

NIVA



RAPPORT LNR 4179-2000

Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge

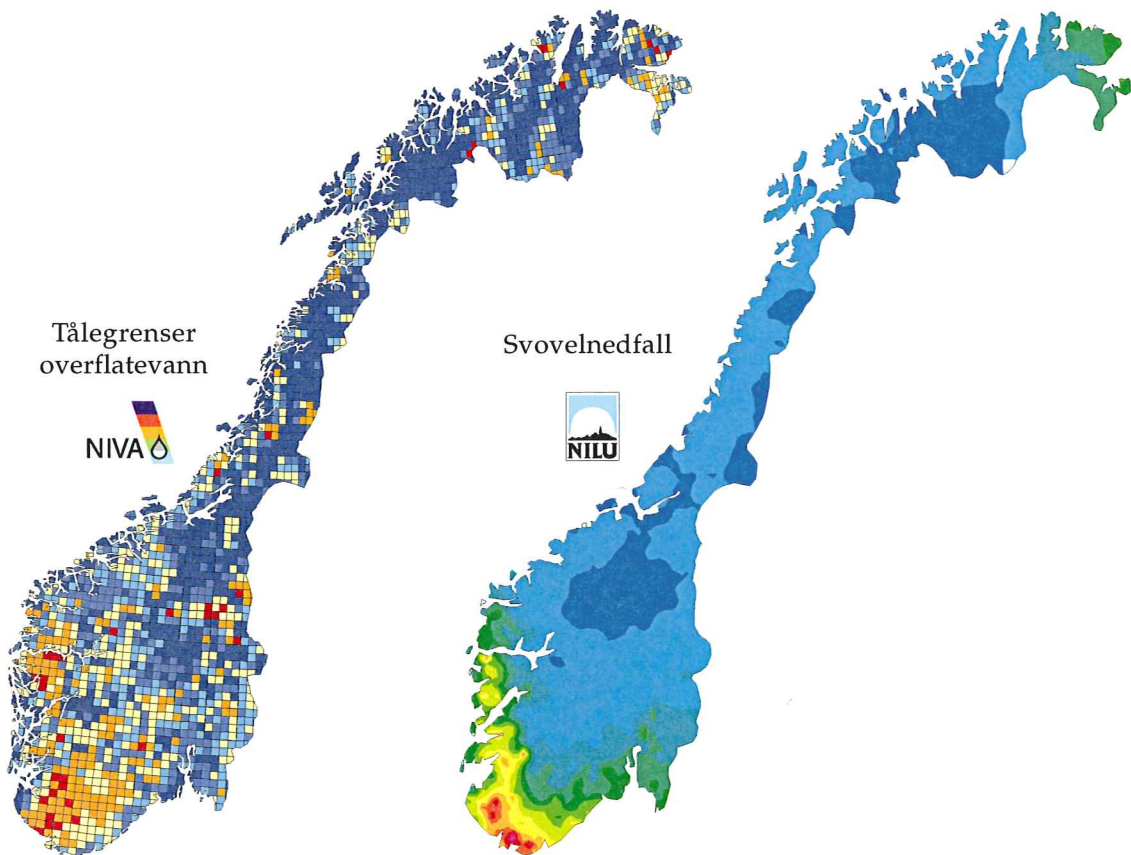
NATURENS
TÅLEGRENSER

Miljøverndepartementet
Fagrapport nr. 106

Tålegrenser
overflatevann



Svovelnedfall



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
Andre Kammerud - SFT
Else Løbersli - DN
Steinar Sandøy - DN**

Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:

**Direktoratet for naturforvaltning
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel: 73 58 05 00**

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

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
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge	Løpenr. (for bestilling) 4179-2000	Dato 2000.2.18
	Prosjektnr. Undernr. O-89210	Sider Pris 29
Forfatter(e) Arne Henriksen Ann Kristin Buan	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn (SFT)	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

Det nasjonale programmet Naturens Tålegrenser skal bl. a. gi innspill til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Langtranstransporterte Grenseoverskridende Luftforurensninger (LRTAP). Det internasjonale arbeidet med tålegrenser utføres i dag i regi av "ICP Mapping of Critical Levels and Loads", opprettet av LRTAP og direkte underlagt the Working Group on Effects. Det praktiske arbeidet koordineres av Coordination Center for Effects (CCE), National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven, Nederland. I hvert deltagende land er det et nasjonalt Focal Center som rapporterer til CCE. CCE sammenstiller dataene for bruk som grunnlag for internasjonale forhandlinger om reduserte utslipp med utgangspunkt i naturens tålegrenser. NIVA er Norges Focal Center. Første desember 1999 ble det i Göteborg undertegnet en protokoll om reduksjon av forsurening, overgjødning og bakkenært ozon som viderefører den 2. Svovelprotokollen som ble undertegnet i Oslo i 1994. Denne rapporten sammenstiller tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for sur nedbør (svovel og nitrogen) i Norge ved deponeringsnivåer i 1985, 1990 og 1994 og ved de deponeringsscenarier som følger av de to protokollene som skal være implementert i 2010.

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


Richard F. Wright
Prosjektleder


Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder


Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

Naturens Tålegrenser

Fagrapport nr. 106

**Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for
overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge**

Arne Henriksen

Ann Kristin Buan

Forord

Det nasjonale programmet Naturens Tålegrenser skal bl. a. gi innspill til pågående aktiviteter under Konvensjonen for Langtranstransporterte Grenseoverskridende Luftforurensninger (LRTAP). Mye av det internasjonale arbeidet med tålegrenser utføres i dag i regi av ”International Cooperative Programme (ICP) on Mapping of Critical Levels and Loads”, opprettet av LRTAP og direkte underlagt the Working Group on Effects (WGE). Det praktiske arbeidet koordineres av Coordination Center for Effects (CCE), National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven, Nederland. I hvert deltagende land er det et nasjonalt Focal Center som rapporterer til CCE. CCE sammenstiller dataene for bruk som grunnlag for internasjonale forhandlinger om reduserte utslipp med utgangspunkt i naturens tålegrenser. NIVA er Norges Focal Center og aktiviteten er en del av landets internasjonale forpliktelser. Første desember 1999 ble det i Göteborg undertegnet en protokoll om reduksjon av forsuring, overgjødning og bakkenært ozon, og supplerer den 2. Svovelprotokollen som ble undertegnet i Oslo i 1994.). For Norge er det utarbeidet tålegrenser for sterke syrer til overflatevann og skogsjord og for overgjødning av vegetasjon med nitrogen. Denne rapporten sammenstiller tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for svovel og nitrogen i Norge ved deponeringsnivåer i 1985, 1990 og 1994 og ved de deponeringsscenarier som følge av de to protokollene som skal være implementert i 2010. Tålegrenser for forsuring av overflatevann er utarbeidet ved NIVA. Tålegrenser for forsuring av skogsjord er utarbeidet av Norsk institutt for skogforskning (NISK) i samarbeid med NIJOS og NIVA.-Tålegrenser for overgjødning av nitrogen er beregnet ved Norsk institutt for jord og skogkartlegging (NIJOS).

Oslo, 18.02.2000

Arne Henriksen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Naturens tålegrenser	8
1.1. Metoder for beregning av tålegrenser	8
1.1.1. Overflatevann	8
1.1.2. Skogsjord	9
1.1.3. Overgjødsling - vegetasjon	9
2. Den norske databasen for naturens tålegrenser	9
2.1. Data tilgjengelig på NIVA's database for tålegrenser	10
3. Resultater	11
3.1. Beregning av tålegrenser	11
3.1.1. Overflatevann	11
3.1.2. Skogsjord	11
3.1.3. Vegetasjon	13
3.2. Overskridelse av tålegrenser	13
3.2.1. Overflatevann	13
3.2.2. Overskridelser for skogsjord	15
3.2.3. Overskridelser for overgjødsling	15
4. Avsluttende kommentarer	16
5. Litteratur	18
Vedlegg A.	20

Sammendrag

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. NIVAs arbeide med Naturens tålegrenser startet i 1988, og NIVA har vært nasjonalt Focal Center for Task Force on Mapping siden 1989. Aktivitetene er basert på å utarbeide, tilrettelegge og koordinere tålegrensedata for Norge mot norske myndigheter og mot Coordination Center for Effects (CCE). Tålegrensen for sterk syre til overflatevann er basert på at syretilførselen ikke skal overskride forvittringshastigheten (bufferproduksjonen) i nedbørfeltet minus en mengde buffer som skal beskytte utvalgte biota mot skader. 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, og 2: The First-order Acidity Balance (FAB) modellen som beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen og deres overskridelser. Tålegrensen for sterk syre til skogsjord er basert på at syretilførselen ikke skal føre til at forholdet Ca/Al blir lavere enn 1 i jordvannet. For Norge har en brukt den dynamiske modellen MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments). Tålegrenser for overgjødning 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.

De laveste tålegrensene for overflatevann finner vi på Sørlandet og de vestlige deler av Norge der berggrunnen er dominert av granitt og gneis, men følsomme områder finnes spredt over hele landet. Tålegrensene for tilførsler av svovel til skogsjord er generelt lave på Sørlandet og Sørvestlandet, og med høyere tålegrenser i Midt- og Nord-Norge. De høyeste svovelavsetningene finner vi i de samme områdene som har de laveste tålegrensene. Denne kombinasjonen av høy følsomhet og høy syredeposisjon er hovedårsaken til at store områder i Sør-Norge er sterkt rammet av forsurening av vann og jord. Generelt er tålegrensene for overflatevann vesentlig lavere enn for skogsjord. Når det gjelder overgjødning med nitrogen er laveste tålegrense for vegetasjon gitt for barskog. Hele 78% av det kartlagte arealet er dekket av denne vegetasjonstypen. Den nest laveste tålegrensen er gitt for lauvskog og ombrotrof myr, og disse vegetasjonstypene dekker 17% av det kartlagte arealet.

Overskridelse av tålegrenser kan beregnes ved å trekke tålegrenseverdien fra deposisjonsverdien for hver enkelt rute. Med basis i middel-deposisjonen for 1992-1996 (1994) er tålegrensene for overflatevann overskredet i 20% av Norge, mens Göteborg-protokollens scenario reduserer overskredet område til 7% med dagens nitrogenlekkasje. Hvis maksimal N-lekkasje inntreffer vil overskredet område øke til 12% av Norges areal. Gjennomføres Göteborg-protokollen i henhold til avtalene kan en derfor vente betydelige bedringer i forholdene for fisk og andre vannorganismer i våre innsjøer og elver. For skogsjord ble overskredet areal redusert fra 20% til vel 12% fra 1985 til 1994 av det kartlagte arealet. Göteborgprotokollen vil føre til at overskredet areal reduseres til ca. 6%. I 1990 var tålegrensene for vegetasjon overskredet i 35% av det kartlagte arealet. Dette ble redusert til vel 23% i 1994, men fortsatt er store deler av Sør-Norge overskredet, spesielt Agderfylkene og deler av Rogaland. I henhold til Göteborgprotokollen vil overskredet areal reduseres til 2-3% i 2010, og det er bare noen områder på Sørlandet som da fortsatt vil være overskredet.

Göteborgprotokollen vil føre til betydelige forbedringer når det gjelder overskridelser av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon. Det nasjonale overvåkingsprogrammet vil være viktig for å følge protokollens virkninger på tilførselene av sur nedbør og virkningene i innsjøer og elver, skogsjord og vegetasjon.

Summary

Title: Critical loads and critical load exceedances for surface waters, forest soil and vegetation in Norway.

The principle of "critical loads" is today accepted as basis for political decisions on reductions of emission of sulphur and nitrogen. The critical load is an estimate of how much pollutant nature can tolerate without damage. NIVA's work with critical loads started in 1988, and NIVA has been the national Focal Centre for Task Force on Mapping since 1989. Activities are primarily to develop, apply and co-ordinate critical loads data for Norway for the national authorities and for the Coordination Center for Effects (CCE). For Norway there now exist critical loads maps for strong acids to surface waters and forest soils and for eutrophication of terrestrial vegetation by nitrogen. The critical load for strong acid to surface water is based on the principle that the deposition of strong acid should not exceed the weathering rate (buffer production) in the catchment less a buffer amount to protect selected biota against damage. Two models for calculating critical loads of acid deposition (sulphur and nitrogen) to surface waters in Norway have been used: 1) The Steady-State Water Chemistry Model (SSWC), which calculates the critical load for strong acid and present-day exceedance; 2) The First-order Acidity Balance Model (FAB), which calculates separate critical loads for sulphur and nitrogen and their exceedances. The critical load for strong acid to forest soils is based on the criterion that the acid deposition shall not lead to reduction of Ca/Al ratio in soil solution below the critical limit of 1. For Norway the dynamic model MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments) has been used. The critical load for eutrophication of terrestrial vegetation is based on the criterion that the N deposition shall not exceed a critical annual limit for each vegetation type.

The lowest critical loads for surface waters are found in southernmost Norway and those areas of western Norway with granitic and gneissic bedrock, although sensitive areas are also found spread over all of Norway. The critical load for sulphur to forest soils is generally low in southernmost and southwestern Norway, with higher levels in central and northern Norway. The highest levels of sulphur deposition are found in the same regions as the lowest critical loads. This combination of high sensitivity and high deposition is the main reason that large areas of southern Norway are heavily affected by acidification of waters and soils. The critical load for water is generally lower than that for soil. The critical load for eutrophication by nitrogen (nutrient nitrogen) is lowest for coniferous forest. Coniferous forest comprises 78% of the mapped area. The next lower critical load is for deciduous forest and ombrotrophic bogs, and these vegetation types cover 17% of the mapped area.

Exceedance of critical load is the difference between deposition and critical load. If the value is positive the critical load is exceeded and the value indicates the amount of "excess" acid. If the value is negative, then the critical load is not exceeded. In 1994 the critical load for surface water is exceeded in about 20% of Norway. The Gothenburg protocol calls for reductions in acid deposition such that only 7% of Norway's area will be exceeded, given present-day nitrogen leaching. If maximum nitrogen leaching occurs, then 12% of the area will be exceeded. Implementation of the Gothenburg protocol will thus dramatically improve conditions for fish and other organisms in lakes and streams. For forest soils the exceeded area was reduced from 20% to 12% from 1985 to 1994. The Gothenburg protocol comprises a further reduction to 6% of the mapped area. In 1990 the critical load for eutrophication was exceeded in 35% of the mapped area. This was reduced to about 23% in 1994, but there are still large areas of Agder counties and Rogaland that are exceeded. The Gothenburg protocol will reduce this exceeded area to 2-3% in 2010. There will be only a few areas in southernmost Norway still exceeded.

The Gothenburg protocol will lead to significant improvements with respect to exceedance of critical loads for surface waters, forest soils and vegetation. The national monitoring programme will be an important tool for following up the protocol through measurements of deposition and the effects on surface waters, soils and vegetation.

Authors: Arne Henriksen and Ann Kristin Buan

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3796-8

1. 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 en her klart å komme fram til relativt presise mål for et bærekraftig forurensningsnivå. Videre kan vi kvantifisere den belastningen som overskrider tålegrensen i forskjellige områder. En har 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 Mapping of Critical Levels and Loads" under Konvensjonen for Langtransporterte Grenseoverskridende Luftforurensninger (LRTAP-Konvensjonen). Hvert medlemsland i Konvensjonen utarbeider 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 (se Posch et al. 1999). Tålegrensekonseptet ligger til grunn for både den 2. Svovelprotokollen (UN/ECE 1994) underskrevet i Oslo i juni 1994, og den nye multi-effekt/multi-pollutant protokollen som ble undertegnet i Göteborg 1 desember 1999.

Det norske programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang høsten 1988 i regi av Miljøvern-departementet. Programmet gir bl. a. innspill til pågående aktiviteter under LRTAP-Konvensjonen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har siden programmet ble startet deltatt aktivt i arbeidet med tålegrenser, spesielt med hensyn til tålegrenser for overflatevann. NIVA har bl. a. bidratt internasjonalt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for både svovel og nitrogen, og nasjonalt er det utarbeidet tålegrensekart for hele Norge og for Svalbard.

Programmet Naturens tålegrenser ble startet i 1989 i regi av Miljøverndepartementet, og NIVA har vært nasjonalt Focal Center for Task Force on Mapping siden 1989. Aktivitetene er basert på å utarbeide, tilrettelegge og koordinere tålegrensedata for Norge mot norske myndigheter og mot CCE. NIVA har bl. a. bidratt internasjonalt med utvikling av metoder for beregning av tålegrenser for både svovel og nitrogen gjennom et utstrakt samarbeide med de nordiske land bl.a. i form av prosjekter under Nordisk Ministerråd (NMR) og med CCE (se Henriksen and Posch 2000). NIVA har deltatt aktivt på alle Task Force on Mapping's møter og på alle Workshops arrangert av CCE. NIVA har også bidratt til den oppdaterte manual som er utgitt av Task Force on Mapping (UN/ECE 1996).

1.1. Metoder for beregning av tålegrenser

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

1.1.1. Overflatevann

Tålegrensen for sterk syre til overflatevann er basert på at syretilførselen ikke skal overskride forvittringshastigheten (bufferproduksjonen) i nedbørfeltet minus en mengde buffer som skal beskytte utvalgte biota mot skader.

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 (UN/ECE 1996, Henriksen and Posch, 2000),

2. The First-order Acidity Balance (FAB) modellen som beregner separate tålegrenser for svovel og nitrogen og deres overskridelser (Posch et al. 1997, Henriksen and Posch, 2000).

SSWC modellen anslår forvittringshastigheten for nedbørfeltet utfra dagens vannkjemi (basekationer) og ved hjelp av F-faktoren som beregner 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.

1.1.2. Skogsjord

Jordkjemiske data foreligger hovedsakelig for jord dekket av skog. Tålegrensen for sterk syre til skogsjord er basert på at syretilførselen ikke skal føre til at forholdet Ca/Al blir lavere enn 1 i jordvannet. For Norge har en brukt den dynamiske modellen MAGIC (Model of Acidification of Groundwater in Catchments) (Cosby et al. 1985a, 1985b). MAGIC er en middels komplisert prosessorientert dynamisk modell for å rekonstruere forsuringshistorien og for å anslå videre forsuringsutvikling for tidsperioder som dekadere og desennier. MAGIC ser spesielt på endringer i jorda på grunn av atmosfæriske avsetninger, skogstilvekst og lekkasje til avrenningen fra jorda. De jordkjemiske prosessene i jorda som behandles av MAGIC-modellen omfatter sulfatadsorpsjon, kationbytting, oppløsning og dissosiering av CO₂, oppløsning og dissosiering av aluminium, kjemisk forvitring og dissosiering av organiske syrer.

1.1.3. Overgjødning - vegetasjon

Tålegrenser for overgjødning 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 (UN/ECE 1996).

2. Den norske databasen for naturens tålegrenser

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^o lengde og 0.5^o bredde er delt i 16 underruter (NIVA-rute) (se Figur 1).

Deposisjon: For hver NILU-rute (50x50km) (som er en 3x3 oppdeling av en EMEP-rute (150x150km)) er det beregnet en veiet gjennomsnittlig totaldeposisjon av forurensninger utfra luftkonsentrasjoner og våtavsetninger ved samtidig å ta hensyn til skogdekningen i ruten. (Tørseth and Pedersen 1994, Tørseth og Semb 1997). Disse verdiene er blitt fordelt til de enkelte NIVA-ruter. Deposisjonsdata for Oslo- og Göteborg-protokollen er mottatt fra CCE for de EMEP-ruter som dekker Norge og fordelt proporsjonalt i NILU-ruter og derfra fordelt til de enkelte NIVA-ruter.

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

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

Jordkjemi. Beregningene av tålegrensene er basert på jordkjemiske data for skogsovervåkingsflatene 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.

Overgjødsling – vegetasjon: Tålegrenser for overgjødsling av vegetasjon i Norge er blitt anslått på basis av empiriske verdier for forskjellige vegetasjonstypene (Esser og Tomter 1996). Vegetasjonstypene ble valgt ut fra den nasjonale skogtakseringens registreringer basert på et nettverk på 3 x 3 km. For disse ble det valgt empiriske tålegrenser angitt i følgende Tabell:

Vegetasjonstype	Barskog	Lauvskog + ombrottrof myr	Røsslynghei	Andre
Tålegrense, kg N ha ⁻¹ år ⁻¹	7	10	15	20

2.1. Data tilgjengelig på NIVA's database for tålegrenser

Følgende data for tålegrenser er tilgjengelige på NIVA's database for sur nedbør-relaterte data RESA (Researchers Archive).

Bredde- og lengdegrad for sentrum i ruten

Rutenr.

Fylke der ruten ligger. For ruter som ligger i flere fylker er disse delt arealmessig og identifisert

Areal av rute, km²

Avrenning, l·km²·s⁻¹ (1931-1960)

Svoveldeposisjon 1985, g S·m⁻²·år⁻¹

Svoveldeposisjon 1990, g S·m⁻²·år⁻¹

Svoveldeposisjon 1994, g S·m⁻²·år⁻¹

Svoveldeposisjon, Oslo-protokollen (2010), g S·m⁻²·år⁻¹

Svoveldeposisjon, Göteborg-protokollen (2010), g S·m⁻²·år⁻¹

Oksidert nitrogen (NO₃), 1985, g N·m⁻²·år⁻¹

Redusert nitrogen (NH₄), 1985, g N·m⁻²·år⁻¹

Oksidert nitrogen (NO₃), 1994, g N·m⁻²·år⁻¹

Redusert nitrogen (NH₄), 1994, g N·m⁻²·år⁻¹

Oksidert nitrogen (NO₃), Göteborg-protokollen (2010), g N·m⁻²·år⁻¹

Redusert nitrogen (NH₄), Göteborg-protokollen (2010), g N·m⁻²·år⁻¹

Basekationdeposisjon (Ca + Mg), g m⁻²·år⁻¹

Nedbør 1985, mm

Nedbør 1990, mm

Nedbør 1994, mm

Kjemiske data for tålegrenseberegninger

Tålegrense for vann, meq·m⁻²·år⁻¹

Tålegrense for jord, meq·m⁻²·år⁻¹

Tålegrense for nutrient nitrogen, kg·ha⁻¹·år⁻¹

N-opptak, meq·m⁻²·år⁻¹

Ca-opptak, meq·m⁻²·år⁻¹

Mg-opptak, meq·m⁻²·år⁻¹

K-opptak, meq·m⁻²·år⁻¹

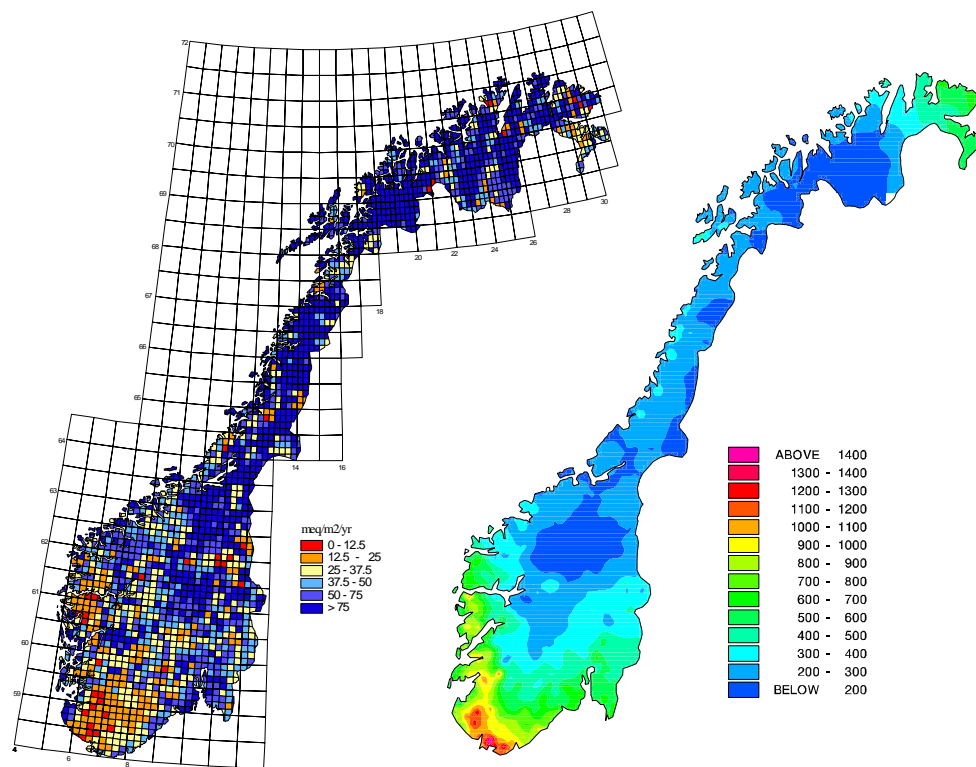
Identifikasjon av innsjø brukt til å representere ruten

3. Resultater

3.1. Beregning av tålegrenser

3.1.1. Overflatevann

Tålegrensene for hver rute er beregnet med SSWC-modellen. Tålegrensekartet (Figur 1, venstre) 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 spredt over hele landet. De høyeste svovelasetningene finner vi i de samme områdene som har de laveste tålegrensene (Figur 1, høyre). 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.

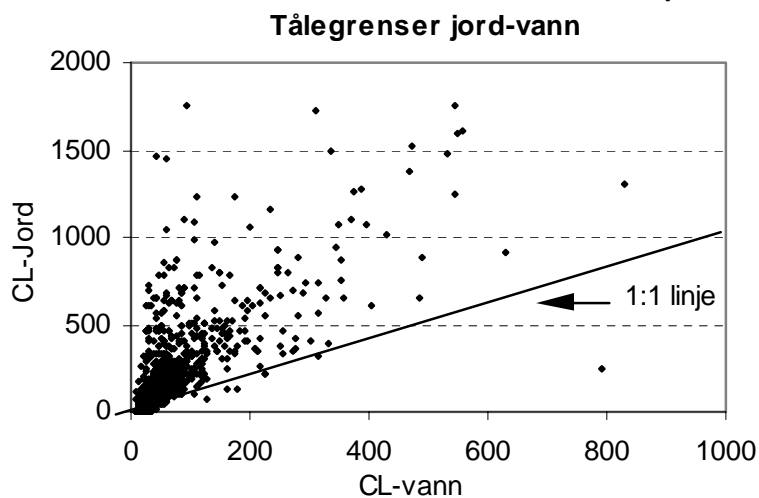


Figur 1. Venstre: Tålegrenser for tilførsler av sterk syre til overflatevann i Norge beregnet med SSWC-modellen (Henriksen and Posch 2000). Høyre: Veid årlig svovelasetning for perioden 1992-1996 i Norge. (Tørseth and Semb 1997).

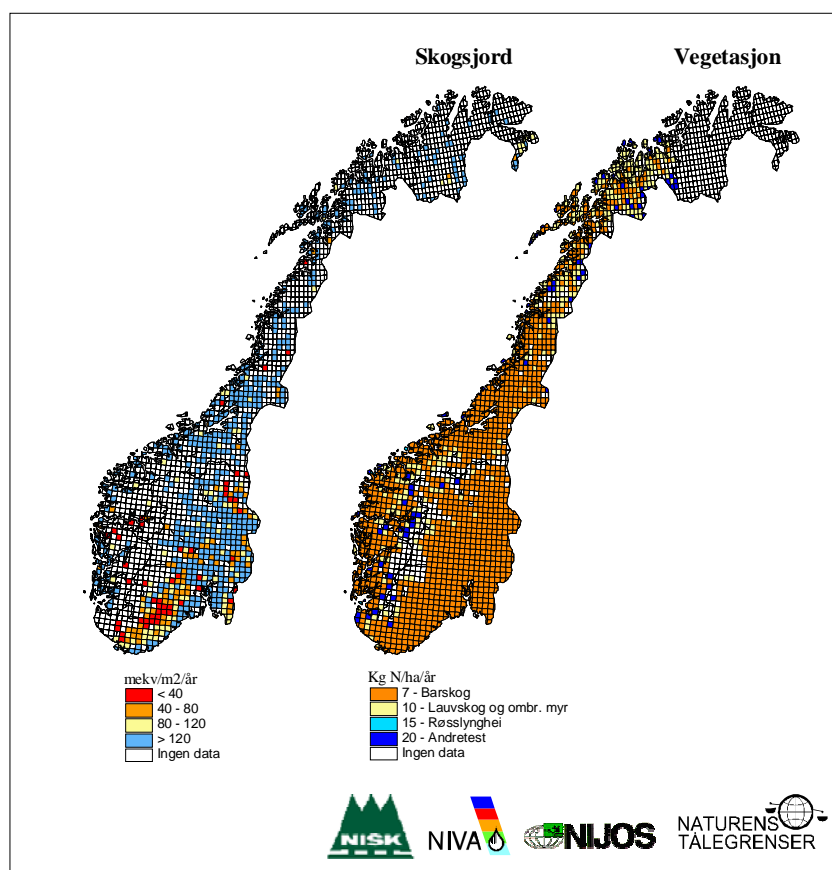
3.1.2. Skogsjord

Tålegrensene for skogsjord (Figur 2, venstre) er beregnet med MAGIC-modellen for de ruter der det finnes data for jord (Frogner et al. 1992, Frogner et al. 1994). Vi har her bare beregnet tålegrenser for tilførsler av svovel fordi det er komplisert å ta med effekten av nitrogen. Kartet i Figur 2 viser at tålegrensen for tilførsler av svovel til skogsjord er generelt lav på Sørlandet og Sørvestlandet, og med høyere tålegrenser i Midt- og Nord-Norge. Dette bildet reflekterer på samme måte som for tålegrenser for overflatevann fordelingen av granittiske bergarter i Norge. Jord i slike områder har typisk lav

forvitring. 720 av rutene har produktiv skog og disse dekker 117980 km², 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 3). Overflatevann betraktes derfor det mest følsomme økosystemet i Norge.



Figur 3. Tålegrenser (CL) for jord er generelt høyere enn for overflatevann i Norge. (Enhet: mekv/m²/år).



Figur 2. Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon med nitrogen (Esser og Tomter 1996) basert på empiriske verdier, og tålegrenser for skogsjord i Norge beregnet med MAGIC-modellen (Frogner et al. 1994).

3.1.3. Vegetasjon

Tålegrenser for overgjødning av vegetasjon i Norge (Figur 2, høyre) er blitt anslått på basis av empiriske verdier for forskjellige vegetasjonstyper (UN/ECE 1996). Forekomst av vegetasjonstyper er basert på data fra Landsskogtakseringens 3x3 km rutenett (Tomter 1994). Barskog har den laveste tålegrensen (7 kg/ha/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.

3.2. Overskridelse av tålegrenser

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

Vi har beregnet tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for sur nedbør (svovel og nitrogen) i Norge for alle tre reseptorer ved deponisjonsnivåene i 1985, 1990 og 1994 og ved de deponisjonsscenarioer som følger av de to protokollene som skal være implementert i 2010:

- Årlig middeldeponisjon for 1983-1987 (1985)
- Årlig middeldeponisjon for 1988-1992 (1990)
- Årlig middeldeponisjon for 1992-1996 (1994)
- Beregnet svoveldeponisjon i henhold til Oslo-protokollen –1994*, nitrogendeponisjon som i 1994.
- Beregnet svovel- og nitrogendeponisjon i henhold til Göteborg-protokollen 1999*

*Skal gjennomføres innen 2010.

3.2.1. Overflatevann

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

Nitrogenlekkasjen under scenariet for Göteborgprotokollen er beregnet fra dagens NO₃-lekkasje multiplisert med forholdstallet $N_{\text{dep-2010}}/N_{\text{dep-1994}}$, idet vi antar at nitratlekkasjen reduseres proporsjonalt med reduksjonen i nitrogendeponisjonen. Resultatene av disse beregningene er gitt i Tabell 1 og i figurene A1-A6 i Appendiks A.

Tabell 1. Prosent av Norges areal der tålegrensene for overflatevann er overskredet ved fire tidspunkter ved bruk av to modeller.

Deponisjons-scenario	SSWC	FAB
1985	30	40
1990	24	37
1994	20	29
2010 (Oslo-prot.-94)	12	22
2010 (Göteborg-prot.-99)	7	12

I 1994 var 20% av Norge overskredet, mens Göteborg-protokollens scenario reduserer overskredet område til 7% med dagens nitrogenlekkasje (Tabell 1). Hvis maksimal N-lekkasje inntreffer vil overskredet område øke til 12% av Norges areal. Hvis Göteborg-protokollen gjennomføres i henhold

til avtalene kan vi derfor vente betydelige bedringer i forholdene for fisk og andre vannorganismer i våre innsjøer og elver.

Begge modellene er såkalte likevektsmodeller, dvs. at de forteller oss hvordan situasjonen vil bli når det er blitt likevekt i nedbørfeltet. Tiden det vil ta for å oppnå likevekt for en gitt deponisjon vil være avhengig av egenskapene for nedbørfeltet for innsjøen og hvor lenge den har vært utsatt for sur nedbør. Derfor kan vi i dag ikke si når en sjø vil komme i likevekt med endringer i deponisjonen. Da det dreier seg om et stort og variert utvalg av sjøer med forskjellige typer nedbørfelt er det lite sannsynlig at likevekten vil inntreffe samtidig i alle sjøene. Foreløpige vurderinger for sjøer som går fra å være overskredet til ikke å være overskredet i 2010 antyder at vi kan forvente akseptable forhold i løpet av 5-20 år senere. (Wright, 2000).

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 beregner følgende 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: $N_{\text{innsjø-ret}}$. 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.

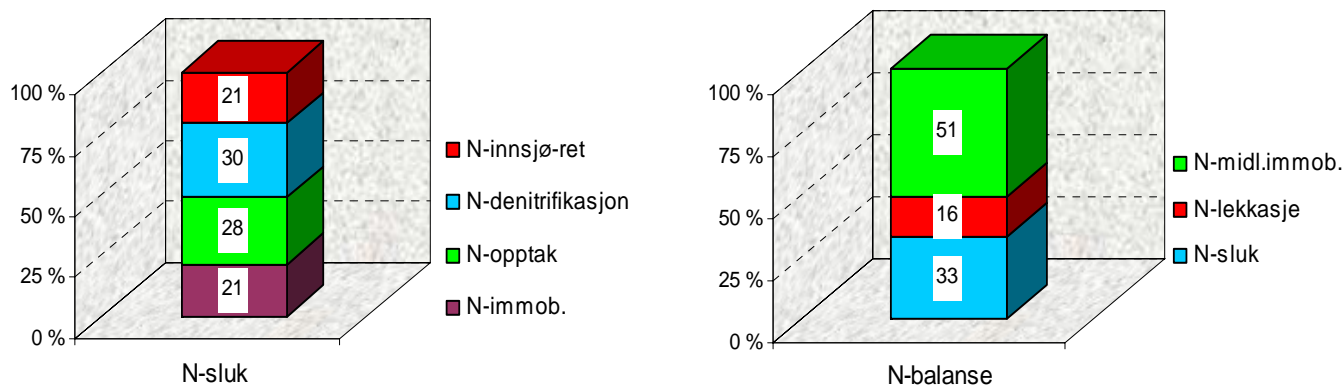
De tre første prosessene skjer i nedbørfeltet, mens den siste bare skjer i innsjøen. Vi kan derfor sette opp følgende N-balanse:

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

$N_{\text{pot.lekkasje}}$ 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 ($N_{\text{midl.imm}}$) og som kan lekke i fremtiden:

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

Som eksempel på betydningen av disse prosessene har vi beregnet verdier for alle N-sluk for de innsjøene som var med i den regionale innsjøundersøkelsen i 1995 (Skjelkvåle et al. 1998a). Figur 4 gir middelverdiene for alle innsjøene. Denitrifikasjon og opptak i skog er de største slukene i dag, mens immobilisering i jorda og retensjon av nitrogen i er like store (Figur 4, venstre). Høyre figur viser N-balansen for innsjøene i dag. 33% av den totale N-deponisjonen holdes tilbake i nedbørfeltet (N-sluk), mens 16% av tilførslene lekker i dag som nitrat. Denne siste delen 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-deponisjonen i dag. 11% av dette nitrogenet vil imidlertid holdes igjen i innsjøen hvis det "midlertidig immobiliserte" nitrogenet lekker fra nedbørfeltet, slik at ca. 40% av nitrogendeponisjonen vil kunne forsure avrenningsvannet. 16% av nedfallet forsurer i dag som nitrat. Disse beregningene illustrerer det store forurensningspotensialet som ligger i N-deponisjonen. Arealmessig er det ca 16000 km² av Norge der tålegrensen ikke er overskredet med SSWC-modellen i år 2010, 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 4. Nitrogensluk og nitrogenbalanse for innsjøer i Norge i henhold til FAB-modellen. Beregningene er basert på middelverdier for 1005 innsjøer prøvetatt i 1995 (se Skjelkvåle et al. 1996).

3.2.2. Overskridelser for skogsjord

Det er tidligere beregnet overskridelser av tålegrenser for skogsjord (Frogner et al. 1994) ved forskjellige svovel- og nitrogendeposisjoner. Vi har her for enkelthets skyld bare beregnet tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for svoveldeposisjonen ved de forskjellige scenarier og antatt ingen endring i nitrogendeposisjonen og ingen endring i nitrogenretensjonene i nedbørfeltet. For Göteborgprotokollens scenario er dette en forenkling, da nitrogendeposisjonen i Norge vil bli ca 50% lavere i henhold til denne protokollen enn den er i dag. Det kartlagte arealet med skog dekker 36,8% av landets totale areal. Resultatene er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Tålegrenser for tilførsel av svovel til skogsjord: overskredet areal ved noen deposisjonsnivåer.

Totalt kartlagt areal : 117983 km² (36,8% av Norges areal).

S-deposisjon	Overskredet areal, km ²	% av kartlagt areal	% av Norges areal
Middeldeposisjon 1983-1987 (1985)	23670	20,1	7,4
Middeldeposisjon 1988-1992 (1990)	21677	18,4	6,8
Middeldeposisjon 1992-1994 (1994)	14746	12,5	4,6
Göteborgprotokoll - 2010	6682	5,7	2,1

Fra 1985 til 1994 er overskredet areal redusert fra 20% til vel 12% av det kartlagte arealet. Göteborgprotokollen vil redusere overskredet areal med ytterligere 50% til snaut 6%. Her skal det imidlertid tas forbehold om effekten av redusert nitrogendeposisjon i 2010, da det innbyrdes forholdet mellom svovel og nitrogen bestemmer graden av overskridelse. Likeledes skal det presiseres at det vil ta tid før det blir likevekt mellom jordkjemien og deposisjonen. For jord må en regne med vesentlig lengre tid enn for overflatevann før likevekten innstiller seg.

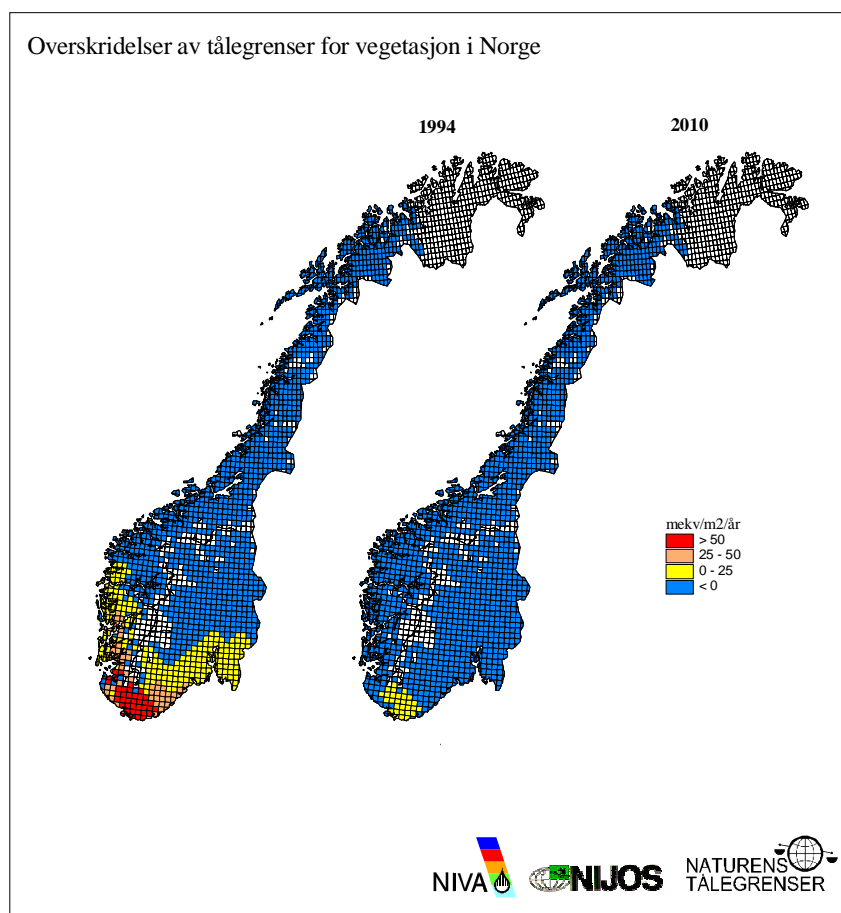
3.2.3. Overskridelser for overgjødning

Overskridelse av tålegrenser for overgjødning av nitrogen er tidligere beregnet for middeldeposisjonen for årene 1988-1992 (1990) (Tørseth og Pedersen 1994) av Esser og Tomter (1996). Vi har i tillegg beregnet overskridelsene for 1994 og for Göteborgprotokollen (Tabell 3). Nitrogendeposisjonen gikk noe ned fra 1990 til 1994 (Tørseth og Semb 1998), og Göteborgprotokollen angir en ytterligere reduksjon på ca 50% i forhold til 1994. I 1990 var 35% av det kartlagte arealet overskredet. Dette ble redusert til vel 23% i 1994, men fortsatt er store deler av Sør-Norge overskredet, spesielt gjelder dette Agderfylkene og deler av Rogaland (Figur 5). I henhold til

prognosen for 2010 vil overskredet areal gå ned til 2-3% i 2010, og det er bare noen områder på Sørlandet som da fortsatt vil være overskredet (Figur. 5).

Tabell 3. Tålegrenser for overgjødning (nutrient nitrogen): overskredet areal ved noen deponisjonsnivåer. Totalt kartlagt areal : 235774 km² (73,5% av Norges areal).

Deposisjon	Overskredet areal, km ²	% av kartlagt areal	% av Norges areal
Middeldeposisjon 1988-1992 (1990)	82523	35,0	25,7
Middeldeposisjon 1992-1994 (1994)	55020	23,3	17,2
Göteborgprotokoll - 2010	5810	2,5	1,8



Figur 5. Overskridelser av tålegrenser for vegetasjon i 1994 og i henhold til Göteborgprotokollen (2010).

4. Avsluttende kommentarer

Naturens tålegrenser er blitt utarbeidet for reseptorene overflatevann, skogsjord og vegetasjon for Norge. Disse tallene er oversendt Coordination Center for Effects (CCE) i Bilthoven, Nederland og er sammen med tilsvarende data for resten av Europa brukt til å utarbeide Oslo-protokollen av 1994 og Göteborg-protokollen av 1999. Tålegrensekonseptet har vist seg meget nyttig i det internasjonale arbeidet for å redusere utslipp av grenseoverskridende langtransporterte luftforurensninger.

De internasjonale protokollene er basert på utslipp og avsetning i EMEP-ruter (150x150 km). De tålegrenseverdier for gitte økosystemer som ligger i disse rutene behandles statistisk i form av f. eks. prosentiler. Den norske tålegrensebasen er som nevnt basert på at hver rute definert ved 1° lengde og 0.5° bredde er delt i 16 underruter (NIVA-ruter, ca. 140 km² i Sør-Norge og avtakende størrelse nordover). For hver av disse rutene er det valgt en innsjø som er representativ for ruten. Dette fører til ca 120 NIVA-ruter i hver EMEP-rute som i sin helhet dekker fastlands-Norge. Selv om dette gir en god oppløsning på internasjonal basis (2305 ruter (innsjøer) for hele Norge), kan oppløsningen være for grov for mer nasjonal, regional og lokal planlegging. I slike tilfelle har vi gått over på andre enheter enn ruter. F. eks. ble det utviklet kalkingsplaner for Tovdalsvassdraget i Vest-Agder der vassdraget ble delt i små nedbørfelt og vannkjemien for hvert slikt felt ble bestemt utfra vannprøver tatt spesielt for formålet (Hindar og Henriksen 1995). Den samme fremgangsmåten er blitt brukt for å kartlegge tålegrenser for noen av våre nasjonalparker (Skjelkvåle et al. 1997, 1998b).

Tålegrensen for sterk syre til 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 dette ligger det at en kan akseptere en reduksjon i den naturlige buffermengden for en innsjø ned til et visst nivå. Dette nivået er kalt ANC_{limit} og verdien av denne er viktig for beregning av tålegrensen. Vi har valgt å gjøre den avhengig av nedbørfeltets forvittringshastighet, dvs. at innsjøer med lav forvittring (høy forsurningsfølsomhet) vil ha en lav ANC_{limit} , mens innsjøer med høy forvittring (liten følsomhet) vil ha en høy ANC_{limit} . Opprinnelig ble ANC_{limit} satt til en fast verdi, 20 $\mu\text{ekv/l}$. Dette førte imidlertid til at innsjøer med en naturlig ANC på ≤ 20 ville få en tålegrense på null. De første beregningene for Oslo-protokollen av 1994 førte til at ruter i Lofoten ble bindende for reduksjonkravene for Europa. Den nedbørfeltavhengige ANC_{limit} løste dette problemet. Det kan nevnes at Storbritannia har valgt $ANC_{limit} = 0$ for sine beregninger. Dette fører til at ingen tålegrenser blir = 0, men på den annen side gir en fisken bare en 50% sjanse til å overleve, men den nedbørfeltavhengige ANC_{limit} gir fisken ca 90% sjanse (Henriksen et al. 1999).

First-order Acidity (FAB) modellen antyder at ca. 40% av nitrogendeposisjonen i dag kan lekke ut av nedbørfeltene og forsure innsjøene. Det er i dag meget usikkert om og når dette kan skje, det vil derfor være viktig at det settes inn ressurser for å avklare disse spørsmålene. Det planlegges å evaluere Göteborgsprotokollen om noen år. Dette vil sannsynligvis også gjelde sikkerheten i de oppgitte tålegrensedataene og gyldigheten av prognosene.

Göteborgsprotokollen vil føre til betydelige forbedringer når det gjelder overskridelser av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon. Kartene som er vist forteller oss hvordan situasjonen vil bli når det er blitt likevekt i nedbørfeltet. Tiden det vil ta for å oppnå likevekt for en gitt deposisjon vil være avhengig av egenskapene for nedbørfeltet for innsjøen og hvor lenge den har vært utsatt for sur nedbør. Da det dreier seg om et stort og variert utvalg av sjøer med forskjellige typer nedbørfelt er det lite sannsynlig at likevekten vil inntreffe samtidig i alle sjøene. Foreløpige vurderinger for sjøer som går fra å være overskredet til ikke å være overskredet i 2010 antyder at vi kan forvente akseptable forhold i løpet av 5-20 år senere. (Wright, 2000). Grovt kan en si at det bilde vi har for 1994 (Figur A3) kan illustrere den situasjonen vi kan forvente i 2010. Det nasjonale overvåkingsprogrammet vil være viktig for å følge med i protokollens virkninger på tilførselene av sur nedbør og på innsjøer og elver, jord og vegetasjon, og spesielt hvor lang tid det vil ta før vannkvaliteten er bra nok til at fisk og andre organismer igjen kan reetablere seg.

Kalking av innsjøer og vassdrag er i dag en omfattende aktivitet. Når nedfallet av sur nedbør avtar, vil kalkbehovet gå ned i de lokalitetene som kalkes. Med reduserte konsentrasjoner av giftig aluminium vil trolig også vannkvalitetsmålene for kalkede lokaliteter kunne reduseres slik at kalkmengden kan reduseres ytterligere. Det er på langt nær alle sure innsjøer og vassdrag som i dag kalkes. De reduserte kostnadene for kalking i de aktuelle lokalitetene kan derfor f.eks. brukes til å kalke nye sure vassdrag eller frigjorte midler kan benyttes til en økologisk sett mer optimal kalking. Det vil derfor være viktig å få revurdert kalkbehovet i Norge.

5. Litteratur

- Cosby, B., Hornberger, G.M., Galloway, J.N. and Wright, R.F. 1985a. Modelling the effects of acid deposition: assessment of a lumped-parameter model of soil water and streamwater chemistry. *Water Resour. Res.* 21: 51-63.
- Cosby, B., Wright, R.F., Hornberger, G.M. and Galloway, J.N. 1985b. Modelling the effects of acid deposition: estimation of long-term water quality responses in a small forested catchment. *Water Resour. Res.* 21: 1591-1601.
- Esser, J.M og Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Naturens tålegrenser, rapport nr. 80.
- Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. and Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147. Naturens tålegrenser, rapport nr. 33.
- 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. Naturens tålegrenser, rapport nr. 56.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., Sevaldud, I.S. and Brakke, D.F. 1988. Lake acidification in Norway - Present and predicted chemical status. *Ambio* 17: 259-266.
- Henriksen, A. Fjeld, E. and Hesthagen, T. 1999. Critical load exceedance and damage to fish populations. *Ambio* 28: 583-586
- Henriksen, A. and Posch, M. 2000. Steady state methods for calculating critical loads of acidity to surface waters – Where do we stand today? Key note lecture at: Critical Loads Copenhagen, 21-25 November 1999.
- Hindar, A. og Henriksen, A. 1995. Kalkingsstrategier fro Tovedalsvassdraget basert på nåværende og framtidige overskridelser av naturens tålegrenser for sterk syre. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport 3211 (O-93218), Oslo.
- Posch M, Kämäri, J. Forsius, M., Henriksen, A. and Wilander, A. 1997. Exceedance of critical loads for lakes in Finland, Norway and Sweden: Reduction requirements for acidifying nitrogen and sulfur deposition. *Environmental Management* 21(2):291-304.
- Skjelkvåle, B.L. Wright, R.F., og Tjomsland, T. 1997 Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning LNR 3646-97. Naturens tålegrenser, rapport nr. 88.
- Skjelkvåle, B.L., Wright, R.F and Henriksen, A. 1998a. Norwegian lakes show widespread recovery from acidification: results of national surveys of lakewater chemistry 1986-1997. *Hydrol. Earth System Sci.* 2: 555-562.
- Skjelkvåle, B.L. og A. Henriksen, 1998b. Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Hardangervidda. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Report SNO 3895-98. Naturens tålegrenser, rapport nr. 96.
- Tomter, S.M. (ed) 1994. Skog 94: Statistikk over skogforhold og –ressurser i Norge. Norsk institutt for jord og skogkartlegging, Ås. 103 s.
- Tørseth, K. and Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94, Kjeller, Norway. Naturens tålegrenser, rapport nr. 60.

- Tørseth, K. and Semb, A. 1998. Deposition of nitrogen and other major inorganic compounds in Norway, 1992-1996. *Environ. Pollut.* 102, 299-304.
- UN/ECE 1994. Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution on further Reduction of Sulphur Emissions. Document ECE/EB.AIR/40 (in English, French and Russian). New York and Geneva, 106 pp.
- UN/ECE, 1996. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and Geographical Areas Where They Are Exceeded, Texte 71/96. Umweltbundesamt, Berlin, Germany, 144+Ixxiv pp.
- Wright, R.F. 2000. Use of the dynamic model MAGIC to predict recovery following implementation of the Oslo and Gothenburg protocols. Poster at: Critical Loads Copenhagen, 21-25 November 1999.

Vedlegg A.

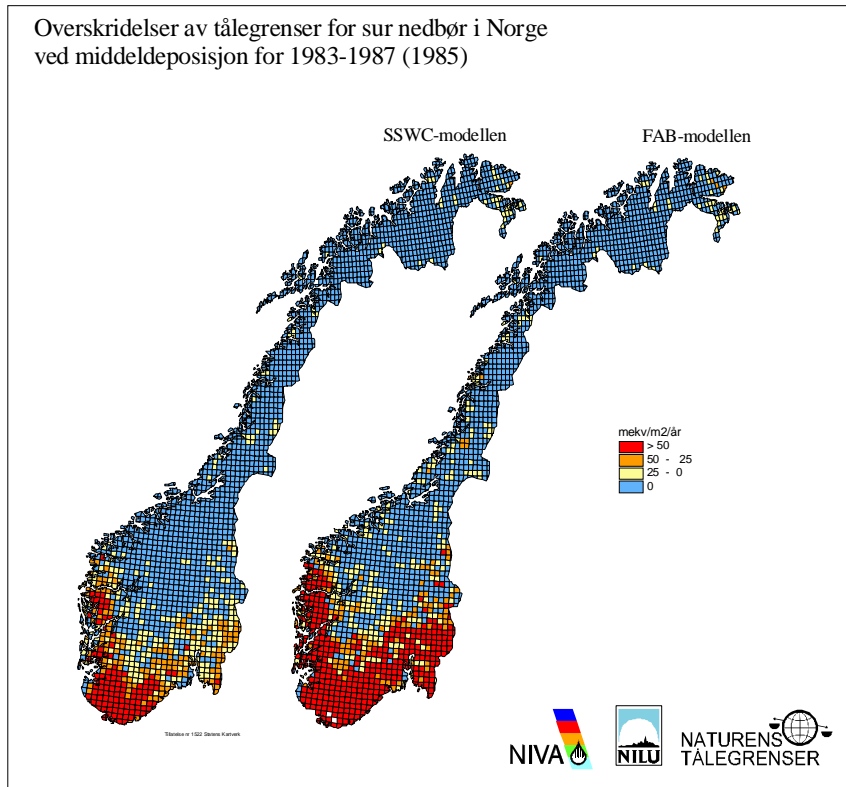
I dette vedlegget er det samlet Figurer som viser overskridelse av tålegrenser for sur nedbør til overflatevann for to modeller og for fire punkter i tid. Følgende depositionsituasjoner er brukt:

- Figur A1. Årlig middeldeposisjon for 1983-1987 (1985) (NILU)
 - Figur A2. Årlig middeldeposisjon for 1988-1992 (1990) (NILU)
 - Figur A3. Årlig middeldeposisjon for 1992-1996 (1994) (NILU)
 - Figur A4. Beregnet svoveldeposisjon i henhold til Oslo-protokollen –1994*, nitrogendeposisjon som i 1994.
 - Figur A5. Beregnet svovel- og nitrogendeposisjon i henhold til Göteborg-protokollen 1999*
*Skal gjennomføres innen 2010.
-
- Figur A6: Figur 1-5 sammenliknet for bare Sør-Norge.

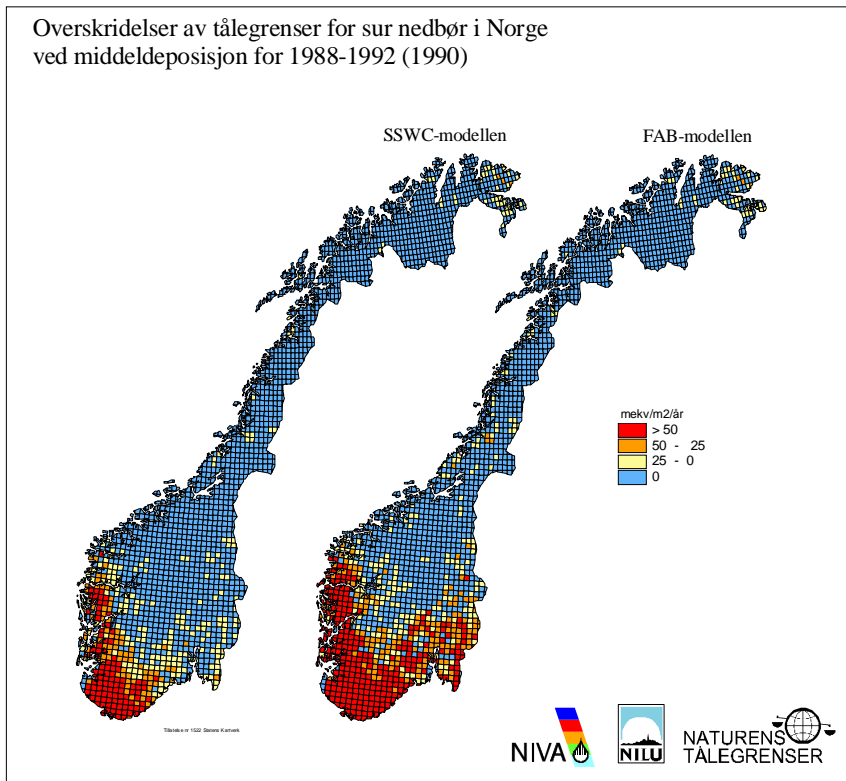
Fargekoder for alle kart:

Rødt til gult: Tålegrense overskredet

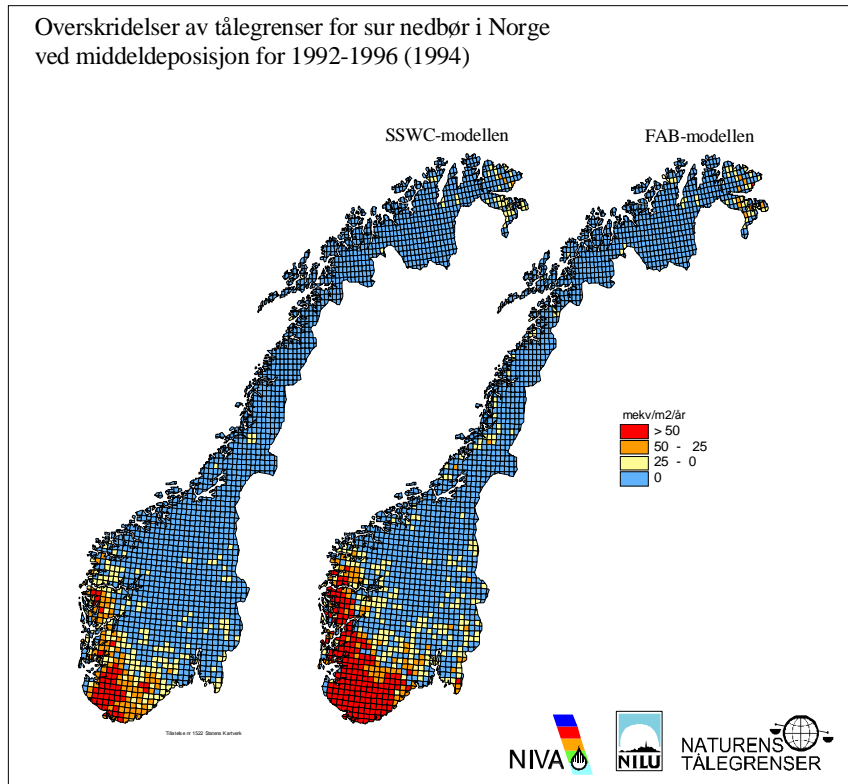
Blått: Tålegrense ikke overskredet



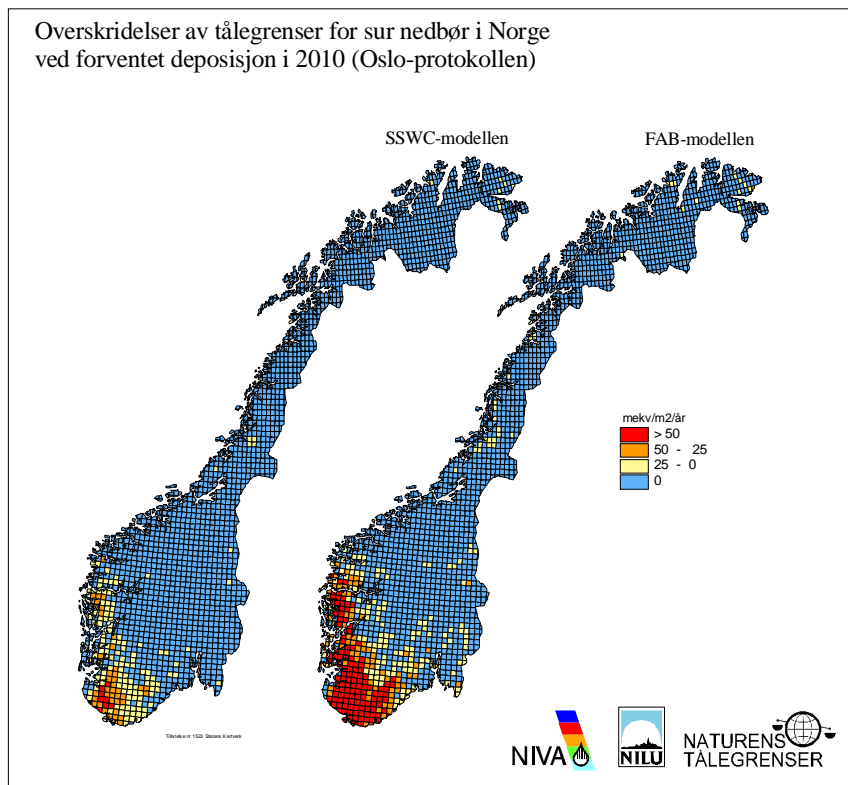
Figur A1. Overskridelse av tålegrenser for 1985 beregnet med to modeller.



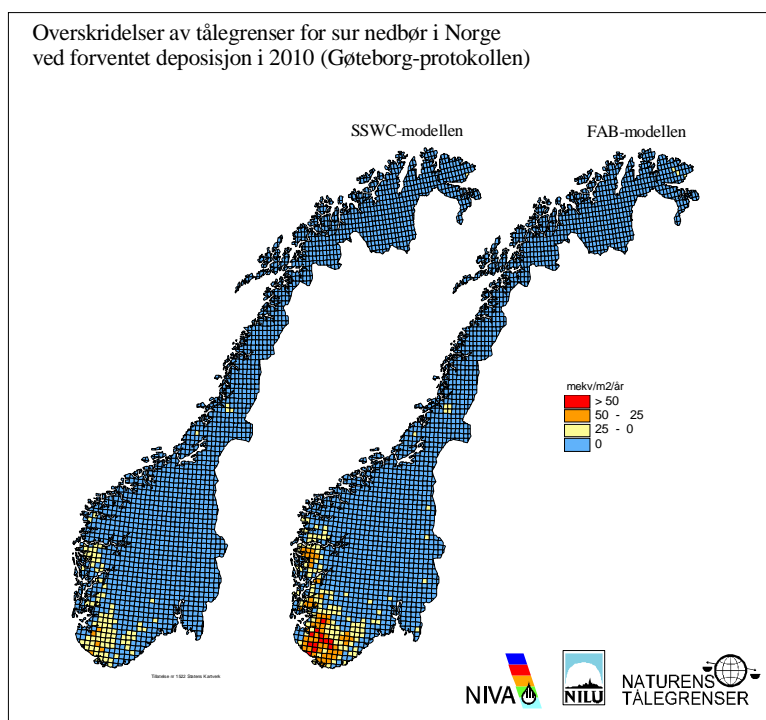
Figur A2. Overskridelse av tålegrenser for 1990 beregnet med to modeller.



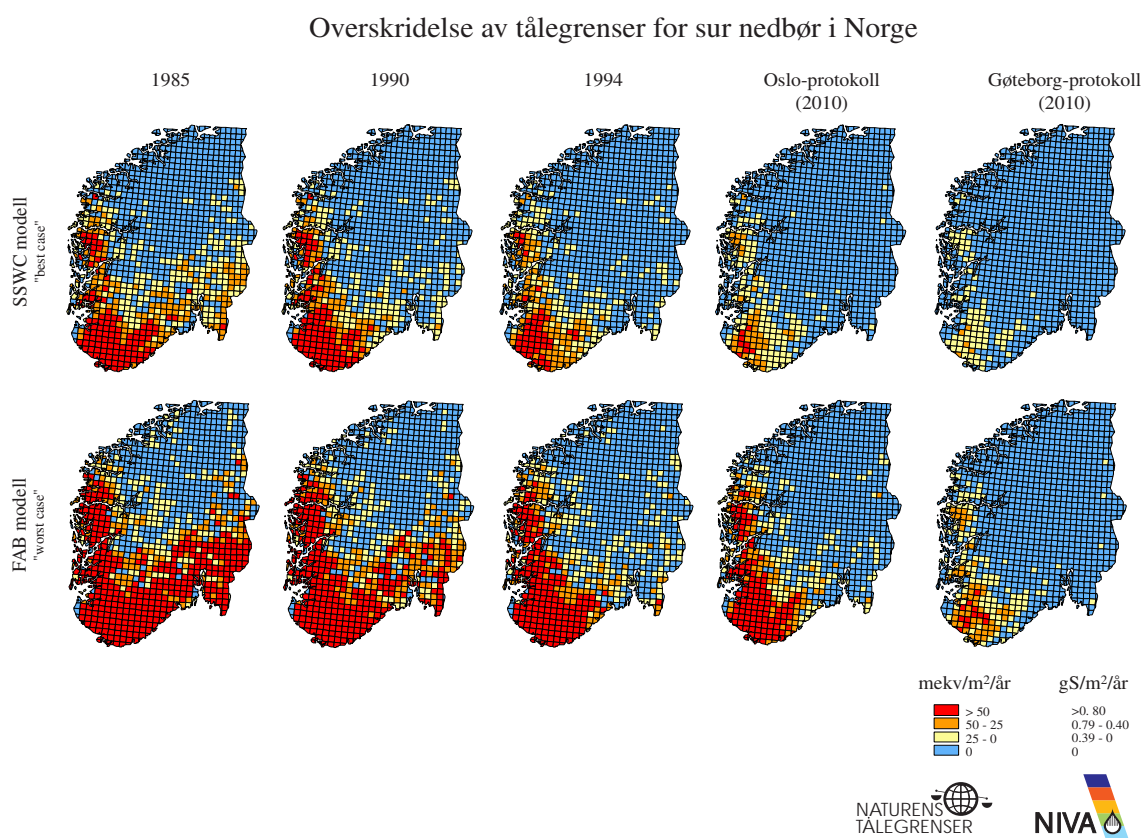
Figur A3. Overskridelse av tålegrenser for 1994 beregnet med to modeller.



Figur A4. Overskridelse av tålegrenser for 2010 i henhold til 2. Oslo-Protokoll av 1994 beregnet med to modeller.



Figur A5. Overskridelse av tålegrenser for 2010 i henhold til Göteborg-protokollen av 1999 beregnet med to modeller.



Figur A6. Figurene A1-A5 sammenstilt for bare Sør-Norge.

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 SO₂, NO_x 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 liryte. 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 nitrogengjødsling 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, forsuringsstatus 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., Kjønnås, J., Stuanes, A.O., & Abrahamsen, G. 1997. Akkumulering av nitrogen - variasjoner avhengig av bestandsutvikling, nitrogentilførsel 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, forsuringsstatus 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. 2000. 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.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon