



Ljusnan-Voxnans Vattenvårdsförbund

Vattenvårdsplan Bodasjön

JUHA SALONSAARI OCH DANIEL RICKSTRÖM
2023-11-17





Sammanfattning

Inom ramen för det LONA-finansierade projektet Vattenvårdsplan för Bodasjön har Ljusdals kommun genomfört fördjupade undersökningar av Bodasjön i samverkan med Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbund. Vattenvårdsförbundet har med stöd av undersökningarna samt underlag från den samordnade recipientkontrollen tagit fram denna vattenvårdsplan där bakgrund, belastning, mätdata samt åtgärdsbehov och förslag till åtgärder beskrivs.

Bodasjön påverkas av förhöjda halter av näringsämnen som tillrinner sjön från olika källor i avrinningsområdet. Övergödningssituationen märks genom bland annat algblomningar och syrebrist i sjön. Vattenvårdsförbundets beräkningar tyder på att internbelastningen är av ringa omfattning och att åtgärdsarbetet behöver fokuseras på att minska belastningen från främst jordbruket i avrinningsområdet.

De åtgärder som bedöms ha störst effekt är olika typer av våtmarker och fosfordammar. Vidare föreslås även att åtgärder som skyddszoner, strukturkalkning, kalkfilterdiken samt tvåstegsdiken kan genomföras i avrinningsområdet.

Åtgärdsbehovet bedöms uppgå till ungefär 300 kg per år. Investeringskostnaden för de åtgärder som föreslås bedöms uppgå till ungefär 3 miljoner kr och de årliga driftskostnader bedöms motsvara ca 74 000 kr.

Sammantaget bedöms Bodasjön kunna uppnå god ekologisk status under förutsättning att de föreslagna åtgärderna, eller liknande åtgärder med motsvarande effekt, genomförs.



Innehåll

Sammanfattning.....	1
1 Inledning och syfte.....	2
2 Beskrivning och påverkansanalys	3
2.1 Belastning.....	5
2.2 Flöden och belastning över året.	6
2.3 Mätdata och statusklassificering	8
2.3.1 Växtplankton	10
2.3.2 Näringsämnen och syrgas	12
2.3.3 Relationen mellan fosfatfosfor och totalfosfor	15
2.3.4 Internbelastning.....	17
2.4 Fiskfauna och vandringshinder	18
3 Åtgärdsbehov	19
3.1 Näringsämnen.....	19
3.2 Fysiska förändringar, fiske och vandringshinder	22
4 Förslag till åtgärder	22
4.1 Näringsämnen.....	24
4.1.1 Enskilda avlopp	24
4.1.2 Jordbruksmark	25
4.2 Fysiska förändringar, fiske och vandringshinder	46
4.2.1 Fysiska förändringar och vandringshinder	46
4.2.2 Fiske	46
5 Sammanfattning och prioritering av åtgärdsförslagen.....	46
6 Referenser.....	49

1 Inledning och syfte

Detta dokument utgör ett lokalt åtgärdsprogram/vattenvårdsplan för Bodasjön, (SE 684897-151862) och ingår som slutrapport i det LONA-finansierade projektet Vattenvårdsplan för Bodasjön.

Bodasjön ligger i Ljusdals kommun, mellan Ljusdal och Järvsö, och avvattnar via ett dämt och rensat utlopp till Ljusnan. Den ekologiska statusen är måttlig, god kemisk status uppnås inte i dagsläget enligt miljökvalitetsnormerna ska näringsämnen och växtplankton ska god status uppnås till 2027 med avseende på påverkanstrycket ”enskilda avlopp”. Vad gäller jordbrukspåverkan har



vattenmyndigheten bedömt att åtgärdsarbetet kommer att ta mer tid varpå tidsfristen är satt till 2033.

Sjön ligger vid normalvattenflöden något högre än Ljusnan och fiskvandring hindras pga dämnet. Bodasjön uppvisar symptom på övergödning i form av återkommande algbloomingar, syrebrist och försämrat fiske. Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbunds mätningar av vattenkemi sedan 1980-talet och framåt bekräftar bilden avseende tidvis höga närsaltshalter och återkommande syrebrist på fem till sex meters djup och nedåt särskilt under sommartid. Syrebrist i de djupare delarna av sjön i kombination med höga temperaturer medför väldigt ogynnsamma förhållanden för större rovfisk som gädda och gös. De provtagningar av biologiska kvalitetsfaktorer som har genomförts visar att växtplanktonsamhället är kraftigt påverkat av övergödning och att det tidvis förekommer blomningar av potentiellt toxinbildande cyanobakterier. Enligt muntliga källor från Järvsö Fiskevårdsområdesförening har fisket blivit märkbart sämre över åren. Sammantaget är situationen i Bodasjön ansträngd och påverkar såväl den lokala akvatiska miljön och de boende runt sjön.

Orsaken till Bodasjöns miljöproblem härrör från en, för hög extern belastning av näringsämnen och organiskt material, i förhållande till vad sjöns naturliga återhämtningsförmåga klarar av att hantera. Ett naturligt sjösystem står i balans med den naturliga externa tillförsel som tillrinner från avrinningsområdet, men en för hög mänsklig påverkan genom exempelvis en oaktsam markanvändning samt utsläpp från avlopp, kan påverka balansen negativt med övergödning och syrebrist som följd. Om den externa påverkan är för stor och pågår över lång tid kan förhållandena i en sjö till slut bli så pass allvarliga att näringsämnen som normalt sett fastläggs i botten sedimenten börjar frisläppas genom en process som benämns som internbelastning eller interngödning. Internbelastningen kan ytterligare förvärra situationen i ett redan övergött vatten och var något som misstänktes kunna förekomma i Bodasjön.

Mot bakgrund av miljösituationen i Bodasjön sökte Ljusdals kommun bidrag via den Lokala naturvårdssatsningen (LONA) för att utreda sjöns ekologiska status, ta reda på vilka betydande påverkanskällor som orsakar problemen och vilka åtgärder som kan genomföras för att förbättra miljöförhållandena.

Ljusdals kommun har i samverkan med Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbund genomfört undersökningar i avrinningsområdet. Vattenvårdsförbundet har kompletterat dessa med befintliga data från den samordnade recipientkontrollen i sjön i syfte att utreda hur sjöns ekologiska och kemiska status ser ut, vilka påverkanskällor som bidrar till sjöns status och vilken typ av åtgärder som kan genomföras för att Bodasjön ska uppnå god status.

Denna rapport sammanfattar slutsatserna från projektet och utgör en första, övergripande vattenvårdsplan för avrinningsområdet.

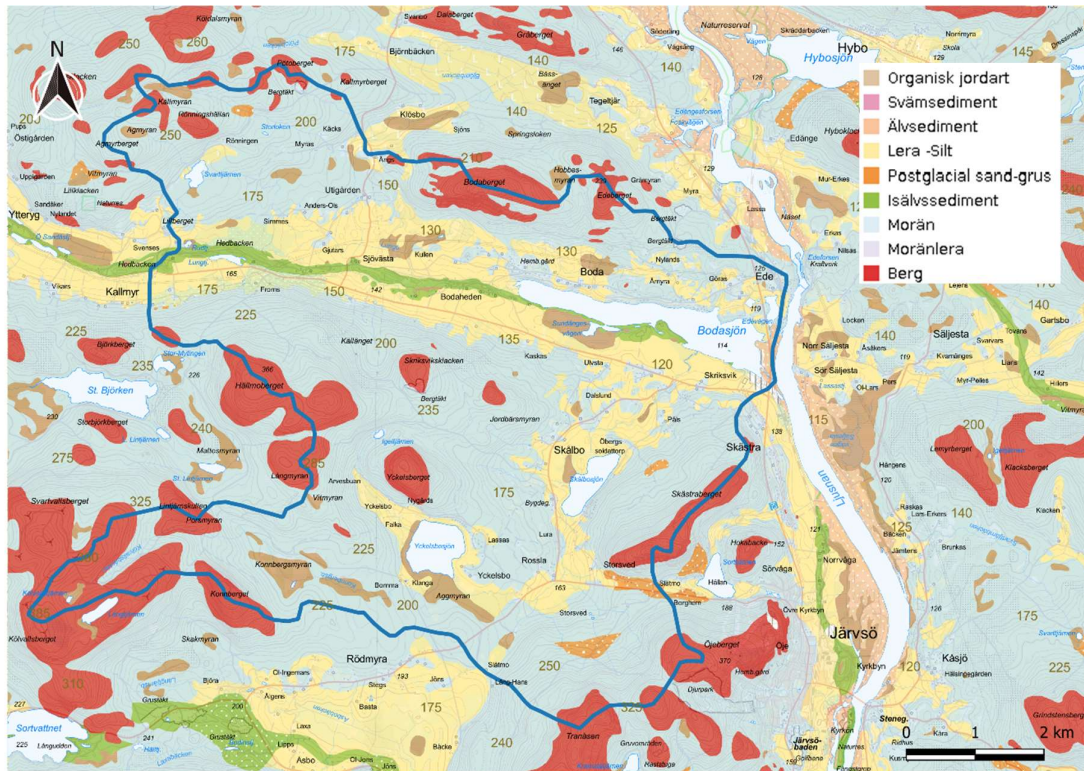
Förutom denna rapport har även ett examensarbete tagits fram inom ramen för projektet (Eriksson 2020).

2 Beskrivning och påverkansanalys

Bodasjön (SE 684897-151862) är 1,5 km² och ligger mellan Ljusdal och Järvsö. Avrinningsområdet är 56 km² och består till största del av skogsmark (72 %) och jordbruksmark (16 %). Sjön ligger i väst-östlig riktning i en skyddad dalgång och det jordbruksdominerade närområdet till sjön utgörs främst av ler- och siltjordar medan skogsområdena mestadels består av morändominerade marker. Ett stråk av isälvsediment sträcker sig i väst-östlig riktning genom avrinningsområdets centrala delar (se



figur 1.) Lerhalten i åkermarken runt Bodasjön ligger på omkring 5-20 % enligt SGU:s digitala åkermarkskarta (SGU 2022).



Figur 1. Bodasjöns avrinningsområde avgränsas av blå linje. Jordartskarta från SGU där blå-grön färg indikerar morän, gul färg indikerar lera-silt och grön färg indikerar isälvs sediment. De bruna områdena visar organisk jordart, mestadels torv.

Sjön är uppdelad i två tydliga bassänger varav den östligt liggande uppnår ett maximalt vattendjup på 16,5 meter. Medeldjupet i sjön uppgår till 5,65 m och omsättningstiden är omkring 6 månader. Medelvattenföringen (MQ) genom sjön beräknas till 0,5 m³/s och högvattenflödet (MHQ) bedöms vara 1,86 m³/s. Flödesdata inklusive de två huvudinflödena Skrikviksån och Lungbäcken sammanfattas i tabell 1.

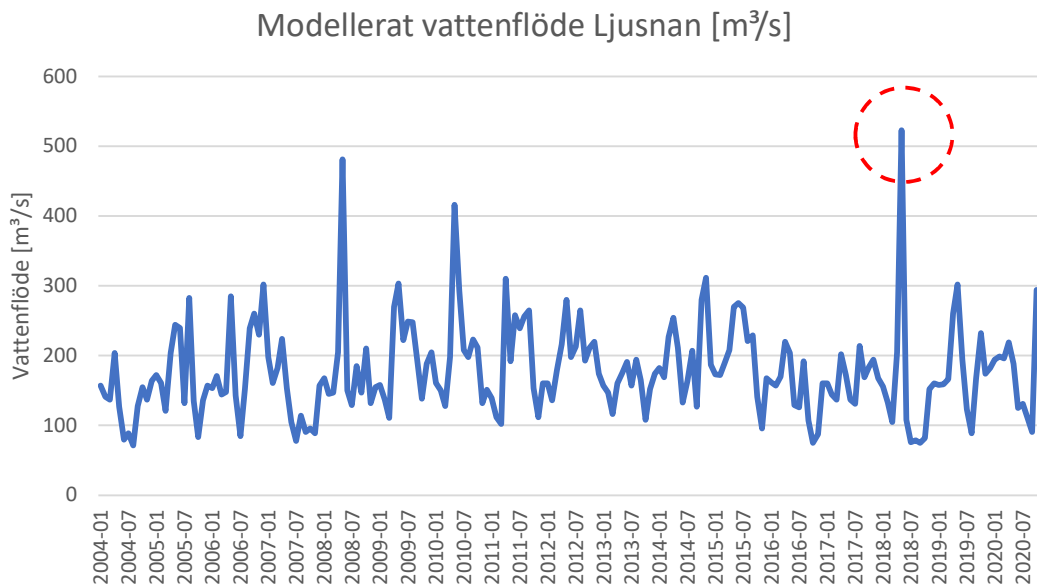
Tabell 1. Modellerad vattenföring (m³/s) i Bodasjöns utlopp samt i tillflödena Lungbäcken och Skrikviksån. Data från SMHI:s vattenwebb (SMHI 2022)

	Bodasjöns utlopp	Lungbäcken	Skrikviksån
<i>HQ50</i>	4,67	2,81	2,84
<i>MHQ</i>	1,86	1,19	1,14
<i>MQ</i>	0,5	0,16	0,25
<i>MLQ</i>	0,11	0,02	0,04

Bodasjöns vattennivå regleras genom en enklare överfallsdamm bestående av tryckimpregnerat trä. Krönhöjden är enligt gällande vattendom från 1963 satt till 113,4 cm. Vattenflödet i Ljusnan kan vid tillfällena med högt vattenstånd vara av betydelse för vattenkvaliteten i Bodasjön då vatten med betydligt lägre fosforhalter strömmar in och späder ut Bodasjöns vattenmassa. Detta inflöde sker



främst under vårperioderna, vilket hände senast 2018 då vattenflödet i Ljusnan uppgick till över 500 m³/s (se figur 2). Det finns ingen nivåmätning i närområdet, men data från Orsjön i Arbrå tyder på att nivån i maj 2018 låg strax över 114,4 cm, vilket exempelvis kan jämföras med maj 2019 då nivån låg på 113,6 cm och flödet på strax över 300 m³/s.



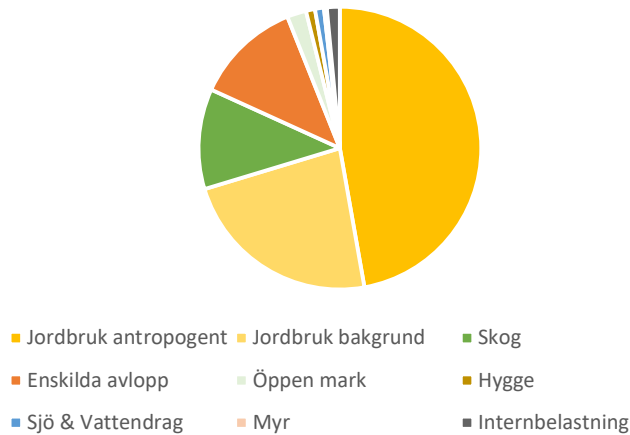
Figur 2. Modellerat vattenflöde i Ljusnan mellan åren 2004 och 2020. Senaste vårflo den som medförde ett större vatteninflöde till Bodasjön skedde i maj 2018, markerat med streckad cirkel i diagrammet.

2.1 Belastning

Enligt de nationella beräkningarna av belastning genom PLC (Pollution Load Compilation) som finns att tillgå via Svensk miljöemissionsdata (SMED 2022) inom ramen för rapportering till HELCOM (The Helsinki commission, The Baltic Marine Environment Protection Commission) eller och de förfinade underlagen i PLC 6.5 (Ejhed, Tengdelius, Widén Nilsson, Hytteborn, Johnsson & Blombäck 2018) som ligger till grund för vattenmyndigheternas beräkningar av åtgärdsbehov och beting mottar Bodasjön ungefär 875 kg fosfor och 9185 kg kväve årligen från avrinningsområdet som helhet. Data från PLC 6.5 bygger i huvuddel på 2014 års belastningsdata med vissa justeringar för senare data och bedöms vara applicerbart i dagsläget. Huvuddelen av belastningen härrör från jordbruksmark, skogsmark samt enskilda avlopp. Den antropogena delen, dvs den som uppstår på grund av mänskliga aktiviteter, domineras av jordbruk och enskilda avlopp. Se figur 3 och 4 för den kumulativa nettobelastning av fosfor respektive kväve till Bodasjön. Beräkningarna har tagit hänsyn till retention i avrinningsområdet och summerar belastningen till sjön i sin helhet, dvs både från de två tillflödena Lungbäcken i väster samt Skrikviksån i söder och från sjöns direkta närområde. Huvuddelen kommer från de två huvudtillflödena. Källor som finns med i dataunderlaget från SMED, men som inte bidrar med belastning, som exempelvis urban mark, till Bodasjön har inte tagits med i figurerna.

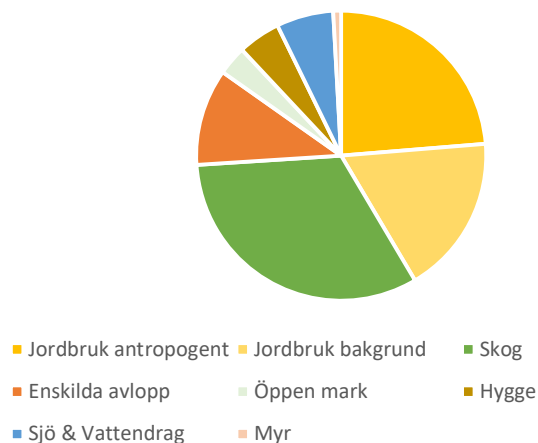


Kumulativ nettobelastning fosfor 875 kg/år



Figur 3. Årlig kumulativ nettobelastning av fosfor till Bodasjön uppdelat på huvudsakliga påverkanskällor. Jordbrukets påverkan är uppdelat på bakgrundsbelastning och antropogen belastning. Källor utan bidrag har inte tagits med i figuren. Internbelastningens bidrag är beräknad med egna data. Övriga data är hämtade från PLC 6.5.

Kumulativ nettobelastning kväve 9185 kg/år



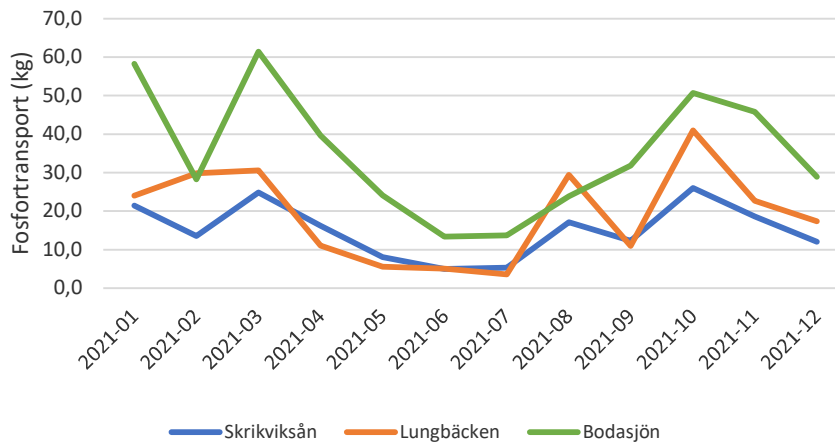
Figur 4. Årlig nettobelastning av kväve till Bodasjön uppdelat på huvudsakliga påverkanskällor. Jordbrukets påverkan är uppdelat på bakgrundsbelastning och antropogen belastning. Källor utan bidrag har inte tagits med i figuren. Data från PLC 6.5.

2.2 Flöden och belastning över året.

Flödet, och därmed belastningen av näringsämnen som bygger på ytavrinning och erosion, är inte konstant under året utan följer nederbördsmönstret över avrinningsområdet. De modellberäkningar som finns tillgängliga via SMHI visar att huvuddelen av belastningen på månadsbasis sker under vår och höst då nederbörden samt avsmältningen är som störst. Se figur 5 för modellerad månadsvis fosfortransport över året 2021 i Bodasjöns utlopp samt i de två större tillflödena Lungbäcken och Skrikviksån.



Modellerad fosfortransport månadsmedelvärden

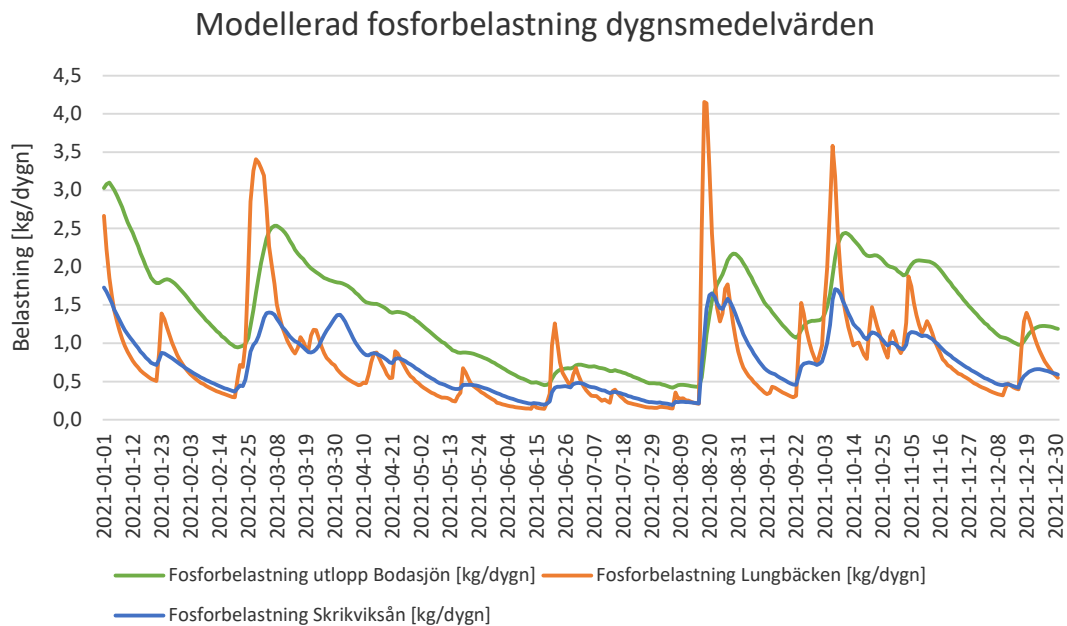


Figur 5. Modellerad fosfortransport (månadsmedelvärden) i huvudinflöden Skrikviksån samt Lungbäcken och Bodasjöns utlopp.

Vattenrörelserna i ett avrinningsområde dämpas och uppehålls naturligt i systemet genom att sjöar och våtmarker fungerar bromsande och fångar upp vatten och ämnen som transporteras med vattnet. Det är inte enbart den sammanlagda ytan och volymen, och därmed omsättningstiden, genom sjöar i ett avrinningsområde som avgör hur väl retentionen fungerar utan den geografiska placeringen. En sjö långt nere i ett avrinningsområde har generellt en större dämpande effekt för hela systemet jämfört med en sjö av motsvarande storlek som ligger långt uppströms.

I figur 6 jämförs modellerade dygnsmedelvärden av fosforbelastning mellan Bodasjöns utlopp samt Lungbäckens och Skrikviksåns inlopp i Bodasjön. I ett vattendrag som Lungbäcken innebär de erosionskänsliga lerjordarna i kombination med jordbruk att huvuddelen av belastningen sker punktvis i samband med flödestoppar, vilket är en utmaning i samband med dimensionering av lämpliga åtgärder. Flödet, och därmed belastningen, är inte fullt lika dynamisk i Skrikviksån mycket tack vare Yckelbosjöns samt Skålbosjöns dämpande effekt. Sett till Bodasjöns avrinningsområde som helhet verkar Bodasjön i sig dämpande innan utflödet till Ljusnan.

De synoptiska mätningar som genomfördes inom ramen för projektet (se tabell 2 under rubrik 2.3 Mätdata och statusklassificering) visar att SMHI:s modelleringar ibland både överskattar och underskattar såväl flöden som belastning. För att få en mer rättvisande bild av dynamiken i avrinningsområdet bör kontinuerliga mätningar av flödet i de huvudsakliga tillflödena genomföras under minst ett år. Vidare bör man överväga att i samband med detta genomföra flödesproportionell provtagning av näringsämnen med fokus på totalfosfor. En sådan omfattande utredning rymdes dock inte inom ramen för detta projekt.



Figur 6. Modellerad fosforbelastning (dygnsmedelvärden) i huvudinflöden Skrikviksån samt Lungbäcken och Bodasjöns utlopp.

2.3 Mätdata och statusklassificering

Inom ramen för projektet genomförde Ljusnals kommun en synoptisk provtagning av under maj, augusti och oktober 2019 i syfte att jämföra hur halterna i tillrinnande vattendrag samt i utloppet av Bodasjön varierar rumsligt vid samma provtagningstillfälle. I samband med den synoptiska provtagningen kompletterade Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbund mätningarna med provtagningar i Lungbäcken samt i Bodasjöns utlopp. Provtagningarna sammanfattas i tabell 2 och en karta med provtagningsplatsernas geografiska placering illustreras i figur 7. De synoptiska provtagningarna visar att halterna av näringsämnen i de huvudsakliga tillflödena Lungbäcken och Skrikviksån ökar från källa till utlopp, vilket är att förvänta då båda bäckarna rinner genom jordbruksmark och kantas av fastigheter med enskilda avlopp. Halterna vid Bodasjöns utlopp ligger i nivå, eller lägre, med halterna i tillflödena vilket tyder på en begränsad internbelastning samt att den huvudsakliga belastningen sker genom tillflödena. Ett antagande som backas upp både av de modellerade fosforbelastningarna i föregående avsnitt samt av beräkningarna av internbelastning i avsnitt 2.3.4.

Bodasjön uppvisar symptom på övergödning i form av höga närsaltshalter, syrebrist i bottenvatten, återkommande algblomningar med hög andel cyanobakterier sommartid.

Enligt information från databasen VISS bedöms den ekologiska statusen i Bodasjön vara måttlig medan den kemiska statusen är dålig. Den övergripande ekologiska statusen bygger i sin tur på att både växtplankton utifrån mätningar av klorofyll och näringsämnen uppvisar måttlig status. Detsamma gäller parametern konnektivitet i sjöar. Både växtplankton och näringsämnen är statusklassificerade med data från den samordnade recipientkontrollen.

Orsaken till sjöns nuvarande status beror på för hög belastning av näringsämnen, och då främst fosfor, från avrinningsområdet. Ett naturligt sjösystem står i balans med den naturliga externa tillförsel som tillrinner från avrinningsområdet, men en för hög mänsklig påverkan genom



exempelvis en oaktsam markanvändning samt utsläpp från avlopp, kan påverka balansen negativt med övergödning och syrebrist som följd.



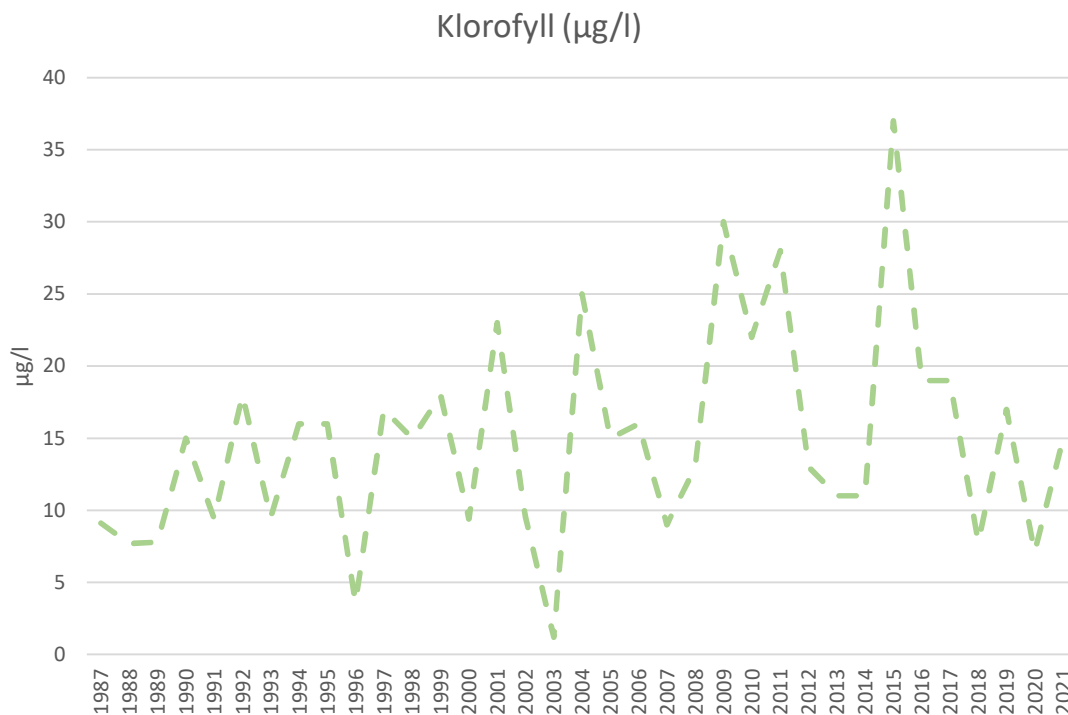
Figur 7. Provtagningspunkter från 2019 års synoptiska provtagning samt två punkter i sjön, Bodasjön Västra (extrapunkt) samt ordinarie SRK-punkt med data från 1987.

**Tabell 2.** Sammanställning av synoptisk provtagning genomförd av Ljusdals kommun samt kompletterande provtagningar genomförda av Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbund *i kursivt*.

Vattendragsnamn	Provtagningsstation	Datum	Tot P (mg/l)	Tot N (mg/l)	Uppmätt flöde(m³/s)	SMHI beräknat flöde (m³/s)
<i>Utlopp Lungtjärnen</i>	6	2019-05-09	0,021	0,44		
<i>Utlopp Lungtjärnen</i>	6	2019-08-14	0,019	0,28		
<i>Utlopp Lungtjärnen</i>	6	2019-10-11	0,018	0,31		
<i>Utlopp Lungbäcken</i>	5	2019-05-09	0,039	0,68	0,201	0,106
<i>Utlopp Lungbäcken</i>		2019-05-13	0,032	0,62		0,100
<i>Utlopp Lungbäcken</i>		2019-08-08	0,083	0,55		0,035
<i>Utlopp Lungbäcken</i>	5	2019-08-14	0,08	0,70	0,042	0,044
<i>Utlopp Lungbäcken</i>		2019-10-10	0,041	0,57		0,125
<i>Utlopp Lungbäcken</i>	5	2019-10-11	0,047	0,59	0,016	0,137
<i>Vattendrag badplats</i>	4	2019-05-09	0,041	0,83		
<i>Vattendrag badplats</i>	4	2019-08-14	0,054	0,57		
<i>Vattendrag badplats</i>	4	2019-10-11	0,051	0,64		
<i>Utlopp Igeltjärnen</i>	7	2019-05-09	0,016	0,37		
<i>Utlopp Igeltjärnen</i>	7	2019-08-14	0,013	0,34		
<i>Utlopp Igeltjärnen</i>	7	2019-10-11	0,015	0,36		
<i>Skrikviksån nedströms Skålbosjön</i>	3	2019-05-09	0,024	0,41		
<i>Skrikviksån nedströms Skålbosjön</i>	3	2019-08-14	0,039	0,37		
<i>Skrikviksån nedströms Skålbosjön</i>	3	2019-10-11	0,023	0,42		
<i>Skrikviksån uppströms Skrikviksvägen</i>	2	2019-05-09	0,031	0,42	0,508	0,279
<i>Skrikviksån uppströms Skrikviksvägen</i>	2	2019-08-14	0,041	0,42	0,065	0,090
<i>Skrikviksån uppströms Skrikviksvägen</i>	2	2019-10-11	0,026	0,42	0,178	0,241
<i>Utlopp Bodasjön</i>	1	2019-05-09	0,041	0,83		0,592
<i>Utlopp Bodasjön</i>		2019-05-13	0,014	0,27		0,541
<i>Utlopp Bodasjön</i>		2019-08-08	0,033	0,5		0,232
<i>Utlopp Bodasjön</i>	1	2019-08-14	0,021	0,34		0,214
<i>Utlopp Bodasjön</i>		2019-10-10	0,024	0,47		0,447
<i>Utlopp Bodasjön</i>	1	2019-10-11	0,038	0,43		0,446

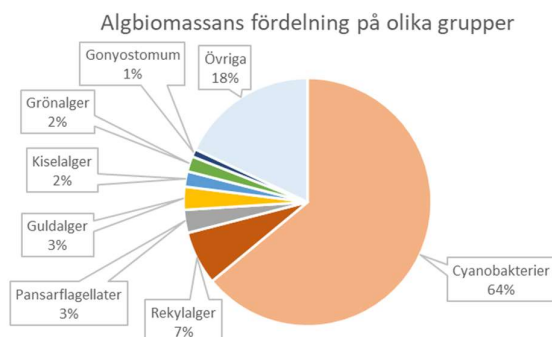
2.3.1 Växtplankton

Inom ramen för den samordnade recipientkontrollen mäts även klorofyll som en generell parameter. Figur 8 visar halterna av klorofyll mellan 1987 och 2021. Trenden är ökande, främst under 2000-talet. Klorofyllmätningarna ger en enkel och överskådlig bild över hur mängden växtplankton varierar över tid och undersökningarna tyder på att övergödningssituationen i Bodasjön har blivit värre genom åren, något som återges även i fosforhalterna (se kapitel 2.3.2 Näringsämnen och syrgas). Det går eventuellt att utläsa ett visst försiktigt brott i trenden från 2018 och om de senaste årens utveckling håller i sig kan situationen vara på väg att förbättras.



Figur 8. Halten av klorofyll ($\mu\text{g/l}$) i Bodasjön mellan åren 1987 och 2021. Data visar en uppåtgående trend med viss tendens till förbättringar sedan 2018. Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

För att kunna göra en mer noggrann bedömning av den ekologiska statusen avseende de frilevande algerna i en sjö behöver man göra en analys av totalbiomassan och en mer djuplodande bedömning av vilka arter som dominerar. En sådan analys genomfördes 2021 och visar att statusen i Bodasjön är otillfredsställande, dvs i näst sämsta statusklass, vilket ytterligare stärker tesen om att sjön är övergödd. Totalbiomassan av alger är stor för den här typen av sjöar och andelen cyanobakterier dominerar växtplanktonsamhället (se figur 9) Fem potentiellt giftproducerande cyanobakterier har påträffats i samband med undersökningarna och det finns anledning att vara försiktig när man vistas vid vattnet med barn och djur.



Figur 9. Växtplanktonsamhällets sammansättning i Bodasjön. Andelen cyanobakterier är mycket hög. Rådata är hämtad från Medins rapport från 2021 (Hårding & Lindborg 2021).



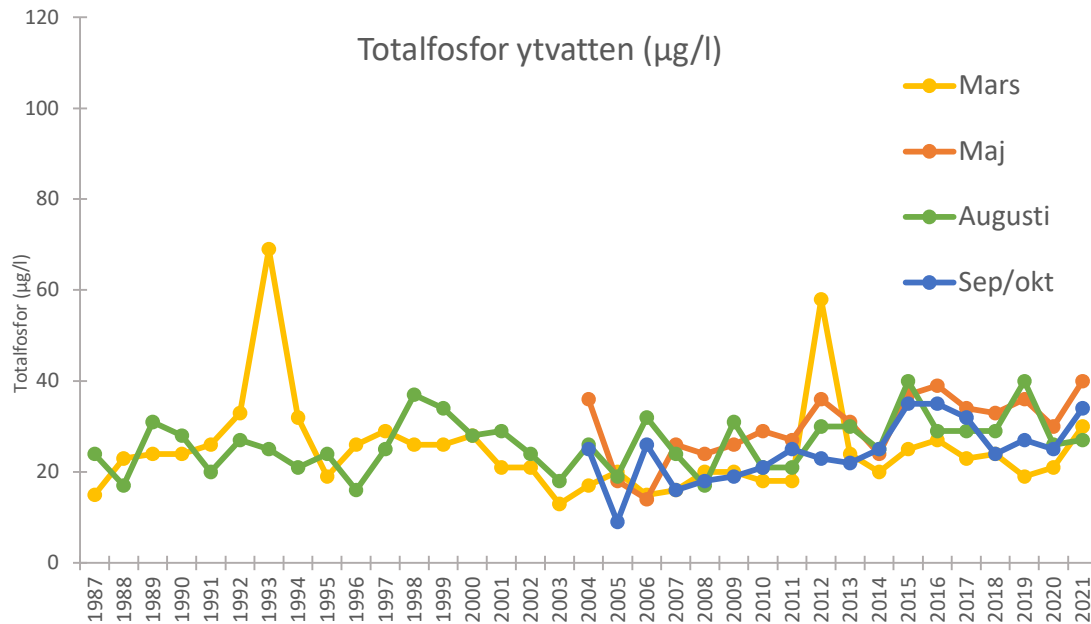
2.3.2 Näringsämnen och syrgas

Bedömningen av parametern näringsämnen i VISS bygger på data mellan åren 2013 och 2018 och pekar på att sjön har måttlig status. En beräkning baserat på vattenvårdsförbundets data från 2016-2021 verifierar att bedömningen fortfarande stämmer. Medelhalten för fosfor var under perioden 29,5 µg/l, vilket ligger i den undre delen av det måttliga statusintervallet (jämfört tabell 3). Referensvärdet, vilket motsvarar närmast orörda förhållanden, beräknades till 9,53 µg/l med stöd av formel 1.2 i Havs- och vattenmyndighetens vägledning för statusklassificering av näringsämnen i sjöar (Havs- och vattenmyndigheten 2020 a).

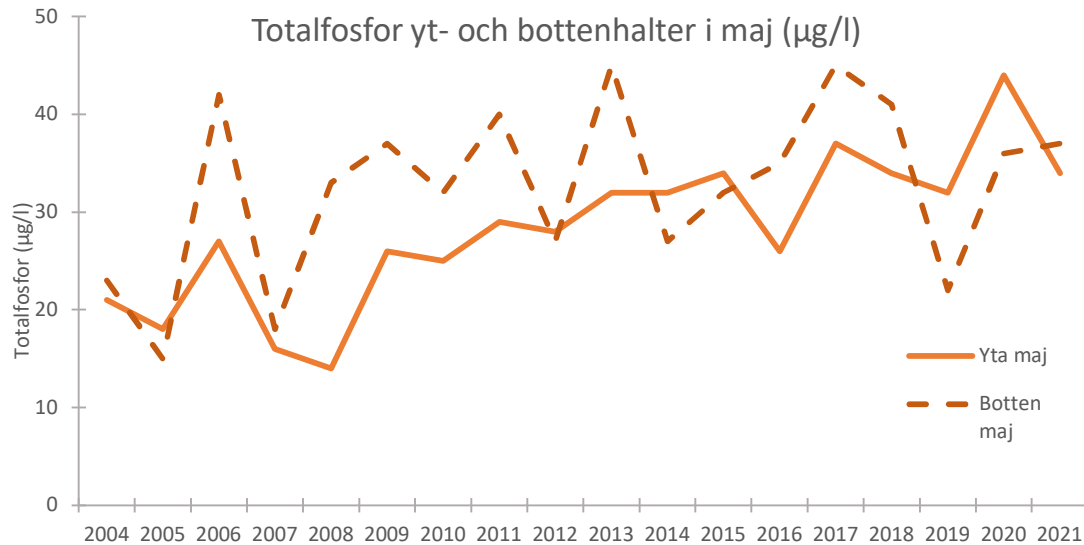
Tabell 3. Fosforhalter i förhållande till statusklassgränser för Bodasjön beräknade enligt Havs- och vattenmyndighetens vägledning för statusklassificering av näringsämnen i sjöar. Bodasjön har måttlig status (29,5 µg/l).

Klassgränser status	Nedre klassgräns (µg/l)	Övre klassgräns (µg/l)
Hög	13,61	
God	19,05	13,61
Måttlig	31,76	19,05
Otillfredsställande	47,64	31,76
Dålig		47,64

Ljusnan-Voxnans Vattenvårdsförbunds långtidsmätningar inom ramen för den samordnade recipientkontrollen visar att fosforhalterna i Bodasjön har ökat från 80-talet och framåt. Se figur 10 för en sammanställning av fosforhalter i ytvattnet från 1987 fram till 2021. Förbundets provtagning genomgick en genomgående förändring 2004 varpå fler mättillfällen (maj samt september/oktober) under året inkluderades. Haltökningen märks tydligast i yt- och bottenvattnet i maj. Se figur 11.

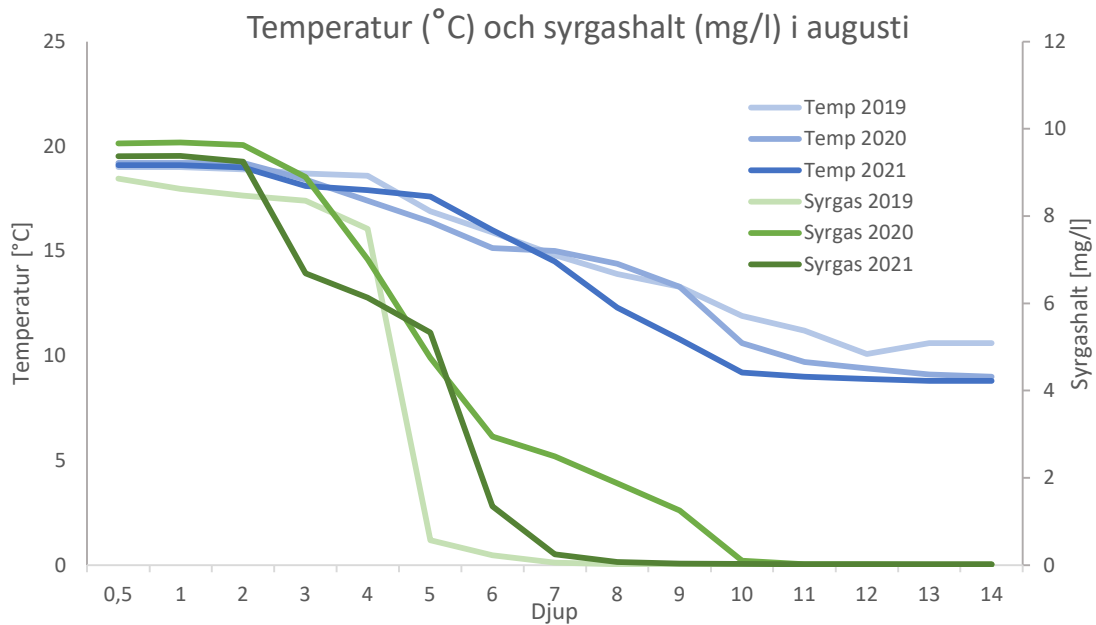


Figur 10. Sammanställning av data över totalfosforhalter (µg/l) i ytvattnet mellan åren 1987 och 2021. Data från 2004 inkluderar även maj och september/oktober. Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

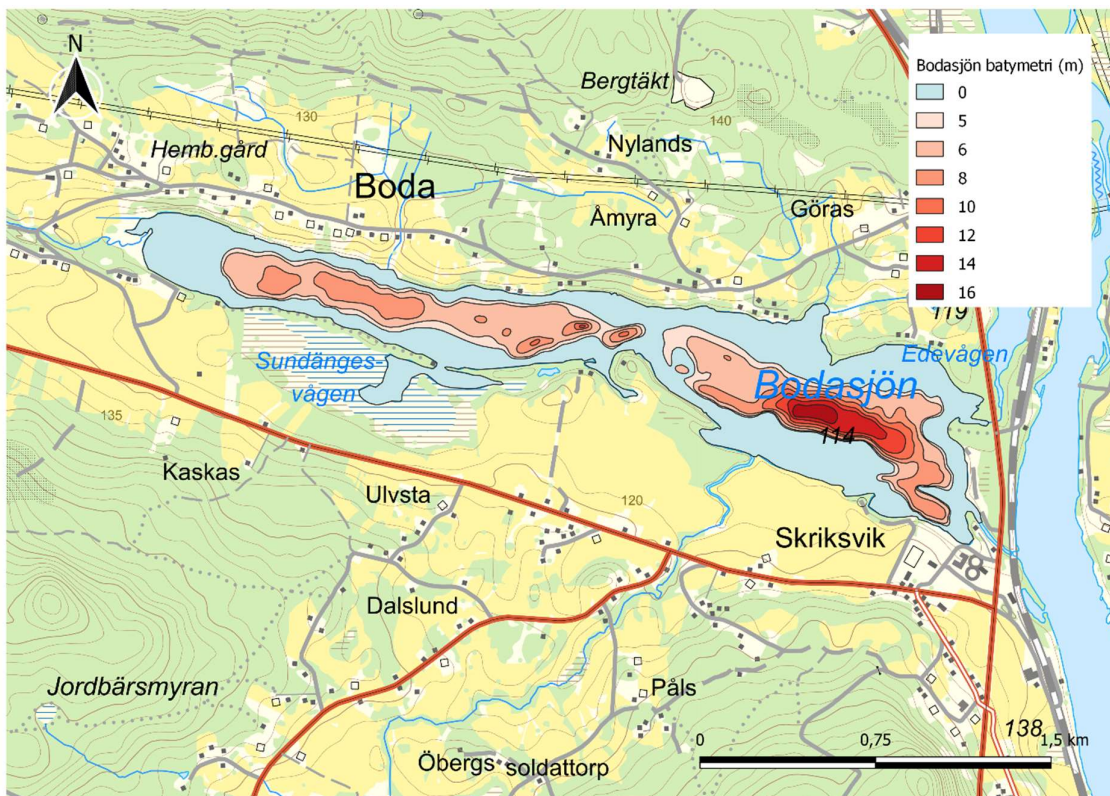


Figur 11. Totalfosforhalter ($\mu\text{g/l}$) i ytvatten och bottenvatten i maj mellan åren i ytvattnet mellan åren 2004 och 2021. Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

Under sommaren uppstår en temperaturskiktning, så kallad termoklin, i Bodasjön där det överliggande varma och syresatta ytvattnet skiljer sig från det kallare, underliggande och syrefattiga bottenvattnet. Syrgashalterna sjunker kraftigt och med viss variation mellan åren är i stort sett allt vatten under fem meters djup syrefritt (se figur 12). Utbredningen av det syrefria området uppgår till omkring 40 % av Bodasjöns totala yta och 10 % av den totala vattevolymen (se karta i figur 13). Värt att notera är att ytvattentemperaturen ovan termoklinen, dvs i den syresatta delen av sjövolymen, ligger mellan 15 och 20 grader. Större rovfiskar som gädda och gös är känsliga för höga temperaturer under lång tid och söker sig därför till djupare vatten sommartid, något som inte är möjligt i Bodasjön på grund av de låga syrehalterna i de svalare delarna av vattenmassan.



Figur 12. Temperatur (°C på vänster lodrät axel) och syrgashalt (mg/l på lodrät höger axel) i förhållande till vattendjup (vägrät axel). Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

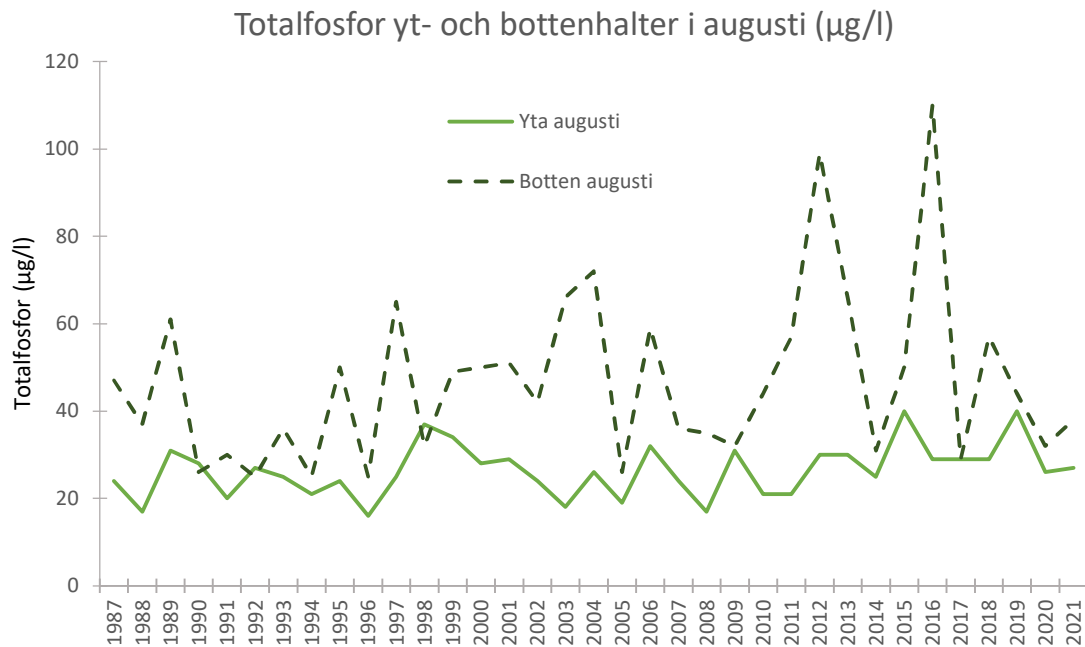


Figur 13. Karta över Bodasjön och dess batymetri där de syrefria områdena under fem meters djup framgår. Mörkare röd färg indikerar ökande djup.



I ytvattnet konsumeras fosfor av algsamhället under tillväxtperioden sommartid och under en del år uppstår ett underskott av fosfor i förhållande till kväve, vilket gynnar kvävefixerande cyanobakterier. Förbundets mätningar indikerar att Bodasjön växlar från att vara fosforbegränsad till att bli kvävebegränsad under ca en femtedel av alla mättilfällen från 1987 fram till 2021.

Bottenvattnet har generellt högre halter fosfor till följd av en viss, men inte allt för betydande internbelastning och frånvaro av primärproduktion som konsumerar näringsämnen (se figur 14). Dessutom bidrar ovanliggande vattenmassa med näring till underliggande genom att döda alger och övrigt organiskt material transporteras ned genom vattenpelaren.

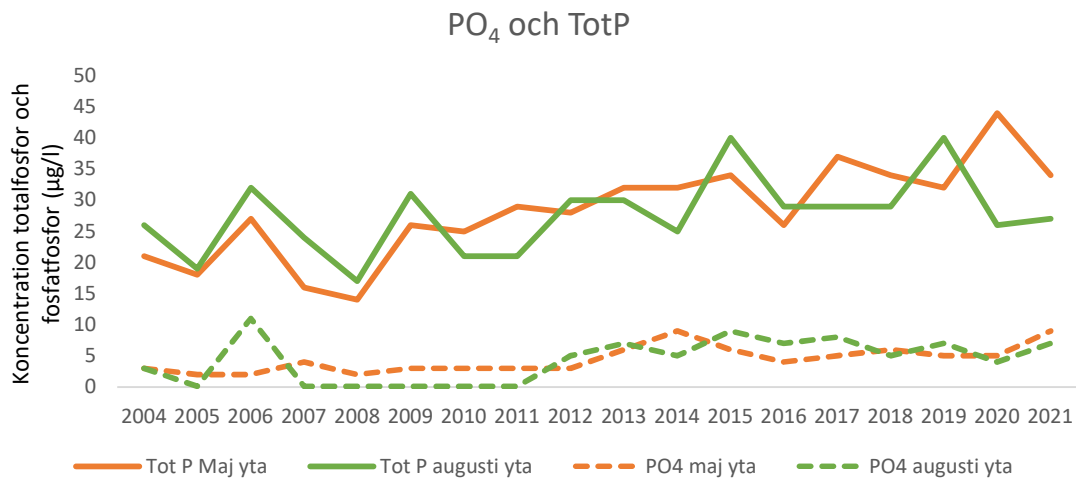


Figur 14. Totalfosforhalter ($\mu\text{g/l}$) i ytvatten och bottenvatten i augusti mellan åren i ytvattnet mellan åren 2004 och 2021. Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

2.3.3 Relationen mellan fosfatfosfor och totalfosfor

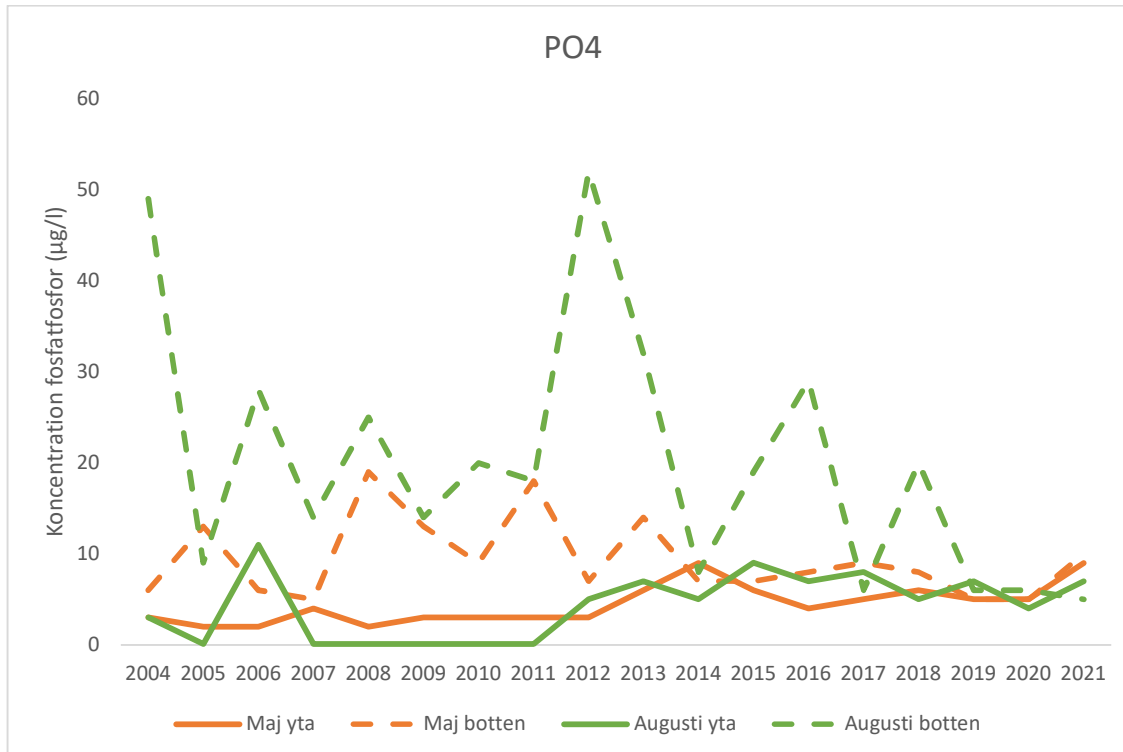
Förbundets långtidsmätningar har fokuserat på totalfosfor då det är en vedertagen parameter för att bedöma näringshalten och går att använda för att beräkna transporter av näringsämnen. Från 2004 och framåt ingår även, den för primärproduktionen direkt tillgängliga, fraktionen av löst fosfat (PO_4^{3-}), i den samordnade recipientkontrollen.

Fosfatfosfor tas upp snabbt ur vattenmassan av växtplankton och makrofyter och höga halter tyder på övergödning. Figur 15 visar relationen mellan totalfosfor och fosfatfosfor i ytvatten i maj respektive augusti. Samtliga kurvor visar en uppåtgående trend.



Figur 15. Relationen mellan totalfosfor och fosfatfosfor i Bodasjön i ytvatten i maj respektive augusti. Heldragna linjer visar koncentrationen av totalfosfor och streckad linje fosfatfosfor. Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

Relationen mellan totalfosfor och fosfatfosfor i ytvatten respektive bottenvatten ser likartad ut för prover tagna i mars, maj och oktober medan proverna tagna i augusti skiljer sig från övriga med markant högre fosfathalter i bottenvattnet (se figur 16). Anledningen till detta är, precis som för totalfosfor i figur 14 ovan, att vattenvolymen är skiktad och att primärproduktionen är fokuserad till ytvattnet. Detta innebär att fosfatfosfor i bottenvattnet dels inte konsumeras som i den delen av vattenmassan som ligger ovan termoklinen, dels för att frisätts det en viss mängd genom internbelastning.



Figur 15. Koncentrationer av fosfatfosfor i Bodasjön i ytvatten och bottenvatten i maj respektive augusti. Heldragen linje visar ytvattenprover och streckade linjer bottenvattenprover. Provtagning genomförd i SRK-punkt i Bodasjöns djupaste del.

2.3.4 Internbelastning

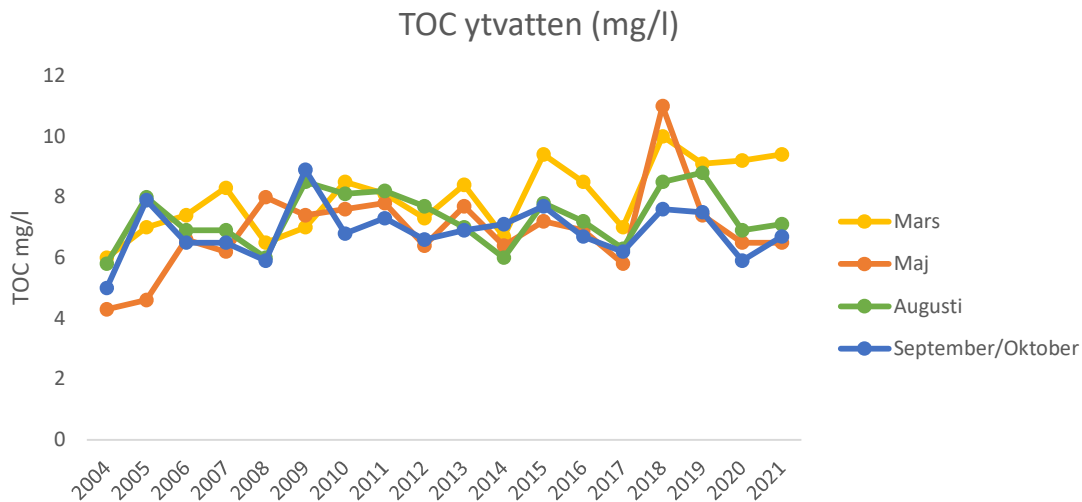
Ett av syftena med den utökade provtagningen och vattenvårdsplanen i sin helhet var att utreda om Bodasjön lider av onormalt hög internbelastning, dvs frisättning av fosfor från sedimenten vid ogynnsamma förhållanden. De tidvis höga halterna av fosfor i Bodasjöns bottenvatten bedömdes initialt kunna härröra från internbelastning.

Den synoptiska provtagningen och de beräkningar av halter och massbalans som genomförts med stöd av denna visar dock att internbelastningen bedömds vara obetydlig. Ytterligare beräkningar med stöd av Havs- och vattenmyndighetens utkast till vägledning för internbelastning (Havs- och vattenmyndigheten 2020 b) visar att den interna belastningen ligger i storleksordningen 3-12,5 kg under tiden då Bodasjöns vatten är skiktat och syrefattigt i de djupare delarna. Detta ska jämföras med den externa belastningen av fosfor som årligen ligger i storleksordningen 876 kg per år. En beräkning av internbelastningshastigheten visar att den ligger i spannet 0,05-0,2 mg/m²/d, vilket är jämförbart med låg internbelastning utifrån preliminära data som tagits fram inom ramen för delprojektet om internbelastning inom LIFE IP Rich Waters. (Witter pers. kom 2022).

Sammantaget bedöms Bodasjön inte lida av någon betydande och onaturligt hög internbelastning.

2.3.5 Organiskt material

Inom ramen för den samordnade recipientkontrollen mäter Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbund TOC (totalt organiskt kol) i yt- och bottenvatten. Sedan 2004 finns mätningar i mars, maj, augusti och september. Se figur 16 för halter av TOC-halt i Bodasjöns ytvatten mellan åren 2004 och 2021. Dataserien tyder på en något ökande medelhalt i Bodasjön. Det föreligger ingen nämnvärd skillnad mellan yt- och bottenvatten i sjön.



Figur 16. Halt av TOC (mg/l) i ytvatten under perioden 2004 till 2021.

Det saknas i dagsläget bedömningsgrunder avseende TOC och förbundet har därför dels jämfört halterna med övriga sjöar som följs upp inom den samordnade recipientkontrollen och dels med klassgränserna från Naturvårdsverkets bedömningsgrunder från 1999 (ref rapport 4913), som sammanfattas i tabell 4. Bodasjöns halter pendlar mellan klass 2 och 3, dvs liten till måttlig syretäring, vilket överensstämmer med övriga sjöar i samma del av Ljusnans avrinningsområde. Halterna fluktuerar av naturliga skäl inte lika mycket som i avrinningsområdets vattendrag utan är mer stabila över tid. Det föreligger inte heller några större skillnader över året.

Tabell 4. Klassgränser för syretärande ämnen (TOC). Data i tabellen hämtat från Naturvårdsverkets rapport 4913 (Naturvårdsverket 1999).

Klass	Halt TOC	Benämning
1	≤4	Obetydlig syretäring
2	4-8	Liten syretäring
3	8-12	Måttlig syretäring
4	12-16	Tydlig syretäring
5	>16	Stor syretäring

Halterna i Bodasjön antyder att den organiska belastningen kan ha viss del i förklaringen till de låga syrgashalterna, men i huvudsak beror den nuvarande miljösituationen på den höga belastningen av näringsämnen och då i första hand fosfor.

2.4 Fiskfauna och vandringshinder

Förutom påverkan på kvalitetsfaktorerna näringsämnen och växtplankton lider fiskfaunan i Bodasjön troligtvis också av övergödningen och den påtagliga syrebrist som uppstår i sjön under sommarstagnationen och djup över fem meter. Enligt information från Järvsö Fiskevårdsområdesförening hyser sjön bestånd av gädda, abborre, gös, mört och siklöja. Skalfynd tyder även på att flodkräfta finns i sjön. Fisket har varit periodvis bra med en tydlig försämring under senare år framförallt på gös.

Anledningen till att fisket har försämrats går inte entydigt att klargöra då tillförlitliga vetenskapliga dataunderlag gällande fiskfaunans sammansättning och utbredning saknas. Det skulle vara lämpligt att utföra provfisket i sjön med några års mellanrum för att se hur fiskfaunan ser ut och hur den



förändras över tid. Konventionella provfisken med översiktsnät skulle kunna kompletteras med yngelkarteringar medelst sprängfiske för att utreda hur förutsättningarna för lek och uppväxt av fiskyngel ser ut.

En viktig aspekt för fiskfaunan i sjön, förutom näringssituationen och syreförhållandena, är tillgången till fria vandringsvägar. I dagsläget är vandrigen till och från Ljusnan förhindrad på grund av den överfallsdamm som reglerar utloppet av sjön. Vandringsbarheten till omkringliggande grunda våtmarksområden är generellt god, vilket innebär goda lekmöjligheter för exempelvis gädda, abborre och vitfisk. Gösen leker däremot på botten omkring 1-3 meters djup. De ansträngda syreförhållandena i sjöns djupare delar (>5 m) bör därmed inte påverka fiskeleken negativt.

De ansträngda syreförhållandena i kombination med höga vattentemperaturer sommartid kan innebära en stressfaktor för vissa fiskarter. Detta gäller främst storvuxna individer som gärna söker sig till djupare vatten för höga temperaturer hämmar tillväxt och kan skapa problem med angrepp av svamp och parasiter hos vissa fiskarter.

Ett väldigt viktigt påverkanstryck vad gäller fiskfaunan i ett vatten är fisketrycket, oavsett om det är naturligt via rovdjur eller drivs av människor. Ett felaktigt bedrivet fiske kan påverka faunan snabbt och kraftigt. Särskilt i mindre vatten och om lekmogen fisk fångas eller störs i sådan utsträckning att leken påverkas eller i värsta fall uteblir.

3 Åtgärdsbehov

Åtgärdsbehovet i en vattenförekomst kan uttryckas som skillnaden mellan nuvarande status och den status som behöver uppnås enligt de miljö kvalitetsnormer som är beslutade av vattenmyndigheterna. I Bodasjöns fall innebär detta att den ekologiska statusen ska vändas från måttlig till god senast innan utgången av 2033. Vattenvårdsförbundets beräkningar visar att belastningen från avrinningsområdet behöver minska med 310 kg fosfor per år om god status ska kunna uppnås. Vidare behöver en hållbar och fungerande fiskvandring från Ljusnan till Bodasjön och vice versa erhållas. I dagsläget utgör dämnet vid sjöns utlopp ett vandringshinder.

3.1 Näringsämnen

Den modellberäknade kumulativa nettobelastningen av fosfor till Bodasjön uppgår årligen till 876 kg per år och inkluderar retention, dvs fastläggning, i avrinningsområdet. Den är av naturliga skäl lägre än den sammanlagda modellerade bruttobelastningen som uppgår till 1009 kg fosfor per år, som inte inkluderar retention.

Åtgärdsbehovet brukar uttryckas som skillnaden mellan nuvarande status och den status som behöver uppnås enligt de miljö kvalitetsnormer som är beslutade av vattenmyndigheterna. I Bodasjöns fall ska god status uppnås för både näringsämnen och växtplankton senast år 2033. Båda kvalitetsfaktorerna uppnår i dagsläget måttlig status.

Motiveringstexterna till miljö kvalitetsnormerna anger mer i detalj vilka kvalitetsfaktorer som ligger till grund för den övergripande normen samt vilka tidsfrister som är kopplade till dem samt vilket påverkanstryck som avses.

Vad gäller näringsämnen och växtplankton ska god status uppnås till 2027 med avseende på påverkanstrycket "enskilda avlopp". Vad gäller jordbrukspåverkan har vattenmyndigheten bedömt att åtgärdsarbetet kommer att ta mer tid varpå tidsfristen är satt till 2033.



Åtgärder som genomförs för att minska näringsbelastningen är möjliga att kvantifiera och kommer att påverka även växtplankton positivt. Åtgärdsbehovet och de beräkningar och antaganden som ligger till grund för detta, samt de åtgärdsförslag som ges, kommer därför att fokusera på att minska belastningen av näringsämnen och då i synnerhet fosfor. Kväve bedöms minska genom de åtgärder som genomförs för att minska fosfor.

Åtgärdsbehovet för Bodasjön uttrycks mot bakgrund av ovanstående som den belastningsminskning av fosfor som krävs för att Bodasjön ska uppnå god ekologisk status. Denna belastningsminskning uttrycks i sin tur som ett beting fördelat per delavrinningsområde.

Betinget kan uppskattas genom att utifrån en given målhalt (god status) samt observerad (nuvarande) halt för fosfor i Bodasjön beräkna en teoretisk nödvändig förändring (ΔP) och omsätta denna till minskning av extern belastning (beting) genom nedanstående antaganden hämtade från vattenmyndigheternas metod för beräkning av åtgärdsbehovet för övergödning (Erlandsson Lampa, M., Petersson J.F, Engene, N. (2018)).

$$[P]_{mål} = 2[P]_{obs} \cdot EK_{obs}$$

$$\Delta P = \frac{([P]_{obs} - [P]_{mål})}{[P]_{obs}}$$

$$P_{mål} = P_{bel} \cdot (1 - \Delta P)$$

Där $[P]_{mål} = 19,05 \mu\text{g/l}$ (målhalt av fosfor i recipienten, motsvarande god status i fallet Bodasjön).

$[P]_{obs} = 29,5 \mu\text{g/l}$ (observerad, nuvarande, fosforhalt i Bodasjön. Medelvärde för åren 2016-2021).

$EK_{obs} = 0,32$ (ekologisk kvot enligt bedömningsgrunderna för det observerade P-värdet).

$P_{bel} = 876 \text{ kg/år}$ (nuvarande fosforbelastning utifrån PLC 6.5)

Den teoretiska belastningsminskningen, kan därmed uttryckas som

$$P_{beting} = P_{bel} - P_{mål} = 310 \text{ kg/år}$$

Vattenmyndigheterna har i samband med framtagandet av de underlag som redovisas i det webbaserade verktyget Övergödningskartan (Länsstyrelsen 2022) räknat ut ett beting för de delar av avrinningsområdet som bedöms belasta Bodasjön med fosfor och landat i ett sammanlagt behov av belastningsminskning på 284 kg, vilket stämmer väl överens med ovanstående resultat. Se fördelningen mellan de olika delområdena i tabell 5.



Tabell 5. Bruttobelastning sam beting avseende fosfor per delavrinningsområde uttryckt i kg/år. Totalbelastningen inkluderar även bakgrundsbelastning. Underlag hämtat från PLC 6.5 samt Vattenmyndigheternas verktyg Övergödningskartan.

Vattenförekomst	P belastning brutto			P beting		
	Total	Enskilda avlopp	Jordbruk antropogent	Total	Enskilda avlopp	Jordbruk antropogent
Bodasjön	295,0	44,3	125,5	82,7	21,6	61,2
Lungbäcken	455,2	37,1	274,5	171,0	20,4	150,6
Skrikviksån	96,1	19,1	43,8	30,3	9,2	21,1
Skålbosjön	163,0	25,9	54,4	17,9	5,8	12,2

I syfte att bedöma i vilken utsträckning som den externa belastningen på Bodasjön, samt det av vattenmyndigheterna beräknade betinget på 284 kg per år, står sig i förhållande till sjöns möjligheter att omhänderta fosfor genomförde vattenvårdsförbundet en beräkning av massbalansen av fosfor. Utifrån de mätdata som fanns tillhands efter slutförande av projektets fältundersökningar kunde en enklare statisk modell utifrån grundprinciperna i den så kallade Vollenweidermodellen (Vollenweider 1968 & 1975) sättas upp. Den bygger på nedanstående antaganden.

$$TP = \frac{TPin}{1 + \sqrt{T}}$$

Där TP = Totalfosforhalt ($\mu\text{g/l}$) i sjön vid jämvikt.

$TPin$ = Inflöde av totalfosfor ($\mu\text{g/l}$).

T = sjöns omsättningstid (år).

Vollenweidermodellen har efter framtagandet 1969 kalibrerats 1982 inom ramen av OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) för generella förhållanden och för nordiska förhållanden (OECD 1982). Ursprungsformeln har därvid kompletterats med två konstanter ($K1$ och $K2$) enligt nedanstående formel.

$$TP = K1 \left(\frac{TPin}{1 + \sqrt{T}} \right)^{K2}$$

Generella förhållanden: $K1 = 1,55$; $K2 = 0,82$

Nordiska förhållanden: $K1 = 1,12$; $K2 = 0,92$

Omsättningstiden beräknades till 0,48 år enligt den data som vattenvårdsförbundet har haft tillgängligt. Detta kan jämföras med 0,54 år enligt information från SMHI:s modellerade data. I beräkningarna har båda omsättningstiderna använts för att jämföra hur det påverkar utfallet.

Beräkningarna utförda med originalmodellen och lägsta omsättningstid ger ett $TPin$ på 33,13 $\mu\text{g/l}$ medan beräkning med högsta omsättningstid och konstanter enligt nordiska förhållanden ger ett $TPin$ på 38,86 $\mu\text{g/l}$, vilket motsvarar 522 respektive 612 kg fosfor per år utifrån de värden på flöden som erhålls ur SMHI:s modeller.



Sammanfattningsvis visar ovanstående beräkningar en god sammanstämmighet om att åtgärdsbehovet ligger någonstans emellan 265-355 kg fosfor per år. Såväl underlag som beräkningsmetoder medför en del osäkerheter, men som utgångspunkt för beräkningarna av de åtgärder som är nödvändiga för att uppnå god status i sjön används ett beting på 310 kg fosfor per år.

3.2 Organiskt material

De undersökningar som genomförs inom ramen för den samordnade recipientkontrollen har visat att halterna av organiskt material i form av TOC inte är onormalt höga i Bodasjön. Inga särskilda åtgärder bedöms därför behövas för att minska halterna utan de åtgärder som föreslår rörande fosfor och kväve kommer även att fånga TOC som tillrinner sjön från avrinningsområdet.

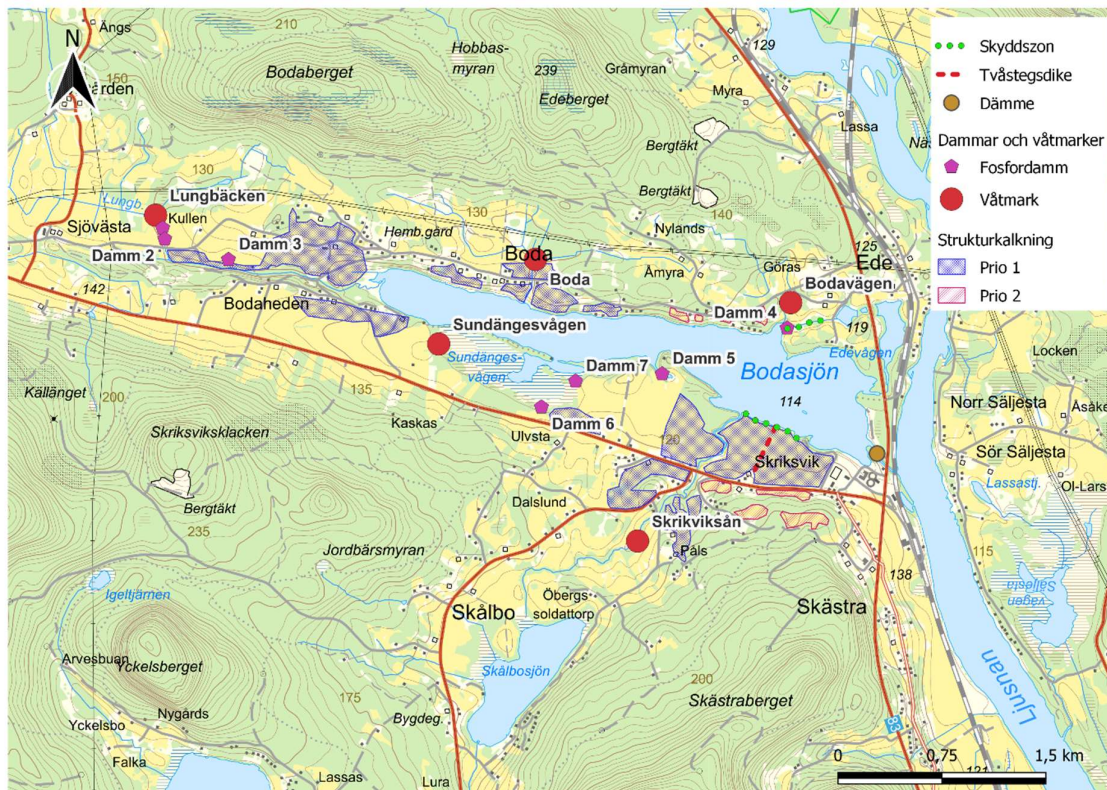
3.3 Fysiska förändringar, fiske och vandringshinder

Vad gäller den fysiska påverkan samt vandringshinder har utredningarna visat att överfallsdammen vid Bodasjöns utlopp hindrar fisk från att vandra mellan sjön och Ljusnan. För att förbättra möjligheterna för fiskvandring bör dammen avlägsnas eller byggas om på ett sätt som möjliggör vandring. Dammen ingår i den vattendom från 1963 som gäller för Ljusnan, har en krönhöjd på 113,4 cm och de åtgärder som är lämpliga och möjliga utreds under rubriken 4 Förslag till åtgärder.

En annan aspekt som påverkar fiskfaunan är fisketrycket. I Bodasjön bedrivs i dagsläget fritidsfiske med handredskap medan nätfiske är förbjudet. Minimimåttet för gös är 40 cm. Det saknas provfiskedata från sjön och därmed information om fiskfaunans sammansättning, fördelning, åldersstruktur och konditionsfaktor. Detta har försvårat förslagen till åtgärder gällande fisk och fiske i sjön.

4 Förslag till åtgärder

Åtgärdsförslagen som föreslås under denna rubrik är framtagna för att så långt det är möjligt matcha de åtgärdsbehov som lyfts fram i kapitel 3 och fokuserar på näringsämnen och fysisk påverkan samt fiske. Åtgärdsförslagen är framtagna utifrån en kombination av kartanalyser och fältbesök. Åtgärdsförslagen sammanfattas i kartan i figur 17.



Figur 17. Åtgärdsförslag för att minska belastningen av näringsämnen till Bodasjön. I kartan visas den geografiska placeringen av fem våtmarker, sju dammar, ett tvåstegsdike, två skyddszoner samt områden lämpliga för strukturkalkning i två prioritetsklasser. Dämet vid sjöns utlopp är markerat med brun cirkel.

Förslagen får ses som preliminära och kräver en mer detaljerad och noggrann utredning innan projektering och genomförande. En osäkerhetsfaktor vad gäller kartanalyserna är avrinningsvägar och avrinningsområdets faktiska utbredning då dessa bygger på högupplöst höjddata men inkluderar inte täckdiken och andra vattenreglerande förhållanden i jordbrukslandskapet. Vidare bygger beräkningar av såväl investeringskostnader som löpande driftskostnader på schabloner hämtade främst från vattenmyndigheternas underlagsrapporter (Petersson, Erlandsson Lampa, Smith, Engene 2018) och åtgärdsbiblioteket i VISS. Åtgärderna är så långt som möjligt placerade där inget eller minimalt bortfall av produktiv jordbruksmark kan uppstå. Om annat är fallet är detta särskilt beskrivet per åtgärd.

Vad gäller fysisk påverkan föreslås att dämet rivs och ersätts med annan lösning som både kan bibehålla vattennivån i Bodasjön, tillåta inflöde från Ljusnan samt möjliggör fiskvandring. I andra hand föreslår ett omlöp förbi dämet. Åtgärden har inte analyserats i detalj inom ramen för detta uppdrag då dämet regleras av befintlig vattendom för Ljusnan.

Vad gäller fisket i Bodasjön föreslås att en höjning av minimimåttet för gös till 45 cm utreds. Vidare föreslås att nuvarande fredningstid mellan 1/6–30/6 förlängs att omfatta även 1/5–31/5. Nu gällande nätförbud är positivt och bör kvarstå. Vidare föreslås ytterligare utredningar i form av provfisk som en del av åtgärdsarbetet för fisk i Bodasjön.

Vad gäller näringsämnen har fokus legat på våtmarker, dammar och strukturkalkning, men även tvåstegsdiken och skyddszone är föreslagna. För våtmarker, dammar, tvåstegsdiken och



strukturkalkning har kostnad och effekt kunnat beräknas medan det med nuvarande dataunderlag gått att göra på ett rättvisande sätt för övriga åtgärder.

4.1 Näringsämnen

Beräkningarna av status, påverkan, belastning och behov av belastningsminskning utifrån information från SMHI, SMED, Vattenmyndigheterna samt Ljusdals kommuns synoptiska mätningar kombinerat med Ljusnan Voxnans vattenvårdsförbunds långa mätserier visar att Bodasjön har måttlig ekologisk status som beror av extern belastning av näringsämnen och då främst fosfor. Den årliga belastningen uppgår till 876 kg medan Bodasjön på årsbasis kan ta emot och omsätta 575 kg och fortfarande bibehålla en jämvikt i fosforbalans. Detta medför att motsvarande ca 310 kg fosfor årligen behöver fångas genom olika åtgärder i avrinningsområdet om sjön ska kunna uppnå god ekologisk status avseende näringsämnen och växtplankton.

Den huvudsakliga externa belastningen härrör från jordbruket samt från enskilda avlopp motsvarande 414 samt 107 kilo årligen. Internbelastningen till följd av syrebrist och skiktade förhållanden har beräknats motsvara 13 kg. Åtgärder bör därmed fokuseras gentemot jordbruket samt de enskilda avloppen.

I beräkningarna av belastning, effekt och kostnader har en ytspecifik fosforbelastning beräknats för respektive delavrinningsområde, dvs Lungbäcken, Skrikviksån och Bodasjöns närområde. Beräkningarna har utgått från underlaget i PLC 6.5 samt SCALGO Live (SCALGO 2022). Lungbäcken sticker ut med en specifik belastning på 108 kg/km²/år medan motsvarande siffra ligger på 42,8 kg/km²/år och 39,6 kg/km²/år för Bodasjöns närområde respektive Skrikviksån.

Generellt sett bör åtgärder genomföras så nära källan som möjligt dels på grund av att de enklare kan fånga exempelvis partikelbunden fosfor från lätteroderade jordar, dels utifrån det så kallade förorenaren betalar-perspektivet. I vissa fall kan det dock vara ekonomiskt fördelaktigt ur ett helhetsperspektiv att genomföra samlande åtgärder så långt nedströms i avrinningsområdet som möjligt. Det förstnämnda gäller exempelvis enskilda avlopp, strukturkalkning, tvåstegsdiken och skyddszoner i jordbrukslandskapet medan det för exempelvis våtmarker är mer kostnadseffektivt att placera dem längre ner i avrinningsområdet där de gör större nytta sett ur ett helhetsperspektiv.

En annan viktig aspekt i valet av åtgärder är finansieringen. I Gävleborgs län är till exempel kalkfilterdiken, tvåstegsdiken samt våtmarker och dammar bidragsberättigade genom Jordbruksverkets stöd för miljöinvesteringar samt genom LOVA-bidraget. Jordbruksverkets stöd kan sökas av privatpersoner och företag, medan LOVA enbart kan sökas av kommuner, ideella föreningar och ekonomiska föreningar som drivs utan vinstsyfte.

En tredje, men viktig aspekt för etablering av åtgärder i jordbruksbygder är att åtgärderna så långt det är möjligt bör placeras på icke produktiv jordbruksmark i syfte att minska risken för intressekonflikter och för att minska kostnaden för åtgärderna.

Nedan utvecklas åtgärdsförslagen utifrån huvudsakligt påverkanstryck, dvs enskilda avlopp samt jordbruksmark.

4.1.1 Enskilda avlopp

Enligt information från Ljusdals kommuns miljöenhet har inventeringar av avloppen inom Bodasjöns avrinningsområde genomförts mellan åren 2017 och 2019 varpå brister upptäcktes i omkring 70 % av anläggningarna. Kommunen har sedan dess förelagt fastighetsägarna om att genomföra åtgärder och de flesta avlopp bedöms av kommunen i dagsläget vara åtgärdade. Möjligheterna för ytterligare



åtgärder för enskilda avlopp bedöms därmed vara inte vara nödvändiga att genomföra. Denna rapport hanterar därmed inte enskilda avlopp ytterligare.

4.1.2 Jordbruksmark

Åtgärder riktade till påverkan från jordbruket kan antingen genomföras nära källan, dvs i anslutning till jordbruksmarken som läcker näringsämnen eller i form av samlade lösningar längre ned i avrinningsområdet. De åtgärder som bedöms vara praktiskt och funktionellt genomförbara presenteras närmare nedan och sammanlagd kostnad och effekt summeras i tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning av effekt och kostnader för de åtgärder som föreslås avseende näringsämnesreduktion. I de fall beräkningar inte varit möjliga att genomföra pga bristfälliga underlag eller att beräkning inte är applicerbart har detta markerats med ett "-" i tabellen.

Åtgärdstyp	Sammanlagd effekt (kg/år)	Sammanlagd investeringskostnad (kr)	Kostnads-effektivitet (kr/kgP)	Driftskostnad (kr/år)
Rådgivning	-	-	-	-
Skydds-zoner och anpassade skydds-zoner	-	-	-	-
Strukturkalkning	27	625 000	23 000	-
Kalkfilterdiken	-	-	-	-
Tvåstegsdiken	3	220 000	73 000	600
Våtmarker	253	2 075 000	8 200	70 000
Fosfordammar	27	90 100	3 300	3 000
Summa	310	3 010 000	-	73 600

4.1.2.1 Rådgivning

Greppa näringen har bedrivit verksamhet i landet i 20 år och ger kostnadsfri rådgivning till lantbrukare i syfte att minska förlusterna av näringsämnen och bekämpningsmedel från gårdarna. En riktad kampanj bör genomföras i Bodasjöns avrinningsområde i samverkan mellan Länsstyrelsen, kommunen och Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbundet där förbundet kan bidra med information om sjöns status och åtgärdsbehov. Förslagsvis riktas åtgärden mot de större gårdarna i området.

Rådgivningen bör fokusera på åtgärder som gödsling, jordbearbetning och anpassad odling. Under fältbesöket vid Bodasjön noterades bland annat att de flesta marker antingen låg i träda eller plöjs under våren, men några bedömdes vara bearbetade under hösten, vilket ökar läckaget av näringsämnen i samband med snösmältningen. Flera av de mot Bodasjön eller angränsande vattendrag liggande åkermarkerna sluttar kraftigt och kan med fördel konturplöjas, dvs vinkelrätt mot lutningen för att reducera avrinningen och förlusten av partiklar från åkermarken.

4.1.2.2 Skydds-zoner och anpassade skydds-zoner

Syftet med att anlägga skydds-zoner längs med vattendrag eller anpassade skydds-zoner längs med åkerdiken, brunnar och erosionsstråk inne på fält är att minska fosforförlusterna genom ytavrinning från åkermark. Effekten hos skydds-zoner och anpassade skydds-zoner beror mycket på förutsättningarna på plats och är därför svåra att räkna på med generella underlag.

I Bodasjöns avrinningsområde föreslås skydds-zoner på två platser. Se karta i figur 17. Skyddzonen bör vara minst 2 meter bred, men helst 10. Särskilt i det fallet som åkern vetter direkt mot Bodasjön, dels på grund av att reningseffekten ökar med ökande bredd och då skydds-zoner ger även positiva synergieffekter på den biologiska mångfalden längs vattendrag och sjöar.

4.1.2.3 Strukturkalkning

Strukturkalkning genomförs för att minska fosforläckaget från lerjordar genom att kalken reagerar med lerkolloiderna och bildar aggregat som dels förbättrar markstrukturen och dels binder fosfor. Åtgärden är långvarig och kan under goda förhållanden medföra ett minskat läckage på uppemot 40



% av totalfosfor från jordar med lerhalt över 15 %. Då lerhalten i markerna kring Bodasjön uppgår till 20 % i vissa områden kan strukturkalkning vara en bitvis effektiv åtgärd. Erfarenheter visar att åtgärden har bäst effekt om den genomförs under rätt förhållanden, dvs bra väderlek, låg markfuktighet och hög marktemperatur. Enligt Jordbruksverket (<https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtnaring/kalkning#h-Strukturkalkningavlerjordar>) är det lämpligt att genomföra kalkningen då jorden redan har en god struktur, exempelvis efter tidig skördad höstgröda och snabbt blanda in kalken i jorden efter spridning.

Förutom att bidra till minskad näringsbelastning bidrar åtgärden även till förbättrad markstruktur, vilket i sig kan bidra till ökade skördar.

Det går att söka bidrag för åtgärden, men den är inte lämplig i samband med ekologisk odling då det inte är tillåtet att använda bränd kalk, släckt kalk eller blandvara på dessa jordar.

Se figur 17 för översiktlig karta över områden som bedöms kunna vara lämpliga för strukturkalkning. Områdena har delats in i två prioritetsklasser utifrån storlek, påverkan och lämplighet.

Totalt bedöms 121 ha vara potentiellt föremål för strukturkalkning till en sammanlagd kostnad på 625 000 kr. Effekten bedöms bli ca 27 kg fosfor per år under förutsättning att en reduktionseffekt på 40 % uppnås. Kostnadseffektiviteten uppgår till 23 200 kr/kg P.

Observera att analysen är översiktligt gjort och innan åtgärden genomförs behöver mer noggranna studier genomföras, förslagsvis inom ramen för Greppa näringen.

4.1.2.4 Kalkfilterdiken

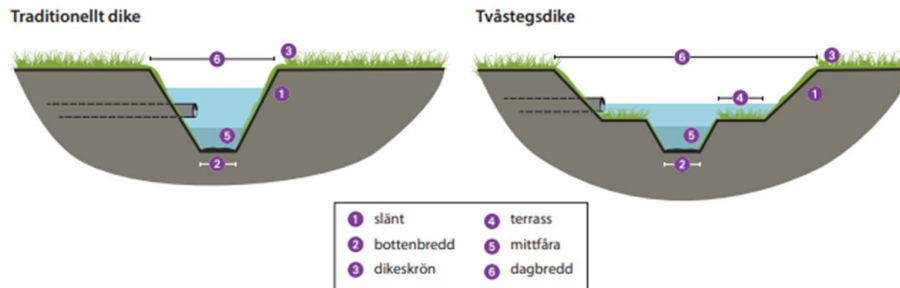
Ett kalkfilterdike är ett täckdike där strukturkalk fräses in i återfyllnadsjorden och som därigenom minskar förlusten av partikelbunden fosfor från åkermarken och förbättrar vattengenomsläppligheten.

Det går att söka bidrag för kalkfilterdiken och de kan anläggas vid installation av ny täckdikning, vid restaurering av befintliga täckdiken, vid förbättring av vattensjuka områden eller längs ett vattendrag på sluttande mark.

Åtgärden bedöms vara lämplig att genomföra särskilt på marker runt Bodasjön som står inför ny- eller omdränering samt längs med vattendrag i områden där ingen annan åtgärd är lämplig.

4.1.2.5 Tvåstegsdiken

Tvåstegsdiken är i praktiken ett öppet dräneringsdike med en eller två terrassliknande svagt sluttande kanter som syftar till att minska erosionen, dämpa flöden och därmed minska översvämning och näringsläckage (Se figur 18). Ett tvåstegsdike kan också öka den biologiska mångfalden i förhållande till ett normalt dike, men raka eller kraftigt lutande avfasade kanter.



Figur 18. Principskiss för tvåstegsdike i förhållande till traditionellt dike. Figur hämtad från Jordbruksverkets rapport 16:15 Från idé till fungerande tvåstegsdike (Larsson & Heeb 2016).

Ett tvåstegsdike tar mer mark i anspråk än ett vanligt dike och kräver dessutom att mer jord grävs bort. Kan jorden omfördelas på närliggande åkermark bedöms kostnaden kunna hållas lägre än om jorden behöver transporteras långa sträckor. Den schablonkostnad som har använts i beräkningarna inom denna rapport är hämtade från VISS åtgärdsbibliotek och uppgår till 880 kr/m.

Eftersom de initiala kostnaderna är stora blir kostnaden per meter för hög om diket görs för kort. Dessutom bedöms effektiviteten bli liten i ett kort dike avseende näringsreduktion. Rekommendationen är att ett tvåstegsdike bör vara 0,5 km långt eller längre.

Det är särskilt lämpligt att bygga om konventionella diken till tvåstegsdiken om nuvarande dike

- visar tecken på instabilitet,
- tidvis svämmar över,
- har relativt litet avstånd mellan botten och ytan,
- ligger i områden med lätteroderade jordar,
- inte ligger uppströms våtmarker eller dammar samt
- är längre än 0,5 km.

Det går att söka bidrag för åtgärden inom Gävleborgs län.

Inom Bodasjöns avrinningsområde finns dock i dagsläget inga uppenbara platser som storleksmässigt faller in under ovanstående kriterier. Vattenvårdsförbundet bedömer dock att diket som avvattnar jordbruksmarken vid Skrikvik eventuellt skulle kunna byggas om till tvåstegsdike, se karta i figur 17. Beräkningarna nedan visar dock att åtgärden blir förhållandevis dyr i förhållande till exempelvis strukturräkning. Åtgärden tas dock med i rapporten och den inbördes rangordningen diskuteras mer under kapitel 5 Sammanfattning och åtgärdsrioritering.

4.1.2.5.1 Tvåstegsdike Skrikvik

Avrinningsområdet uppgår till 70 ha och består till 24 % åkermark. Tvåstegsdiket bedöms kunna anläggas i den nedersta delen av jordbruksmarken innan Bodasjön. Se karta i figur 16 för översiktlig placering och karta i bild 19 för mer detaljerad bild av avrinningsområdet till diket samt föreslagen placering av diket med röd streckad cirkel.

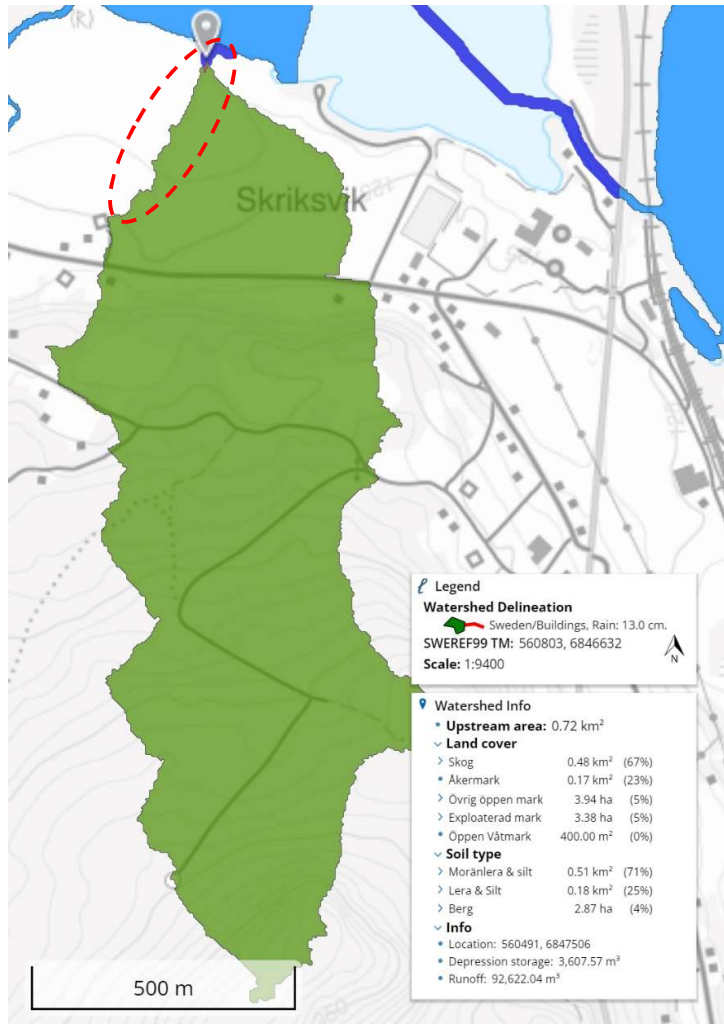
Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdiket.

Den totala fosforbelastningen från hela avrinningsområdet beräknas uppgå till 18 kg/år och retentionen i ett dike kan under optimala förhållanden uppgå till 40 %. Detta bedöms dock inte vara fallet på denna plats då diket är relativt kort (250 m) och topografin bedöms medföra att åtgärden



fungerar bäst för näringsämnen från närområdet. Den totala retentionen uppskattas därmed till ca 3 kg.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 220 000 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 73 000 kr/kg P. Beräkningen inkluderar kostnaden för bortfall av jordbruksmark.



Figur 19. Föreslaget tvåstegsdike markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

4.1.2.6 Våtmarker och dammar

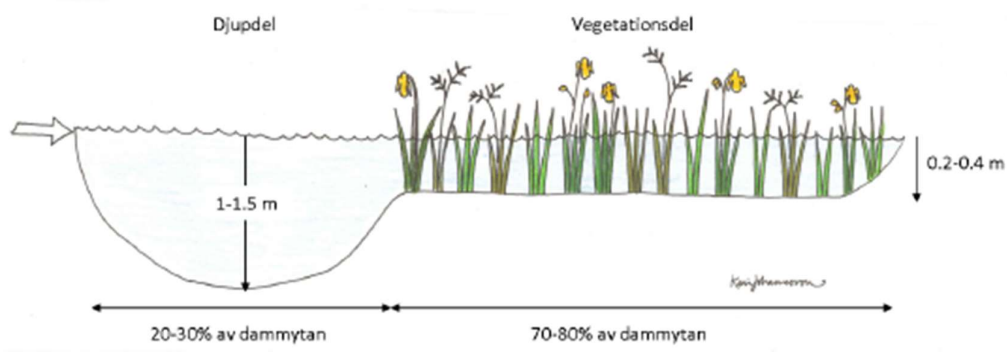
Våtmarker har en förmåga att avskilja både kväve och fosfor och beroende på hur de byggs kan de optimeras för det ena eller andra näringsämnet. Generellt sett brukar dammar optimerade för fosforretention, så kallade fosfordammar, vara mindre i storlek och etableras högre upp i avrinningsområdet medan våtmarker är av större karaktär och brukar anläggas en bit nedströms för att kunna samla upp större vattenvolymer. Våtmarker har generellt en bättre förmåga att rena kväve, men beroende på utformningen kan reningseffekten avseende fosfor förbättras. En stor fördel med våtmarker är att de även ger positiva synergieffekter för biologisk mångfald. Se bild 20 för exempel på hur en våtmark kan se ut.



Figur 20. Exempel på våtmark fotograferad från ovan. Foto: Fiskevårdstjänst Peter Hallgren AB.

Då fosforbelastning är huvudproblemet i Bodasjön föreslås att både våtmarker och dammar optimeras för detta näringsämne.

Tidigare erfarenheter har visat att långsmala våtmarker och dammar tenderar att ackumulera mer fosfor än dammar med rund form på grund av att den hydrauliska effektiviteten ökar. Flödesvägen blir längre och vattnet flödar lättare genom en större del av dammen vilket gör att retentionen ökar och reningsprocessen får mer tid. För att ytterligare förlänga vattnets väg genom en våtmark kan man arbeta med meandring och en smart placering av in- och utlopp. Ett annat sätt att öka den hydrauliska effektiviteten är att tillåta bottenstrukturer och etablera växtlighet. Utformningen av dammar och våtmarker kan med fördel utgå från de förslag som beskrivs av Hushållningssällskapet (Johannesson & Kynkäenniemi 2012)) och Jordbruksverket (Lagerkvist 2004). I båda rapporterna lyfts bland annat vikten av en inledande djupdel med efterföljande grundare område med växter beskrivs i syfte att optimera dammen för att fånga partikelbundet fosfor. Se figur 21 nedan.



Figur 21. Bild hämtad från Hushållningssällskapets rapport Fånga Fosfor och beskriver hur en fosfordamm med fördel kan utformas med en djupare del nära inloppet för att optimera sedimentation av partikelbundet fosfor. I den efterföljande grunda delen kan lämplig vattenvegetation planteras för att stabilisera botten samt utgöra ett filter där ytterligare sedimentation sker.

Vad gäller storlek utgår man, som tumregel, från att en damm eller våtmark ska vara ca 0,1-0,5 % av tillrinningsområdets storlek. Tidigare utgick man från 2 % av avrinningsområdets storlek, men senare studier har visat att fullgod retention kan uppnås i dammar motsvarande 0,1-0,5 % av avrinningsområdet särskilt om de placeras i områden med hög belastning och gärna nära källan, dvs åkermarken. Den hydrauliska belastningen (m/år), dvs kvoten av vattenvolymen som tillrinne våtmarken ($\text{m}^3/\text{år}$) i förhållande till area (m^2), är ett generellt bättre mått för hur stor en våtmark ska vara i förhållande till tillrinningen, dvs belastningen, från avrinningsområdet (Aronsson, Berglund, Djodjic, Etana, Geranmayeh, Johanson, Johnsson & Wesström 2019). Det är generellt eftersträvansvärt att den hydrauliska belastningen ligger på ca 100 m/år. I analyserna avseende placering och optimering av våtmarker har vattenvårdsförbundet inom ramen för denna rapport utgått från att de dammar och våtmarker som föreslås ska motsvara 0,1–0,5 % av tillrinningsområdet så långt det varit möjligt och motsvara en hydraulisk belastning på omkring 100 m/år. I beskrivningen av respektive våtmark och damm har även den teoretiska uppehållstiden i dygn beskrivits för att ytterligare tydliggöra hur väl våtmarken fungerar för att uppehålla vatten.

En annan aspekt som påverkar reningsgraden i en våtmark eller damm är hur stor belastning som tillrinne samt i vilken form fosfor (löst fosfatfosfor eller partikelbunden fosfor) uppehåller sig i vattnet. Den synoptiska provtagningen visade att andelen partikelbunden fosfor i medeltal ligger omkring 75 % i tillrinnande vatten, vilket indikerar att dammar och våtmarker kan vara effektiva i avrinningsområdet.

Valet av platser för etablering av dammar och våtmarker har utgått från en övergripande analys av jordarter och naturliga lågpunkter i terrängen. Generellt sett är det lämpligt att välja platser med torvmark vid etablering av våtmarker då detta indikerar att det funnits en äldre våtmark på platsen.

Placering av dammar har utgått ifrån var det finns högbelastade mindre delar av avrinningsområdet som inte kan fångas upp av de föreslagna våtmarkerna. Dessa ligger företrädesvis inom det område som direkt avvattnar till Bodasjön, men några dammar ligger i de nedre delarna av Lungbäckens avrinningsområde. Dammarna har även placerats med så liten risk för anspråkstagande av jordbruksmark som möjligt.

I beräkningarna av flöden och belastning har data från PLC 6.5, SMHI:s vattenweb och projektet synoptiska provtagningar använts i kombination med mer detaljerad information om markanvändning per delavrinningsområde från verktyget Scalgo Live. Scalgo Live har även använts



för att hitta lämpliga platser utifrån topografin samt för att utforma teoretiska förslag till ytor för våtmarker och dammar i landskapet. Vidare har vattenvårdsförbundet i samtliga beräkningar utgått från medelvattenflödet. Den slutliga placeringen och utformningen behöver projekteras i större detalj innan etablering sker. Bland annat behöver det faktiska vattenflödet till respektive våtmark mätas noggrannare under åtminstone ett hydrologiskt år för att man ska kunna dimensionera åtgärden korrekt i förhållande till de faktiska flödena.

Rinnvägar till fosfordammarna har uppskattats genom analys av landskapets topografi och huvudsakliga naturliga flödesvägar, men då dessa kan vara brutna av täckdiken behöver en noggrannare utredning av flödesvägar göras i varje enskilt fall göras innan projektering.

Beräkningen av belastning till respektive våtmark och damm har utgått från en uppskattad ytspecifik belastning per delavrinningsområde för markslagen åkermark samt övrig mark interpolerad från PLC 6.5-områden. Syftet med att bryta ner belastningsberäkningarna till mindre områden är att det bedöms ge ett mer korrekt värde på belastningen än att utgå enbart från ytandel och direkt interpolera detta mot totalbelastningen för hela PLC 6.5-området. Detta gäller särskilt i heterogena avrinningsområden med stor andel skog i de övre delarna och mer jordbruksmark i de nedre, där fosfordammarna företrädesvis placeras.

Beräkningsunderlaget bedöms generellt sett vara säkrare för de större våtmarkerna, då områdena är större och harmoniserar bättre med underlaget från PLC 6.5.

I syfte att kunna matcha åtgärdsbehovet med den teoretiska effekten av de föreslagna åtgärderna har retentionen i både våtmarker och dammar beräknats enligt nedanstående formeln hämtad ur Weiss 2016.

$$P_{ret} = -0,0003 \cdot P_{bel}^2 + 0,4584 \cdot P_{bel}$$

Där

P_{ret} = retentionen i våtmarken (kg/ha/år).

P_{bel} = Belastning till våtmarken (kg/ha/år).

Analys och beräkning av kostnader har utgått från vattenmyndigheternas databas för åtgärdsbibliotek i VISS där en schablonkostnad om 265 000 kr/ha för investering avseende våtmarker och fosfordammar anges. Då de övergripande analyserna har utgått från kartmaterial och höjddata förekommer vissa brister bland annat vad gäller kulvertering av diken och bäckar. Merkostnaden för att anlägga en fosfordamm i ett kulverterat vattendrag har exempelvis inte tagits med i beräkningarna. Eventuell kostnad för anspråkstagen jordbruksmark finns inte med i ovanstående schablonvärden.

Skötsel och drift av våtmarkerna och dammarna har inte undersökts i detalj inom ramen för denna rapport utan är något som behöver beskrivas vid eventuellt kommande projektering. För att få en övergripande uppfattning har en schablonsiffra på 8 900 kr/ha/år använts. Driftkostnaderna inbegriper löpande återkommande åtgärder som exempelvis skörd av vegetation.

4.1.2.6.1 Lungbäcken

Lungbäckens avrinningsområde är den del av Bodasjöns totala avrinningsområde som lämpar sig bäst för etablering av våtmark. Området är bitvis flackt, belastar sammantaget Bodasjön med mest näringsämnen, och hyser äldre, numera utdikade våtmarker. Den föreslagna våtmarken bedöms



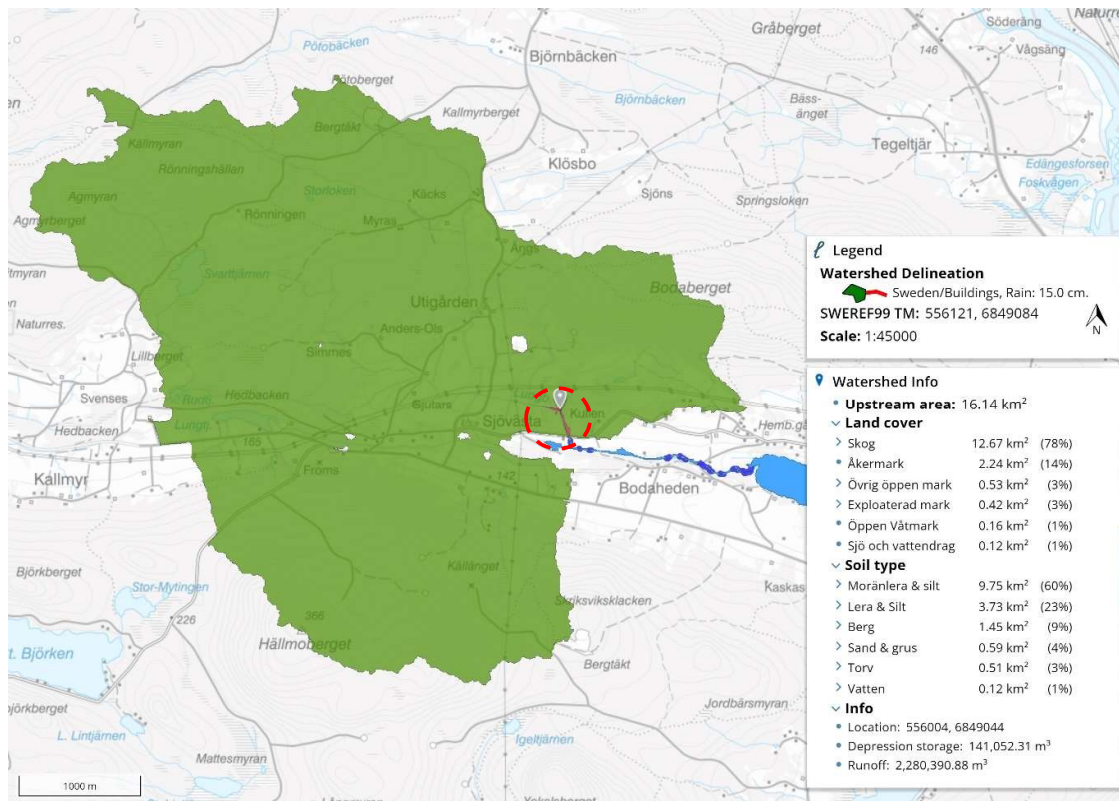
kunna rena 137 kg per år till en kostnad av 1 200 000 kr. Den teoretiska kostnadseffektiviteten uppgår till ca 8 800 kr/kg P.

I samband med analyserna av åtgärder i Lungbäckens avrinningsområde räknade vattenvårdsförbundet även på att optimera den befintliga våtmarken belägen längst nere vid bäckens utlopp till Bodasjön som ett komplement till den nu föreslagna våtmarken. Tanken var att på detta sätt seriekoppla två våtmarker till varandra. Reningspotentialen bedömdes dock enbart bli ca 20 kg då ovan liggande våtmark bedöms rena stor del av den del av totalbelastningen som är möjlig att åtgärda. Vidare beräknades kostnadseffektiviteten bli omkring 62 000 kr/kg P, vilket bedömdes vara för högt i förhållande till exempelvis fler, men mindre fosfordammar i den del av avrinningsområdet som ligger mellan den övre föreslagna våtmarken och Lungbäckens mynning. Slutligen bedöms området vara så flackt att Bodasjön tidvis svämmar in över våtmarken och att reningseffekten sett till sjöns behov därmed minskar. Mot bakgrund av ovanstående togs inte denna extra våtmark med i de vidare beräkningarna utan fokus ligger på den förstnämnda våtmarken.

Förutom våtmarken föreslås 3 fosfordammar med en sammanlagd area på 550 m². De bedöms sammantaget kunna rena 8,55 kg fosfor till en total etableringskostnad av ca 14 600 kr. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 500 kr årligen.

4.1.2.6.1.1 Våtmark Lungbäcken

Den tilltänkta placeringen av våtmarken avvattnar ett område på 16 km² bestående av mestadels skogsmark och 13 % jordbruksmark. Jordarterna domineras av moränlera och silt (61 %) och lera och silt (22 %). Se figur 22. Denna del utgör 96 % av hela Lungbäckens avrinningsområde som omfattar 16,9 km².





Figur 22. Förslag till placering av våtmark (streckad röd cirkel) i Lungbäcken samt det lokala tillrinningsområdet till våtmarken (grön yta). Kartbild genererad genom Scalgo Live.

Analys av jordartskartan visar att området utgörs av en gammal utdikad våtmark bestående av mestadels torv. Förslagen areal uppgår till ca 5 ha, vilket motsvarar 0,31 % av avrinningsområdets totala storlek, dvs ligger det spann på 0,1-0,5 % som generellt brukar användas som utgångspunkt.

För att optimera våtmarken föreslås diket som rinner in i nuvarande torvmarksområde från väster grävas om och fördjupas så att det rinner in i våtmarken ca 90 m norrut istället. Detta skulle skapa en längre rinnväg genom våtmarken och optimera reningen. I våtmarken bör två djupområden skapas nära de huvudsakliga inflödena.

Våtmarken bedöms ta emot ca 4 600 000 m³ vatten per år i medeltal utifrån data från åren 2004 till 2020. En area på 4,55 ha (45 500 m²) ger en hydraulisk belastning på 101,3 m/år. Vidare beräknas uppehållstiden till omkring 2 dygn.

Belastningen bedöms uppgå till 409 kg/år. Retentionen i våtmarken beräknas uppgå till 137 kg/år om den optimeras för att rena fosfor. I dagsläget bedöms reningsgraden vara väldigt låg.

Investeringskostnaden för den föreslagna våtmarken bedöms uppgå till 1 200 000 kr beräknat med utgångspunkt från en storlek på 4,55 ha och schablonkostnad på 265 000 kr per ha. Detta motsvarar en teoretisk kostnadseffektivitet på ca 8 800 kr per kg fosfor. Driftskostnaden bedöms uppgå till 40 500 kr per år. Ingen produktiv åkermark bedöms påverkas.

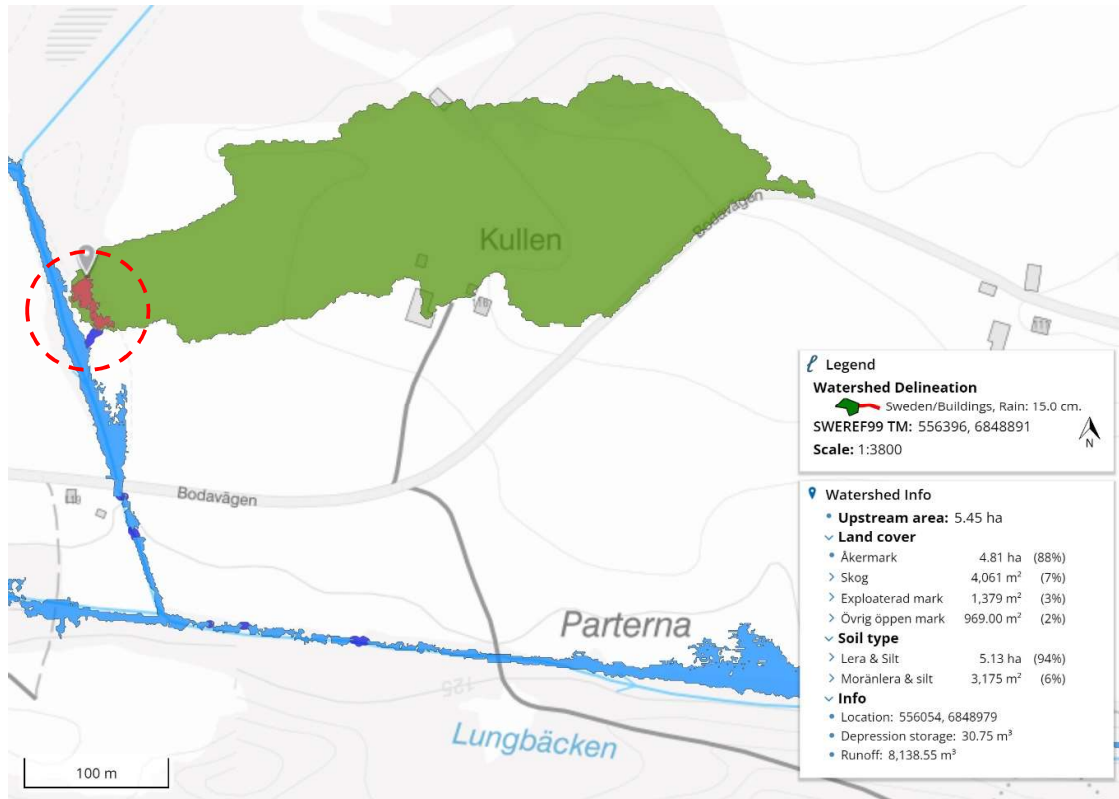
4.1.2.6.1.2 Fosfordamm 1

Avrinningsområdet uppgår till 5,2 ha och består av övervägande del åkermark (88 %). Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Lungbäcken. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 5 kg/år och retentionen till 2,29 kg/år.

Se figur 23 för avrinningsområdets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 150 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsområdets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 14 700 m³/år uppgå till 98 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 3,3 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 4 000 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 1 700 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 150 kr per år. Åtgärden tar en del åkermark i anspråk.



Figur 23. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Huvudsakliga rinnvägar syns som blå linjer i kartan. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

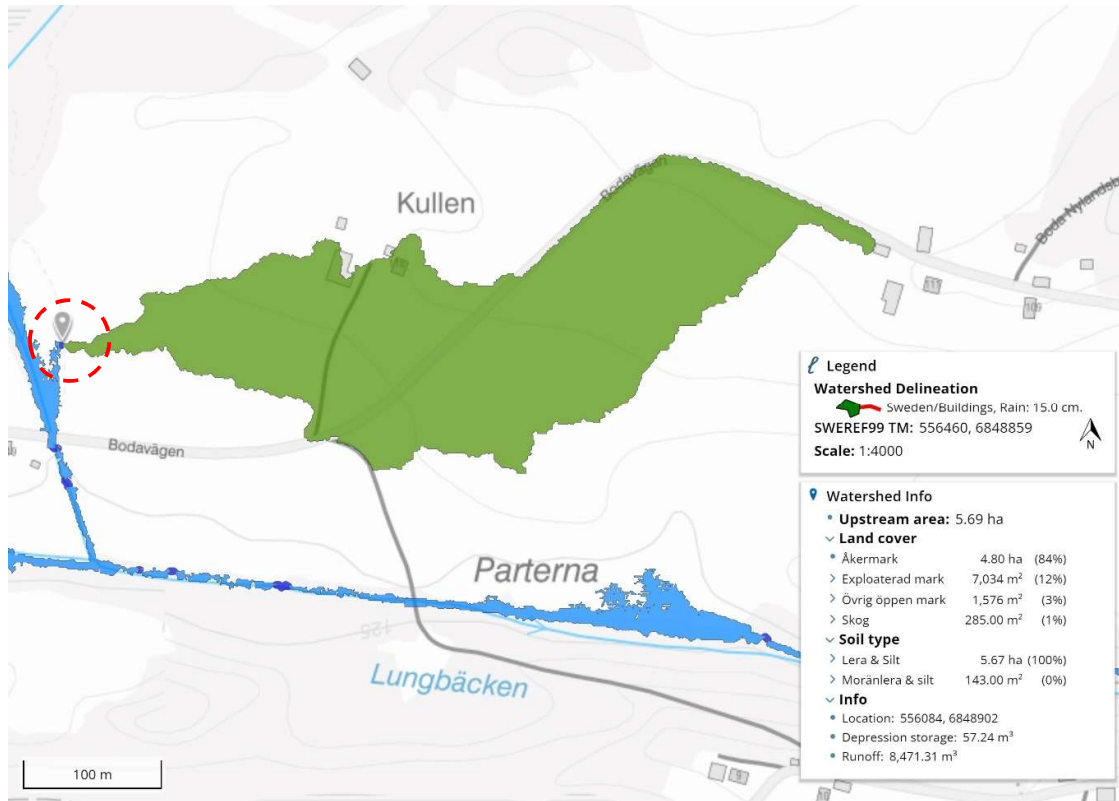
4.1.2.6.1.3 Fosfordamm 2

Avrinningsområdet uppgår till 5,68 ha och består av övervägande del åkermark (84 %). Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Lungbäcken. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 5 kg/år och retentionen till 2,42 kg/år.

Se figur 24 för avrinningsområdets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 150 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsområdets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 16 100 m³/år uppgå till 108 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 3,1 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 4 200 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 1 800 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 150 kr per år. Åtgärden tar en del åkermark i anspråk.



Figur 24. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Huvudsakliga rinnvägar syns som blå linjer i kartan. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

4.1.2.6.1.4 Fosfordamm 3

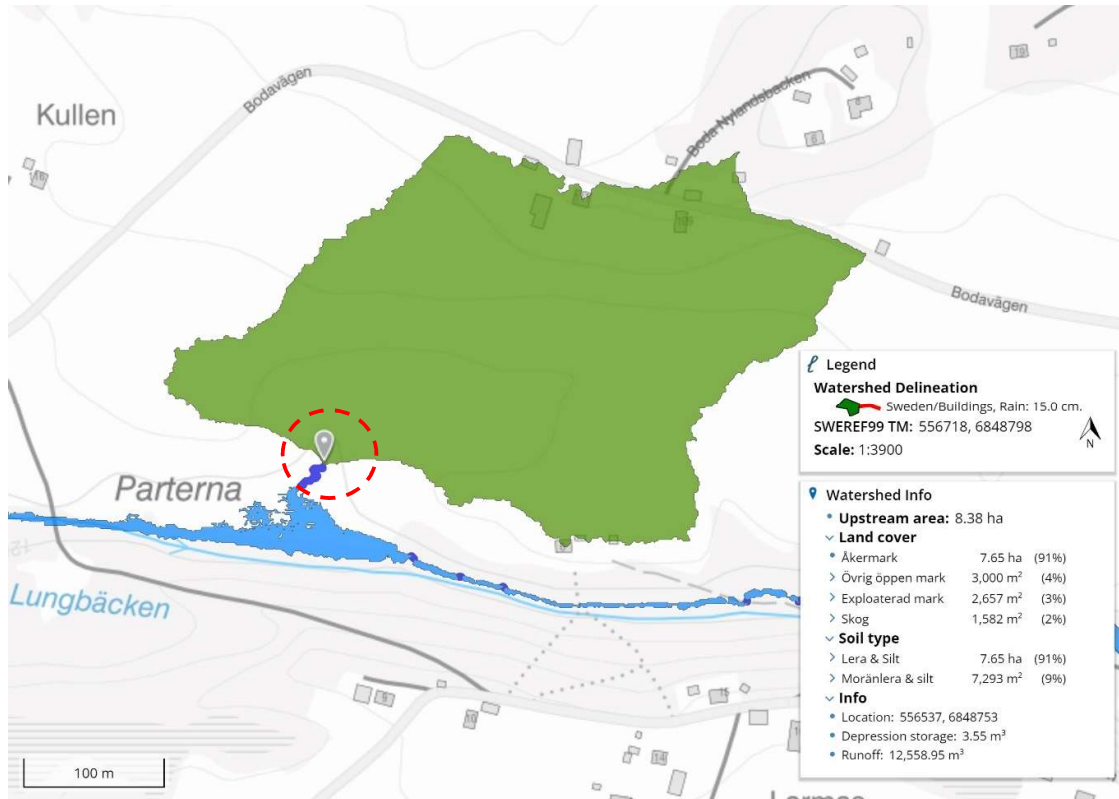
Avrinningsområdet uppgår till 8,44 ha och består av övervägande del åkermark (91 %).

Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Lungbäcken. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 8 kg/år och retentionen till 3,85 kg/år.

Se figur 25 för avrinningsområdets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 250 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsområdets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 24 000 m³/år uppgå till 96 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 3,4 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 6 400 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 1 700 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till 200 kr per år. Åtgärden tar en del åkermark i anspråk.



Figur 25. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Huvudsakliga rinnvägar syns som blå linjer i kartan. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

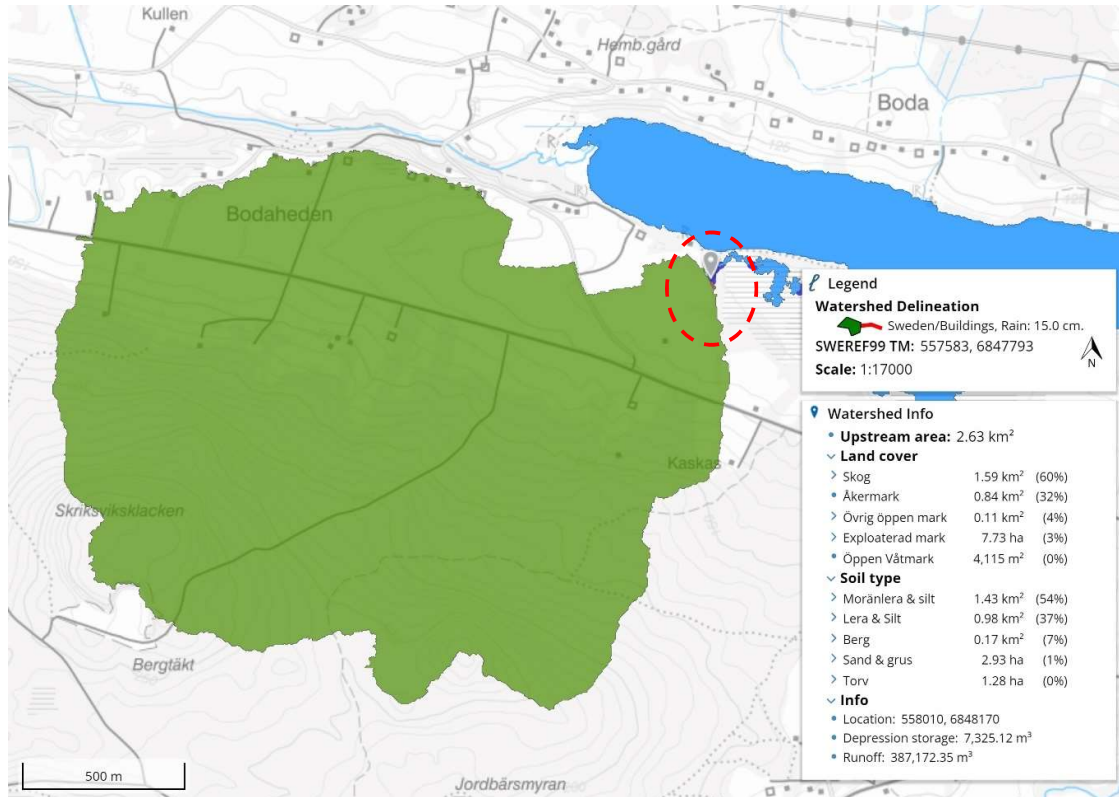
4.1.2.6.2 Bodasjöns närområde

Jordbruket i Bodasjöns närområde bedöms belasta sjön med ca 125 kg fosfor årligen. Området är mestadels kuperat med ett antal flackare partier vilket innebär att våtmarkernas föreslagna placering i mångt och mycket är styrd av dels var åkermarken finns, dels var det är möjligt att anlägga dem.

Totalt föreslås tre våtmarker och fyra fosfordammar. Våtmarkerna bedöms kunna fånga omkring 67 kg fosfor till en sammanlagd investeringskostnad på ca 366 000 kr och de fyra fosfordammarna bedöms kunna fånga omkring 18 kg fosfor till en sammanlagd investeringskostnad på 75 500 kr. Drift- och skötselkostnaden beräknas totalt uppgå till 14 800 kr årligen.

4.1.2.6.2.1 Våtmark Sundängesvägen

Området som avvattnas är relativt litet jämfört med både Lungbäcken och Skrikviksån, men andelen åkermark uppgår till 32 % och rinner ut i Bodasjön genom en befintlig, men delvis utdikad, större våtmark på 13 ha. Avrinningsområdet i sin helhet uppgår till 2,6 km². Den befintliga reningen genom nuvarande våtmark bedöms vara relativt god, men kan genom vissa modifieringar optimeras för rening av fosfor. Se figur 26 för avrinningsområdets utbredning markerad i grön färg samt den befintliga våtmarken markerad med röd streckad linje.



Figur 26. Förslag till placering av våtmark (streckad röd cirkel) samt det lokala tillrinningsområdet till våtmarken (grön yta). Kartbild genererad genom Scalgo Live.

Den befintliga våtmarken är stor (13 ha) i förhållande till uppströms liggande avrinningsområde och kan genom enklare optimeringsåtgärder nå en mycket god reningskapacitet. Bland annat kan vissa av de rätade diken pluggas igen för att öka uppehållstiden i våtmarken och så kan nya bäckfåror öppnas upp för att vattnet enklare ska flöda över en större yta. Dessa bör utformas på ett naturligt meandrande sätt för optimal vattenkvarhållande effekt. Vidare kan en avlång, fördjupad del av våtmarken med en inledande något djupare del i befintlig våtmarks västra del grävas ut för att fungera som fälla för partikelbunden fosfor. Ytan på den avlånga fördjupningen bör vara omkring 0,6 ha.

Våtmarken bedöms ta emot 591 396 m³ vatten per år i medeltal utifrån data från åren 2004 till 2020. En area på 0,6 ha (6 000 m²) ger en hydraulisk belastning på 99 m/år. Vidare beräknas uppehållstiden till omkring 2,3 dygn.

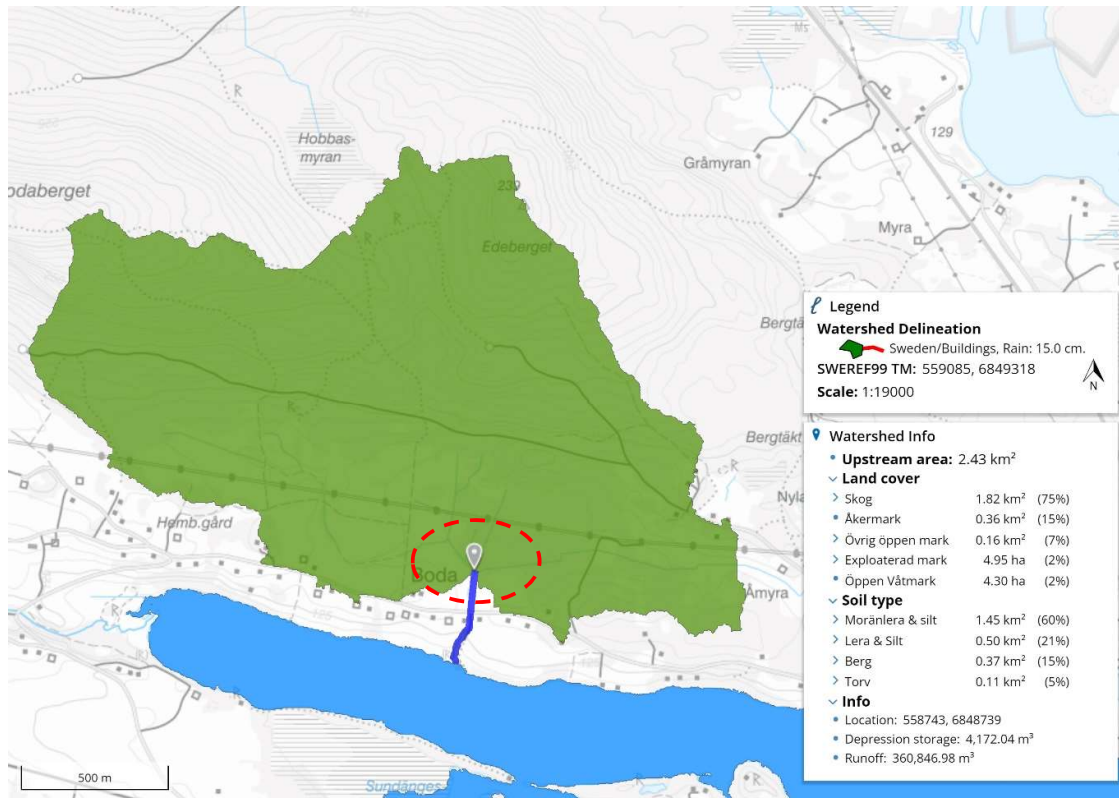
Belastningen som rinner till våtmarken bedöms uppgå till 72 kg/år. Retentionen i våtmarken beräknas uppgå till 31 kg/år om den optimeras för att rena fosfor. Redan som den är utformad idag bedöms våtmarken dock rena vissa mängder fosfor.

Investeringskostnaden för den föreslagna våtmarken bedöms uppgå till 159 000 kr beräknat med utgångspunkt från en storlek på 0,6 ha och schablonkostnad på 265 000 kr per ha. Detta motsvarar en teoretisk kostnadseffektivitet på ca 5 000 kr per kg fosfor. Driftskostnaden bedöms uppgå till 5 300 kr per år. Ingen produktiv åkermark bedöms påverkas.



4.1.2.6.2.2 Våtmark Boda

Bäcken som mynnar vid badplatsen på Bodasjöns norra strand avvattnar ett område som är 2,4 km² stort med 15 % jordbruksmark. Precis som för övriga delar av avrinningsområdet domineras markerna av moränlera och silt (59 %) och lera och silt (21 %). I avrinningsområdet finns en gammal utdikad våtmark som kan restaureras och därigenom bidra till att fånga fosfor och kväve som i dagsläget rinner till Bodasjön. Se figur 27 för avrinningsområdets utbredning markerad i grön färg samt den befintliga våtmarken markerad med röd streckad cirkel.



Figur 27. Förslag till placering av våtmark (streckad röd cirkel) samt det lokala tillrinningsområdet till våtmarken (grön yta). Kartbild genererad genom Scalgo Live.

Om våtmarken restaureras och optimeras för fosforretention bedöms den kunna fånga mer fosfor och kväve än i dagsläget. Bland annat kan vissa av de i dagsläget rätade dikena pluggas igen för att öka uppehållstiden i våtmarken rent generellt och nya bäckfåror kan öppnas upp för att vattnet enklare ska flöda över en större yta i resterande del. Dessa bör utformas på ett naturligt meandrande sätt för optimal vattenkvarhållande effekt. Vidare kan en avlång, bågformad och fördjupad del av våtmarken med en inledande ännu djupare delar i var ände grävas ut i våtmarkens södra ände för att fungera som fälla för partikelbunden fosfor. Ytan på den avlånga fördjupningen bör vara omkring 0,55 ha.

Våtmarken bedöms ta emot 546 423 m³ vatten per år i medeltal utifrån data från åren 2004 till 2020. En area på 0,55 ha (5 500 m²) ger en hydraulisk belastning på 99 m/år. Vidare beräknas uppehållstiden till omkring 2 dygn.

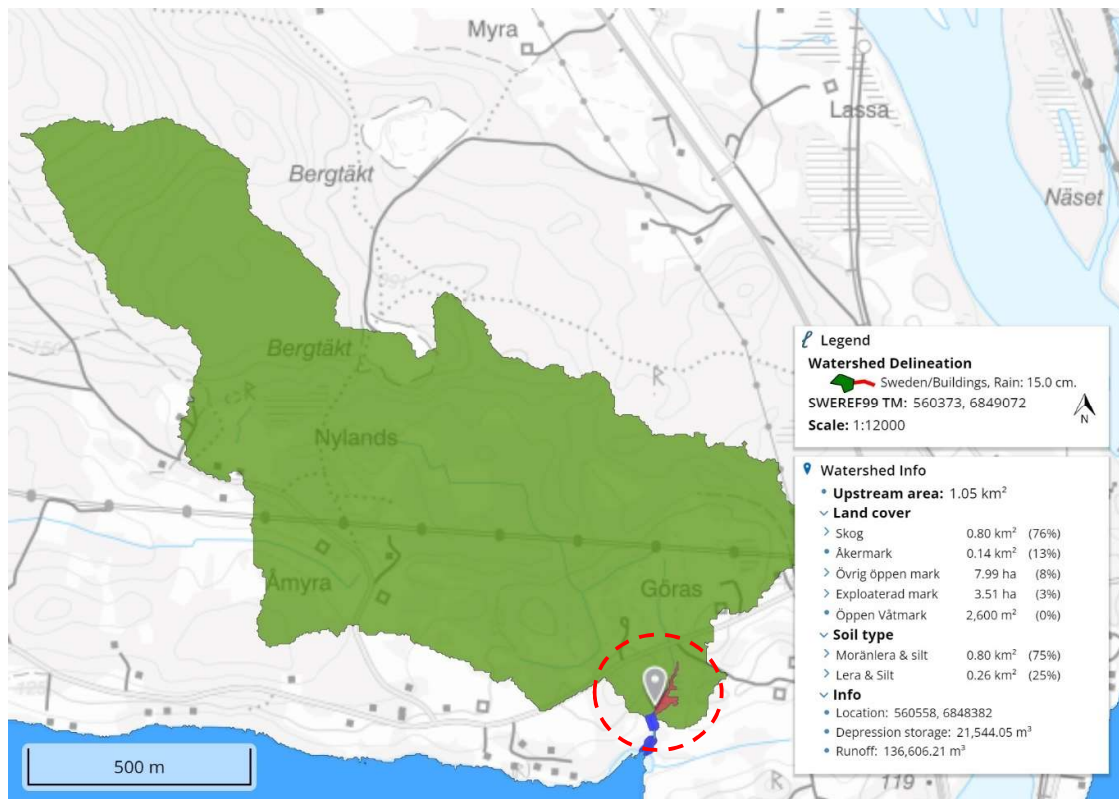
Belastningen som rinner till våtmarken bedöms uppgå till 56 kg/år. Retentionen i våtmarken beräknas uppgå till 25 kg/år om den optimeras för att rena fosfor.



Investeringskostnaden för den föreslagna våtmarken bedöms uppgå till 200 000 kr beräknat med utgångspunkt från en storlek på 0,55 ha och schablonkostnad på 265 000 kr per ha. Detta motsvarar en teoretisk kostnadseffektivitet på ca 4 400 kr per kg fosfor. Driftskostnaden beräknas bli 4 900 kr per år. Ingen produktiv åkermark bedöms påverkas.

4.1.2.6.2.3 Våtmark Bodavägen

Bäcken som rinner under Bodavägen och mynnar i en vik vid Bodasjöns norröstra strand avvattnar ett område som är 1,05 km² stort med 13 % jordbruksmark koncentrerad till de nedre delarna. Avrinningsområdet domineras markerna av moränlera och silt (75 %) och lera och silt (25 %). I avrinningsområdet finns en mindre våtmark som kan optimeras för fosforreduktion. Se figur 28 för avrinningsområdets utbredning markerad i grön färg samt den befintliga våtmarken markerad med röd streckad cirkel.



Figur 28. Förslag till placering av våtmark (streckad röd cirkel) samt det lokala tillrinningsområdet till våtmarken (grön yta). Kartbild genererad genom Scalgo Live.

Förslagen areal uppgår till ca 2300 m², vilket motsvarar 0,22 % av avrinningsområdets totala storlek, dvs ligger det spann på 0,1-0,5 % som generellt brukar användas som utgångspunkt.

Våtmarken bedöms ta emot ca 175 000 m³ vatten per år i medeltal utifrån data från åren 2004 till 2020. En area på 0,23 ha (2 300 m²) ger en hydraulisk belastning på 103 m/år. Vidare beräknas uppehållstiden till omkring 1,7 dygn.



Belastningen bedöms uppgå till 24 kg/år. Retentionen i våtmarken beräknas uppgå till 11 kg/år om den optimeras för att rena fosfor.

Investeringskostnaden för den föreslagna våtmarken bedöms uppgå till 61 000 kr beräknat med utgångspunkt från en storlek på 0,23 ha och schablonkostnad på 265 000 kr per ha. Detta motsvarar en teoretisk kostnadseffektivitet på 5 600 kr per kg fosfor. Driftskostnaden beräknas bli 2 000 kr per år. Ingen produktiv åkermark bedöms påverkas.

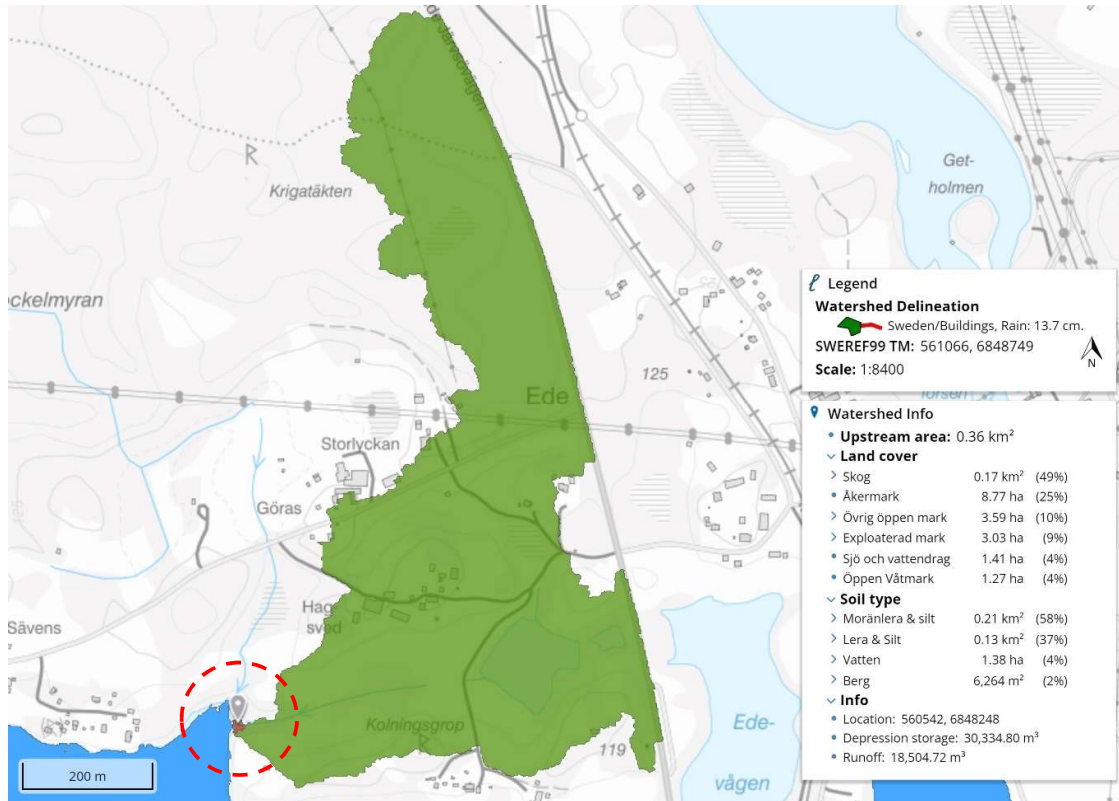
4.1.2.6.2.4 Fosfordamm 4

Avrinningsområdet uppgår till 0,36 km² och består till 25 % av åkermark. Huvuddelen av åkermarken är belägen i de nedre delarna av området. Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Bodasjön. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 9 kg/år och retentionen till 4 kg/år. Siffrorna kan i realiteten vara högre då en av gårdarna i delavrinningsområdet håller djur i ett område med kraftig lutning mot bäcken.

Se figur 29 för avrinningsområdets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 800 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsområdets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 81 000 m³/år uppgå till 101 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 3 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis kan vara täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 21 000 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 5 000 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 700 kr per år. Ingen produktiv jordbruksmark bedöms påverkas.



Figur 29. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

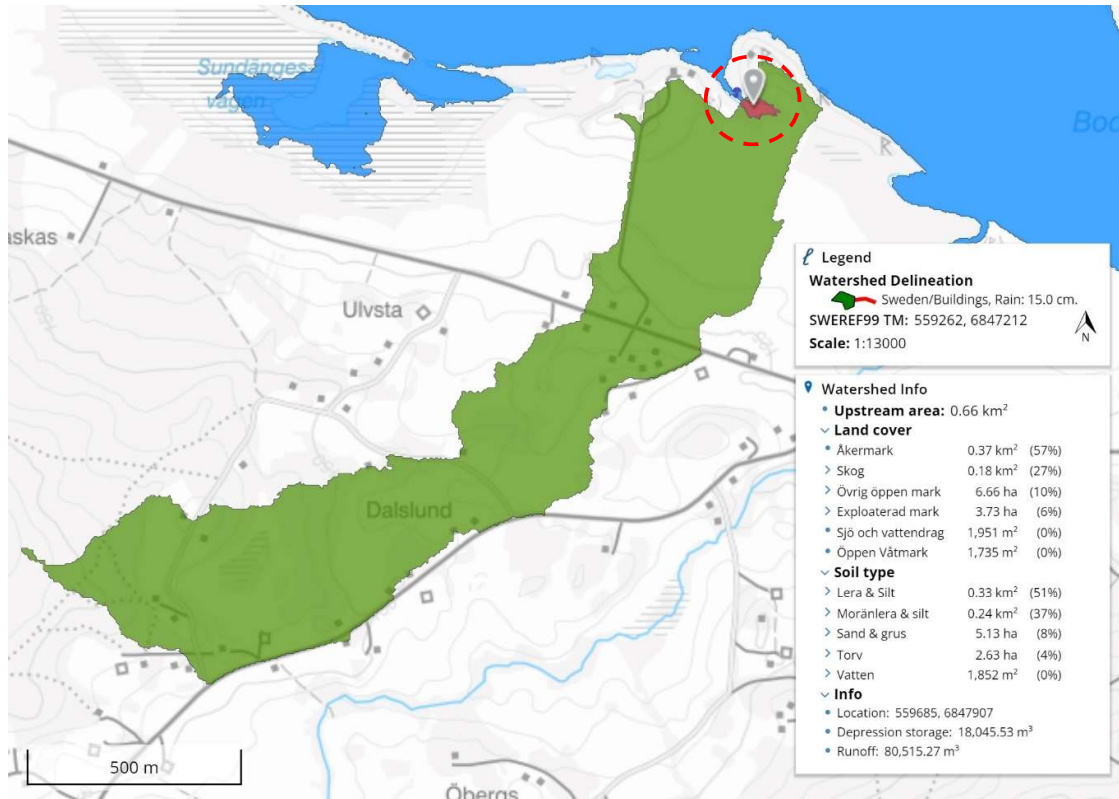
4.1.2.6.2.5 Fosfordamm 5

Avrinningsområdet uppgår till 50 ha och består av övervägande del åkermark (61 %). Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Bodasjön. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 17 kg/år och retentionen till 7,7 kg/år.

Se figur 30 för avrinningsrådets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 1100 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsrådets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 110 000 m³/år uppgå till 102 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 3,2 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsrådets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 29 000 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 3 800 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 1 000 kr per år. Ingen produktiv jordbruksmark bedöms påverkas.



Figur 30. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

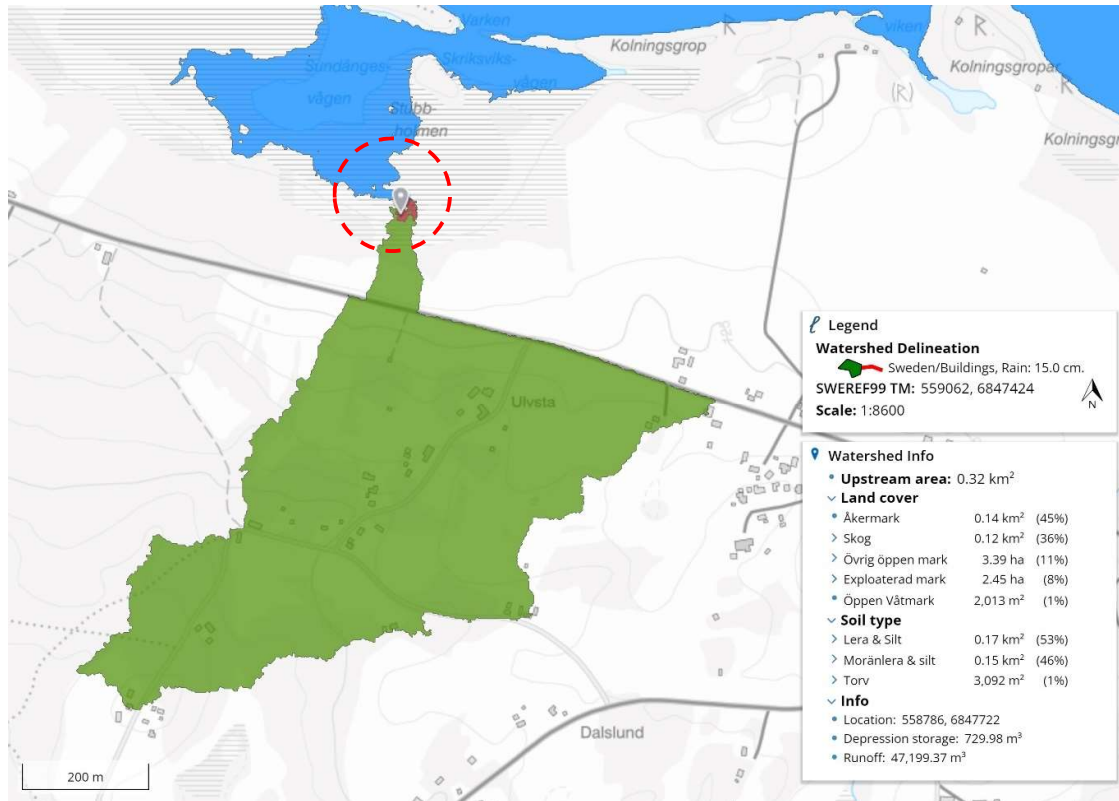
4.1.2.6.2.6 Fosfordamm 6

Avrinningsområdet uppgår till 32 ha och består av övervägande del åkermark (61 %). Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Bodasjön. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 10 kg/år och retentionen till 4,3 kg/år.

Se figur 31 för avrinningsområdets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 700 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsområdets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 72 000 m³/år uppgå till 103 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 4,3 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 18 600 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 4 300 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 600 kr per år. Ingen produktiv jordbruksmark bedöms påverkas.



Figur 31. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

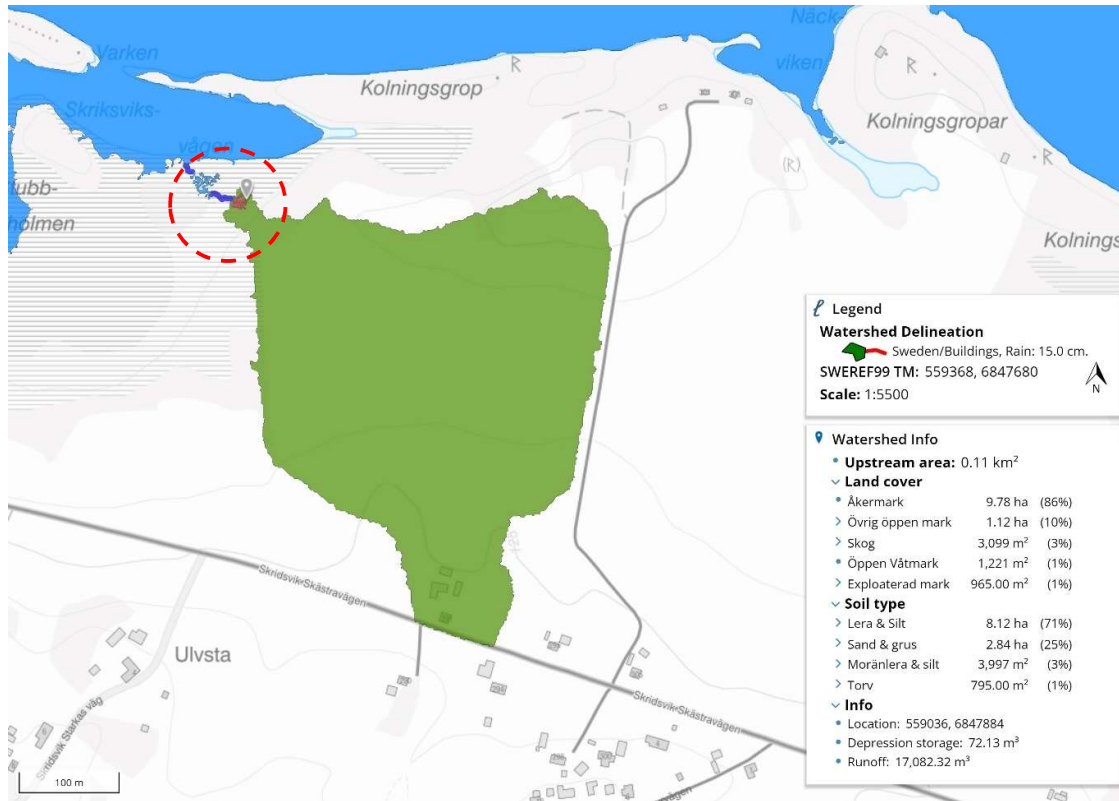
4.1.2.6.2.7 Fosfordamm 7

Avrinningsområdet uppgår till 11 ha och består av övervägande del åkermark (87 %). Fosfordammen bedöms kunna anläggas strax innan inflödet till Bodasjön. Fosforbelastningen till dammen beräknas till 4 kg/år och retentionen till 2 kg/år.

Se figur 32 för avrinningsområdets utbredning i grönt samt föreslagen placering av damm med röd streckad cirkel. Storlek och placering av fosfordammen behöver utredas i detalj, men som utgångspunkt bör den vara omkring 250 m² för att ligga inom optimalt storleksintervall (0,1-0,5%) för bästa fosforretention i förhållande till det lokala avrinningsområdets storlek. Den hydrauliska belastningen beräknas utifrån antaget vattenflöde om 25 000 m³/år uppgå till 99 m/år. Omsättningstiden i dammen uppskattas till 3,3 dagar under medelvattenflöde.

Avrinningsområdets reella utbredning och de faktiska rinnvägarna behöver utredas i detalj innan projektering då området delvis är täckdikat.

Anläggningskostnaden uppgår till ca 6 600 kr och kostnadseffektiviteten bedöms vara ca 3 300 kr/kg P. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 200 kr per år. Ingen produktiv jordbruksmark bedöms påverkas.



Figur 32. Föreslagen fosfordamm markerad med röd cirkel. Det lokala avrinningsområdet markerad med grönt. Kartbilden är genererad med verktyget Scalgo Live.

4.1.2.6.3 Skrikviksån

Skrikviksåns avrinningsområde utgör det största tillflödet till Bodasjön, men innehåller fler och större sjöar än exempelvis Lungbäcken. Retentionen uppströms Skålbosjön bedöms vara relativt god, men läckaget från jordbruksmarken är märkbar. Detta påvisas exempelvis genom den synoptiska provtagningen där halterna ökar mellan 1,5 och 3 gånger från Igeltjärens utlopp till Skålbosjöns utlopp.

Sett till helheten är andelen jordbruksmark i hela åns avrinningsområde liten, men är koncentrerade till delarna kring Skålbosjön och nedströms denna. Åtgärder bör därför fokuseras i detta område. I samband med fältundersökningar samt studier av kartmaterial har förbundet bedömt att det saknas lämpliga platser för etablering av några tillräckligt stora nya våtmarker i Skrikviksåns avrinningsområde.

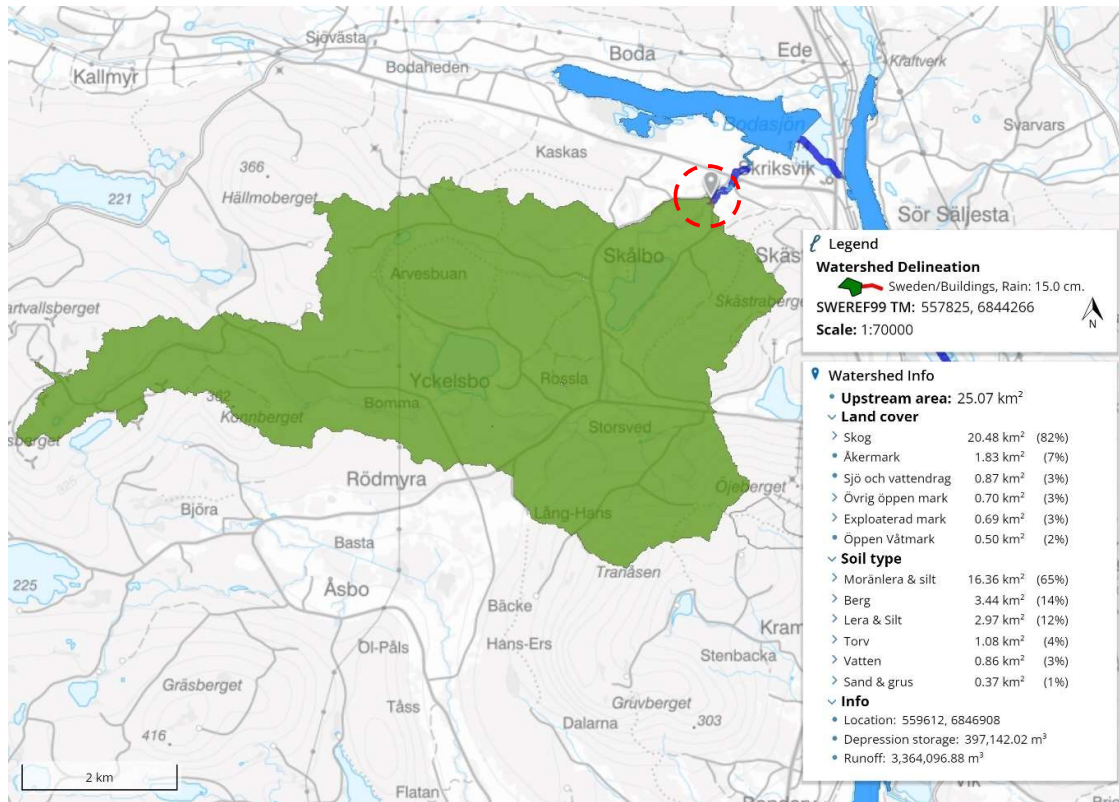
Det finns dock en befintlig våtmark på ca 1,9 ha ca 1 kilometer nedströms utloppet från Skålbosjön (se figur 31). Denna bedöms kunna optimeras för rening av fosfor i storleksordningen 18 kg per år för en kostnad på ungefär 500 000 kr.

4.1.2.6.3.1 Våtmark Skrikviksån

Området mellan nuvarande våtmark och mynningen vid Bodasjön bedöms inte vara tillräckligt flackt och ån skär ner 2-3 meter i förhållande till omkringliggande jordbruksmarker. Eventuella schaktningsarbeten bedöms bli allt för omfattande i förhållande till nyttan av en våtmark längst ned i avrinningsområdet. Istället föreslås en optimering av befintlig våtmark genom att inflödet grävs ut i



en initial djupare del och att nuvarande huvudfåra (se figur 33) bryts upp i flera mindre fåror för att förlänga uppehållstiden i dammen och i övrigt optimera den för att fånga fosfor.



Figur 33. Förslag till placering av våtmark (streckad röd cirkel) i Skrikviksån samt det lokala tillrinningsområdet till våtmarken (grön yta). Kartbild genererad genom Scalgo Live.

Den nuvarande våtmarken utgör 0,08 % av uppströms liggande avrinningsområde, vilket innebär att den är i minsta laget sett till de generella storleksriktlinjerna. Våtmarken bedöms ta emot 7 461 047 m³ vatten per år i medeltal utifrån data från åren 2004 till 2020. En area på 1,9 ha (19 000 m²) ger en hydraulisk belastning på 393 m/år. Vidare beräknas uppehållstiden till omkring 0,49 dygn.

Sammantaget bedöms våtmarken vara för liten i förhållande till avrinningsområdet och flödena i sin helhet, men då den ligger stax nedströms Skålbosjön, som i sig fungerar som en fosforfälla, kan den trots sin ringa storlek bidra till att rena vatten från främst närområdet. Dessa förhållanden bör beaktas särskilt vid utformningen.

Belastningen som rinner till våtmarken bedöms uppgå till 257 kg/år. Retentionen i våtmarken beräknas uppgå till 98 kg/år om den optimeras för att rena fosfor, men utifrån ovanstående resonemang bedöms storleken på retentionen vara överskattad varför en osäkerhetsfaktor på 50 % bör appliceras. Den förmodade retentionen bedöms därför kunna bli ca 49 kg/år.

Investeringskostnaden för den föreslagna våtmarken bedöms uppgå till 503 500 kr beräknat med utgångspunkt från en storlek på 1,9 ha och schablonkostnad på 265 000 kr per ha. Detta motsvarar en teoretisk kostnadseffektivitet på ca 10 300 kr per kg fosfor. Driftskostnaden bedöms uppgå till ca 17 000 kr per år. Ingen produktiv jordbruksmark bedöms påverkas.



4.2 Fysiska förändringar, fiske och vandringshinder

Åtgärdsförslagen för att förbättra de fysiska förutsättningarna i Bodasjöns avrinningsområde fokuseras till dämnet som reglerar Bodasjöns nivå i förhållande till Ljusnan. I övrigt föreslås ett antal åtgärder som reglerar fisket ytterligare. Inga kostnader har beräknats för åtgärderna då dämnet regleras av vattendom i dagsläget och en utredning kräver en mer noggrann analys än vad som rymms inom ramen för detta projekt. Åtgärderna för att minska problemen med övergödning förväntas ge positiva synergieffekter även på fiskfaunan.

4.2.1 Fysiska förändringar och vandringshinder

Överfallsdammen vid Bodasjöns utlopp hindrar fisk från att vandra mellan sjön och Ljusnan. Dammen ingår i den vattendom från 1963 som gäller för Ljusnan, har en krönhöjd på 113,4 cm. Vattennivån i Ljusnan är generellt sett lägre än i Bodasjön, men vid vissa tillfällen flödar Ljusnan in i Bodasjön.

Åtgärder kopplade till dämnet har inte analyserats i detalj inom ramen för detta uppdrag då dämnet regleras av befintlig vattendom för Ljusnan. Vattenvårdsförbundet föreslår att en utredning genomförs om huruvida det är möjligt att i första hand riva dämnet för att tillåta ett kontinuerligt vattenutbyte med Ljusnan samt möjliggöra fiskvandring. I utredningen bör även alternativa åtgärder, som exempelvis ett omlöp, ingå.

I övrigt syns spår av tidigare flottledsrensningar i både Lungbäcken och Skrikviksån. Dessa bör inventeras och på sikt åtgärdas efter att vandringshindret vid mynningen åtgärdats för att främja den biologiska mångfalden.

4.2.2 Fiske

Då det saknas provfiskedata från sjön och därmed information om fiskfaunans sammansättning, fördelning, åldersstruktur och konditionsfaktor har det varit svårt att ge specifika förslag till åtgärder gällande fisk och fiske i sjön.

Några generella riktlinjer kan trots det ges och förbundet föreslår att ett fönsteruttag istället för minimimått för gös utreds och att nuvarande fredningstid mellan 1/6–30/6 förlängs att omfatta även 1/5–31/5. Nu gällande nätförbud är positivt och bör kvarstå. Vidare föreslås ytterligare utredningar i form av provfisker som en del av åtgärdsarbetet för fisk i Bodasjön. Utredningarna bör föregå införandet av minimimått och utökad fredningstid och även fortsätta efter för att följa upp effekterna av åtgärderna.

5 Sammanfattning och prioritering av åtgärdsförslagen

De åtgärder som lyfts fram inom ramen för denna rapport syftar till att förbättra miljöförhållandena i Bodasjön så att god ekologisk status kan uppnås. Åtgärderna fokuserar dels på att minska belastningen av näringsämnen så att övergödningssymptomen mildras och dels på att förbättra möjligheterna för fisk att vandra mellan Ljusnan och Bodasjön. Vidare föreslås ytterligare utredningar vad gäller fiskfaunan och två åtgärder för att minska negativ påverkan från handredskapsfisket efter gös.

Åtgärderna riktade mot dämnet bedöms vara högt prioriterade och bör utredas vidare i separat projekt.



Åtgärderna som riktar sig mot fisket bedöms kunna vara relativt lätta att genomföra inom ramen för Järvsö Fiskevårdsförenings bemyndigande. Det vore fördelaktigt om åtgärden kan genomföras i samband med utredningar av fiskfaunan, men kan även genomföras fristående.

Vad gäller övergödning har beräkningarna visat att huvuddelen av belastningen kommer från avrinningsområdet och att internbelastningen i sammanhanget är försumbart liten. Sammantaget behöver belastningen minska med ca 310 kg fosfor per år om Bodasjön ska uppnå god status.

De åtgärder som föreslås utgörs av en kombination av våtmarker, dammar, strukturkalkning, tvåstegdiken, skydds zoner, kalkfilterdiken och rådgivning.

Effekt och kostnad har kunnat beräknas för våtmarker, dammar, strukturkalkning och tvåstegsdike. Den sammanlagda effekten av dessa åtgärder beräknas uppgå till ca 310 kg, vilket motsvarar åtgärdsbehovet.

Den inbördes prioriteringsordningen av åtgärderna bestäms dels av deras totala effekt i förhållande till åtgärdsbehovet som helhet och deras kostnadseffektivitet, dvs kostnad per kg reducerat fosfor. Vidare har den praktiska genomförbarheten, eventuella synergieffekter och möjligheten till finansiering vägts in. Åtgärderna mot övergödning presenteras i prioritetsordning med motivering i tabell 7 nedan.

Tabell 7. Sammanfattning och prioritering av åtgärdsförslag för att minska belastningen från åkermark.

Åtgärd	Prioritet	Effekt (kgP)	Kostnad (kr)	Kostnadseffektivitet (kr/kgP)	Motivering
Rådgivning	1	-	-	-	Rådgivning genom Greppa näringen bör genomföras i hela avrinningsområdet för att nå hotspots på enskilda gårdar och förbereda för vidare åtgärdsarbete.
Våtmark Lungbäcken	1	137	1 205 000	8 800	Stor och potentiellt effektivt våtmark som även kan bidra till ökad biologisk mångfald.
Våtmark Sundängesvägen	1	31	159 000	5 000	Intressant objekt för optimering av befintlig våtmark. Potentiellt stor effekt.
Våtmark Boda	1	25	145 800	5 900	Intressant objekt för optimering av befintlig våtmark. Potentiellt stor effekt.
Våtmark Skrikviksån	1	49	503 500	10 300	Intressant objekt för optimering av befintlig våtmark. Potentiellt stor effekt.
Fosfordamm 1	1	2,3	4 000	1 700	Fosfordammarna har trots sin ringa storlek och enskilt låg effekt en samlat god kostnadseffektivitet och bör prioriteras högt.
Fosfordamm 2	1	2,4	4 200	1 800	Se fosfordamm 1.
Fosfordamm 3	1	3,9	6 400	1 700	Se fosfordamm 1.
Fosfordamm 4	1	4,2	21 200	5 000	Se fosfordamm 1.



Fosfordamm 5	1	7,7	29 200	3 800	Se fosfordamm 1.
Fosfordamm 6	1	4,4	18 600	4 300	Se fosfordamm 1.
Fosfordamm 7	1	2	6 600	3 300	Se fosfordamm 1.
Våtmark Bodavägen	1	11	61 000	5 600	Optimering av mindre våtmark. Något lägre prioritet i förhållande till övriga våtmarker.
Skyddszoner	2	-	-	-	Effekt på näringsämnesreduktion osäker och behöver utredas vidare. Kan bidra till ökad biologisk mångfald.
Strukturkalkning	3	27	625 000	23 200	Generellt sett effektiv åtgärd som även bidrar till ökad produktion, men får en lägre prioritet än våtmarker och dammar på grund av svårigheter med att få tag på kalk i dagsläget. Kostnaden kan därför också vara underskattade.
Kalkfilterdike	3	-	-	-	Genomförs i samband med om- eller nydikning och behöver i samband med det projekteras i detalj. Priset på kalk kan fördyra åtgärden i dagsläget.
Tvåstegsdike	4	3	220 000	73 300	Dyrast i förhållande till effekt. I samma åro föreslås strukturkalkning, vilket bör prioriteras högre.

6 Behov av ytterligare utredningar

Förutom de kunskaper och slutsatser som presenteras i projektet finns det en del frågor och oklarheter som behöver belysas ytterligare i syfte att utöka kunskaperna vad gäller åtgärdsbehov och genomförande. Dessa frågor diskuteras nedan och i de fall det har varit möjligt har lämpliga förslag på utredningar lämnats.

För att erhålla en mer korrekt bild av flödesdynamiken i avrinningsområdet bör kontinuerliga mätningar av flödet i Bodasjöns huvudsakliga tillflöden samt sjöutlopp under minst ett hydrologiskt år. Vidare bör man överväga att i samband med detta genomföra flödesproportionell provtagning av näringsämnen med fokus på totalfosfor. Syftet med denna undersökning är dels erhålla ett bättre underlag för beräkning av massbalans i Bodasjön som helhet och dels för att ge ett underlag inför kommande projektering av våtmarker och fosfordammar.

I syfte att bedöma vilka åtgärder som är lämpligast beträffande dämnet vid Bodasjöns utlopp föreslås att en särskild utredning avseende detta genomförs. I utredningen bör både utrivning och alternativa åtgärder som exempelvis omlöp ingå.



Det saknas i dagsläget data från standardiserade provfisken i Bodasjön och för att kunna följa effekterna av åtgärder som förbättrar syrgasförhållandena och därmed förutsättningarna för fisk i sjön kan det vara lämpligt att med några års mellanrum genomföra provfisken för att se hur fiskfaunan ser ut och hur den förändras över tid. Konventionella provfisken med översiktsnät skulle kunna kompletteras med yngelkarteringar medelst sprängfiske för att utreda hur förutsättningarna för lek och uppväxt av fiskyngel ser ut. Syftet med dessa utredningar är att ge underlag även för förslagen rörande fönsteruttag av gös samt förlängd fredningstid under våren.

7 Referenser

Aronsson H., Berglund K., Djodjic F., Etana A., Geranmayeh A., Johanson P., Johnsson H., Wesström I., 2019. *Effekter av åtgärder mot fosforförluster från jordbruksmark och åtgärdsutrymme*.

Ekohydrologi 160 Uppsala 2019.

Ejhed, H., Tengdelius Brunell, J., Widén Nilsson, E., Hytteborn, J., Johnsson H. och Blombäck K. (2018). *PM metodbeskrivning av omräkning av PLC6-belastning på ny vattenförekomstindelning 2016 - Version PLC6.5*.

Eriksson, A. (2020). *Kartläggning och bedömning av Bodasjöns näringsstatus och övergödningssproblematik*. Examensarbete. Högskolan Kristianstad.

Erlandsson Lampa, M., Petersson J.F, Engene, N. (2018). *Metod för beräkning av åtgärdsbehovet för övergödning*.

Havs- och vattenmyndigheten (2018). *Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:39. Växtplankton i sjöar. Vägledning för statusklassificering*.

Havs- och vattenmyndigheten (2020 a). *Bedömningsgrunder för ytvattenförekomster. Näringsämnen i sjöar*.

Havs- och vattenmyndigheten (2020 b). *Åtgärder mot internbelastning. Insjöar och kustvatten*. Remissversion.

Hårding, I. och Lindborg, J. (2021). *Undersökning av växtplankton i 6 sjöar i Ljusnans avrinningsområde 2021*. Medins rapport.

Johannesson, K. och Kynkäänniemi, P. (2012) *Fånga fosfor – Dammar, filter och tvåstegsdiken*. Hushållningssällskapet rapport.

Lagerkvist, N. 2004. *Kvalitetskriterier för våtmarker i odlingslandskapet – kriterier för rening av växtnäring med beaktande av biologisk mångfald och kulturmiljö*. Jordbruksverket Rapport 2004:2

Larsson, T. och Heeb A. (2016). *Från idé till fungerande tvåstegsdike - en vägledning*. Jordbruksverket jordbruksinformation 16:15

Länsstyrelsen (2022). Övergödningsskartan. <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=85131fe1a5c0443ca0b26e3f0a904c67>

Naturvårdsverket (1999). *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag*. Naturvårdsverkets rapport 4913.

OECD (1982). *Eutrophication of waters – monitoring, assessment and control*, Paris: OECD 154 s.



Petersson J.F, Erlandsson Lampa, M., Smith D., Engene, N. (2018). *Metod för påverkanstypen Diffusa källor – Jordbruk – Övergödning.*

SCALGO Live (2022) <https://scalgo.com/en-US/live-flood-risk>

SGU (2022). Digital åkermarkskarta. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/planering-och-markanvandning/markanvandning/jordbruk-skog-och-fiske/lerhaltskartan-digital-akermarkskarta/>

SMHI (2022). Vattenwebb. <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb>

SMED (2022). <http://www.smed.se/vatten>

Vollenweider, R.A. (1968). *The scientific basis of lake eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors*, Tech. Rep. DAS/DSI/68.27, OECD, Paris, 159 s.

Vollenweider, R.A. (1975). *Input–output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology*. Schweiz Zeitsch Hydrol. 37, 53–84.