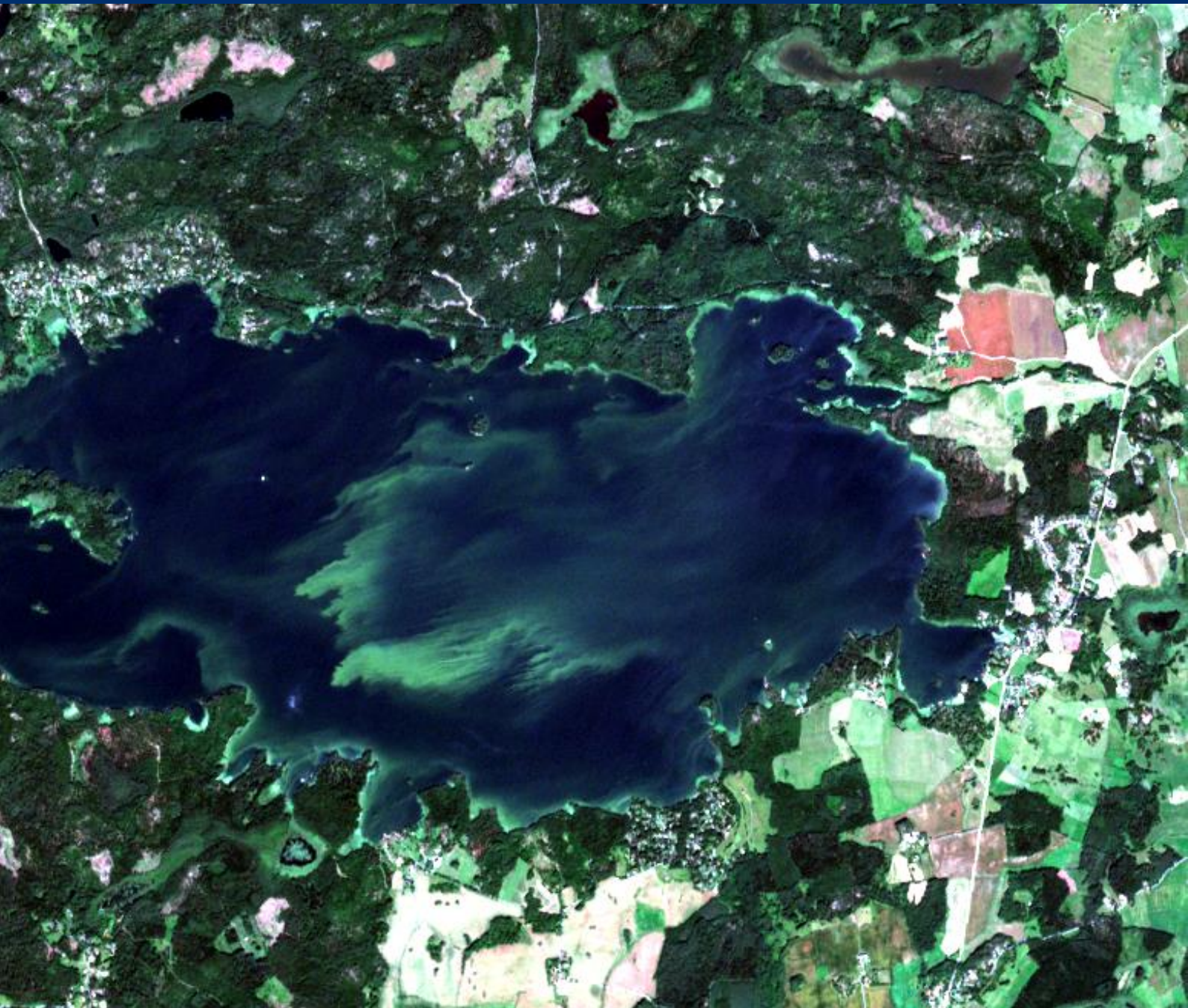




Länsstyrelserna

Stockholms, Södermanlands och Östergötlands län



Övervakning av vattenkvalitet med satellit i sjöar i Stockholm, Södermanlands och Östergötlands län

Operativ övervakning med hjälp av satelliterna Sentinel-3 och Sentinel-2

Dnr (Länsstyrelsen Stockholm)	502-74820-2021
Rapportnummer (Länsstyrelsen Stockholm)	R2023:1
ISBN	978-91-7937-203-3
Beskrivning	Projektrapport
Kund	Länsstyrelserna i Stockholm, Södermanland och Östergötland
Period	2021–2022
Kontakt (Brockmann Geomatics)	Petra Philipson Brockmann Geomatics, Stockholm Email: petra.philipson@brockmann-geomatics.se
Kontakt (Länsstyrelsen Stockholm)	Joakim Pansar Länsstyrelsen i Stockholm, Email: joakim.pansar@lansstyrelsen.se
Datum	2023-01-01

Förord

EU:s jordobservationsprogram Copernicus är ett operationellt program med ett antal satellitburna sensorer för insamling av data för miljö- och klimattillämpningar. Copernicus tar steget från forskning och utveckling till rutindrift och ska under en lång tid framöver förse samhället med data. De olika satelliterna i programmet kallas Sentinel (1–6) och är utformade med fokus på olika tillämpningar. Varje Sentinel kan ha flera sensorer och ett antal av dem kan användas för akvatiska tillämpningar. För att säkra tillgången på data är målet att det hela tiden ska finnas minst två satelliter av samma typ i omloppsbanan (till exempel Sentinel-3a och -3b). De största fördelarna med satellitbildstekniken är den stora geografiska täckningen och den mer än dagliga passagen över Sveriges sjöar och Östersjön.

På många håll utvecklas nu data och informationstjänster, baserat på Copernicusprogrammet, som ska hjälpa en slutanvändare att få tillgång till data och vidareförädlad information på ett enklare sätt. Brockmann Group har utvecklat Copernicusbaserade tjänster och verktyg som riktar sig till myndigheter, organisationer, forskare och kommersiella aktörer som har behov av data och information för övervakning och förvaltning av sjöar och kustområden. Vattenkvalitetsinformationen är baserad på satellitdata från Sentinel-3 OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) och Sentinel-2 MSI (Multi-Spectral Instrument). Den av vattnet reflekterade solstrålningen registreras av sensorerna som sedan tolkas och omvandlas till olika vattenkvalitetsparametrar, till exempel klorofyll, turbiditet och siktdjup. Bildbearbetningen resulterar i koncentrationskartor för de olika parametrarna som sedan kan vidareförädlas och anpassas efter användarens behov och önskemål.

Under 2021–2022 har Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands och Östergötlands län, tillsammans med Brockmann Geomatics, utvärderat möjligheten att använda Copernicusdata för operativ miljöövervakning av och åtgärdsuppföljning i ett antal av länens sjöar. Projektet har finansierats av Havs- och Vattenmyndigheten inom ramen för miljöövervakningsanslaget 1:2. Petra Philipson vid Brockmann Geomatics har författat och sammanställt rapporten. Joakim Pansar vid Länsstyrelsen i Stockholms län har bidragit med kapitel 4.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	5
Studieområde	6
Satellitdata	7
Framställning av vattenkvalitetsinformation	8
Sentinel-3	8
Sentinel-2	11
Sammanställning av vattenkvalitetsinformation	15
Sentinel-3	15
Sentinel-2	16
Summering av resultatet	17
Tillämpningsexempel	20
Åtgärdsuppföljning – Aluminiumbehandling av Orången	20
Statusklassning – Yngern och Hålmaren	21
CyanoAlert Viewer och App	23
Levererade projektresultat	25
Dataråttigheter	26
Referenser	27
Bilaga 1 – Sjöar & stationer	28
Bilaga 2 - Viewer	30
Geografisk täckning	30
Variabler	30
Platser	31
Licenser	31
Bilaga 3 – Tidsserier Sentinel-3	32
Bilaga 4 – Tidsserier Sentinel-2	38

Sammanfattning

Under 2021–2022 har Brockmann Geomatics tillsammans med Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands och Östergötlands län utvärderat möjligheten använda satellitdata från Copernicusprogrammets satelliter Sentinel-2 och Sentinel-3 för operativ miljöövervakning av sjöar enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om övervakning av ytvatten enligt vattenförvaltningsförordningen (2004:660) (HVMFS 2015:26).

Projektet inleddes med en utvärdering av lågupplösta (300 m) Sentinel-3 data, som sedan låg till grund för till en nära-realtidsservice under juni-september 2022. För servicen implementerades en datakub med vattenkvalitetsinformation från 2016, då första Sentinel-3 satelliten sköts upp, till 2021. En datakub är en databas med samtliga data georefererade till samma referenssystem och med tidsinformation för varje dataskikt för lätt sökning av data i tid och rum. Historiska data i kuben utökades sedan på daglig basis under serviceperioden. För att kunna se vattenkvalitetsinformationen i kuben implementerades CyanoAlert®Viewer, ett visualiserings- och analysverktyg som alla projektdeltagare fick tillgång till. CyanoAlert® App har varit öppen och gratis för alla användare som är intresserad av uppdaterad vattenkvalitetsinformation.

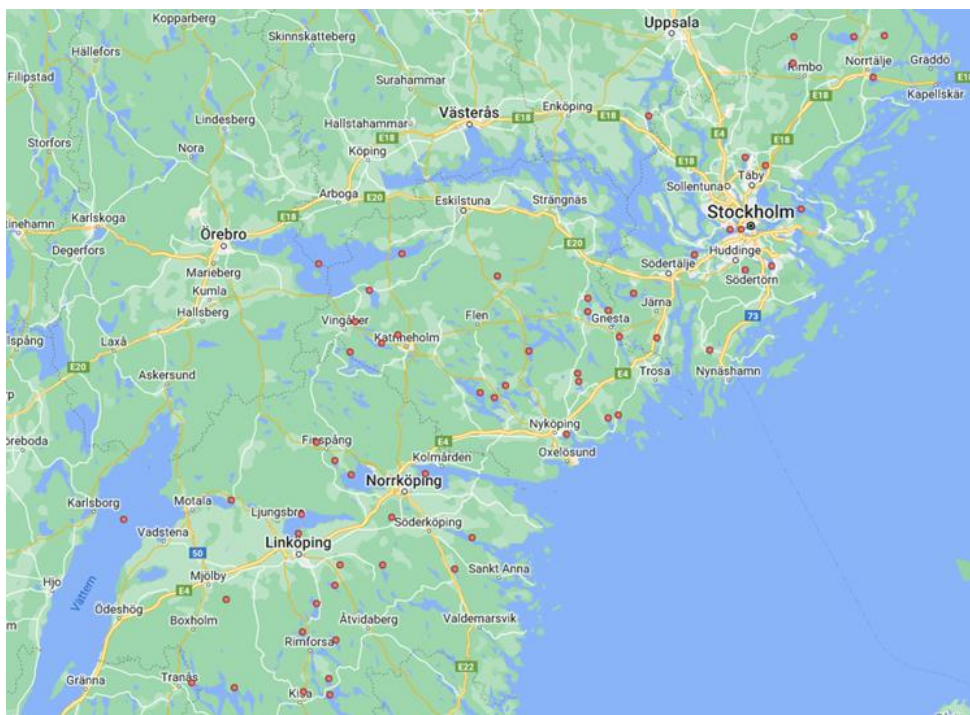
Efter avslutad säsong sammanställdes för 2022 kvalitetskontrollerade skattningar av klorofyll-a, en cyanobakterieindikator, turbiditet, siktdjup och humusabsorption (a_{dg}) för länens utvalda sjöstationer. Historiska data (2016–2021) levererades tidigare i projektet och kompletterades alltså i oktober 2022 med data från 2022. Sammanställda data levererades via e-post i Excel-format, med en fil per parameter. Leveransen innehöll samtliga månader för samtliga år och inte bara juni-september.

Även mer högupplösta (30 m) Sentinel-2 data utvärderades för att få med mindre och/eller smalare sjöar. Utvärderingen omfattade huvudsakligen tre års satellitdata (2018–2020) och fältdata från motsvarande år. Parallellt med projektarbetet implementerade Brockmann även en datakub och viewer, en kartapplikation, för Sentinel-2. Brockmanns demonstrationskub för Sverige täcker nästan alla utvalda sjöar och stationer som inkluderats i det här projektet.

Denna projektrapport är en data- och metodbeskrivning med en summering av utvärderingsresultaten samt exempel från övervakningsservicen, viewer och app.

Studieområde

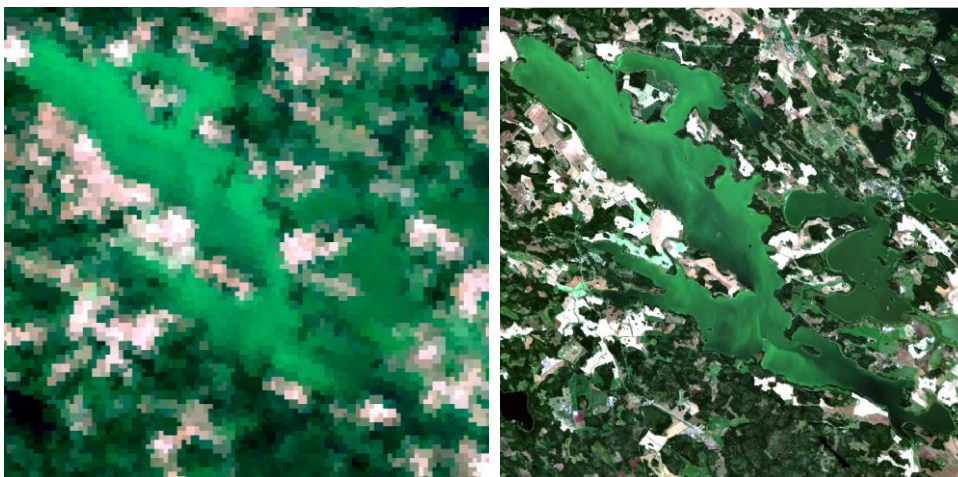
Som en förberedelse för utvärderingen valde respektive länsstyrelse ett antal sjöar av intresse för vidare analys (Figur 1). Utvärderingen bestod i en jämförelse mellan fältdata och satellitdata från samma position som fältstationerna. Satellitdata motsvarar dock ett medelvärde av 3x3 pixlar runt stationskoordinaten. Det innebär att det blir en skillnad i vilken yta mätningarna motsvarar. Ytterligare skillnader utgörs av vilken tid på dagen satelliten passerar, respektive när provet tas. Data från samma dag kan alltså visa situationen med flera timmars mellanrum, vilket under blomningssäsong kan ge stora skillnader. Den tredje viktiga skillnadsparametern är på vilket djup fältprovet är taget. Vi har i analysen fokuserat på ytprov (0,5 m djup) för att komma så nära satellitens mätning som möjligt. För några av stationerna finns dock bara djupintegrerade vattenprov som motsvarar 0–2, 0–4 eller 0–5 meters djup. Den signal satelliten mäter beror av hur djupt solljuset har nått ner i vattnet innan det reflekteras tillbaka mot satelliten. Man kan säga att den vattenvolymen så påverkar signalen beror av siktdjupet. Lågt siktdjup innebär alltså att mätningen representerar det övre ytvattnet, medan högt siktdjup, som till exempel i Vättern, innebär att solljuset nått ner på mer än 10 meters djup innan det reflekteras tillbaka mot ytan, går upp genom atmosfären och registreras av satellitens sensorer.



Figur 1. Ingående sjöar och stationer markerade med en röd punkt.

Satellitdata

Vattenkvalitetsinformationen är baserad på satellitdata från Sentinel-3 OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) och Sentinel-2 MSI (Multispectral Imager). Sentinel-3 och Sentinel-2 är två av satelliterna i det europeiska rymdprogrammet Copernicus. För båda typerna av Sentinel finns två identiska satelliter (3a/3b och 2a/2b) i omloppsbanan, som båda samlar in information. Ett exempel på en bild registrerad av Sentinel-3 respektive Sentinel-2 visas i Figur 2.



Figur 2. Sentinel-3 bild (vänster) och Sentinel-2 bild (höger) över Yngaren den 27 augusti 2019. ©Copernicus data (2019). Databearbetning: Brockmann Geomatics.

Sentinel-3a data finns tillgängligt från 2016 och Sentinel-3b från 2018. OLCI har en markupplösning på 300 meter och spektrala egenskaper som är speciellt anpassade för vattentillämpningar. Satelliterna går i en polär bana runt jorden och passerar dagligen över Sverige. Det innebär i teorin att man varje dag kan få två skattningar av exempelvis klorofyllkoncentrationen för en vattenförekomst eller för en valfri position. I Sverige är dock moln en begränsande faktor. Satelliten täcker stora arealer på samma gång och data för hela Sverige samlas in under loppet av några minuter.

Sentinel-2a finns tillgängligt från 2015 och Sentinel-2b från 2017. Sensorn MSI har en markupplösning på 10–60 meter beroende på färgband. Satelliterna går i en polär bana runt jorden och passerar över samma område 2–3 gånger per vecka. Liksom för Sentinel-3 är dock moln en begränsande faktor. Sentinel-2 utvecklades primärt för landtillämpningar men goda resultat har även påvisats för akvatiska miljöer.

Den av vattnet reflekterade solstrålningen registreras av sensorn på respektive satellit och kan sedan via kalibrering och processering räknas om till olika vattenkvalitetsparametrar. Processeringen resulterar i koncentrationskartor för de aktuella parametrarna som sedan kan ses i CyanoAlert® Viewer eller bearbetas vidare till önskat informationsformat.

Framställning av vattenkvalitetsinformation

Sentinel-3

För utvärdering av data från Sentinel-3 processerades och extraherades vattenkvalitets-information för alla utvalda sjöstationer från alla bilder mellan 2016–2021 och jämfördes med befintliga fältdata från samma år. Målet med utvärderingen var att identifiera vilken algoritm som bäst skattade det olika vattenkvalitetsparametrarna i respektive sjö. De parametrar som undersöktes var: koncentration av klorofyll-a, turbiditet, siktdjup och humusabsorption (a_{dg}). I a_{dg} står dg för detritus och gelbstoff och avser absorption av dessa komponenter. Utvärderingen resulterade i att fyra olika algoritmer för skattning av klorofyll, två för skattning av turbiditet, fem för skattning av siktdjup och en för humusabsorption användes för efterföljande datasammanställning och datakub. Samtliga implementerade algoritmer inklusive referens finns listade i Tabell 1. Behovet av flera algoritmer beror på sjöarnas varierande egenskaper och i vilken mån de är klara eller humösa. Förutom de fyra ovan nämnda parametrarna framställdes även data motsvarande en cyanobakterieindikator, men den har inte ingått i utvärderingen.

Tabell 1. Algoritmer – Sentinel-3

Namn i viewer	Enhet	Variabelnamn	Referens
Klorofyll-a	µg/l	chl_c2rcc	Brockmann et al. 2016
Klorofyll-a	µg/l	chl_merged_pitarch10_50	Brockmann et al. 2016 och Pitarch et al. 2017
Klorofyll-a	µg/l	chl_pci_pitarch	Pitarch et al. 2017
Klorofyll-a	µg/l	chl_matthews	Matthews et al. 2015
Indikator - Cyanobakterier	Enhetslös – "1" om pixeln har klassats som optiskt dominerad av cyanobakterier	immersed_cyanobacteria	Pitarch et al. 2017
Turbiditet	FNU	tur_nechad_665*	Nechad et al. 2010
Turbiditet	FNU	tur_nechad_865*	Nechad et al. 2010
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_1*	Floren et al. 2012
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_2*	Kratzer et al. 2008
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_3*	Alikas and Kratzer. 2017 – Appr. II
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_4*	Tyler 1968
Siktdjup	m	kd_z90max	Brockmann et al. 2016
a_{CDOM}^{**}	m ⁻¹	iop_adg	Brockmann et al. 2016

* Baserad på reflektans- eller k_d -produkter från c2rcc processorn (c2rcc-v2).

** Humusabsorption (a_{CDOM}) implementerades inte i viewern.

Tabell 3 redovisar vilken algoritm från Tabell 1 som bäst skattade respektive parameter för varje vattenförekomst. Färgen indikerar hur bra överensstämmelsen var mellan fältprovet och satellitskattningen, vilket är en subjektiv bedömning baserat på en graf med tidsserierna för de respektive mätmetoderna för varje station. Ett exempel på graf visas i Figur 3. Färgernas betydelse visas i Tabell 2.

Tabell 2. Klasser för beskrivning av hur väl satellitskattningen överensstämmer med fältprover.

Överensstämmelse med fält	
	Hög
	God
	Medel
	Dålig
	Fält saknas
	Satellit (S3) saknas

Tabell 3. Algoritmval för Sentinel-3 per vattenförekomst och parameter.

Station	Klorofyll-a	Turbiditet	Siktdjup	adg*
Askrikefjärden	chl_matthews	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_1	iop_adg
Asplången	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Boren	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Bornsjön	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Bottenfjärden	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Båven, stora	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Bönnern	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Dovern	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Drevviken	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Erken	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_1	iop_adg
Gavel-Långsjön	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Glan	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_1	iop_adg
Hallbosjön	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Hargsjön	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Hjälmare-Storhjälmaren	chl_matthews	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Hjälmare-Östra Hjälmare	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Hövern	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Inre Slätbaken	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Järnlunden	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Kisasjön	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Klämmingen	chl_c2rcc	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_1	iop_adg
Kolsnaren	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_2	iop_adg
Kyrksjön	chl_c2rcc	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Limmaren	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg

Station	Klorofyll-a	Turbiditet	Siktdjup	<i>a_{dg}</i>*
Ludgosjön	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Långhalsen-Södra	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Mellanfjärden	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Mälaren-Fiskarfjärden	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_1	iop_adg
Mälaren-Stora Ullfjärden	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Nimmern	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Nyckelsjön	chl_c2rcc	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Näsnaren	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_2	iop_adg
Orlången	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Pampusfjärden	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Roxen	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Runnviken	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Sibbofjärden	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Sillen	chl_c2rcc	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Skedviken	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Skudern	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Sommen-Västra	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Sommen-Östra	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Stora Rängen	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Storsjön	chl_c2rcc	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Strolången	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Svinstadsjön	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Tisnaren	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	c2rcc_secchi_depth_4	iop_adg
Trekanten	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Trobbofjärden	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	kd_z90max	iop_adg
Ullnasjön	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Vallentunasjön	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Viren	chl_pci_pitarch	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_2	iop_adg
Västra Styran	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Vättern - Störvättern	chl_c2rcc	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg
Yngaren	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_2	iop_adg
Yngern	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Åländern	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Åsunden	chl_c2rcc	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Ärlången	chl_pci_pitarch	tur_nechad_665	kd_z90max	iop_adg
Öljaren	chl_merged_pitarch10_50	tur_nechad_865	c2rcc_secchi_depth_3	iop_adg

* ***a_{dg}*** = absorption av detritus (d) och gelbstoff (g), vilket indikerar humusnivån i vattnet.

För varje Sentinel-3 bild filtreras pixlar motsvarande land, blandade land-vattenområden, moln och dis bort. Samtliga filtrerade vattenkvalitetskartor har sedan lagrats i datakuben och tillgängliggjorts via CyanoAlert Viewer. Förutom vattenkvalitetskartorna finns motsvarande färgbilder också tillgängliga i viewern. Filtreringsprocessen är automatisk och resultatet inte alltid helt perfekt. Enstaka ”outliers” i en tidsserie kan med fördel kontrolleras i viewern och uteslutas om filtreringen verkar bristfällig.

Det går inte att framställa bra resultat för alla sjöarna och det kan finnas flera orsaker till det. Vi har i projektet testat flera algoritmer för skattning av de olika parametrarna men inte alltid kunnat identifiera ett alternativ som visar på god-hög överensstämmelse med fältdata. Varje algoritm kan ses som en modell som har tränats på data från sjöar med en viss variation i vattenkvalitet. Om inte den undersökta sjön ligger inom ramen för träningsdata finns det också en risk att tolkningen av bilderna inte blir korrekt. Nivån av humusämnen i vattnet orsakar också problem och speciellt i kombination näringsfattigt vatten och låg turbiditet. Bruna vatten har hög ljusabsorption och vi närmar oss här gränsen för vad tekniken klarar av. Finns det inget reflekterat ljus att mäta på, kan vi heller inte förvänta oss goda resultat. För de mindre sjöarna blir Sentinel-3 begränsade upplösning på 300 meter ett problem. Även om vi får fram skattningar, kan omgivande land påverka signalen och blandade land-vattenpixlar finnas kvar efter filtrering, vilket orsakar en osäkerhet och ett ökat brus i tidsserien.

Sentinel-2

För utvärdering av Sentinel-2 processerades och extraherades vattenkvalitetsinformation för alla utvalda sjöstationer från alla bilder mellan 2018–2020 och jämfördes med befintliga fältdata från samma år. Målet med utvärderingen var att identifiera vilken algoritm som bäst skattade det olika vattenkvalitetsparametrarna i respektive sjö. De parametrar som undersöktes var: koncentration av klorofyll-a, turbiditet, siktdjup och humusabsorption. Utvärderingen resulterade i att tre olika algoritmer för skattning av klorofyll, två för skattning av turbiditet, en för skattning av siktdjup och en för humusabsorption användes. Beroende på sjötyp valdes de bästa algoritmerna för varje enskild sjö. Samtliga alternativ för skattning av klorofyll-a från Sentinel-2 bygger på olika varianter av algoritmen c2rcc (Brockmann et al. 2016). c2rcc bygger på neurala nät, där det idag finns tre olika varianter av nät som har utvecklats (tränats) på data från olika vattentyper. Näten kallas c2rcc, c2x och c2x-complex, där c2rcc är originalvarianten som tränats med kustvattenlikande data, c2x med fokus på humösa vatten och c2x-complex med ett utökat dataset som rymmer stor variation med avseende de optiska egenskaper (absorption och spridning) som kan påverka signalen. Liksom för Sentinel-3 är behovet av flera algoritmer beroende på sjöarnas varierande egenskaper och i vilken mån de är klara eller humösa. Förutom de fyra ovan nämnda parametrarna framställdes även data motsvarande en cyanobakterieindikator, men den har inte ingått i utvärderingen.

Tabell 4. Algoritmer – Sentinel-2

Namn i viewer	Enhet	Variabelnamn	Referens
Klorofyll-a	µg/l	conc_chl (c2rcc)	Brockmann et al. 2016
Klorofyll-a	µg/l	conc_chl (c2x)	Brockmann et al. 2016
Klorofyll-a	µg/l	conc_chl (c2x-complex)	Brockmann et al. 2016
Indikator - Cyanobakterier	Sannolikhet för cyano-bakterier	immersed_cyanobacteria	Brockmann et al. 2016 + unpublished BC model
Indikator – Cyanobakterier ytliggande ytansamling	Sannolikhet ytliggande cyanobakterier	floating_cyanobacteria	Brockmann et al. 2016 + unpublished BC model
Turbiditet	FNU	tur_665* (c2x)	Nechad et al. 2010
Turbiditet	FNU	tur_865* (c2x)	Nechad et al. 2010
Turbiditet	FNU	tur_665* (c2x-complex)	Nechad et al. 2010
Turbiditet	FNU	tur_865* (c2x-complex)	Nechad et al. 2010
Siktdjup	m	secchi_depth (c2x-complex)	Brockmann et al. 2016
a _{CDOM} **	m ⁻¹	iop_adg (c2rcc)	Brockmann et al. 2016

* Baserad på reflektans från c2rcc processorn (c2x eller c2x-complex).

** a_{CDOM}** (a_{dg}) = absorption av detritus (d) och gelbstoff (g), vilket indikerar humusnivån i vattnet.

Tabell 6 redovisar vilken algoritm från Tabell 4 som bäst skattade respektive parameter för varje vattenförekomst. Färgen indikerar hur bra överensstämmelsen var mellan fältprovet och satellitskattningen, vilket är en subjektiv bedömning baserat på en graf med tidsserierna för de respektive mätmetoderna för varje station. Ett exempel på graf visas i Figur 3. Färgernas betydelse visas i Tabell 5 nedan.

Tabell 5. Klasser för beskrivning av hur väl satellitskattningen överensstämmer med fältprover.

Överensstämmelse med fält	
	Hög
	God
	Medel
	Dålig
	Fält saknas

Tabell 6. Algoritmval för Sentinel-2 per vattenförekomst och parameter.

Station	Klorofyll	Turbiditet	Siktdjup	AbsF (a_{CDOM})
Askrikefjärden	c2x-complex		c2x-complex	
Asplången	c2x-complex	665-c2x	c2x-complex	c2x
Boren	c2x	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Bornsjön	c2x-complex		c2x-complex	c2rcc
Bottenfjärden	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Båven, stora	c2x	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Bönnern	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Dovern	c2x-complex	665-c2x	c2x-complex	c2rcc
Drevviken	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Erken	c2rcc	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Gavel-Långsjön	c2rcc	665-c2x	c2x-complex	c2rcc
Glan (Centrala delen)			c2x-complex	
Glan, Horns udde	c2x	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Hallbosjön	c2x	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Hargsjön	c2x	865-c2x-complex	c2x-complex	c2x
Hjälmaren-Storhjälmaren	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Hjälmaren-Östra Hjälmaran	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Hövern	c2x	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Inre Slätbaken	c2x		c2x-complex	
Järnlunden	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Kisasjön	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Klämningen		865-c2x-complex	c2x-complex	
Kolsnaren	c2x	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Kyrksjön (Hölö)	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2x-complex
Limnaren	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Ludgosjön	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Långhalsen			c2x-complex	
Långhalsen-Södra			c2x-complex	Org. stat.koord
Mellanfjärden	c2x-complex		c2x-complex	
Mälaren-Fiskarfjärden	c2x-complex		c2x-complex	c2rcc
Mälaren-Stora Ullfjärden	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc

Station	Klorofyll	Turbiditet	Siktdjup	AbsF (a_{CDOM})
Nimmern	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Nyckelsjön	c2x	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Näsnaren	c2x	665-c2x-complex	c2x-complex	c2x
Orlången	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Pampusfjärden	c2x-complex		c2x-complex	
Roxen	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Roxen S	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Runnviken			c2x-complex	
Sibbofjärden	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Sillen	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2x
Skedviken	c2x	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Skundern	c2x	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Sommen-Västra	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Sommen-Östra	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Stora Rängen		665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Storsjön		865-c2x-complex	c2x-complex	
Strolången			c2x-complex	
Svinstadsjön	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Tisnaren	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2x
Trekanten	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2x
Trobbofjärden	c2x-complex	865-c2x-complex	c2x-complex	c2x
Ullnasjön	c2x-complex	865-c2x	c2x-complex	c2rcc
Vallentunasjön	c2x-complex		c2x-complex	c2rcc
Viren			c2x-complex	
Västra Styran			c2x-complex	
Vättern - Störvättern	c2x	865-c2x-complex	c2x-complex	c2x-complex
Yngaren			c2x-complex	
Yngern	c2x	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Åländern	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Åsunden	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc
Ärlången	c2x-complex	665-c2x	c2x-complex	c2x
Öljaren	c2x-complex	665-c2x-complex	c2x-complex	c2rcc

För varje Sentinel-2 bild filtreras pixlar motsvarande land, blandade land-vattenområden, moln och dis bort. Samtliga filtrerade vattenkvalitetskartor har sedan lagrats i demodatakuben och tillgängliggjorts via CyanoAlert Viewer. Förutom vattenkvalitetskartorna finns motsvarande färgbilder också tillgängliga i viewern. Precis som för Sentinel-3 har det inte gått att framställa bra resultat för alla sjöarna. Några anledningar till det beskrevs i kapitel 0.

Sammanställning av vattenkvalitetsinformation

Sentinel-3

För leverans av kompletterande vattenkvalitetsinformation har data extraherats från de filtrerade rasterkartorna motsvarande 3x3 pixlar centrerat runt referensstationerna. Baserat på skattningen av respektive vattenkvalitetsparameter för dessa (maximalt) 9 pixlar per datum och bild har sedan följande mått beräknats och sammanställts i de levererade Excel-filerna, till exempel ”Lst Klorofyll 2016–2022”:

- Medelvärde (till exempel ”Kfyll µg/l (EO Medel)”)
- Standardavvikelse (till exempel ”Kfyll µg/l (EO Stdav)”)
- Antal godkända pixlar (Antal pixlar)
- Andel (av max 9) cyanoflaggade pixlar (% Cyanoflaggade pixlar av 'Antal pixlar')

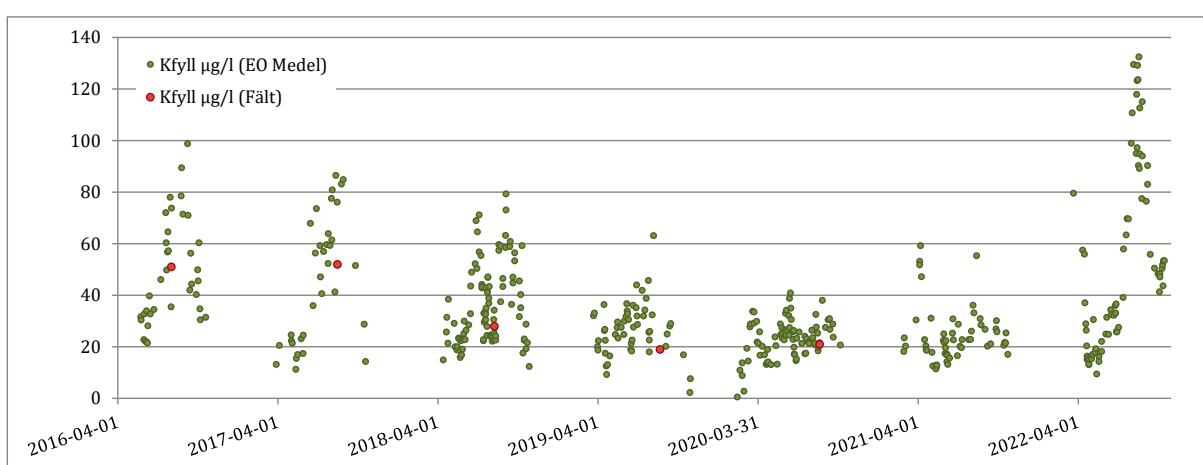
Beräkna värden för koncentrationen av klorofyll-a, cyanobakterieindikator (i samma fil som klorofyll), turbiditet, siktdjup och humusabsorption har sammanställts och levererats i Excel-format till alla projektdeltagare enligt exempel i Tabell 7.

Tabell 7. Exempel ur leveransfil motsvarande de 10 första skattningarna för station Bottenfjärden i maj– juni 2016.

Station	Datum och tid	Kfyll µg/l (EO Medel)	Kfyll µg/l (EO Stdav)	Antal pixlar	% Cyanoflaggade pixlar av 'Antal pixlar'
Bottenfjärden	2016-05-23 09:36	31,6	4,1	4	0%
Bottenfjärden	2016-05-24 09:10	30,4	0,0	2	0%
Bottenfjärden	2016-05-30 09:55	22,8	2,3	3	0%
Bottenfjärden	2016-05-31 09:29	32,8	4,7	2	0%
Bottenfjärden	2016-06-03 09:51	22,1	0,7	4	0%
Bottenfjärden	2016-06-04 09:25	22,0	2,6	3	0%
Bottenfjärden	2016-06-05 08:59	34,0	0,0	1	0%
Bottenfjärden	2016-06-07 09:47	21,4	2,6	4	0%
Bottenfjärden	2016-06-08 09:21	28,2	2,7	4	0%
Bottenfjärden	2016-06-12 09:18	39,7	2,3	2	0%

”Antal pixlar” anger hur många av de 9 pixlarna som passerade filtreringen av land, moln och dis och som därmed klassas som ”godkända”. Filtreringen är dock inte perfekt utan det kan finnas enstaka pixlar kvar som borde uteslutas och som därmed påverkar skattningen.

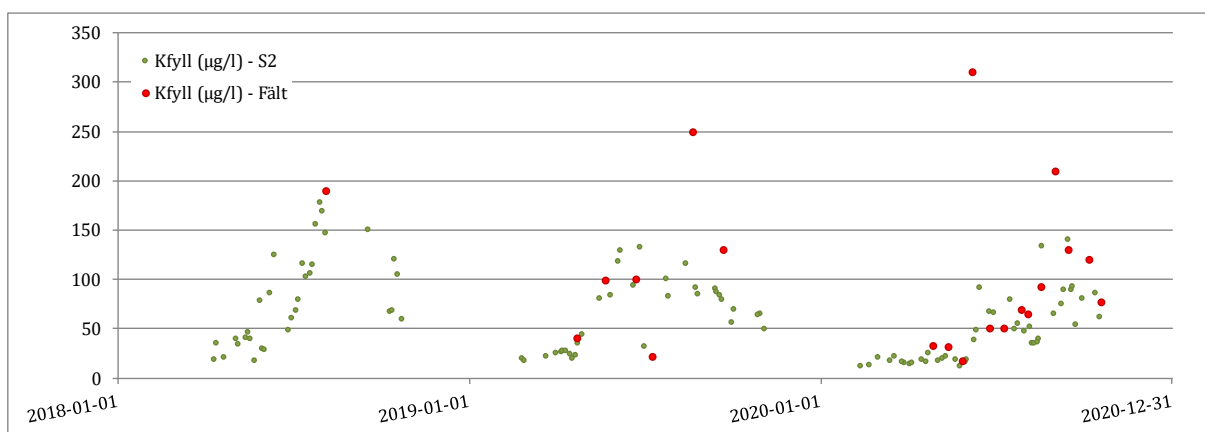
För jämförelse mellan fält- och satellitbaserade skattningar har provtagningsresultatet från inkluderats i de levererade Excel-filerna och plottats tillsammans med de satellitbaserade skattningarna för varje station. Fältdata är (oftast) baserade på provtagning med vattenhämtare på 0,5 m djup. Ett exempel för station Bottenfjärden visas i Figur 3. Ytterligare exempel återfinns i Bilaga 3 – Tidsserier Sentinel-3. Samtliga stationer och variabler redovisas på liknande sätt i leveransfilerna.



Figur 3. Sentinel-3 tidsserie för klorofyll a för station Bottenfjärden, 2016–2022.

Sentinel-2

För utvärderingen extraherades data för åren 2018–2020 för samtliga utvalda sjöstationer. De extraherade skattningarna från de filtrerade rasterkartorna motsvarade 3x3 pixlar centrerat runt referensstationerna. Eftersom Sentinel-2 har olika upplösning (10–60 m) för de olika våglängdsbanden har data i det här projektet samplats om till 60 meter för alla band. 3x3 pixlar motsvarar därmed en yta på 180x180 meter. Ett exempel för stationen i Svinstadsjön visas i Figur 4 och ytterligare exempel återfinns i Bilaga 4 – Tidsserier Sentinel-2.



Figur 4. Sentinel-2 tidsserie för klorofyll a för station Svinstadssjön, 2018–2020.

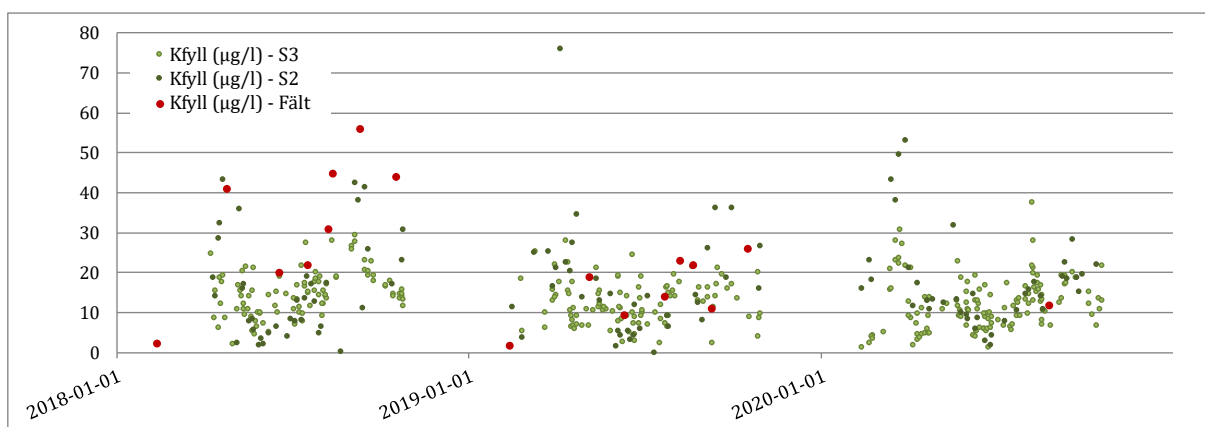
Summering av resultatet

Resultatet från utvärderingen för alla parametrar redovisades i sin helhet i Tabell 3 och Tabell 6. En översiktlig summering av resultatet finns i Tabell 8. Sammantaget kan 44 sjöar övervakas med antingen S3 eller S2, eller båda enligt Figur 5, med god till hög överensstämmelse med fält för klorofyll. Ytterligare 10 sjöar, som saknar fältdata, kan ha potential för övervakning, men måste bedömas enskilt utifrån expertkunskap om sjön. Ett exempel på en sjö med en fin tidsserie där fältdata saknas för den undersökta tidsperioden kommer från Runnviken i Figur 7. 2015 togs ett prov i Runnviken med 24 µg/l klorofyllkoncentration, vilket är i nivå med 2018–2020.

Tabell 8. Summering av resultatet för klorofyll.

Överensstämmelse med fält		Antal sjöar Sentinel-3				Antal sjöar Sentinel-2			
		Kfyll	Turb	SD	Abs	Kfyll	Turb	SD	Abs
	Hög	12	14	5	1	7	16	18	14
	God	25	23	28	0	27	22	22	18
	Medel	10	8	12	24	13	9	9	10
	Dålig	4	3	9	26	5	1	4	7
	Fält saknas	10	11	7	10	11*	15*	10	13*
	Satellit saknas	2	2	2	2	0	0	0	1

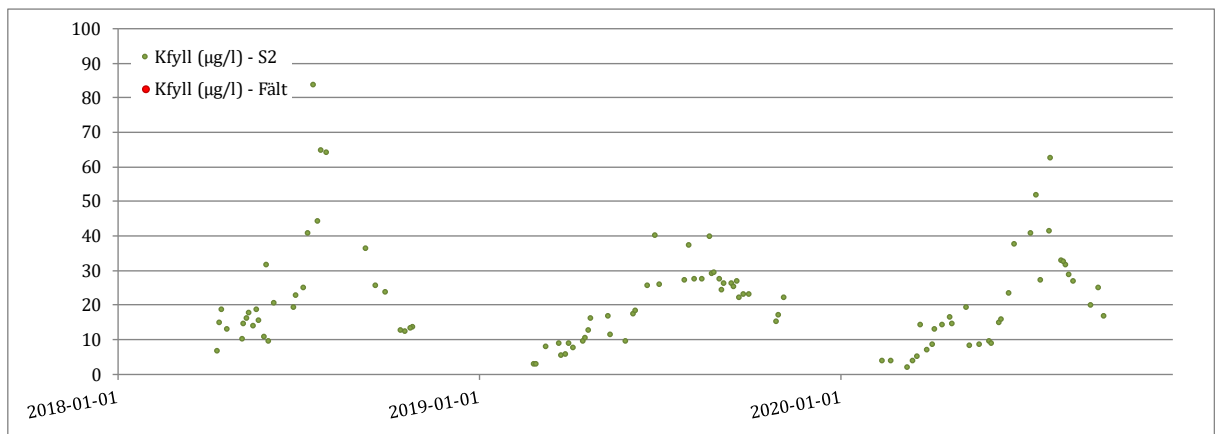
*För jämförelsen med Sentinel-2 data användes 3 år av fältdata, vilket innebar att några fler stationer saknade data.



Figur 5. Kombinerad tidsserie för både Sentinel-3 och Sentinel-2 för station Drevviken (Figur 6), 2018–2020. De flesta fältproverna är integrerade 0–2 m prov, men några är ytoprov.



Figur 6. Sentinel-2 bild över Drevviken den 9 augusti 2020. ©Copernicus data (2020). Databearbetning: Brockmann Geomatics.

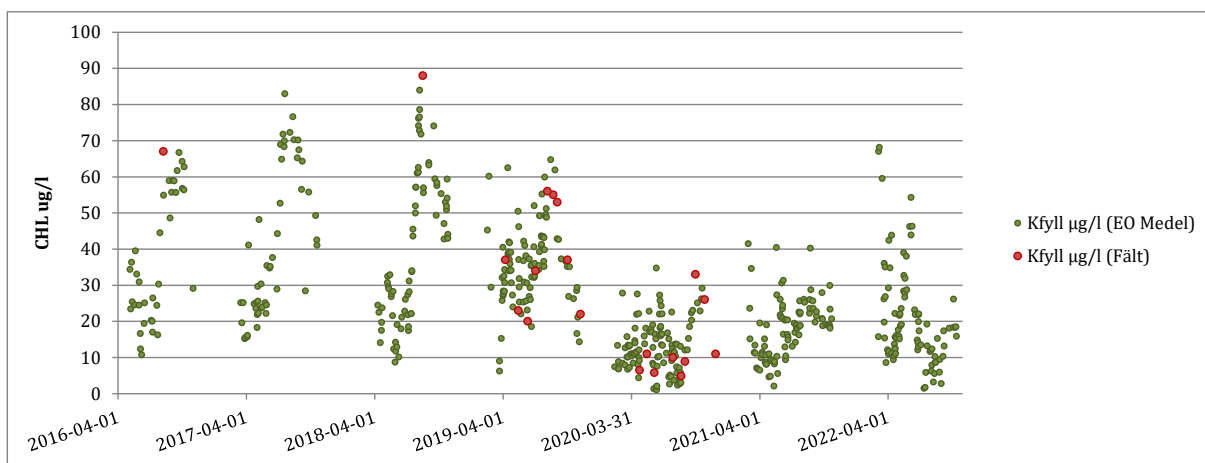


Figur 7. Sentinel-2 tidsserie för station Runnviken, 2018–2020.

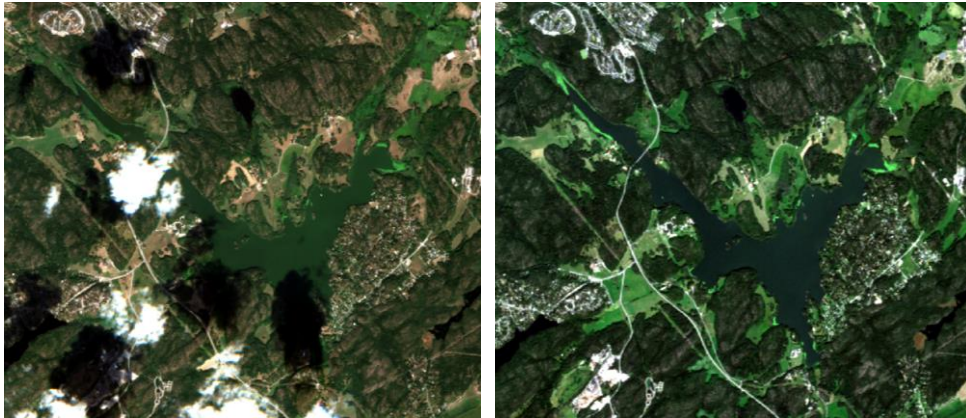
Tillämpningsexempel

Åtgärdsuppföljning – Aluminiumbehandling av Orlången

Sentinel-3 kan generera data med hög tidsupplösning eftersom satelliterna passerar samma område två gånger per dag. Det innebär att tekniken är särskilt lämplig för att följa effekten av genomförda åtgärder. Sjön Orlången i Huddinge kommun har varit kraftigt övergödd på grund av påverkan från dagvatten, lakvatten, bräddningar på spillvattennät och ett stort antal enskilda avlopp. Sjön har dålig status med avseende på näringsämnen och växtplankton enligt den senaste klassificeringen i VISS. Under sommaren 2019 genomfördes en fällning av fosfor i sediment med aluminium. Sjöns halt av klorofyll-a sjönk kraftigt efter behandlingen genomförts och åtgärden hade följaktligen stor effekt. Figur 8 visar dock att klorofyllkoncentrationen fortfarande är förhöjd och att det under 2022 förekom en kraftig vårblooming. Orsaken är sannolikt att den externa tillförseln av näringsämnen med tillrinnande vatten fortfarande är för hög trots att en hel del åtgärder genomförts. Det behöver därför genomföras fler åtgärder för att minska den externa belastningen av näringsämnen. Figur 9 visar två Sentinel-2 bilder från 2018 och 2020.



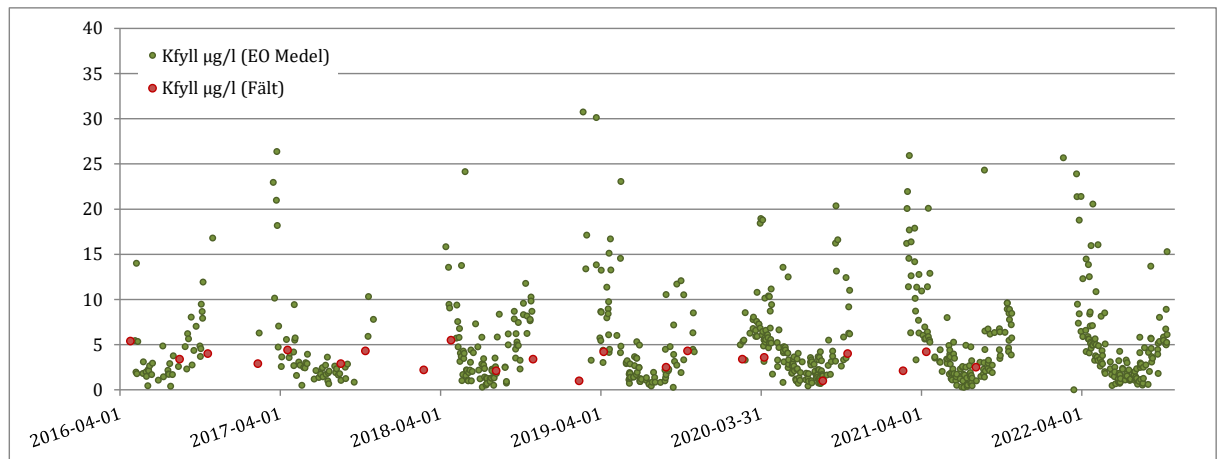
Figur 8. Klorofyllkoncentrationen i Orlången mellan 2016–2022



Figur 9. Sentinel-2 bilder över Ornlängen den 7 augusti 2018 bilder (vänster) och 9 augusti 2020 (höger). ©Copernicus data (2018, 2020). Databearbetning: Brockmann Geomatics.

Statusklassning – Yngern och Hjälmaren

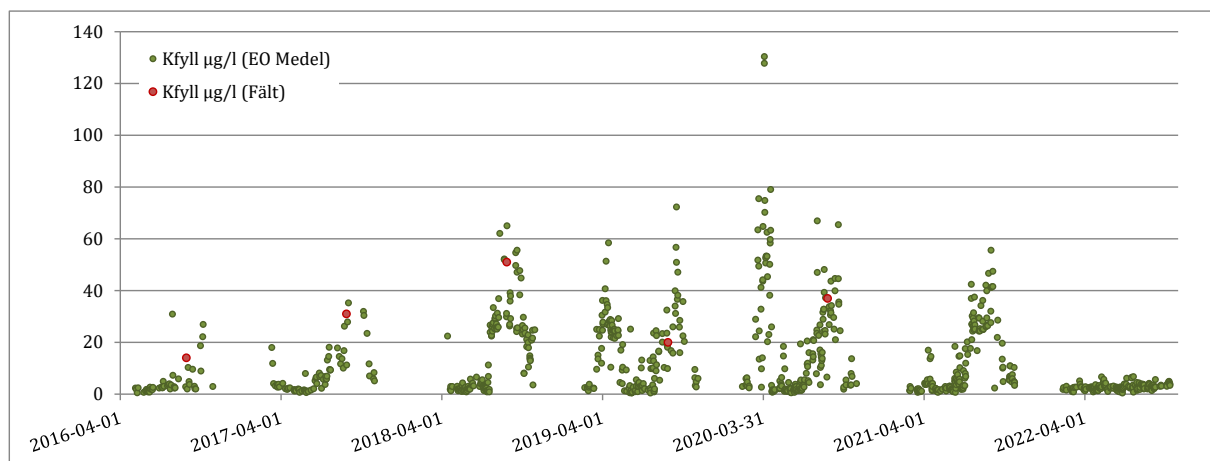
Yngern är en stor opåverkad sjö i Nykvarns kommun. Referensvärdet för klorofyll är enligt bedömningsgrunderna endast 2,5 µg/l. Den uppmätta medelhalten i sjön under augusti månad är enligt den senaste klassificeringen av status 3,1 µg/l och i VISS har status med avseende på klorofyll och växtplankton bedömts vara hög. Medelvärdet för klorofyll med satellitdata är 2,3 µg/l, det vill säga mycket nära referensvärdet. Tidsserien för Yngern visas i Figur 10. Mätdata visar också att sjön har tydliga vår- och höstblomningar. Det är därför viktigt att data från rätt period under året används vid bedömning enligt bedömningsgrunderna.



Figur 10. Klorofyllkoncentrationen i Yngern mellan 2016–2022.

Hjälmaren (vattenförekomsten Storhjälmaren) har ett referensvärde på 2,5. Den uppmätta medelhalten i sjön under augusti månad är enligt den senaste klassificeringen av status 24 µg/l. Medelvärdet för klorofyll med satellitdata från augusti månad var 25 µg/l om år 2022 utesluts ur data. Under 2022 var medelvärdet under augusti endast 3,1 µg/l och för hela året 2,8 µg/l. Varför klorofyllhalten sjunkit så kraftigt är oklart. Enligt uppgift från Hjälmarens

vattenvårdsförbund så har yrkesfisket under 2022 fått i uppdrag att ta upp vitfisk ur sjön, vilket möjligen kan vara en förklaring. Det är följaktligen viktigt att ha data från flera år vid bedömning av status eftersom tillståndet under enskilda år kan avvika kraftigt. Tidsserien för Storhjälmaren visas i Figur 11.



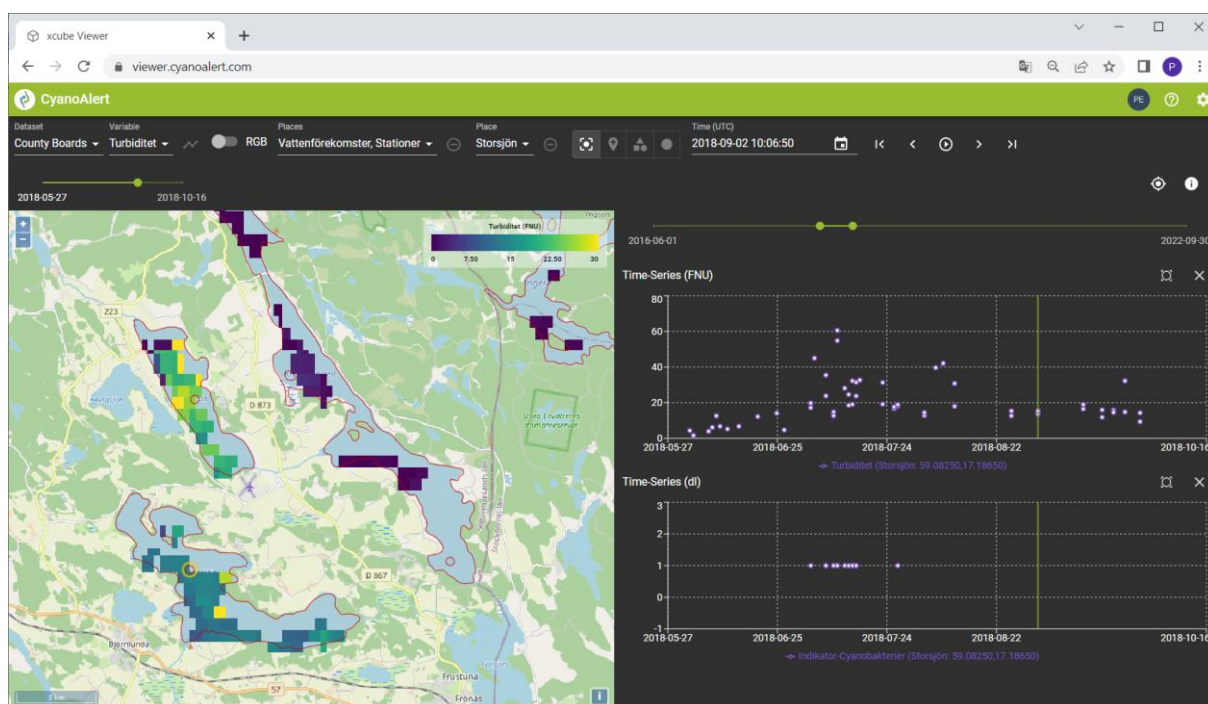
Figur 11. Klorofyllkoncentrationen i Storhjälmaren mellan 2016–2022.

Exemplen från Yngern och Hjälmaren indikerar att satellitdata kan användas för klassificering av status för parametern klorofyll. Genom att skattningarna bygger på ett stort antal observationer är det möjligt att beräkna konfidens och mätosäkerhet med stor noggrannhet. Den största osäkerheten i dagsläget rör bedömningsgrundernas olika referensvärden. Idag saknas referensvärden för flera sjötyper.

CyanoAlert Viewer och App

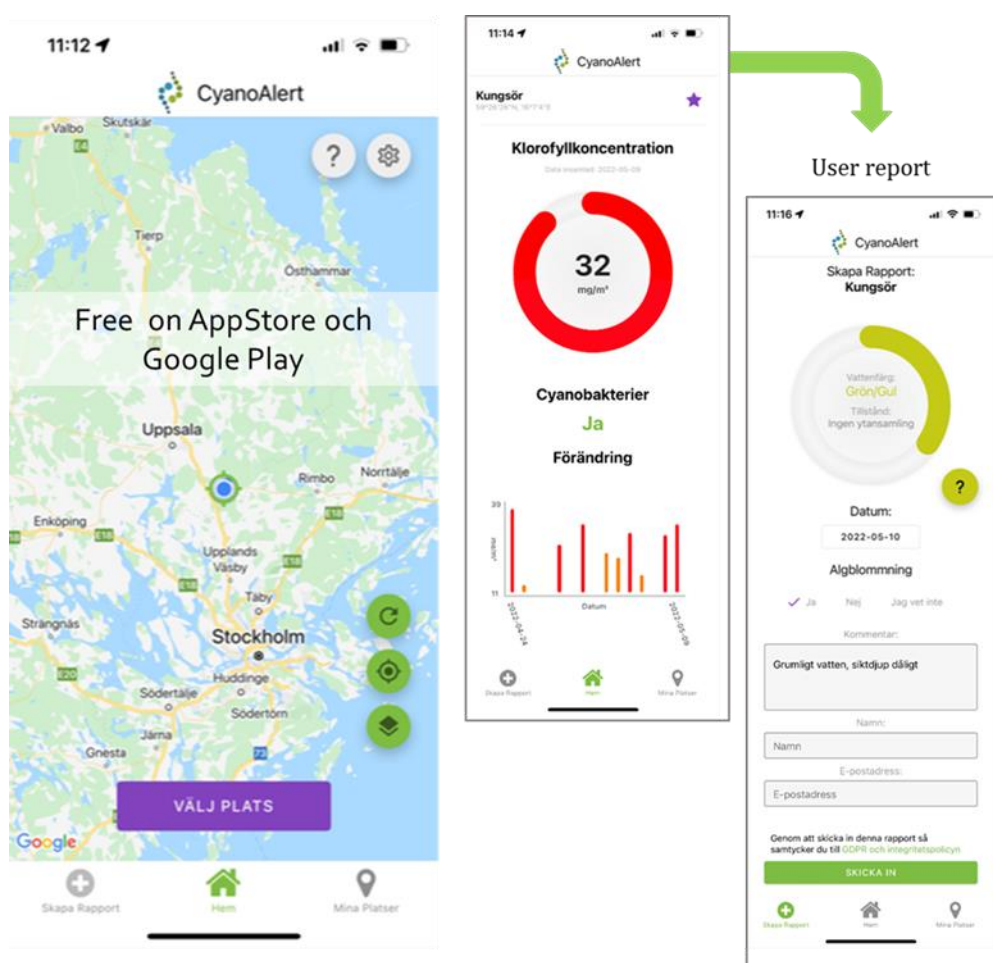
Under nära-realtidsservicen implementerades CyanoAlert®Viewer, ett visualiserings- och analysverktyg för att kunna se vattenkvalitetsinformationen i kuben. Alla projektdeltagare fick tillgång till viewer där alla satellitbilder och beräknade koncentrationskartor kan ses samma dag som satelliterna har passerat över aktuellt område. Som mest kan man, under molnfria förhållanden, få två kartor per dag.

Viewern är specialanpassad till användarens vatten, vilket innebär att punkt- och vektordata motsvarande övervakningsstationerna och vattenförekomsterna finns tillgängliga och är valbara av den enskilde användaren för analys. I viewern kan även användaren själv definiera nya punkter och ytor och skapa tidsserier för visualisering och analys av status och trender. Klorofyll-a koncentration, cyanobakterieindikator, turbiditet, siktdjup och humusabsorption för länens utvalda sjöar tillsammans med motsvarande satellitbilder i RGB-format har funnits tillgängliga för projektdeltagarna.



Figur 12. Exempel från CyanoAlert Viewer med en tidsserie (höger längst upp) över turbiditeten i juni-september 2018 för stationen i Storsjön samt motsvarande koncentrationskarta från den 2 september 2018 (vänster). Den nedre tidserien visar en indikator för cyanobakterier och för 2018 är första hälften av juli flaggad (=1).

En ny version av CyanoAlert App blev under våren 2022 tillgänglig för både Android och iPhone. Appen var, och kommer att vara, öppen och tillgänglig för alla. Via appen kan man få information om den senaste satellitmätta klorofyllkoncentrationen för den valda positionen och en kort tidsserie för de senaste månaderna. Man får även information om risk för cyanobakterier vid samma plats och tidpunkt (Figur 13). Som användare har man även möjlighet att rapportera in observationer och ladda upp ett foto av det man ser. Den rapporterade vattenfärgen för den aktuella positionen blir sedan tillgänglig för alla användare.



Figur 13. Skärmdumpar från CyanoAlert App som visar koncentrationsnivåer för positioner valda av användaren, en rapport för en vald punkt samt formuläret där användaren själv kan rapportera in status för det vatten där de befinner sig.

Levererade projektresultat

Skattade värden i form av koncentrationskartor för klorofyll-a koncentration, cyanobakterieindikator, turbiditet och siktdjup har tillgängliggjorts kontinuerligt i CyanoAlert viewer under serviceperioden. Bilderna laddades ner, processerades och lades till i viewerns datakub (databas) i nära-realtid, vilket innebär samma dag som satellitpassage.

En sammanställning av vattenkvalitetsinformationen har dessutom levererats i en Excel-fil för utvalda sjöstationer (Bilaga 1) efter avslutad säsong. Leveransen omfattade alla molnfria data från samtliga år mellan 2016–2022. Data har levererats till alla projektdeltagarna:

Namn	Email
Joakim Pansar	Joakim.Pansar@lansstyrelsen.se
Erika Melander	Erika.Melander@lansstyrelsen.se
Irene Karlsson Elfgrén	Irene.Karlsson.Elfgren@lansstyrelsen.se

Datarättigheter

Länsstyrelserna i Stockholm, Södermanland och Östergötland har rätt att använda framställa data och produkter för alla syften och ändamål relaterade till kundens organisation) och ansvar. Länsstyrelserna, enligt ovan, får inte vidare försälja de tillhandahållna data och produkterna utanför kundens organisation. Alla produkter och härledda resultat kan emellertid presenteras externt från kundens organisation. Alla sådana publikationer måste ange källan till satellitdata (på svenska eller engelska) och produktleverantör enligt följande:

- Vid presentation av RGB bilder från viewern:

*© Copernicus data (year of reception), Data processing:
CyanoAlert*

© Copernicus data (bildår), Databearbetning: CyanoAlert

- Vid presentation av vidareförädlade data eller produkter:

*Contains Copernicus data (year of reception), Data processing:
Brockmann Geomatics*

*Innehåller Copernicus data (bildår), Databearbetning: Brockmann
Geomatics*

Specifika rättigheter gäller i samband med följande resultat och verktyg:

1. CyanoAlert Appen; Öppen och gratis för alla - inga begränsningar vad gäller användning och data.
2. The CyanoAlert Viewer; Ett begränsat antal personliga användarkonton har upprättats för projektdeltagarna från Länsstyrelserna enligt Bilaga 2 nedan.

Referenser

Alikas, K and Kratzer, S. 2017. Improved retrieval of Secchi depth for optically-complex waters using remote sensing data. *Ecological Indicators* 77, 218-227.

Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S. Ruescas, A. 2016. Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. Proceedings of the Living Planet Symposium 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3, p.54.

Florén, K., Philipson, P., Strömbeck, N., Nyström Sandman, A., Isaeus, M. and Wijkmark, N. 2012. Satellite derived Secchi depth for improvement of habitat modeling in archipelagic areas 2010-2011 – Project Report , Swedish National Space Board, Dnr 164/09.

Kratzer, S., Brockmann, C., Moore, G., 2008. Using MERIS full resolution data (300 mspatial resolution) to monitor coastal waters—a case study from Himmerfjärden, a fjordlike bay in the north-western Baltic Sea. *Remote Sens. Environ.* 112, 2284–2300.

Matthews, Mark William, and Daniel Odermatt. 2015. “Improved Algorithm for Routine Monitoring of Cyanobacteria and Eutrophication in Inland and Near-Coastal Waters.” *Remote Sensing of Environment* 156 (January): 374–82. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.010>.

Nechad, B., Ruddick, K.G. and Park, Y. 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment* 114 (4), 854-866.

Pitarch, J., Ruiz-Verdú, A., Sendra Cabrera, M D. and Santoleri, R. 2017. Evaluation and reformulation of the maximum peak height algorithm (MPH) and application in a hypertrophic lagoon. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122 (2), 1206-1221. DOI: 10.1002/2016JC012174.

Tyler, J.E., 1968. The Secchi disc. *Limnol. Oceanogr.* 13, 1–6.

Bilaga 1 – Sjöar & stationer

Utvärderingen genomfördes för sextioen (61) sjöar/stationer enligt tabellen nedan.

Plats	Lat	Lon	Nord	Ost
Asplången	58,50	16,13	6485421	565751
Boren	58,56	15,26	6490532	515019
Bornsjön, Bassängen	59,24	17,77	6570075	657833
Bottenfjärden	59,84	18,79	6639888	712480
Båven utloppsgrassäng	58,97	16,87	6538485	607611
Bönnern, centrala delen	58,72	15,72	6508842	541640
Dovern, centrala delen	58,66	15,82	6502974	547510
Drevviken S pkt	59,21	18,18	6567873	681695
Erken	59,84	18,63	6639113	703239
Gavel-Långsjön	59,84	18,30	6638189	685151
Glan, Horns udde	58,63	15,91	6498808	552648
Hallbosjön	58,84	16,68	6523567	597085
Hargsjön	58,27	15,23	6458961	513615
Hjälmaren, Storhjälmaren	59,22	15,74	6564235	541969
Hjälmaren, Östra Hjälmar	59,24	16,18	6567787	567472
Hövern	58,37	16,08	6470434	563176
Inre Slätbaken, SÖ06	58,45	16,56	6479717	591265
Jungfrun NV	58,50	14,68	6484469	481082
Järnlunden	58,18	15,65	6448811	538052
Kisasjön	58,01	15,65	6429931	538434
Klämningen S	59,08	17,30	6551720	631800
Kolsnaren	59,05	15,93	6546438	553484
Koviksudde	59,37	18,34	6585601	689979
Kyrksjön (Hölö)	59,01	17,56	6543802	647266
Limmaren	59,73	18,73	6627171	709821
Ludgosjön	58,91	17,13	6531935	622912
Långhalsen, Tärnö bro	58,88	16,74	6527465	600517
Mellanfjärden, SÖ12	58,74	17,07	6512788	619907
Mälaren-Fiskarfjärden	59,31	17,95	6578303	668207
Nimmern	58,04	15,78	6433978	546336
Nyckelsjön	59,12	17,19	6555535	625286
Näsnaren	59,02	16,16	6542492	566742
Orlången	59,20	18,04	6566029	673717
Pampusfjärden, GB11	58,63	16,31	6499415	575941
Roxen Li15, centrala delen	58,51	15,64	6486104	537263
Roxen S	58,46	15,62	6479870	536190
Runnviken	58,89	17,14	6529521	623369
Sibbofjärden	58,79	17,30	6518572	632917
Sillen	59,01	17,36	6543955	635390

Plats	Lat	Lon	Nord	Ost
Skedviken	59,77	18,30	6630148	685204
Skundern	59,18	16,70	6561400	597162
Sommen	58,02	15,28	6430903	516282
Sommen väst	58,03	15,05	6432552	502764
Stora Rängen	58,26	15,72	6457850	542238
Stora Ullfjärden	59,62	17,52	6612205	641922
Storsjön	59,08	17,19	6551290	625305
Strolången, Ö Lötsvik	58,36	16,47	6469494	585901
Svinstadsjön	58,37	15,85	6470150	549548
Tisnaren	58,97	15,90	6537064	552027
Trekanten	59,31	18,02	6578639	671716
Trobbofjärden	58,79	17,35	6519403	635989
Ullnasjön	59,49	18,15	6598540	678345
Vallentunasjön	59,51	18,04	6600623	672084
Viren	58,99	16,07	6539981	561757
Västra Styran	58,97	17,85	6540676	663651
Yngaren	58,86	16,60	6525192	592485
Yngern	59,13	17,44	6557442	639473
Äländern	58,16	15,83	6446365	548658
Åsunden	58,00	15,79	6429051	546825
Ärlången	58,31	15,82	6463730	548170
Öljaren	59,14	16,01	6556423	557762

Bilaga 2 - Viewer

Geografisk täckning

WGS84

Namn	Nord	Öst
UL	59.87	14.06
LR	57.75	18.82

Variabler

För bästa representation av de TBD sjöarnas vattentyper används flera olika algoritmer.

Namn i viewer	Enhet	Variabelnamn	Referens
Klorofyll-a	µg/l	chl_c2rcc	Brockmann et al. 2016
Klorofyll-a	µg/l	chl_merged_pitarch10_50	Brockmann et al. 2016 och Pitarch et al. 2017
Klorofyll-a	µg/l	chl_pci_pitarch	Pitarch et al. 2017
Klorofyll-a	µg/l	chl_matthews	Matthews et al. 2015
Indikator - Cyanobakterier	Enhetslös – "1" om pixeln har klassats som optiskt dominerad av cyanobakterier	immersed_cyanobacteria	Pitarch et al. 2017
Turbiditet	FNU	tur_nechad_665	Nechad et al. 2010
Turbiditet	FNU	tur_nechad_865	Nechad et al. 2010
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_1	Floren et al. 2012
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_2	Kratzer et al. 2008
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_3	Alikas and Kratzer. 2017 – Appr. II
Siktdjup	m	c2rcc_secchi_depth_4	Tyler 1968
Siktdjup	m	kd_z90max	Brockmann et al. 2016
a _{CDOM} *	m ⁻¹	iop_adg	Brockmann et al. 2016

Platser

1. Stationer enligt Bilaga 1.
2. Utvalda vattenförekomster baserat på vy_y_2016_3.shp
<https://www.smhi.se/data/hydrologi/sjoar-och-vattendrag/ladda-ner-data-fran-svenskt-vattenarkiv-1.20127>

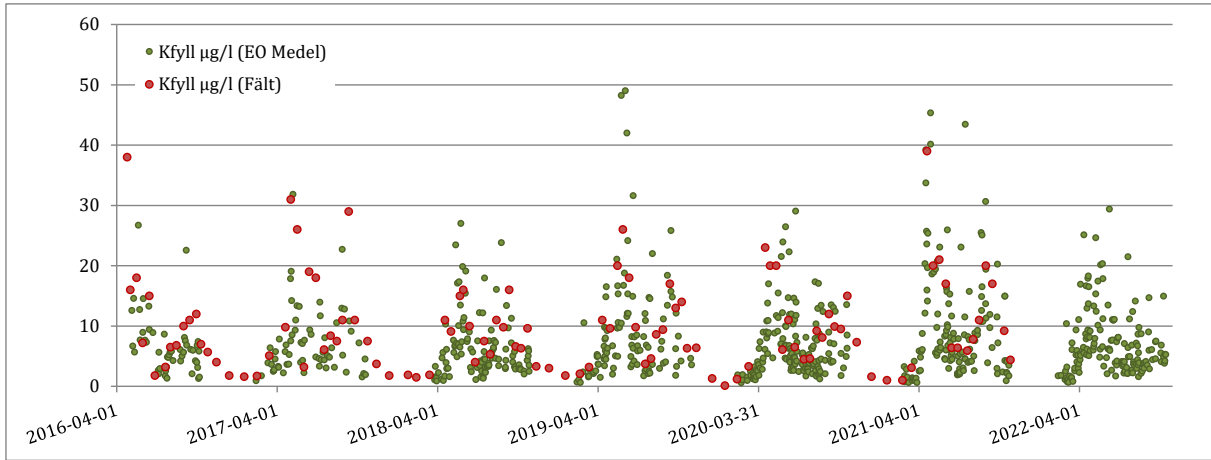
Licenser

Användarlicens (inloggningsuppgifter) för tillgång till CyanoAlert Viewer ingår för följande användare:

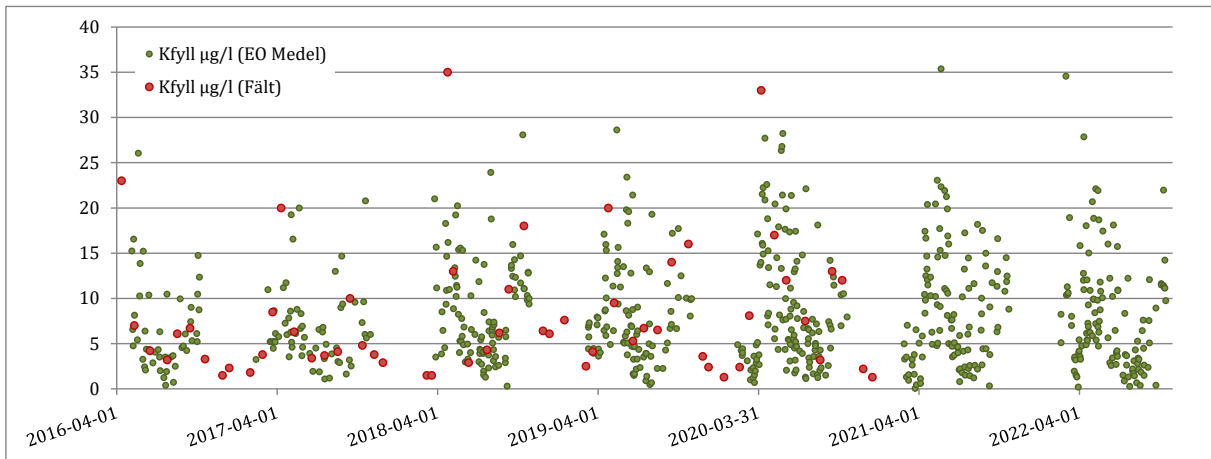
Namn	Email
Joakim Pansar	Joakim.Pansar@lansstyrelsen.se
Erika Melander	Erika.Melander@lansstyrelsen.se
Irene Karlsson Elfgrén	Irene.Karlsson.Elfgren@lansstyrelsen.se

Listan kan ändra eller utökas under projektets gång.

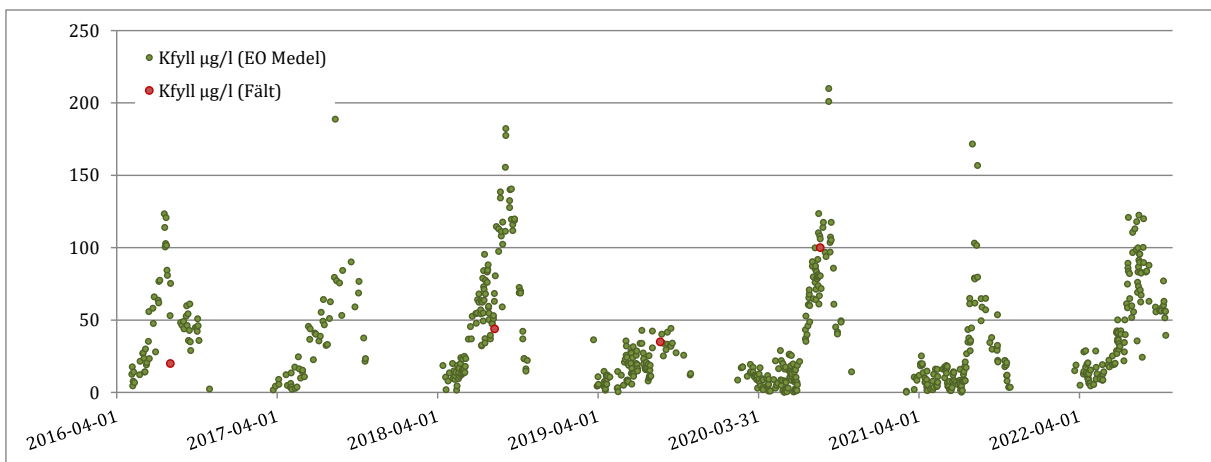
Bilaga 3 – Tidsserier Sentinel-3



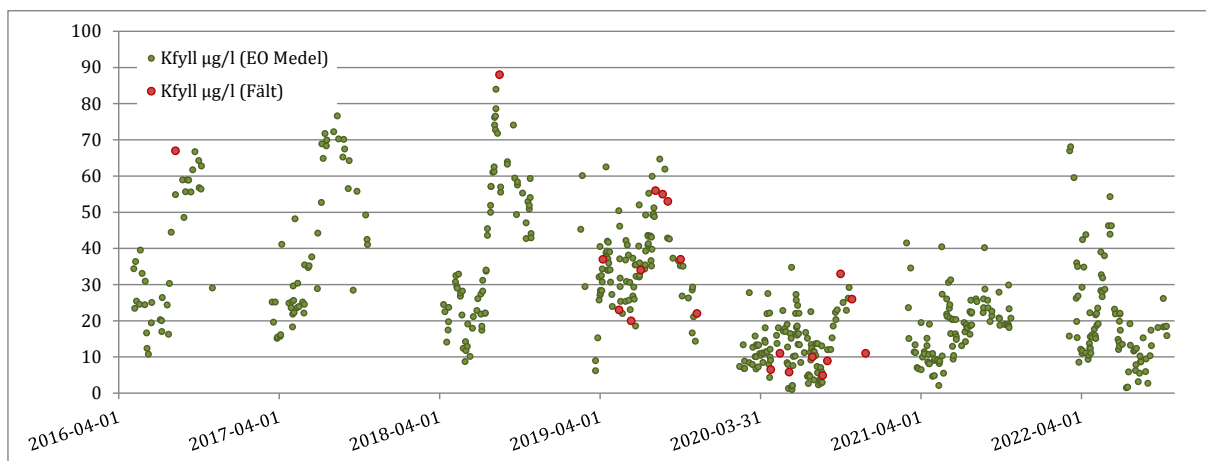
STOCKHOLM – Askrikefjärden (Fält = 0–5 m prov)



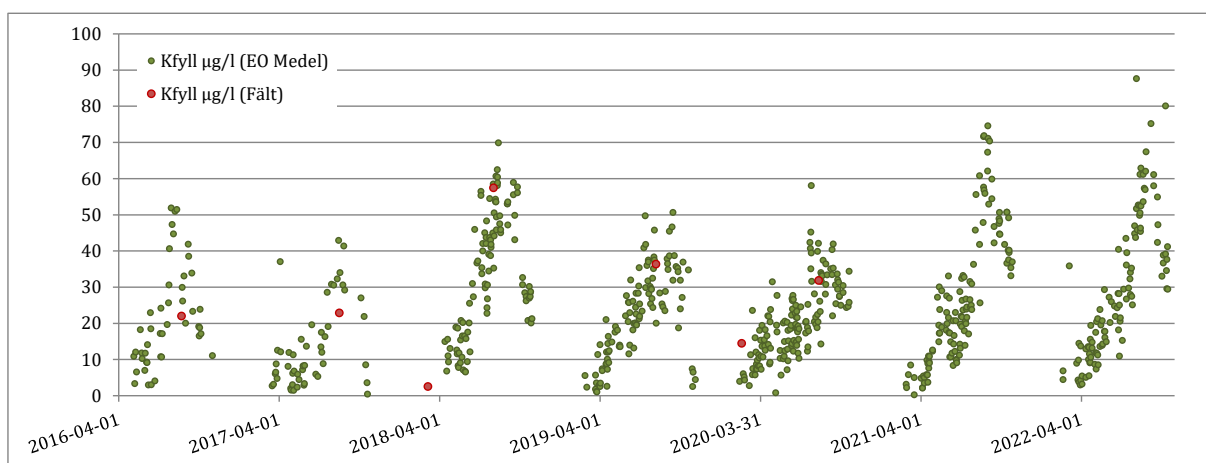
STOCKHOLM – Mälaren-Fiskarfjärden (Fält = 0–5 m prov)



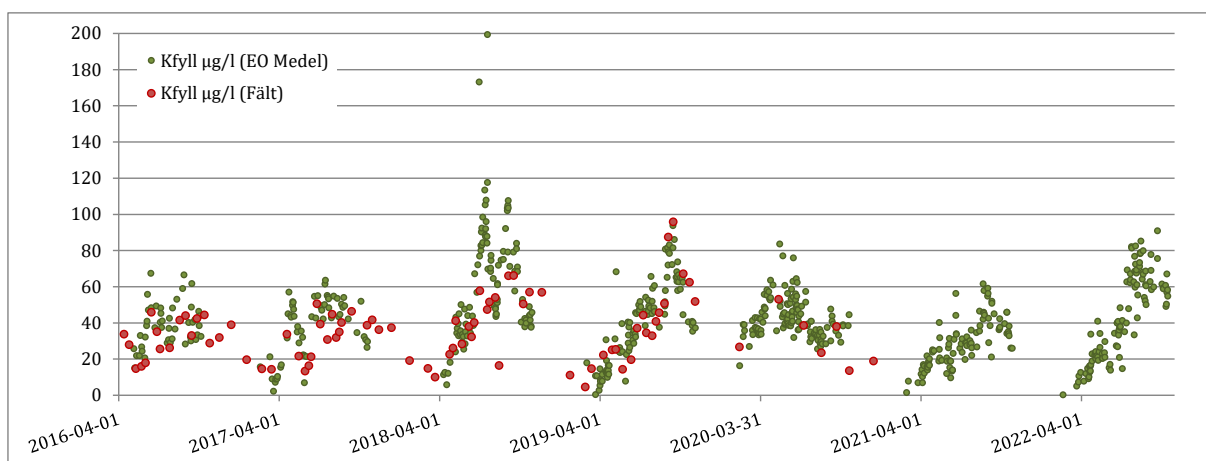
STOCKHOLM – Limmaren (Fält = 0.5m-prov)



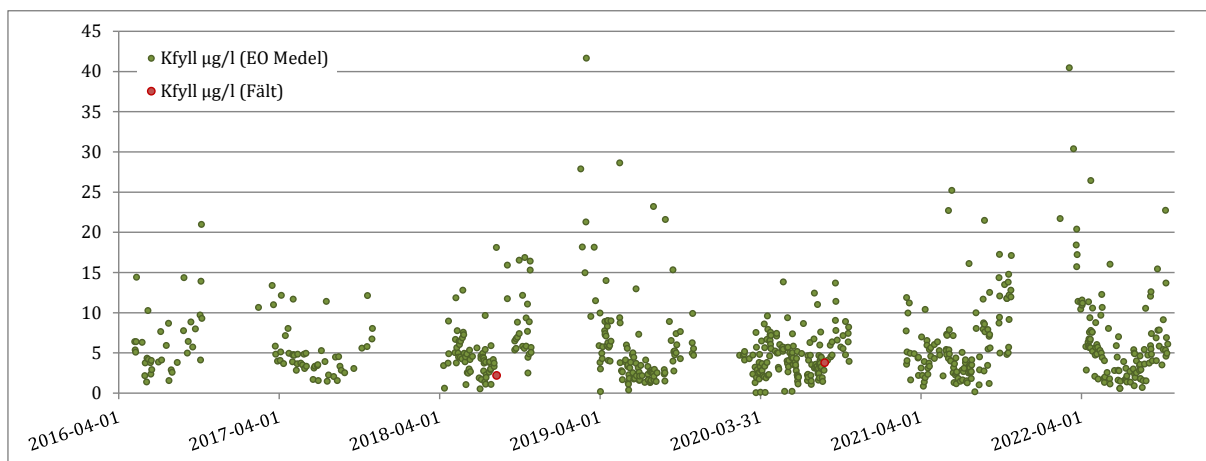
STOCKHOLM – Orlången (Fält = 0.5m-prov)



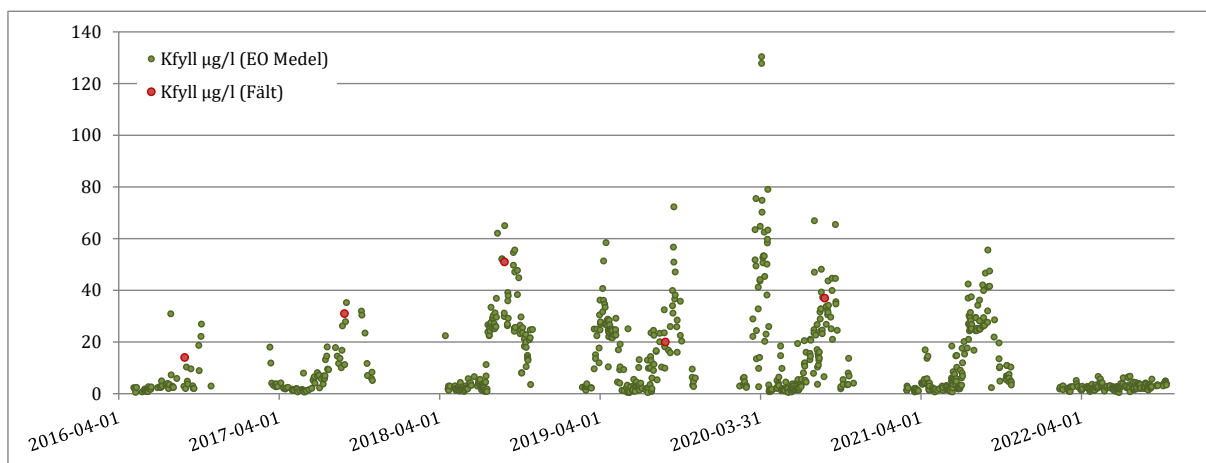
STOCKHOLM – Ullnasjön (Fält = 0.5m-prov)



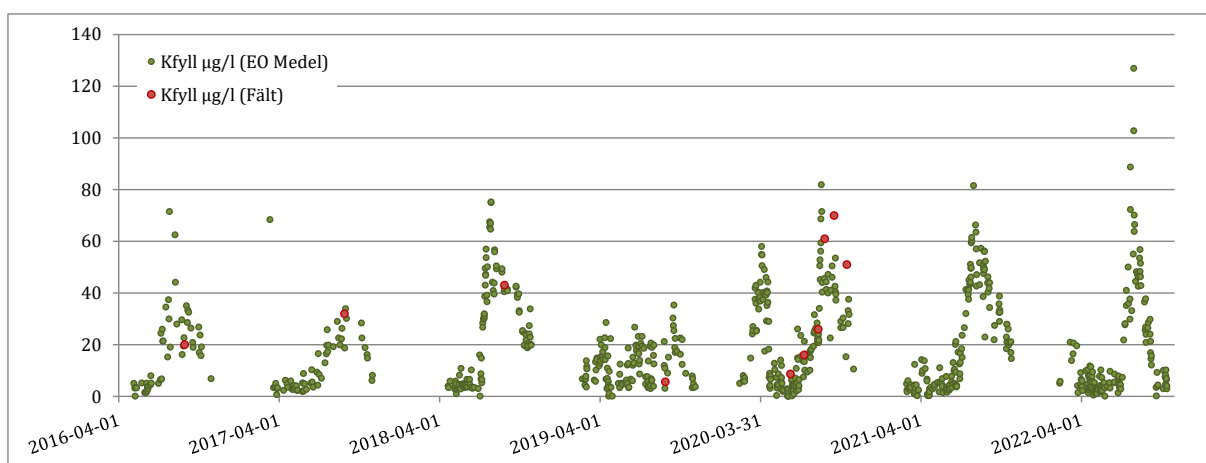
STOCKHOLM – Vallentunasjön (Fält = 0–4 m prov)



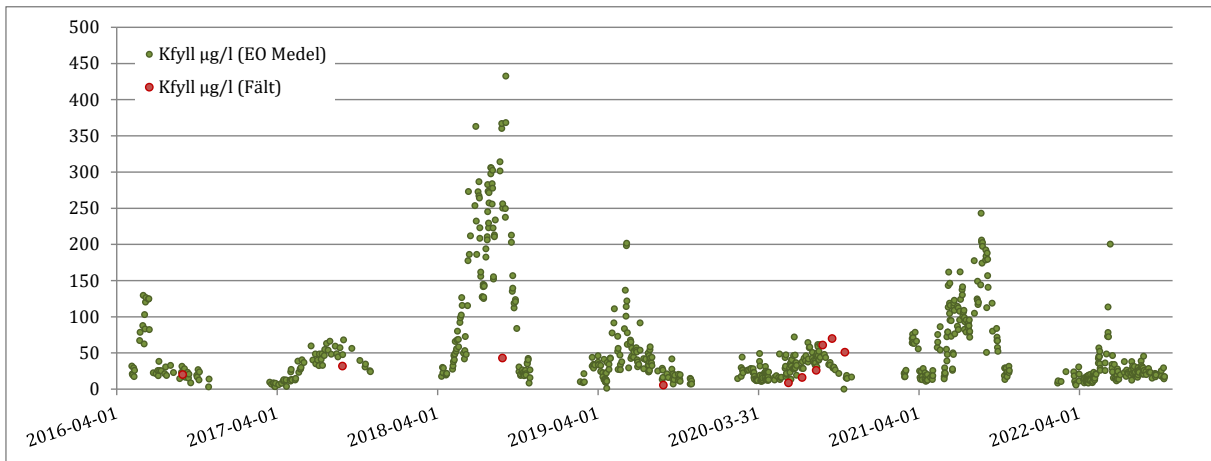
SÖDERMANLAND – Båven, stora (Fält = 0.5m-prov)



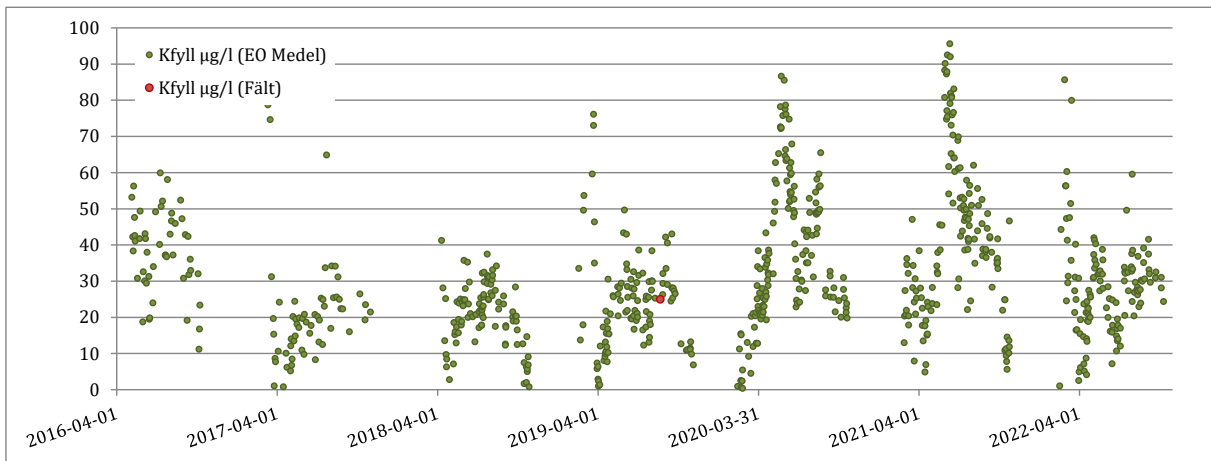
SÖDERMANLAND – Hjälmarens-Storhjälmaren (Fält = 0.5m-prov)



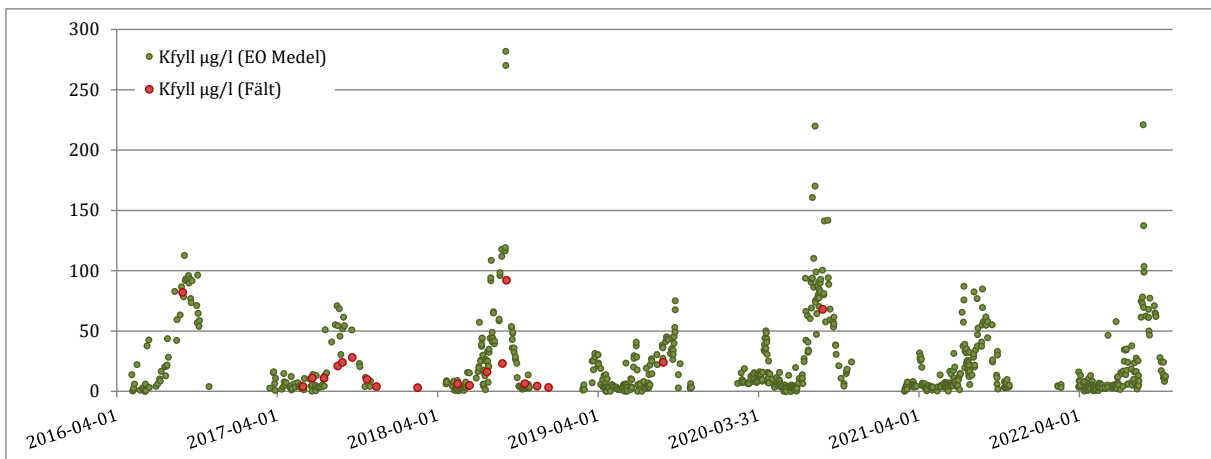
SÖDERMANLAND – Hjälmarens-Östra Hjälmarens (Fält = 0.5m-prov)



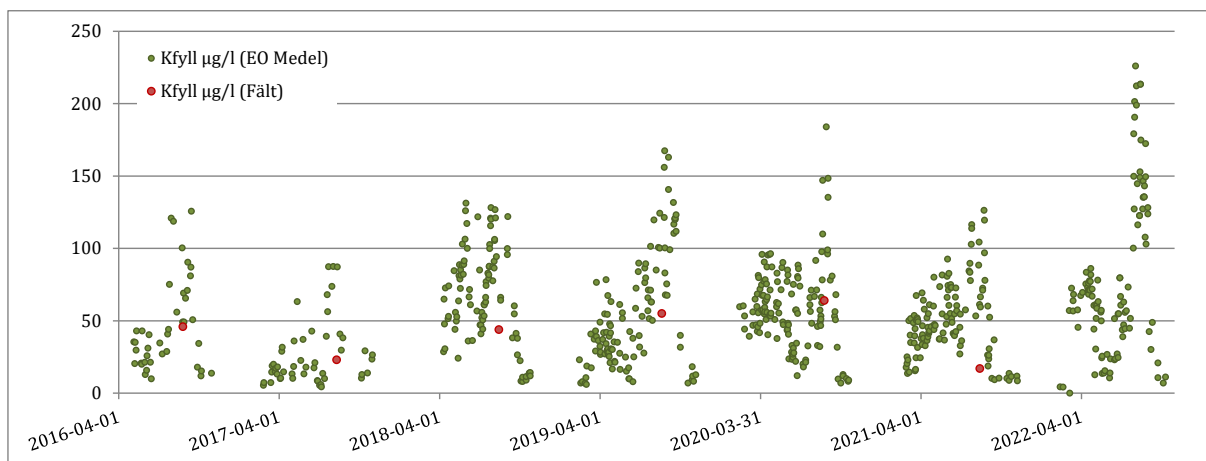
SÖDERMANLAND – Näsaren (Fält = 0.5m-prov)



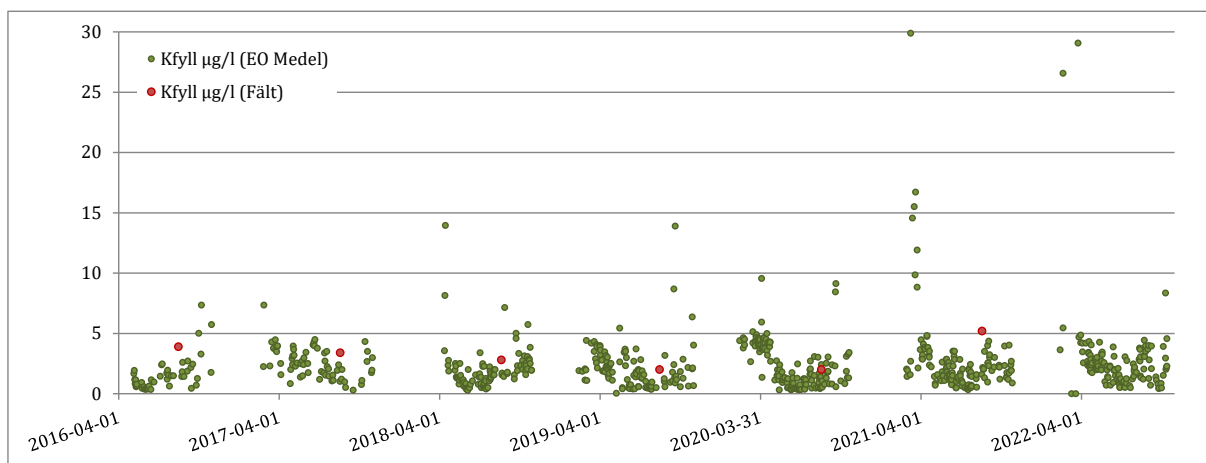
SÖDERMANLAND – Sibbofjärden (Fält = 0.5m-prov)



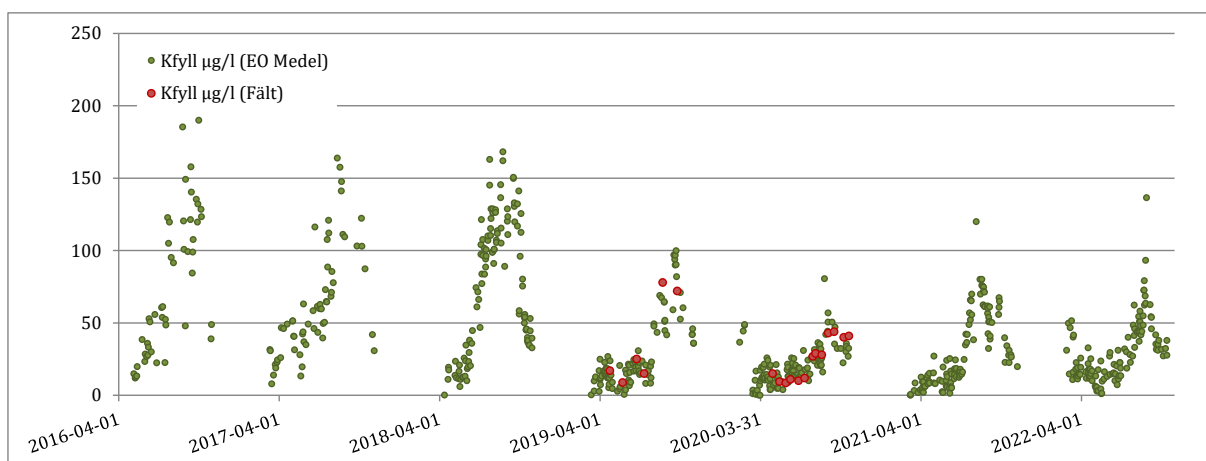
SÖDERMANLAND – Ölajaren (Fält = 0.5m-prov)



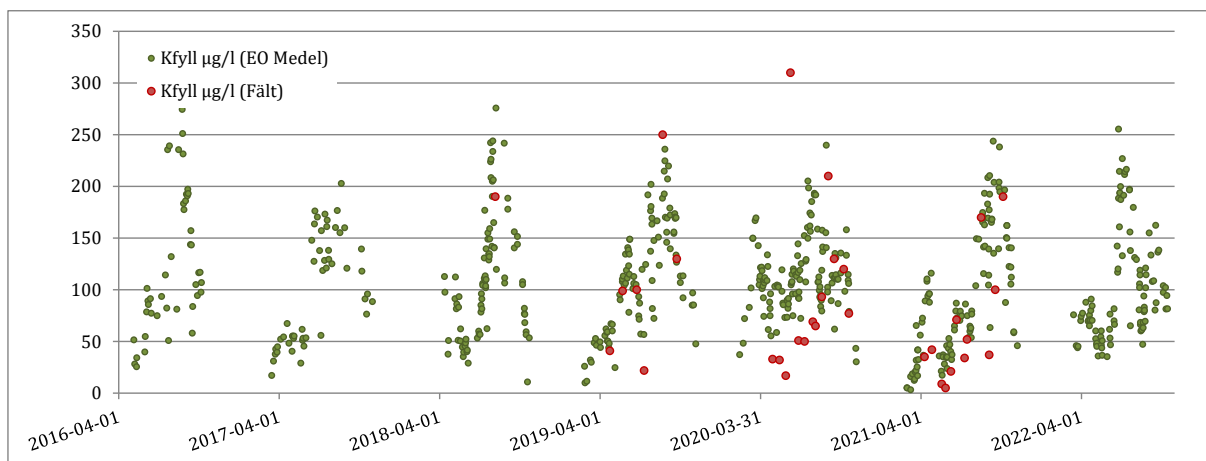
ÖSTERGÖTLAND – Asplången (Fält = 0.5m-prov)



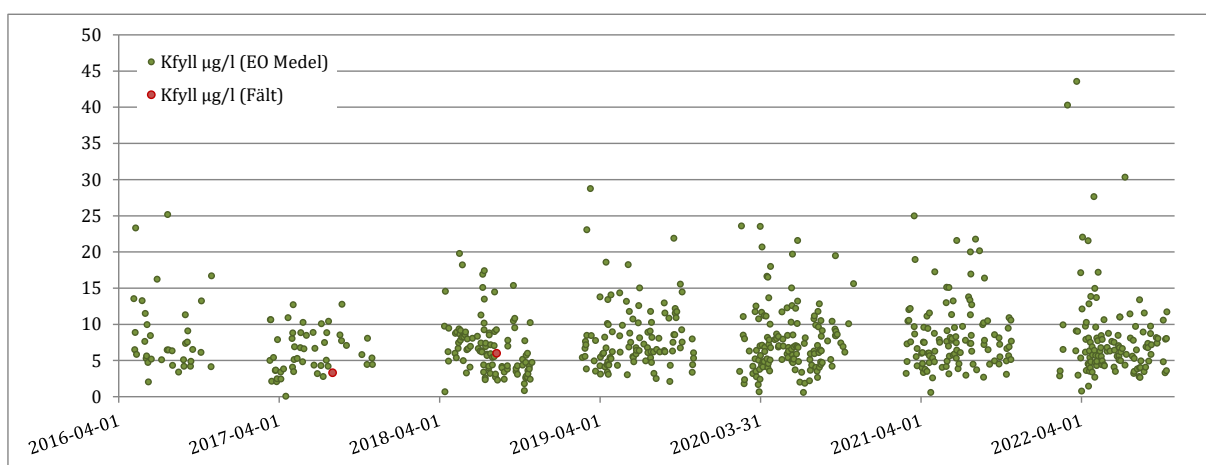
ÖSTERGÖTLAND – Boren (Fält = 0.5m-prov). EO stn justerad för att komma ifrån land.



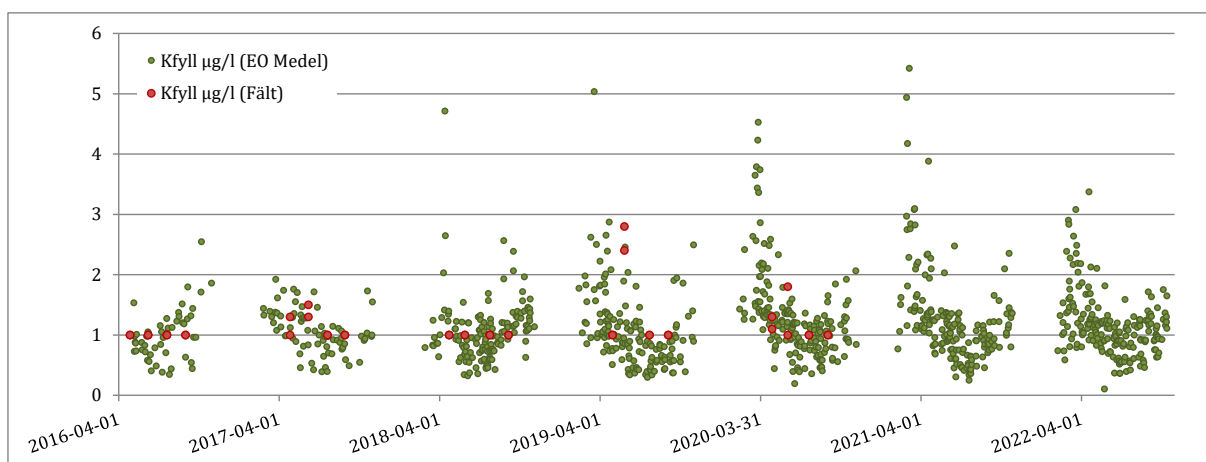
ÖSTERGÖTLAND – Nimmern (Fält = 0.5m-prov)



ÖSTERGÖTLAND – Svinstadssjön (Fält = 0.5m-prov)

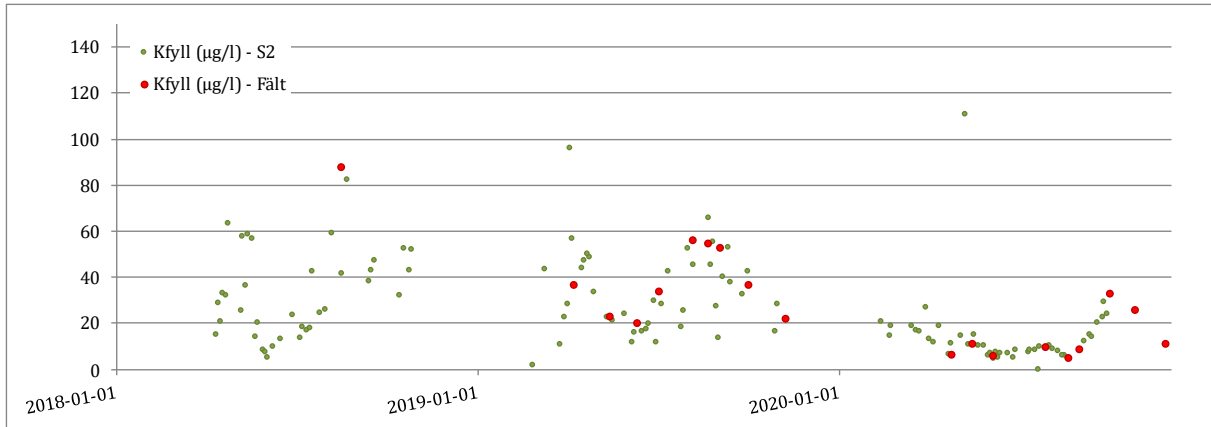


ÖSTERGÖTLAND – Tisnaren (Fält = 0.5m-prov)

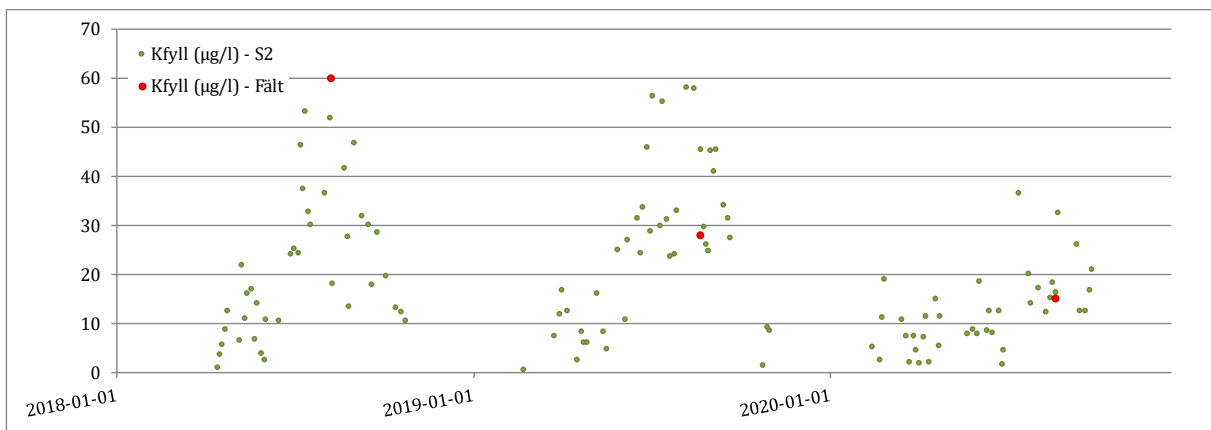


ÖSTERGÖTLAND – Vättern-Jungfrun NV (Fält = 0.5m-prov). OBS! Fältkoncentrationer = 1 µg/l är noterade som <1 µg/l i protokollet.

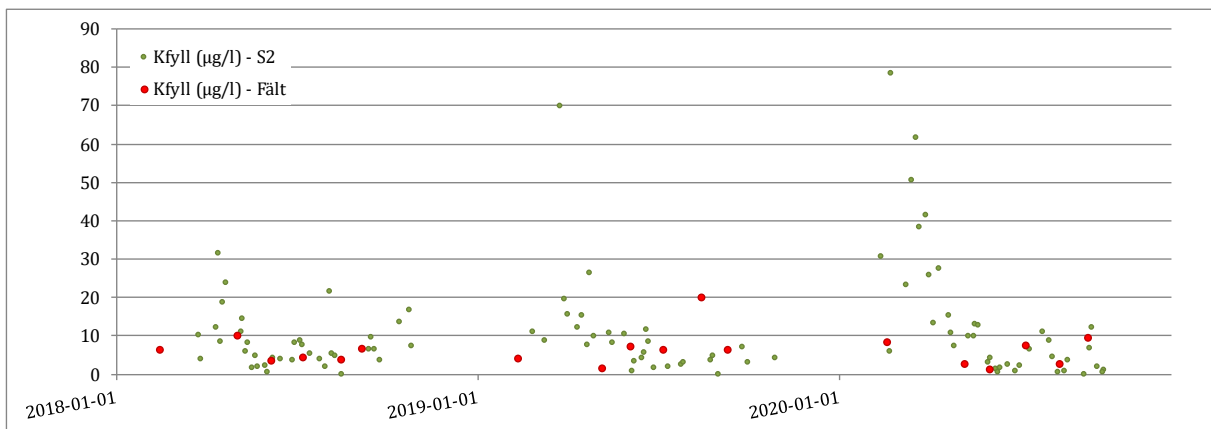
Bilaga 4 – Tidsserier Sentinel-2



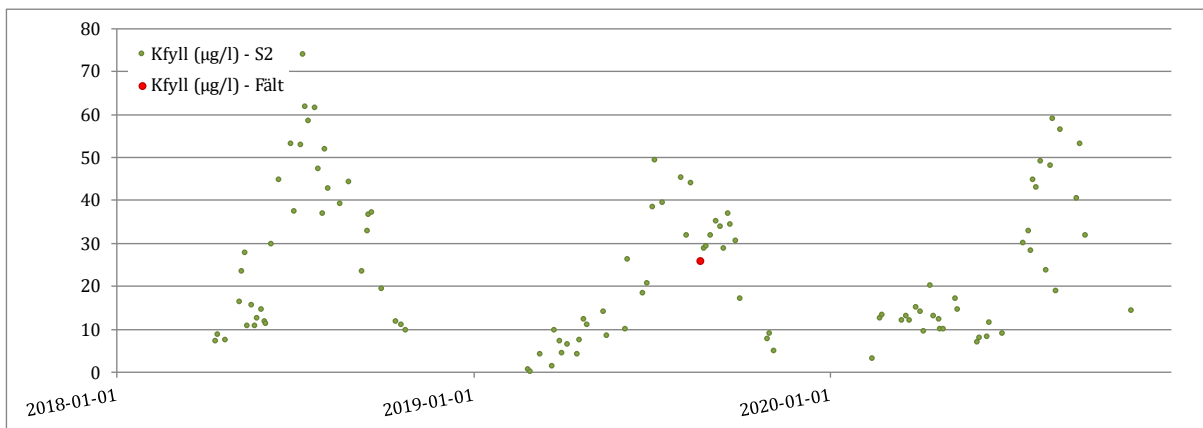
STOCKHOLM – Orlången (Fält = 0.5m-prov)



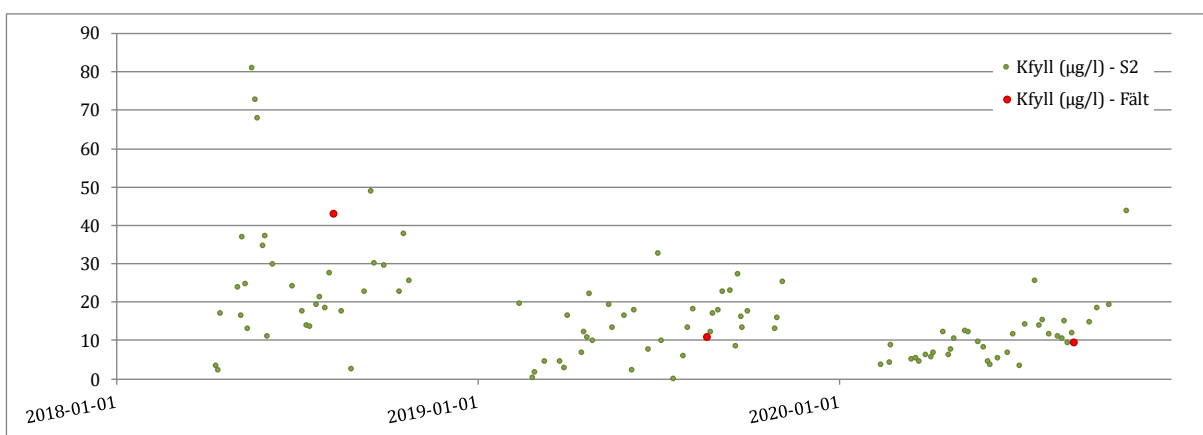
STOCKHOLM – Skedviken (Fält = 0.5m-prov)



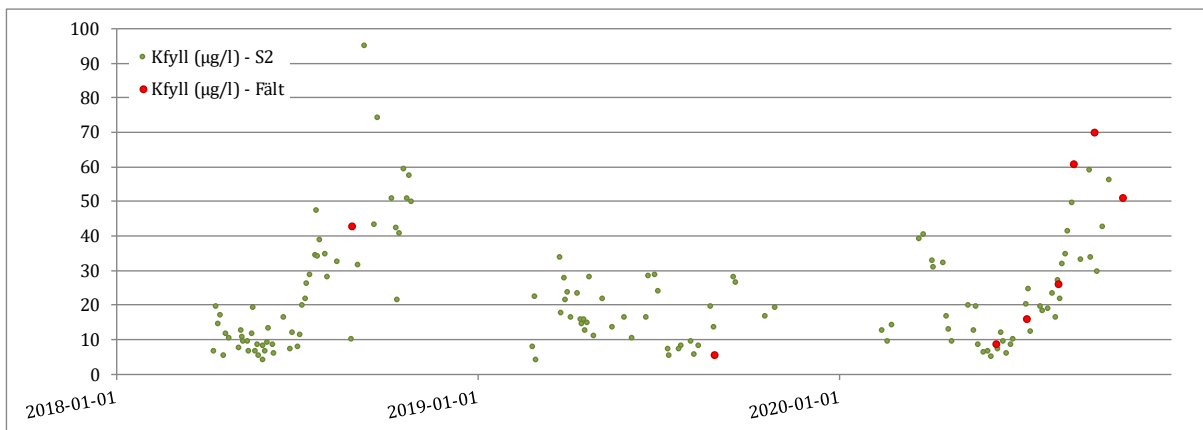
STOCKHOLM – Trekanten (Fält = 0-2m-prov)



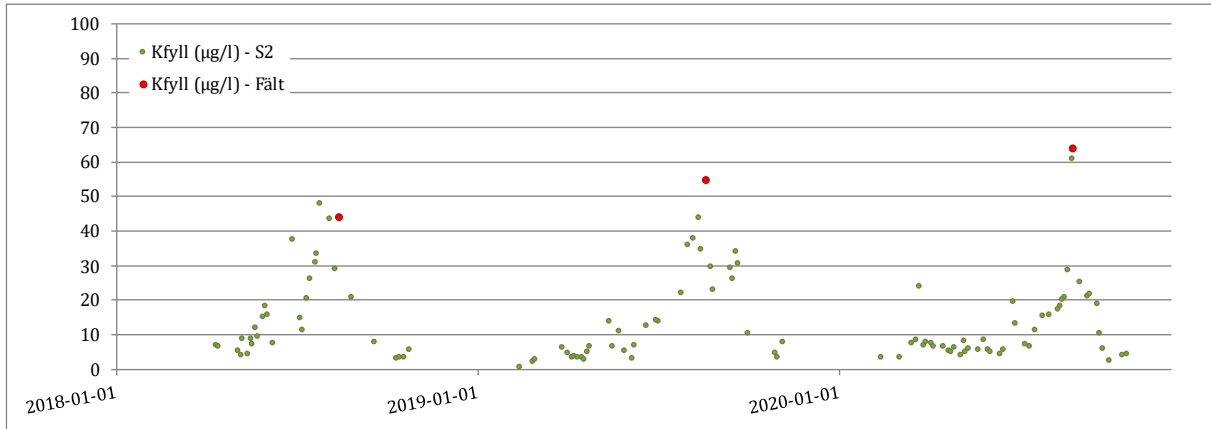
SÖDERMANLAND – Nyckelsjön (Fält = 0.5m-prov)



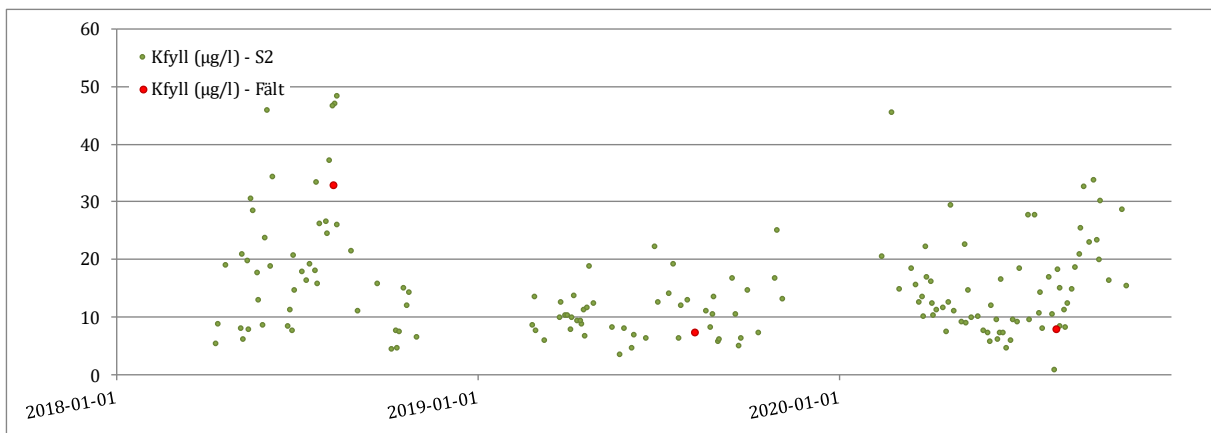
SÖDERMANLAND – Sillen (Fält = 0.5m-prov)



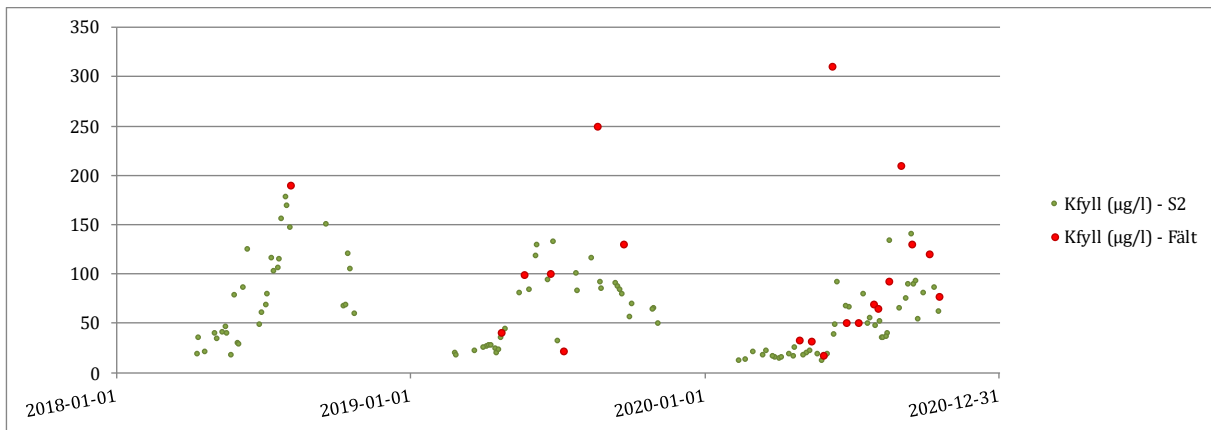
SÖDERMANLAND – Hjälaren-Östra Hjälaren (Fält = 0.5m-prov)



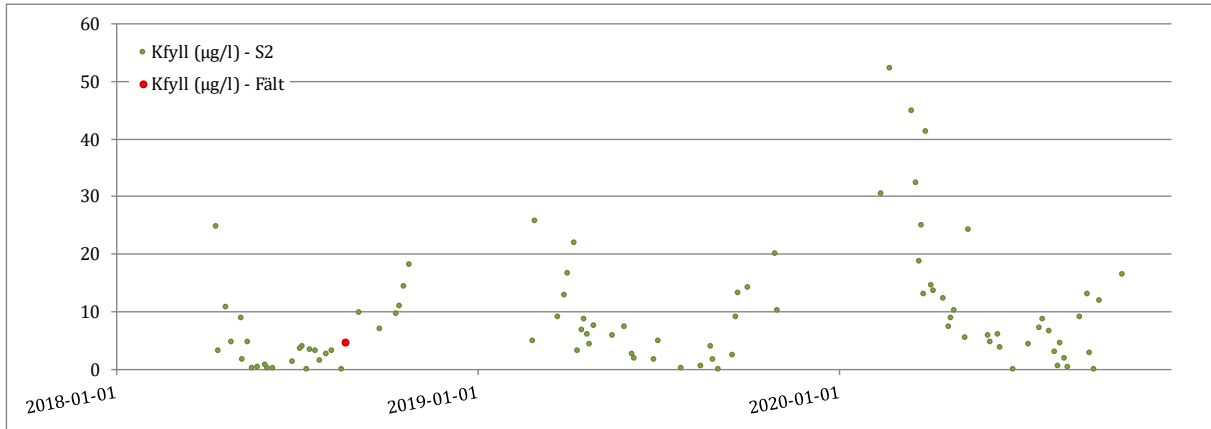
ÖSTERGÖTLAND – Asplången (Fält = 0.5m-prov)



ÖSTERGÖTLAND – Roxen S (Fält = 0.5m-prov)



ÖSTERGÖTLAND – Svinstadsjön (Fält = 0.5m-prov)



ÖSTERGÖTLAND – Åländern (Fält = 0.5m-prov)

