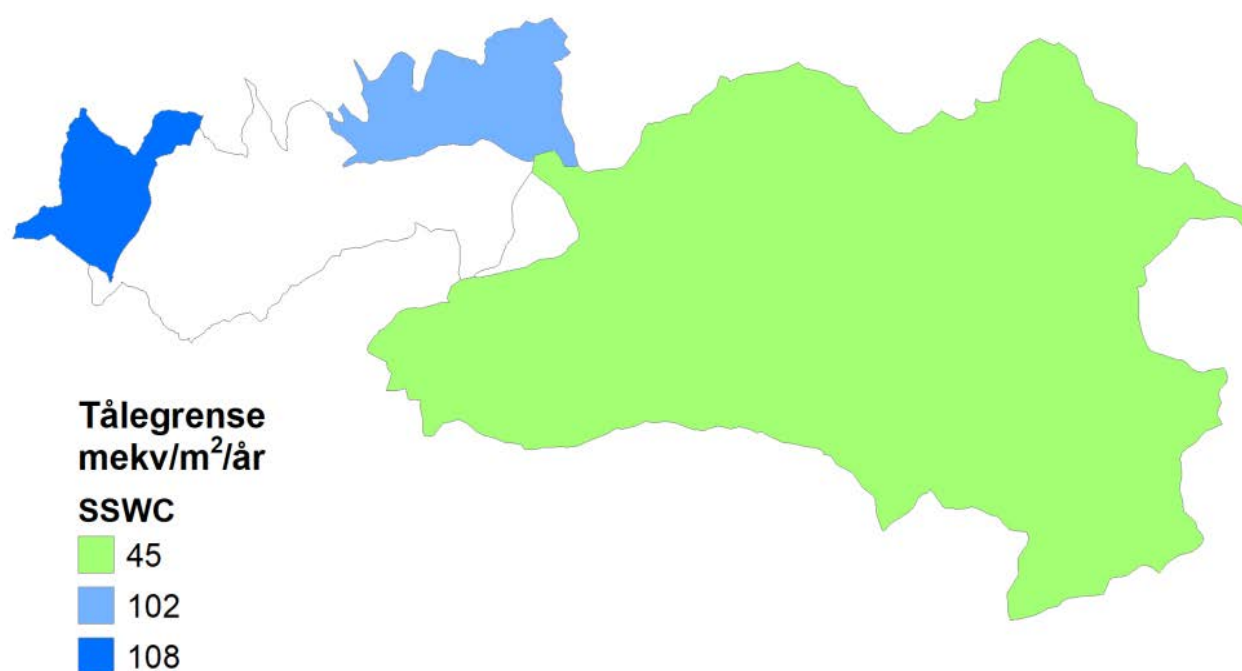


7910-2023

Tålegrenser for forsuring og overskridelser for Høyangervassdraget i Vestland fylke



RAPPORT

Hovedkontor

Økernveien 94
0579 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Tålegrenser for forsurening og overskridelser for Høyangervassdraget i Vestland fylke	Løpenummer 7910-2023	Dato 21.11.2023
Forfatter(e) Cathrine Brecke Gundersen, Kari Austnes, James E. Sample, Espen Lund	Fagområde Kalking og forsurening	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestland	Sider 22+vedlegg

Oppdragsgiver(e) Statsforvalteren i Vestland	Kontaktperson hos oppdragsgiver Kjell Hegna
Oppdragsgivers utgivelse:	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 220263

<p>Sammendrag</p> <p>Det har blitt beregnet tålegrenser for forsurening og overskridelse av disse for Høyangervassdraget og separat for delnedbørfeltene Håland, Gautingsdal og Eiriksdal. Overskridelser er beregnet for dagens (årene 2017-2021) og framtidige (år 2030 og 2050) avsetninger av svovel og nitrogen. Både SSWC- og FAB-modellene ble benyttet. Resultatene viser ingen overskridelse i nedbørfeltene for alle tidsperiodene. På grunn av forsinkelser i systemene kan det være forsurening selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelse, vil forsureningen gradvis avta, og de sure episodene vil bli mindre hyppigere og alvorlige.</p>

Fire emneord	Four keywords
<ol style="list-style-type: none"> Tålegrenser Overskridelser Sur nedbør Elver 	<ol style="list-style-type: none"> Critical loads Exceedances Acid dposition Rivers

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

Cathrine Brecke Gundersen
Prosjektleder/Hovedforfatter

Øyvind Kaste
Kvalitetssikrer

Hans Fredrik V. Braaten
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7646-6
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

**Tålegrenser for forsuring og overskridelser for
Høyangervassdraget i Vestland fylke**

Forord

Høyangervassdraget har vært kraftig forsøringsbelastet, og som et ledd i å vurdere behov for videre kalking har NIVA på vegne av Statsforvalteren i Vestland utarbeidet tålegrenser for forsuring og beregnet overskridelser for ulike delnedbørfelt innenfor vassdraget.

Statsforvalteren v/Kjell Hegna har bistått med å vurdere inndeling av vassdraget i delnedbørfelt, formidlet nyere overvåkningsdata, samt bidratt med litteratur og kalkingshistorikk. James E. Sample har utført beregninger, Espen Lund har utarbeidet kart, Kari Austnes har stått for valg av metodikk og innhenting av data og Cathrine Brecke Gundersen har vært prosjektleder og hatt hovedansvaret for skiving av rapporten. Kvalitetssikring ble utført av Øyvind Kaste.

Oslo, 14.11.2023

Cathrine Brecke Gundersen

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	6
1 Introduksjon	7
2 Metode	10
2.1 Beskrivelse av vassdragene.....	10
2.1.1 Høyangervassdraget.....	10
2.1.2 Hålandsvassdraget.....	10
2.1.3 Gautingsdalsvassdraget.....	10
2.1.4 Eiriksdalsvassdraget.....	11
2.2 Tålegrenser for forsuring av overflatevann	11
2.2.1 Tålegrensemodeller.....	11
2.3 Vannkjemiske data og korrigeringer til tålegrenseberegningene	12
2.3.1 Valg av vannkjemiske data	12
2.3.2 Vannkjemi.....	13
2.3.3 Korrigering for kalking	14
2.4 Øvrige data til tålegrenseberegningene	15
2.5 Avsetning av langtransporterte luftforurensninger.....	15
2.6 Beregning av overskridelser.....	15
3 Resultater og diskusjon	16
3.1 Tålegrenser	16
3.2 Avsetningsdata.....	17
3.3 Overskridelse	18
3.4 Usikkerheter.....	18
4 Konklusjon	20
5 Referanser	21
A.1 Inndeling av nedbørfelt og frekvensen av vannkjemiske data	23
A.2 Data benyttet i tålegrenseberegningene.....	24

Sammendrag

Tålegrenser for forsurening av overflatevann og eventuelle overskridelser av disse er beregnet for Høyangervassdraget og de tre delnedbørfeltene Håland, Gautingsdal og Eiriksdal. Det har tidligere vært forsureningsproblemer i vassdraget som har ført til episoder med fiskedød. Sporadisk kalking har vært gjennomført, og den siste rapporterte kalkingen ble utført i 2012. Det har nylig blitt utarbeidet en ny kalkingsplan for vassdraget. Vassdraget er sterkt regulert til kraftproduksjon.

Tålegrenser for forsurening indikerer hvor mye forsurende svovel- og nitrogenavsetning systemet kan tåle uten å påføres skade. Tålegrensene vil variere fra sted til sted avhengig av de naturlige forholdene. Når avsetningen er større enn tålegrensen får man overskridelse som indikerer at vassdraget har et forsureningsproblem.

Tålegrenser ble beregnet med de to modellene SSWC (The steady-state water chemistry model) og FAB (The first-order acidity balance model), som på ulikt vis hensyntar de prosessene som er involvert. FAB-modellen representerer et verste falls scenario. Tålegrensen beregnes basert på den naturlige bufferproduksjonen i nedbørfeltet. For å sikre at utvalgt biota ikke skal påføres skade, trekkes det fra en sikkerhetsmargin/grenseverdi. Denne kalles ANC_{limit} og er primært satt for sikre en reproduserende ørretbestand.

Vannkjemiske data som ble benyttet er basert på tilnærmet månedlig overvåkning over en periode på to år. Øvrige data ble hentet fra kartlag publisert av Norges vassdrags- og energidirektorat, nasjonale og internasjonale avsetningsberegninger og fra de nasjonale tålegrenseberegningene. Overskridelser ble beregnet for dagens (årene 2017-2021) og fremtidig (år 2030 og 2050) avsetning av svovel og nitrogen.

Det ble ikke funnet noen overskridelse av tålegrensene, hverken for Høyangervassdraget som helhet eller for noen av de tre delnedbørfeltene. Det var tilfelle både med dagens avsetning og fremtidige avsetningsscenarier. SSWC-modellen gir informasjon om hvor langt nedbørfeltene er fra overskridelse. Eiriksdalsvassdraget hadde den korteste avstanden til overskridelse, etterfulgt av Høyanger som helhet, Gautingsdalsvassdraget og Hålandsvassdraget. Dette gjenspeiler hovedsakelig variasjonen i beregnede tålegrenser. Avsetningsdata viste liten variasjon mellom delnedbørfeltene.

Det er viktig å merke seg at på grunn av forsinkelser i systemene kan vassdraget fremdeles vise tegn på forsurening, selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelse, vil forsureningen gradvis avta, og de sure episodene vil bli mindre hyppige og alvorlige.

Summary

Critical loads for acidification of surface water and the potential for exceedance of these are calculated for the Høyanger watershed and the three sub-catchments Håland, Gautingsdal, and Eiriksdal. Høyanger has experienced severe acidification which has caused episodes of fish deaths. Sporadic liming has been carried out, and with the latest reported in 2012. A new liming plan has recently been drawn up for the watercourse. The watercourse is heavily regulated for hydropower production.

Critical loads for acidification indicate how much acidifying sulphur and nitrogen deposition the system can withstand without experiencing harm. The tolerance limit will vary from place to place depending on the natural conditions. When the effect from the deposition is greater than the tolerance limit, it will result in exceedances that translates into acidification.

Critical loads were calculated with the two models SSWC (The steady-state water chemistry model) and FAB (The first-order acidity balance model). The two models use different approaches on how to incorporate the various processes involved. The FAB model represents a worst-case scenario. The critical load is calculated based on the natural buffer production in the catchment. To ensure the protection of selected biota, a safety margin/limit value is deducted. This is called ANC_{limit} and is primarily set to maintain a reproductive trout population.

The water chemistry data used was based on approximately monthly monitoring over a period of two years. Other data came from maps published by the Norwegian Water Resources and Energy Directorate, national and international deposition calculations, and from the national tolerance limit calculations. Exceedances were calculated for current (years 2017-2021) and future (year 2030 and 2050) deposition scenarios.

Results show no exceedance of the critical load, neither for the Høyanger watercourse as a whole nor for any of the three sub-catchments. This was the case both under current and future deposition scenarios. The SSWC model gives information on the distance from exceedance. The shortest distance from exceedance was found for Eiriksdal, followed by Høyanger, Gautingsdal, and Håland. This largely reflects the variation in the calculated critical loads. Deposition data showed little variation between the sub-catchments.

It is important to note that due to delays in the systems, the watercourse may still experience acidification even if critical loads are not exceeded. However, as long as there is no exceedance, the acidification will gradually decrease, and the occurrence of acid episodes will become less frequent and serious.

1 Introduksjon

Forsuring av vann og vassdrag som følge av avsetning av langtransportert svovel og nitrogen har vært, og er fortsatt, et problem for enkelte regioner i Norge. På tross av at den atmosfæriske avsetningen har blitt kraftig redusert (Vogt & Skancke, 2022) er det fortsatt flere elver og innsjøer som er forsuret. Dette kan føre til frigjøring av aluminium til vannfasen, som igjen kan føre til fiskedød. For å redusere de negative effektene av forsurening på økosystemene har det vært utført en omfattende kalking av innsjøer og vassdrag. Fortsatt er det stor kalkingsaktivitet, selv om innsjøkalkingen er redusert i områder som historisk sett har fått mindre sur nedbør (Garmo mfl., 2019; MilDir, 2021).

Reduksjonen i sur avsetning skyldes reduserte utslipp av nitrogen- og spesielt svoveloksid. Dette er mye takket være Konvensjonen for langtransportert grenseoverskridende luftforurensning (LRTAP-konvensjonen). Til grunn for forhandlingene og protokollene ligger konseptet om naturens tålegrenser.

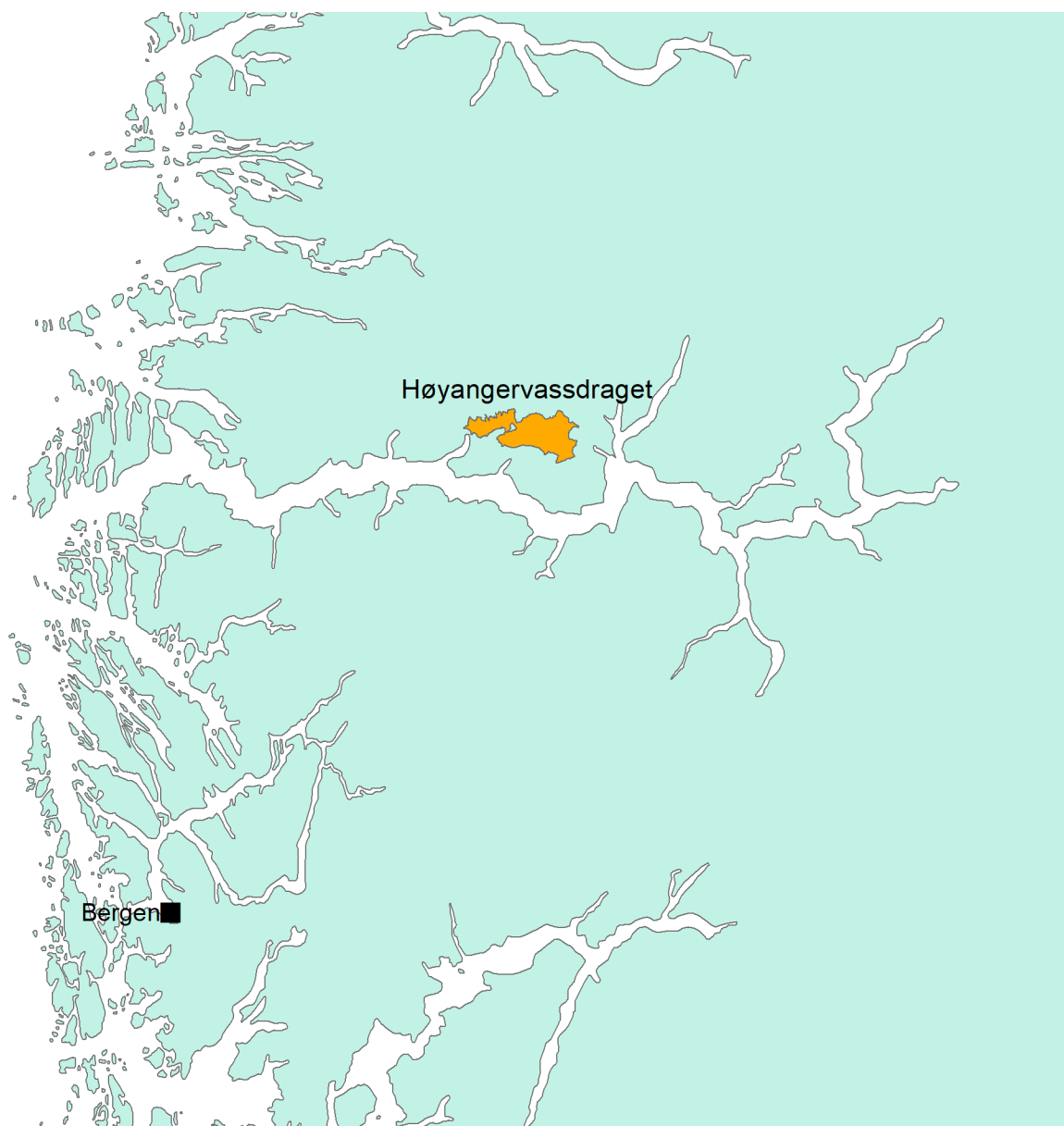
Naturens tålegrense er et anslag over hvor mye naturen kan motta av et forurensende stoff uten å påføres skade. Tålegrensene vil variere fra sted til sted avhengig av de naturlige forholdene. Tålegrensene for forsurening av overflatevann er basert på at syretilførselen ikke skal overskride den naturlige bufferproduksjonen i nedbørfeltet. For å sikre at det ikke skal påføres skade på utvalgt biota trekkes det en sikkerhetsmargin/grenseverdi fra den naturlige bufferproduksjonen. Denne grenseverdien kalles ANC_{limit} og er primært satt for å kunne opprettholde en reproduserende ørretbestand. Når avsetningen er høyere enn tålegrensen får man overskridelse av tålegrensen og dermed fare for forsurening av vannet.

Programmet Naturens tålegrenser ble startet i 1989 i regi av Miljøverndepartementet. NIVA har som nasjonalt *Focal Centre* i arbeidsgruppen *ICP Modelling & Mapping* under LRTAP-konvensjonen bidratt internasjonalt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for svovel og nitrogen med hensyn til forsurening av overflatevann. Det er utarbeidet tålegrensekart for hele Norge og for Svalbard. Forrige oppdatering av tålegrenser og overskridelser i Norge ble publisert i Austnes mfl. (2023). I forbindelse med den nyeste oppdateringen ble det gjort mindre forbedringer i beregningsmetodene.

Tålegrenser og overskridelser beregnes ved såkalte statiske (*steady-state*) modeller. Det forutsettes likevekt mellom gjeldende avsetning av forsurende stoffer og den naturlige bufferproduksjonen i nedbørfeltet. De statiske modellene sier imidlertid ikke når likevektssituasjonen vil inntreffe. Til dette trengs det dynamiske modeller som forsurningsmodellen MAGIC (Cosby mfl., 2001). MAGIC-modellen simulerer hvordan langvarig tilførsel av sur nedbør fører til utvasking av basekationer i jorda (Kirchner & Lydersen, 1995). Deretter beregner den hvor lang tid det vil ta før den naturlige bufferproduksjonen er gjenopprettet. Bedring av vannkjemien oppnås når tilførselene av basekationer til jorda, fra forvitring og fra atmosfæren, er større enn det som fjernes ved sur nedbør (Wright mfl., 2005). Jo lavere avsetningen av sur nedbør er, dess fortere vil bufferkapasiteten øke. Til beregning av overskridelser brukes avsetningsdata. Overskridelser av tålegrensen indikerer at det fortsatt vil være forsurening. Jo høyere overskridelsene er, dess lenger tid vil det ta før det ikke lenger er forsurening. På den annen side kan det fortsatt være forsurening selv om det ikke er overskridelser, på grunn av forsinkelsen i gjenopprettningen av den naturlige bufferproduksjonen.

Formålet med dette oppdraget var å beregne tålegrenser og overskridelser for Høyangervassdraget, som ligger på nordsiden av Sognefjorden i Vestland fylke. Nedbørfeltet dekker fjellområdene mellom Høyanger, Gaularfjellet og Balestrand (Figur 1). Det har tidligere vært problemer med giftig aluminium i alle vassdragsavsnittene (Hindar, 1997). Nedre del kalles Daleelva og har utløp i Høyangsfjorden.

Daleelva har i perioder vært forsuringsbelastet med forhøyede verdier av aluminium i vannet som har medført negative effekter på fisk (Ugedal mfl., 2020). Det har blitt gjennomført en del mindre kalkingstiltak i vassdraget der sideelver og bekker har blitt tilført kalk (Høgberget, 2021). Den siste behandlingen ble rapportert utført i 2012 (Ugedal mfl., 2020). Beregninger av tålegrenser og overskridelser har blitt gjort for Høyangervassdraget som helhet samt for de tre delnedbørfeltene; Håland, Gautingsdal og Eiriksdal (Figur 2). Daleelva dannes ved samløp av de to elvene Gautingsdalselva og Eiriksdalselva. Ytterligere tilsig til Daleelva kommer like ved utløpet, nordfra fra Hålandselva (også kalt Siploelva) (Ugedal mfl., 2020). Nylig ble det utarbeidet en oppdatert kalkingsplan for vassdraget der det anbefales kontinuerlig kalking for laks i området ved Eiriksdal kraftverk (Høgberget, 2021). Ved å inkludere flere delnedbørfelter i tålegrenseberegningene kan det vurderes om sårbarheten og prognosene varierer innad i nedbørfeltet. Overskridelsene har blitt beregnet for dagens (2017-2021) og framtidig (2030 og 2050) avsetningsnivå.



Figur 1. Kartutsnitt som viser plasseringen av Høyangervassdraget i oransje, nord for Bergen.



Figur 2. Kartutsnitt av Høyangervassdraget med inndelingen i Hålandsvassdraget (blått), Gautingsdalsvassdraget (grønt) og Eiriksdalsvassdraget (lys brunt). Merk at kartet viser avgrensninger i nedbørfeltene med hensyn til reguleringer knyttet til kraftproduksjon, og dermed ikke hele de naturlige nedbørfeltene. Prøvetakingspunkter for vannkjemi benyttet til beregningene er indikert med oransje sirkler der 1 representerer hele Høyangervassdraget, 2 Hålandsvassdraget, 3 Eiriksdalsvassdraget og 4 Gautingsdalsvassdraget.

2 Metode

2.1 Beskrivelse av vassdragene

Inndelingen til delnedbørfelt er basert på sideelver og den øverste delen av hovedløpet. Avgrensningen er kraftig påvirket av den utbredte vannreguleringen til kraftproduksjon. Kartlag for nedbørfeltet og delnedbørfeltene er laget ved å velge ut REGINE (register over nedbørfelt)-enheter fra kartlag publisert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). For detaljer se tabell A.1 i Appendiks.

2.1.1 Høyangervassdraget

Høyangervassdragets nedbørfelt har et naturlig areal på 172 km², men regulering av vannføringen til kraftproduksjon fører til at det reelle arealet kun er 96 km². Med det menes at delnedbørfelter som ikke følger den naturlige veien til elva, men føres over i andre vassdrag ikke tas med i beregningene (Ugedal mfl., 2020). Medregnet areal inkluderer begge sider av hovedløpet opp til forgreiningen med Eiriksdalselva, i tillegg til arealer fra de tre delnedbørfeltene Håland, Gautingsdal og Eiriksdal.

Sjøvandrende laksefisk kan normalt vandre om lag 5,1 km fra sjøen (opp til Ekrene). Ved høy vannføring kan fisk vandre enda lenger, til om lag 500 m opp i Gautingsdalselva (til Laksefossen) som er det absolutte vandringshinderet (Ugedal mfl., 2020).

Som nevnt ovenfor har elven tidligere blitt kalket. Det inkluderte 10 kalkbrønner som på 1990-tallet var plassert i ulike sidebekker og parallelløp på elvesletta nederst i vassdraget. Ytterligere to brønner var plassert oppstrøms samløpet mellom Gautingsdalselva og Eiriksdalselva. Kalkingen ble iverksatt etter at fiskedød ble observert. Det ble også plassert ut om lag 20 kalkbrønner inne på fjellet vest for dalen (Hindar, 1997). På slutten av 2000-tallet var det syv til åtte kalkbrønner i drift langs Daleelva, og det ble lagt ut skjellsand eller kalksteinsgrus i flere av sidebekkene. Den siste dokumenterte kalkingen ble utført i 2012 da det ble droppet store sekker med kalksteinsgrus fra brua nedstrøms kraftverket (K2) og i Eiriksdalselva (Ugedal mfl., 2020, og henvisninger der).

2.1.2 Hålandsvassdraget

Hålandsvassdraget i nord-vest, med Hålandselva (også kalt Siploelva), utgjør her det minste delvassdraget med et reelt areal på 3,6 km². Kun de lavereliggende områdene ned mot Daleelva er inkludert grunnet kraftig regulering av de overliggende områdene: Vann med tilsig til øvre og nedre Breidalsvann føres via krafttunneler ned til Høyanger kraftverk som har utløp direkte i Høyangsfjorden. Vann fra arealer nordvest i vassdraget føres via kraftverkstunneler med utløp i Bergsvatnet og deretter videre til Høyanger kraftverk. I en naturlig tilstand ville tilsig fra flere av disse områdene gått til Hålandselva. Det ble sannsynligvis droppet skjellsand fra brua i Hålandselva ved den siste registrerte kalkingsaktiviteten i vassdraget i 2012 (Ugedal mfl., 2020, og henvisninger der).

2.1.3 Gautingsdalsvassdraget

Gautingsdalsvassdraget lengst inn i Høyangervassdraget har et reelt nedbørfeltareal på 5,9 km² og er også regulert for produksjon av vannkraft. Vannet fra de øverste områdene føres via Langevatnet (reguleringsdam) og kraftverkstunneler videre til Bergsvatnet, sammen med vann fra Hålandsvassdraget (se over), og deretter til Høyanger kraftstasjon. På veien fra Langevatnet tilkommer det også vann fra nordlige områder i nedbørfeltet via flere inntakspunkter.

Det har blitt spredd kalk via helikopter i Gautingsdalselva, i 1995 og 1996 (Hindar, 1997). Ved den siste dokumenterte kalkingsaktiviteten i 2012 ble det lagt ut fire til fem store sekker med skjellsand i Gautingsdalselva, nærmere bestemt i Gutingsdalekloven (Høgberget, 2021).

2.1.4 Eiriksdalsvassdraget

Eiriksdalsvassdraget har et reelt areal på 72,0 km² og utgjør dermed den største delen av det regulerte Høyangervassdraget. Det vil si at mesteparten av vannet i Daleelva kommer fra Eiriksdalselva. Vannet fra store deler av det som naturlig ville utgjort Eiriksdalsvassdraget føres inn til Eiriksdal kraftverk som har uttak fra Høgsvatn og utløp i Daleelva. Det ble satt i drift i 2014 og erstattet to gamle kraftverk. Områder som ligger nedenfor Høgsvatn reguleres via Roesvatn med kraftverkstunnel til Langevatn og videre til Bergsvatn i Hålandsvassdraget (som nevnt over).

Eiriksdalselva har en lakseførende strekning på 200 m, men den er nærmest tørrlagt etter reguleringen (Ugedal mfl., 2020). Det har tidligere blitt lagt ut kalkgrus i Eiriksdalselva, trolig i 2012 (Høgberget, 2021).

2.2 Tålegrenser for forsuring av overflatevann

Prinsippet for beregning av tålegrense for forsuring av overflatevann er at syretilførselen ikke skal overskride den naturlige bufferproduksjonen i nedbørfeltet. For å sikre at det ikke skal påføres skade på utvalgt biota trekkes det fra en sikkerhetsmargin/grenseverdi til den naturlige bufferproduksjonen. Grenseverdien kalles ANC_{limit} og er primært satt for å kunne opprettholde en reproduserende ørretbestand. ANC utgjør summen av basekationer minus sterke anioner.

2.2.1 Tålegrensemodeller

To ulike modeller benyttes vanligvis for beregning av tålegrenser og tilhørende overskridelser:

- $SSWC_{oaa}$ -modellen (*The steady-state water chemistry model*), som beregner tålegrenser for sterk syre og overskridelse med utgangspunkt i at utlekkingen av nitrogen forblir konstant på dagens nivå.
- FAB_{oaa} -modellen (*The first-order acidity balance model*), som beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen, og samlet overskridelse gitt en mulig høyere utlekking av nitrogen i framtiden.

Modellene er kort beskrevet her, men flere detaljer finnes i Henriksen og Posch (2001) og (CLRTAP, 2017). I $SSWC_{oaa}$ -modellen beregnes tålegrensen fra sjøsaltkorrigert før-industriell basekationkonsentrasjon (naturlig bufferproduksjon) og ANC_{limit} . Endringen i vannkjemien fra før-industriell tid til i dag anses kun å være et resultat av ionebyttesprosesser i jorda som følge av avsetning av sure anioner. Beregningen av den før-industrielle basekonsentrasjonen er her gjort med den såkalte F-faktor-metoden, basert på dagens sjøsaltkorrigerede basekationkonsentrasjon og empirisk bestemte konstanter. Dette er en litt annen metodikk enn den som nå benyttes i de nasjonale beregningene (Austnes mfl., 2023). Det benyttes en variabel ANC_{limit} . Det vil si at ANC_{limit} settes høyere med stigende før-industriell basekationkonsentrasjon. Dette er begrunnet med at systemer med høyere før-industriell basekationkonsentrasjon har en høyere biodiversitet, som krever mer for å holdes intakt. Det er også lagt inn en variabilitet som gir lavere tålegrenser når konsentrasjonen av organiske syrer er høy, fordi systemene vil tåle mindre antropogen forsuring når den naturlige forsuringen er høy. Dette forklares nærmere i Lydersen mfl. (2004) og Hindar og Larssen (2005). Konsentrasjonen av totalt organisk karbon (TOC) brukes som mål på organiske syrer. Betegnelsen «*oaa*» indikerer at modellene hensyntar konsentrasjon av organiske syrer (*oaa* = *organic acid adjusted*).

FAB-modellen er en massebalansemodell, som tar hensyn til de ulike kildene til- og slukene for nitrogen, svovel og basekationer i nedbørfelt og innsjøer. Modellen beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen. Beregningene for basekationer og ANC_{limit} er de samme som for $SSWC_{0aa}$ -modellen.

Den viktigste forskjellen mellom FAB og $SSWC$ er at FAB ikke bruker dagens opptak av nitrogen i nedbørfeltet, men antatt netto opptak under likevekt (*steady state*) en gang i framtiden. I dag tar vegetasjonen, særlig skog, opp mye av nitrogenet som avsettes. Under en framtidig likevekt antas systemet å være «mettet» på nitrogen slik at opptaket blir lavere enn i dag. Nitrogenet vil dermed bidra mer til forsuring, gitt samme avsetning. Nitrogenlekkasjen beregnes som tilført nitrogen fratrukket det som immobiliseres i jorda eller innsjøer, tilbakeføres til lufta gjennom denitrifisering eller som tas ut ved hogst.

Siden $SSWC$ gir én tålegrenseverdi, mens FAB gir separate tålegrenser for svovel og nitrogen, er det ikke mulig å sammenligne tålegrensene direkte. Imidlertid kan overskridelser av tålegrenser sammenliknes direkte mellom de to modellene. Ved samme avsetning vil overskridelsene som regel bli høyere med FAB-modellen, og den kan sies å representere et verste falls-scenario med hensyn til fremtidig nitrogenutlekking.

2.3 Vannkjemiske data og korrigeringer til tålegrenseberegningene

Til beregning av tålegrenser benyttes vannkjemiske data fra utløpet av nedbørfeltene. Vannkjemien der antas å representere hele det aktuelle nedbørfeltet. Resulterende tålegrense og overskridelsen vil utgjøre et gjennomsnitt for nedbørfeltet som helhet. De fire prøvepunktene som representerer hele eller deler av vassdraget er presentert i tabell 1 og med plasseringen illustrert i figur 2.

2.3.1 Valg av vannkjemiske data

For Høyangervassdraget var det flere aktuelle prøvepunkter nær utløpet til Høyangerfjorden. Det er viktig å unngå punkter som kan vise påvirkning fra sjøvann. Imidlertid ble ingen påvirkning fra sjøvann observert (basert på konsentrasjon av klorid) og det nederste prøvepunktet ble valgt. For Hålandselva og Gautingsdalselva var det kun ett prøvepunkt i hver. For Eiriksdalselva ble det valgt et prøvepunkt i utløpet fra Eiriksdal kraftverk. Vannkjemien for sistnevnte representerer dermed de delene av Eiriksdalselva sitt nedbørfelt som går gjennom kraftverket og ikke det vannet som gjenstår av den opprinnelige elven. Mesteparten av vannet er imidlertid oppgitt til å gå via Eiriksdal kraftverk.

Tabell 1: Prøvepunkter for Høyangervassdraget med delnedbørfelt.

Nummer i kart (Figur 2)	Vannlokalitetskode	Vannlokalitet	UTM33 øst (x)	UTM33 nord (y)	Navn på (del)nedbørfelt
1	079-58883	Daleelva ved utløp	21578	6819751	Høyanger
2	079-58881	Siplo. sideelv	21813	6820346	Håland
3	079-58880	Kraftverk K2	26028	6822019	Eiriksdal
4	079-58878	Gautingsdalelva	26040	6822031	Gautingsdal

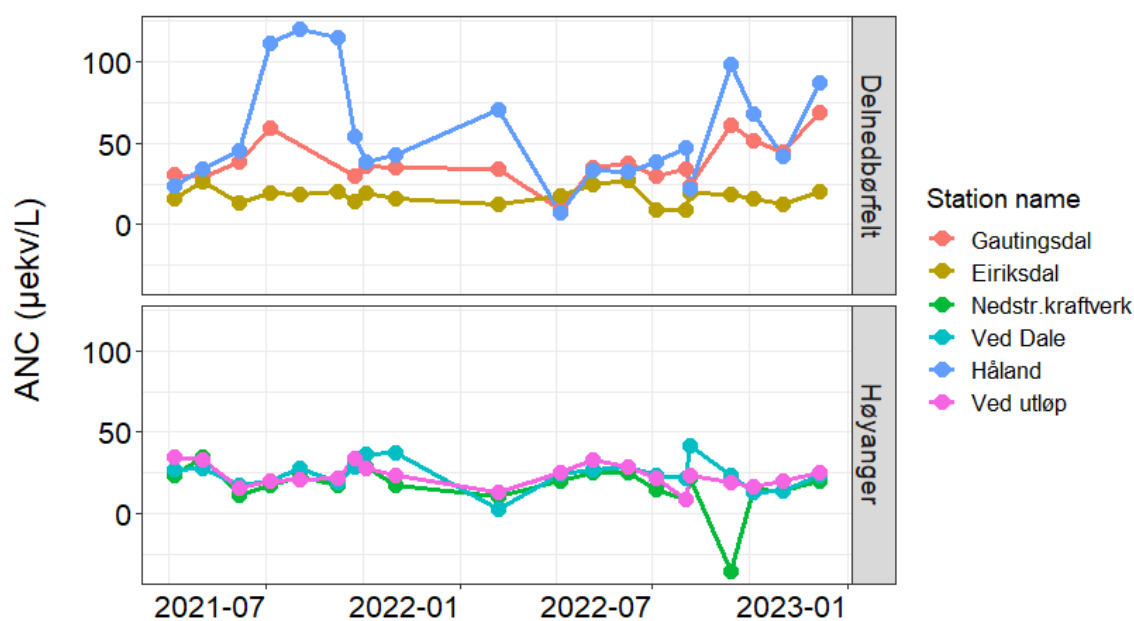
For å kunne beregne tålegrenser er det nødvendig med vannkjemiske data som inkluderer alle hovedionene som inngår i beregningen av ANC , samt totalt organisk karbon (TOC). Dataene som benyttes her kommer fra tilnærmet månedlig overvåking i årene 2021 og 2022 (se tabell A.2 for detaljer). Dataene vil bli tilgjengelige fra Vannmiljø-databasen (www.vannmiljo.no). Data fra tidligere overvåking mangler nødvendige parametere til å beregne tålegrenser. Vannkjemien varierer naturlig mellom sesonger og fra år til år. Det er derfor viktig at overvåkningsdataene fanger opp denne

variasjonen, slik at man kan beregne et mest mulig representativt gjennomsnitt. Gjennomsnitt for hvert prøvepunkt ble beregnet ved først å ta gjennomsnitt per måned, så på tvers av år. Observasjoner under metodens deteksjonsgrense har blitt satt til 0.5x verdien på deteksjonsgrensen.

2.3.2 Vannkjemi

Den lokale vannkjemien ligger til grunn for beregning av tålegrensene. Figur 3 viser utvikling av ANC over tid for stasjoner i delnedbørfeltene (Håland, Gautingsdal og Eiriksdal) og for tre stasjoner i Daleelva i Høyangerfeltet (Nedstr. Kraftverk, ved Dale og ved utløp). Kun den nederste stasjonen, *ved utløp*, ble benyttet til beregning av tålegrense. Med verdier for kun to år er det vanskelig å si noe om forsuringsutviklingen. ANC forventes å øke når forsuren avtar. Verdiene er tilsvarende og delvis i det nedre sjiktet av ANC-verdier beskrevet for andre vassdrag i Vestland fylke (Austnes mfl., 2021). Lave nivåer er typisk for Vestlandet der det er en stor fortykning av forvitningsprodukter fra harde og kalkfattige bergarter.

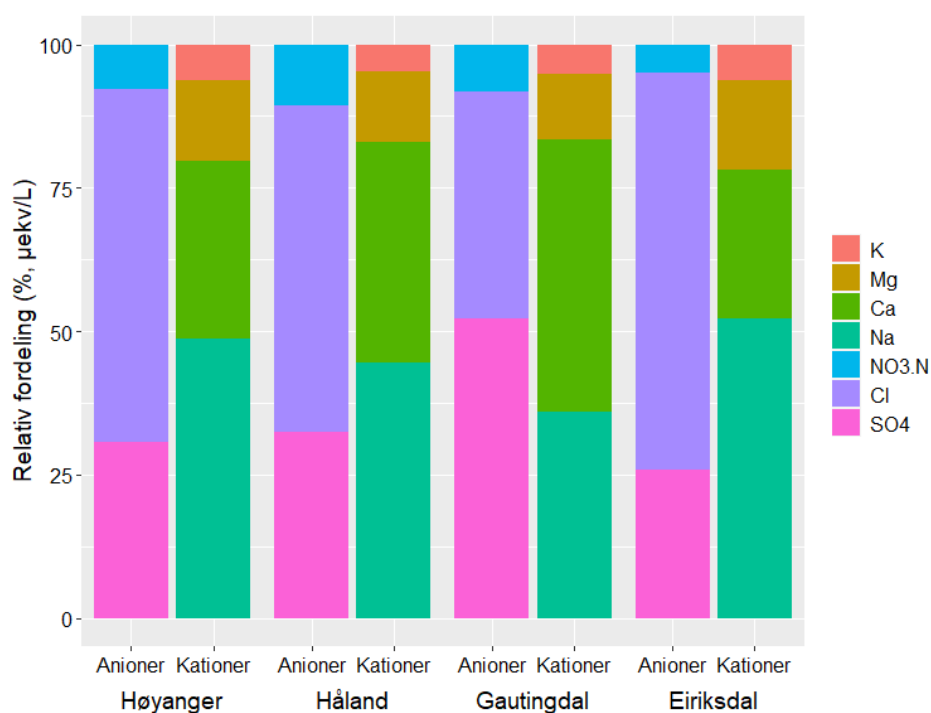
Av nedbørfeltene skiller Håland og delvis Gautingsdal seg ut fra de andre ved tidvis høye ANC-verdier. Det skyldes i all hovedsak høye nivåer av kalsium (Ca). Tabell 2 viser gjennomsnittlige verdier for vannkjemiske parametere for de fire stasjonene som ble benyttet til beregning av tålegrenser, mens Figur 4 viser relativt bidrag av de ulike ionene til summen av anioner og anioner ($\mu\text{ekv/L}$).



Figur 3. ANC ($\mu\text{ekv/L}$) over tid for delnedbørfelt (Gautingsdal, Eiriksdal og Håland), og tre stasjoner i Daleelva som representerer Høyangervassdraget (Nedstr. Kraftverk, ved Dale og ved utløp).

Tabell 2. Gjennomsnittskonsentrasjoner for ionene som inngår i beregningen av ANC samt totalt organisk karbon (TOC).

Nedbørfelt/ delnedbørfelt	År	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ -N (µg/L)	K (mg/L)	TOC (mg C/L)
Høyanger (079-58883)	2021-2022	0.55	1.41	0.15	0.97	0.92	76.1	0.21	1.06
Håland (079-58881)	2021-2022	1.55	2.76	0.29	1.89	1.99	235.3	0.37	2.39
Gautingsdal (079-58878)	2021-2022	2.30	1.82	0.26	1.49	5.03	209.7	0.37	1.39
Eiriksdal (079- 58880)	2021-2022	0.34	1.21	0.13	0.79	0.57	34.4	0.16	0.64



Figur 4. Relativ fordeling (%) av de ulike ionene til total konsentrasjon (µekv/L) av anioner (negativ ladning) og kationer (positiv ladning). Merk at bidraget fra TOC er ikke tatt med i figuren.

2.3.3 Korrigering for kalking

Ettersom det ikke har vært kalket siden 2012, antas det at vannkjemien ikke er påvirket av kalking, og at det derfor ikke er nødvendig å korrigere for dette. For prøvepunktet i Gautingsdalselva er det enkeltprøver med høy kalsiumkonsentrasjon, også høyere enn på den tiden det var kalking. Det er uklart hva dette skyldes, men det kan være et resultat av periodevis veldig lav vannføring på grunn av kraftoverføringer. Det er ingen innslag av kalkrike bergarter i nedbørfeltet¹. Ettersom de høye kalsiumkonsentrasjonene ikke kan knyttes til kalkingsvirksomhet er det valgt ikke å korrigere for dette. Høy kalsiumkonsentrasjon vil imidlertid gi høyere tålegrenser.

¹ https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/

2.4 Øvrige data til tålegrenseberegningene

Areal og vannføring for nedbørfeltet og delnedbørfeltene ble beregnet basert på informasjon på REGINE-nivå fra NVE Atlas². Kun de REGINE-enhetene som er del av de reelle nedbørfeltene (etter kraftoverføringer) ble benyttet. Vannføring ble beregnet som summen av tilsiget for hver REGINE-enhet. Totalt innsjøareal per felt ble beregnet ved å benytte kartlaget for NVEs innsjødatabase. Arealfordeling til skog, bart fjell og myr er hentet fra AR50-kartet³. Nitrogenuttaket ved hogst er beregnet med utgangspunkt i dataene som benyttes i de nasjonale tålegrenseberegningene. Dette gav verdien null alle steder, som reflekterer at det er lite produktiv skog i disse områdene. Alle verdier som er beregnet per delnedbørfelt eller nedbørfelt er gitt i tabell A3 i Appendiks. Konstantene som benyttes i beregningene (Tabell A4 i Appendiks) er de samme som benyttes i de nasjonale tålegrenseberegningene, med unntak av konstantene som benyttes i beregning av før-industriell basekationkonsentrasjon (konstanter for beregning av F-faktoren og før-industriell sulfatkonsentrasjon).

2.5 Avsetning av langtransporterte luftforurensninger

Avsetningsdataene for 2017-2021 er de samme som er benyttet i Austnes mfl. (2023). Dette er de nyeste landsdekkende dataene. Avsetningen er beregnet ved det som av Austnes mfl. (2023) omtales som «ny metode» og som for våtavsetning går ut på å kombinere observasjoner fra NILU og resultater fra den kjemiske transportmodellen fra EMEP (The European monitoring and evaluation programme (Simpson mfl., 2012), mens tørravsetning hentes direkte fra EMEP-modellen (Blake mfl., 2023). For framtidige avsetninger (2030 og 2050) har vi benyttet data produsert av EMEP i 2022 i forbindelse med evalueringen av Gøteborg-protokollen (LRTAP-konvensjonen). Det er «baseline»-scenariet som er benyttet, som vil si at utslippene er i henhold til nåværende krav (den reviderte Gøteborg-protokollen fra 2012). EMEP-modellen simulerer godt endringen i avsetningen, men treffer ikke alltid like godt på nivået i Norge (Austnes, 2015). Det er derfor kun den relative endringen i avsetning som hentes fra EMEP-dataene: EMEP-verdier for 2030 (eller 2050) deles på EMEP-verdier for basisåret (2015) for å finne den relative endringen, og ganges så med norske verdier for basisåret for å finne avsetningen i 2030 (eller 2050). Som norske verdier for basisåret er det benyttet data som samsvarer best i tid med 2015, det vil si data for 2012-2016 (avsetningsdata etter ny metode (Austnes mfl., 2018), nærmere beskrevet i Aas mfl. (2017)).

2.6 Beregning av overskridelser

For $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen beregnes overskridelsen som summen av svovelavsetningen og dagens nitrogenavrenning minus tålegrensen. Overskridelse med FAB_{Oaa} -modellen er beregnet i samsvar med CLRTAP (2015) basert på tålegrensene og avsetningen for både svovel og nitrogen. Ettersom avsetningen kan variere innenfor samme nedbørfelt er overskridelsen beregnet som et arealveiet gjennomsnitt for hele nedbørfeltet eller delnedbørfeltet. Vanligvis oppgis bare overskridelsen som null hvis tålegrensen ikke er overskredet. For å illustrere avstanden til tålegrensen er det her også beregnet en «negativ overskridelse». Dette er kun gjort for overskridelser beregnet for $SSWC$ -tålegrenser.

² <https://atlas.nve.no/>

³ <https://www.nibio.no/tjenester/nedlasting-av-kartdata/dokumentasjon/ar50>

3 Resultater og diskusjon

Resultater beregnet for Høyangervassdraget som helhet samt for de tre delnedbørfeltene er vist i Tabell 3. Resultatene diskuteres under fordelt på tålegrenser, avsetning, og overskridelse av tålegrenser.

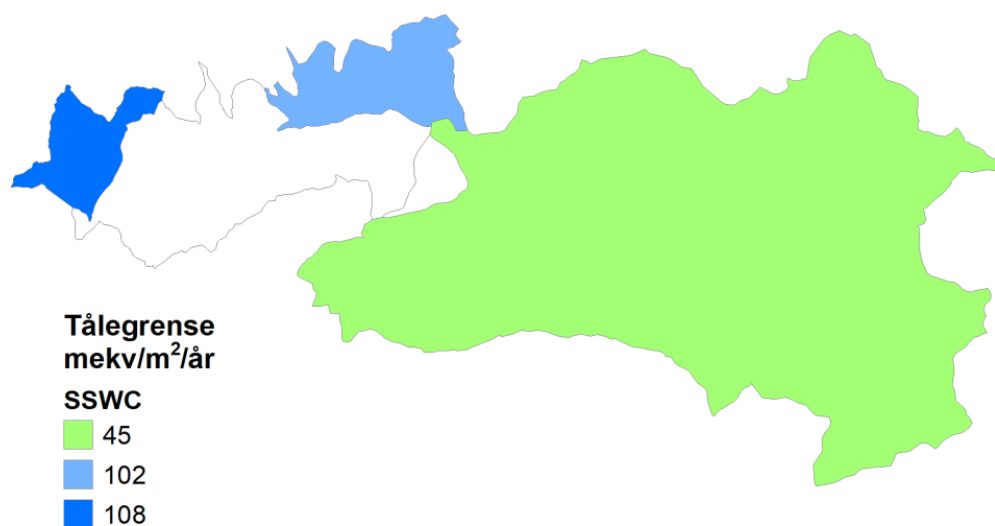
Tabell 3. Tålegrense, avsetning og overskridelse for vassdragene. Alle verdier er i mekv m⁻² år⁻¹.

Nedbørfelt	Tålegrense (SSWC)	S-avsetning			N-avsetning			Overskridelse FAB*	Overskridelse SSWC		
		2017-2021	2030	2050	2017-2021	2030	2050		2017-2021	2030	2050
Høyanger	61,2	8,8	9,2	9,1	24,7	27,3	24,5	0,0	-37,8	-37,5	-37,6
Håland	107,9	8,7	10,2	10,1	25,3	26,9	23,9	0,0	-66,5	-65,0	-65,1
Gautingsdal	101,6	8,8	10,8	10,7	27,9	30,2	27,2	0,0	-58,8	-57,4	57,5
Eiriksdal	45,1	8,8	8,8	8,7	24,3	27,1	24,4	0,0	-29,2	-29,3	-29,4

*Overskridelse av tålegrensen beregnet med FAB-modellen vises kun med dagens avsetningsdata.

3.1 Tålegrenser

Sammenlikning av vassdragene (Tabell 3 og Figur 5) viser at det var relativt stor variasjon i tålegrensene. Håland og Gautingsdal hadde tålegrenser som var tilnærmet dobbelt så høye som for Eiriksdal og for hele Høyangervassdraget samlet. Disse forskjellene skyldes i all hovedsak ulikheter i vannkjemien (illustrert ovenfor ved ANC) som igjen kan skyldes ulikheter i geologi og avrenning.



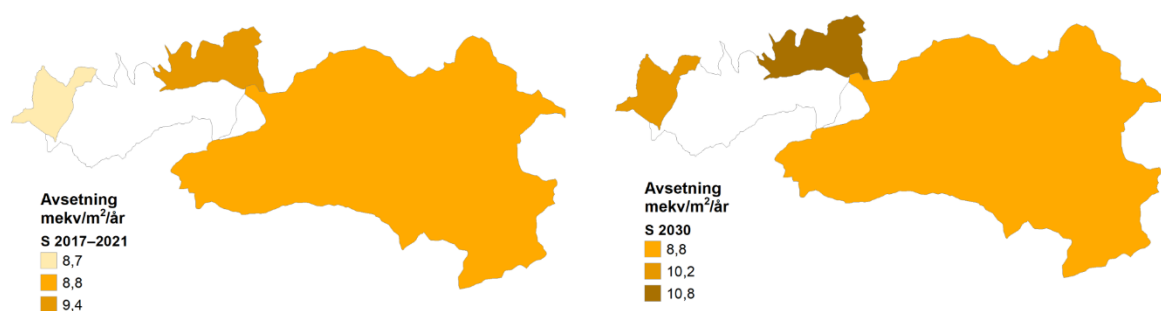
Figur 5. Tålegrenser for forsurening av overflatevann beregnet med SSWC-modellen for de tre delnedbørfeltene Håland, Gautingsdal og Eiriksdal.

3.2 Avsetningsdata

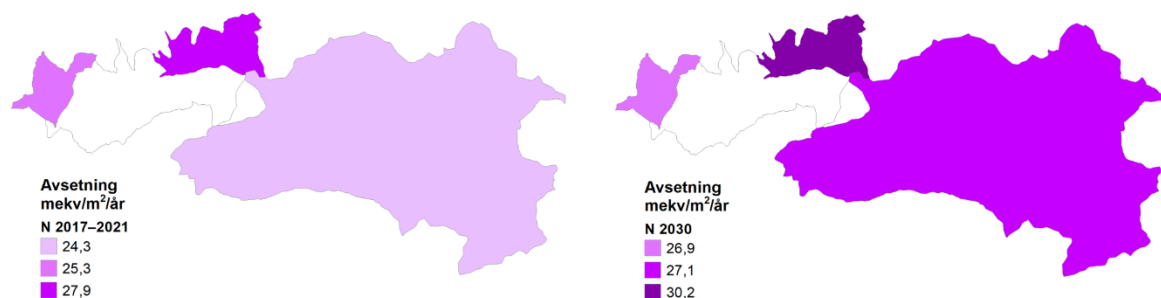
Avsetningen av svovel og nitrogen var tilnærmet lik for Høyangervassdraget og de tre delnedbørfeltene, både for perioden 2017-2021 og for fremtidige år (2030 og 2050) (se Figur 6 og 7). Det var som forventet gitt den geografiske oppløsningen i avsetningsdataene og at det hovedsakelig er snakk om langtransportert forurensning. Det nordøstliggende delnedbørfeltet, Gautingsdal hadde høyest avsetning av både svovel og nitrogen, både for 2017-2021 og framtidige år. Eiriksdal hadde lavest avsetning for nitrogen for 2017-2021, mens for framtidige scenarier var nivået tilnærmet likt med Håland. Det var noe mer variasjon i avsetningen av nitrogen enn svovel mellom nedbørfeltene.

Avsetningsdataene er generelt lavere for svovel enn for nitrogen. Det skyldes at den historiske nedgangen i avsetning har vært langt større for svovel enn for nitrogen (Aas mfl., 2017). Avsetningsdataene indikerer en liten økning for både svovel og nitrogen fra perioden 2017-2021 og frem til år 2030, på henholdsvis 11 og 9 % (se Tabell 3). Dette er bare et utslag av beregningsmetoden og naturlig variasjon ved at avsetningen i 2017-2021 ligger litt lavere enn 2012-2016. Avsetningen går ned fra 2012-2016 til 2030 og 2050, i samsvar med EMEP-beregningene. Men fordi 2017-2021 er litt lavere enn 2012-2016 får man en liten økning til 2030. Avsetningen har generelt gått ned de siste 40 årene (Austnes mfl., 2023), og prediksjonene fra EMEP tilsier at avsetningen vil fortsette å avta. Det er imidlertid viktig å merke seg at forventede forbedringer forutsetter at landene overholder internasjonale forpliktelser med hensyn til utslippsreduksjoner.

Vannkjemiske data indikerer at mye av nitrogenet fortsatt holdes igjen i nedbørfeltet. Det kan ses ved forholdsvis lave nitratkonsentrasjoner (Tabell 2).



Figur 6. Avsetning av svovel, S for de tre delnedbørfeltene for perioden 2017-2021 (venstre) og 2030 (høyre).



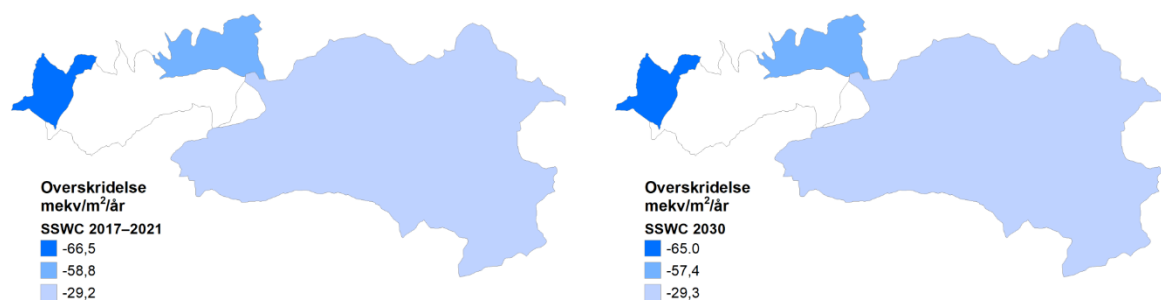
Figur 7. Avsetning av nitrogen, N for de tre delnedbørfeltene for perioden 2017-2021 (venstre) og 2030 (høyre).

3.3 Overskridelse

Det ble ikke funnet overskridelse av tålegrensene for noen av delnedbørfeltene eller for Høyangervassdraget som helhet, hverken når beregnet med SSWC eller FAB modellen. Dette gjelder både for perioden 2017-2021 og for fremtidige prediksjoner (2030 og 2050). Se Tabell 3 og Figur 8. Med SSWC-modellen vil negative verdier indikere avstand fra overskridelse, mens med FAB-modellen vises null overskridelse for alle nedbørfelt og tidsperioder.

Den korteste avstanden til overskridelse ble observert for Eiriksdalsvassdraget, etterfulgt av Høyanger som helhet, Gautingsdalsvassdraget og Hålandsvassdraget. Dette gjenspeiler variasjonen i beregnede tålegrenser og til dels variasjoner i nitrogenavsetning. Eiriksdalsvassdraget bidrar med de største vannmengdene til Daleelva, og derfor ligger resultatene for hele Høyangervassdraget nærmest resultatene for Eiriksdalsvassdraget.

Det er viktig å merke seg at på grunn av forsinkelser i systemene kan vassdragene fremdeles være påvirket av forsurening, selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelse vil forsuringen gradvis avta, og de sure episodene vil bli mindre hyppige og alvorlige.



Figur 8. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av SSWC modellen for de tre delnedbørfeltene Håland, Gautingsdal og Eiriksdal for periodene 2017-2021 (venstre) og 2030 (høyre). Negative verdier indikerer avstand fra overskridelse.

3.4 Usikkerheter

Tålegrenser og overskridelser er beregnet basert på eksisterende metodikk og tilgjengelige data. Det vil alltid være en viss grad av usikkerhet knyttet til slike beregninger.

Beregningene utføres med godt etablert metodikk som har vært benyttet i arbeidet under LRTAP-konvensjonen i en årrekke. Mange av konstantene som inngår i beregningene er imidlertid basert på empiriske sammenhenger som kan endres noe over tid. Imidlertid blir disse vurdert og oppdatert ved jevne mellomrom. Den siste oppdateringen av den nasjonale metodikken beskrives av (Austnes mfl., 2023). Merk at F-faktor-metoden for estimering av den før-industrielle basekonsentrasjonen som her brukes i beregningene ikke benyttes i de nasjonale beregningene.

For å kunne representere de reelle forholdene i nedbørfeltet er det essensielt med representative vannkjemiske data. Måleserien bør helst ha en viss lengde og frekvens for å reflektere de naturlige variasjonene som foreligger. I dette tilfellet var dataene av tilstrekkelig frekvens til å inkludere sesongvariasjoner. Men de kunne med fordel dekket et par år til for å bedre beskrive år-til-år variasjon. Noe usikkerhet er knyttet til inndelingen av nedbørfeltene som er regulert for kraftproduksjon. Det gjelder spesielt for Eiriksdal der noe av vannet også renner i den naturlige elva, og fordelingen dit er ukjent. Det er noe usikkerhet knyttet til de høye kalsiumkonsentrasjonene observert for noen prøver fra Gautingsdal og Håland. Verdiene fremstår unaturlig høye og kan komme fra tidligere kalking og/eller periodevis veldig lav vannføring. Selv om forhøyede kalsiumverdier vil bidra til en forhøyet ANC som igjen gir høyere tålegrense, anses det i dette tilfellet ikke ut til å ha en avgjørende effekt på sluttresultatet.

Avsetningsdataene er basert på interpolerte verdier fra målestasjoner og modellerte verdier. Det er noe usikkerhet knyttet til bruk av disse lokalt, på grunn av topografiske forhold som kan gi lokal variasjon i avsetningen. Dataene for 2030 og 2050 er basert på framtidige utslippsscenarier som naturlig nok er mer usikre. Nedgangen til 2030 og 2050 forutsetter at utslippene blir redusert i henhold til internasjonale avtaler.

Alt i alt er beregningene basert på den best tilgjengelige metodikken og de beste inngangsdataene, gitt omfanget av prosjektet.

4 Konklusjon

Det har blitt beregnet tålegrenser for forsurening av overflatevann samt overskridelser av tålegrensene for Høyangervassdraget i tillegg til de tre delnedbørfeltene Håland, Gautingsdal og Eiriksdal. Beregningene ble gjort både med FAB- og SSWC-modellene. Det ble ikke funnet overskridelse av tålegrensene, hverken med dagens (årene 2017-2021) eller fremtidige scenarier (år 2030 og 2050) for avsetning av svovel og nitrogen.

Det er viktig å merke seg at på grunn av forsinkelser i systemene kan vassdraget fremdeles vise tegn på forsurening selv om tålegrensene ikke er overskredet. Men så lenge det ikke er overskridelser vil forsuringen gradvis avta, og de eventuelle sure episodene vi bli mindre hyppige og alvorlige. Jo lenger unna overskridelse systemet er, dess raskere vil gjenhentingene gå.

5 Referanser

- Austnes, K. (2015). *Exceedance of critical loads in Norway in 2020 – Comparing CCE and NIVA calculations*. I: de Wit, H. A. & Wathne, B. (red.). Proceedings of the 30th Task Force meeting of the ICP Waters Programme in Grimstad, Norway 14th –16th October, 2014, ICP Waters Report 122/2015, NIVA-rapport 6793-2015. Norwegian Institute for Water Research (NIVA).
- Austnes, K., Lund, E., Sample, J. E., Aarrestad, P. A., Bakkestuen, V. & Aas, W. (2018). *Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012–2016*, NIVA-rapport 7239-2018. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
<https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2018/juni-2018/overskridelser-av-talegrenser-for-forsuring-og-nitrogen-for-norge---oppdatering-med-perioden-2012-2016/>
- Austnes, K., Sample, J. E. & Lund, E. (2021). *Tålegrenser for forsuring og overskridelser for seks vassdrag i Vestland*, NIVA-rapport 7586-2021. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2731719>
- Austnes, K., Gundersen, C. B., Sample, J. E. & Lund, E. (2023). *Overskridelser av tålegrenser for forsuring og overgjødning for Norge. Oppdatering med perioden 2017-2021*, NIVA-rapport 7879-2023. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
- Blake, L. R., Aas, W., Denby, B., Hjellbrekke, A., Mu, Q., Simpson, D., Ytre-Eide, M. & Fagerli, H. (2023). *Deposition of sulfur and nitrogen in Norway 2017-2021*, MET rapport 03/2023. Meteorologisk Institutt. <https://www.nilu.com/publication/2159288/>
- CLRTAP. (2015). *Exceedance calculations, Chapter VII of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends*. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/ch7-mapman-2016-04-26.pdf>
- CLRTAP. (2017). *Mapping critical loads for ecosystems, Chapter V of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends*. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/ch5-mapman-2017-09-10.pdf>
- Cosby, B. J., Ferrier, R. C., Jenkins, A. & Wright, R. F. (2001). Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5 (3): 499-518. doi: 10.5194/hess-5-499-2001.
- Garmo, Ø., Johnsen, S. I., Dokk, J. G., Holter, T., Håll, J., Løvik, J. E. & Olstad, K. (2019). *Vannkjemisk utvikling og biologisk tilstand etterkalkslutt i innsjøer i Hedmark. Rapport fra overvåking i perioden 2015-2018*, NIVA-rapport 7400-2019. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2610502>
- Henriksen, A. & Posch, M. (2001). Steady-State Models for Calculating Critical Loads of Acidity for Surface Waters. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 1 (1): 375-398. doi:
<https://10.1023/A:1011523720461>.
- Hindar, A. (1997). *Kalkingsplaner for Nausta, Gaular- Høyanger- og Ortneviksvassdraget i Sogn of Fjordane*, NIVA-rapport 3756-97. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
- Hindar, A. & Larssen, T. (2005). *Modifisering av ANC- og tålegrenseberegninger ved å inkludere sterke organiske syrer.*, NIVA-rapport 5030-2005. Norsk institutt for vannforskning (NIVA).
https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/212839/5030_72dpi.pdf?sequence=1
- Høgberget, R. (2021). *Kalkingsplan for Daleelva i Høyanger kommune*, NIVA-rapport 7615-2021. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).

- Kirchner, J. W. & Lydersen, E. (1995). Base Cation Depletion and Potential Long-Term Acidification of Norwegian Catchments. *Environmental Science & Technology*, 29 (8): 1953-1960. doi: 10.1021/es00008a012.
- Lydersen, E., Larssen, T. & Fjeld, E. (2004). The influence of total organic carbon (TOC) on the relationship between acid neutralizing capacity (ANC) and fish status in Norwegian lakes. *Science of the Total Environment*, 326 (1-3): 63-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2003.12.005.
- MilDir. (2021). *Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåkning 2020*, M-2182 | 2021. Miljødirektoratet (MilDir).
<https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/desember-2021/kalking-i-laksevassdrag--skadet-av-sur-nedbor/>
- Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L. D., Fagerli, H., Flechard, C. R., Hayman, G. D., Gauss, M., Jonson, J. E., et al. (2012). The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12 (16): 7825-7865. doi: 10.5194/acp-12-7825-2012.
- Ugedal, O., Kvingedal, E., Bongard, T., Foldvik, A., Hesthagen, T., Jensås, J. G. & Østborg, G. (2020). *Laks og sjøaure i Daleelva i Høyanger. Bestandsutvikling, flaskehals og vurdering av tiltak*, NINA-rapport 1796. Norsk Institutt for Naturforskning (NINA).
- Vogt, R. D. & Skancke, L. B. (2022). *Overvåkning av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Vannkjemiske effekter 2021*, NIVA-rapport 7778-2022. Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
- Wright, R. F., Larssen, T., Camarero, L., Cosby, B. J., Ferrier, R. C., Helliwell, R., Forsius, M., Jenkins, A., Kopáček, J., Majer, V., et al. (2005). Recovery of acidified European surface waters. *Environmental Science & Technology*, 39 (3): 64a-72a. doi: 10.1021/es0531778.
- Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Fagerli, H. & Benedictow, A. (2017). *Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016*, NILU-rapport 41/2017. Norsk institutt for luftforskning (NILU).

Appendiks

A.1 Inndeling av nedbørfelt og frekvensen av vannkjemiske data

Tabell A1. REGINE-enheter tilhørende de ulike vassdragene.

REGINE-enhet (vassdrag nr)	Høyanger	Håland	Gautingsdal	Eiriksdal
079.A0	x			
079.AA0	x	X		
079.AAA	x	x		
079.AB	x	X		
079.B1	x			
079.B20	x			
079.B2A	x			
079.B3	x			
079.B41	x			
079.B42	x			
079.B4A	x			
079.BA11	x			
079.BA12	x			
079.BA1A1	x			
079.BA1A2	x			
079.BA2	x			
079.BB1	x			X
079.BB21	x			X
079.BB22	x			X
079.BB2A	x			X
079.BB2B	x			X
079.BB2C	x			X
079.BB2D	x			X
079.BB2E	x			X
079.BB2F	x			x
079.BC	x			X
079.BD	x			X
079.BE	x			X
079.BF	x			X
079.BG	x			X
079.BH	x			X
079.BJ	x			X
079.BK	x			X
079.C1	x		X	
079.C21	x		X	
079.C220	x		X	
079.C22A	x		X	
079.C2A	x		X	
079.C3	x		X	
079.C40	x		X	
079.C4A	x		X	
079.C50	x		X	
079.C5A	x		X	
079.C61	x		X	
079.C62	x		X	
079.C6A	x		X	
079.D	x		X	

Tabell A2. Antall observasjoner per måned per stasjon.

Måned	Høyanger (079-58883)	Håland (079-58881)	Gautingsdal (079-58878)	Eiriksdal (079-58880)
Januar	0	0	0	0
Februar	1	1	1	1
Mars	0	0	0	0
April	2	2	2	2
Mai	2	2	2	2
Juni	2	2	2	2
Juli	2	2	2	2
August	3	3	2	3
September	3	3	2	3
Oktober	3	3	3	3
November	1	1	1	1
Desember	1	1	1	1

A.2 Data benyttet i tålegrenseberegningene

Tabell A3. Øvrige verdier beregnet for hvert enkelt delnedbørfelt.

Nedbørfelt/ delnedbørfelt	Areal nedbørfelt (km ²)	Areal innsjø (km ²)	Tilsig (mm/yr)	N-uttak ved hogst
Høyanger	96,95	8,61	2679	0,0
Håland	3,61	1,2*10 ⁻¹⁷	1950	0,0
Gau	5,87	1,0*10 ⁻⁷	2233	0,0
Eiriksdal	71,97	8,4	2877	0,0

Tabell A4. Konstanter. Verdier er i samsvar med CLRTAP (2017) og Austnes mfl. (2023), og videre referanser finnes der.

Parameter	Forklaring	Verdi	Enhet
Ni	Langtids nitrogenimmobilisering i jorda	3,57	mekv/m ² /år
Ni_bart	Langtids nitrogenimmobilisering i jorda i områder med bart fjell	0	mekv/m ² /år
Fde	Andelen av tilgjengelig nitrogen for utlekking som frigjøres ved denitrifikasjon	0,1	
Fde_myr	Andelen av tilgjengelig nitrogen for utlekking som frigjøres ved denitrifikasjon i myr	0,8	
Fde_bart	Andelen av tilgjengelig nitrogen for utlekking som frigjøres ved denitrifikasjon i områder med bart fjell	0	
SN	Massoverføringskoeffisienten for nitrogen (til beregning av retensjon i innsjøer)	5	m/år
SS	Massoverføringskoeffisienten for svovel (til beregning av retensjon i innsjøer)	0,5	m/år
k	Proporsjonalitetskonstant i beregning av ANC _{oaa, limit} *	0,2	
a	Atmosfærisk bidrag til før-industriell sulfatkonsentrasjon (til beregning av før-industriell sulfatkonsentrasjon)	3	mekv/m ³
b	Andelen av dagens sulfatkonsentrasjon som har geologisk opphav (til beregning av før-industriell sulfatkonsentrasjon)	0,17	
S	Basekationfluksen som gir F = 1 (dvs. at all sur nedbør blir nøytralisert i nedbørfeltet) (til beregning av F-faktoren)	400	meqv/m ² /år
Ca-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,037	
Mg-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,196	
Na-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,859	
SO4-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,103	
K-r	Forhold til Cl i sjøvann, brukt til sjøsaltkorreksjon	0,018	

* Justert for organiske syrer (oaa = organic acid adjusted).



Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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