

Undersökning av internbelastning av sjöar påverkade av övergödning i Örebro län



Titel: Undersökning av internbelastning av sjöar påverkade av övergödning i Örebro län

Författare: Ernst Witter, Länsstyrelsen i Örebro län och Magnus Ekelund, Länsstyrelsen i Örebro län

År: 2025

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

Innehåll

1	Sammanfattning.....	5
2	Inledning.....	5
2.1	Vad är internbelastning?	5
2.2	Internbelastning i djupa och grunda sjöar	6
2.3	Hur kan internbelastningen synliggöras?	6
3	Genomförande	6
4	Sjöar enbart bedömda enligt steg 1 (riskbedömning).....	7
4.1	Tabell 1. Sjöar bedömda enligt steg 1	8
4.2	Grunda, helt omblandade sjöar.....	8
4.2.1	Anten	8
4.2.2	Avern	9
4.2.3	Kullasjön.....	9
4.2.4	Sällingsjön	9
4.2.5	Västersjön och Östersjön (Degerfors)	10
4.3	Dimiktiska sjöar	10
4.3.1	Södra Hörken	10
4.4	Polymiktiska sjöar	10
4.4.1	Kråksjön.....	10
4.4.2	Möckeln	11
4.4.3	Norrsjön.....	11
4.4.4	Stora Lindesjön	11
4.4.5	Vedevågssjön	11
4.4.6	Kärrafjärden (Vättern)	12
4.4.7	Åmmelången.....	12
4.4.8	Östersjön (Askersund).....	12
4.4.9	Östra Laxsjön.....	12
5	Sjöar utredda enligt steg 2 (kvantifiering av internbelastning).....	13
5.1	Tabell 2. Sjöar utredda enligt steg 2	13
5.2	Grunda, helt omblandade sjöar.....	13
5.2.1	Finnåkersjön.....	13
5.2.2	Logsjön	14
5.2.3	Norra Lången.....	15

5.2.4	Tysslingen.....	15
5.2.5	Vibysjön.....	16
5.3	Djupa, dimiktiska sjöar	17
5.3.1	Långvattnet.....	17
5.3.2	Stora Kloten.....	19
5.4	Polymiktiska sjöar med instabil skiktning	19
5.4.1	Lonnen.....	19
5.4.2	Norasjön	20
5.4.3	Sottern	21
5.4.4	Tisaren.....	21
5.4.5	Väringen	22
6	Sjöar modellerade enligt steg 3.....	24
6.1	Tabell 3. Sjöar modellerade enligt steg 3	24
6.2	Alsen	24
6.3	Hjälmarens bassänger, steg 1–3.....	25
7	Nivåer för internbelastningshastighet	27
7.1	Tabell 4. Nivå på internbelastning, omblandade sjöar	27
7.2	Tabell 5. Nivå på internbelastning, dimiktiska sjöar med stabil skiktning.....	27
7.3	Tabell 6. Samtliga undersökta sjöar, sammanfattning	28

1 Sammanfattning

Flera sjöar i Örebro län är påverkade av övergödning som har sitt ursprung i mänsklig aktivitet. Övergödningen kan orsakas av att det vatten som rinner till sjön för med sig höga halter av näringsämnen, men den kan också orsakas av interna processer som frigör näringsämnen från sedimenten, så kallad internbelastning. Denna process kan pågå naturligt. Men när mänsklig aktivitet tillfört näringsämnen till sedimenten och det medfört att internbelastningen ökat har vi en förhöjd internbelastning. Inom ramen för det EU-finansierade LIFE-IP projektet ”Rich Waters” har befintliga data och nya undersökningar genomförts för att skapa en lägesbild för hur internbelastningen ser ut i Örebro läns sjöar. Fokus har legat på att undersöka sjöar som kan ha en övergödningssproblematik. Totalt 30 sjöar ingår i rapporten varav 18 är säkert övergödda och ytterligare 8 kan vara det.

För att bedöma sjöarna har metoder använts som utvecklats parallellt i ett annat projekt som också tagits fram inom ”Rich Waters” och som lett fram till publikationen ”Handbok för åtgärder mot internbelastning”¹. Handboken är indelad i olika steg varav 16 av sjöarna i denna rapport är bedömda med stöd av steg 1 där en riskbedömning sker. Ytterligare 12 sjöar är utredda enligt steg 2 där beräkningar genomförts för att kvantifiera internbelastningen. För sjöarna Hjälmaran och Alsen har även modelleringar genomförts enligt handbokens steg 3, för att bedöma hur sjön skulle påverkas av olika åtgärder.

Av de undersökta sjöarna bedöms 14 vara påverkade av en förhöjd internbelastning, varav 5 med säkerhet bedöms vara det. 5 sjöar bedöms med säkerhet inte ha en förhöjd internbelastning.

Undersökningen visar att det krävs mer miljöövervakning för att få tillräckligt underlag för att bedöma vidare åtgärder. I 6 av sjöarna är det lämpligt att inhämta mer data för att kunna göra en säkrare riskbedömning och i ungefär lika många sjöar krävs en utökad miljöövervakning för att kunna kvantifiera internbelastningen och gå vidare med modelleringar. Undersökningen visar även att i minst hälften av de övergödda sjöarna finns ett fortsatt behov att minska den externa belastningen.

2 Inledning

2.1 Vad är internbelastning?

Med internbelastning av fosfor menas den fosfor som under vissa förhållanden kan läcka från en sjös sediment till vattenfasen och på så sätt bidra till förhöjda fosforhalter i vattnet. Det finns även en process som löper i motsatt riktning i vilken fosfor i vattenfasen sedimenterar på sjöns botten där den så småningom kan fastläggas. Båda processer förekommer naturligt i alla sjöar. Sjöar opåverkade av mänsklig aktivitet har en historiskt låg fosforbelastning från externa källor. I dessa sjöar dominerar under en stor del av året fastläggningen över frigörelsen av fosfor från sediment så att netto-internbelastningen är negativ. I sjöar som haft en historiskt hög fosforbelastning kan förhållandena vara de motsatta. Frigörelsen av fosfor dominerar över fastläggningen och netto-internbelastningen blir då positiv och bidrar till förhöjda fosforhalter i vattnet.

¹ [Handbok för åtgärder mot internbelastning på Havs- och vattenmyndighetens webbplats.](#)

Internbelastningen är säsongsbetonad och i södra och mellersta Sverige är den som störst under sommarhalvåret. Även opåverkade sjöar har under sommarhalvåret en positiv netto-internbelastning men den är då betydligt mindre än i påverkade sjöar med en historiskt hög extern belastning. Internbelastningen i en påverkad sjö utöver den som förekommer i en motsvarande opåverkad sjö kallas för förhöjd internbelastning.

2.2 Internbelastning i djupa och grunda sjöar

Fosfor kan frigöras från sediment och tillföras vattenfasen genom biologiska, kemiska och fysiska processer. Kemisk frigöring domineras i djupa, skiktade sjöar medan fysiska (och biologiska processer) dominerar i grunda sjöar. I djupa sjöar som under sommarhalvåret skiktat sig uppstår lätt syrefattiga förhållanden nära botten. Under dessa förhållanden kan kemiskt bunden fosfor, som till exempel fosfor bunden till järn, frigöras och tillföras vattenfasen. Grunda sjöar är vanligtvis omblandade och därmed syresatt även nära botten. I dessa sjöar kan däremot vågrörelser men även bottenfödande fisk röra upp det översta sedimentskiktet så att fosfor i sedimenten tillförs vattenfasen. Räknat per ytenhet är frigörelse av fosfor i djupa sjöar under syrefattiga förhållanden oftast betydligt större än frigörelsen i grunda sjöar. I både djupa och grunda sjöar frigörs även organiskt bunden fosfor genom mineralisering, vilket betyder att den omvandlas till fosfatfosfor.

2.3 Hur kan internbelastningen synliggöras?

Fosforbelastningen från externa källor kan relativt lätt kvantifieras genom att mäta mängderna fosfor som rinner till sjön via vattendrag och diken. Eftersom internbelastningen sker internt i en sjö är det inte lika självklart hur den kan synliggöras. I handbokens bilaga beskrivs hur internbelastningen kan kvantifieras i djupa sjöar med en stabil skiktning och i helt omblandade, grunda sjöar samt sjöar som enbart tillfälligt skiktat sig under sommarhalvåret (polymiktiska sjöar). Metoden för djupa sjöar utgår från att all fosfor som frigörs från sjöns sediment ackumuleras i vattenmassan under språngskiktet. Ackumuleringen ger ett mått på internbelastningens storlek. I grunda och polymiktiska sjöar kvantifieras internbelastningen genom att upprätta en fosforbalans för hela sjön. Internbelastningen beräknas som ökningen av mängden fosfor i sjön med beaktande av mängden fosfor som har tillförts genom tillrinning och mängden fosfor som har lämnat sjön via sjöns utlopp. Mätningarna i både djupa och i grunda sjöar görs vanligtvis månadsvis. Metoderna beskrivs i detalj i bilagorna till ”Handbok för åtgärder mot internbelastning” som tagits fram inom ramen för det EU-finansierade LIFE-IP projektet ”Rich Waters”. Handboken med bilagor går att ladda hem från Havs- och vattenmyndighetens webbplats och har rapportnummer 2023:03.

3 Genomförande

Undersökningarna genomfördes inom ramen för det EU-finansierade LIFE-IP projektet ”Rich Waters” under perioden 2018–2024. Framför allt användes två metodiker. En enkel metod för att utifrån befintliga data bedöma om det föreligger risk att sjön har förhöjd internbelastning, och en mer avancerad metod som kvantifierar internbelastning utifrån data från en anpassad miljöövervakning. Den första metoden kallas för ”steg 1” i handboken och den andra metoden för ”steg 2”.

Metodikerna för kvantifiering av internbelastning enligt steg 2 utvecklades parallellt i projektet vilket innebär att de undersökningar som genomfördes i början av projektperioden använde sig av en metodik som inte var fullt utvecklad än. Resultat från undersökningar 2018–2020 är därför mer osäkra än de som genomfördes 2021–2022.

Tillämpning av steg 1 utgick från befintliga data till och med 2024.

I ett par fall har även steg 3 tillämpats som innebär modellering där bland annat effekt av olika åtgärder simuleras.

4 Sjöar enbart bedömda enligt steg 1 (riskbedömning)

Steg 1 är ett enkelt sätt som möjliggör bedömning av risk för förhöjd internbelastning utifrån ofta redan tillgängliga data för en sjö. Det är viktigt att veta om sjön är omblandad, dimiktisk (stabil skiktning under sommaren) eller polymiktisk. Polymiktiska sjöar har en instabil skiktning och är varken helt dimiktiska eller helt omblandade under hela sommaren. I sådana sjöar kan skiktning uppstå under vindstilla perioder under sommaren, men den bryts till exempel när vädret blir blåsigare. Är man osäker är det säkrast att anta att sjön är polymiktisk och utföra riskbedömningen både enligt metoden för en omblandad sjö och den för en dimiktisk sjö.

Riskbedömningen enligt steg 1 är säkrast för dimiktiska sjöar eftersom den enbart utgår från fosforhalten i bottenvatten på sensommaren och påverkas därför inte nämnvärt av den externa belastningen. För omblandade och polymiktiska sjöar är bedömningen mer osäker, i synnerhet i sjöar med en betydande externbelastning. Detta eftersom bedömningen för omblandade sjöar utgår från ökningen av fosforhalten i sjön under sommaren och antar att en haltökning enbart beror på internbelastning. En haltökning kan dock även bero på en ökning av externbelastningen under sommaren. Variationer i väderförhållanden under sommaren mellan åren gör att den beräknade risken för omblandade och polymiktiska sjöar kan variera kraftigt mellan åren. Det kan dels bero på att internbelastningen verkligen skiljer sig kraftigt mellan åren på grund av skillnaderna i väderförhållanden, men kan också bero på skillnader i den externa belastningen. Verkar det vara en betydande internbelastning enligt steg 1 behövs nästan alltid ytterligare miljöövervakning för att säkerställa och approximera storleken på internbelastning enligt metodiken för steg 2. Detta gäller i synnerhet om variationen mellan åren är stor.

Samtliga sjöar för vilka det fanns tillräckligt dataunderlag ingick i bedömningen av risk för förhöjd internbelastning enligt steg 1.

4.1 Tabell 1. Sjöar bedömda enligt steg 1

Sjöar för vilka det fanns tillräckligt dataunderlag för bedömning av risk för förhöjd internbelastning enligt steg 1, men som inte utretts enligt steg 2. Vilket dataunderlag som behövs och hur bedömningen görs för grunda (omblandade), dimiktiska (skiktade) och polymiktiska (delvis skiktade) beskrivs i bilaga 1 till handboken.

Sjö	Vatten ID	Typ av sjö	Status näringsämnen (2017-2021)	Typ av miljöövervakning ¹	Data insamlat
Anten	WA37385162	Omblandad	Måttlig	Vår och sensommar	2013-2017 2022-2024
Avern	WA42654584	Omblandad	God	Vår och sensommar	2004-2008
Kråksjön	WA14260577	Polymiktisk	Hög	Vår och sensommar	2022-2024
Kullasjön	WA26703983	Omblandad	God	Vår och sensommar	2009-2011
Kärrafjärden	WA55495445	Polymiktisk	Hög	Vår och sensommar	2013-2014 2016-2022
Möckeln	WA83141000	Polymiktisk	Hög	Vår ² och sensommar	2013-2016
Norrsjön	WA36940485	Omblandad	Hög	Sensommar	2015-2019
Stora Lindesjön	WA38192030	Polymiktisk	Hög	Vår och sensommar	2014-2015 2017-2019
Sällingsjön	WA49486683	Omblandad	Måttlig	Vår och sensommar	2009-2011 2013-2016 2022-2024
Södra Hörken	WA15795600	Dimiktisk	God	Sensommar	2009-2010 2013-2016 2018-2019
Vedevågssjön	WA16732452	Polymiktisk	Hög	Vår och sensommar	2009-2011 2014-2015 2017-2019
Västersjön	WA43683430	Omblandad	Otillfredsställande	Vår ² och sensommar	2012-2015 2017-2018
Åmmelången	WA60378929	Polymiktisk	God	Vår ² och sensommar	2011-2014 2016-2022
Östersjön (Degerfors)	WA43989225	Omblandad	Måttlig	Vår och sensommar	2009-2015 2018
Östersjön (Askersund)	WA42809205	Polymiktisk	God	Vår och sensommar	2011 2013-2016
Östra Laxsjön	WA50348055	Polymiktisk	Hög	Vår ² och sensommar	1997-2001 2007-2009 2015-2020

1. Med vår avses prov tagna någon gång under perioden februari – maj, med sensommar avses augusti eller september

2. Vårprov endast vissa av åren

4.2 Grunda, helt omblandade sjöar

4.2.1 Anten

Anten är en mindre, grund slättsjö som med maxdjup 7 meter, medeldjup 2 meter och Osgood index 1,8 kan betraktas som omblandad. Den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton har hög status och visar därför ingen påverkan från övergödning. Dock har den måttlig status för kvalitetsfaktorn näringsämnen. Det saknas data för kvalitetsfaktorn bottenfauna.

Det finns mätdata från 2013 tom 2024 (8 år) för att kunna bedöma risken för förhöjd internbelastning enligt steg 1. Risken bedömdes samtliga år som låg eller måttlig, förutom 2023 då risken bedömdes som mycket stor. Resultaten för 2023 kan dock ha påverkats av en hög externbelastning under sommaren 2023 som hade ovanligt hög nederbörd. Anten ligger i nära anslutning till jordbruksmark och en ovanligt hög avrinning under sommaren 2023 kan därför vara orsaken till den kraftiga höjningen av fosforhalten i sjön.

Sammanlagt bedöms risken för förhöjd internbelastning därför som låg till måttlig. Eftersom sjön har hög status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton som bäst visar påverkan från övergödning finns det ingen anledning att närmare undersöka eventuell påverkan från internbelastning.

4.2.2 Avern

Samtliga biologiska kvalitetsfaktorer (växtplankton och bottenfauna) visar påverkan från övergödning även om faktorn näringsämnen har god status. Det finns enbart data från 2004 till och med 2008 (5 år) för att bedöma risk för förhöjd internbelastning. Efter 2008 provtas sjön vid utloppet och inte i sjön vilket gör en riskbedömning osäker. Med ett maxdjup på 10 m skulle Avern kunna vara en polymiktisk sjö. Bottenvattentemperaturen vid sensommarprovtagning (2004 - 2008) har dock alltid varit över 15°C varför sjön kan betraktas som helt omblandad. För åren 2004–2008 bedömdes risken enligt steg 1 för en omblandad sjö som stor till mycket stor, förutom 2004 då risken var låg. Det föreligger därför en betydande risk att sjön är påverkad av förhöjd internbelastning. Men eftersom dataunderlaget är mer än 15 år gammalt är det motiverat att i första hand utföra miljöövervakning under minst 4 år för att få in nyare dataunderlag för att kunna göra en riskbedömning enligt steg 1. Eventuellt kan det kombineras med att under åtminstone 1 år utföra en utförligare miljöövervakning för att även kunna göra en säkrare riskbedömning enligt steg 2.

4.2.3 Kullasjön

Sjön har god status för kvalitetsfaktorerna växtplankton och näringsämnen (data för bottenfauna saknas) men har otillfredsställande status för planktontrofiskt index vilket indikerar en viss påverkan från övergödning. Kullasjön är en grund sjö med maxdjup 5,2 meter (medeldjup 2,6 meter) och kan därför bedömas som omblandad sjö. Data finns enbart för tre år (2009–2011) som visar stor (2009) eller mycket stor (2010 och 2011) risk för förhöjd internbelastning. Eftersom dataunderlaget är begränsad och mer än 15 år gammalt är det motiverat att i första hand utföra miljöövervakning under minst 4 år för att få in nyare dataunderlag för att kunna göra en ny riskbedömning enligt steg 1. Eventuellt kan det kombineras med att under åtminstone 1 år utföra en utförligare miljöövervakning för att även kunna göra en säkrare riskbedömning enligt steg 2.

4.2.4 Sällingsjön

Sjön visar en viss påverkan av övergödning med måttlig status för kvalitetsfaktorerna växtplankton och näringsämnen. Med ett maxdjup på 5 och medeldjup 2 meter kan sjön betraktas som omblandad. Data finns för 10 år (mellan 2009 och 2024) under vilken tid sjön visade låg till mycket stor risk för förhöjd internbelastning. Medianvärdet visar stor risk. Den långa dataserien och att risken enbart 1 av 10 år bedömdes som låg gör att sjön kan anses ha en betydande risk för förhöjd internbelastning. I det fortsatta arbetet med övergödningens problematiken i denna sjö behöver därför hänsyn tas till risken för förhöjd

internbelastning och vid behov ytterligare miljöövervakning genomförs för att kunna bedöma risken med större säkerhet enligt steg 2.

4.2.5 Västersjön och Östersjön (Degerfors)

Västersjön och Östersjön är två mindre, grunda sjöar som ligger nära varandra i samma avrinningsområde. Västersjön har sitt utlopp i Östersjön genom en cirka 600 meter lång å mellan sjöarna. Samtliga 3 vatten är påverkade av övergödning. Båda sjöarna kan betraktas som helt omblandade.

Västersjön som är kraftigast påverkad av övergödning visar en låg till stor risk för förhöjd internbelastning med medianen måttlig risk (data för 5 år mellan 2012 och 2018). Östersjön visar samma variation mellan åren men med medianen låg risk (data för 8 år mellan 2009 och 2018). Även om det är möjligt att internbelastning har en påverkan på övergödningen i Västersjön bör fokus på åtgärdsarbete mot övergödning i dessa 3 vatten i första hand rikta sig mot att minska den externa belastningen.

4.3 Dimiktiska sjöar

4.3.1 Södra Hörken

Bedömningen av de biologiska kvalitetsfaktorerna för övergödning (växtplankton och bottenfauna) samt halten näringsämnen visar att sjön inte är påverkad av övergödning. Sjöns bottensediment har dock mycket höga fosforhalter som ett resultat av tidigare gruvverksamhet i området² (Ahlgren, 2005). Detta i kombination med tidvis låga syrgashalter innebär att det finns en potentiell risk för förhöjd internbelastning i denna sjö. Med sitt maxdjup på 43 meter kan sjön anses vara dimiktisk. Data för att kunna bedöma risken för förhöjd internbelastning finns för 8 år mellan 2009 och 2019. För 7 av dessa år bedömdes risken som mycket låg, men ett år (2009) var risken måttlig. Det finns därför en viss risk för förhöjd internbelastning men så länge de biologiska och kemiska kvalitetsfaktorerna inte visar någon påverkan av övergödning finns det ingen anledning att genomföra ytterligare studier kring internbelastningen.

4.4 Polymiktiska sjöar

4.4.1 Kråksjön

Det saknas data för de biologiska kvalitetsfaktorer som skulle kunna påvisa påverkan från övergödning. Fosforkoncentrationerna i sjöns ytvatten är dock låga. Analys av växtplankton och klorofyll *a*, eventuellt även bottenfauna, bör utföras för att säkrare bedöma om sjön är påverkad av övergödning.

Med ett maxdjup på 8,3 meter och medeldjup 2 meter bör sjön betraktas som polymiktisk, men är troligtvis oftast omblandad. Det finns enbart data för 3 år (2022–2024) som visar måttlig till mycket stor risk för förhöjd internbelastning om bedömd som omblandad sjö och mycket låg risk om bedömd som dimiktisk sjö. Eftersom sjön troligtvis oftast är omblandad är bedömningen som omblandad sjö säkrare. Det finns därför en påtaglig risk

² Ahlgren, 2005. Utvärdering av analysresultat från sjön Södra Hörken 1993–2004. [Länk till dokument.](#)

för förhöjd internbelastning och det bör utredas närmare enligt steg 2 förutsatt att åtgärder behövs för att minska övergödningen av sjön.

4.4.2 Möckeln

Sjön är troligtvis inte påverkad av övergödning med hög status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton och hög status för näringsämnen. Däremot har kvalitetsfaktorn BQI (bottenfauna) otillfredsställande status vilket dock inte behöver vara en effekt av övergödning. Sjön har ett stort maxdjup på 26 meter och ett medeldjup på 12 meter. Det är troligt att sjön åtminstone tidvis är skiktad men att skiktningen inte är stabil under hela sommarhalvåret. Sjön betraktas därför som polymiktisk men kompletterande mätningar behövs för att kunna säkerställa om sjön åtminstone vissa år har en stabil skiktning under sommaren och då enbart behöver bedömas som dimiktisk sjö. Data finns för 4 år (2013–2016) och resultaten visar entydigt för varje år att risken är låg eller mycket låg om sjön är bedömd som dimiktisk. Sjön kunde enbart ett år bedömas som omblandad sjö, men även den bedömningen visar låg risk. Risken för förhöjd internbelastning kan därför anses vara försumbar.

4.4.3 Norrsjön

Kvalitetsfaktorer för att bedöma påverkan av övergödning i denna sjö visar motstridiga resultat. Den känsligaste biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton har god status trots att status för faktorn klorfyll a är måttlig. Status för kvalitetsfaktorn BQI (bottenfauna) är otillfredsställande medan status för näringsämnen är hög.

För att kunna bedöma risken för förhöjd internbelastning finns det enbart data för fosforhalten i bottenvatten på sensommaren. Risken kan därför endast bedömas genom att anta att sjön är dimiktisk med en stabil skiktning under sommarhalvåret. Dessa data för åren 2015 till 2018 visar genomgående låga fosforhalter i bottenvatten på sensommaren, motsvarande låg till mycket låg risk. Med sitt maxdjup på endast 10 m (medeldjup 3,3 m) bör sjön dock betraktas som polymiktisk. Om sjön bedöms påverkad av övergödning behövs därför ytterligare miljöövervakning för att även kunna bedöma risken enligt metoden för en omblandad sjö.

4.4.4 Stora Lindesjön

Stora Lindesjön är troligtvis inte påverkad av övergödning. Sjön har hög status för kvalitetsfaktorerna växtplankton och näringsämnen. Det är därför osannolikt att sjöns måttliga status för bottenfauna och ljusförhållanden skulle vara en effekt av övergödning. De data som finns (2014 till och med 2019) visar att risken för förhöjd internbelastning är låg eller mycket låg om bedömt enligt metoden för en omblandad sjö. Det saknas data för att bedöma risken enligt metoden för en dimiktisk sjö. Men med sjöns ringa maxdjup (10,5 meter) och medeldjup (3,4 meter) är det inte troligt att sjön har en stabil skiktning. Bedömningen av låg till mycket låg risk kan därför anses vara pålitlig.

4.4.5 Vedevågssjön

Sjön är troligtvis inte påverkad av övergödning. Sjön har god respektive hög status för kvalitetsfaktorerna växtplankton och näringsämnen. Det är därför osannolikt att den måttliga statusen för bottenfauna och ljusförhållanden skulle vara en effekt av övergödning. Data finns för att kunna bedöma risken för förhöjd internbelastning för en omblandad sjö. Den beräknade risken visar en stor variation mellan åren och pendlade

mellan låg till mycket stor, med medianvärdet stor risk (data finns för 8 år mellan 2009 och 2018). Vedevågssjön har ett stort avrinningsområde och därmed en stor externbelastning och fosforhalterna i sjön kan därför påverkas kraftigt av variationer i den externa belastningen. Att sjön troligtvis inte är påverkad av övergödning och bedömningen att det kan finnas en stor risk för förhöjd internbelastning är mycket osäker innebär att det tills vidare inte finns anledning att undersöka risken närmare.

4.4.6 Kärrafjärden (Vättern)

Sjön är måttligt påverkad av övergödning med måttlig status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton och otillfredsställande status för faktorn BQI (bottenfauna). Sjön har ett maxdjup på 15 meter och ett medeldjup på 10 meter men är polymiktisk och inte dimiktisk. Data för 9 år mellan 2013 och 2022 finns för att kunna bedöma sjön både som omblandad och som dimiktisk. Dessa data visar entydigt att det inte föreligger någon risk för förhöjd internbelastning, samtliga år visar låg eller mycket låg risk enligt steg 1. Orsaken till övergödningen måste därför sökas i en för hög externbelastning.

4.4.7 Åmmelången

Sjön är måttligt påverkad av övergödning med måttlig status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton men dålig status för faktorn BQI (bottenfauna). Sjön har ett maxdjup på 11 meter och ett medeldjup på 6,3 meter och är polymiktisk. Data finns för att kunna bedöma sjön både som omblandad och som dimiktisk. Dessa data visar att risken för förhöjd internbelastning är låg. Bedömd som omblandad sjö var risken låg 5 av 6 provtagningar och ett år stor (data från 2014–2019). Bedömt som dimiktisk sjö var risken låg eller mycket låg 10 av 11 år och ett år måttligt. Påverkan från internbelastning kan därför anses vara försumbar.

4.4.8 Östersjön (Askersund)

Sjön är måttligt påverkad av övergödning med måttlig status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton. Data saknas för faktorn BQI (bottenfauna). Även om sjön klassas som polymiktisk är den troligtvis ofta omblandad på grund av ett ringa maxdjup på 11 meter och ett medeldjup på 3,5 meter. Data finns för 5 år (2011–2016) för att bedöma risken enligt omblandade sjöar. Resultaten visar entydigt för varje år att risken är låg.

4.4.9 Östra Laxsjön

Sjön har god status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton och hög status för den kemiska kvalitetsfaktorn näringsämnen. Data saknas för faktorn BQI (bottenfauna). Eftersom sjön inte är påverkad av övergödning borde den därför inte ha en förhöjd internbelastning. Sjön är polymiktisk med ett maxdjup på 18 meter och ett medeldjup på 5,4 meter. Data finns för att kunna bedöma risken för förhöjd internbelastning enligt både metoden för omblandade sjöar och för dimiktiska sjöar. Resultaten visar att risken är mycket låg om bedömt som dimiktisk sjö (data för 9 år 2007–2020). Bedömd som omblandad sjö var risken låg 6 av de 8 åren (1997–2009). Två av åren var risken dock måttlig eller stor (1998, respektive 2001). Även om det därför kan finnas en risk för en viss internbelastning enstaka år är nivån ändå så låg att den tydligen inte orsaker någon övergödning av sjön.

5 Sjöar utredda enligt steg 2 (kvantifiering av internbelastning)

Totalt utfördes miljöövervakning för kvantifiering av internbelastning enligt steg 2 i 13 sjöar under perioden 2018–2022 (tabell 2). Några av sjöarna övervakades under ett antal år eller vid fler än 1 provtagningsplats. Urvalet av sjöar var i första hand de sjöar som hade sämre än god status för en eller fler parametrar som visar påverkan från övergödning.

Precis som för steg 1 är det viktigt att veta om sjön är omblandad, dimiktisk eller polymiktisk.

5.1 Tabell 2. Sjöar utredda enligt steg 2

Sjöar som ingick i miljöövervakning 2018–2022 för att samla in data som möjliggör kvantifiering av internbelastningen enligt steg 2. Hur miljöövervakningen för grunda (omblandade), dimiktiska (skiktade) och polymiktiska (delvis skiktade) genomförs beskrivs i bilaga 3 till handboken.

Sjö	Vatten ID	Typ av sjö	Status näringsämnen (2017-2021)	Typ av miljöövervakning	Data insamlat
Finnåkersjön	WA45039249	Omblandad	God	In- och utlopp, månatlig	2018
Logsjön	WA97454283	Omblandad	Måttlig	In- och utlopp och mätning i sjön, månatlig	2019
Norra Lången	WA75978704	Omblandad	Måttlig	Sjöprovtagning samt In- och utlopp, månatlig	2018, 2019
Vibysjön	WA38227902	Omblandad	Otillfredsställande	In- och utlopp och mätning i sjön, månatlig	2018, 2019
Långvattnet	WA24815652	Dimiktisk	Måttlig	Profil, månatlig	2020, 2021
Stora Kloten	WA53229609	Dimiktisk	Hög	Profil, månatlig	2020, 2021
Lonnen	WA72590924	Polymiktisk	Hög	Profil, månatlig	2018
Norasjön	WA67649139	Polymiktisk	Hög	Profil, månatlig	2018
Sottern	WA78284700	Polymiktisk	God	Profil, månatlig	2018, 2019, 2022
Tisaren	WA26302476	Polymiktisk	Måttlig	Profil samt in- och utlopp, månatlig	2019, 2020
Tysslingen	WA77094288	Omblandad	Otillfredsställande		
Väringen	WA27686203	Polymiktisk	God	Profil, månatlig	2018

5.2 Grunda, helt omblandade sjöar

Det fanns 5 grunda sjöar som ingick i undersökningen av internbelastning enligt steg 2: Finnåkersjön, Logsjön, Norra Lången, Tysslingen och Vibysjön. Dessa sjöar har ett maxdjup på mindre än 5 meter och ett medeldjup mindre än 2 meter och betraktades som helt omblandade under hela sommarperioden.

Samtliga sjöar hade vid bedömningen i förvaltningscykel 3 (2017–2021) mindre än god ekologisk status för minst en kvalitetsfaktor relaterad till påverkan från näringsämnen.

5.2.1 Finnåkersjön

Finnåkersjön har god ekologisk status – det är enbart kvalitetsfaktorn planktontrofiskt index (PTI) som visar sämre än god status. Status näringsämnen i förvaltningscykel 3 var god, med en medelfosforhalt på 33 µg P/l. Under perioden för undersökningen (maj – september, 2018) var medelhalten dock 56 µg P/l, motsvarande måttlig status.

Internbelastningshastigheten, Li, under perioden maj – september 2018 var $1,8 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, motsvarande en måttlig nivå (tabell 4). Den beräknade mängden fosfor som tillfördes sjön genom internbelastning var 264 kg P jämfört med en beräknad extern P belastning på 168 kg P . Den beräknade internbelastningen inträffade främst under våren (maj - juni) på grund av en hög fosfortransport ut från sjön med lite tillförsel genom tillflödena. Däremot var internbelastningen under sommarmånaderna (juli – september), då vanligtvis internbelastningen är som högst, mycket låg eller negativ. Detta gör det något osäkert om det höga utflödet av P från sjön under våren verkligen berodde på internbelastning. Det kan ha varit att höga halter i tillrinnande vatten tidig vår (mars - april) först gav sig tillkänna i sjöns utlopp i maj – juni. Finnåkersjön har en genomsnittlig omsättningstid på cirka 2–3 månader, dock troligtvis kortare under aktuell period på grund av högre flöden än årsgenomsnittet.

Mycket höga fosforhalter (upp till $220 \text{ } \mu\text{g P/l}$) uppmättes i tillflödena under hösten 2017. Det finns därför anledning att även titta på den externa belastningens bidrag vid framtida arbete för att minska ett mindre övergödningssproblem i Finnåkersjön.

5.2.2 Logsjön

Logsjön är påverkad av övergödning och har måttlig status för kvalitetsfaktorerna näringsämnen och växtplankton.

Internbelastningen undersöktes 2019 med mätning av fosforhalter och vattenföring i både in- och utflöden samt fosforhalter i sjön. Detta ger ett gott underlag för att kunna kvantifiera internbelastningen. Eftersom inflödena var försumbara styrdes den beräknade internbelastningen så gott som enbart av ändringarna i mängden fosfor i sjön. Även om de uppmätta fosforhalterna i sjön är ganska säkra, är det något osäkert hur stor ändringen var i vattenvolymen i sjön. Det gjordes ingen direkt mätning av detta, men den uppskattades utifrån de uppmätta in- och utflödena av vatten.

Vid de månatliga mätningarna från april till och med september 2019 var det enbart under juli det fanns en positiv fosforbalans, vilket indikerar internbelastning. Övriga månader var balansen negativ (nettosedimentation). Men med hänsyn till sedimentation (beräknat utifrån data för juni då den var högst) var internbelastningshastigheten $1,3 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ för perioden maj-augusti, med maximum för juli ($1,8 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Båda dessa hastigheter motsvarar en måttlig nivå (tabell 4). Används data för september för att uppskatta sedimentationshastigheten blir den beräknade bruttointernbelastningen för juli enbart $0,8 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (motsvarande låg till måttlig nivå) och det blir nettosedimentation de övriga månaderna.

Fosforhalterna i sjön ökade från $18 \text{ } \mu\text{g P/l}$ i juni till $42\text{--}48 \text{ } \mu\text{g P/l}$ i juli-augusti. Ökningen beror troligtvis helt på internbelastning. Fosforhalterna i sjön i maj var dock ännu högre ($63 \text{ } \mu\text{g P/l}$) och i det största inloppet (Lillån) var halterna då $47 \text{ } \mu\text{g P/l}$. Det tyder på att det under våren när det finns betydande inflöden att den externa belastningen också är viktig.

För att minska påverkan från övergödning är det viktigt att först få ner den externa tillförseln så mycket som möjligt. Det är dock inte uteslutet att det även behövs åtgärder för att minska internbelastningen. Fler mätdata behövs för att säkerställa påverkan från

externa och interna källor och eventuellt bör en utredning enligt steg 3 genomföras för att bedöma behovet av åtgärder mot den externa och interna belastningen.

5.2.3 Norra Lången

Norra Lången (Örebro kommun) är kraftigt påverkad av övergödning. Även om status för kvalitetsfaktorn näringsämnen är enbart måttlig har den otillfredsställande status för växtplankton. För parametrarna klorofyll a och totalbiomassa är statusen dålig.

Mätningar för att beräkna internbelastningen genom att upprätta en massfosforbalans för Norra Lången utfördes 2018 och 2019 från april till och med september. Både åren gjordes mätningar av in- och utflöden men 2019 utfördes även mätningar av fosforhalten (i ytvatten) i Norra Lången vid djuphållet. 2018 användes fosforhalten i Norra Långens utflöde som mått på fosforhalten i sjön. Mätningarna 2019 visade att fosforhalten i sjön var 10–18 procent högre än vid utloppet. Det kan ha lett till en marginell underskattning av internbelastningen 2018. Beräkningen av mängden fosfor i sjön utgick från en äldre djupkarta. Det finns nu en nyare djupkarta med hypsograf som kan användas vid framtida beräkningar.

Massbalansen för fosfor var positiv alla månader 2019, förutom i september då det skedde en nettosedimentation. Den användes för att beräkna sedimentationshastigheten. Under 2018 var balansen negativ (nettosedimentation) och snarlik från mitten av april till mitten av maj, samt från mitten av augusti till mitten av oktober. Sedimentationshastigheten för april-maj användes för att beräkna bruttointernbelastningen 2018.

Med hänsyn till sedimentation var (brutto) internbelastningshastigheten snarlik 2018 och 2019. Som medel för maj-augusti var den 5,0 2018 och 6,2 mg P m⁻² d⁻¹ 2019. Den maximala hastigheten var 7,8 2018 och 6,3 mg P m⁻² d⁻¹ 2019. Detta motsvarar en hög till mycket hög internbelastningshastighet. Båda åren var in- och utflödena mycket låga och massbalansen styrdes därför främst av ändringarna i mängden fosfor i sjön. Fosforhalten i sjön 2019 ökade från 69 µg P/l i slutet av maj till 140 µg P/l i slutet av augusti. Under 2018 var ökningen (mätt vid utloppet) under motsvarande period från 84 till 140 µg P/l. Trots att internbelastningen var den helt dominerande orsaken till ökningen av fosforhalten under sommarmånaderna mättes relativt höga fosforhalter i inflödena under vår och höstperioden både åren. Det finns därför anledning till att fortsätta arbetet med att minska den externa tillförseln av fosfor till sjön.

Under september 2022 genomfördes en förstudie med ett tre dagar långt reduktionsfiske för att testa om det kunde vara en lämplig åtgärd mot internbelastningen. Testet föll väl ut och därefter har reduktionsfiske genomförts under hösten 2023, hösten 2024 och ett till är planerat att genomföras 2025. En växtplanktonanalys från augusti 2023, efter att enbart förstudien genomförts, gav ett betydligt bättre resultat än tidigare växtplanktonanalyser. Resultatet ska dock tolkas försiktigt eftersom ovanligt höga flöden rådde strax före provtagningen.

5.2.4 Tysslingen

Tysslingen har otillfredsställande status för kvalitetsfaktorn näringsämnen och har dålig status för ljusförhållanden vilket antyder att sjön kan vara påverkad av övergödning. Den viktigaste biologiska kvalitetsfaktorn för övergödning, näringsämnespåverkan på

växtplankton, visar dock hög status. Data saknas för kvalitetsfaktorn bottenfauna. Det är därför inte entydigt huruvida sjön är påverkad av övergödning eller inte.

Tysslingen är en mycket grund och helt omblandad sjö med medeldjup 0,5 meter och maxdjup 0,9 meter. Örebro kommun utförde miljöövervakning i sjön och dess in- och utlopp under 2019 för att kunna tillämpa steg 2 i bedömningen om sjön har förhöjd internbelastning. Beräkningarna av både den genomsnittliga internbelastningshastigheten under hela sommaren och den högsta hastigheten visade en nivå motsvarande ”mycket låg” i bedömningsgrunderna (0,05 respektive 0,9 mg P m⁻² d⁻¹). Resultaten är dock något osäkra eftersom det inte framgår om det i beräkningarna togs hänsyn till sedimentation eller inte. Om man inte gjorde det är den beräknade hastigheten underskattad.

Internbelastningen räknat i kg fosfor var dock till skillnad från internbelastningshastigheten ansevärd och motsvarade 22 till 46 procent av den totala (internt + externt) belastningen på sjön under sommarmånaderna 2019.

Även sedimentprovtagning med bestämning av labilt, ”läckagebenägen”, fosfor utfördes. Till skillnad från beräkningarna av internbelastningshastigheten visade analyserna högt potentiellt läckage av fosfor (medel 5,4 mg P m⁻² d⁻¹), det vill säga 5 gånger högre än det beräknade läckaget under sommaren 2019. Det är dock viktigt att komma ihåg att sedimentanalyserna visar potentialen för läckage och inte verkligt läckage.

I det vidare arbetet med Tysslingen är det i första hand viktigt att fastställa om sjön är påverkad av övergödning eller inte. I detta bör ingå att utreda varför de biologiska kvalitetsfaktorerna för växtplankton inte visar påverkan från övergödning medan den kemiska kvalitetsfaktorn näringsämnen visar en tydlig påverkan. Om övergödning och ett åtgärdsbehov fastställs bör man i första hand koncentrera sig på att minska den externa belastningen eftersom det är oklart om sjön har en förhöjd internbelastning. Dessutom visar sjöns största tillflöde, Blackstaån, en måttlig påverkan från övergödning vilket också föranleder att i första hand minska belastningen uppströms. För att kunna bedöma eventuell påverkan från internbelastning behöver ytterligare miljöövervakning genomföras för att kunna tillämpa steg 2 och steg 3.

5.2.5 Vibysjön

Vibysjön är påverkad av övergödning. Den har otillfredsställande status för kvalitetsfaktorn näringsämnen och måttlig status för växtplankton. För parametrarna PTI är statusen dålig. Vibysjön är den högst uppströmsliggande vattenförekomsten i Täljeåns avrinningsområde som är påverkad av övergödning.

Mätningar för att beräkna internbelastningen genom att upprätta en massfosforbalans för Vibysjön utfördes 2018 och 2019 från april till och med september. Både åren gjordes mätningar av in- och utflöden men 2019 utfördes, precis som i Norra Lången, även mätningar av fosforhalten (i ytvatten) vid sjöns mitt. 2018 användes fosforhalten i Vibysjöns utflöde som mått på fosforhalten i sjön. Avvikelsen i den uppmätta fosforhalten vid utloppet jämfört med i sjön varierade 2019 mellan -18 procent till +48 procent. Beräkningen av internbelastningen 2018 är därför mer osäker än den utförd 2019.

Massbalansen för fosfor 2019 var positiv i juli och augusti men negativ (netto-sedimentation) i juni och september. Sedimentationshastigheten för juni användes för att

beräkna bruttointernbelastningen de övriga månaderna. Massbalansen för sjön under 2018 var negativ under juni och juli, och svagt positiv under augusti-september. Sedimentationshastigheten för juni användes för att beräkna bruttointernbelastningen de övriga månaderna i 2018.

Trots att data från 2018 är osäkra eftersom inga mätningar av fosforhalten utfördes i sjön och provtagningarna var glesare än under 2019 är resultaten för både åren snarlika. För perioden maj till september var den beräknade internbelastningshastigheten med hänsyn till sedimentation $0,8 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 2018 och $1,0 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 2019. Den maximala hastigheten var enbart beräknat för 2019 och var $1,3 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Samtliga dessa hastigheter motsvarar en låg nivå.

Fosforhalten i Vibysjön under 2019 föll från 56 till $33 \mu\text{g P/l}$ för att sen öka igen under juli och augusti till $77 \mu\text{g P/l}$ i slutet av augusti. Motsvarande trend syntes i fosforhalterna i sjöns utlopp. Den i S-HYPE beräknade externa belastningen på Vibysjön från juni till och med augusti var 33 kg P medan den här beräknade internbelastningen under samma period var 59 kg P . Så ökningen av fosforhalten i sjön under sommaren berodde till övervägande del på internbelastning. Men den externa belastningen är också betydande. Eftersom internbelastningshastigheten är låg bör åtgärder mot övergödning av Vibysjön i första hand koncentreras på åtgärder för att minska den externa belastningen. Fler mätningar och eventuell tillämpning av steg 3 behövs för att säkerställa om internbelastningens bidrag är betydande eller ej. Om så är fallet kan åtgärder behövas. Vibysjön är likt Logsjön och Lången grunda slättsjöar och reduktionsfiske som genomförs i Lången 2022–2025 kan vara en lämplig åtgärd.

5.3 Djupa, dimiktiska sjöar

Dimiktiska sjöar har en stabil skiktning under hela sommarperioden. Enbart en sjö som ingick i undersökningen, Stora Kloten, hade en stabil skiktning. Även den närbelägna sjön Långvattnet var skiktad hela sommaren, men skiktningen var inte helt stabil eftersom språngskiktets djup varierade med några meter under sommaren. Den betraktades trots det som dimiktisk.

Långvattnet ligger nerströms Stora Kloten och ungefär 15–20 procent av tillrinningen till Långvattnet kommer från Stora Klotens avrinningsområde. Avrinningsområdet för båda sjöarna domineras av skogs- och myrmark som står för den största delen av näringsbelastningen på sjöarna. I Långvattnet finns dock även en fiskodling i kassar som ligger högst upp i sjön och ger en betydande fosforbelastning på sjön.

5.3.1 Långvattnet

Det saknades mätdata för att kunna bedöma ekologisk status för kvalitetsfaktorererna växtplankton, näringsämnen, ljusförhållanden och syrgasförhållanden vid den senaste statusklassificeringen. Däremot finns det data för bottenfauna som bedöms ha god status. Mätdata från 2020 och 2021 visade halter av klorofyll a motsvarande god till måttlig status, siktdjup god status och måttlig status för näringsämnen. En analys av växtplankton 2021 gav resultatet måttlig status avseende näringsämnespåverkan.

Långvattnet skiktade sig i maj (2021) eller juni (2020) och språngskiktet låg på mellan 5 och 10 meter till och med provtagningen i mitten av september. År 2020 sjönk djupet av

språngskiktet från 10 meter i september till 15 meter i oktober. Det var först i november som sjön var helt omblandad. 2021 var sjön helt omblandad i oktober.

Till skillnad från Stora Kloten blev vattnet under språngskiktet snabbt syrefattigt. Redan i juli (2020) var syrgashalten under 10 meter omkring 6 mg/l och under 20 m var syrgashalterna lägre än 6 mg/l. I augusti, september och oktober var syrgashalterna under språngskiktet mindre än 4 mg/l. I september och oktober var syrgashalterna nära noll under 10 till 15 m. Under 2021 blev vattnet under språngskiktet inte lika syrefattigt. Det var först i augusti som syrgashalterna föll under 6 mg/l och enbart i september var syrgashalterna nära noll, och då vid ett djup större än 20 meter.

Den beräknade internbelastningshastigheten var högst 2020 då också syrgashalterna var lägst. Beräknat som fosforackumulation under 10 meter för maj till och med september var internbelastningshastigheten $2,6 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Den högsta hastigheten uppmättes mellan juli och augusti och var då ca. $5 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dessa värden motsvarar en måttlig nivå. På grund av tillförsel av näring till den uppströmsliggande fiskodlingen ökar mängden och halterna fosfor även i vattnet ovanför språngskiktet. Detta gör det svårare att korrekt bedöma sedimentationshastigheten. För 2020 hade det dock ingen betydelse om internbelastningshastigheten beräknades med eller utan hänsyn till sedimentation³. Internbelastningen var betydligt mindre 2021 då även syrgashalterna var högre. Internbelastningshastigheten var som genomsnitt för maj till och med september $0,5 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ och var som högst $1,5 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ under perioden juli-augusti. Med hänsyn till sedimentation blev hastigheterna något lägre, men motsvarade med båda beräkningssätt en mycket låg nivå för medelhastigheten och mellan låg och mycket låg för den maximala hastigheten. Under 2021 gjordes förutom provtagning vid Back-Erkers holmarna även provtagning närmare fiskodlingen (vid Abborrkammaren) och längre nerströms Back-Erkers holmarna vid Storbergfjärden. Vid Abborrkammaren är maximala djupet 20 meter, vid Back-Erkers 25 meter och vid Storbergfjärden 28 meter. Vid Abborrkammaren var internbelastningshastigheten $0,9 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ som medel maj-september, något högre än vid Back-Erkers, och vid Storbergfjärden något lägre ($0,3 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Även med hänsyn till dessa provtagningsplatser var internbelastningshastigheten 2021 mellan låg och mycket låg utifrån bedömningsgrunderna.

Förutom fiskodlingen har Långvattnet liknande extern näringsbelastning som Stora Kloten. Resultaten visar tydligt att fiskodlingen, som startade i slutet av 1980-talet har ökat fosforhalten i Långvattnet både ovanför och under språngskiktet. Mätresultaten från 2020 och 2021 tyder på att ekologisk status för övergödningsrelaterade kvalitetsfaktorer ligger mellan god och måttlig status. Till skillnad från Stora Kloten utvecklas ganska snabbt efter skiktning av vattnet i juni syrefattiga eller till och med syrefria förhållandena under språngskiktet. Den beräknade internbelastningen i Långvattnet är högre än i Stora Kloten men ligger fortfarande på en låg (2021) till måttlig (2020) nivå. Det är troligt att ekologisk status av sjön kommer försämrats om nuvarande näringsbelastning från fiskodlingen fortsätter.

³ I dimiktiska sjöar tas hänsyn till sedimentation genom att subtrahera den uppmätta fosforhalten i ytvattnet från fosforhalten under språngskiktet.

5.3.2 Stora Kloten

Stora Kloten är opåverkad av övergödning och har inga betydande påverkanskällor och kan därför betraktas som referenssjö. Ekologisk status för övergödning relaterade kvalitetsfaktorer (växtplankton, näringsämnen, bottenfauna, ljusförhållanden, mm) är god eller hög. Sjöns area är cirka 5 km² och maxdjupet 35 meter.

Mätningar för att beräkna internbelastningen genomfördes vid djuphålet sommaren 2020 och 2021. Under 2021 gjordes mätningar även vid en annan djuphåla (25 meter) i sjön för att fånga in eventuell rumslig variation.

Fosforhalterna i Stora Klotens ytvatten är mycket låga och ligger mellan 3 och 5 µg P/l. Vid provtagningen 2020 var kvantifieringsgränsen för fosforanalysen 5 µg P/l vilket gör resultaten något osäkra. Vid provtagningen 2021 var kvantifieringsgränsen 3 µg P/l.

I dimiktiska sjöar styrs internbelastningen främst av låga syrgashalter i bottenvattnet. Låga syrgashalter (<6 mg/l) uppmättes 2020 från och med september till och med november på djup över 30 meter. Under 2021 var det enbart vid provtagningen i september som syrgashalten var under 6 mg/l och då vid ett djup på 32 meter. Den beräknade internbelastningshastigheten vid djuphålet var snarlik mellan åren (0,22 mg P m⁻² d⁻¹ 2020 och 0,11 2021) motsvarande mycket låga nivåer enligt bedömningsgrunderna. Vid det något grundare djuphålet på 25 meter var den beräknade internbelastningshastigheten 2021 obefintlig (0,04 m⁻² d⁻¹), troligtvis eftersom syrgashalterna vid denna provtagningsplats inte understeg 6 mg/l vid något tillfälle.

5.4 Polymiktiska sjöar med instabil skiktning

Sjöar som inte kunde betraktas som helt omblandade och som inte hade en stabil skiktning under hela sommaren, ansågs vara polymiktiska. Typisk för dessa sjöar var att de delvis skiktade sig under kortare perioder, men att skiktningen sen helt eller delvis bröts, för att sen åter kunna etablera sig. Många sjöar med ett maxdjup mellan 5 och 25 meter visade sig vara polymiktiska. Utbredning av skiktningen (djup och varaktighet) varierade dock avsevärt mellan åren beroende på väderförhållanden.

5.4.1 Lonnen

Lonnen är en relativt liten sjö (sjöyta 2 km²) med medeldjup 3 meter och maxdjup 10 meter. Den har ett stort avrinningsområde (1567 km²) och drygt 99 procent av vattenföringen på årsbasis kommer från sjön Alkvettern. Enligt den senaste bedömningen (förvaltningscykel 3) är sjön inte påverkad av övergödning. Vid den tidigare bedömningen i cykel 2 fick Lonnen dock måttlig status för kvalitetsfaktorerna växtplankton och ljusförhållanden.

Provtagningar för internbelastning genomfördes sommaren 2018. Temperaturprofilen visade att sjön var skiktat från maj till och med juli med låga syrgashalter under 4 meter och nära syrgasfria förhållanden under 6–7 meters djup. Fosforhalterna i bottenvattnet ökade i juli och var som högst upp till 360 µg P/l i augusti. Den beräknade internbelastningshastigheten motsvarande måttlig till hög nivå. Resultaten är dock något osäkra eftersom det saknades tillräckliga mätdata för att kunna konstruera en fullständig fosforprofil. Tillförlitligheten av djupkartan är också osäker.

Resultaten visar att Lonnen kan ha en betydande internbelastning som kan bidra till övergödning av sjön. Sommaren 2018 var dock ovanligt nederbördsfattig fram till augusti vilket troligtvis bidrog till att internbelastningen kunde bli en betydande påverkanskälla. På årsbasis, och under somrar med normala nederbördsmängder är det dock troligt att påverkan från internbelastningen är försumbar jämfört med det stora inflödet som sker från Alkvettern.

5.4.2 Norasjön

Norasjön är en medelstor sjö om cirka 8 km² med medeldjup 6 meter och maxdjup 21 meter. Den är inte påverkad av övergödning i ytvatten och har god status för kvalitetsfaktorn växtplankton samt hög status för både näringsämnen och ljusförhållanden enligt senaste bedömning (cykel 3). Däremot har den måttlig status för bottenfauna som kan vara ett resultat av ibland dåliga syrgasförhållanden, för vilket den har otillfredsställande status (cykel 2). Sammanlagt bedöms sjön som påverkad av övergödning på grund av påverkan på bottenfauna.

De dåliga syrgasförhållandena ger förutsättningar för ökat läckage av fosfor från bottensediment. Sjön ligger också nedströms staden Nora med både historisk och nuvarande påverkan från bland annat urban markanvändning, reningsverk och enskilda avlopp. Det kan därför ha ackumulerat läckagebenägen fosfor i sjöns sediment vilket i kombination med låga syrgashalter ökar risken för förhöjd internbelastning.

Provtagningar utfördes enbart 2018. Sjön har redan börjat att skikta sig vid första provtagningen i maj och den förblev skiktat ända till oktober då sjön var helt omblandad. Syrgashalterna var lägre under språngskiktet från och med juni. Syrgashalterna var låga (<6 mg/l) under språngskiktet i juli och augusti. I september var det syrgasfritt under 12 meter djup. Utifrån temperatur- och syrgasprofilen kan sjön betraktas dimiktisk, även om djupet på språngskiktet inte var helt stabilt. Fosforhalterna var högre i bottenvatten än i ytvatten fram till höstomblandningen och var som högst i september. Fosforhalterna visade dock inte alltid en tydlig profil. Vid provtagningen i juni var fosforhalterna enbart förhöjda nära botten och i augusti var fosforhalterna förhöjda i ytvatten och snarlika halterna i bottenvatten medan de var lägre på ett djup mellan cirka 5 till 15 meter. Detta tyder på att skiktningen inte var helt stabil och att det kan ha skett en eller fler delvisa omblandningar. I beräkningen av internbelastningen bedömdes sjön därför polymiktisk. Tolkningen av resultaten försvåras dock av att vattenprovtagningarna inte utfördes vid samma djup vid alla provtagningstillfällen.

Den beräknade internbelastningshastigheten, L_i , var 0,9 mg P m⁻² d⁻¹ som medel mellan maj och september, och var som högst (1,5 mg P m⁻² d⁻¹) mellan augusti och september. Jämfört med gränsvärdena i tabell 5 för dimiktiska sjöar motsvarar detta en låg nivå. Den högsta fosforhalten i bottenvatten (46 µg P/l i september) motsvarar också en låg risk enligt bedömningen i steg 1. Den totala mängd fosfor som frigjordes genom internbelastning mellan maj och september var 172 kg P. Detta kan jämföras med en beräknad (S-HYPE) externbelastning under samma period på 632 kg P. Slutsatsen från denna undersökning är, att trots att syrgasfria förhållanden snabbt utvecklas i Norasjön, att det inte sker någon större internbelastning i sjön som nämnvärt påverkar fosforhalterna i ytvatten eller fosforbelastningen på sjön. Däremot bidrar internbelastningen till förhöjda

fosforhalter i bottenvatten som i kombination med låga syrgashalter troligtvis bidrar till att kvalitetsfaktorn bottenfauna har sämre än god ekologisk status.

5.4.3 Sottern

Med en sjöyta på knappt 30 km² är Sottern en medelstor sjö med medeldjup strax över 4 m och maxdjup 16 meter. Sottern är påverkad av övergödning med otillfredsställande status för kvalitetsfaktorn växtplankton. Däremot har den god status för näringsämnen och syrgasförhållanden och måttlig status för ljusförhållanden.

Provtagningar utfördes 2018, 2019 och 2022. Inga av åren visade sjön en stabil skiktning hela sommaren med enbart en svag skiktning vid enstaka provtagningsstillfällen. Likaså var syrgashalterna enbart låga vid enstaka tillfällen och då vid djup större än 5–10 meter. Vid provtagningen i juli 2018 var det dock syrgasfria förhållanden under 8 meter.

Fosforhalterna i bottenvatten var vid flera provtagningsstillfällen betydligt högre (upp till nästan 100 µg P/l) än i ytvattnet. Mätningarna visar att sjön ibland delvis skiktat sig för att sen helt eller delvis bli omblandad. Vid omblandning kan mer fosforrikt bottenvatten nå ytvattnet, medan fosforhalterna i bottenvattnet minskar på grund av utspädning med ytvatten med lägre fosforhalt. Fosforhalterna i både yt- och bottenvatten kunde därför variera mycket mellan provtagningsstillfällen.

Den beräknade internbelastningshastigheten blev dock förvånansvärd lik mellan åren och låg på en nivå motsvarande måttlig till hög enligt skalan i tabell 4. År 2022 utfördes mätningar på två platser i sjön. Resultaten mellan platserna var ganska lik, men den beräknade internbelastningen var något lägre vid den något grundare (14 meter jämfört med 16 meter) provtagningsplatsen Karlsnäsudden. Eftersom variationen mellan åren och de två provtagningsplatserna var relativt små kan resultaten anses vara säkra.

Sottern saknar större externa belastningskällor, i synnerhet under sommarmånaderna. Storleken på den beräknade internbelastningen var därför upp till 10 gånger större än den externa belastningen (uppskattad från S-HYPE) under motsvarande period. För att minska problemen med övergödning i Sottern behövs därför åtgärder för att minska den interna belastningen.

5.4.4 Tisaren

Tisaren är en medelstor sjö (13 km²) med medeldjup 4,1 meter och maxdjup 20 meter. Den skiktat sig tidvis under sommaren men har ingen stabil skiktning. Tisaren har en nuvarande och historisk belastning från reningsverk, dagvatten, enskilda avlopp och jordbruksmark. Sjön är påverkad av övergödning med otillfredsställande status för växtplankton och måttlig status för bottenfauna, syrgasförhållanden och näringsämnen.

Provtagningar för internbelastning genomfördes sommaren 2019 och 2020 genom både profilprovtagning i sjön och mätning i Tisarens in- och utflöden (enbart 2019). Temperaturprofilen visade att sjön enbart visar mycket svaga och kortvariga skiktningar. Under 2019 var sjön svagt skiktad vid provtagningen i maj men skiktningen var bruten redan vid nästa provtagning i juni och sjön förblev oskiktad resten av sommaren. Under 2020 fanns det enbart en svag skiktning i juni, men vid ett ganska stort djup (10 meter). Låga syrgashalter (<6 mg/l) förekom 2019 enbart vid provtagningen i juli vid djup större än 10 m. Övriga tider rädde goda syrgasförhållanden, förutom vid djup större än 18 meter.

Under 2020 hade sjön liknande syrgasprofiler som 2019, men låga syrgashalter vid djup större än 10–15 meter förekom då både i juni och augusti. Fosforhalterna i bottenvatten (18–19 meter) var under hela provtagningsperioden (maj till och med september) högre (median 63 µg P/l) än i ytvattnet (median 29 µg P/l), vilket tyder på en viss internbelastning. Under 2020 var fosforhalterna i bottenvattnet dock inte nämnvärt högre (median 20 µg P/l för perioden maj till och med oktober) än i ytvattnet (median 19 µg P/l). Enbart vid provtagningen i juli var fosforhalterna vid 15 meter djup högre (56 µg P/l) än i ytvattnet (20 µg P/l). Dessa resultat tyder på att eventuell fosfor som frigörs från bottensediment inte påtagligt ackumuleras i bottenvattnet utan relativt snabbt sprider sig genom profilen.

Det visade sig vara svårt att kvantifiera internbelastningen i Tisaren. Mätningarna av in- och utlopp samt mätning av fosforhalter i sjön gjorde det möjligt att för 2019 upprätta en fosforbalans. Uppskattningen av mängden fosfor som lämnar sjön försvåras dock av att det saknas data för att beräkna utflödet eftersom sjön är reglerad samt att det sker ett betydande uttag av vatten för dricksvattenändamål. Balansen mellan mängden fosfor som rann till sjön och mängden som rann ut var svagt negativ (-3 till -53 kg P) under hela sommaren. Den största tillförseln skedde via Estaboån som stod för 92 procent av den totala externa tillförseln via ytvatten. Balansen mellan till- och bortförsel av fosfor från sjön representerade mindre än 10 procent av ändringarna i mängden fosfor i sjön beräknat utifrån vattenvolymer och fosforhalter i sjön. En uppskattning av internbelastningen kan därför göras utifrån ändringarna av mängden fosfor i sjön utan att behöva ta hänsyn till tillrinning och utrinning. Mängden fosfor i sjöns vatten minskade varje månad, förutom mellan augusti och september då den ökade svagt. Denna period användes därför för att beräkna internbelastningen, medan sedimentationen beräknades utifrån perioden (april-maj) då den största minskningen av mängden P i sjön skedde.

Med hänsyn till sedimentation var den beräknade internbelastningshastigheten, Li , 0,85 mg P m⁻² d⁻¹ vilket motsvarar en låg till måttlig nivå (för omblandade sjöar). Utan hänsyn till sedimentation var Li dock enbart 0,2 mg P m⁻² d⁻¹ vilket är mycket lågt. Eftersom det är osäkert om sedimentationshastigheten under april-maj är representativ för sedimentationshastigheten i augusti-september är den beräknade Li osäker. Resultaten visar dock att internbelastningshastigheten troligtvis är låg. Trots en relativt låg internbelastningshastighet blev mängden fosfor som frigjordes genom internbelastningen under sommaren ändå hög jämfört med mängden fosfor som tillförs genom den externa belastningen. Den beräknade internbelastningen under augusti-september 2019 var 167–170 kg P, medan den i S-HYPE beräknade totala externa belastningen under samma period endast var 53 kg P. I det vidare arbete med övergödningsfrågan behöver därför hänsyn tas till den interna belastningen. Ytterligare miljöövervakning kan behövas för att ge bättre underlag för beräkning av internbelastningens betydelse enligt steg 2 och 3.

5.4.5 Väringsen

Väringsen är en medelstor sjö (19 km²) med medeldjup 3,1 meter och maxdjup 16 meter. Den är påverkad av övergödning och har otillfredsställande status (bedömning cykel 3) för växtplankton men har god status för parametrarna näringsämnen och syrgasförhållanden. Det finns därför en diskrepans i status för växtplankton och status för näringsämnen. Vid

bedömningen i cykel 2 hade den dock god status för växtplankton även om parametrarna total biomassa, klorofyll a och trofiskt planktonindex visade en påverkan av näringsämnen.

Provtagningar utfördes enbart 2018. Sjön har redan börjat att skikta sig vid första provtagningen i maj men skiktningen försvagades redan i juli och augusti och var helt omblandad vid provtagningen i september. Syrgashalterna var låga (<6 mg/l) under språngskiktet (4–6 meter) i juni och juli och nära noll under 10 meter i augusti. Syrgashalterna var återställd vid omblandningen i september. Det fanns ingen tydlig profil för fosfor vid provtagningarna. Enbart vid augustiprovtagningen var fosforhalterna i bottenvatten tydligt förhöjda (76 µg P/l) jämfört med halterna vid mindre stora djup. Fosforhalterna i ytvatten 18 µg P/l i maj till mellan 37 och 40 µg P/l i augusti, september och oktober. Dessa resultat tyder på att sjön delvis skiktade sig under försommaren men att skiktningen delvis bröts under juli och augusti. Sjön betraktades därför som polymiktisk.

Internbelastningen beräknades enbart utifrån förändringarna i fosformängderna i sjön, utan hänsyn till bortförsel av fosfor vid utloppet eller tillförseln genom tillrinningen. Värningen har ett relativt stort avrinningsområde och omsättningstiden är 0,06 år (0,8 månad). Utifrån i S-HYPE beräknat tillrinning motsvarade den totala volymen av tillfört vatten under maj 65 procent av vattenvolymen i sjön, medan övriga månader (juni-september) var det 14 till 27 procent. Till- och bortförsel av fosfor till och från sjön kan därför ha påverkat den beräknade internbelastningen eftersom den egentligen ska beräknas som:

$$P_{Ni} = \Delta P_{sjö} - P_{in} + P_{ut} \text{ (nettomassbalans)}$$

Medan den i detta fall enbart beräknades som:

$$P_{Ni} = \Delta P_{sjö}$$

Ökningen av fosforhalterna i sjöns ytvatten under sommaren skulle i princip kunna ha orsakats av ökade fosforhalter i tillrinnande vatten. I S-HYPE beräknade fosforhalter i tillrinnande vatten visar dock inte en sådan trend medan den totala externa fosforbelastningen minskade under tiden. Det är därför ganska säkert att anta att ökningen av halter och mängder fosfor i sjön under sommarmånaderna beror på internbelastning. En del av denna fosfor kommer att ha lämnat sjön genom utloppet (P_{ut}) vilket gör att internbelastningen kommer att ha underskattats eftersom den beräknades enbart utifrån ändringarna av mängden fosfor i sjön ($\Delta P_{sjö}$). Underskattningen kan uppskattas utifrån vattenomsättningen juni-september till att vara i storleksordningen 10–30 procent.

Den beräknade internbelastningshastigheten, L_i , var 1,5 mg P m⁻² d⁻¹ som medel mellan maj och augusti, och var som högst (3,1 mg P m⁻² d⁻¹) mellan maj och juni. Jämfört med gränsvärdena i tabell 5 för dimiktiska sjöar motsvarar detta en låg till måttlig nivå.

Den totala mängd fosfor som frigjordes genom internbelastning mellan maj och augusti var 1040 kg P. Detta kan jämföras med en beräknat (S-HYPE) externbelastning under samma period var 3063 kg P. Även om internbelastningen är (något) underskattad i denna undersökning och att dataunderlaget är bristfälligt på grund av avsaknad av mätning av till och bortförsel av fosfor, visar resultaten ganska tydligt att även under sommarmånaderna är den externa fosforbelastningen på sjön betydligt större än den interna belastningen.

6 Sjöar modellerade enligt steg 3

Med hjälp av modellering kan fosfordynamiken i ett akvatiskt system undersökas mer i detalj och effekten av olika åtgärdsstrategier kan simuleras. Det innebär att en avvägning kan göras mellan nyttan av åtgärder mot extern belastning jämfört med åtgärder mot internbelastning. Simuleringsmodeller kan också användas för att bedöma varaktigheten av åtgärder mot internbelastning.

6.1 Tabell 3. Sjöar modellerade enligt steg 3

Sjö	Vatten ID	Typ av sjö	Status näringsämnen (2017-2021)	Typ av miljöövervakning	Data insamlat
Alsen	WA37140665	Polymiktisk	God	In- och utlopp samt mätning i sjön (profil), månatlig	2019
Hjälmarens-Hemfjärden	WA40343455	Omblandad	Otillfredsställande	Halter i sjön, samt in- och utlopp, månatlig	2010–2016
Hjälmarens-Mellanfjärden	WA17014360	Omblandad	Otillfredsställande		
Hjälmarens-Storhjälmaren	WA23740819	Polymiktisk	Otillfredsställande		
Östra Hjälmarens	WA15428053	Polymiktisk	Dålig	Profil, månatlig	2020

6.2 Alsen

Sjön Alsen i Norra Vätterns skärgård har otillfredsställande status för kvalitetsfaktorn näringsämnespåverkan på växtplankton vilket är en stark indikator att sjön är påverkad av övergödning. Trots detta har sjön god status för den kemiska kvalitetsfaktorn näringsämnen och god status för bottenfauna. Sjön har otillfredsställande status för syrgasförhållanden vilket antyder att det kan finnas en risk för förhöjd internbelastning.

Alsen är en typisk polymiktisk sjö som tidvis och delvis kan skikta sig men som inte har en bestående skiktning under sommarmånaderna. Den har ett medeldjup på 8 meter och ett maxdjup på 22 meter.

Under 2019 utförde Medins AB vatten- och sedimentprovtagningar i Alsen på uppdrag av Sydnärkes Miljöförvaltning (Askersunds kommun)⁴. Syftet var bland annat att upprätta månadsvisa fosforbalanser genom mätningar av tillfört och bortfört fosfor genom in- och utflödena. Ett annat syfte var att provta sediment för att bedöma sedimentens fosforinnehåll och bestämma halter av läckagebenägen fosfor och potentiell internbelastning. Undersökningen följdes upp av IVL, Svenska Miljöinstitutet 2020 på uppdrag av Länsstyrelsen i Örebro län med en mer detaljerad modellsimulering av fosfordynamiken samt scenarioanalys enligt steg 3⁵.

De månadsvisa fosforbalanserna visade mestadels en negativ balans, det vill säga en nettoretention av tillfört fosfor i sjön. Genom att även ta hänsyn till månadsvisa ändringar

⁴ Engdahl, A. 2020. Undersökningar av extern och intern fosforbelastning i Alsen 2019. Medins Havs och Vattenkonsulter AB, Mölnlycke.

⁵ Malmaeus, M. & Huser, B. 2020. Effekten av minskad fosforbelastning på fosforkoncentrationen i sjön Alsen. Rapport U 6381, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.

i mängden fosfor i sjöns vatten och tillämpning av en dynamisk fosformodell visade det sig dock att bakom dessa negativa balanser fanns en betydande internbelastning.

Internbelastningen under 2019 bedömdes ha varit i storleksordningen 1–1,5 ton fosfor, varav större delen läckte under augusti-september. Detta kan jämföras med den externa belastningen på drygt 2 ton per år. I scenarioanalysen undersöktes effekten av en minskad externbelastning med 25 procent och en minskad internbelastning med 50 procent. Dessa nivåer valdes av länsstyrelsen eftersom de ansågs vara realistiska och nåbara.

Scenarioanalysen visade att med denna kombination av åtgärder borde det gå att minska fosforhalterna i ytvatten och därmed effekterna av övergödning.

Sedan ett antal år tillbaka har Länsstyrelsen i Örebro län jobbat med ett antal lantbrukare som brukar markerna vid Dohnaforsån och Bronaåns inflöde i Alsen. Mätningar hade visat att åtgärder i dessa områden skulle vara mest effektiva för att minska den externa fosforbelastningen på Alsen. Under 2022–2024 genomförde lantbrukarna flera av de åtgärder som de tillsammans med rådgivningsexperter kom fram till skulle vara genomförbara och effektiva. Det är fortfarande oklart vilken effekt åtgärderna kommer att ha, men det är troligt att det även kan behövas åtgärder i andra tillrinningsområden till Alsen för att ytterligare minska den externa belastningen.

Resultaten från scenarioanalysen visar dock också tydligt att det kommer behövas åtgärder för att minska den interna belastningen i Alsen för att komma till bukt med övergödningproblematiken. Steg 4 i handboken går igenom ett flertal möjliga åtgärder mot internbelastning samt deras för- och nackdelar. Utan att föregripa en mer ingående analys av vilka åtgärder som skulle kunna vara lämpliga, är det troligt att utifrån förutsättningarna i Alsen att aluminiumfällning skulle kunna vara en effektiv åtgärd.

6.3 Hjälmarens bassänger, steg 1–3

Hjälmarens har under många år varit kraftig påverkad av övergödning. Hjälmarens 4 bassänger har alla dålig status för den biologiska kvalitetsfaktorn växtplankton på grund av effekter av övergödning.

Frågan om sjön är påverkad av internbelastning togs upp 2015 i en undersökning⁶ utförd av IVL på uppdrag av Länsstyrelsen i Örebro län. Med hjälp av bland annat data av årliga in- och uttransporter av fosfor i Hjälmarens (provtagna inom Hjälmarens Vattenvårdsförbunds recipientkontroll) beräknades internbelastning i Hjälmarens 4 bassänger med en hydrodynamisk massbalansmodell för fosfor. Sammantaget tydde modellsimuleringarna på att extern tillrinning styr fosforhalten i de grunda bassängerna Hem- och Mellanfjärden, men att i de djupare bassängerna Storhjälmaren och Östra Hjälmarens bestäms fosforhalterna till stor del av interna processer där sedimenten spelar en nyckelroll. Detta framgick särskilt tydligt i en scenarioanalys enligt steg 3 där minskad extern belastning gav en god effekt i Hem- och Mellanfjärden medan fosforhalten i Storhjälmaren och Östra Hjälmarens inte minskade i någon märkbar utsträckning.

IVL:s modellsimuleringar följdes upp 2020 med profilprovtagningar i Östra Hjälmarens enligt metodiken i steg 2. Syftet var främst att utvärdera om resultat från en

⁶ Malmaeus, M och Karlsson, M. 2015. Fosfordynamik i Hjälmarens – Resultat av simuleringar. Rapport NR C72, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm. [Länk till rapport](#).

miljöövervakning enligt steg 2 skulle bekräfta resultaten från modellsimuleringarna. Östra Hjälmarens är en relativt stor bassäng om cirka 35 km² med medeldjup 5 meter och maxdjup cirka 26 meter. Sjön är polymiktisk och skiktas vid stabila väderförhållanden vilket ökar frigörelsen av fosfor från sedimenten. Trots sitt stora djup visade Östra Hjälmarens under sommaren 2020 ingen tydlig skiktning. Enbart i juni visade temperaturprofilen en svag skiktning, vid övriga månatliga provtagningar från maj till och med oktober tydde temperaturprofilen på att sjön var helt omblandad. Syrgasprofilen visade låga syrgashalter under 20 meter i juni och oktober. Fosforhalterna var lägst i maj och ökade sen successivt under hela sommaren. Ökningen syntes i hela profilen (0,5–25 meter). I juni fanns det dock en extremt hög halt (220 µg/l) vid 10 m. Som resultat var den beräknade internbelastningshastigheten högst i maj-juni och uppgick då till 54 mg P m⁻² d⁻¹. Den genomsnittliga internbelastningshastigheten för hela mätperioden maj-oktober var 14 mg P m⁻² d⁻¹. Dessa värden motsvarar en hög till mycket hög nivå enligt bedömningsgrunderna för steg 2. Även räknat i kg fosfor var den beräknade internbelastningens bidrag till fosforbelastningen mycket stort och i samma storleksordning eller större än den externa belastningen under samma period. Uppskattningen av den externa belastningen som gjordes med S-HYPE:s modellberäknade data är dock osäkra. Sammanlagt bekräftar resultaten från undersökningen enligt steg 2 slutsatsen från modellsimuleringarna som IVL utförde att internbelastningen i Östra Hjälmarens är stor och att både den och den externa belastningen behöver minskas för att komma till rätta med övergödningsproblemet.

I de två grunda bassängerna är det dock möjligt att modellsimuleringarna underskattade internbelastningen. Slutsatsen från simuleringarna var att fosforhalterna i Hemfjärden främst styrs av den externa fosfortillförseln och att internbelastningens bidrag är försumbart. Tillgängliga data från recipientkontrollen visar däremot att fosforhalterna i Hemfjärden vid sensommarprovtagningen (juli–september) i genomsnitt är ungefär två gånger högre än vid senvinterprovtagningen (februari–mars). För tidsperioden 2010–2016 var fosforhalten som medel 44 µg P/l på våren och 85 µg P/l på sensommaren. Enligt bedömningsgrunderna i steg 1 motsvarar denna ökning en stor risk för förhöjd internbelastning. Ökningen kan inte förklaras med en ökning av fosforhalterna under sommarhalvåret i Hemfjärdens största inflöde, Svartån. Fosforhalterna i Svartån, som står för mer än 90 procent av den externa belastningen på Hemfjärden, visade till skillnad från fosforhalterna i Hemfjärden snarlika värden på senvinter och sensommaren. Det är därför troligt att haltökningen i Hemfjärden under sommarperioden beror på internbelastning. En möjlig förklaring är att vågerosion i den grunda bassängen under sommarhalvåret blandar fosforrikt sediment med vattnet och ökar därmed fosforhalten i denna mycket grunda bassäng (medeldjup 1 meter). Under vinterhalvåret är bassängen däremot vanligtvis isbelagd och ingen vågerosion sker. Denna säsongsdynamik i fosforhalterna i Hemfjärden fångas också upp i modellsimuleringarna. Det kan därför verka motstridigt att slutsatsen från simuleringarna ändå är att extern tillrinning styr fosforhalten i Hemfjärden. Denna slutsats överensstämmer med mätdata som visar att åtgärder i reningsverken under 1970-talet kraftigt minskade fosforbelastningen på Hemfjärden och resulterade i en motsvarande minskning av fosforhalterna i Hemfjärden. Slutsatsen baseras dock i första hand på årsmedelvärden och inte på säsongsdynamiken.

Sammantaget visar erfarenheterna med tillämpning av steg 1, 2 och 3 på Hjälmaren att de är kompletterande metoder. Steg 1 och 2 ger främst en ögonblicksbild och bygger på flera osäkra antaganden, i synnerhet när metoderna tillämpas på polymiktiska sjöar. Steg 1 och 2 är dock enkla och relativt billiga att utföra och resultaten från Hjälmaren visar att de ger en bra bedömning av risken för förhöjd internbelastning. Steg 3 ger dock en mer komplett bild och krävs för att kunna utföra scenarioanalyser, i synnerhet för att bedöma de långsiktiga effekterna av genomförda åtgärder.

7 Nivåer för internbelastningshastighet

7.1 Tabell 4. Nivå på internbelastning, omblandade sjöar

Internbelastningshastigheten (Li) avser bruttointernbelastning, det vill säga sedimentationen är frändragen. Värdena representerar medianen för varje nivå.

Nivå	Li mg P m ⁻² d ⁻¹
Mycket låg	0,2
Låg	0,4
Måttlig	1,9
Hög	4,9
Mycket hög	9,1

7.2 Tabell 5. Nivå på internbelastning, dimiktiska sjöar med stabil skiktning

Internbelastningshastigheten (Li) avser bruttointernbelastningen. Värdena representerar medianen för varje nivå.

Nivå	Li mg P m ⁻² d ⁻¹
Mycket låg	0,4
Låg	2,0
Måttlig	3,9
Hög	10,6

7.3 Tabell 6. Samtliga undersökta sjöar, sammanfattning

Sjö	MS_CD	Kommun	Typ av sjö	Påverkad av övergödning	Betydande förhöjd internbelastning?			Vidare åtgärd avseende främst internbelastning
					Steg 1	Steg 2	Steg 3	
Alsen	WA37140665	Askersund	Polymiktisk	Ja, osäker			Ja, säker	Utred lämplig åtgärd mot internbelastningen parallellt med fortsatta åtgärder mot extern påverkan.
Anten	WA37385162	Askersund	Omblandad	Ja, osäker	Nej, osäker			Inget behov.
Avern	WA42654584	Hallsberg Finspång	Omblandad	Ja, osäker	Ja, osäker			Miljöövervakning bör ske för att få bättre underlag.
Finnåkerssjön	WA45039249	Lindesberg	Omblandad	Nej, osäker		Ja, osäker		Internbelastningen osäker, men kan behöva åtgärdas. Mer övervakning krävs. Fortsatta åtgärder i första hand mot den externa belastningen.
Hjälmarens-Hemfjärden	WA40343455	Örebro	Omblandad	Ja, säker				Hjälmarens består av 4 olika bassänger med olika förutsättningar. Troligen är alla påverkade av en förhöjd internbelastning, men säkrast är det i Storhjälmaren och Östra Hjälmarens. Både den externa och interna belastningen behöver minska. Sjöns storlek försvårar dock åtgärder mot internbelastning. Fler utredningar, och överväganden behöver ske gällande Hjälmarens framtid.
Hjälmarens-Mellanfjärden	WA17014360	Örebro	Omblandad	Ja, säker				
Hjälmarens-Storhjälmaren	WA23740819	Arboga Eskilstuna Katrineholm Vingåker Örebro	Polymiktisk	Ja, säker				
Östra Hjälmarens	WA15428053	Eskilstuna	Polymiktisk	Ja, säker				
Kråksjön	WA14260577	Laxå	Polymiktisk	Nej, osäker	Ja, osäker			Status för övergödning behöver utredas, och vid behov samla in data för att bedöma internbelastning enligt steg 2.
Kullasjön	WA26703983	Örebro Vingåker	Omblandad	Nej, osäker	Ja, osäker			Miljöövervakning bör ske för att få bättre underlag.
Kärrafjärden	WA55495445	Askersund	Polymiktisk	Ja, osäker	Nej, säker			Inget behov, däremot kan åtgärder behövas mot extern belastning.
Logsjön	WA97454283	Lekeberg	Omblandad	Ja, säker		Ja, osäker		Internbelastningen osäker, men kan behöva åtgärdas. Mer övervakning krävs. Fortsatta åtgärder i första hand mot den externa belastningen.
Lonnen	WA72590924	Karlskoga	Polymiktisk	Nej, osäker		Osäker		Troligen inget behov, men enstaka år med lägre inflöde från Alkvettern finns risk att internbelastningen kan orsaka problem.
Lången (norra delen)	WA75978704	Örebro	Omblandad	Ja, säker		Ja, säker		Reduktionsfiske pågår. Dess effekt behöver utvärderas. Åtgärder mot extern belastning bör också ske.

Sjö	MS_CD	Kommun	Typ av sjö	Påverkad av övergödning	Betydande förhöjd internbelastning?			Vidare åtgärd avseende främst internbelastning
					Steg 1	Steg 2	Steg 3	
Långvattnet	WA24815652	Lindesberg Smedjebacken	Dimiktisk	Ja, osäker		Nej, osäker		Internbelastning påverkar sjön, men sannolikt är det framförallt den externa belastningen som behöver åtgärdas för att sjön ska nå god status.
Möckeln	WA83141000	Degerfors Karlskoga	Polymiktisk	Nej, osäker	Nej, säker			Inget behov.
Norasjön	WA67649139	Nora	Polymiktisk	Nej, osäker		Nej, osäker		Internbelastningen tycks vara förhållandevis liten jämfört med den externa belastningen. Åtgärder mot internbelastning kan dock behövas för att förbättra miljön för bottenfaunan. Mer övervakning för att kunna tillämpa steg 2 och 3 behövs.
Norrnsjön	WA36940485	Lindesberg Ljusnarsberg	Polymiktisk	Nej, osäker	Osäker			Status för övergödning behöver utredas, och vid behov samla in data för att bedöma risk enligt metod för omblandad sjö.
Sottern	WA78284700	Hallsberg Örebro	Polymiktisk	Ja, osäker		Ja, säker		Åtgärder mot internbelastning behövs. Steg 3 och 4 behöver tillämpas och vid behov insamling av mer data.
Stora Kloten	WA53229609	Lindesberg	Dimiktisk	Nej, säker		Nej, säker		Inget behov.
Stora Lindesjön	WA38192030	Lindesberg	Polymiktisk	Nej, osäker	Nej, säker			Inget behov.
Sällingsjön	WA49486683	Lindesberg	Ombländad	Ja, osäker	Ja, säker			Miljöövervakning enligt steg 2.
Södra Hörken	WA15795600	Ljusnarsberg Ludvika	Dimiktisk	Nej, osäker	Nej, osäker			Inget behov så länge status för övergödning är bra.
Tisaren	WA26302476	Askersund Hallsberg	Polymiktisk	Ja, osäker		Ja, osäker		Ytterligare miljöövervakning behövs för att ge bättre underlag för beräkning av internbelastningens betydelse enligt steg 2 och 3
Tysslingen	WA77094288	Örebro	Ombländad	Ja, osäker		Nej, osäker		Status för övergödning behöver utredas, och vid behov samla in data för att kunna tillämpa steg 2 och 3. Fokus bör dock initialt ligga på den externa belastningen.
Vedevågssjön	WA16732452	Lindesberg	Polymiktisk	Nej, osäker	Ja, osäker			Inget behov så länge status för övergödning är bra.

Sjö	MS_CD	Kommun	Typ av sjö	Påverkad av övergödning	Betydande förhöjd internbelastning?			Vidare åtgärd avseende främst internbelastning
					Steg 1	Steg 2	Steg 3	
Vibysjön	WA38227902	Hallsberg	Ombländad	Ja, säker		Ja, osäker		Troligen bör fokus vara att minska den externa belastningen, men datainsamling för att bättre kunna tillämpa steg 2 och 3 bör genomföras.
Väringen	WA27686203	Lindesberg Örebro	Polymiktisk	Ja, osäker		Nej, osäker		Den externa belastningen bör åtgärdas innan fokus läggs på internbelastningen.
Västersjön	WA43683430	Degerfors	Ombländad	Ja, säker	Ja, osäker			Den externa belastningen bör åtgärdas innan fokus läggs på internbelastningen.
Åmmelången	WA60378929	Askersund	Polymiktisk	Ja, osäker	Nej, osäker			Inget behov.
Östersjön	WA43989225	Degerfors	Ombländad	Ja, osäker	Nej, osäker			Den externa belastningen bör åtgärdas innan fokus läggs på internbelastningen.
Östersjön	WA42809205	Askersund	Polymiktisk	Ja, osäker	Nej, säker			Inget behov.
Östra Laxsjön	WA50348055	Askersund Laxå	Polymiktisk	Nej, säker	Nej, osäker			Inget behov så länge status för övergödning är bra.