

# NIVA



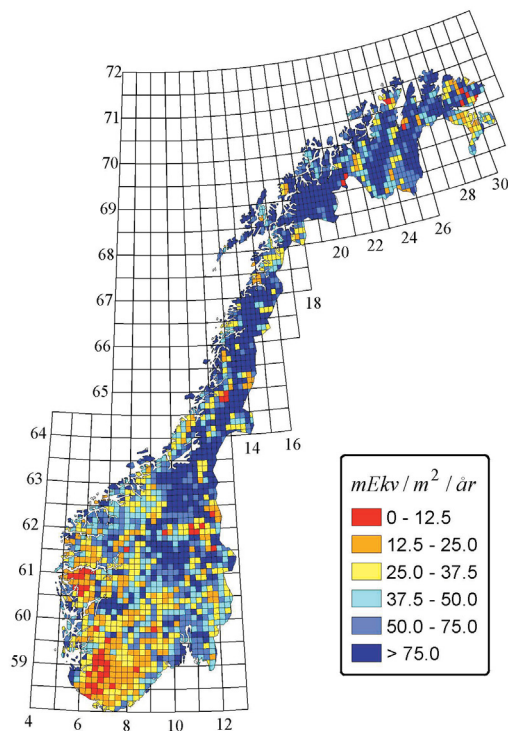
RAPPORT LNR 4722-2003

## Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser i Norge

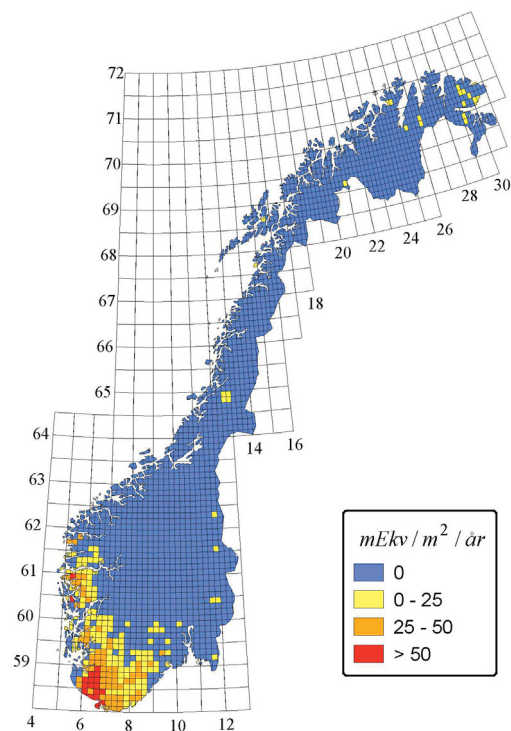
NATURENS  
TÅLEGRENSE

Miljøverndepartementet  
Fagrapport nr. 116

Tålegrense vann



SSWC - Overskridelse vann (1997-01)



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

|  |                                       |                    |
|--|---------------------------------------|--------------------|
| Tittel<br>Tålegrenser og overskridelser av tålegrenser i Norge | Løpenr. (for bestilling)<br>4722-2003 | Dato<br>01.10.2003 |
|  | Prosjektnr. Undernr.<br>O-23341       | Sider Pris<br>24   |
| Forfatter(e)<br>Thorjørn Larssen<br>Tore Høgåsen               | Fagområde<br>Sur Nedbør               | Distribusjon       |
|  | Geografisk område<br>Norge            | Trykket<br>NIVA    |
|  |                                       |                    |

|   |   |
|---|---|
| Oppdragsgiver(e)<br>Statens Forurensningstilsyn (SFT) | Oppdragsreferanse<br>Kontrakt nr. 6003083 |
|---|---|

|  |
|--|
| <p>Sammendrag</p> <p>Rapporten presenterer oppdaterte kart for naturens tålegrenser for forsuring av overflatevann, skogsjord og effekter av overgjødning fra nitrogenavsetning på terrestrisk vegetasjon. Overskridelser av tålegrensene er beregnet og presentert på kart for nedfall fra tre ulike perioder (1978-1982, 1992-1996, 1997-2001).</p> <p>Overflatevann er generelt det økosystem som er mest følsomt for sur nedbør i Norge. Tålegrensen for forsuring av overflatevann er fortsatt overskredet for 13% av Norges areal. For perioden 1978-1982 var 30% Norges areal overskredet og for perioden 1992-1996 var 17% av arealet overskredet. Disse tallene er beregnet ved hjelp av en likevektsmodell som ikke tar hensyn til eventuell nitrogenmetning i fremtiden. Dersom en modell som inkluderer tilleggforsuring fra framtidig potensiell nitrogenlekkasje øker det influerte arealet betraktelig.</p> |
|--|

|   |  |
|---|--|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tålegrenser</li> <li>2. Overflatevann</li> <li>3. Jord</li> <li>4. Vegetasjon</li> </ol> | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Critical loads</li> <li>2. Surface water</li> <li>3. Soil</li> <li>4. Vegetation</li> </ol> |
|---|--|

*Thorjørn Larssen*  
Prosjektleder

*Brit Lisa Skjelkvåle*  
Forskningsleder  
ISBN 82-577-4392-5

*Nils Roar Sælthun*  
Forskningsdirektør

Naturens Tålegrenser

Fagrapport nr.

116

**Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser i Norge**

*Thorjørn Larssen*

*Tore Høgåsen*

## Forord

Rapporten er utarbeidet på oppdrag fra Statens Forurensningstilsyn. Tålegrensene for alle tre reseptorer er oppdatert siden forrige publiserte tålegrense- og overskridelseskart.

Tore Høgåsen har gjort beregningene, skjøttet databasen og laget kartene. Sigrid Haande har satt sammen rapporten. Thorjørn Larssen har vært prosjektleder. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Tor Johannessen.

Vi takker Per Arild Aarrestad (NINA) for innspill i forbindelse med oppdatering av tålegrensene for terrestrisk vegetasjon.

Vi takker NILU for godt samarbeid i tålegrensearbeidet gjennom en årrekke. Spesielt har Lars Hole velvillig bidratt med data og dataformatering som har gjort dette arbeidet enklere.

Oslo, 1. September 2003

*Thorjørn Larssen*

---

# Innhold

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Sammendrag</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>Summary</b>                                   | <b>6</b>  |
| <b>1. Innledning: naturens tålegrenser</b>       | <b>7</b>  |
| <b>2. Metoder for tålegrenseberegninger</b>      | <b>7</b>  |
| 2.1.1 Overflatevann                              | 7         |
| 2.1.2 Skogsjord                                  | 8         |
| 2.1.3 Overgjødsling - vegetasjon                 | 8         |
| <b>3. Datagrunnlag for tålegrenseberegninger</b> | <b>8</b>  |
| <b>4. Resultater</b>                             | <b>10</b> |
| 4.1 Beregning av tålegrenser                     | 10        |
| 4.1.1 Overflatevann                              | 10        |
| 4.1.2 Skogsjord                                  | 11        |
| 4.1.3 Vegetasjon                                 | 13        |
| 4.2 Overskridelse av tålegrenser                 | 14        |
| 4.2.1 Overskridelser for overflatevann           | 14        |
| 4.2.2 Overskridelser for skogsjord               | 17        |
| 4.2.3 Overskridelser for overgjødsling           | 19        |
| <b>5. Konklusjoner</b>                           | <b>21</b> |
| <b>6. Referanser</b>                             | <b>21</b> |
| <b>Vedlegg A.</b>                                | <b>22</b> |

---

## **Sammendrag**

Rapporten presenterer oppdaterte kart for naturens tålegrenser for forsuring av overflatevann, skogsjord og effekter av overgjødning fra nitrogenavsetning på terrestrisk vegetasjon. Overskridelser av tålegrensene er beregnet og presentert på kart for nedfall fra tre ulike perioder (1978-1982, 1992-1996, 1997-2001).

Overflatevann er generelt det økosystem som er mest følsomt for sur nedbør i Norge. Tålegrensen for forsuring av overflatevann er fortsatt overskredet for 13% av Norges areal. For perioden 1978-1982 var 30% Norges areal overskredet og for perioden 1992-1996 var 17% av arealet overskredet. Disse tallene er beregnet ved hjelp av en likevektsmodell som ikke tar hensyn til eventuell nitrogenmetning i fremtiden. Dersom en modell som inkluderer tilleggforsuring fra framtidig potensiell nitrogenlekkasje øker det influerte arealet betraktelig.

## Summary

Title: Critical loads and critical load exceedances in Norway

Year: 2003

Author: Thorjørn Larssen, Tore Høgåsen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4392-5

The report present updated maps for critical loads for acidification of surface waters and forest soil and for terrestrial eutrofication effects on vegetation from nitrogen in Norway. Exceedances of the critical loads are calculated and presented on maps for deposition from three periods in time (1978-1982, 1992-1996, 1997-2001).

Surface waters are in general the ecosystem most sensitive to acid deposition in Norway. The critical loads are still exceeded for 13% of Norway's land area. For the period 1978-1982 30% of the area had exceeded the critical loads. For the period 1992-1996 17% of the area was exceeded. These figures are calculated using the steady state water chemistry model, ignoring eventual increased nitrogen leakage from the catchments in the future. When a model including potential acidification from nitrogen in the future is used (the FAB model), the area still having exceeded critical loads increases considerably.

# 1. Innledning: naturens tålegrenser

Begrepet "Naturens tålegrenser" (eng.: critical load) er i dag akseptert som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp av svovel og nitrogen. Naturens tålegrenser er et anslag over hvor mye naturen kan motta av et forurensende stoff uten å påføres skade. Selv om påvirkning av luftforurensninger bare er en av flere trusler mot det biologiske mangfoldet har man utviklet relativt presise mål for et bærekraftig forurensningsnivå. Videre kan vi kvantifisere den belastningen som overskrider tålegrensen i forskjellige områder. Det er derfor grunnlag for og muligheten til, via internasjonale forhandlinger, å fatte politiske beslutninger om miljømål som står direkte i forhold til tålegrensene.

"Executive Body" under de Forenede Nasjoners økonomiske kommisjon for Europa (UN/ECE) har etablert et "International Cooperative Programme (ICP) on Modelling and Mapping of Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends" under Konvensjonen for Langtransporterte Grenseoverskridende Luftforurensninger (LRTAP-Konvensjonen). Hvert medlemsland i Konvensjonen utarbeider nasjonale tålegrensedata. Disse samles, fremstilles i kart og rapporteres av et koordineringssenter (CCE) som er lagt til The National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) i Bilthoven i Nederland (Posch et al. 2003). Tålegrensekonseptet ligger til grunn for både den andre svovelprotokollen (UNECE 1994) underskrevet i Oslo i 1994, og multi-effekt/multi-pollutant protokollen som ble undertegnet i Göteborg i 1999 (UNECE 1999).

Programmet Naturens tålegrenser ble startet i 1989 i regi av Miljøverndepartementet, og NIVA har vært nasjonalt Focal Center for Task Force on Mapping siden starten av programmet i 1989. Programmet gir bl. a. innspill til pågående aktiviteter under LRTAP-Konvensjonen. NIVA har bl. a. bidratt internasjonalt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for både svovel og nitrogen for forsuring av overflatevann, og nasjonalt er det utarbeidet tålegrensekart for hele Norge og for Svalbard. Forrige oppdaterte kart med tålegrenser og overskridelser i Norge ble publisert i 2000 (Henriksen and Buan 2000).

## 2. Metoder for tålegrenseberegninger

For Norge er det utarbeidet tålegrenser for forsuring fra sterke syrer (svovel- og salpetersyre) til overflatevann og skogsjord og for overgjødning (eutrofiering) av terrestrisk vegetasjon med nitrogen.

### 2.1.1 Overflatevann

Tålegrensen for forsuring av overflatevann er basert på at syretilførselen ikke skal overskride forvittringshastigheten (bufferproduksjonen) i nedbørfeltet minus en mengde buffer som skal beskytte utvalgte biota mot skader. I praksis er grenseverdiene satt for å kunne opprettholde en selvreproduserende ørretbestand.

Vi har anvendt to modeller for å beregne tålegrenser for sur nedbør (svovel og nitrogen) til overflatevann i Norge

1. The Steady-State Water Chemistry (SSWC) modellen som beregner tålegrenser for sterk syre og dagens overskridelse (UNECE 1996; Henriksen and Posch 2001).
2. The First-order Acidity Balance (FAB) modellen som beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen og deres overskridelser (Henriksen and Posch 2001).



*SSWC modellen* anslår forvittringshastigheten for nedbørfeltet utfra dagens vannkjemi (basekationer) og beregner ved hjelp av en faktor den delen av basekationene i vannet i dag som skyldes ionebytting i jorda. Buffermengden som må til for å beskytte det valgte biota (fisk for Norge) kalles  $ANC_{limit}$ .

*FAB modellen* beregner som nevnt separate tålegrenser for svovel og nitrogen og tar hensyn til opptaksprosesser for nitrogen i jorda og i selve innsjøen og sedimentene. Med FAB-modellen kan vi derfor beregne overskridelsene for både svovel og nitrogen.

Den vesentlige forskjellen mellom de to modellene er hvordan de behandler nitrogennedfallet. *SSWC* modellen er basert på den antagelsen at nitrogenopptaket i framtiden vil fortsette å være som observert i dag, mens *FAB* modellen antas det at en større andel nitrogen vil bidra til forsuring i framtiden. Modellene er beskrevet i detalj i andre publikasjoner (Henriksen and Posch 2001).

### 2.1.2 Skogsjord

Jordkjemiske data i Norge foreligger hovedsakelig for jord dekket av skog. Tålegrensen for sterk syre til skogsjord er basert på at syretilførselen ikke skal føre til at forholdet mellom basekationer og aluminiumsioner blir lavere enn 1 i jordvannet. Tålegrensene er beregnet med *Steady State Mass Balance* (SMB) modellen (UBA 2003). For beregning av forvittringshastighet, en viktig inngangsparameter til SMB modellen, har en brukt den dynamiske modellen *MAGIC* (Model of Acidification of Groundwater in Catchments) (Cosby et al. 1985; Cosby et al. 2001). Tålegrensene for skogsjord ble oppdatert i 2003. Tekniske detaljer om gjennomføring av beregningene er gitt i Vedlegg A.

### 2.1.3 Overgjødsling - vegetasjon

Tålegrenser for overgjødsling av vegetasjon er basert på at N-tilførselen ikke skal overskride en bestemt årlig mengde for en gitt type vegetasjon. For Norge er tålegrensene blitt anslått på basis av empiriske verdier for forskjellige vegetasjonstyper (UNECE 1996; Esser and Tomter 1996).

## 3. Datagrunnlag for tålegrenseberegninger

Den offisielle norske databasen inneholder tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i et definert rutesystem.

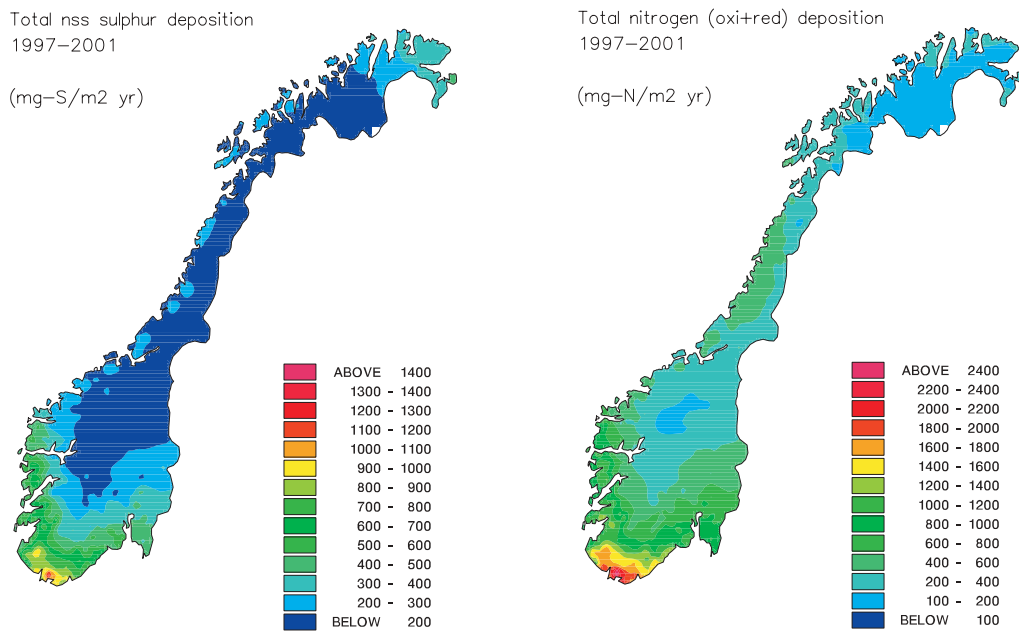
Databasen inneholder følgende informasjon:

Rutestørrelse: Hver rute definert ved  $1^{\circ}$  lengde og  $0.5^{\circ}$  bredde er delt i 16 underruter (NIVA-rute).

Avsetning: NILU har beregnet avsetning av svovel og nitrogenforbindelser basert på målinger av luft- og nedbørkjemi. Avsetningsberegningene er gjort for perioder på 5 år. Den siste perioden tilgjengelig er 1997-2001 (Hole and Tørseth 2002). Avsetningsverdier er fordelt på tålegrenseruter direkte fra NILUs kart med kontinuerlige verdier (Figur 1).

Årlig avrenning for hver rute er lest fra avrenningskart for perioden 1931-1960 utgitt av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Vannkjemi: Vannkjemien i hver rute er basert på en valgt innsjø eller elv ved å sammenlikne tilgjengelige vannkemiske data for innsjøer og elver i ruten.



**Figur 1.** Avsetningskart for svovel (venstre) og nitrogen (høyre) for perioden 1997-2002. Fra Hole and Tørseth 2002.

Jordkjemi. Beregningene av tålegrensene er basert på jordkjemiske data for skogsovervåkningsflatene fra Norsk institutt for jord og skogkartlegging (NIJOS). Disse flatene er lokalisert i 9 x 9 km ruter og er blitt aggregert til 12 x 12 km rutenettet som beskrevet ovenfor.

Overgjødning – vegetasjon: Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon i Norge er blitt anslått på basis av empiriske verdier for forskjellige vegetasjonstyper. Vegetasjonstypene ble valgt ut fra den nasjonale skogtakseringens registreringer basert på et nettverk på 3 x 3 km (Esser and Tomter 1996). Tålegrensene er oppdatert i henhold til siste ekspertmøte innen langtransportkonvensjonen om empiriske tålegrenser for nitrogen (Achermann and Bobbink 2003) og er vist i Tabell 1.

**Tabell 1.** Tålegrenser for ulike vegetasjonstyper (Achermann and Bobbink 2003).

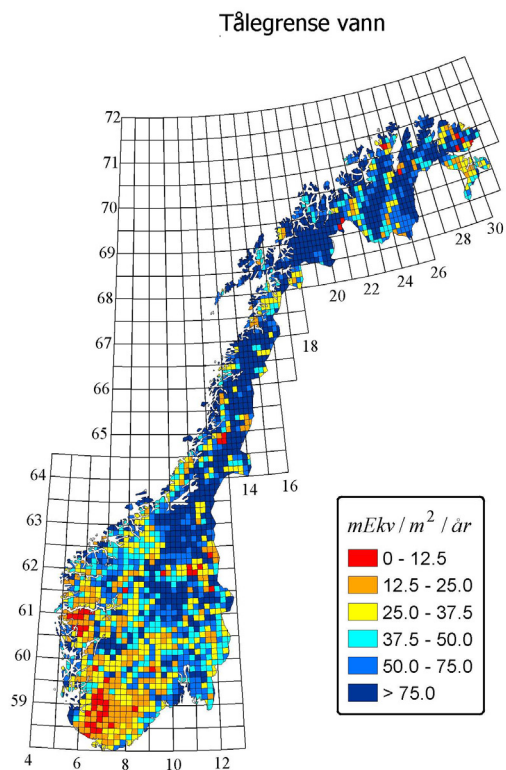
| Vegetasjonstype                        | Ombrotrof myr | Lauvskog + barskog | Lynghei | Andre |
|--|---------------|--------------------|---------|-------|
| Tålegrense:                            |               |                    |         |       |
| kg N ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> | 5             | 10                 | 10      | 20    |
| mekv m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>  | 36            | 71                 | 71      | 143   |

## 4. Resultater

### 4.1 Beregning av tålegrenser

#### 4.1.1 Overflatevann

Tålegrensene for hver rute er beregnet med SSWC-modellen. Tålegrensekartet (Figur 2) viser at de laveste tålegrensene (røde ruter) finner vi på Sørlandet og de vestlige deler av Norge der berggrunnen er dominert av granitt og gneis, men følsomme områder finnes også spredt over hele landet. De høyeste svovelavsetningene finner vi i de samme områdene som har de laveste tålegrensene (se Figur 1). Denne kombinasjonen av høy følsomhet og høy syredeposisjon er hovedårsaken til at store områder i Sør-Norge er sterkt utsatt for forsurening av vann og jord.

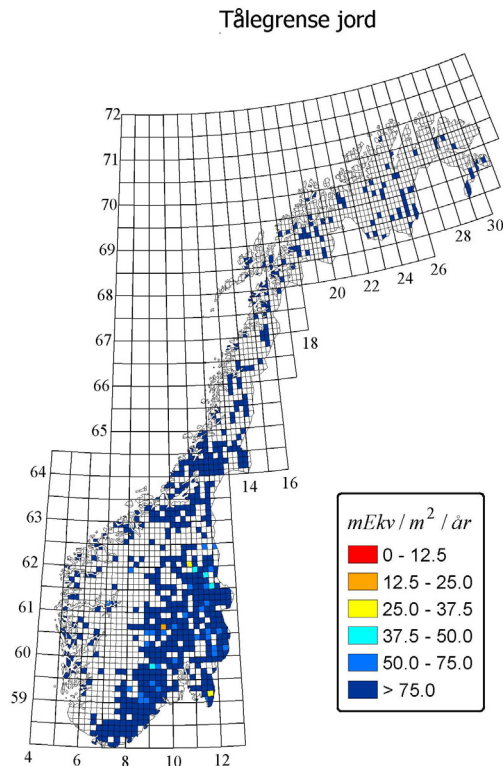


**Figur 2.** Tålegrenser for tilførsler av sterk syre til overflatevann i Norge beregnet med SSWC-modellen.

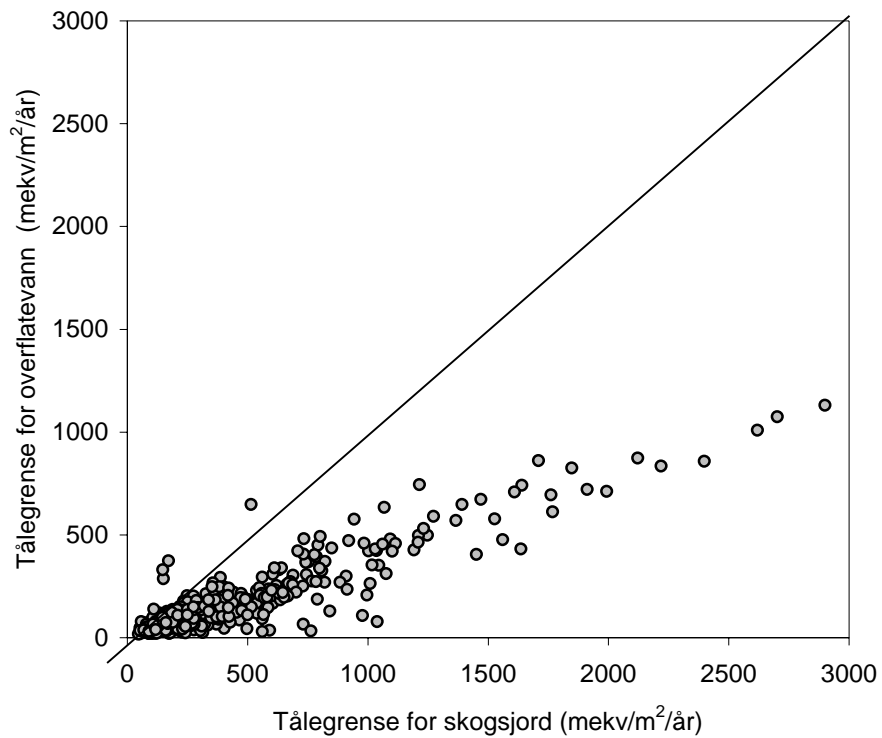
### 4.1.2 Skogsjord

Tålegrensene for skogsjord (Figur 3) er beregnet med stady State Mass Balance (SMB) modellen for de ruter der det finnes data for jord. Forvittringshastigheter, som er inngangsdata til SMB modellen, er beregnet med MAGIC-modellen. Framgangsmåten benyttet i beregning av tålegrenser for jord er endret i forhold til tidligere beregninger av tålegrenser for jord i Norge. Detaljer om beregningsmåte er gitt i Vedlegg A. Justeringene i beregningsmetodikk gjør at tålegrensene for jord som før var spesielt lave nå er noe høyere.

Tålegrensene som vises her er for tilførsel av svovel under den forutsetning 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 "bast case" scenario for fremtiden idet det antas at nitrogentilførsel heller ikke i fremtiden vil bidra til forsuring av skogsjord i Norge. 720 av rutene har produktiv skog og disse dekker 117980 km<sup>2</sup>, dvs. 36,8% av Norges fastlandsareal. En sammenlikning av tålegrenser for jord og vann for de 720 rutene som har tålegrenser for begge økosystemer viser at overflatevann generelt har vesentlig lavere tålegrenser enn skogsjord (Figur 4).



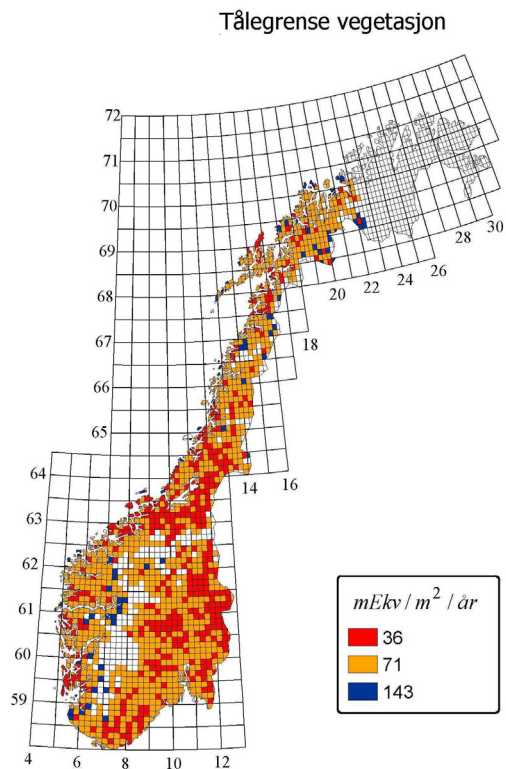
**Figur 3.** Tålegrenser for skogsjord i Norge beregnet med SMB-modellen. Forvittringshastigheter er beregnet med MAGIC-modellen.



**Figur 4.** Sammenligning av tålegrensene for overflatevann og for skogsjord i Norge. Hvert punkt representerer en ruteverdi i tålegrensedatabasen. Linja viser 1:1 forholdet. De aller fleste punkter ligger under linja og viser at tålegrensen for skogsjord er større enn for overflatevann for de aller fleste ruter.

### 4.1.3 Vegetasjon

Tålegrenser for overgjødsling av vegetasjon i Norge (Figur 5) er blitt anslått på basis av empiriske verdier for forskjellige vegetasjonstyper (UNECE 1996; Esser and Tomter 1996). Forekomst av vegetasjonstyper er basert på data fra Landsskogtakseringens 3x3 km rutenett. Barskog har den laveste tålegrensen (7 kg/ha/år, eller 50 mEkv/m<sup>2</sup>/år) når det gjelder nitrogentilførsler, og for hele 78% av det kartlagte arealet er det forekomst av barskog som bestemmer tålegrensen. Den nest laveste tålegrensen (10 kg/ha/år) gjelder for lauvskog og ombrotrof myr, og disse vegetasjonstypene bestemmer tålegrensen for 17% av det kartlagte arealet. For resten av det kartlagte arealet (5%) er tålegrensen bestemt av forekomst av røsslynghei og andre vegetasjonstyper. Ikke kartlagte (hvite) ruter ligger enten i Finnmark eller i andre deler av landet som ikke er vurdert av Landsskogtakseringen og disse tilsvarer 26% av landet.



**Figur 5.** Tålegrenser for vegetasjon i Norge basert på empiriske grenseverdier.

36 mEkv/m<sup>2</sup>/år tilsvarer 5 kg N /ha /år  
 71 mEkv/m<sup>2</sup>/år tilsvarer 10 kg N /ha /år  
 143 mEkv/m<sup>2</sup>/år tilsvarer 20 kg N /ha /år

## 4.2 Overskridelse av tålegrenser

Overskridelse av tålegrenser kan beregnes ved å trekke tålegrenseverdien fra nedfallsverdien for hver enkelt rute. Hvis tallet blir positivt er tålegrensen overskredet og tallet angir mengden av overskuddsyre. Blir tallet negativt er tålegrensen ikke overskredet.

Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser er rapportert her for sur nedbør (svovel og nitrogen) i Norge for alle tre reseptorer ved avsetningsnivåene i i tre perioder:

- Årlig middeldeposisjon for 1978-1982
- Årlig middeldeposisjon for 1992-1996
- Årlig middeldeposisjon for 1997-2001

Data for nedfall er beregnet av NILU (Hole and Tørseth 2002).

### 4.2.1 Overskridelser for overflatevann

Begge modellene for overflatevann beregner overskridelsen for svovel. SSWC-modellen tar bare i betraktning den delen av nitrogendeposisjonen som lekker ut som nitrat i dag, mens FAB-modellen tar med all nitrogen som kan lekke i fremtiden.

Resultatene av disse beregningene er gitt i Tabell 2 og i Figur 6 og Figur 7.

#### *FAB-modellen og nitrogenlekkasje*

FAB-modellen prognoserer situasjonen ved maksimal nitrogenlekkasje. Da bare en del av tilført nitrogen (0-40%) lekker i dag er det betydelig forskjell på prognosene for de to modellene.

FAB-modellen tar hensyn til en rekke nitrogensluk:

- Denitrifikasjon:  $N_{denitr.}$  Årlig fluks av N til atmosfæren på grunn av denitrifikasjon. Denne prosessen skjer i myrer og er en funksjon av myrprosenten i nedbørfeltet
- Immobilisering:  $N_{immob.}$  Dette er den mengde nitrogen som bindes i jorda pr. år
- Opptak:  $N_{opptak}$  Den mengde nitrogen som tas ut av nedbørfeltet i form av skogsdrift og er en funksjon av prosent produktiv skog i nedbørfeltet. I nedbørfelt uten produktiv skog er dette leddet 0.
- Innsjø-opptak:  $N_{innsjø-ret.}$  Dette er den del av nitrogentilførselen til innsjøen som tas opp gjennom biologiske prosesser og avsettes i sedimentene og som derfor ikke renner ut av innsjøen.

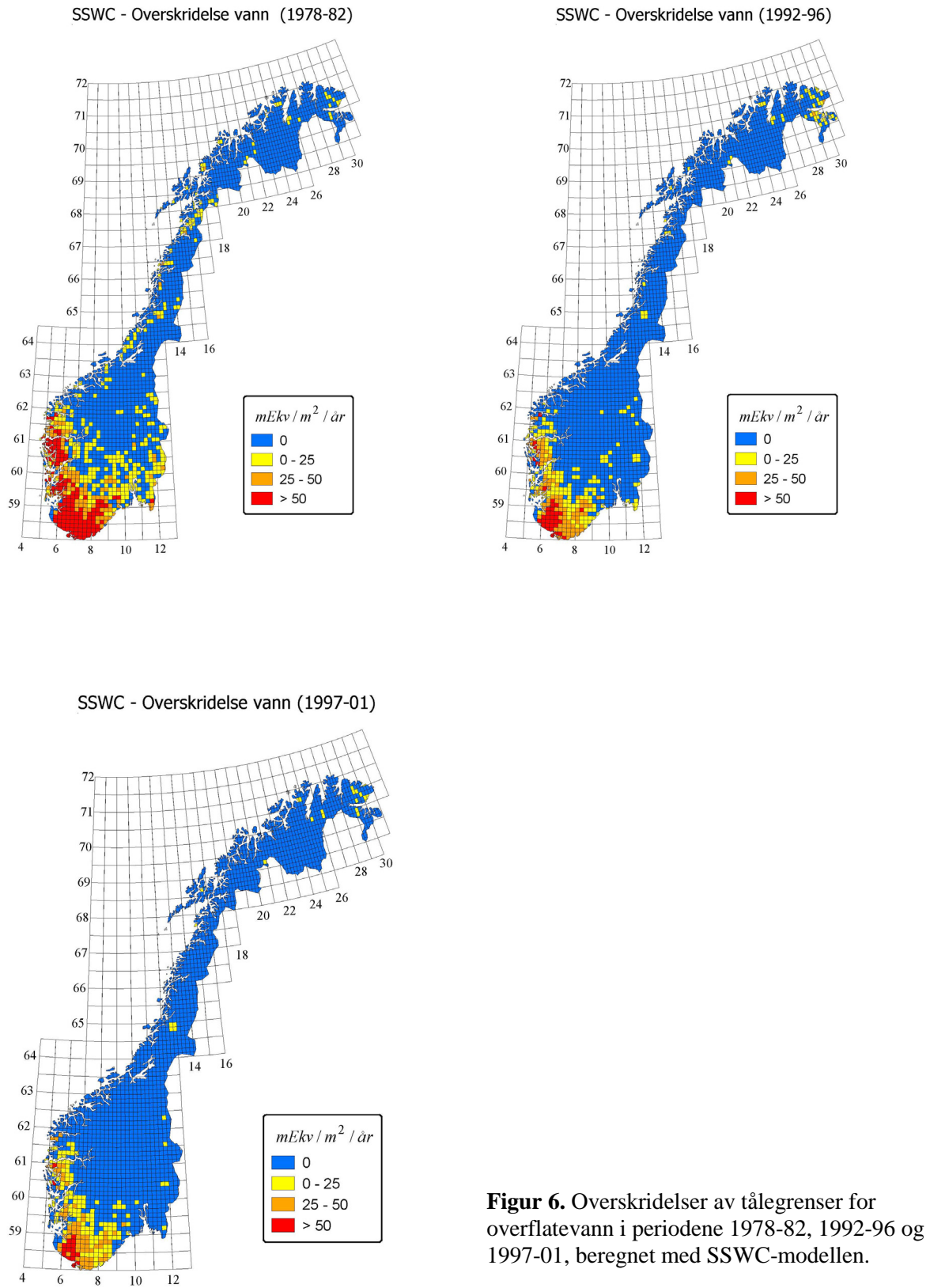
De tre første prosessene skjer i nedbørfeltet, mens den siste bare skjer i innsjøen. Vi kan derfor sette opp følgende N-balanse:

$$N_{pot.lekkasje} = N_{dep} - (N_{denitr.} + N_{immob.} + N_{opptak} + N_{innsjø-ret.})$$

$N_{pot.lekkasje}$  er den mengde N som kan lekke fra nedbørfeltet og innsjøen ifølge FAB-modellen. Vi kan beregne hvor mye som lekker i dag ( $N_{lekkasje}$ ) utfra den målte  $NO_3$ -konsentrasjonen i sjøen. Ved å trekke dagens N-lekkasje fra den potensielle lekkasje får vi hvor mye som midlertidig kan lagres i jorda ( $N_{midl.imm.}$ ) og som kan lekke i fremtiden:

$$= N_{midl.imm.} = N_{pot.lekkasje} - N_{lekkasje}$$

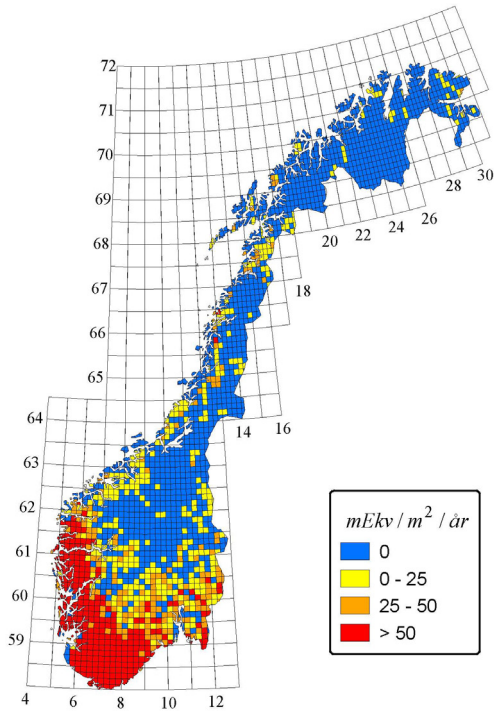
Dagens nitrogenlekkasje er tatt med i beregningen av overskridelsene basert på SSWC-modellen. Den delen som er "midlertidig immobilisert" i nedbørfeltet representerer faktisk i gjennomsnitt vel halvparten av N-deposisjonen i dag. Sammenligning av resultatene med FAB modellen og SSWC modellen illustrerer det store forsureningspotensialet som ligger i N-avsetningen. Arealmessig er det ca. 30 000 km<sup>2</sup> av Norge der tålegrensen ikke er overskredet med SSWC-modellen, men som vil bli overskredet hvis dette nitrogenet lekker ut. Disse områdene finner vi i hovedsak i Telemark, Vest- og Aust-Agder, Rogaland og Sogn og Fjordane.



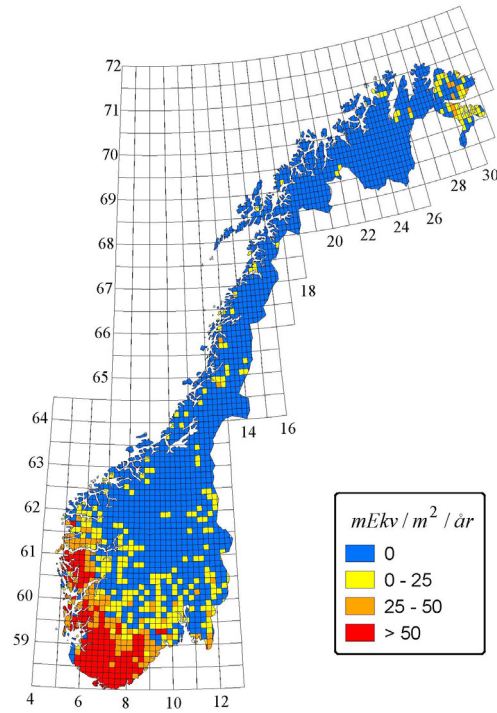
**Figur 6.** Overskridelser av tålegrenser for overflatevann i periodene 1978-82, 1992-96 og 1997-01, beregnet med SSWC-modellen.



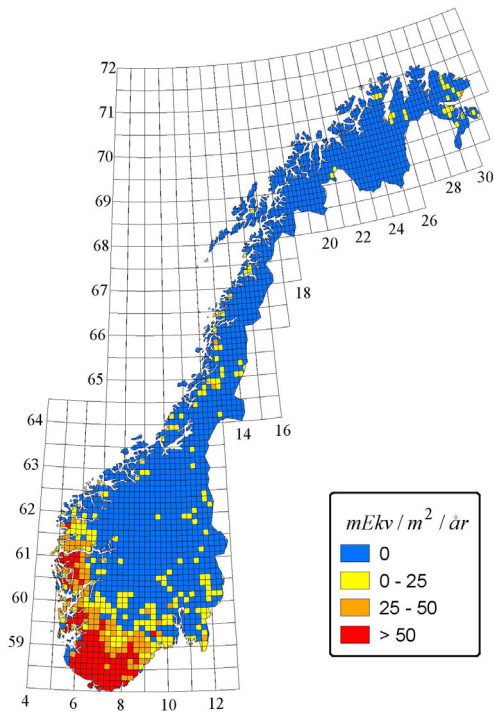
FAB - Overskridelse vann (1978-82)



FAB - Overskridelse vann (1992-96)



FAB - Overskridelse vann (1997-01)



**Figur 7.** Overskridelser av tålegrenser for overflatevann i periodene 1978-82, 1992-96 og 1997-01, beregnet med FAB-modellen.

**Tabell 2.** Prosent av Norges areal der tålegrensene for overflatevann er overskredet ved fire tidspunkter ved bruk av to modeller.

| Deposisjons-scenarior | SSWC                               |                   | FAB                                |                   |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
|                       | Overskredet areal, km <sup>2</sup> | % av Norges areal | Overskredet areal, km <sup>2</sup> | % av Norges areal |
| 1978-1982             | 97 300                             | 30                | 134 000                            | 42                |
| 1983-1987*            | 77 800                             | 24                | 118 000                            | 37                |
| 1988-1992*            | 64 900                             | 20                | 92 500                             | 29                |
| 1992-1996             | 56 400                             | 17                | 91 300                             | 28                |
| 1997-2001             | 43 000                             | 13                | 74 400                             | 23                |

\*Data fra Henriksen and Buan 2000

Avsetningstallene (SSWC) fra siste periode (1997-2001) viser at 13% av Norges areal fortsatt har nedfall som overskrider tålegrensen. Dette er en betydelig forbedring fra tidligere: I perioden 1978-1982 var 30% av arealet overskredet og for perioden 1992-1996 var 17% av arealet overskredet. Hvis maksimal N-lekkasje inntreffer vil overskredet område øke til 23% av Norges areal ved dagens avsetning.

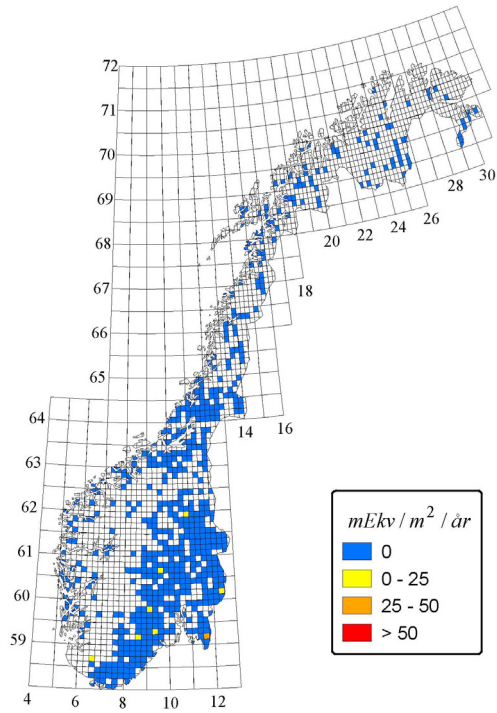
#### 4.2.2 Overskridelser for skogsjord

Overskridelser av tålegrensene for skogsjord er beregnet for svoveldeposisjonen under antagelse av full nitrogenretensjon i nedbørfeltet er. Dette er en forenkling, som stemmer godt overens med dagens situasjon i skogsområder, men som er et best case scenario med hensyn på framtiden. Siden tålegrensene for skogsjord er høyere enn for overflatevann vil overskridelsene som følge av vannforsuring uansett dominere over forsuring av skogsjord. Det kartlagte arealet med skog dekker 36,8% av landets totale areal. Med avsetningstallene for perioden 1997-2001 er 0,06% av Norges areal overskredet med hensyn på skogsjord (Tabell 3). For perioden 1978-1982 var til sammenligning 0,48% overskredet.

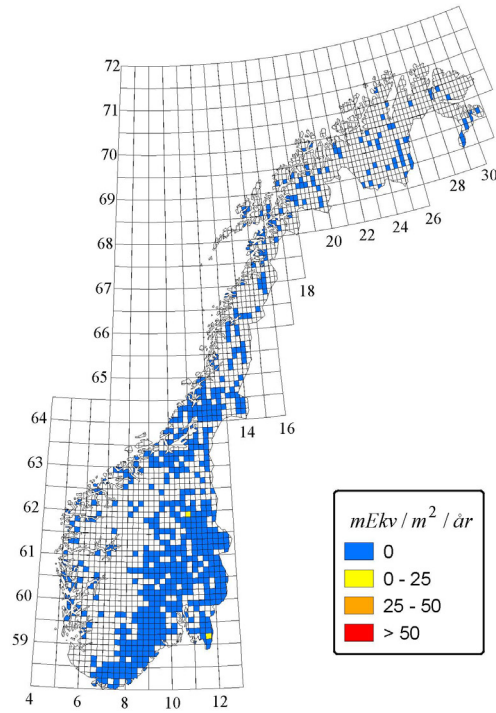
**Tabell 3.** Tålegrenser for tilførsel av svovel til skogsjord: overskredet areal ved noen deposisjonsnivåer. Totalt kartlagt areal : 117983 km<sup>2</sup> (36,8% av Norges areal).

| S-deposisjon | Overskredet areal, km <sup>2</sup> | % av Norges areal |
|--------------|------------------------------------|-------------------|
| 1978-1982    | 1559                               | 0,48              |
| 1992-1996    | 382                                | 0,12              |
| 1997-2001    | 183                                | 0,06              |

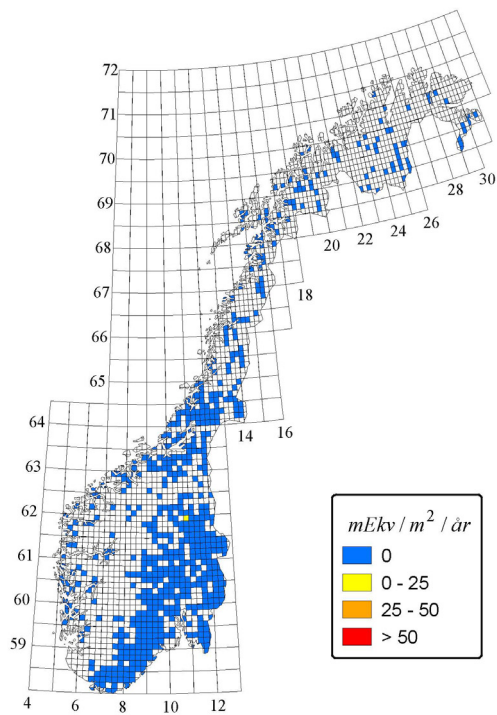
S - Overskridelse skogsjord (1978-82)



S - Overskridelse skogsjord (1992-96)



S - Overskridelse skogsjord (1997-01)



**Figur 8.** Overskridelser av tålegrenser for skogsjord i periodene 1978-82, 1992-96 og 1997-01.

### 4.2.3 Overskridelser for overgjødning

Tålegrensene for overgjødning av nitrogen er oppdatert basert på de siste tilgjengelige empiriske data (Achermann and Bobbink 2003). Det har vært små endringer i nitrogenavsetningen sammenlignet med svovelavsetningen, og det er derfor små forskjeller mellom overskridelsene for de ulike år (Tabell 4). For perioden 1997-2001 var 10% av Norges areal overskredet. For perioden 1978-1982 var 16% overskredet. Fortsatt er store deler av Sør-Norge overskredet, spesielt gjelder dette Agderfylkene og deler av Rogaland (Figur 9).

**Tabell 4.** Tålegrenser for overgjødning (nutrient nitrogen): overskredet areal ved noen depositions-nivåer. Totalt kartlagt areal : 235774 km<sup>2</sup> (73,5% av Norges areal).

| Deposisjon | Overskredet areal, km <sup>2</sup> | % av Norges areal |
|------------|------------------------------------|-------------------|
| 1978-1982  | 51441                              | 16                |
| 1992-1996  | 35792                              | 11                |
| 1997-2001  | 32635                              | 10                |

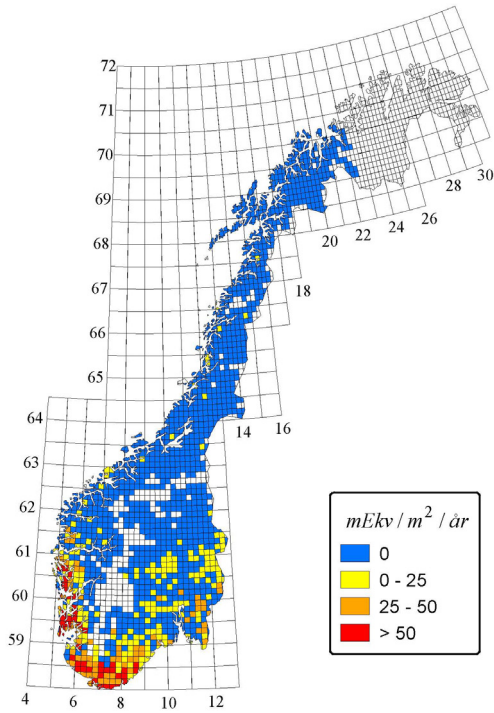
#### *Tidsforsinkelser: fra nedfall til effekt*

I dose-respons kjeden fra avsetning av sur nedbør til effekter på organismer vil det oppstå vesentlige tidsforsinkelser.

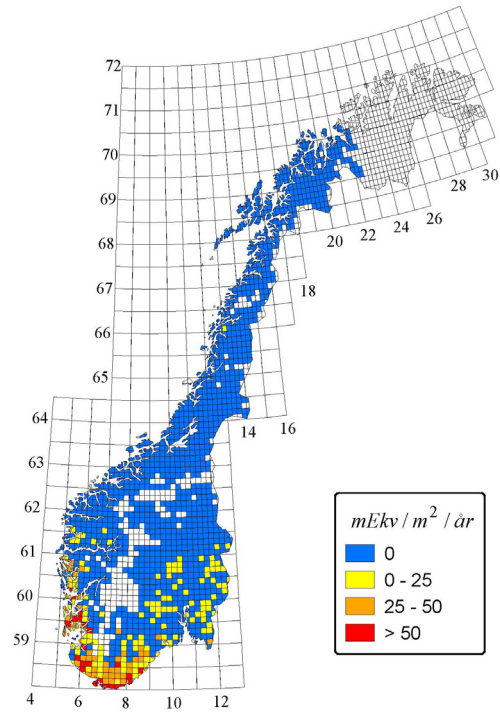
Den første typen forsinkelse er av kjemisk karakter forårsaket av prosesser i jordsmonnet. For skrint og fattig jordsmonn, som er typisk for Norge, vil tidsforsinkelsen for sulfat fra det avsettes i nedbørfeltet til det renner ut i vann og vassdrag være vanligvis bare være 1-5 år. Redusert i sulfatavsetning vil derfor raskt gi redusert konsentrasjon av sulfat i vann. Dette vil så gi økning i pH og reduksjon i konsentrasjon av kationer, inkludert aluminium, som er giftig for fisk. Her er det altså en rask respons. I tillegg kommer langsomme endringer i jordsmonnets lager av basekationer (blant annet kalsium og magnesium), som utarmes ved langvarig avsetning av sur nedbør. Dette lageret av basekationer bygges opp igjen når tålegrensen ikke lenger er overskredet ved forvitring av mineraler i jordsmonnet. Det kan ta svært lang tid å bygge opp igjen lageret av basekationer når forsuringen avtar. Modellberegninger foreslår at det kan ta flere hundre år før man er tilbake på det nivå som fantes før forsuring startet. Denne tidsforsinkelsen er altså meget langsom.

De andre type tidsforsinkelse er av biologisk karakter og er forårsaket av justeringer i vannøkosystemet til endret vannkjemi. Fiskearter som for eksempel ørret kan bruke 10 år for å bygge opp en levedyktig selvreproduserende bestand etter at forsuring har avtatt til under tålegrensen. For laks kan det ta enda lenger tid, kanskje så mye som 20 år.

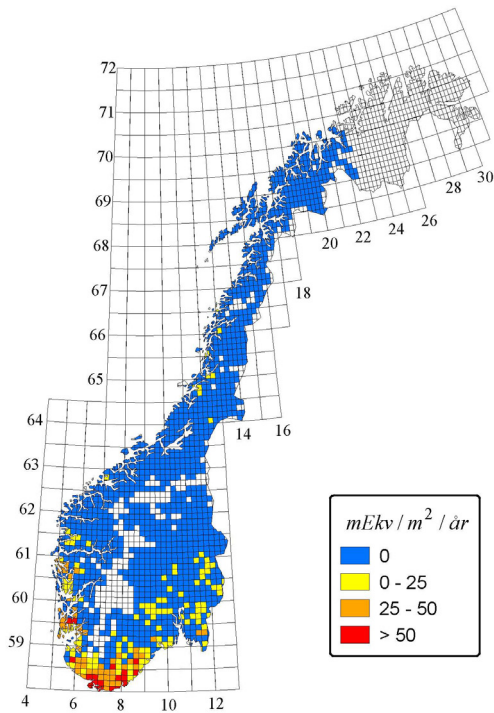
N - Overskridelse vegetasjon (1978-82)



N - Overskridelse vegetasjon (1992-96)



N - Overskridelse vegetasjon (1997-01)



**Figur 9.** Overskridelser av tålegrenser for vegetasjon i periodene 1978-82, 1992-96 og 1997-01.

## 5. Konklusjoner

Betydelige deler av Norges areal har fortsatt overskredne tålegrenser. Overflatevann er det mest forsurede system de fleste steder og har dermed de høyeste tålegrenseoverskridelsene. Tilsammen 13% av Norges areal har fortsatt overskredne tålegrenser, selvom det har vært en betydelig forbedring siden 1970-tallet da det sure nedfallet var på sitt høyeste. I perioden 1978-1982 var 30% av Norges areal overskredet.

Store områder har også overskredne tålegrenser for overgjødslingseffekter fra nitrogen på vegetasjonen. Tilsammen 10% av Norges areal har overskredne tålegrense for overgjødslingseffekter av N.

## 6. Referanser

- Achermann, B. and Bobbink, R. 2003. Empirical critical loads for nitrogen. Expert workshop Berne 11-13 Nov. 2002. Environmental Documentation 164, Swiss Agency for the Environment, Berne, CH.
- Cosby, B. J., Ferrier, R. C., Jenkins, A., and Wright, R. F. 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrological Earth System Science*. 5: 499-518.
- Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Galloway, J. N., and Wright, R. F. 1985. Modelling the effects of acid deposition: assessment of a lumped parameter model of soil water and streamwater chemistry. *Water Resources Research*. 21: 51-63.
- Esser, J. M. and Tomter, S. M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. *Naturens Tålegrense Fagrapport 80*, NIJOS, Ås. 9 pp.
- Henriksen, A. and Buan, A. K. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. *Naturens Tålegrenser SNO 4179-2000*, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 29 pp.
- Henriksen, A. and Posch, M. 2001. Steady-state models for calculating critical loads of acidity for surface waters. *Water Air and Soil Pollution: Focus* 1: 375-398.
- Hole, L. R. and Tørseth, K. 2002. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1978-1982 and 1997-2001: status and trends. *Naturens tålegrenser* 115 OR 61/2002, NILU, Kjeller. 72 pp.
- Posch, M., Hettelingh, J. P., Slootweg, J., and Downing, R. J. 2003. Modelling and Mapping of Critical Thresholds in Europe: CCE Status Report 2003. 259101013/2003, RIVM, Bilthoven. 132 pp.
- UBA. 2003. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and geographical Areas where they are exceeded. [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org) Umweltbundesamt, Berlin.
- UNECE. 1994. Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution on Further Reduction of Sulphur Emissions. Document ECE/EB.AIR/40, United Nations Economic Commission for Europe, New York and Geneva. 106 pp.
- UNECE. 1996. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and Geographical Areas where They are Exceeded. UN/ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Texte 71/96, Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin.
- UNECE. 1999. The 1999 Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Document ECE/EB.AIR, United Nations Economic Commission for Europe, New York and Geneva.

## Vedlegg A.

### Calculation method for the 2003 update of the Norwegian critical loads database for forest soils.

The Simple Mass Balance (SMB) model (UBA 2003) was used to calculate the critical loads. The update was conducted using MAGIC to calculate the weathering rates, following the same procedure as for the previous calculations for critical loads for forest soils in Norway (Frogner et al., 1993; Frogner et al., 1994). The following describes the technicalities running MAGIC for calculation of weathering rates. There have been updates in some general assumptions for parameter values and also a change in the description of historical deposition in the model (Cosby et al. 2001).

1986 was used as the calibration year since the critical loads database for surface water to a large extent is based on 1986 data. Soils data were taken from the NIJOS forest soil survey database, as in the previous calculations. The principle is to calibrate MAGIC to the observed surface water chemistry and the observed exchangeable cations in the soil. The automatic calibration routine of MAGIC 777 was used.

For practical reasons the data was split into three groups:

- A: One soil horizon
- B: Two soil horizons
- C: Run with two horizons, but soil data had to be combined from two different sites.

The following updates in input data were done since the previous run:

- Historic deposition sequences. This was based on the most recent EMEP/IIASA calculations (Posch et al. 2003). This update also includes a difference in the model formulation from MAGIC version 5 to 777. Version 5 required the background chemistry of the deposition to be given, and the deposition sequence joins the background and present. Version 777 calculates the background deposition from the present using the deposition sequence only. In principle, there is no difference in the model versions, but it means that the old sequences could not be taken directly to the version 777 for the update. The same sequences were used as for RECOVER 2010 (Posch et al. 2003).
- $pK_{Al(OH)_3}$ : An updated value for the constant was calculated from available soil solution chemistry (speciating Al using ALCHEMI and default constants). 8.44 was used for all sites and both horizons. Soil solution data used were from ICP forest sites in Norway and the same as used in Larssen et al. (2002).
- The DOC concentration was also taken from the average of soil solution measurements. The average of the available measurements was 12.2 mg/l = 42  $\mu$ eq/L in MAGIC
- Organic acidity constants was taken from Hruska (Hruska et al. 2003), i.e. using pK-values: 3.04; 4.51; 6.46.
- Background  $SO_4$  concentration has been included both through deposition and weathering. Background deposition is included as 5% of the 1990 total  $SO_4$  deposition (according to EMEP). The geological contribution ( $SO_4$  weathering) was set to maximum 20 meq/m<sup>2</sup>/yr and calculated using the empirical factor: 0.17 [BC\*]<sub>r</sub>. All  $SO_4$  weathering was assumed to take place in soil 1.
- The relative area of the lake was set to 5% at all sites.
- The lake retention time was set to 0.2 years.

The calibration procedure:

- The weights in the automatic calibration were changed from default to 5 for Ca, Mg and K concentrations and 2 for the Na concentration.

- After the first round with MAGICOPT with default calibration window limits, the windows were opened in the second round to:  $\pm 1$  meq/kg for each of the exchangeable base cations and  $\pm 5$   $\mu\text{eq/L}$  for the  $\text{K}^+$  concentration.
- Those still not calibrated automatically were calibrated manually. For most sites this was achieved by setting the upper limits for the initial Ca saturation to 90% (default is 50%) and in some cases setting a lower limit for  $\text{K}^+$  weathering of 5 meq/m<sup>2</sup>/yr.
- In addition some technical adjustments were done.
  - The number of integration steps per year was increased for the files with 5 to 9 steps per year (increased to 15-19) (To avoid error “negative  $\text{NH}_4$ ”)
  - Several files were calibrated with too high constants for K-Al exchange and appeared as \*\*\*\* in the pr1 files. The \*\*\*\*s was changed with -10.

## References

- Cosby, B. J., Ferrier, R. C., Jenkins, A., and Wright, R. F. 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydro Earth System Sci.* **5**: 499-518.
- Frogner, T., Wright, R. F., Cosby, B. J., and Esser, J. M. 1994. Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. *Naturens Tålegrense Fagrapport 56*, NIVA, Oslo. 27 pp.
- Frogner, T., Wright, R. F., Cosby, B. J., Esser, J. M., Håøya, A. O., and Rudi, G. 1993. Map of critical loads (sulphur) for coniferous forest soils in Norway. *Naturens Tålegrenser Fagrapport 33*, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 30 pp.
- Hruska, J., Kohler, S., Laudon, H., and Bishop, K. 2003. Is a universal model of organic acidity possible: Comparison of the acid/base properties of dissolved organic carbon in the boreal and temperate zones. *Environmental Science and Technology.* **37**:1726-1730.
- Larssen, T., Clarke, N., Tørseth, K., and Skjelkvåle, B. L. 2002. Prognoses for future acidification recovery of water, soils and forests: dynamic modeling of Norwegian data from ICP Forests, ICP IM and ICP Waters. SNO 4577-2002, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 38 pp.
- Posch, M., Schöpp, W., Johanson, M., and Mylona, S. 2003. 150 Years of Sulphur and Nitrogen Deposition in Europe (1880-2030). IIASA, Laxenburg, Austria.
- UBA. 2003. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and geographical Areas where they are exceeded. [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org) Umweltbundesamt, Berlin.



## **Naturens Tålegrenser**

**Programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang i 1989 i regi av Miljøverndepartementet.**

**Programmet skal blant annet gi innspill til arbeidet med Nordisk Handlingsplan mot Luftforurensninger og til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Langtransporterte Grensoverskridende Luftforurensninger (Genevekonvensjonen). I arbeidet under Genevekonvensjonen er det vedtatt at kritiske belastningsgrenser skal legges til grunn ved utarbeidelse av nye avtaler om utslippsbegrensning av svovel, nitrogen og hydrokarboner.**

**En styringsgruppe i Miljøverndepartementet har det overordnede ansvar for programmet, mens ansvaret for den faglige oppfølgingen er overlatt en arbeidsgruppe bestående av representanter fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) og Statens forurensningstilsyn (SFT).**

**Arbeidsgruppen har for tiden følgende sammensetning:**

**Tor Johannessen - SFT  
Else Løbersli - DN  
Steinar Sandøy – DN**

**Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:**

**Direktoratet for naturforvaltning  
7485 Trondheim  
Tel: 73 58 05 00**

**eller  
Statens forurensningstilsyn  
Postboks 8100 Dep  
0032 Oslo 1  
Tel: 22 57 34 00**

**Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter**

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworowski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.
- 2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsuringfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II: Vedlegg og bilag).
- 5 Pedersen, H. C. & Nybø, S. 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsuringfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K.I, Foss, B., Løken, A. & Saastad, S.M. 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat.
- 14 Frisvoll, A.A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 69.
- 16 Mortensen, L.M. 1991. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.
- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. 1991. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 71.
- 19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Rapport 0-89185,2.

- 
- 20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av parametre for å bestemme forsurningsfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsurningsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
- 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.
- 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.
- 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.
- 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.
- 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.
- 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsurningsfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.
- 33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.
- 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 35 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.
- 37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.
- 38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt . Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.
- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
-

- 
- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effekstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogen gjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.
- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.
- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
-

- 
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Sagmo Solli, I.M, Flatberg, K.I.F., Söderström, L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier. NTNU. Vitenskapsmuseet. Rapport botanisk serie 1996-1.
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1996. Tålegrenser for nitrogen i skog - en vurdering av kunnskapsgrunnlaget. Aktuelt fra Skogforsk 7-96.
- 68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til tålegrenser og forurensning. Rapport fra Skogforsk 22-95.
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (red.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1996. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sci.* 7: 129-138.
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sciences* 8:91-97.
- 77 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.
- 78 Thomsen, M.G., Esser, J., Venn, K. & Aamlid, D. 1996. Sammenheng mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).
- 79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.
- 80 Esser, J.M. & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).
- 81 Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann, beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3528-96.
-

- 
- 82 Henriksen, A., Hesthagen, T. & Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3565-96.
- 83 Wright, R. F., Raastad, I.A., & Kaste, Ø. 1996. Atmospheric deposition of nitrogen, runoff of organic nitrogen, and critical loads for soils and waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3592-97
- 84 Mortensen, L.M. 1995. The influence of ozone pollution on growth of young plants of *Betula pubescens* Ehrh. And *Phleum alpinum* L. Dose-response relations. *Norw. J. Agr. Sci.* 9:249-262
- 85 Mortensen, L.M. 1996. Ozone sensitivity of *Betula pubescens* at different growth stages after budburst in spring. *Norw. J. Agr. Sci.* 10:187-196.
- 86 Tørseth, K., Rosendahl, K.E., Hansen, A.C., Høie, H. & Mortensen, L.M. 1997. Avlingstap som følge av bakkenært ozon. Vurderinger for perioden 1989-1993. SFT-rapport.
- 87 Rognerud, S, Hognve, D. & Fjeld, E. 1997. Naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. Kan atmosfæriske avsetninger påvirke metall-konsentrasjoner slik at det ikke reflekterer berggrunnens geokjemi? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3670-97
- 88 Skjelkvåle, B.L., Wright, R.F. & Tjomsland, T. 1997. Vannkjemi, forurensningsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3646-97
- 89 Nordbakken; J.-F. 1997. Småskalaendringer i ombrotrof myrvegetasjon i SØ-Norge 1990/91-96. Botanisk Hage og Museum, Univ. Oslo Rapp. 1
- 90 Sogn, T.A., Kjønås, J., Stuanes, A.O., & Abrahamsen, G. 1997. Akkumulering av nitrogen - variasjoner avhengig av bestandsutvikling, nitrogen tilførsel og simulert snødekke. Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag, Rapport nr. 10/97.
- 91 Nygaard, P.H., Ødegård, T. & Flatberg, K.I.F. Vegetasjonsendringer over 60 år i fattig skog- og myrvegetasjon i Karlshaugen skogreservat. Skogforsk (in prep)
- 92 Knutzen, J., Gabrielsen, G.W., Henriksen, O.E., Hylland, K., Källqvist, T., Nygård, T., Pacyna, J.S. Skjegstad, N. & Steinnes, E. 1997. Assessment of the applicability for pollution authorities of the concept "critical load" of long-range transported micropollutants in relation to aquatic and terrestrial ecosystems. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3751-97.
- 93 Tørseth, K. & Semb, A. 1997. Deposition of major inorganic components in Norway 1992-1996. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 67/97.
- 94 Henriksen, A. 1998. Application of the first order acidity balance (FAB) model to Norwegian surface waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3809-98
- 95 Sogn, T.A. & Wright, R.F. 1998. The model MERLIN applied to Nordmoen, Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3844-98
- 96 Skjelkvåle, B.L. & A. Henriksen, 1998. Vannkjemi, forurensningsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Hardangervidda. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Report SNO 3895-98
- 97 Henriksen, A. 1998. Binding grid cells – Norway. An evaluation. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3942-98
- 98 Lükewille, A. & A. Semb. 1998. Deposition in Norwegian Mountain areas. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 66/97
- 99 Strand, L.T., Stuanes, A.O. & G. Abrahamsen. 1998. Akkumulering av karbon og nitrogen i unge jordsmonn. Institutt for jord og vannfag, rapport nr 9/98.
- 100 Wright, R.F. & Henriksen, A. 1999. Gap closure; use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4012-99
-

- 101 Henriksen, A. 1999. Tålegrenser i fjellområder. Hva vet vi og hva bør vi vite? Rapport fra seminar 16.-17. Februar 1999. Rondablikk Føyfjellshotell. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4017-99
- 102 Wright, R.F. 1999. Risk of N leaching from forests to surface waters in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4038-99
- 103 Wright, R.F., Mulder, J. & Esser, J.M., 1999. Soils in mountain uplands regions of southwestern Norway: nitrogen leaching and critical loads. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4130-99
- 104 Lindstrøm, E.A., Kjellberg, G. & Wright, R.F. 1999. Tålegrensen for nitrogen som næringsstoff i norske fjellvann: økt "grønske"? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4187-2000
- 105 Thomsen, M.G. & Nellemann, Chr. 2000. Mortalitet og tilvekst i relasjon til forurensningsbelastningen i Sør Norge 1920-2000 (under trykking)
- 106 Henriksen, A & Buan, A.K. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 4179-2000
- 107 Aarrestad, P.A. & Vandvik, V. 2000. Vegetasjonsendringer i vestnorsk kystlynghei - effekter av skjøtelsformene brann og sauebeite ved rehabilitering av gammel lynghei på Lurekalven i Hordaland. - NINA fagrapport 044.
- 108 Oredalen, J.T. & Aas, W. 2000. Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst-Norge. Norsk institutt for vannforskning Rapport LNR 4310-2000.
- 109 Bruteig, I., Thomsen, M.G. & Altin, D. 2001. Vekstrespons hos tre aerofyttiske alger på tilførsel av nitrogen. NINA oppdragsmelding 680. (Rapporten er feilnummerert og har fått nummer 108)
- 110 Sogn, T.A., Mulder, J., Haugen, L.E., Berge, G., Rustad, K.B. & Stuanes, A. 2001. N-omsetning i hei-/fjellområder: En første tilnærming til dynamisk modellering av N-omsetningen. Institutt for jord- og vannfag, Norges landbrukshøgskole. Rapport nr 11/2001.
- 111 Kroglund, F., Wright, R.F. & Burchart, C. 2001. Acidification and Atlantic salmon: critical limits for Norwegian rivers. Norwegian Institute for Water Research Report No O-20191
- 112 Lindstrøm, E.A. 2001. Økt plantevekst i uberørt fjellvann: et samspill mellom langtransporterte forurensninger og klima. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4459-2001.
- 113 Larssen, T.; Clarke, N., Tørseth, K. & Skjelkvåle, B.L. 2002. Prognosis for future recovery from acidification of water, soils and forests: Dynamic modelling of Norwegian data from ICP Forests, ICP IM and ICP Waters. Norsk institutt for vannforskning. Report no. O-21172
- 114 Hindar, A. Tørseth, K., Henriksen, A. & Orsolini, Y. 2002. Betydningen av den nordatlantiske svingning (NAO) for sjøsaltepisoder og forsuring i vassdrag på Vestlandet og i Trøndelag. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4592-2002
- 115 Hole, L. R. & Tørseth, K. 2003. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1978-1982 and 1997-2001: status and trends. Norsk institutt for luftforskning OR 61/2002. ISBN 82-425-1410-0.
- 116 Larssen, T. & Høgåsen, T. 2003. Tålegrenser og overskridelser av tålegrenser i Norge. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4722-2003

Henvelseler vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon