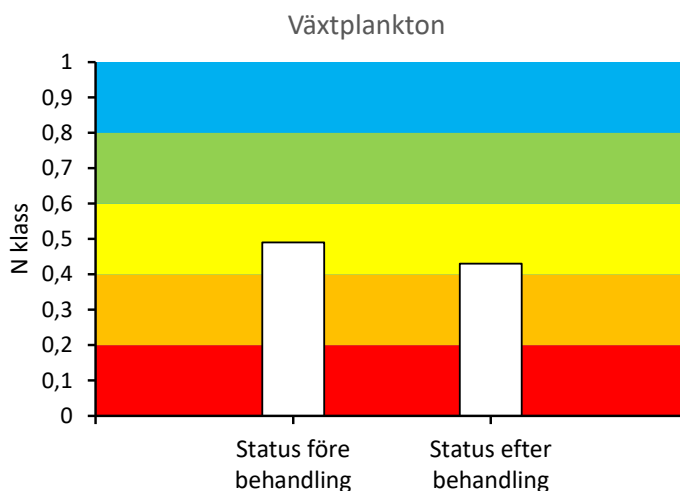
4.2 Växtplankton

Växtplankton, i egenskap av primärproducenter, utgör en viktig del av grunden i sjöns näringsväv. Växtplanktonsamhällets biomassa och sammansättning ger information både om sjöns karaktär och om förändringar i miljön, exempelvis näringsförhållanden. Den ekologiska statusen hos växtplanktonsamhället i Norrviken 3 från 2017 till 2021 varierade mellan månader och år och visar ingen tydlig trend (Tabell 4). Observera att bedömningsgrunderna har förändrats under perioden och att jämförelser mellan år därför bör göras med viss försiktighet (se även metod).

Tabell 4. Bedömning av den ekologiska statusen hos växtplanktonsamhället i Norrviken utifrån växtplanktonprov tagna vid station Norrviken 3 under olika månader under 2017, 2018, 2019, 2020 och 2021. Analyserna och statusbedömningen av växtplankton utfördes av Pelagia Nature & Environment AB på uppdrag av Calluna AB. För 2017-2018 gjordes statusbedömningen enligt de äldre bedömningsgrunderna. För 2019 gjordes statusbedömningen utifrån både de äldre och de nya bedömningsgrunderna. Efter det användes endast de nya bedömningsgrunderna.

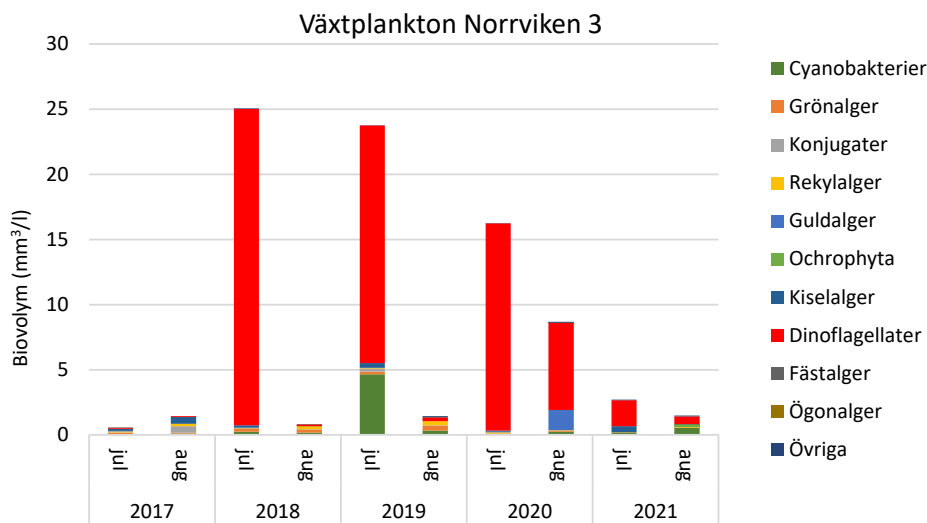
År	mars	april	maj	juni	juli	aug	sep	okt	Kommentar
2017			Otillfr.		God	Måttlig/God	Hög	God	I alla prov noterades den potentiellt toxiska arten <i>Microcystis</i> spp. Högst biomassa och störst andel cyanobakterier i maj. Alla TPI-värden indikerade eutrofa förhållanden
2018		God			Måttlig	Måttlig	Måttlig	God	Biomassan var högst i juli. Andelen cyanobakterier var högst i augusti
2019		God			Otillfr.	Måttlig	Måttlig	God	Biomassan var högst i juli. Sammanvägd status enligt TPI (äldre) bedömningsgrunderna
2019		Otillfr.			Otillfr.	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Sammanvägd status enligt PTI (nya) bedömningsgrunderna
2020	Måttlig	Otillfr.	Måttlig	God	Otillfr.	Otillfr.	God	God	Aluminiumbehandlingen utfördes från april t.o.m. juli 2020. Högst biomassa i juli.
2021		God			Otillfr.	Måttlig	God	God	Högst biomassa under juli. Sammanvägda statusen för hela året var "Måttlig". Sammanvägda statusen för juli och augusti 2021 var "Måttlig"

En sammanvägd bedömning av den ekologiska statusen för Norrviken 3 med avseende på växtplankton visar *måttlig* status både före (EK 0,49) och efter (EK 0,43) aluminiumbehandlingen (Figur 17). Resultat från juli och augusti före (2017–2019) respektive efter (2020–2021) behandlingen ingår i bedömningen. Juli 2020 ingår egentligen i perioden *under* aluminiumbehandlingen, men har tagits med i bedömningen för efter-perioden eftersom månaden ligger i slutet av behandlingsperioden. Detta ger bättre underlag för statusklassning (bedömningsmånaderna är juli och augusti) och mindre övervikt för dataunderlaget från före behandling. Även om juli 2020 skulle exkluderas ur bedömningen blir statusen dock *måttlig*.



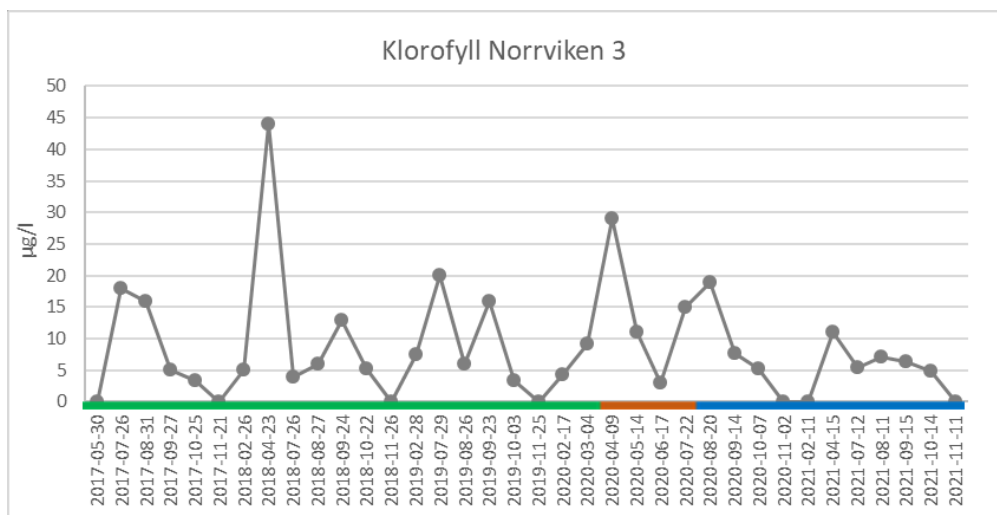
Figur 17. Ekologisk status för sjön Norrviken med avseende på växtplankton vid station Norrviken 3 baserat på data från juli och augusti före (2017–2019) respektive efter (2020–2021) aluminiumbehandlingen. Observera att bedömningsgrunden för växtplankton uppdaterades mellan åren 2018 och 2019. Den ingående parametern cyanobakterier togs bort och klorofyll lades till i de nya bedömningsgrunderna, och det trofiska indexet TPI ändrades till PTI.

Mängden växtplankton vid Norrviken 3 minskade kraftigt efter aluminiumbehandlingen av bottenarna. I Figur 18 visas biomassan av växtplankton, fördelat mellan olika grupper, under juli och augusti från 2017 till 2021. I början av undersökningsperioden (2017) var biomassan av växtplankton låg under juli och augusti. Under de nästkommande två åren (2018 och 2019) var den väldigt hög i juli månad. Under 2020, samma år som aluminiumbehandlingen genomfördes, var biovolymen något mindre i juli men relativt hög i augusti jämfört med tidigare år. Biomassan av växtplankton minskade sedan kraftigt till låga nivåer i både juli och augusti 2021. Dinoflagellater (pansarflagellater) var den grupp som dominerade biomassan av växtplankton från 2018 till 2021. Under 2019, före behandlingen, bestod ungefär en femtedel av biomassan av cyanobakterier under juli och augusti. Under 2020 var andelen endast 0,3 % och 3 % i juli respektive augusti. I juli 2021 utgjorde cyanobakterierna ca 5 % av den totala biomassan medan andelen ökade till 37 % i augusti. Dock var biomassan under juli och augusti 2021 totalt mycket låg (Figur 18).



Figur 18. Den totala biomassan av växtplankton (biovolym i mm³ per liter) samt fördelningen av biomassa mellan olika taxonomiska grupper under sommaren (juli–augusti) från 2017–2021 vid Norrviken 3. Provtagningen av växtplankton genomfördes enligt kontrollprogrammet för Norrviken för att följa upp effekten av aluminiumbehandlingen 2020.

Halten av klorofyll *a* i ytvattenprover ger ett grovt mått på den totala biomassan av växtplankton, och bedömningar av ekologisk status med avseende på klorofyllhalten utgör ett komplement till analyserna av växtplanktonsamhället. En tidsserie över halten klorofyll *a* i ytvattnet från Norrviken 3, från 2017 till 2021, visar generellt lägre halter under 2021 (medel 5,2 µg/l) jämfört med åren innan behandling (medel 7,4–11,2 µg/l) (Figur 19). Minskade halter av klorofyll *a* efter 2020 ligger i linje med den reducerade biomassan (Figur 18) efter aluminiumbehandlingen av Norrvikens botten.

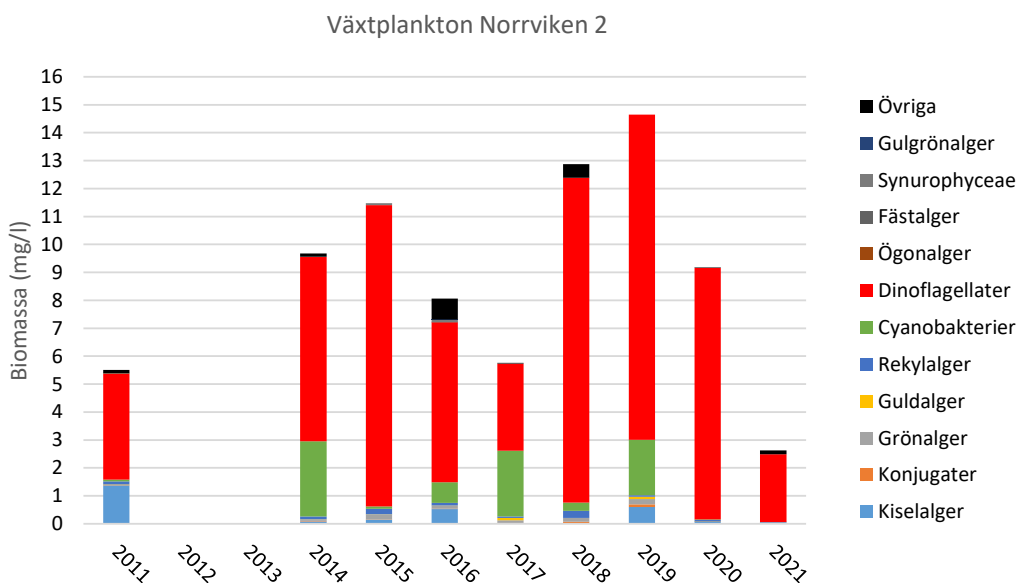


Figur 19. En tidsserie över klorofyllhalten i ytvattnet vid Norrviken 3 under perioden 2017–2021. Klorofyll *a* (µg per liter) mättes vid 0,5 m djup i vattenpelaren minst 6 gånger per år, som en del av kontrollprogrammet för Norrviken. De tre perioderna före, under och efter aluminiumbehandling är färgmarkerade på x-axeln; före behandling=grön, under behandling=brun, och efter behandling=blå.

En bedömning av den ekologiska statusen med avseende på växtplankton har även gjorts för den centrala delen av Norrviken (station Norrviken 2), som en del av den regionala miljöövervakningen (Länsstyrelsen Stockholm 2022). Den sammanvägda statusen för Norrviken med avseende på växtplankton (bedömningsperiod juli–augusti) för 2021 var *otillfredsställande*.

En tidsserie över mängden växtplankton (biomassan) i den centrala delen av sjön (station Norrviken 2) under juli–augusti från 2011 till 2021 (Figur 20) visar en liknande bild som vid station Norrviken 3 (Figur 18). Biomassan av växtplankton varierade mellan år med en relativt låg biomassa 2017, högst biomassa under 2018 och 2019, och en markant minskning av biomassan efter aluminiumbehandlingen 2020. Under hela perioden dominerades biomassan av dinoflagellater (pansarflagellater).

I den centrala delen av sjön uppmättes den allra lägsta biomassan av växtplankton (2,63 mg/l) i juli 2021 (Figur 20), troligen som en följd av aluminiumbehandlingen. Under juli 2021 dominerades växtplanktonbiomassan av dinoflagellaten *Ceratium hirundinella* och andelen cyanobakterier var endast 0,1 %. Under både 2020 och 2021 var andelen cyanobakterier mycket liten vid Norrviken 2, vilket kan tyda på att cyanobakterierna missgynnats av de minskade fosforhalterna i Norrviken.



Figur 20. Den totala biomassan av växtplankton (mg per liter) samt fördelningen av biomassa mellan olika taxonomiska grupper under sommaren (provtagning juli eller augusti, en gång per år) vid station Norrviken 2 2011–2021 (Länsstyrelsen Stockholm 2022).

4.3 Djurplankton

Djurplankton befinner sig högre upp i sjöns näringsväv än växtplankton. Djurplankton, som äter växtplankton, bakterier eller andra djurplankton, utgör i sin tur föda för bland annat fisk. Artsammansättningen och individernas storlek hos djurplankton visar på det rådande predationstrycket från fisksamhället. Vissa arter av djurplankton utgör indikatorer på förändringar i sjöns ekosystem, exempelvis näringsstatus, försurning eller föroreningar.

Det saknas i nuläget bedömningsgrunder för djurplankton, så den ekologiska statusen för djurplankton i Norrviken har utvärderats genom expertbedömning av proven, jämförelser med resultat från andra sjöar samt litteraturstudier. Parametrar som beaktats är bland annat indikatorarter, artsammansättning, tätheten av hjuldjur och storleksfördelning av hinn- och hoppkräftor.

Analyserna av djurplanktonsamhället i Norrviken under perioden 2014–2021 visar att sjön är näringsrik, och expertbedömningarna tyder på genomgående eutrofa (näringsrika) näringsförhållanden (Länsstyrelsen Stockholm 2022). Sjöns tillstånd med avseende på djurplankton har genom åren bedömts visa ”tecken på näringspåverkan” eller ”tydliga tecken på näringspåverkan” (Tabell 5). Det är ännu för tidigt för att säga om aluminiumbehandlingen av Norrviken under 2020 har haft någon effekt på djurplanktonsamhället.

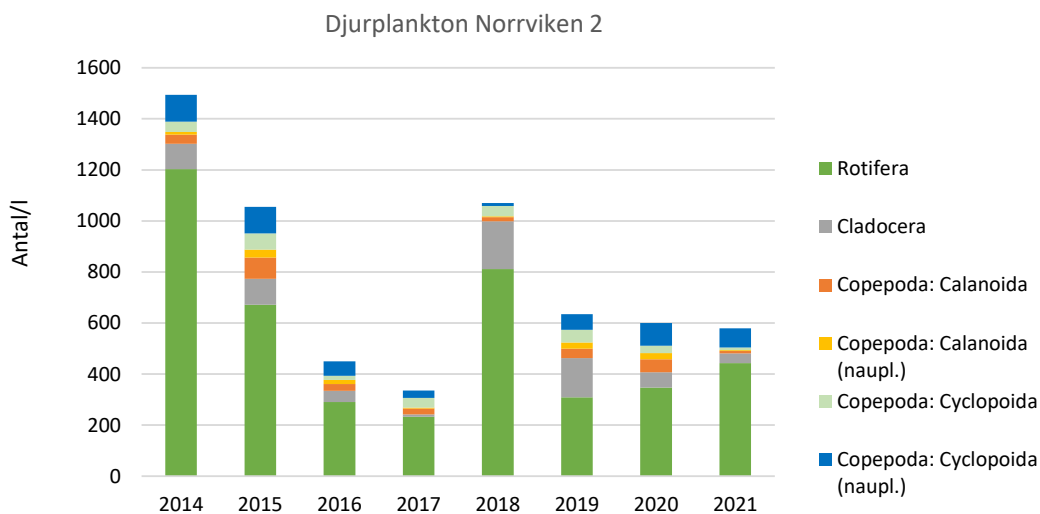
Tabell 5. Undersökningar av djurplanktonsamhället i Norrvikens centrala del (Station ”Norrviken 2” under sommaren (juli/augusti) från 2014 till 2021. Bottendjupet var 6–9 m, och kvantitativt planktonprov togs på 0–6 m djup baserat på epilimnions läge.

Ar	Bedömning av näringspåverkan	Övriga kommentar
2014	Tydliga tecken på näringspåverkan	Länsstyrelsen Stockholm (2015): <ul style="list-style-type: none"> Djurplanktonsamhället hade en hög täthet av hjuldjur (Rotifera), en artsammansättning som är typisk för näringsrika sjöar och en stor förekomst av näringsgynnade arter. Hinnkräftan <i>Chydorus sphaericus</i>, som ofta förekommer tillsammans med cyanobakterier, var vanlig. Rikligt med larver från vandrarmussla, <i>Dreissena polymorpha</i>.
2015	Tydliga tecken på näringspåverkan	Länsstyrelsen Stockholm (2016): <ul style="list-style-type: none"> Mycket rikligt med larver från vandrarmusslan (mycket högre än 2014).
2016	Tecken på näringspåverkan.	Länsstyrelsen Stockholm (2017): <ul style="list-style-type: none"> Lägre täthet av hjuldjur 2016 jämfört med 2014 och 2015. Artsammansättningen av hopp- och hinnkräftor tydde på mer näringsfattiga förhållanden än tidigare år. Det förekom dock många näringsgynnade arter. Mycket rikligt med larver från vandrarmussla.
2017	Tecken på näringspåverkan.	Länsstyrelsen Stockholm (2018): <ul style="list-style-type: none"> Lägre tätheter av hjuldjur 2017 och 2016 jämfört med 2014 och 2015. Det förekom dock många näringsgynnade arter. Mycket rikligt med larver från vandrarmussla.
2018	Tydligt näringspåverkad	Länsstyrelsen Stockholm (2019): <ul style="list-style-type: none"> Måttligt hög täthet av hjuldjur 2018. De näringsgynnade arterna av djurplankton var fler än de som föredrar mer näringsfattig miljö. De stora calanoida hoppkräftorna utgjorde en mindre del av biomassan än tidigare år, och de små cyclopoida hoppkräftorna utgjorde en större del. Inga larver av vandrarmussla i planktonproverna 2018. Hinnkräftan <i>Bosmina (Eubosmina) coregoni</i> var mycket vanlig. Arten förekommer främst i näringsrika sjöar med hög täthet av fisk.
2019	Tydligt näringsämnes-påverkad	Länsstyrelsen Stockholm (2020): <ul style="list-style-type: none"> Tätheten av hjuldjur var låg under 2019, men de näringsgynnade arterna var fler än de som föredrar mer näringsfattig miljö, så Norrviken bedömdes som tydligt näringsämnespåverkad. Larver från vandrarmussla var relativt vanliga 2019.
2020	Tecken på näringspåverkan	Länsstyrelsen i Stockholm (2021): <ul style="list-style-type: none"> Djurplanktonsamhället dominerades av hjuldjuret <i>Pompholyx sulcata</i>. Det förekom många arter som föredrar näringsrika vatten. Tätheten på hjuldjur (cirka 300 per liter) tyder på måttligt näringsrika förhållanden.

År	Bedömning av näringspåverkan	Övriga kommentar
		<ul style="list-style-type: none"> Liten andel <i>Daphnia</i> (en hinnkräfta), vilket är vanligt i näringsrika sjöar. Bland kräftdjuren dominerade små arter t.ex. <i>Diaphanosoma brachyurum</i>, vilket tyder på betydande predationstryck från planktonätande fisk. <p>Larver från vandrarmussla var relativt vanliga 2020.</p>
2021	Tecken på näringspåverkan	<p>Länsstyrelsen i Stockholm (2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> Djurplanktonsamhället dominerades av små hjuldjur och cyclopoida nauplier (ungstadier av hoppkräftor) Högt antal av indikatorarten <i>Pompholyx sulcata</i> (Rotifera) indikerar att sjön är eutrof (näringsrik). Biomassan (mätt som torrsvikt) dominerades av hinnkräftor (Cladocera), främst småväxta arter som <i>Daphnia cucullata</i> och <i>Diaphanosoma brachyurum</i>

Artsammansättningen hos djurplanktonsamhället i Norrviken är typisk för näringsrika sjöar, med en stor förekomst av arter som gynnas av näringsrikt vatten (Figur 21). Djurplanktonsamhället domineras i allmänhet (sett till antal individer/liter) av hjuldjur (Rotifera) som förekommer i höga tätheter, exempelvis *Pompholyx sulcata*, som är en indikatorart för näringsrika sjöar (Länsstyrelsen i Stockholm 2022).

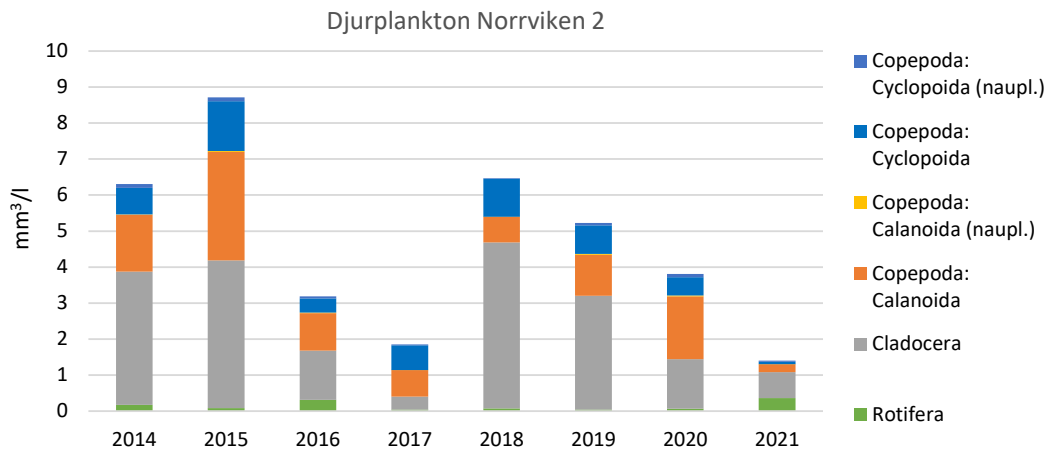
I början av undersökningsperioden (augusti 2014) var hinnkräftan *Chydorus sphaericus*, som ofta förekommer tillsammans med cyanobakterier, vanlig i Norrviken. Tätheten av hjuldjur var lägre under vissa år (augusti 2016, augusti 2017, juli 2019) men de djurplanktonarter som gynnas av näringsrika vatten har ändå varit mer talrika än de som föredrar mer näringsfattig miljö.



Figur 21. Artsammansättningen hos djurplanktonsamhället (antal individer per liter av olika taxa) i den centrala delen av Norrviken (Station "Norrviken 2") under sommaren (juli–augusti) åren 2014–2021. Figuren är från Länsstyrelsen i Stockholm (2022). Aluminiumbehandlingen av Norrviken genomfördes under våren och sommaren 2020.

Biovolymen av djurplankton i den centrala delen av sjön (station Norrviken 2) var högst år 2015, sjönk under åren 2016–2017 och ökade igen år 2018 (Figur 22). Den lägsta biovolymen noterades

i juli 2021, ett år efter aluminiumbehandlingen. Biovolymen dominerades i allmänhet av hinnkräftor (Cladocera).



Figur 22. Biovolym hos djurplanktonsamhället (mm³ per liter) i den centrala delen av Norrviken (Station "Norrviken 2") under sommaren (juli-augusti) åren 2014–2021. Aluminiumbehandlingen av Norrviken genomfördes under våren och sommaren 2020.

Artsammansättningen av djurplankton i Norrviken visade även tecken på ett betydande predationstryck från fisk, eftersom de arter av hinnkräftor som förekom var småväxta. Den dominerande arten av *Daphnia* var den lilla *Daphnia cucullata*, som inte äts i första hand av planktonätande fisk. Hinnkräftan *Bosmina (Eubosmina) coregoni*, som främst förekommer i näringsrika sjöar med hög täthet av fisk, var mycket vanlig under flera år.

I allmänhet förekom det rikligt med larver från den invasiva vandrarmusslan, *Dreissena polymorpha* i Norrvikens centrala del under sommaren, med undantag för 2018 och 2021, då inga larver av vandrarmusslan identifierades i djurplanktonproven (Tabell 5). Vuxna vandrarmusslor (även kallade zebarmusslor) är effektiva filtrerare, vilket kan leda till ett klarare vatten, men vandrarmusslan kan även konkurrera med inhemska arter om föda och substrat.

Förekomsten av vandrarmusslan i Norrviken kan ha påverkat artsammansättningen hos både växt- och djurplankton. Bland växtplanktonen dominerade en relativt stor och kraftig art, *Ceratium hirundinella*, som troligen är svårare för musslor att filtrera. Bland djurplanktonen var calanoida copepoder vanligare än förväntat med tanke på sjöns näringstillstånd, och denna grupp av hoppkräftor kan ha gynnats av att vattnet blivit klarare när det filtreras av vandrarmusslor.

4.4 Bottenfauna

Bottnarnas djursamhällen utgör en stor del av den biologiska mångfalden i sjöar och är en viktig födoresurs för fisk samt spelar en viktig roll i nedbrytningen av organiskt material (Naturvårdsverket 1999).

Före aluminiumbehandling: Bottenfauna 2014

Undersökningen i oktober 2014 utfördes som en del i en undersökning av tre sjöar i Stockholms län (Länsstyrelsen Stockholm 2015b). Syftet var miljöövervakning samt att statusklassificera vattenförekomster enligt bedömningsgrunder för vattenförvaltning. Man undersökte påverkan av övergödning och klassade den ekologiska statusen med avseende på bottenfauna enligt de äldre bedömningsgrunderna (Naturvårdsverket 2010, HaV 2013). Dessutom analyserades förekomsten av mundelsskador hos fjädermyggs-larver, som är en indikator på påverkan från miljögifter i sedimenten.

Undersökningen av Norrvikens bottenfauna i oktober 2014 visade tecken på näringsrika förhållanden i sjön, med ett lågt antal arter, höga tätheter av individer samt en dominans av vissa grupper (taxa) som gynnas av övergödning (Länsstyrelsen Stockholm 2015). Syresituationen i sjöns bottenvatten var ansträngd (*måttlig*). Index och klassning enligt de äldre bedömningsgrunderna visade att status med avseende på bottenfauna var *otillfredsställande* i sublitoralen och *måttlig* i profundalen. Förekomsten av mundelsskador hos fjädermyggs-larverna indikerade att bottendjuren påverkades av miljögifter (Tabell 6).

Efter aluminiumbehandling: Bottenfauna 2021

Den profundala bottenfaunan i Norrviken undersöktes igen i oktober 2021, för att följa upp effekten av aluminiumbehandlingen 2020 (Kling 2021). Analyser, indexberäkningar och statusklassning av bottenfaunan utfördes enligt de då gällande bedömningsgrunderna (HaV 2018a, HaV 2019).

Ett år efter aluminiumbehandlingen av Norrvikens bottenfauna visade statusklassningen av bottenfaunan enligt indexet BQI en försämring från *måttlig* i oktober 2014 till *otillfredsställande* i oktober 2021 (Tabell 6). Enligt expertbedömningen hade näringsbelastningen blivit större och syrgastillståndet hade försämrats från "måttligt syrerikt vatten" hösten 2014 till "dåligt syretillstånd" hösten 2021 (Kling 2021).

Både under 2014 och 2021 dominerade larver av tofsmyggen *Chaoborus flavicans* i proverna från profundalen (92 % av 261 ind. 2014 och 77 % av totalt 202 ind. 2021). Tofsmyggor är störningståliga och den stora dominansen av denna art tyder på dåliga syrgasförhållanden vid sjöns botten.

Under 2021 noterades en mycket hög frekvens av mundelsskador hos larver av fjädermyggor, vilket tyder på att miljögifter i sedimentet skadar bottendjuren.

Jämförelsen mellan 2014 och 2021 års undersökningar av bottenfaunan visade liknande förhållanden med avseende på antalet bottenfaunagrupper (taxa) medan övriga mått (index-beräkningar, syrgastillstånd, individantal och mundelsskador) visade på försämrade förhållanden år 2021. En möjlig kortsiktig effekt på bottenfaunasamhället efter en behandling är att fler organismer dör vid anpassning till de nya näringsförhållandena, med ökad sedimentation och ökad syreförbrukning som följd. Minskad näringsbelastning bör leda till reducerad primärproduktion (mindre växtplankton) vilket indirekt påverkar bottenfaunasamhället, men det kan ta flera år innan man ser resultat. Dessutom tar det längre tid för känsliga arter av bottenfauna att kolonisera sjöns botten, jämfört med störningståliga arter. Även andra studier före och efter behandling har visat på en initial minskning av bottenfaunan under det första året efter behandling, följt av en återhämtning med ökad diversitet efter några år (Smeltzer m.fl. 1999). Uppföljande studier av bottenfaunasamhället efter ytterligare tid behövs för att dra större slutsatser kring vilken påverkan aluminiumbehandlingen har haft.

Tabell 6. Bedömningar och klassificeringar av Norrvikens djupa bottenar utifrån näringstillstånd, syretillstånd (expertbedömning), den ekologiska statusen med avseende på bottenfauna, och mundelsskador hos fjädermygglarver.

År	Område	Närings-tillstånd	Syre-till-stånd	Status map över-gödning	Totalantal taxa	BQI/Status-klass	Mundels-skador
2014	Sublitoralen, 6,9 m	Näringsrikt	Måttligt syre-rikt	Måttlig	11 (lågt)	1,0/Otillf.	5,7 % (måttligt hög frekvens)
	Profundalen, 9,5 m	Näringsrikt	Måttligt syre-rikt	Måttlig	5 (lågt)	1,3/Måttlig	
2021	Profundalen	Hög näringsbelastning indikerat av bottenfaunan	Dåliga syreförhållanden enligt expertbedömning		5 (lågt)	1,0/Otillf.	19 % (mycket hög frekvens)

4.5 Makrofyter

Övervakning av växtsamhällen samt förekomsten av olika makrofyter i sjöar ger en bild av sjöns miljötillstånd och näringsstatus eftersom olika arter av makrofyter har olika miljökrav.

Före aluminiumbehandling: Makrofytundersökning 2017

Vid inventeringen av makrofyter i augusti 2017 (Olbers 2017) inventerades 12 transekter på ett jämförbart sätt som under 2008 och 2010. Totalt noterades 13 arter av makrofyter vid inventeringen 2017, varav fyra var dominerande (Tabell 7). Hornsärv (*Ceratophyllum demersum*) förekom oftast. Den invasiva främmande arten smal vattenpest (*Elodea nuttallii*) var näst vanligast. Smal vattenpest var inte lika spridd över sjön som hornsärv, men den var i stort sett heltäckande på de platser där den växte. Smal vattenpest förekom inte alls vid inventeringarna 2008 och 2010 utan hade spritt sig kraftigt i sjön sedan dess. De andra dominerande arterna var gul näckros (*Nuphar lutea*) och ålnate (*Potamogeton perfoliatus*). Dessa fyra dominerande makrofyter (hornsärv, smal vattenpest, gul näckros, ålnate) var också de arter som växte djupast i sjön under 2017 (Tabell 7).

Efter aluminiumbehandling: Makrofytundersökning 2021

Vid inventeringen av makrofyter i augusti 2021, ett år efter aluminiumbehandlingen (Sandsten & Kling 2021) inventerades 12 transekter med samma startkoordinat som vid Callunas inventering 2017 (Olbers 2017). Under 2021 dominerade samma fyra arter av makrofyter som under 2017; hornsärv, smal vattenpest, gul näckros och ålnate (Tabell 7).

Två rödlistade arter av makrofyter noterades i Norrviken under 2021; långskottsväxten uddnate (*Potamogeton friesii*) och uddslinke (*Nitella mucronata*). Både dessa arter är rödlistade i kategorin "nära hotad" (SLU ArtDatabanken 2020). Uddnate förekom i Norrviken även under 2017 (Olbers 2017). Uddslinke har tidigare rapporterats från närliggande sjöar men är ett nytt fynd för Norrviken. Arten förekom 2021 rikligt i närheten av sjöns utlopp (Sandsten & Kling 2021). De arter som växte djupast i sjön i augusti 2021 var hornsärv, smal vattenpest, uddslinke (3,2 m) och ålnate (Tabell 7).

Tabell 7. Förekomsten av de fyra vanligaste arterna av makrofyter (undervattensväxter) i Norrviken före (augusti 2017) respektive efter (augusti 2021) aluminiumbehandlingen av sjöns botten. Antal transekter (av 12) där arten förekom, andel drag med kratta där arten förekom, samt maximala djupet där arten förekom.

	Antal transekter där arten förekom		Andel krattdrag där arten förekom		Max djup där arten förekom		Kommentar
	2017	2021	2017	2021	2017	2021	
Hornsärv, <i>Ceratophyllum demersum</i>	9 av 12	11 av 12	40 %	50 %	3,0 m	3,3 m	
Smal vattenpest, <i>Elodea nuttallii</i>	6 av 12	8 av 12	21 %	33 %	2,5 m	3,2 m	Denna invasiva främmande art påträffades inte i Norrviken 2008 eller 2010.
Gul näckros, <i>Nuphar lutea</i>	6 av 12	5 av 12	18 %	21 %	2,7 m	2,7 m	
Ålnate, <i>Potamogeton perfoliatus</i>	6 av 12	7 av 12	10 %	12 %	2,8 m	2,9 m	

Bedömningar av den ekologiska statusen för Norrviken med avseende på makrofyter gjordes för inventeringarna som genomfördes före aluminiumbehandlingen (2008, 2010, 2017) respektive efter behandlingen (2021). Under 2021 hade den ekologiska statusen för undervattensväxterna förbättrats till *måttlig*, jämfört med *dålig/otillfredsställande* före behandlingen (Tabell 8). Näringsstatusen är uppskattad med hjälp av TMI (trofiskt makrofytindex) som är baserat på förekomsten av olika arter. Den ekologiska kvoten (EK) är det observerade trofindexet i förhållande till ett geografiskt bundet referensvärde. Antalet BG-arter är antalet av de observerade arterna som används för bedömningsgrunderna. Man mätte även djupfördelningen av undervattensväxter (UV-veg maxdjup) dvs. det största djupet där växterna noterades. Siktdjup mättes med siktdjupskiva och vattenkikare.

Jämförelsen av makrofyterna i Norrviken före och efter aluminiumbehandlingen visar att de vanligast förekommande undervattensväxterna ökade i utbredning och växte djupare under 2021 än under 2017. Det är ett tecken på att utvecklingen går åt rätt håll (Sandsten & Kling 2021). Det som oroar är att den invasiva främmande arten smal vattenpest (*Elodea nuttallii*) har ökat sin utbredning efter behandlingen. Arten är konkurrenskraftig i näringsrika vatten.

Tabell 8. Den ekologiska statusen med avseende på makrofyter i Norrviken under 2008, 2010, 2017 och 2021. Aluminiumbehandlingen genomfördes under april–juli 2020. Tabellen är från Sandsten & Kling (2021).

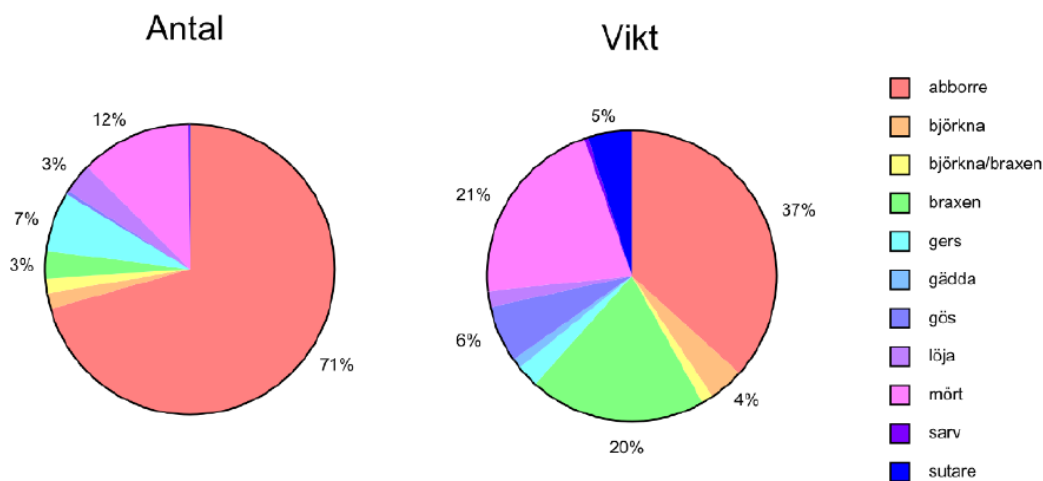
År	Trofiindex (TMI)	Ekologisk kvot (EK)	Status	Antal BG-arter	UV-veg. Maxdjup (m)	Siktdjup (m)
2008	4,6	0,49	Otilf./Dålig	10	3,2	1,1 – 2,4
2010	5,05	0,56	Otilf./Dålig	12	2,9	1,9
2017	4,69	0,51	Otilf./Dålig	10	3,0	1,9
2021	5,61	0,63	Måttlig	13	3,3	2,7

4.6 Fisk

Förändringar av fisksamhällets struktur ger information om effekter av miljöstörningar genom att olika fiskarter är olika känsliga för vattenkemiska, hydrologiska och fysikaliska förändringar. Fiskars roller som sekundär- och toppkonsumenter innebär att de vanligen har ett stort inflytande på övriga organismer i det akvatiska ekosystemet. Detta innebär att kunskap om fisksamhällets sammansättning och struktur ofta är nödvändig för att tolka förändringar inom lägre trofnivåer, till exempel växtplankton, djurplankton, bottenlevande djur och makrofyter (HaV 2016e).

Före aluminiumbehandling: Provfiske 2016

Under provfisket 2016 fångades totalt 10 olika arter: abborre, björkna, braxen, gers, gädda, gös, löja, mört, sarv och sutare. Abborren dominerade antalsmässigt medan den viktmissiga artsammansättningen var någorlunda jämnt fördelad mellan abborre, braxen och mört (Figur 23). Siktdjupet uppmättes till 3,3 m, vilket bedömdes som ett stort siktdjup.



Figur 23. Artsammansättningen i antal och vikt vid provfisket i Norrviken den 5–7 september 2016 (Figur 2 från Lindqvist & Jansson 2016).

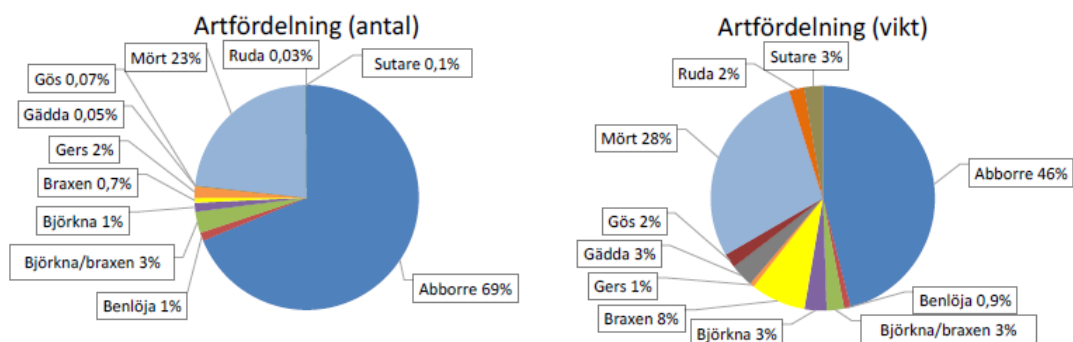
Totalt fångades 3 970 fiskar som tillsammans vägde 85,7 kg i de 32 bottennäten, vilket ger en medelfångst per ansträngning om 124 fiskar eller 2,7 kg. Den totala fångsten med bottennät i Norrviken var någorlunda jämnt fördelad mellan djupzonerna 0–3 m och 3–6 m, störst var fångsten dock vid djupzonen 3–6 m.

Fiskbestånden i Norrviken såg likartad ut jämfört med tidigare provfisken. Storleksfördelningarna visade att rekryteringen hos mört, björkna/braxen samt gös hade varit dålig under 2015. Ett fåtal gösar fångades under 2016 jämfört med tidigare provfisken, och endast vid 3–6 meters djup och 6–12 meters djup.

Klassificering av den ekologiska statusen med avseende på fisk enligt indexet EQR8 visade *måttlig* status för Norrviken 2016, dock nära gränsen till *god*. Indexet EQR8 används för att påvisa generell påverkan på fisksamhället genom att sammanväga parametrar som antalet inhemska arter, fisksamhällets diversitet, andel fiskätande abborrfisk och kvoten mellan abborre och karpfisk. Klassificering av näringspåverkan 2016 gjordes med näringsindexet EindexW3 och visade *otillfredsställande* status, nära gränsen till *måttlig*.

Efter aluminiumbehandling: Provfiske 2021

Resultaten från provfisket i augusti 2021 visade att Norrviken är en fisk- och artrik sjö dominerad av abborre. Fångsterna var större än under provfisket 2016, särskilt sett till antal fiskar per ansträngning, men också viktmässigt. Under 2021 fångades totalt 5 828 fiskar tillhörande 10 arter; abborre, benlöja, mört, gös, gädda, gers, ruda, sutare, braxen och björkna. Abborre dominerade fångsten numerärt, följt av mört (Figur 24). Övriga arter förekom i betydligt färre antal. Den genomsnittliga fångsten per nätansträngning var 182 individer per nät (jämfört med 124 per nät 2016) eller 3,3 kg fisk per nät (jämfört med 2,7 kg fisk per nät 2016).

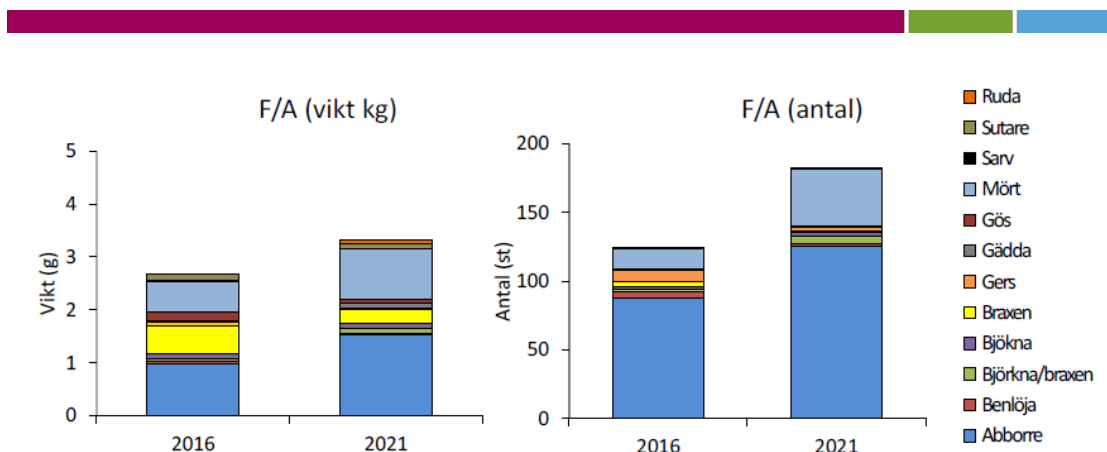


Figur 24. Artsammansättning redovisat som procent av totalantal och totalvikt från provfisket i Norrviken den 9–13 augusti 2021. Figur 3 från Bergh 2021.

Klassificering av den ekologiska statusen med avseende på fisk enligt indexet EQR8 visade *god* status för Norrviken 2021, dock nära gränsen till *måttlig*. Indexet EQR8 används för att påvisa generell påverkan på fisksamhället genom att sammanväga parametrar som antalet inhemska arter, fisksamhällets diversitet, andel fiskätande abborrfisk och kvoten mellan abborre och karpfisk. Klassificering av näringspåverkan 2021 (med hjälp av EindexW3) visade liksom 2016 på *otillfredsställande* status, nära gränsen till *måttlig*. Anledningen var ett stort antal fiskar per nätansträngning och en liten medellängd av abborre i fångsten. Klassificering av surhetspåverkan 2021 gjordes med surhetsindexet AindexW5 som indikerade *Hög* status 2021, då det inte fanns några tecken på försurningspåverkan utifrån fångsten av fisk.

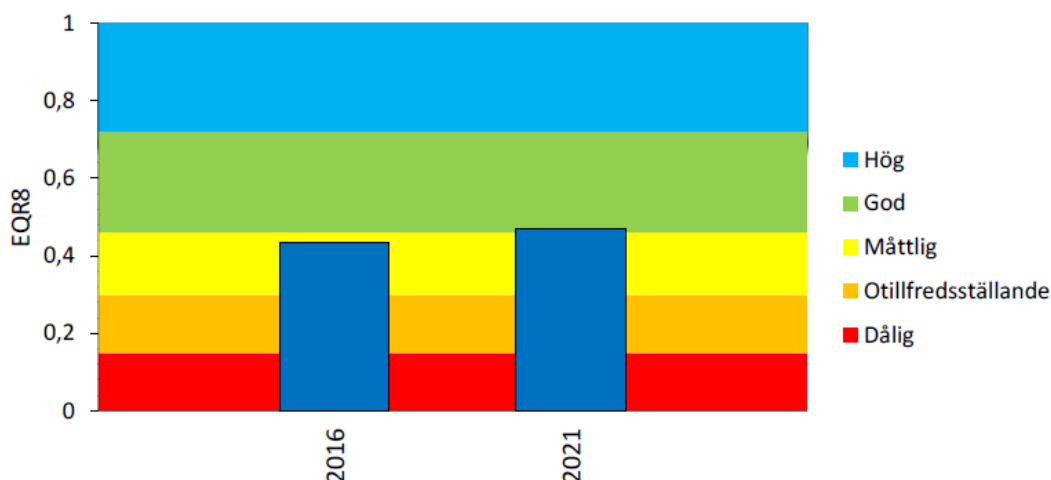
Jämförelser före och efter aluminiumbehandling

Jämförelser mellan provfisket 2016 och 2021 visade ingen tydlig förändring i fisksamhället ett år efter aluminiumbehandlingen av Norrviken. Antalet individer och total biomassa var dock större 2021. En annan skillnad var att provfisket 2016 uppvisade flest fiskar per nät (169) i djupintervallet 3–6 m medan fisket 2021 hade flest fiskar per nät (284) inom 0–3 m intervallet. I djupintervallet 6–12 m infångades 58 fiskar per nät 2016 men endast 19 fiskar per nät 2021. Artsammansättningen 2016 och 2021 var mycket lika och abborre var den dominerande arten sett till biomassa och antal vid båda provfiskena (Figur 25). Två arter skiljde sig mellan åren; sarv (som fångades 2016 men inte 2021) och ruda (som fångades 2021 men inte 2016).



Figur 25. Fångst per ansträngning (F/A) för provfisket i Norrviken före aluminiumbehandling (2016) och efter behandling (2021). Redovisat i biomassa per nät och antal fiskar per nät fördelat mellan de fångade arterna. (Figur 4 från Bergh 2021).

Norrvikens ekologiska status (EQR8) klassificerades som *måttlig* (på gränsen till *god*) under 2016 och som *god* (på gränsen till *måttlig*) under 2021. Under både 2016 och 2021 ligger de numerära värdena för indexet relativt nära gränsen mellan måttlig och god status (Figur 26).



Figur 26. Ekologisk status enligt indexet EQR8 för provfisket i Norrviken före aluminiumbehandlingen (september 2016) och efter behandlingen (augusti 2021). (Figur 5 från Bergh 2021).

Bedömningen av näringspåverkan på fisksamhället i Norrviken med hjälp av näringsindexet EindexW3, visade ingen skillnad före och efter aluminiumbehandlingen. Både 2016 och 2021 klassificerades näringsstatusen som *otillfredsställande*, nära gränsen till *måttlig* (Bergh 2021). Avvikelse från referensvärdet i form av ett större antal fiskar per nät samt en mindre medellängd hos abborre, ledde till bedömningen att det finns en hög näringstillgång i sjön. Framtida provfisket rekommenderas för att följa upp om exempelvis det klarare vattnet har gynnat rovfisk (gädda och abborre), vilket rimligtvis skulle kunna leda till ökad medellängd hos abborre och minskad mängd bytesfisk (Bergh 2021).

Det finns en risk att förekomsten av karpfiskar (ex. mört) i Norrviken kan påverka läckaget av fosfor från de behandlade sedimenten framöver. Karpfiskar födosöker på sjöns botten och rör upp sediment (s.k. bioturbation) vilket kan öka tillförseln av fosfor från botten till vattnet (Agstam-

Norlin 2022). En studie i en grund sjö i USA visade att förekomst av karp ökade det omblandade sedimentlagrets djup 2,5 gånger, från $5,0 \pm 1,2$ till $13,0 \pm 3,7$ cm (Huser m.fl. 2016).

4.7 Miljögifter i abborre

Metaller och miljögifter har analyserats i samlingsprover av muskel från abborrar fiskade i Norrviken under 2017 (Engdahl & Bergh 2017) och 2021 (Forssén m.fl. 2021). Både 2017 och 2021 utfördes fisket under augusti månad av personal från Medins Havs och Vattenkonsulter AB. År 2017 analyserades ett samlingsprov med stora fiskar (20 individer, 15–20 cm) och ett samlingsprov med små fiskar (30 individer, 9–11 cm). Under 2021 analyserades två samlingsprov av vardera storleksklassen, med 20 stora fiskar (15–20 cm) och 30 små fiskar (9–11 cm) per samlingsprov. Under 2017 utfördes miljögiftsanalyserna av ALS Scandinavia AB och IVL (endast PFAS). Under 2021 utfördes analyserna på ett av proven från respektive storleksklass av ovan nämnda laboratorium, medan återstående prover analyserades av SGS Analytical och Eurofins (endast PFAS). Dessutom analyserades 2021 ett prov från små abborrar fiskade 2017 av SGS Analytical och Eurofins.

De insamlade fiskarna var jämförbara vid de båda provtagningsåren vad gäller längd, vikt, konditionsfaktor och ålder av abborrar i samma storleksklass. Det fanns en liten skillnad i medelålder mellan individer i storleksintervallet 15–20 cm fångade 2017 jämfört med 2021, men de flesta individer var mellan 2 och 4 år gamla. De mindre abborrarna var av åldern 1+ både år 2017 och 2021.

Utifrån erhållna resultat är det svårt att dra några slutsatser kring förändringar i abborrars upptag av miljögifter efter aluminiumbehandlingen av sjöns botten. Möjligen indikerar resultaten en ökning av kvicksilverhalten och en minskning av halten PFOS. Undersökningen som gjordes 2021 utfördes endast ett år efter aluminiumbehandlingen, och troligen behövs mer tid för att bekräfta eventuella förändringar på miljögiftsbelastningen hos abborre i Norrviken.

Översiktliga resultat av miljögiftsanalyserna i fisk år 2017 och 2021

Resultaten från analyserna av miljögifter i abborre redovisas översiktligt i Tabell 9. För de flesta miljöfarliga ämnena låg de uppmätta halterna i abborre under miljö kvalitetsnormerna (MKN) som är beskrivna i Havs- och vattenmyndighetens författningssamling (HaV 2019). Undantag var kvicksilver och vissa högfluorerade (PFAS) ämnen, t.ex. PFOS.

Tabell 9. Översiktliga resultat från analyserna av miljögifter i abborre fångade i Norrviken (söder om Edsåns utlopp) före respektive efter aluminiumbehandlingen av sjöns botten. Analyserna utfördes på prover av abborre fångade i augusti 2017 (Engdahl & Bergh 2017) respektive augusti 2021 (Forssén m.fl. 2021).

Parameter	2017	Kommentar 2017	2021	Kommentar 2021
Metaller		Halterna av metaller var låga till måttligt höga.		Halterna av metaller var låga till måttligt höga.
Kadmium	Under rapporteringsgränsen		Under rapporteringsgränsen	
Bly	Under rapporteringsgränsen		Under rapporteringsgränsen	
Nickel	Under rapporteringsgränsen		Under rapporteringsgränsen	
Kvicksilver	Halterna av kvicksilver 2017 överskred miljö kvalitetsnormen (MKN) för ytvatten, vilket är ett generellt	Under 2017 var halten av kvicksilver högst hos små abborrar. Detta väckte vissa frågetecken, eftersom kvicksilverhalter	Halterna av kvicksilver 2021 överskred miljö kvalitetsnormen (MKN) för	Under 2021 var halterna av kvicksilver högre i samlingsprov av större abborrar jämfört med mindre abborrar.

Parameter	2017	Kommentar 2017	2021	Kommentar 2021
	fenomen i ytvatten i Sverige.	brukar vara högre hos större/äldre fiskar.	ytvatten, vilket är ett generellt fenomen i ytvatten i Sverige.	
PCB	Under rapporteringsgränsen	Samtliga analyserade substanser/kongener av PCB uppmättes i halter under rapporteringsgränsen.	Under rapporteringsgränsen	Flertalet analyserade substanser/kongener av PCB uppmättes i halter under rapporteringsgränsen. Halterna av PCB-kongenerna sammanslagna till PCB 7 underskred i samtliga fall miljö kvalitetsnormen för särskilt föroreningämnen, polykloretrade bifenyler (PCB) (125 µg/kg våtvikt).
PBDE	Under rapporteringsgränsen	Samtliga analyserade substanser/kongener av PBDE uppmättes i halter under rapporteringsgränsen. Rapporteringsgränsen överskred den lågt satta miljö kvalitetsnormen för bromerade difenyletrar (PBDE) (0,0085 µg/kg våtvikt).	Under rapporteringsgränsen	Samtliga PBDE-kongener uppmättes i halter under rapporteringsgränsen. Rapporteringsgränsen överskred den lågt satta miljö kvalitetsnormen för bromerade difenyletrar (PBDE) (0,0085 µg/kg våtvikt).
PFAS	Merparten av substanserna uppmättes under rapporteringsgränsen.	För de PFAS-substanser där halter var över rapporteringsgränsen noterades högre halter i ett samlingsprov för den mindre storleksklassen av abborre, vilket var svårt att förklara.	Merparten av PFAS-substanserna uppmättes under rapporteringsgränsen.	För de PFAS-substanser där halter registrerades över rapporteringsgränsen noterades högre halter i samlingsprov för den mindre storleksklassen av abborre.
PFOS	I båda proverna var halterna av PFOS högre än miljö kvalitetsnormen på 9,1 ng/g våtvikt.		I samtliga prover var halterna av PFOS tydligt högre än miljö kvalitetsnormen på 9,1 ng/g våtvikt.	Noterbart är att halterna av PFOS var högre i samlingsproverna från individer i det mindre storleksintervallet än i samlingsproverna från större individer. Högst halt av PFOS uppmättes i provet med små individer fiskade 2017.

Metaller

Både före och efter aluminiumbehandlingen var halterna av metaller i abborre generellt låga till måttligt höga. För tre av metallerna, kadmium, bly och nickel uppmättes halter under rapporteringsgränsen. Eftersom endast muskelprover (och inte leverprover) analyserades i abborre från Norrviken ansåg Forssén m.fl. (2021) att metallhalterna var svåra att utvärdera.

Halterna av kvicksilver i abborre från Norrviken överskred miljö kvalitetsnormen (MKN) för ytvatten (0,02 mg/kg våtvikt) både före och efter aluminiumbehandlingen, hos båda storleksklasserna av abborre. Halter av kvicksilver i fisk som överskrider MKN för ytvatten är ett generellt fenomen i ytvatten i Sverige (HaV 2019). Halterna av kvicksilver hos abborre från Norrviken var dock mycket lägre än gränsvärdet som gäller inom EU för saluföring av fisk (0,5 mg/kg våtvikt). Under 2017 var halten av kvicksilver högst i ett av två samlingsprov från de mindre abborrarna, vilket väckte vissa frågetecken, eftersom större och äldre fiskar brukar ha högre halter av kvicksilver. Det andra samlingsprovet från små abborrar hade en hälften så hög halt. Det kan hända att

en provförväxling skedde, men detta har inte kunnat styrkas (Forssén m.fl. 2021). Under 2021 var halten av kvicksilver högst hos de äldre fiskarna, som förväntat. De högsta halterna av kvicksilver i abborre uppmättes i två samlingsprov av stora fiskar från 2021 (0,082 respektive 0,094 mg/kg våtvikt) och den lägsta kvicksilverhalten uppmättes i ett av två samlingsprov av små abborrar från 2017 (0,029 mg/kg våtvikt).

PCB, Polyklorerade bifenyler

Halterna av de sju PCB-kongenerna sammanslagna till PCB 7 underskred i samtliga fall miljökvalitetsnormen för polyklorerade bifenyler (PCB) (125 µg/kg våtvikt).

PBDE, Bromerade flamskyddsmedel

Halterna av Bromerade difenyletrar (PBDE) var för samtliga kongener under rapporteringsgränsen. Rapporteringsgränsen överskred den lågt satta miljökvalitetsnormen för bromerade difenyletrar (0,0085 µg/kg våtvikt).

PFAS, Högfluorerande ämnen

För merparten av PFAS-substanserna låg halterna hos abborre under rapporteringsgränsen, både under 2017 och 2021. För de PFAS-substanser där halterna låg över rapporteringsgränsen noterades högre halter i samlingsproverna för den mindre storleksklassen av abborre, jämfört med samlingsproverna från större individer.

I samtliga fall var halterna av PFOS (Perfluoroktansulfonsyra) tydligt högre än miljökvalitetsnormen på 9,1 ng/g våtvikt (HaV 2019). PFOS-halterna var högre i samlingsprover av små abborrar än i samlingsprover av större abborrar, både under 2017 och 2020. Halterna av PFOS verkar vara lägre under 2021 jämfört med 2017. De högsta halterna av PFOS uppmättes i samlingsproverna av små abborrar från 2017. Även i samlingsproverna av större abborrar, var halten av PFOS något högre 2017 jämfört med 2021. Enligt Forssén m.fl. (2021) är det svårt att förklara varför halten av PFAS-ämnen varierade mellan olika storleksklasser av abborre, eftersom det saknas kunskap om vilka faktorer som styr bioackumuleringen av PFAS.

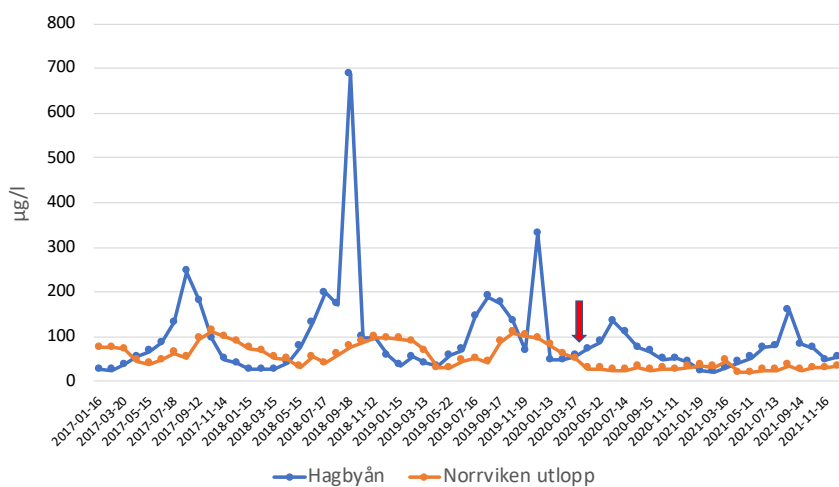
PFAS är en grupp mycket stabila (persistenta) ämnen som är mycket långlivade i miljön. PFAS-ämnen som är fett- och vattenavstötande lagras inte i fettvävnad som många andra bioackumulerande ämnen, utan de binder i stället till proteiner och lagras i andra organ i kroppen, till exempel i levern och i blodet (Kemikalieinspektionen 2022).

4.8 Betydelsen av aluminiumbehandlingen av Norrviken – idag och i framtiden

Norrviken visar tecken på att aluminiumbehandlingen har lyckats som restaureringsåtgärd. Vattnepelaren har fått minskade halter av fosfor och siktdjupet har förbättrats. Makrofytförekomsten har ökat i djup och utbredning, och biomassan av växtplankton har varit lägre efter behandling. De minskade halterna i Norrvikens utlopp (Edsån) indikerar även att mindre fosfor transporteras nedströms, närmast till Edssjön (i nuläget *otillfredsställande* status med avseende på näringsämnen enligt VISS (2022b)). Halterna av fosfor i utloppet har efter behandlingen övervägande varit lägre än halterna i Hagbyån, som tillrinner Norrviken (Figur 27).

I en analys beställd av Oxunda Vattensamverkan (Ekologigruppen AB & Naturvatten i Roslagen AB 2011) uppskattades belastningen till Norrviken vara totalt cirka 1,8 ton fosfor årligen. De beräkningar som utfördes visade på att fosforbelastningen till Norrviken fördelade sig med cirka 30

procent vardera på läckage från sediment (internbelastning), dagvatten, samt tillrinning från Hagbyån. I och med aluminiumbehandlingen har den interna belastningen minskat och den externa belastningen (dagvatten, Hagbyån) får en relativt större inverkan på Norrvikens näringshalter. Enligt Agstam-Norlin (2022) påverkar den externa belastningen vilken livslängd en aluminiumbehandling får. Om den externa belastningen är stor och ny sedimentation av fosforrikt sediment sker, ovanpå det behandlade lagret, riskeras en återgång mot en internbelastningssituation. Det är därför viktigt att även fortsättningsvis bevaka och vidta åtgärder beträffande den externa belastningen.



Figur 27. Halter av totalfosfor ($\mu\text{g/l}$) i Hagbyån och Norrvikens utlopp (Edsån). Röd pil indikerar start för aluminiumbehandling i Norrviken.

Behandlingens livslängd har enligt studier visat sig påverkas även av sjöns egenskaper, såsom djup, förhållandet mellan avrinningsområdets yta i förhållande till sjöns yta, samt förekomsten av karpfiskar som födosöker på sjöns botten (Agstam-Norlin 2022). Djupa (dimiktiska) sjöar (till exempel Norrviken) som behandlats med aluminium visar generellt mer långlivade positiva effekter (medel 21 år) än grunda (polymiktiska) sjöar (medel 5,7 år). En stor förekomst av karpfisk kan påverka livslängden av behandlingen negativt, särskilt i grunda sjöar (Agstam-Norlin 2022).

Provtagningar i Norrviken under de följande åren kommer att vara av stor betydelse, både vad gäller övervakning av behandlingens livslängd samt för att följa upp förväntade ytterligare statusförbättringar gällande de biologiska parametrarna. Växtplanktonbiomassan har minskat efter behandling men status är fortsatt *måttlig*. Det är möjligt att ytterligare tid behövs för att växtplanktonsamhället ska ställa om sig till den nya trofinivån och uppvisa *god* status. De vanligaste makrofyterarterna har ökat i utbredning och i djup, men troligtvis behövs mer tid för att andra, mer ovanliga, arter ska etablera sig och för att god status ska uppnås. Bottenfaunan, som initialt uppvisade en något försämrad status efter behandling, förväntas uppvisa bättre status under kommande år (Smeltzer m.fl. 1999). Det behövs även framtida provfisken för att fastställa statusförbättringen samt för att följa upp eventuella förändringar vad gäller miljögifter hos fisk. Det är utifrån tillgängligt underlag svårt att dra slutsatser kring förändringar i halter av kvicksilver och PFAS. Vad gäller PFAS-ämnen bör eventuellt prover från både muskel och lever tas vid kommande undersökningar.

Vid kommande undersökningar bör absorbans läggas till kontrollprogrammet och mätas. Absorbans är en hjälpparameter vid statusbedömning av totalfosfor enligt HaV (2019).

5 Slutsatser

Resultaten från undersökningarna före respektive efter aluminiumbehandlingen sammanfattas och relateras till förväntade projektresultat (mål) i tabell 10 och i respektive avsnitt nedan. Förväntade resultat har hittills uppnåtts för näringsämnen, siktdjup och fisk (med liten marginal). För växtplankton och makrofyter har målen delvis uppfyllts medan status ännu är oförändrad/försämrad vad gäller syrgas och bottenfauna. Utifrån tillgängligt datamaterial är det i nuläget svårt att dra några slutsatser kring måluppfyllnad angående djurplankton och miljögifter i fisk.

Tabell 10. Statusklassning före respektive efter aluminiumbehandling för olika parametrar kopplat till förväntade resultat (mål) samt bedömd måluppfyllnad.

Parameter	Status före	Status efter	Förväntade resultat (mål)	Måluppfyllnad
Näring (tot-P)	Dålig ¹	God ¹	Minskade halter av fosfor i vattenpelaren och förbättring av näringsstatus från dålig till god/hög.	Ja
Siktdjup	Måttlig ¹	Hög ¹	Förbättrade ljusförhållanden som ett resultat av minskad grumlighet, mätt som ökat siktdjup (Secchi-djup). Förbättrad status vad gäller ljusförhållandena, dvs en ökning från måttlig status till god/hög.	Ja
Syrgas	Dålig	Dålig	Förbättrade syreförhållanden i de djupaste delarna av sjön som ett resultat av mindre sedimentering av partikulärt organiskt material som förbrukar syre.	Nej
Växtplankton	Måttlig	Måttlig	Minskad biomassa av växtplankton och minskad grumlighet. Minskade algbloomingar och generell minskning av biomassan växtplankton. Statusklassningen av växtplankton ökar från måttlig god/hög.	Delvis, biomassan har minskat men status har ännu inte förbättrats.
Djurplankton	Näringspåverkan (expertbedömning)	Näringspåverkan (expertbedömning)	Ökad utbredning av djurplankton.	Svårt att utvärdera om utbredningen har ökat utifrån tillgängligt dataunderlag. Expertbedömning indikerar fortsatt näringspåverkan.
Bottenfauna	Måttlig	Otillfredsställande	Förbättrade syreförhållanden i de djupaste delarna av sjön som ett resultat av mindre sedimentering av partikulärt organiskt material som förbrukar syre.	Nej
Makrofyter	Otillfredsställande/Dålig	Måttlig	Ökad utbredning av makrofyter, både vad gäller djupfördelning och ytmässigt. Exempelvis ökad utbredning av makrofyter som ett resultat av förbättrade ljusförhållanden. En ökning av statusen för makrofyter från dålig till god/hög.	Delvis, status har förbättrats med uppnår ännu ej god/hög. De vanligaste förekommande arterna har ökat i djup och utbredning.
Fisk	Måttlig	God	Ökad utbredning av fisk, både vad gäller djupfördelning och ytmässigt. Statusen hos fisksamhällena i sjön (statusklassificering med hjälp av bedömningsindexet EQR8) ska öka från måttlig till god.	Ja, status har förbättrats till god, dock med liten marginal.
Miljögifter i fisk	Förhöjda halter av kvicksilver och PFOS.	Förhöjda halter av kvicksilver och PFOS.	Förbättrade kunskaper om effekterna av aluminiumbehandlingen på den interna massbalansen i sjön och effekterna på sjöns växter och djur. Man ska kunna övervaka statusen vad gäller miljögiftsbelastningen hos fisk och tillämpa åtgärder för att minska risken för negativa trender i sjön och avrinningsområdet.	Ytterligare undersökningar behövs för att följa och bekräfta eventuella förändringar.

¹Bedömning gjord på augusti-värden före respektive efter aluminiumbehandling.

Lägre halter av näringsämnen

- I sjöns djupbassäng har näringsstatusen med avseende på totalfosfor förbättrats från *dålig* före aluminiumbehandlingen till *god* efter behandlingen, baserat på augusti-värden.
- Även vid Norrvikens utlopp har näringsstatusen med avseende på totalfosfor förbättrats från *god* status före aluminiumbehandlingen till *hög* status efter behandlingen.

Klarare vatten

- Förbättrade ljusförhållanden, mätt som ökat siktdjup (Secchi-djup), kan ses vid jämförelse mellan mätningar före respektive efter aluminiumbehandlingen.
- Status har förbättrats vad gäller siktdjupet och ökat från *måttlig* till *hög*, baserat på augusti-värden före respektive efter behandling.

Fortsatt syrebrist i den djupaste delen av sjön

- Status med avseende på syrgas bedöms som *dålig* både före och efter aluminiumbehandlingen.
- Det är möjligt att det ännu är för tidigt för att se förbättringar i syrgasförhållanden och att dessa kan ses längre fram.
- Resultaten indikerar att fortsatt miljöövervakning behövs för att följa upp syreförhållandena under flera år framöver.

Fortsatt måttlig status hos växtplanktonsamhället

- Biomassan hos växtplankton i den centrala delen av Norrviken varierade mellan åren men var allra lägst i juli 2021, troligen som en följd av aluminiumbehandlingen.
- Den ekologiska statusen för Norrvikens växtplanktonsamhälle visade dock ingen förbättring, utan bedömdes som *måttlig* (Norrviken 3) både före och efter aluminiumbehandlingen.
- Fortsatt miljöövervakning behövs för att följa upp växtplanktonsamhället under flera år.

Djurplanktonsamhället visar näringsrika förhållanden

- Djurplanktonsamhället i Norrviken är typiskt för näringsrika sjöar och förekomsten av småväxta arter tyder på ett betydande predationstryck från planktonätande fisk.
- Biovolymen av djurplankton var lägst efter aluminiumbehandlingen, men variationen mellan år innebär att det ännu är för tidigt för att säga om behandlingen har haft någon bestående effekt på djurplanktonsamhällets biovolym. Fortsatt miljöövervakning behövs.
- Larver av vandringsmussla förekom generellt rikligt i Norrviken under sommaren, med undantag år 2018 och 2021. Vuxna vandrarmusslor är effektiva filterare och kan därför ha påverkat artsammansättningen och biovolymen hos både växt- och djurplankton.

Bottenfaunan visar fortsatt näringsrika och syrefattiga förhållanden

- Analyser av bottenfauna indikerar *otillfredsställande* status, stor näringsbelastning och dåligt med syre.
- Förekomsten av mundelsskador hos fjädermygglarverna indikerade att bottendjuren var påverkade av miljögifter.

- Den ekologiska statusen för bottenfaunan visade ingen förbättring efter aluminiumbehandlingen av Norrvikens botten, utan snarare en försämring från *måttlig* till *otillfredsställande*.
- Det är ännu för tidigt att säga vilken långsiktig påverkan aluminiumbehandlingen kommer ha på bottenfaunasamhället.

Något bättre status för makrofyter

- Statusen för makrofyter har förbättrats från *otillfredsställande/dålig* under 2008, 2010 och 2017 till *måttlig* under 2021, vilket kan vara ett tecken på förbättrade ljusförhållanden i sjön efter aluminiumbehandlingen 2020.
- De vanligast förekommande makrofyterna har ökat i Norrviken och de fyra dominerande arterna hittades djupare under 2021 än under 2017. Det är dock något oroande att den invasiva främmande arten Smal vattenpest (*Elodea nuttallii*) har ökat sin utbredning i sjön.
- Fortsatt miljöövervakning behövs för att följa upp förekomsten och utbredningen av Norrvikens makrofyter en längre tid efter behandlingen.

Ingen tydlig förändring i status för fisksamhället i sjön

- Jämförelser mellan provfisket 2016 och 2021 visade ingen tydlig förändring i fisksamhället ett år efter aluminiumbehandlingen av Norrviken.
- Utifrån provfiskeresultatet klassificerades Norrvikens ekologiska status enligt indexet EQR8 som *måttlig* (på gränsen till *god*) under 2016 och som *god* (på gränsen till *måttlig*) under 2021. Under både 2016 och 2021 ligger de numerära värdena för indexet relativt nära gränsen mellan *måttlig* och *god* status, så det finns inga tydliga tecken på förbättring av den ekologiska statusen med avseende på fisk.
- Bedömningen av näringspåverkan på fisksamhället i Norrviken med hjälp av näringsindexet EindexW3, visade ingen skillnad före och efter aluminiumbehandlingen, utan näringsstatusen var fortsatt *otillfredsställande*, nära gränsen till *måttlig*.

Miljögifter i abborre: möjlig ökning av kvicksilverhalten, möjlig minskning av PFOS

- Undersökningarna visade inte på några tydliga förändringar i upptaget av miljögifter i abborre efter aluminiumbehandlingen av sjöns botten. Vad gäller enskilda substanser indikerar resultaten en möjlig ökning av kvicksilverhalten och en möjlig minskning av halten av vissa högfluorerade ämnen (PFOS).
- Halterna av kvicksilver i abborre från Norrviken överskred miljökvalitetsnormen (MKN) för ytvatten, vilket är ett generellt fenomen i ytvatten i Sverige. Kviksilverhalten var dock mycket lägre än gränsvärdet som gäller inom EU för saluföring av fisk.
- Det fanns vissa oklarheter kring de uppmätta halterna av kvicksilver i abborre (t.ex. hos olika storlekar av fisk samt i samlingsprover jämfört med individuella fiskar). Dessa oklarheter föranleder ytterligare analyser av kvicksilver i abborre framöver.
- Halterna av högfluorerade ämnen (PFAS) var högre hos små storleksklasser av abborre, men det är oklart varför. Halterna av PFOS var lägre under 2021 jämfört med 2017.
- Undersökningen 2021 genomfördes endast ett år efter aluminiumbehandlingen, och troligen behövs mer tid för att bekräfta eventuella förändringar med avseende på miljögiftsbelastningen på abborre i Norrviken.

Referenser

- Agstam-Norlin, O. (2022). Restoration of Nutrient Rich Lakes -Towards Better Understanding of Sediment Phosphorus Availability and Management. Doctoral Thesis No. 2022:2. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Arvidsson M. (2010). Inventering av makrofyter 2010. Naturvatten i Roslagen AB, rapport 2010:29.
- Bergh R. (2021). Nätprovfiske i Norrviken 2021. Vattenundersökningar inom ramen för LIFE IP Rich Waters action C13. Medins Havs och Vattenkonsulter AB, 2021-11-05.
- Ekologigruppen AB och Naturvatten i Roslagen AB (2011). Mot god status i Norrviken – en metodbeskrivning för åtgärdsinriktat arbete inom vattenförvaltningen med Norrviken som modell. Oxunda Vattensamverkan.
- Engdahl A. och Bergh R. (2017). Miljögifter i abborre i Norrviken. Vattenundersökningar inom ramen för LIFE IP Rich Waters action C13. Medins Havs- och Vattenkonsulter AB. 2017-11-30.
- Forssén M., Johansson K. och Meissner Y. (2021). Miljögifter i abborre i Norrviken 2021. Vattenundersökningar inom ramen för LIFE IP Rich Waters action C13. Medins Havs och Vattenkonsulter AB. 2021-11-29.
- Gustafsson A. (2008). Vattenväxter och ekologisk status. En inventering av åtta sjöar i Stockholms län 2008. Naturvatten i Roslagen AB, rapport 2008:29. Länsstyrelsen i Stockholms län, rapport 2009:03.
- HaV (2013). Havs- och vattenmyndighetens författningssamling. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten, HVMFS 2013:19.
- HaV (2015). Havs- och Vattenmyndigheten. Makrofyter i sjöar version 3, 2015-06-26.
- HaV (2016a). Havs- och Vattenmyndigheten. Handledning för miljöövervakning. Programområde sötvatten. Undersökningstyp: Vattenkemi i sjöar. Version 1:4, 2016-11-01
- HaV (2016b). Havs- och Vattenmyndigheten. Handledning för miljöövervakning. Programområde sötvatten. Undersökningstyp: Vattenkemi i vattendrag. Version 1:4, 2016-11-01
- HaV (2016c). Havs- och Vattenmyndigheten. Handledning för miljöövervakning. Programområde sötvatten. Undersökningstyp: Växtplankton i sjöar. Version 1:2, 2016-11-01
- HaV (2016d) Havs- och Vattenmyndigheten. Handledning för miljöövervakning. Programområde sötvatten. Undersökningstyp: bottenfauna i sjöars profundal och litoral. Version 2:1, 2016-11-01
- HaV (2016e). Havs- och vattenmyndigheten. Handledning för miljöövervakning. Programområde: Sötvatten. Undersökningstyp: Provfiske i sjöar. Version 1:4, 2016-09-08
- HaV (2018a). Bottenfauna i sjöar – vägledning för statusklassificering. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:34.
- HaV (2018b). Växtplankton i sjöar – vägledning för statusklassificering. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:39.
- HaV (2019). Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. HVMFS 2019:25.
- Huser B.J. och Fölster J. (2013). Prediction of reference phosphorus concentrations in Swedish lakes. Environ Sci Technol. 47(4):1809–15.
- Huser B.J., Przemyslaw G.B., Chizinski C.J. och Sorensen P.W. (2016). Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on sediment mixing depth and mobile phosphorus mass in the active sediment layer of a shallow lake. Hydrobiologia 763: 23–33.
- Kemikalieinspektionen (2022). Högfluorerade ämnen - PFAS. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/kemiska-amnen-och-material/hogfluorerade-amnen---pfas>
- Kling S. (2021). Bottenfauna i Norrviken 2021. Calluna AB.
- LIFE IP Rich Waters (2022). Aluminiumfällning i Norrviken: *Aluminiumfällning i Norrviken - LIFE IP Rich Waters*. Tillgänglig: <https://www.richwaters.se/vara-projekt/aluminiumfallning-i-norrviken/>

- Lindqvist U. och Jansson T. (2016). Standardiserat provfiske i Norrviken, Edssjön och Oxundasjön 2016. Naturvatten i Roslagen AB, Rapport 2016:38.
- Länsstyrelsen Stockholm (2015a). Undersökning av plankton i 13 sjöar i Stockholms län 2014. Fakta 2015:8.
- Länsstyrelsen Stockholm (2015b). Bottenfauna i Stockholms län 2014. En undersökning av profundal- och sublitoralfauna i Garnsviken, Norrviken och Örlången. Fakta 2015:9.
- Länsstyrelsen Stockholm (2016). Undersökning av växtplankton i tolv sjöar 2015. Fakta 2016:5.
- Länsstyrelsen Stockholm (2017). Undersökning av växt- och djurplankton i 20 sjöar 2016. Fakta 2017:5.
- Länsstyrelsen Stockholm (2018). Växt- och djurplankton i 26 sjöar. Undersökning i Stockholms län 2017. Rapport 2018:11.
- Länsstyrelsen Stockholm (2019). Växt- och djurplankton i 17 sjöar. Undersökning i Stockholms län 2018. Rapport 2019:21.
- Länsstyrelsen Stockholm (2020). Växt- och djurplankton i 11 sjöar. Undersökning i Stockholms län 2019. Rapport 2020:7.
- Länsstyrelsen Stockholm (2021). Växt- och djurplankton i 13 sjöar i Stockholms län. Rapport 2021:13.
- Länsstyrelsen Stockholm (2022). Växt- och djurplankton i sex sjöar i Stockholms län. Rapport 2022:8.
- Naturvårdsverket (2010). Handledning för miljöövervakning. Programområde: Sötvatten. Undersökningstyp: Bottenfauna i sjöars profundal och sublitoral. Version 2:0, 2010-03-01.
- Olbers M. (2017). Makrofyter i Norrviken 2017. Calluna AB.
- Pelagia Nature & Environment AB (2018a). Växtplankton Norrviken 2017. Analysrapport till Calluna AB 2018-01-08
- Pelagia Nature & Environment AB (2018b). Växtplankton Norrviken 2018. På uppdrag av Calluna AB. Analysrapport 2018-12-03.
- Pelagia Nature & Environment AB (2020a). Växtplankton Norrviken 2019. På uppdrag av Calluna AB. Analysrapport 2020-01-31.
- Pelagia Nature & Environment AB (2020b). Växtplankton Norrviken 2020. På uppdrag av Calluna AB. Analysrapport 2020-11-06.
- Pelagia Nature & Environment AB (2021a). Undersökning, växtplankton: Sollentuna life 2021. På uppdrag av Calluna AB. Analysrapport 2021-10-19.
- Pelagia Nature & Environment AB (2021b). Undersökning, djurplankton: Plankton Stockholm 2021. På uppdrag av Calluna AB. Analysrapport 2021-11-19. Reviderad 2021-12-22.
- Sandsten H. och Kling S. (2021). Makrofyter i Norrviken 2021. Calluna AB.
- SIS (2015). Svensk Standard, SS-EN 14757:2015. Vattenundersökningar- provtagning av fisk med översiktsnät.
- SLU Artdatabanken (2020). Rödlistade arter i Sverige 2020. SLU, Uppsala.
- Smeltzer E., Kirn R.A. och Fiske S. (1999). Long-term Water Quality and Biological Effects for Alum Treatment of Lake Morey, Vermont. Journal of Lake and Reservoir Management 15(5): 173–184.
- Sollentuna kommun, Upplands Väsby kommun och Länsstyrelsen i Stockholm (2017). Kontrollprogram för LIFE IP Rich Waters action C13 –Bottenbehandling av Norrviken. 2017-03-16
- Sollentuna kommun (2021). Vattenplan 2020. Tillgänglig: <https://prod.sollentuna.se/bygga-bo--miljo/miljo--och-klimatarbete/Vattenvard/vattenplan-2020/>
- Sollentuna kommun (2022). Bottenbehandling av sjön Norrviken - Norrviken2020. Tillgänglig: <https://www.sollentuna.se/bygga-bo--miljo/miljo--och-klimatarbete/Vattenvard/vattenprojekt/norrviken-2020/>

Tyréns (2022). Utvärdering av sociala och ekonomiska effekter av Rich Waters delprojekt. Frida Franzén och Mats Svensson, Tyréns AB, 31 januari 2022. Tillgänglig: <https://www.richwaters.se/utvardering-av-sociala-och-ekonomiska-effekter-av-rich-waters-delprojekt/>

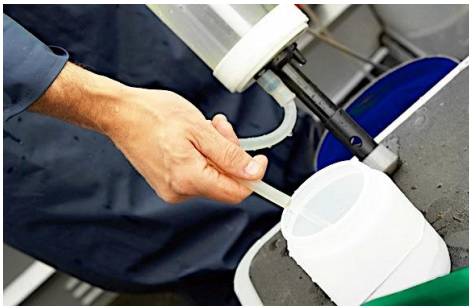
VISS (2022a). Vatteninformationssystem Sverige. [online] Tillgänglig: <<http://viss.lansstyrelsen.se>> [2022-04-14].

VISS (2022b). Vatteninformationssystem Sverige. [online] Tillgänglig: <<http://viss.lansstyrelsen.se>> [2022-03-10].



Bilaga 1

Provtagningsfrekvens



Hemsida: www.calluna.se • E-post: info@calluna.se • Telefon växel: 013-12 25 75
Huvudkontor: Calluna AB, Linköpings slott, 582 28 Linköping