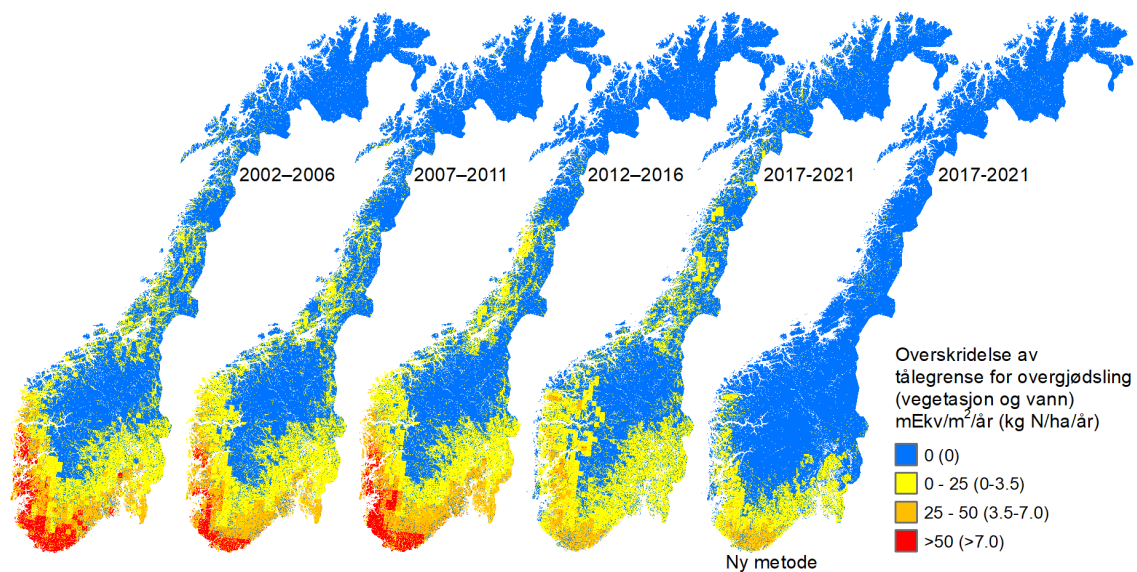
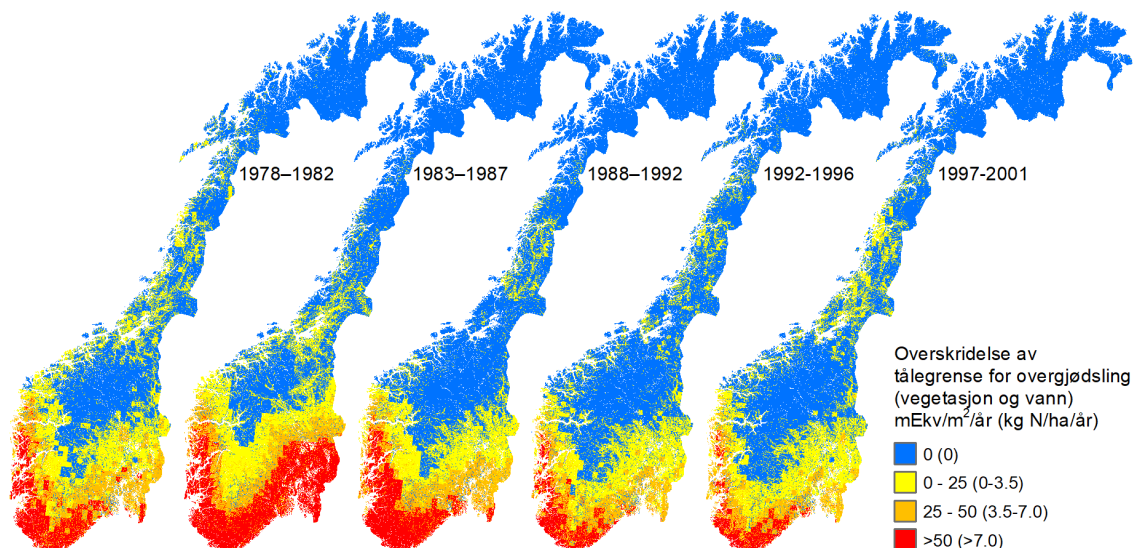


# Overskridelser av tålegrenser for forsuring og overgjødning for Norge

## Oppdatering med perioden 2017-2021



# 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](http://www.niva.no)

Tittel Overskridelser av tålegrenser for forsuring og overgjødning for Norge. Oppdatering med perioden 2017-2021	Løpenummer 7879-2023	Dato 03.07.2023
Forfatter(e) Kari Austnes, Cathrine Brecke Gundersen, James Edward Sample, Espen Lund	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norge	Sider 39

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet	Kontaktperson hos oppdragsgiver Gunnar Skotte
Oppdragsgivers utgivelse: M-2558 2023	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 220129

<p>Sammendrag</p> <p>Overskridelse av tålegrenser for forsuring av overflatevann og skogsjord, samt overgjødning av vegetasjon og overflatevann er oppdatert med data for perioden 2017-2021. Avsetningsdata for svovel og nitrogen er beregnet med både den tradisjonelle og en ny metode for denne perioden. Med tradisjonelle avsetningsdata for 2017-2021 er tålegrensen for forsuring av overflatevann overskredet for 7 % (SSWC<sub>0aa</sub>-modellen) og 19 % (FAB<sub>0aa</sub>-modellen) av Norges areal, tålegrensen for forsuring av skogsjord overskrides ikke, mens tålegrensen for overgjødning er overskredet for 36 % av landet. Generelt har overskredet areal vært lite forandret de siste periodene, men størrelsen på overskridelsene fortsetter å gå ned. Den nye metoden gir særlig lavere nitrogenavsetning. Dette gir lavere overskredet areal, spesielt for forsuring med FAB<sub>0aa</sub>-modellen og overgjødning. Avsetningsdataene fra den nye metoden regnes som mer realistiske. Det ble gjort ulike oppdateringer av tålegrensene. Dette hadde liten effekt på overskridelsene for forsuring, mens for overgjødning gav det høyere overskridelse.</p>
---

Fire emneord	Four keywords
<ol style="list-style-type: none"> <li>Tålegrenser</li> <li>Overskridelser</li> <li>Forsuring</li> <li>Overgjødning</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Critical loads</li> <li>Exceedances</li> <li>Acidification</li> <li>Eutrophication</li> </ol>

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

*Kari Austnes*  
Prosjektleder/Hovedforfatter

*Øyvind Kaste*  
Kvalitetssikrer

*Hans Fredrik Veiteberg Braaten*  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7615-2  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

**Overskridelser av tålegrenser for forsuring og  
overgjødning for Norge**  
Oppdatering med perioden 2017-2021

## Forord

NIVA er nasjonalt fokalsenter (National Focal Centre) i UNECEs program International Cooperative Programme on Modelling and Mapping of Critical Levels and Loads and Air Pollution Effects, Risks and Trends (ICP M&M) under Konvensjonen om langtransportert, grenseoverskridende luftforurensning (LRTAP-konvensjonen). Oppdraget som nasjonalt fokalsenter kommer fra Klima- og miljødepartementet (KLD). Som en del av dette arbeidet inngår jevnlig oppdateringer av tålegrensene for forsuring og overgjødning etter hvert som ny informasjon og kunnskap blir tilgjengelig.

Hvert femte år har Miljødirektoratet bedt Norsk institutt for vannforskning (NIVA) om oppdaterte beregninger og kart for overskridelser av tålegrensene for atmosfæriske tilførsler av svovel og nitrogen til vann, jord og vegetasjon. Denne rapporten viser oppdaterte tålegrensekart og overskridelser med avsetningsdata for perioden 2017–2021 i tillegg til data fra 1978-2016. Ettersom det er gjort en del større endringer av tålegrensene er det også tatt med en sammenligning av gamle og oppdaterte tålegrenser, samt overskridelser beregnet med gamle og oppdaterte tålegrenser.

Arbeidet har vært ledet av Kari Austnes. Hun har stått for grunnlagsarbeidet til oppdateringen av tålegrensene og hatt det overordnede ansvaret for arbeidet. Skrivningen av rapporten har vært et samarbeid mellom Kari Austnes og Cathrine Brecke Gundersen. Cathrine Brecke Gundersen har i tillegg bidratt til oppdateringen av tålegrensene. James E. Sample har stått for statistisk modellering og oppdaterte beregninger av tålegrenser og overskridelser. Espen Lund har laget kartene til rapporten. Utover dette har Vegar Bakkestuen, Norsk institutt for naturforskning (NINA), bidratt til å tilpasse de oppdaterte tålegrensene for overgjødning av vegetasjon til norske naturtyper. NILU og Meteorologisk Institutt, ved bl.a. Wenche Aas (NILU), Hilde Fagerli og Lewis R. Blake (MET) har levert avsetningsdata. I tillegg til den tradisjonelle metoden har det blitt utviklet en ny metode for beregning av avsetningsdata (se Blake mfl., 2023). En sammenligning av overskridelser beregnet ved å bruke avsetningsdata beregnet med tradisjonell og ny metode er inkludert i rapporten.

Arbeidet er gjennomført på kontrakt fra Miljødirektoratet. Kontaktperson hos Miljødirektoratet har vært Gunnar Skotte. Oppdateringen av tålegrensene har i stor grad blitt finansiert av tilskuddet fra KLD til det nasjonale fokalsenteret.

Oslo, 3. juli 2023

*Kari Austnes*

---

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Metoder for beregning av tålegrenser, avsetninger og overskridelser</b> .....	<b>10</b>
2.1 Tålegrenser for forsuring av overflatevann .....	11
2.1.1 SSWC-modellen .....	11
2.1.2 FAB-modellen .....	12
2.2 Tålegrenser for forsuring av skogsjord .....	13
2.3 Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann.....	14
2.4 Avsetninger .....	19
2.5 Overskridelser .....	22
<b>3 Resultater</b> .....	<b>24</b>
3.1 Overskridelser av tålegrenser for forsuring av overflatevann .....	24
3.2 Overskridelser av tålegrenser for forsuring av skogsjord .....	28
3.3 Overskridelser av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann .....	29
3.4 Effekter av oppdaterte tålegrenser for forsuring av overflatevann og overgjødning av vegetasjon og overflatevann .....	31
<b>4 Konklusjoner</b> .....	<b>36</b>
<b>5 Referanser</b> .....	<b>37</b>

## Sammendrag

Naturens tålegrenser er et mål på hvor mye naturen kan motta av et forurensende stoff uten at det påføres skade. Dette arbeidet omhandler tålegrenser for atmosfæriske tilførsler. For Norge er det beregnet tålegrenser for forsuring fra sterke syrer (svovel- og salpetersyre) av *i*) overflatevann og *ii*) skogsjord, og for *iii*) overgjødsling (eutrofiering) fra nitrogen til vegetasjon og overflatevann. Dette er en del av arbeidet under Konvensjonen om langtransportert, grenseoverskridende luftforurensing (LRTAP-konvensjonen). Hvert femte år beregnes overskridelser av tålegrensene for Norge. Ved behov gjøres det også oppdateringer av metoder og datagrunnlag.

Til beregning av overskridelse brukes avsetningsdata for svovel og nitrogen, levert av NILU og Meteorologisk institutt. For den siste perioden 2017-2021 har to ulike metoder blitt benyttet til å estimere avsetninger (tradisjonell og ny), og resultater fra begge metodene har blitt brukt til beregning av overskridelse. Den tradisjonelle metoden bygger på observasjoner og statistisk interpolering. Den nye metoden beregner våtavsetning ved å kombinere observasjoner fra NILU og resultater fra den kjemiske transportmodellen fra the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP-modellen), mens tørravsetning hentes direkte fra EMEP-modellen.

For forsuring av overflatevann beregnes tålegrensen med to ulike modeller:  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen (*The Steady-State Water Chemistry model*) og  $FAB_{\text{Oaa}}$ -modellen (*The First-order Acidity Balance model*). Betegnelsen «*oaa*» indikerer at modellene hensyntar konsentrasjon av organiske syrer (*oaa* = organic acid adjusted). Overskridelser fra  $FAB_{\text{Oaa}}$ -modellen er alltid høyere enn fra  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen, og førstnevnte anses å gi et verste falls-scenario med hensyn til framtidig nitrogenutlekking. Begge modellene ble oppdatert med nye data for vannføring og organiske syrer (kvantifiseres som TOC, totalt organisk karbon). De nye TOC-konsentrasjonsdataene ble interpolert romlig ved bruk av generalisert additiv modellering (GAM). For  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen ble konsentrasjoner av nitrat, som benyttes til beregning av overskridelse, oppdatert og interpolert i rom og i tid ved bruk av GAM. For  $FAB_{\text{Oaa}}$ -modellen ble enkelte nitrogenprosesser (N-immobilisering og denitrifisering) differensiert basert på arealtype.

Tålegrenser for forsuring av skogsjord beregnes med modellen Steady State Mass Balance (SMB). Ingen oppdateringer ble gjort knyttet til disse beregningene.

For overgjødsling av vegetasjon og overflatevann benyttes empiriske tålegrenser for ulike naturtyper. Disse har nylig blitt oppdatert under LRTAP-konvensjonen og har blitt tilpasset norske naturtyper. Overflatevann fikk en ny inndeling basert på TOC-konsentrasjon (som mål på humusinnhold) og klimatisk sone (boreal/alpin). For å gjøre denne inndelingen ble det brukt et biogeografisk kart i tillegg til de oppdaterte TOC-konsentrasjonene.

Beregninger av overskridelser for hele tidsserien, samt med avsetningsdataene for den nye metoden for 2017-2021, ble gjort med de oppdaterte tålegrensene (og oppdatert nitratavrenning for beregning av overskridelser med  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen). For å vurdere effektene av de ulike oppdateringene ble det gjort en egen sammenligning av overskridelser for 2012-2016 beregnet med gamle og oppdaterte tålegrenser (og gammel og oppdatert nitratavrenning).

Resultatene viser at:

- For 2017-2021 og beregnet med tradisjonelle avsetningsdata er overskredet areal for forsuring av overflatevann 7 og 19 % når beregnet med henholdsvis  $SSWC_{0aa}$ - og  $FAB_{0aa}$ -modellen. For tilsvarende periode og avsetningsdata er det ingen overskridelse av tålegrenser for forsuring av skogsjord, mens 36 % av Norge er overskredet med hensyn til tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann.
- Overskredet areal har gått markant ned siden slutten av 1970-tallet, men det har vært liten endring siden 2007-2011 for forsuring av overflatevann og siden 1988-1992 for overgjødning. Størrelsen på overskridelsen har imidlertid fortsatt å avta, spesielt for forsuring av overflatevann med  $FAB_{0aa}$ -modellen og for overgjødning.
- Avsetningen av svovel og nitrogen beregnet med den nye metoden er lavere enn når beregnet med den tradisjonelle metoden, spesielt for nitrogen. Det fører til lavere overskredet areal, spesielt for forsuring av overflatevann beregnet med  $FAB_{0aa}$ -modellen og overgjødning av vegetasjon og overflatevann. Gjennomsnittlig størrelse på overskridelsen går imidlertid ikke ned med den nye avsetningsmetoden, fordi nitrogenavsetningen på Sør- og Sør-Vestlandet fortsatt er relativt høy. De nye avsetningsdataene regnes som mer realistiske, fordi man kombinerer observerte med modellerte data, som komplementerer og utfyller observasjonene og gir en høyere oppløsning i tid og rom. De estimerte overskridelsene for 2017-2021 beregnet med de nye avsetningsdataene anses dermed også som mer pålitelige. Dette betyr at de historiske overskridelsene sannsynligvis har vært noe lavere enn det som har framkommet tidligere. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere avviket, i og med at antall overvåkingstasjoner for nedbørkjemi er redusert over tid og usikkerheten i interpoleringen mellom stasjoner (den tradisjonelle metoden) har økt som følge av dette.
- Sammenligning av overskridelser for 2012-2016 for å se på effektene av oppdateringene av tålegrensene for forsuring av overflatevann (og oppdatert nitratavrenning til beregning av overskridelser med  $SSWC_{0aa}$ -modellen) viste kun et litt høyere overskredet areal (+1 % for begge modeller) som følge av oppdateringene. Tilsvarende sammenligning for overgjødning av vegetasjon og overflatevann viste at oppdateringen av de empiriske tålegrensene hadde en langt større effekt, både på overskredet areal (+12 %) og størrelsen av overskridelsene.

## Summary

Title: Exceedances of critical loads for acidification and eutrophication in Norway. Update including 2017–2021

Year: 2023

Author(s): Kari Austnes, Cathrine Brecke Gundersen, James E. Sample, Espen Lund

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7615-2

The critical load is a measure of the pollutant level nature can be exposed to before experiencing harmful effects. This study concerns critical loads for atmospheric deposition. Critical loads have been calculated for Norway for acidification from strong acids (sulphuric- and nitric acids) of *i*) surface waters and *ii*) forest soils, and *iii*) for eutrophication of vegetation and surface waters from nitrogen. The work falls under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (the LRTAP Convention). Exceedances of the critical loads for Norway are calculated every five years. The data and methods used for the calculations are updated as needed.

To calculate exceedances of the critical loads, sulphur and nitrogen deposition data is used, which is provided by NILU and the Meteorological institute. For the most recent period, 2017-2021, two different methods have been used to estimate the deposition (traditional and new), and the results from both methods have been used to calculate the exceedances. The traditional method is based on observations and statistical interpolation. The new method calculates wet deposition by combining observations from NILU and results from the chemical transport model from the European Monitoring and Evaluation Programme (the EMEP model), while dry deposition is obtained directly from the EMEP model.

For acidification of surface waters, the critical load is calculated using two different models: the  $SSWC_{\text{aaa}}$  model (The Steady-State Water Chemistry model) and the  $FAB_{\text{aaa}}$  model (The First-order Acidity Balance model). The designation "aaa" indicates that the models consider the concentration of organic acids (aaa = organic acid adjusted). Exceedances from the  $FAB_{\text{aaa}}$  model are typically higher than from the  $SSWC_{\text{aaa}}$  model, and the former is considered to provide a worst-case scenario with regards to future nitrogen leaching. Both models were updated with new data for discharge and organic acids (quantified as TOC, total organic carbon). The new TOC concentration data were interpolated in space using generalized additive modelling (GAM). For the  $SSWC_{\text{aaa}}$  model, concentrations of nitrate, which are used to calculate exceedance, were updated and interpolated in space and time using GAM. For the  $FAB_{\text{aaa}}$  model certain nitrogen processes (N immobilization and denitrification) were differentiated based on land type.

Critical loads for acidification of forest soils are calculated with the Steady State Mass Balance (SMB) model. No updates were made related to these calculations.

Empirical critical loads are used for eutrophication of vegetation and surface water. These have recently been updated under the LRTAP Convention and were subsequently adapted to the Norwegian nature types. Surface waters were split into new sub-categories based on TOC concentration (as a measure of humic substances) and climatic zone (boreal/alpine). To make this division, a biogeographical map was used in addition to the updated TOC concentrations.

Calculations of exceedances for the entire time series, as well as with deposition data from the new method for 2017-2021, were made using the updated critical loads (and updated nitrate runoff for



calculation of exceedances with the  $SSWC_{0aa}$  model). To assess effects from the various updates, a separate comparison was made of exceedances for 2012-2016 calculated with the old and updated critical loads (and old and updated nitrate runoff).

The results show that:

- For 2017-2021 and calculated with the traditional deposition data the exceeded area for critical loads for acidification of surface waters is 7 and 19% when calculated with the  $SSWC_{0aa}$  and  $FAB_{0aa}$  model, respectively. For the same period and with the same deposition data, there is no exceedance of critical loads for acidification of forest soils, while 36% of Norway is exceeded with regards to critical loads for eutrophication of vegetation and surface waters.
- The exceeded area has decreased markedly since the late 1970s, but there has been little change since 2007-2011 for acidification of surface water and since 1988-1992 for eutrophication. However, the magnitude of the exceedance has continued to decline, particularly for acidification of surface waters when using the  $FAB_{0aa}$  model and for eutrophication.
- Sulphur and nitrogen deposition calculated with the new method is lower than when calculated with the traditional method, particularly for nitrogen. This leads to lower exceeded area, especially for acidification of surface waters calculated with the  $FAB_{0aa}$  model and eutrophication of vegetation and surface water. However, the average magnitude of the exceedance does not decline, because the nitrogen deposition in Southern and South-Western Norway is still relatively high. The new deposition data are considered more realistic, because observed and modelled data are combined, which complement the observations and increases the resolution in space and time. The estimated exceedances for 2017-2021 calculated with the new deposition data are consequently also considered more reliable. This means that the historical exceedances have probably been somewhat lower than what has previously been reported. However, it is difficult to quantify the deviation, since the number of monitoring stations for precipitation chemistry has been reduced over time and the uncertainty in the interpolation between stations (the traditional method) has consequently increased.
- The comparison of exceedances for 2012-2016 to assess the effects from updated critical loads for acidification of surface water (and updated nitrate runoff for calculation of exceedance with the  $SSWC_{0aa}$  model) showed only a minor increase in exceeded area (+1% for both models) resulting from the updates. The similar comparison for eutrophication of vegetation and surface waters showed that the update of the empirical critical loads had a far larger effect, both on the area exceeded (+12%) and the magnitude of the exceedances.

# 1 Introduksjon

Naturens tålegrenser (eng.: critical loads) er et mål på hvor mye naturen kan motta av et forurensende stoff uten at det påføres skade. Begrepet er et akseptert utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av luftforurensninger. Langtransporterte luftforurensninger, som svovel og nitrogen, kan true det biologiske mangfoldet. Syrer av svovel og nitrogen kan føre til forsuring av overflatevann og jord, og økt tilførsel av nitrogen kan i tillegg føre til overgjødsling/eutrofiering av vegetasjon og overflatevann. Tålegrensen kan sammenliknes direkte med avsetningsdata, og en eventuell overskridelse av tålegrensen kan beregnes ut fra de to størrelsene. Det gir grunnlag for og muligheten til, via internasjonale forhandlinger, å fatte politiske beslutninger om miljømål som står direkte i forhold til tålegrensene.

Hvert medlemsland i Konvensjonen om langtransportert, grenseoverskridende luftforurensning (LRTAP-konvensjonen) utarbeider nasjonale tålegrensedata. Arbeidet er organisert under programmet International Cooperative Programme on Modelling and Mapping of Critical Levels and Loads and Air Pollution Effects, Risks and Trends (ICP M&M) og deres koordineringssenter Coordination Centre for Effects (CCE). CCE sammenstiller tålegrensene samt beregner og rapporterer overskridelser for hele Europa. Tålegrensekonseptet ligger til grunn for både den andre svovelprotokollen underskrevet i Oslo i 1994 og multi-effect/multi-pollutant-protokollen som ble undertegnet i Göteborg i 1999 (Göteborgprotokollen) og revidert i 2012<sup>1</sup>.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har vært nasjonalt Focal Centre for ICP M&M siden starten av programmet i 1989 og har bidratt internasjonalt, spesielt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for svovel og nitrogen for forsuring av overflatevann. Nasjonalt er det utarbeidet tålegrensekart for hele Norge og for Svalbard. Forrige oppdatering av tålegrenser og overskridelser i Norge ble publisert i 2018 (Austnes mfl., 2018).

---

<sup>1</sup> <https://unece.org/protocols>

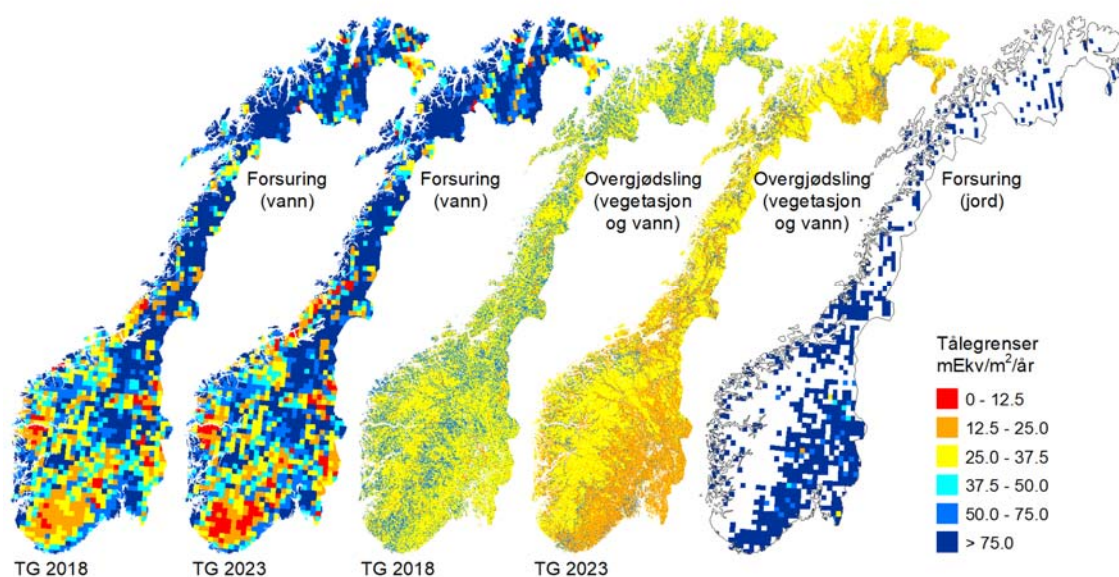
---

## 2 Metoder for beregning av tålegrenser, avsetninger og overskridelser

For Norge utarbeides det tålegrenser for forsurening fra sterke syrer (svovel- og salpetersyre) til *i*) overflatevann og *ii*) skogsjord og for *iii*) overgjødning (eutrofiering) fra nitrogen til vegetasjon og overflatevann. Eventuelle overskridelser beregnes for fem-årsperioder fra 1978 til 2021 og er basert på avsetningsdata for de tilhørende tidsperiodene.

Metoder og datagrunnlag for beregning av tålegrenser og overskridelser for forsurening av overflatevann ble gjennomgått og vurdert i Austnes mfl. (2020), og det er gjort flere endringer i beregningene basert på dette. I tillegg har det nylig blitt foretatt en revidering av de empiriske tålegrensene for overgjødning av vegetasjon og overflatevann fra nitrogen (Bobbink mfl., 2022). De norske tålegrensene har blitt oppdatert basert på disse. For forsurening av skogsjord har det ikke blitt utført oppdateringer av metode eller datagrunnlag. Oppdateringene beskrives i det følgende sammen med beskrivelse av metodene. For å kunne sammenlikne resultater fra den siste perioden med de foregående er overskridelsene beregnet på nytt med de oppdaterte tålegrensene for hele tidsperioden. Se Figur 1 for illustrasjon av tålegrenser beregnet med gamle (TG 2018) og oppdaterte metoder og datagrunnlag (TG 2023).

For den siste perioden (2017-2021) har avsetning av svovel og nitrogen blitt beregnet med to ulike metoder (tradisjonell og ny). Basert på dette har det blitt beregnet overskridelser med avsetningsdata fra begge disse metodene, men kun med oppdaterte metoder og data for beregning av tålegrenser (TG 2023).



Figur 1. Gamle (TG 2018) og oppdaterte (TG 2023) tålegrenser for forsurening av vann (med  $SSWC_{0aa}$ -modellen) og overgjødning av vegetasjon og overflatevann, samt tålegrenser for forsurening av skogsjord, som er uforandret. Merk at tålegrenser fra  $FAB_{0aa}$ -modellen ikke er inkludert her, ettersom de beregnes separat for svovel og nitrogen.

## 2.1 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 minus en mengde buffer som skal beskytte utvalgt biota mot skader. Den beskyttende bufferen er en grenseverdi som kalles  $ANC_{limit}$ . Den er satt for å kunne opprettholde en reproduserende ørretbestand.

Tålegrenser beregnes for hele Norge basert på et rutenett (BLR: bredde- og lengdegrad rute). Hver rute utgjør 1/4 lengdegrad ganger 1/8 breddegrad, som til sammen utgjør 2303 ruter. Tålegrenser beregnes for hver rute med utgangspunkt i en tilegnet vannkjemi fra best tilgjengelige data. Vannkjemien var tidligere primært basert på data fra regionalundersøkelsen i 1986 (Lien mfl., 1987; Henriksen, 1998). TOC-konsentrasjon ble lagt til rutene senere, og denne var hentet fra regionalundersøkelsen i 1995 (Skjelkvåle mfl., 1996). Ved oppdateringen av metoden i denne rapporten er det benyttet data fra regionalundersøkelsen i 1995, den nasjonale innsjøundersøkelsen i 2019 (Hindar mfl., 2020), samt data fra tidstrendsjøene (Vogt og Skancke, 2022). Bruken av de ulike dataene er beskrevet nærmere i det følgende. Vannføringen som benyttes er endret fra den gamle vannføringsnormalen for 1961-1990 til den nye normalen for 1991-2020, beregnet av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Denne perioden overlapper bedre med hele perioden det beregnes overskridelser for.

To ulike modeller benyttes parallelt:

1. SSWC-modellen (*The Steady-State Water Chemistry model*) beregner tålegrenser for sterk syre og overskridelse med utgangspunkt i at utlekkingen av nitrogen forblir konstant på dagens nivå.
2. FAB-modellen (*The First-order Acidity Balance model*) beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen, og samlet overskridelse av disse med utgangspunkt i at utlekkingen av nitrogen vil være høyere i framtiden.

Modellene er kort beskrevet her. For flere detaljer henvises det til Henriksen og Posch (2001) og CLRTAP (2017).

### 2.1.1 SSWC-modellen

Med SSWC-modellen beregnes tålegrensen fra før-industriell konsentrasjon av basekationer og  $ANC_{limit}$ . Endringen i vannkjemien fra før-industriell tid til i dag anses kun å være et resultat av prosesser med ionebytte i jorda som følge av avsetning av sure anioner. Forholdet mellom dagens og før-industriell vannkjemi ble tidligere beregnet ved hjelp av en faktor. Fra 2008 (Larssen mfl., 2008) har før-industriell konsentrasjon av basekationer blitt beregnet fra en regresjon av før-industriell (1860) mot dagens (1986) konsentrasjon av basekationer. Regresjonen er basert på modellresultater for 83 forsuringfølsomme innsjøer (Larssen mfl., 2005), modellert med den dynamiske modellen MAGIC (*Model of Acidification of Groundwater in Catchments*) (Cosby mfl., 1985; Cosby mfl., 2001). Denne regresjonen brukes deretter til å beregne før-industriell basekationkonsentrasjon fra basekationkonsentrasjonen for hver rute (som primært er fra 1986). I overskridelsesrapporten fra 2018 (Austnes mfl., 2018) ble det foretatt en mindre justering, ved at kalium er tatt med i beregningene. Der kaliumverdier mangler, er konsentrasjonen satt til 0. Det samme har også tidligere blitt gjort der konsentrasjon av natrium mangler. Det er ikke gjort noen endringer i beregning av før-industriell basekationkonsentrasjon i forbindelse med denne rapporten.

Det benyttes en variabel  $ANC_{limit}$ . Det vil si at den varierer med opprinnelig konsentrasjon av basekationer. Det resulterer i en lavere  $ANC_{limit}$  der konsentrasjonen av basekationer i utgangspunktet var lav. Fra 2008 er det også inkludert variabilitet med tanke på konsentrasjon av organiske syrer (kvantifisert som TOC: *total organic carbon*). Dette gir lavere tålegrenser når konsentrasjonen av organiske syrer er høy. Fremgangsmåte og metodeutvikling har blitt beskrevet tidligere (Lydersen mfl., 2004; Hindar og Larssen, 2005). Når SSWC-modellen tar hensyn til organiske syrer betegnes modellen som SSWC<sub>oaa</sub> (oaa = *organic acid adjusted*).

De siste årene har det blitt observert en økning av organiske syrer i overflatevann, spesielt på Sør- og Østlandet (de Wit mfl., 2016). Ettersom økningen i stor grad skyldes nedgang i sur nedbør anses dagens nivåer å være de mest «naturlige». TOC-konsentrasjonene har derfor blitt oppdatert til 2019-nivå ved hjelp av romlig, statistisk modellering. Datagrunnlaget var den nasjonale innsjøundersøkelsen i 2019, samt data for tidstrendsjøene fra 2019. Fra førstnevnte ble 785 innsjøer valgt ut som minimalt påvirket av lokale antropogene aktiviteter (landbruk, urbane aktiviteter og punktutslipp). Innsjøene er relativt jevnt fordelt utover landet. Sistnevnte omfatter 78 innsjøer, primært fra området i Sør-Norge som har vært spesielt utsatt for avsetninger av nitrogen og svovel. For å fastsette en TOC-konsentrasjon for hver BLR-rute ble det benyttet generalisert additiv modellering (GAM). Denne metoden egner seg godt til modellering i rom (og i tid) ved at den fleksibelt beskriver forskjellige former for ikke-lineære sammenhenger mellom variabler. Ulike variabler og kombinasjoner av interaksjoner ble testet og vurdert før følgende ble valgt: Som interaksjoner ble UTM-koordinater inkludert, det ble benyttet en utjevningssfunksjon av typen «kubisk spline», og Gamma-distribusjon med log-link<sup>2</sup>. Modellen beregnet TOC konsentrasjoner i 1 km x 1 km ruter, som det igjen ble beregnet gjennomsnitt av for hver BLR. Dette anses som en forbedring fra tidligere benyttede TOC-konsentrasjoner fra 1995-regionalundersøkelsen, både med tanke på høyere, «mer naturlige», TOC-konsentrasjoner og den forbedrede romlige fordelingen av dataene. Se Figur 10 for en sammenlikning av TOC-konsentrasjoner fra tidligere og ny metode.

### 2.1.2 FAB-modellen

FAB-modellen er en massebalansmodell, som hensyntar ulike kilder og sluk til nitrogen, svovel og basekationer i nedbørfeltet og innsjøen. Modellen beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen. Beregningene for basekationer og  $ANC_{limit}$  er de samme som for SSWC-modellen. Dette gjør at også FAB-modellen blir justert for effekten av organiske syrer (FAB<sub>oaa</sub>), og at oppdatering av TOC-konsentrasjonene beskrevet over også gjelder for FAB-modellen.

Den viktigste forskjellen mellom FAB- og SSWC-modellen er at FAB-modellen ikke bruker dagens opptak av nitrogen (basert på avrenning) i nedbørfeltet, men antatt netto opptak under «steady state» en gang i framtiden. I dag tar vegetasjon, særlig skog, opp mye av nitrogenet som avsettes. Under framtidig «steady state» antas systemet å være «mettet» på nitrogen slik at opptaket blir lavere enn i dag. Det fører til, sammenliknet med SSWC-modellen, at nitrogen bidrar i større grad til forsuring, gitt samme avsetning. Forskjellen mellom modellene blir størst der det er mye skog i nedbørfeltet, og minst der det er mye bart fjell og skrint jordsmonn.

Det er ikke mulig å sammenlikne tålegrenser direkte mellom de to modellene ettersom SSWC-modellen gir én tålegrenseverdi mens FAB-modellen gir separate tålegrenser for svovel og nitrogen.

---

<sup>2</sup> Flere detaljer om metodikken og metodevalg er tilgjengelig her:

[https://nbviewer.org/github/JamesSample/critical\\_loads\\_2/blob/master/notebooks/workflow\\_update\\_2023/02b\\_statistical\\_models.ipynb](https://nbviewer.org/github/JamesSample/critical_loads_2/blob/master/notebooks/workflow_update_2023/02b_statistical_models.ipynb)

Imidlertid kan overskridelser av tålegrenser sammenliknes direkte mellom de to modellene. Hovedforskjeller i beregning av overskridelser er at det i SSWC-modellen antas at sulfat er mobilt, mens at nitrogen holdes igjen i nedbørfeltet på samme nivå som nå. Nitrogenavsetningen inngår derfor ikke i beregningen av overskridelser, kun dagens nitrogenavrenning. Med FAB-modellen benyttes både svovel- og nitrogenavsetningen i beregningen av overskridelser. Ved samme avsetning vil overskridelsene derfor bli høyere med FAB-modellen. FAB-modellen kan dermed anses som et verste falls-scenario.

Oppdateringer knyttet til FAB-modellen inkluderer en differensiering av konstanter for nitrogenprosessene (N-immobilisering og denitrifisering) basert på arealtype, i tillegg til det som allerede har blitt nevnt for  $ANC_{limit}$ . Disse konstantene var tidligere de samme for alle typer areal, men har nå blitt noe differensiert. AR50-kartet<sup>3</sup> er benyttet som kartgrunnlag for differensieringen, og det har blitt skilt på arealtype (med henvisning til AR50-kategoriene) vann (81 Ferskvann: Elv og innsjø), skog (30 Skog: Skogdekt areal), bart areal (51 Ikke vegetasjon, impediment; 70 Bre: Is og snø som ikke smelter i løpet av sommeren), myr (60 Myr: Areal som på overflata har preg av myr) og øvrig areal. Nitrogen-immobilisering var tidligere satt til 0.5 kg N/ha/år for alt landareal. Jamført med manualen for ICP M&M (CLRTAP, 2017) er denne verdien basert på beregninger for skog. Den er dermed ikke representativ for alt areal. For FAB-modellen antas det at nitrogenavsetningen går uendret til overflatevann når den avsettes på bart areal eller direkte på overflatevannet (CLRTAP, 2017). Immobiliseringen ble derfor satt til 0 kg N/ha/år for bart areal, mens den for resterende landareal forble 0.5 kg N/ha/år. Tilsvarende har andelen (0-1) av avsetningen som går til denitrifikasjon blitt differensiert. For bart areal ble den satt til 0 og for myr ble den, jamført med manualen, satt til 0.8. For resterende landareal ble andelen satt til 0.1, som tidligere ble benyttet for alt landareal. Immobilisering og denitrifikasjon for overflatevann var satt til null allerede i eksisterende metode, men mens andelen vann per BLR tidligere var satt konstant (0.05), ble den nå endret til reell andel i henhold til kartgrunnlaget. Tilsvarende ble også andelen skog endret fra konstant (0.95) til reell andel (benyttes i beregning av nitrogen-uttak fra skog).

## 2.2 Tålegrenser for forsuring av skogsjord

Tålegrensen for sterk syre til skogsjord er basert på at syretilførsel ikke skal medføre at forholdet mellom basekationer og aluminiumioner (BC:Al) i jordvannet blir lavere enn 1. Jordkjemiske data i Norge foreligger hovedsakelig for jord dekket av skog, og tålegrenser for jord er derfor kun beregnet for skogsjord. Tålegrensene er beregnet for det samme rutenettet som er benyttet for tålegrenser for forsuring av overflatevann, men bare der det er skogsjord (662 av rutene).

Tålegrensene for skogsjord er beregnet med modellen Steady State Mass Balance (SMB) (CLRTAP, 2017). Beregningene gjelder tilførsel av svovel under forutsetningen at tilført nitrogen tas opp og ikke har en forsurende effekt. Dette er en forenkling som reflekterer dagens situasjon i skogsområder (høyt nitrogenopptak), men er et bestefalls-scenario for framtiden, fordi det antas at nitrogentilførsel heller ikke i framtiden vil bidra til forsuring av skogsjord i Norge.

For beregning av forvittringshastighet, en viktig inngangsparameter til SMB-modellen, er MAGIC-modellen benyttet (Larssen og Høgåsen, 2003). Siden tålegrensene for skogsjord i svært liten grad har vært overskredet i Norge, er det ikke gjort endringer av tålegrensene siden 2003. Tålegrensekartet for jord (Figur 1) viser at tålegrensene generelt er høye i områdene hvor det finnes skogsjord.

---

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

## 2.3 Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann

Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann er basert på at tilførsel av nitrogen ikke skal overskride en bestemt årlig mengde, gitt for ulike typer vegetasjon og vann. I Norge benytter vi empirisk bestemte tålegrenser. Disse er fastsatt gjennom felles arbeid under LRTAP-konvensjonen og har nylig blitt revidert (Bobbink mfl., 2022).

De empiriske tålegrensene er satt for vegetasjonstyper definert ved EUNIS habitatklasser<sup>4</sup>. For å tilegne tålegrensene til de ulike typene areal og vegetasjon som finnes i Norge brukes et vegetasjonskart. Fra og med forrige overskridelsesrapport (Austnes mfl., 2018) er det blitt benyttet et vegetasjonskart utarbeidet av Northern Research Institute (Norut), basert på satellittdata (Johansen, 2009). Naturtypene i dette kartet ble da oversatt til nærmeste EUNIS-klasse. Ettersom EUNIS-klassifiseringen og hvilke klasser det er satt tålegrense for nå er noe endret, måtte oversettingen til EUNIS-klasse gjøres på nytt. I den grad det er forskjell i oversettingen, er dette markert som gammel og ny EUNIS-klasse i tabell 1. I noen tilfeller eksisterer det ikke noe forslag til tålegrense for den EUNIS-klassen som lignet mest på naturtypen i det norske vegetasjonskartet. Da er tålegrensen for lignende naturtyper benyttet.

Ved revideringen ble det satt tålegrenser for flere undertyper av vann. Tidligere er det kun benyttet én tålegrense for vann for Norge, men med denne endringen benyttes nå ulike tålegrenser for alpine eller boreale oligotrofe vann, samt dystrofe vann. Arealet med naturtypen vann i Norut-kartet måtte derfor deles på disse tre kategoriene. Skillet mellom oligotroft og dystroft vann er satt ved 15 mg/l TOC, tilsvarende skillet mellom vanntypene humøs og svært humøs under vannforskriften (Direktoratgruppen Vanndirektivet, 2018). Inndelingen basert på TOC-konsentrasjon er gjort på bakgrunn av den romlige GAM-modellen som er beskrevet over for SSWC-modellen (kapittel 2.1.1). Det biogeografiske kartet DAT-85-en ble benyttet for å differensiere mellom alpine og boreale områder. Kartet har blitt utarbeidet av det Europeiske Miljøbyrået (EEA, 2016).

De empiriske tålegrensene i (Bobbink mfl., 2022) er angitt som intervaller med en øvre og en nedre verdi. I tråd med føre var-prinsippet og Norges relativt kjølige klima og næringsfattige jordsmonn, blir den laveste verdien i intervallet benyttet.

For Norge som helhet er det benyttet fire ulike verdier for tålegrenser (til sammenlikning ble det benyttet tre i forrige rapport). Tålegrensekartet for overgjødning av vegetasjon og overflatevann (Figur 1) viser derfor, i motsetning til de andre tålegrensekartene, kun disse fire verdiene, altså 2, 3, 5 eller 10 kg N/ha/år (14,3, 21,4, 35,7 eller 71,4 mekv/m<sup>2</sup>/år) (Tabell 1). Det er ikke satt noen tålegrense for naturtypene «Dyrka mark», «By og tettsted» og «Uklassifisert/skygge» i Norut-kartet, da det er ansett som irrelevant (de to første) eller for usikkert (den siste). Disse arealene er likevel med i totalarealet ved beregning av prosent overskredet areal.

Geografiske mønstre i tålegrenseverdi kommer til syne i kartet i Figur 1. De to laveste nivåene er særlig i utstrakte områder i øst og langs kysten, i Trøndelag og på Finnmarksvidda, medium nivå dekker mye av resten av landet, mens det høyeste nivået er spredt mer utover og utgjør mindre sammenhengende områder. Sammenliknet med tålegrensene benyttet i den forrige rapporten (TG 2018) er det nå (TG 2023) tydelig lavere tålegrenser og mer tydelige regioner med de laveste tålegrensene (Figur 1).

<sup>4</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification-1>

Tabell 1. Naturtyper i vegetasjonskartet fra Norut, tilsvarende EUNIS-klasse og tålegrenser fastsatt for disse, tålegrenser benyttet i tålegrensekartet og mulige effekter ved tålegrenseoverskridelser. Tålegrenser i kg N/ha/år.

## pålitelig, # nokså pålitelig, (#) ekspertvurderinger.

2003: Achermann og Bobbink (2003); 2011: Bobbink og Hetteling (2011); 2022: Bobbink mfl. (2022).

Norut-nr	Norut-navn	EUNIS-klasse ny (gammel)	EUNIS-navn	2003 <sup>5</sup>	2011 <sup>5</sup>	2022	Benyttet tålegrense	Indikasjon på overskridelse
1	Barskog - tett tresjikt	T3F (G3) <sup>6</sup>	Dark taiga	10–20#	5–10##	3-5##	3	Endringer i sammensetning av epifyttisk lav og bunnlevende moser, økning av frittlevende alger, nedgang i N-fiksering.
2	Barskog og blandingskog - åpent tresjikt	T3 (G4.2) <sup>7</sup>	Coniferous forest	10–20#	5–15##	3–15##	3	Endringer i jordprosesser, næringsubalanse, endret sammensetning av mykorrhiza og bunnvegetasjon, økt dødelighet ved tørke.
3	Lavrik furuskog	T3G (G3.B)	<i>Pinus sylvestris</i> light taiga	10–20#	5–10#	2-5#	2	Endringer i sammensetning av epifyttisk lav og bunnlevende moser, økning av frittlevende alger, nedgang i N-fiksering.
4	Lågurtskog og edellauvskog	T1 (G1)	Deciduous broad-leaved forest	10–20#	10–20##	10–15##	10	Endringer i jordprosesser, næringsubalanse, endret sammensetning av mykorrhiza og bunnvegetasjon.
5	Høgstaude- og storbregnelauvskog							

<sup>5</sup> Hvis forskjellig er tålegrensen fra tidligere rapporter valgt i henhold til ny oversettelse til EUNIS-klasse

<sup>6</sup> T3F mer spesifikk enn den tidligere benyttede G3

<sup>7</sup> Ingen ny EUNIS-klasse som tilsvarer G4.2. Er en blanding av T3F og T3G, så velger å bruke grensene for den generelle T3 her



Norut-nr	Norut-navn	EUNIS-klasse ny (gammel)	EUNIS-navn	2003 <sup>5</sup>	2011 <sup>5</sup>	2022	Benyttet tålegrense	Indikasjon på overskridelse
6	Blåbær- og småbregnebjørkeskog	T1C15 (G1.918)	Eurasian boreal Betula woods				3 <sup>8</sup>	
7	Kreklingbjørkeskog							
8	Lavrikbjørkeskog							
9	Tuemyr og lågvokst fastmattemyr	Q1 (D1)	Raised and blanket bogs	5–10##	5–10##	5–10##	5	Økning av karplanter, nedgang av moser, endret vekst og sammensetning av moser, økning av N i torv og torvann.
10	Høgvokst mattemyr (Høgstarmyr)	Q2 (D2)	Valley mires, poor fens and transition mires	10–20#	10–15#	5–15##	5	Økt innslag av starr og karplanter, negativ effekt på moser.
11	Blautmyr og åpen sumpvegetasjon							
18	Urterik eng (lavland og fjell)	R1P (E1.9)	Oceanic to subcontinental inland sand grassland on dry acid and neutral soils	10–20(##)	8–15(##)	5–15(##)	5	Nedgang i lav, økning i biomasse.

<sup>8</sup> Ingen tålegrenser for denne EUNIS-klassen, satt som for barskog (Norut-nr 1 og 2)

Norut-nr	Norut-navn	EUNIS-klasse ny (gammel)	EUNIS-navn	2003 <sup>5</sup>	2011 <sup>5</sup>	2022	Benyttet tålegrense	Indikasjon på overskridelse
19	Gras- og musøresnøleie	R411 (E4.11)	Boreo-alpine acidocline snowpatch grassland and herb habitats				5 <sup>9</sup>	
20	Ekstremsnøleier							
15	Lavhei	(E4.2)	Moss and lichen dominated mountain summits	5-10#	5-10#	5-10#	3 <sup>10</sup>	Endringer i artssammensetning, effekt på moser eller lav.
13	Gras- og frytlerabb	R42 (E4.3)	Boreal and arctic acidophilous alpine grassland		5-10#		5 <sup>11</sup>	Økning i nitrofile graminider og endringer i diversitet
12	Ekspnerte rabber, blokkmark, berg i dagen (lavland og fjell)	S2 (F2)	Arctic, alpine and sub-alpine scrub habitats	5-15(#)	5-15#	5-10#	5	Nedgang i lav, moser og lyngvekster
14	Lyngrik rabb							
16	Lyngrik leside							

<sup>9</sup> Ingen tålegrenser for denne EUNIS-klassen, satt som for annen fjellvegetasjon

<sup>10</sup> Ingen ny EUNIS-klasse her. I Bobbink et al. (2022) er den gamle EUNIS-klassen beholdt, med samme tålegrenser. Ettersom lavhei og lavrik furuskog (Norut-nr 3) er relativt like, bør det ikke være for stor avstand i tålegrensene mellom disse. EUNIS-klassen «Moss and lichen dominated mountain summits» er heller ikke helt dekkende for lavhei. Grensa for lavhei settes derfor til 3 kg N/ha/år

<sup>11</sup> Denne EUNIS-klassen er ikke inkludert i Bobbink et al. (2022), så her beholdes samme tålegrense som før

Norut-nr	Norut-navn	EUNIS-klasse ny (gammel)	EUNIS-navn	2003 <sup>5</sup>	2011 <sup>5</sup>	2022	Benyttet tålegrense	Indikasjon på overskridelse
17	Lynghei og frisk rishei (lavland og fjell)	S411/S42 (F4.11/F4.2)	Northern wet heath/dry heaths	10-20/25 (#)/#	10-20 #/(#)/##	5-15##	5	Nedgang i røsslyngdominans, moser og lav, økt graminidevekst, økt N-utlekking, endringer i plantebiokjemi, økt følsomhet for abiotisk stress <sup>12</sup>
21	Bre, snødekt mark	U4 (H4)	Snow or ice-dominated habitats			5	5 <sup>5</sup>	
22	Vann (TOC <= 15 mg/l, fjell)	C1.1	Alpine and sub-arctic clear water lakes (permanent oligotrophic)	5-10##	3-10##	2-4##	2	Økt produktivitet hos alger og endring i næringsbegrensning hos fyttoplankton fra N til P
22	Vann (TOC <= 15 mg/l, skog)	C1.1	Boreal clear-water lakes (permanent oligotrophic)	5-10##	3-10##	3-6##	3	
22	Vann (TOC > 15 mg/l)	C1.4	Permanent dystrophic lakes, ponds and pools	5-10##	3-10##	5-10 (#)	5	

<sup>12</sup> Type effekt varierer noe med vegetasjonstype, jmf. Bobbink et al. (2022)

## 2.4 Avsetninger

De totale atmosfæriske avsetningene av svovel- og nitrogenforbindelser til Norge har blitt oppdatert for perioden 2017-2021 (Figur 2 og Figur 3). Resultatene er tilgjengelige i en separat rapport (Blake mfl., 2023). Avsetningene har blitt beregnet med to ulike metoder som her omtales som den tradisjonelle og den nye.

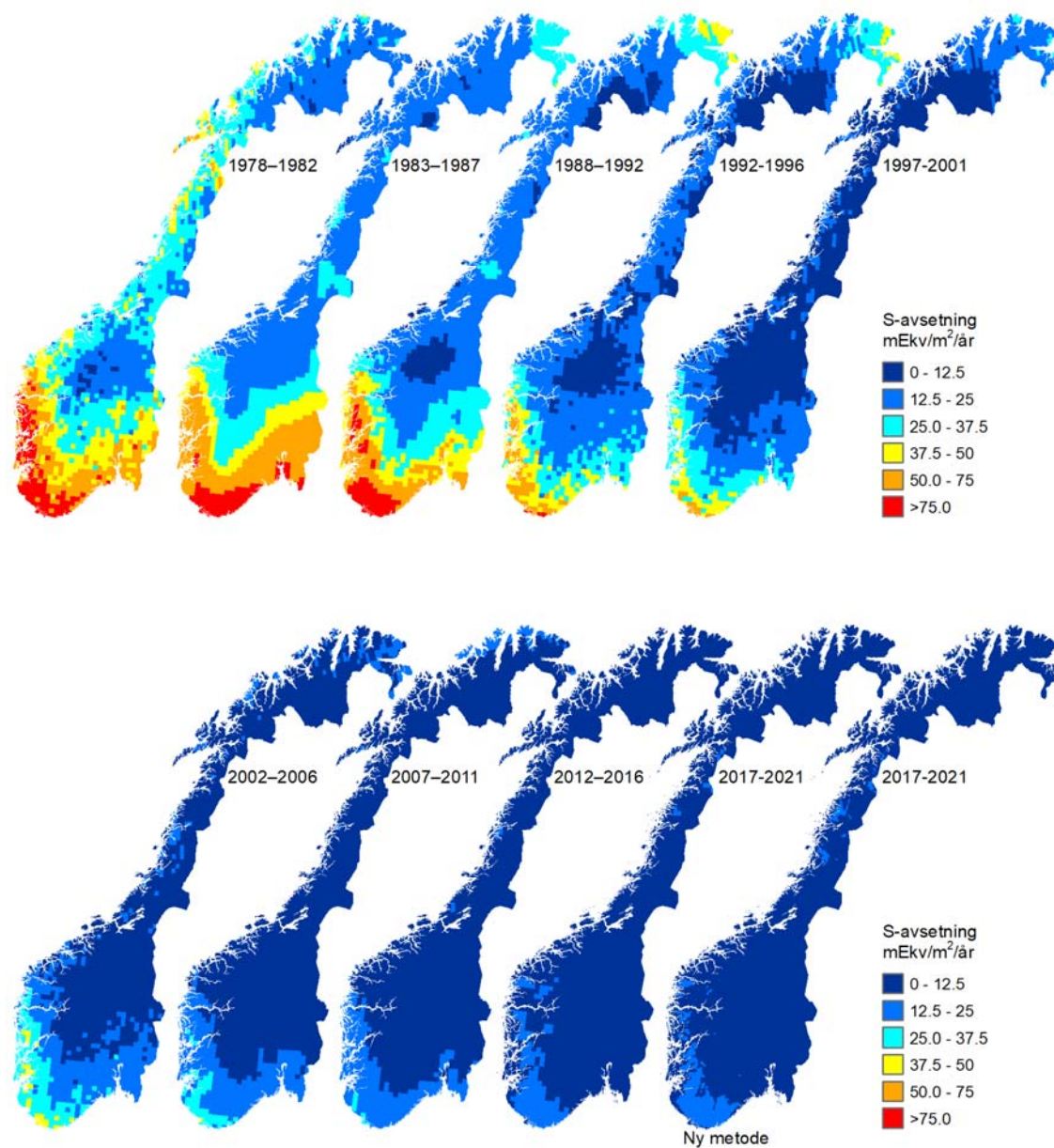
Kort fortalt baserer den tradisjonelle metoden seg på målte konsentrasjoner fra et fåtalls stasjoner (13 for nedbørkjemi og 4 for gass og aerosolkjemi, se Aas mfl. (2022), som beskriver målenettverket samt noen nabostasjoner i Sverige og Finland) som interpoleres statistisk (kriging) til å dekke hele fastlands-Norge (Blake mfl., 2023). Konsentrasjonene interpoleres til et rutenett med oppløsning på 50 km x 50 km. Våtavsetning beregnes fra den interpolerte konsentrasjonen og nedbørmengder tilgjengelig på et 1 km x 1 km rutenett. Tørravsetning måles ikke direkte, men beregnes basert på de interpolerte luftkonsentrasjonene og litteraturverdier som beskriver relevante prosesser. Ulempene med metoden er det relativt lave antallet målestasjoner som begrenser den regionale representasjonen, samt at det er knyttet stor usikkerhet til estimatet av tørravsetningshastigheter.

Den nye metoden kombinerer de ovennevnte målte verdiene med data fra den kjemiske transportmodellen fra the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP-modellen) (Simpson mfl., 2012) i beregning av våtavsetning. Det gir en bedre evne til å komplementere og utfylle de målte verdiene, og det gir en høyere oppløsning i tid og rom (2.5 km x 2.5 km). En metode som kombinerer observasjons- og modelldata ble utviklet i tilknytning til den forrige overskridelsesrapporten (Aas mfl., 2017; Austnes mfl., 2018), men denne har nå blitt betydelig videreutviklet. Prinsippet bak disse to nyeste metodene er likt; observasjonene gis stor vekt i områdene nær der de er målt, og så vektet modellresultatene høyere jo lengre bort fra målestasjonen man kommer. I metoden som ble brukt i den forrige overskridelsesrapporten var det bestemt på forhånd hvordan observasjonene skulle påvirke modelldataene (påvirkning for en valgt radius), mens i den nye metoden brukes romlige data fra modellen og observasjonene ved estimeringen av parametere for påvirkningen fra observasjonene. Disse parameterestimatene blir deretter brukt i den statistiske modellen, som nøye veier disse to datakildene og deres a priori antatte relative betydning mot hverandre for å beskrive lokal atferd og estimere konsentrasjonen. I metoden i den forrige rapporten ble det dessuten brukt EMEP-data med oppløsning 50 km x 50 km. Tørravsetningen er i den nye metoden hentet direkte fra EMEP-modellen.

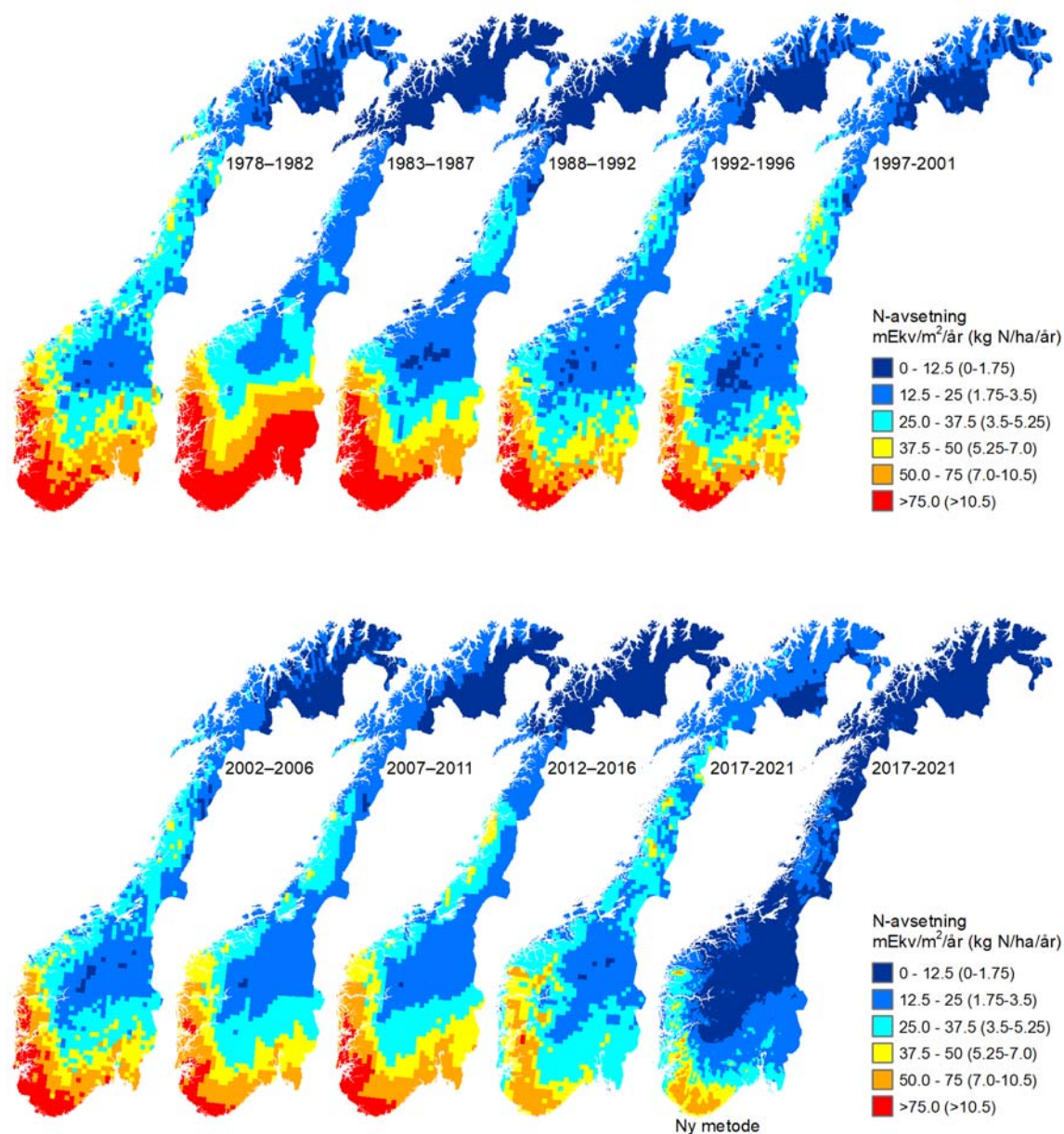
Beregnet avsetning av svovel og nitrogen fra den tradisjonelle metoden kan sammenliknes med resultater fra tidligere perioder (Figur 2 og Figur 3). Sammenlignet med den foregående perioden (2012-2016) observeres en nedgang i total avsetning av svovel og nitrogen på henholdsvis 17 % og 13 %. Fra 1990 har det vært en betydelig nedgang i avsetning av svovel (74 %) og nitrogen (25 % for oksidert og 20 % for redusert). Den høyeste avsetningen forekommer i sør og sørvest. Dette skyldes en kombinasjon av høyere nedbør og større bidrag av langtransportert luftforurensning. Våtavsetning er den viktigste faktoren for totalavsetning av svovel og nitrogen (90 % i områdene med høyest totalavsetning).

Ved sammenligning av totalavsetning mellom den nye og den tradisjonelle metoden gir den nye metoden kun marginalt lavere svovelavsetning, mens nitrogenavsetningen er betydelig lavere. Dette kan skyldes underestimerte nitrogenutslipp, som benyttes i EMEP-modellen, eller de veldig ulike tørravsetningshastighetene i de to metodene. Samtidig kan den tradisjonelle metoden overestimere avsetningen som et resultat av modellvalgene som er tatt. Den nye metoden gir generelt høyere avsetning på kysten, mens den tradisjonelle metoden gir høyere avsetning lenger inn i landet. Dette er sannsynligvis på grunn av at observasjonene gis innflytelse langt inn på fjellet med den

tradisjonelle metoden, siden det er relativt få målestasjoner. EMEP-modellen antar raskere utvasking av luftforurensningen langs kysten enn det den tradisjonelle metoden viser.



Figur 2. Avsetning av svovel i fem perioder fra 1978 til 2001 (øverst) og for 2002-2021 (nederst). For perioden 2017-2021 har avsetningen blitt beregnet med både tradisjonell og ny metode.



Figur 3. Avsetning av nitrogen i fem perioder fra 1978 til 2001 (øverst) og for 2002-2021 (nederst). For perioden 2017-2021 har avsetningen blitt beregnet med både tradisjonell og ny metode.

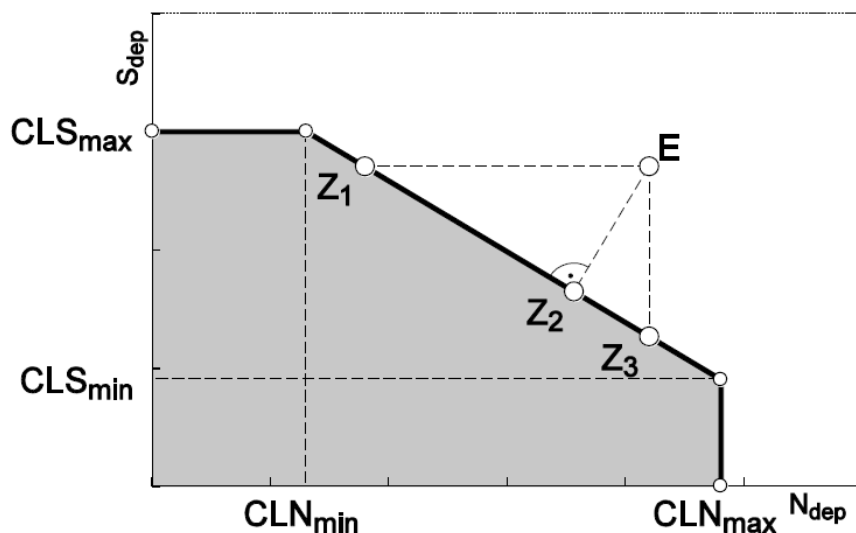
Den nye metoden for beregning av avsetninger har forbedret den romlige informasjonen, og spesielt for våtavsetning kan man anta at dataene er mer realistiske. Å bruke modellen i større grad når man er langt fra observasjonene anses å gi et riktigere bilde enn å anta at observasjonene er gyldige over veldig lange avstander. Det er imidlertid usikkerheter både i observasjoner og utslippsdata. Når det gjelder tørravsetning er det ganske store usikkerheter i begge metodene. Generelt er det større usikkerhet i beregningene av atmosfærisk avsetning for nitrogen enn for svovel. For videre diskusjon om de ulike metodene og resultater henvises det til Blake mfl. (2023).

## 2.5 Overskridelser

Overskridelse av tålegrenser beregnes på ulikt vis, avhengig av om de tar hensyn til avsetning av svovel, nitrogen eller begge. Hovedprinsippet er imidlertid at hvis avsetningen er høyere enn tålegrensen, får man overskridelse.

For forsurening av overflatevann med SSWC-modellen beregnes overskridelsen som summen av svovelavsetning og dagens nitratavrenning minus tålegrensen. Nitratavrenning baserer seg på målte konsentrasjoner av nitrat, som de senere år har blitt observert å avta (Vogt og Skancke, 2022). Nedgangen skyldes primært nedgang i avsetning, men har også blitt observert å avta uavhengig av endring i avsetning. En hypotese er at dette kan skyldes økt opptak fra vegetasjon (de Wit mfl., 2023). Tidligere ble nitratkonsentrasjonen hentet fra det samme datasettet som konsentrasjon av basekationer (hovedsakelig data fra 1986). Gitt endringen i nitratkonsentrasjon og at SSWC-modellen til enhver tid skal representere dagens situasjon ble det vurdert som bedre å endre tilnærming og benytte forskjellig nitratkonsentrasjon for hver fem-års-periode. Nitratkonsentrasjonen ble derfor modellert i tid og rom, igjen ved GAM-modellering. Som tidligere nevnt egner GAM seg godt til modellering i rom og tid ved at den fleksibelt beskriver forskjellige former for ikke-lineære sammenhenger mellom variabler. Datagrunnlaget bestod av regionalundersøkelsen i 1995 og den nasjonale innsjøundersøkelsen i 2019, samt overvåkingsdata fra tidstrendsjøene (1990-2021). Mens undersøkelsene i 1995 og 2019 har høy romlig frekvens, bidrar tidstrendsjøene med hyppigere målinger i tid, men fra et mindre utvalg av stasjoner. Som for GAM-modellen for TOC-konsentrasjon ble UTM-koordinater inkludert som interaksjoner, det ble benyttet en utjevningfunksjon av typen «kubisk spline», og Gamma distribusjon med log-link<sup>2</sup>. Modellen beregnet nitratkonsentrasjoner for 1 km x 1 km ruter som ble aggregert til BLR-rutenettet. Den ble satt opp for perioden 1990 til 2021 og gjennomsnittlig nitratkonsentrasjon ble beregnet for fem-års-periodene fra 1992 til 2021. For periodene før 1992 ble det benyttet samme nitratkonsentrasjon som før. Vannføringsnormalen for 1991-2020 ble benyttet for alle periodene. Endring av vannføringen har mindre betydning for beregningene (se Austnes mfl., 2020), og det var ønskelig å benytte samme vannføring som i tålegrenseberegningene.

Overskridelse med FAB-modellen har blitt beregnet i samsvar med ICP M&M-manualen (CLRTAP, 2015). Som tidligere nevnt inngår nitrogenavsetningen her i beregningen av overskridelse (i motsetning til for SWCC-modellen). Svovel og nitrogen behandles sammen ved beregning av overskridelse, i motsetning til separat behandling ved beregning av tålegrense. Størrelsen på overskridelsen er definert ut fra den korteste veien fra observert avsetning av svovel og nitrogen til tålegrensefunksjonen (Figur 4).



Figur 4. Tålegrensefunksjon for FAB-modellen med illustrasjon av overskridelseberegning. Tålegrensefunksjonen er den svarte linjen mellom  $CLS_{max}$  og  $CLN_{max}$  (de separate tålegrensene for henholdsvis svovel og nitrogen). Kombinasjoner av svovelavsetning ( $S_{dep}$ ) og nitrogenavsetning ( $N_{dep}$ ) som havner i det grå området vil ikke gi overskridelse, mens kombinasjoner som havner i det hvite området gir overskridelse. Ved en gitt kombinasjon av avsetninger som gir overskridelse (E) er det flere mulige måter å unngå overskridelse, f.eks. redusere bare nitrogenavsetningen ( $Z_1$ ), bare svovelavsetningen ( $Z_3$ ) eller litt av begge. Den beregnede overskridelsen er definert som reduksjonen i svovel- og nitrogenavsetning som kreves for å ta den korteste veien til tålegrensefunksjonen, altså fra E til  $Z_2$  (CLRTAP, 2015).

Overskridelse av tålegrensene for forsuring av skogsjord beregnes som svovelavsetning minus tålegrensen, ettersom tålegrensene er beregnet kun med hensyn til svovel.

Tålegrensene for overgjødning av vegetasjon er kun knyttet til effekten av nitrogen, så overskridelsen beregnes som nitrogenavsetning minus tålegrensen. Vegetasjonskartet som er basis for tålegrensekartet er tilgjengelige på et 30 m x 30 m rutenett. For å øke hastigheten på beregningen av overskridelsene gjøres dette ved en oppløsning på 120 m x 120 m.

For å ta hensyn til- og for å undersøke effekten av de to ulike metodene for beregning av avsetning ble overskridelser for perioden 2017-2021 beregnet med begge typer avsetningsdata. Merk at for forsuring av overflatevann fører det til ulik oppløsning der den nye avsetningsmetoden gir overskridelser på 2.5 km x 2.5 km ruter, mens den tradisjonelle metoden gir overskridelse på BLR-rutenett.



## 3 Resultater

### 3.1 Overskridelser av tålegrenser for forsuring av overflatevann

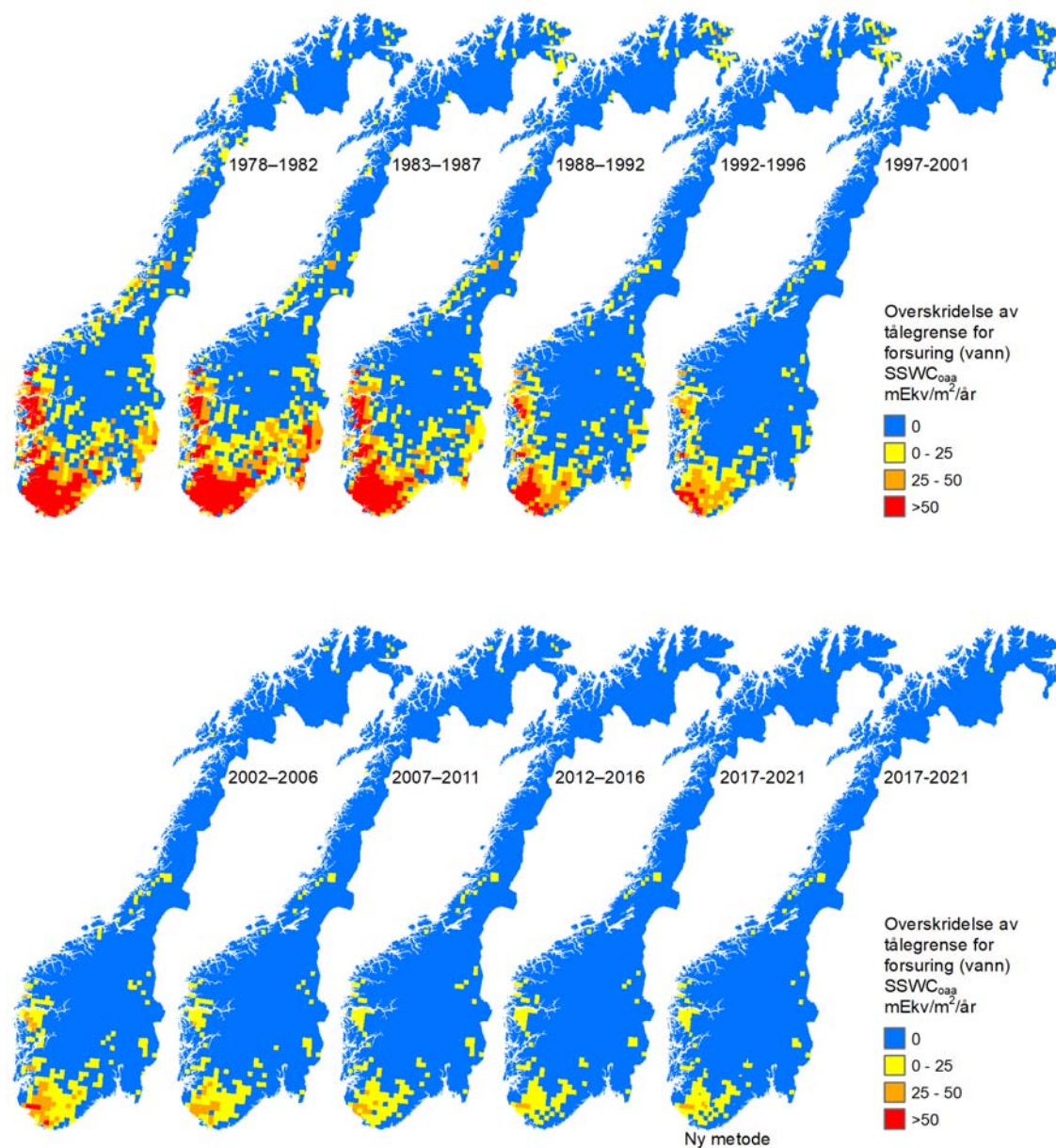
Overskridelsene av tålegrensene for forsuring av overflatevann har gått jevnt nedover siden 1978, både med hensyn på overskredet areal og størrelsen på overskridelsene (Tabell 2, Figur 5 og 6).

Sammenliknet med den forrige fem-års-perioden viser beregninger for den siste perioden (2017-2021) med  $SSWC_{0aa}$ -modellen en liten nedgang i areal av Norge med overskridelse av tålegrensen (fra 8 til 7 %). Gjennomsnittlig størrelse på overskridelsen går også noe ned (fra 11.0 til 9.2 mEkv/m<sup>2</sup>/år). Resultatene for de tre siste fem-års-periodene samsvarer med den avtagende nedgangen i svovelavsetningen (Figur 2). Resultatet for  $FAB_{0aa}$ -modellen viser en tilsvarende lav nedgang i overskredet areal fra forrige periode (fra 21 til 19 %). Spesielt for  $FAB_{0aa}$ -modellen ser man imidlertid en tydelig nedgang i størrelsen på overskridelsen fra forrige fem-års-periode, fra 31.5 til 21.3 mEkv/m<sup>2</sup>/år i gjennomsnitt (se også Figur 6). Det større arealet med overskridelse beregnet med  $FAB_{0aa}$ -modellen enn med  $SWCC_{0aa}$ -modellen skyldes de to modellenes ulike måter å hensynta nitrogenutlekking.

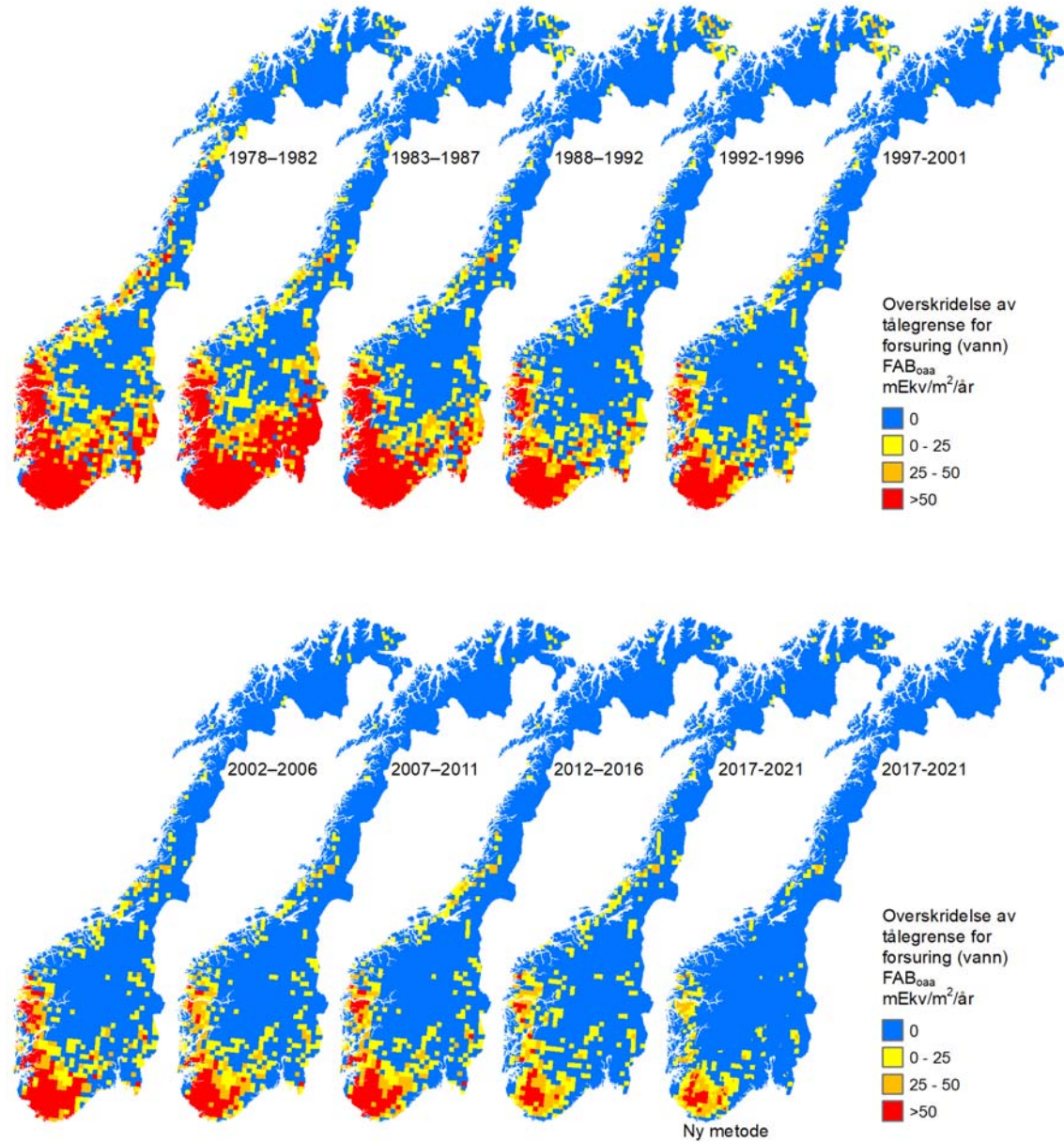
Overskredet areal er enda mindre når avsetningsdata fra den nye metoden benyttes i beregningene. Med  $SSWC_{0aa}$ -modellen går arealet kun ned fra 7 til 6 %, men med  $FAB_{0aa}$ -modellen nærmest halveres arealet (til 11 %) for perioden 2017-2021. Det skyldes at avsetningsdataene for nitrogen var betraktelig lavere med den nye metoden, og at nitrogenavsetningen inngår i beregningen av overskridelse med  $FAB_{0aa}$ -modellen, men ikke med  $SWCC_{0aa}$ -modellen. Gjennomsnittlig størrelse på overskridelsen beregnet med  $FAB_{0aa}$ -modellen gikk imidlertid ikke tilsvarende ned, men heller litt opp (fra 21.3 til 22.7 mEkv/m<sup>2</sup>/år). Det skyldes at det fortsatt er relativt høy nitrogenavsetning på Sør- og Sør-Vestlandet (Figur 3), som holder overskridelsene høye her. Til tross for usikkerheter i begge metodene, vurderes avsetningsestimatene med den nye metoden til å være mer realistiske (se kapittel 2.4 og Blake mfl., 2023). De estimerte overskridelsene for 2017-2021 beregnet med disse anses dermed også som mer pålitelige. Dette betyr at de historiske overskridelsene sannsynligvis har vært noe lavere enn det som har framkommet tidligere. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere avviket, i og med at antall overvåkningstasjoner for nedbørkjemi er redusert over tid (fra ca. 35 stk. gjennom nittitallet) og usikkerheten i interpoleringen mellom stasjoner har økt som følge av dette.

Tabell 2. Absolutt (km<sup>2</sup>) og relativt (%) areal av Norge der tålegrensen for forsuring av overflatevann er overskredet og gjennomsnittlig overskridelse (mEkv/m<sup>2</sup>/år) for dette arealet. Beregnet med SSWC<sub>0aa</sub>- og FAB<sub>0aa</sub>-modellen for fem-års-perioder fra 1978-2021. For den siste perioden (2017-2021) har beregningene blitt gjort med avsetningsdata fra både tradisjonell og ny metode.

Periode	SSWC <sub>0aa</sub>			FAB <sub>0aa</sub>		
	km <sup>2</sup>	%	mEkv/m <sup>2</sup> /år	km <sup>2</sup>	%	mEkv/m <sup>2</sup> /år
1978-1982	96872	30	33.8	134026	42	53.8
1983-1987	99274	31	33.0	133585	42	63.9
1988-1992	82805	26	33.2	111469	35	61.1
1992-1996	60258	19	23.2	92401	29	40.4
1997-2001	45762	14	20.6	78295	24	37.8
2002-2006	37780	12	16.4	75307	24	36.7
2007-2011	29194	9	12.7	68624	21	30.1
2012-2016	24695	8	11.0	67681	21	31.5
2017-2021 (tradisjonell avsetning)	21121	7	9.2	61401	19	21.3
2017-2021 (ny avsetning)	20306	6	9.6	35984	11	22.7



Figur 5. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av  $SSWC_{0aa}$ -modellen i fem-års intervaller for periodene 1978-2001 (over) og 2002-2021 (under). Den siste perioden (2017-2021) er presentert både med tradisjonell og ny metode for beregning av avsetning.



Figur 6. Beregnet overskridelse av tålegrenser for forsurening av overflatevann med bruk av FAB<sub>0aa</sub>-modellen i fem-års intervaller for periodene 1978-2001 (over) og for 2002-2021 (under). Den siste perioden (2017-2021) er presentert både med tradisjonell og ny metode for beregning av avsetning.

### 3.2 Overskridelser av tålegrenser for forsuring av skogsjord

Med avsetningstallene for svovel og nitrogen for perioden 2017–2021 er det ingen overskridelser med hensyn på forsuring av skogsjord (Tabell 3). Dette er likt som i de foregående tidsperiodene.

Tabell 3. Areal (km<sup>2</sup>) og prosent av Norges areal (%) der tålegrensene for forsuring av skogsjord er overskredet og gjennomsnittlig overskridelse (mEkv/m<sup>2</sup>/år) for dette arealet.

Periode	km <sup>2</sup>	%	mEkv/m <sup>2</sup> /år
1978-1982	1379	0.43	10.1
1983-1987	1848	0.58	10.4
1988-1992	796	0.25	11.4
1992-1996	199	0.06	2.7
1997-2001	0	0	0
2002-2006	0	0	0
2007-2011	0	0	0
2012-2016	0	0	0
2017-2021 (tradisjonell avsetning)	0	0	0
2017-2021 (ny avsetning)	0	0	0

### 3.3 Overskridelser av tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann

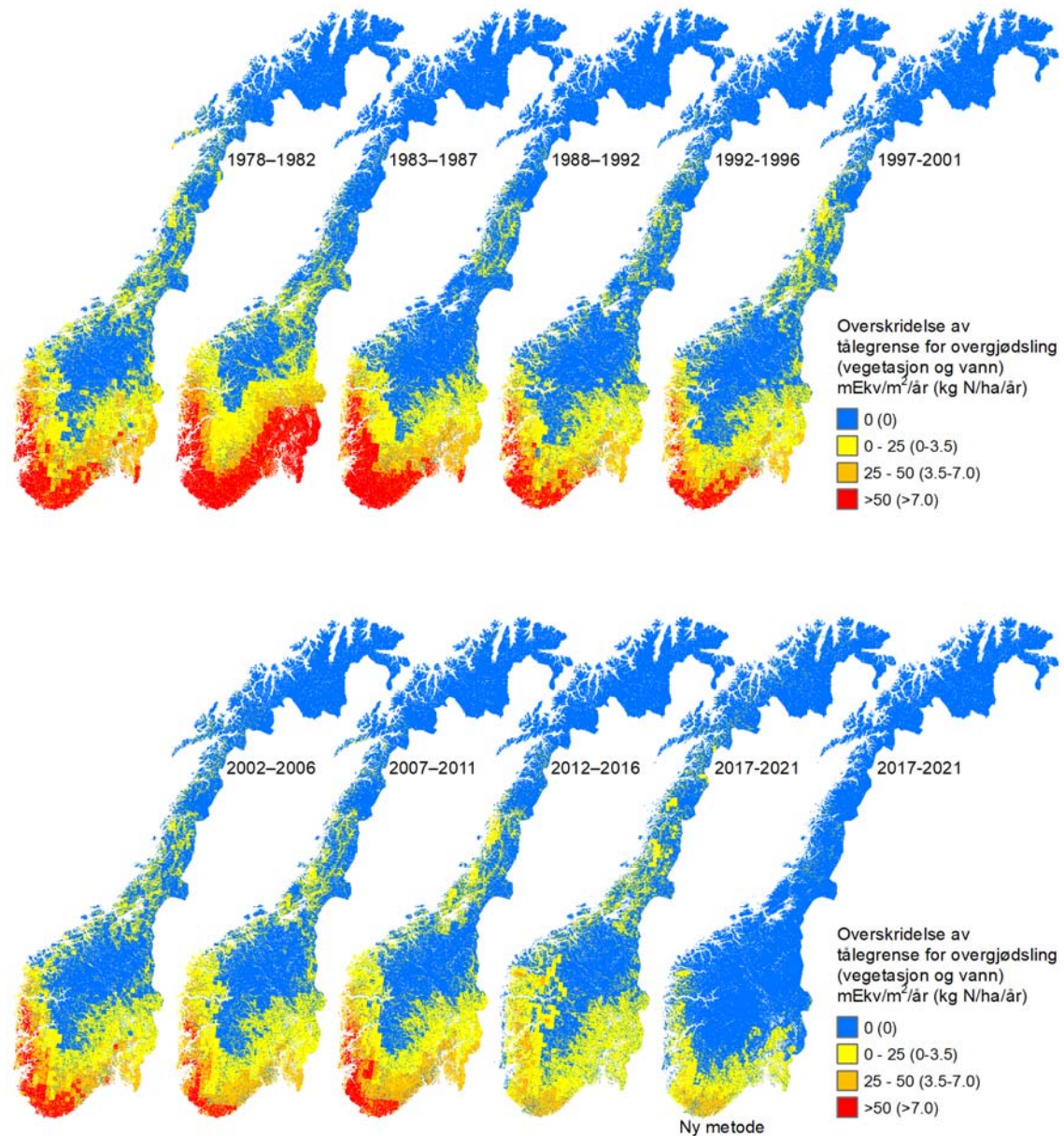
Overskridelsene av tålegrensene for overgjødning av vegetasjon og overflatevann har gått jevnt nedover siden 1978 (Tabell 4, Figur 7), men ikke like mye som for forsuring av overflatevann (kapittel 3.1). Det skyldes at den relative endringen i avsetning av nitrogen ikke har vært like stor som for svovel. Siden perioden 1988-1992 ligger overskredet areal på omtrent samme nivå, men størrelsen på overskridelsene har gått ned.

For den siste perioden (2017-2021) er arealet av Norge med overskridelse av tålegrensen bare litt lavere (36 %) enn for den foregående perioden (37 %, 2012-2016), men størrelsen på overskridelsen har gått betydelig ned, fra 22.0 til 11.8 mEkv/m<sup>2</sup>/år i gjennomsnitt. Det er lavere overskridelse over hele området fra Vestlandet, rundt Sørlandet og til Østlandet (Figur 7). Dette reflekterer nedgangen i nitrogenavsetningen i hele dette området (Figur 3). Avsetningen er generelt lavere på Østlandet, men på grunn av de lavere tålegrensene her ser vi stadig overskridelser, om enn lavere enn på Sør- og Sør-Vestlandet.

Når overskridelsen beregnes med avsetningsdata fra den nye metoden, er overskredet areal for den siste perioden (2017-2021) mer enn halvert sammenliknet med overskredet areal beregnet med avsetningsdata fra den tradisjonelle metoden for den samme perioden. Gjennomsnittlig størrelse på overskridelsene er imidlertid omtrent uendret. Det skyldes at det fortsatt er relativt høy nitrogenavsetning på Sør- og Sør-Vestlandet (Figur 3), som holder overskridelsene høye her, mens mange områder som har lav overskridelse med den tradisjonelle avsetningsmetoden ikke er overskredet med den nye metoden. Som for forsuring av overflatevann anses overskridelsen for overgjødning beregnet med de nye avsetningsdataene for 2017-2021 som mer realistisk. De historiske overskridelsene har sannsynligvis ligget noe lavere enn det som har framkommet tidligere, men det er vanskelig å kvantifisere dette nærmere.

Tabell 4. Areal (km<sup>2</sup>) og prosent av Norges areal (%) der tålegrensene for overgjødning av vegetasjon og overflatevann er overskredet og gjennomsnittlig overskridelse (mEkv/m<sup>2</sup>/år og kg N/ha/år) for dette arealet.

Periode	km <sup>2</sup>	%	mEkv/m <sup>2</sup> /år	kg N/ha/år
1978-1982	134864	42	26.9	3.8
1983-1987	144876	45	38.2	5.4
1988-1992	116078	36	35.9	5.0
1992-1996	109212	34	23.8	3.3
1997-2001	112436	35	22.2	3.1
2002-2006	117009	37	22.5	3.2
2007-2011	115739	36	19.3	2.7
2012-2016	119201	37	22.0	3.1
2017-2021 (tradisjonell avsetning)	116794	36	11.8	1.7
2017-2021 (ny avsetning)	46818	15	12.1	1.7



Figur 7. Beregnet overskridelse av tålegrenser for overgjødsling av vegetasjon og overflatevann for fem-års intervaller i periodene 1978-2001 (over) og 2002-2021 (under). Den siste perioden (2017-2021) presenteres med avsetningsdata fra både tradisjonell og ny metode.

### 3.4 Effekter av oppdaterte tålegrenser for forsuring av overflatevann og overgjødning av vegetasjon og overflatevann

For å vurdere effekter av oppdaterte tålegrenser (og endret nitratavrenning for  $SSWC_{0aa}$ -modellen) sammenlignes her overskridelsene beregnet med gamle tålegrenser (TG 2018) (Austnes mfl., 2018) og oppdaterte tålegrenser (TG 2023) (Figur 1) for perioden 2012-2016 (Tabell 5, Figur 8, Figur 9). Avsetningsdataene er de samme og er beregnet med den tradisjonelle metoden.

Oppdaterte tålegrenser for forsuring av overflatevann førte bare til litt høyere (1 %) overskredet areal, både når beregnet med  $SSWC_{0aa}$ - og  $FAB_{0aa}$ -modellene (Tabell 5). For overgjødning av vegetasjon og overflatevann var økningen i overskredet areal større, og gikk fra 25 % til 37 % (Tabell 5). Størrelsen på overskridelsene ble også høyere med oppdaterte tålegrenser for overgjødning av vegetasjon og overflatevann (Figur 9), mens det i liten grad var tilfelle for forsuring av overflatevann ( $SSWC_{0aa}$  og  $FAB_{0aa}$ ) (Figur 8).

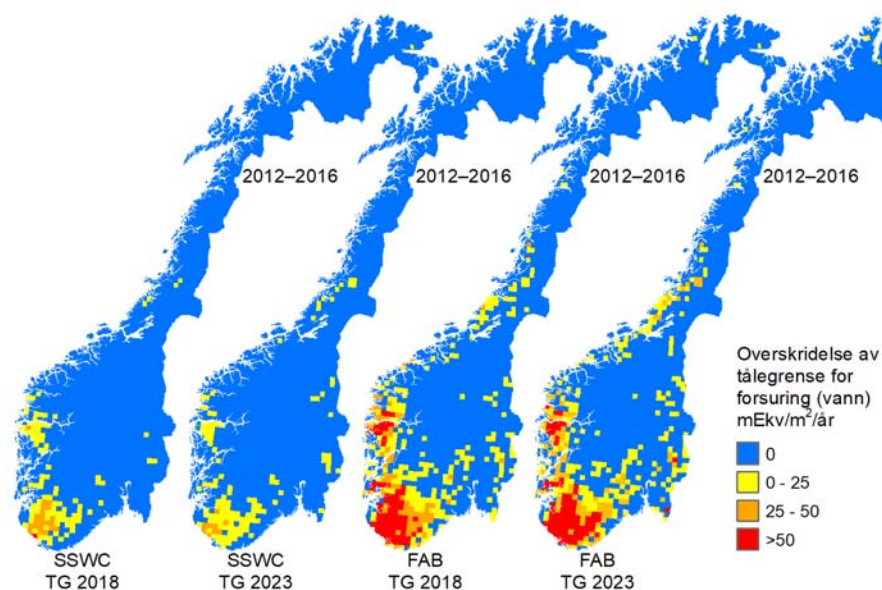
Økning i overskridelse for overgjødning av vegetasjon og overflatevann skyldes oppdateringen av de empiriske tålegrensene for nitrogen (Bobbink mfl., 2022). Oppdateringen førte til en nedgang i tålegrense for flere ulike typer vegetasjon og vann. Elleve av de 21 naturtypene som benyttes for vegetasjon fikk lavere tålegrense mens de resterende ti forble uendret. Den nye inndelingen av vann førte til lavere, uendret og høyere tålegrenser for henholdsvis alpine oligotrofe, boreale oligotrofe og dystrofe vann. Økningen i overskridelse sees blant annet på Østlandet og i Trøndelag (Figur 9), som er områder som nå har lavere tålegrense (Figur 1).

For forsuring av overflatevann er det flere endringer, som gir ulikt utslag på overskridelsene. Dette vil utforskes noe i det følgende.

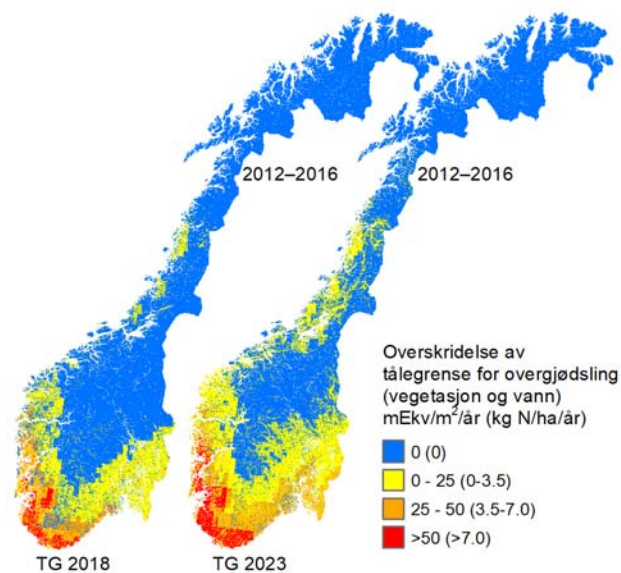
Tabell 5. Relativt areal (%) med overskridelse for perioden 2012-2016, beregnet med gamle (TG 2018) og oppdaterte tålegrenser (TG 2023) for forsuring av overflatevann ( $SSWC_{0aa}$ - og  $FAB_{0aa}$ -modellene) og for overgjødning av vegetasjon og overflatevann. Den oppdaterte overskridelseberegningen for  $SSWC_{0aa}$ -modellen (TG 2023) inkluderer også oppdatert nitratavrenning.

	Gammel (TG 2018)	Oppdatert (TG 2023)
Forsuring overflatevann, $SSWC_{0aa}$	7	8
Forsuring overflatevann, $FAB_{0aa}$	20	21
Overgjødning vegetasjon og overflatevann	25	37





Figur 8. Overskridelse av tålegrense for forsuring av overflatevann for 2012-2016 beregnet med gamle (TG 2018) og oppdaterte (TG 2023) tålegrenser med SSWC<sub>oaa</sub>- og FAB<sub>oaa</sub>-modellene. Den oppdaterte overskridelseberegningen for SSWC<sub>oaa</sub>-modellen (TG 2023) inkluderer også oppdatert nitratavrenning.

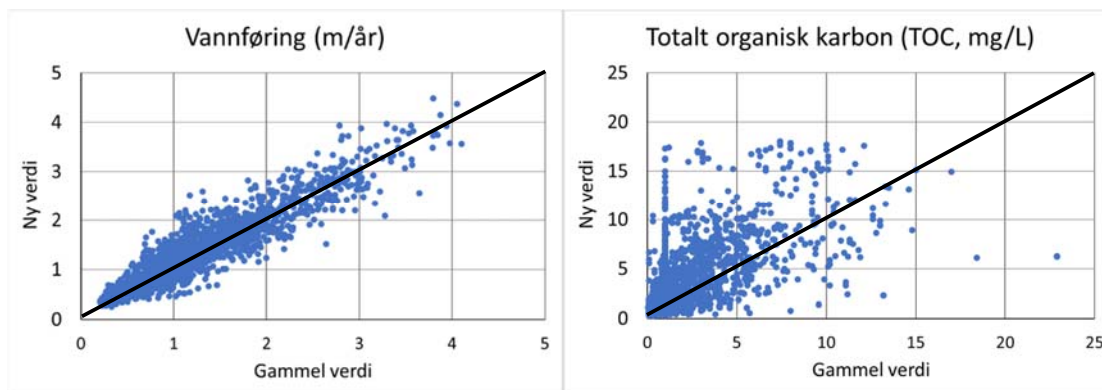


Figur 9. Overskridelse av tålegrense for overgjødning av vegetasjon og overflatevann for 2012-2016 beregnet med gamle (TG 2018) og oppdaterte (TG 2023) tålegrenser.

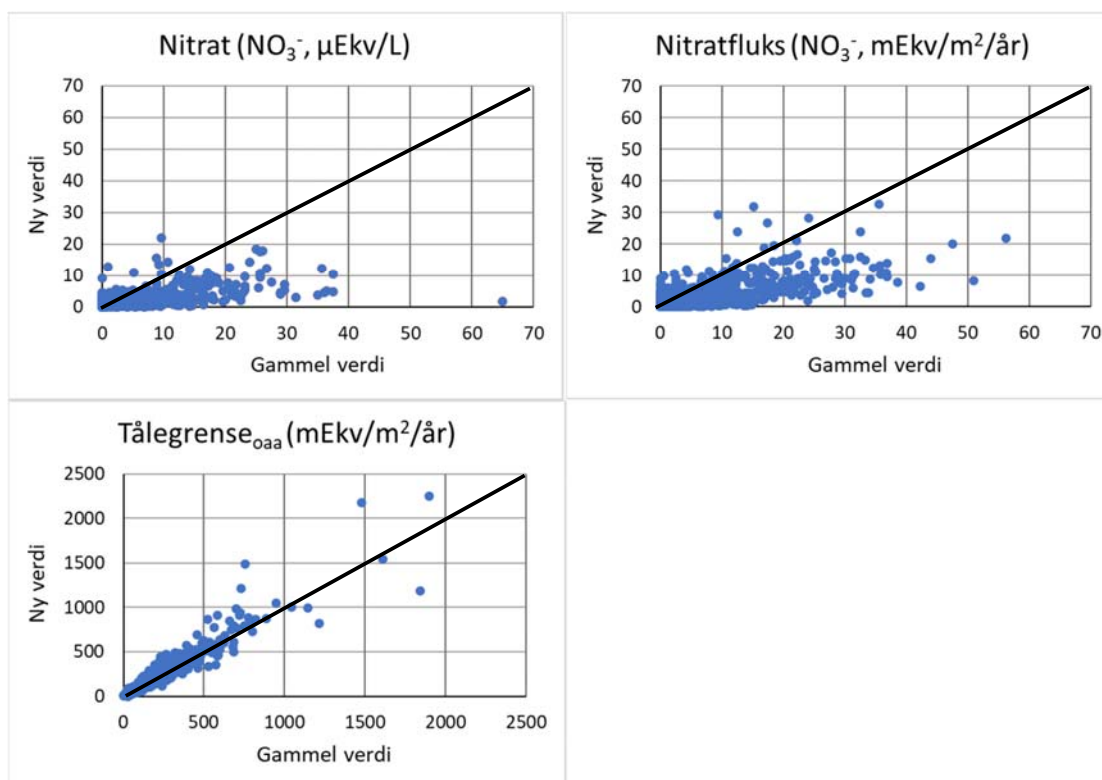
Sammenligninger av verdier for beregning av tålegrenser for forsuring av overflatevann fra gamle (TG 2018) og oppdaterte (TG 2023) tålegrenser er vist i Figur 10-12. Nye vannføringsdata ble benyttet til beregning av oppdaterte tålegrenser (og overskridelser for  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen) for forsuring av overflatevann. De nye verdiene er oftest noe høyere enn de gamle (Figur 10). En økning i vannføring vil føre til en nedgang i overskridelse. Imidlertid viser tidligere undersøkelser (Austnes mfl., 2020) at endringer i vannføring innenfor forventet størrelsesorden kun vil ha en liten effekt på overskridelsene. Oppdaterte konsentrasjoner av TOC, frembrakt fra oppdaterte data og med GAM-modellering, ligger oftest høyere enn de gamle verdiene (Figur 10). Høyere konsentrasjon av TOC skal ut fra beregningene gi lavere tålegrense (og høyere overskridelse) hvis alt annet holdes konstant. Figur 11 viser imidlertid at de nye tålegrensene fra  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen oftest er noe høyere enn de gamle. Dette kan skyldes endringer i vannføring, som lokalt kan oppveie endringen i TOC-konsentrasjon. I tålegrenseområdet som er relevant for overskridelse ( $< 200$  mekv/ha/år) er endringene i tålegrense relativt små, og går begge veier. Figur 1 viser at de nye tålegrensene er noe lavere på Sørlandet, i områder hvor det normalt er overskridelse.

Til beregning av overskridelser med  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen ble konsentrasjoner av nitrat oppdatert, frembrakt med oppdaterte data og med GAM-modellering. De nye verdiene er jevnt over markant lavere enn de gamle (Figur 11). Dette gav også i de fleste tilfeller lavere nitratavrenning, til tross for noe høyere vannføring i snitt. Lavere nitratavrenning vil gi lavere overskridelse. Austnes mfl. (2020) viste at effekten av redusert nitratkonsentrasjon motvirket effekten av økt TOC-konsentrasjon på overskridelse beregnet med  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen. De samlede endringene som nå er gjort i vannføring, TOC-konsentrasjon og nitratkonsentrasjon for beregning av tålegrenser og overskridelse med  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen førte til kun litt høyere overskredet areal (+1 %, Tabell 5) for  $SSWC_{\text{Oaa}}$ -modellen. Dette skyldes at de ulike endringene har motsatt effekt. F.eks. har lavere tålegrense på deler av Sørlandet sannsynligvis blitt kompensert av lavere nitratavrenning i de samme områdene.

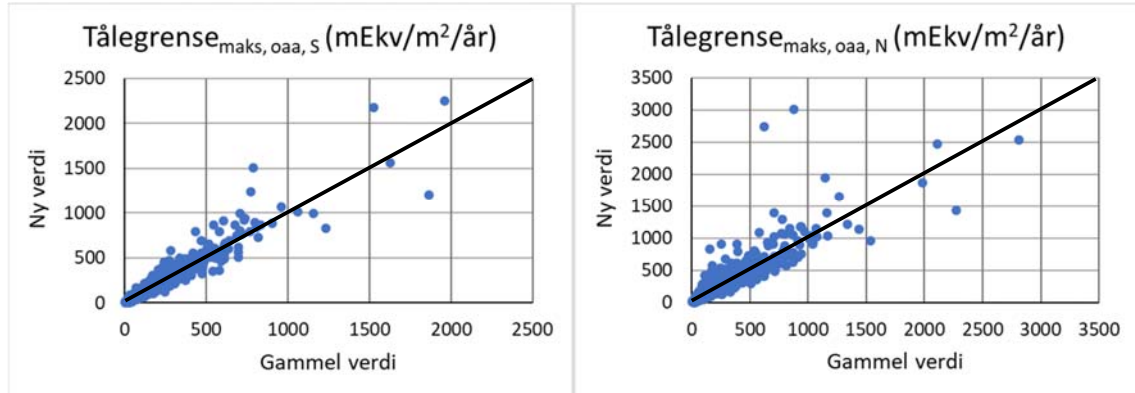
Separate tålegrenser for svovel og nitrogen fra  $FAB_{\text{Oaa}}$ -modellen er presentert i Figur 12, med gamle og nye verdier. Det er en tendens til at de nye verdiene er høyere enn de gamle, spesielt for nitrogen. De største endringene ble gjort for nitrogen ved at konstanter for nitrogenprosessene (N-immobilisering og denitrifisering) ble differensiert basert på landareal. Tålegrensene beregnet med  $FAB_{\text{Oaa}}$ -modellen vil i tillegg påvirkes av endringene knyttet til avrenning og TOC, som beskrevet over. Summen av disse endringene førte kun til litt høyere overskredet areal (+1 %, Tabell 5) for  $FAB_{\text{Oaa}}$ -modellen. Dette tyder på at økninger i tålegrensen ikke primært har skjedd der avsetningen gav overskridelse med de gamle tålegrensene, noe som ville gitt lavere overskredet areal. Det er heller de mindre områdene som har fått lavere tålegrense som har fått en liten betydning for totalt overskredet areal.



Figur 10. Ny og gammel verdi per BLR-rute for parameterne vannføring (venstre) og konsentrasjon av totalt organisk karbon (høyre). Den skråstilte streken illustrerer 1:1-forholdet, altså der det ikke foreligger noen forskjell mellom de to metodene.



Figur 11. Ny og gammel verdi for nitratkonsentrasjon (øverst, venstre) og nitratfluks (øverst, høyre), som benyttes til å beregne overskridelse med  $SSWC_{0aa}$ -modellen, og tålegrense beregnet med  $SSWC_{0aa}$ -modellen (nederst, venstre). Med den nye metoden benyttes forskjellig nitratkonsentrasjon for hver fem-års-periode. Her er den gamle (konstante) verdien sammenlignet med ny verdi for perioden 2017-2021. Den skråstilte streken illustrerer 1:1-forholdet, altså der det ikke foreligger noen forskjell mellom de to metodene.



Figur 12. Ny og gammel verdi for tålegrenser beregnet med FAB<sub>oaa</sub>-modellen: tålegrense for svovel (venstre) og tålegrense for nitrogen (høyre). Den skrånede streken illustrerer 1:1-forholdet, altså der det ikke foreligger noen forskjell mellom de to metodene.

## 4 Konklusjoner

For perioden 2017-2021 er tålegrensen for forsuring av overflatevann overskredet for 7 % av Norges areal ved bruk av  $SSWC_{0aa}$ -modellen og 19 % ved bruk av  $FAB_{0aa}$ -modellen, gitt den tradisjonelle metoden for avsetningsberegninger. Områdene med overskridelse er hovedsakelig i sør- og sørvest, som er der avsetningen er størst. Det har vært en markant nedgang i overskredet areal siden slutten av 1970-tallet, men nedgangen har vært mindre de tre siste fem-års-periodene. Størrelsen på overskridelsen har imidlertid fortsatt å avta, spesielt med  $FAB_{0aa}$ -modellen. Som for tidligere perioder var det ingen overskridelse av tålegrenser for forsuring av skogsjord.

Med avsetningsdata fra den nye metoden er overskredet areal noe lavere ved bruk av  $SSWC_{0aa}$ -modellen (6 %) mens det er vesentlig lavere ved bruk av  $FAB_{0aa}$ -modellen (11 %). Den nye metoden gav lavere avsetningsdata, spesielt for nitrogen. Det forklarer den ulike betydningen av de nye avsetningsdataene for de to modellene, ettersom nitrogenavsetning inngår i beregningen av overskridelse med  $FAB_{0aa}$ -modellen, men ikke med  $SWCC_{0aa}$ -modellen. Gjennomsnittlig størrelse på overskridelsen går imidlertid ikke ned med den nye avsetningsmetoden, fordi nitrogenavsetningen på Sør- og Sør-Vestlandet fortsatt er relativt høy.

Beregnet andel av Norges areal hvor tålegrensen for overgjødning av vegetasjon og overflatevann er overskredet for perioden 2017-2021 er 35 %, gitt den tradisjonelle metoden for avsetningsberegninger. Overskredet areal har ligget på omtrent samme nivå siden begynnelsen av 1990-tallet, men størrelsen på overskridelsen har gått ned. Med nye og lavere nitrogenavsetningsdata reduseres overskredet areal betraktelig for perioden 2017-2021 (15 %), men gjennomsnittlig størrelse på overskridelsen går ikke ned.

Samlet sett gir den nye metoden for avsetningsberegninger betydelig lavere overskridelse, spesielt der nitrogenavsetningen er viktig (forsuring med  $FAB_{0aa}$ -modellen og overgjødning). De nye avsetningsdataene regnes som mer realistiske, fordi man kombinerer observerte med modellerte data, som komplementerer og utfyller observasjonene og gir en høyere oppløsning i tid og rom. De estimerte overskridelsene for 2017-2021 beregnet med de nye avsetningsdataene anses dermed også som mer pålitelige. Dette betyr at de historiske overskridelsene sannsynligvis har vært noe lavere enn det som har framkommet tidligere. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere avviket, i og med at antall overvåkningstasjoner for nedbørkjemi er redusert over tid og usikkerheten i interpoleringen mellom stasjoner (den tradisjonelle metoden) har økt som følge av dette.

Beregning av tålegrense og overskridelse for forsuring av overflatevann ble oppdatert med nye data. I tillegg ble det for  $FAB_{0aa}$ -modellen differensiert på nitrogenprosesser på bakgrunn av arealtyper. For overgjødning av vegetasjon og overflatevann ble de empiriske tålegrensene oppdatert. Effekten av oppdateringene var liten for overskridelse av tålegrensene for forsuring av overflatevann (+1 % overskredet areal for både  $SWCC_{0aa}$ - og  $FAB_{0aa}$ -modellen). Dette skyldes blant annet at de ulike endringene utlignet hverandre. For overgjødning av vegetasjon og overflatevann var effekten på overskridelsen større (+ 12 % overskredet areal og høyere overskridelser).

## 5 Referanser

- Achermann, B. og Bobbink, R. (eds.), 2003. Empirical critical loads for nitrogen. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape SAEFL, Berne, Environmental Documentation No. 164 Air, s. 43-170.
- Austnes, K., Wright, R.F., Sample, J.E. og Clayer, F., 2020. Critical loads and the MAGIC model. Evaluating the country-scale applications in Norway using data from the 2019 national lake survey. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 7557-2020, 52 s.  
<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2725461>
- Austnes, K., Lund, E., Sample, J.E., Aarrestad, P.A., Bakkestuen, V. og Aas, W., 2018. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012-2016. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 7239-2018, 26 s.  
<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2584043>
- Blake, L.R., Aas, W., Denby, B., Hjelbrekke, A., Mu, Q., Simpson, D., Ytre-Eide, M. og Fagerli, H., 2023. Deposition of sulfur and nitrogen in Norway 2017-2021. Norwegian Meteorological Institute, MET-report 03/2023, 32 s.
- Bobbink, R. og Hettelingh, J.P. (eds.), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), 244 s.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4038/dokumente/1\\_review\\_and\\_revision\\_of\\_empirical\\_cl\\_2011.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4038/dokumente/1_review_and_revision_of_empirical_cl_2011.pdf)
- Bobbink, R., Loran, C. og Tomassen, H. (eds.), 2022. Review and revision of empirical critical loads of nitrogen for Europe. German Environment Agency, TEXTE 110/2022, 358 s.  
<https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/review-revision-of-empirical-critical-loads-of>
- 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. [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org) Accessed on the 11th of December 2017.  
<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. [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org) Accessed on the 11th of December 2017.  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/ch5-mapman-2017-09-10.pdf>
- Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Galloway, J.N. og Wright, R.F., 1985. Modeling the Effects of Acid Deposition: Assessment of a Lumped Parameter Model of Soil Water and Streamwater Chemistry. *Water Resources Research* 21:(1) 51-63. Doi: <https://doi.org/10.1029/WR021i001p00051>

Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Jenkins, A. og Wright, R.F., 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 5:(3) 499-518. Doi: <https://10.5194/hess-5-499-2001>

de Wit, H.A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G.A., Futter, M.N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D.O., Raike, A., Laudon, H. og Vuorenmaa, J., 2016. Current Browning of Surface Waters Will Be Further Promoted by Wetter Climate. *Environmental Science & Technology Letters* 3:(12) 430-435. Doi: <https://10.1021/acs.estlett.6b00396>

de Wit, H.A., Garmo, Ø.A., Jackson-Blake, L.A., Clayer, F., Vogt, R.D., Austnes, K., Kaste, Ø., Gundersen, C.B., Guerrero, J.L. og Hindar, A., 2023. Changing Water Chemistry in One Thousand Norwegian Lakes During Three Decades of Cleaner Air and Climate Change. *Global Biogeochemical Cycles* 37:(2). Doi: <https://doi.org/10.1029/2022GB007509>

Direktoratsgruppen Vanndirektivet, 2018. Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. <https://www.vannportalen.no/veiledere/klassifiseringsveileder/>

EEA, 2016. Biogeographical regions dataset. DAT-85-en. The European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-3>

Henriksen, A., 1998. Application of the First-order Acidity Balance (FAB) model to Norwegian surface waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 3809-1998, 33 s. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/209780>

Henriksen, A. og 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: 10.1023/A:1011523720461

Hindar, A. og Larssen, T., 2005. Modifisering av ANC- og tålegrenseberegninger ved å inkludere sterke organiske syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 5030-2005, 38 s. [https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/212839/5030\\_72dpi.pdf?sequence=1](https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/212839/5030_72dpi.pdf?sequence=1)

Hindar, A., Garmo, Ø., Austnes, K. og Sample, J.E., 2020. Nasjonal innsjøundersøkelse 2019. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 7530-2020, 86 s. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2731702>

Johansen, B.E., 2009. Vegetasjonskart for Norge basert på Landsat TM/ETM+ data. Northern Research Institute, Norut-rapport 4/2009, 87 s.

Larssen, T. og Høgåsen, T., 2003. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser i Norge. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 4722-2003, 24 s.

Larssen, T., Høgåsen, T. og Wright, R.F., 2005. Target loads for acidification of Norwegian surface waters Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 5099-2005, 33 s.

Larssen, T., Lund, E. og Høgåsen, T., 2008. Overskridelser av tålegrenser for forsurening og nitrogen for Norge – oppdatering med perioden 2002–2006. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 5697-2008, 24 s.

Lien, L., Sevaldrud, I.H., Traaen, T.S. og Henriksen, A., 1987. 1000 sjøers undersøkelsen 1986

---

Statens forurensningstilsyn, rapport 282/87, Statlig program for forurensningsovervåking TA-0624, 31 s.

Lydersen, E., Larssen, T. og 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: 63-69.

Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L.D., Fagerli, H., Flechard, C.R., Hayman, G.D., Gauss, M., Jonson, J.E., Jenkin, M.E., Nýri, A., Richter, C., Semeena, V.S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, A. og Wind, P., 2012. The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12: 7825-7865.

Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, E., Traaen, T.S., Lien, L., Lydersen, E. og Buan, A.K., 1996. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. Statens forurensningstilsyn, rapport 677/96, Statlig program for forurensningsovervåking TA-1389, 73 s.

Vogt, R.D. og Skancke, L.B., 2022. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Vannkjemiske effekter 2021. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 7778-2022, 98 s.  
<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/3055621>

Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Fagerli, H. og Benedictow, A., 2017. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016. Norwegian Institute for Air Research (NILU), NILU-report 41/2017, 35 s.

Aas, W., Bohlin-Nizzetto, P., Hak, C., Pfaffhuber, K.A. og Uggerud, H.T., 2022. Monitoring atmospheric composition and deposition in Norway. Norwegian Institute for Air Research (NILU), NILU-report 7/2022, 23 s.  
<https://nilu.brage.unit.no/nilu-xmlui/handle/11250/2987017>



## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Økernveien 94 • 0579 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)