

RAPPORT LNR 3610-97

## **TEOTIL**

Totaltilførslenes følsomhet  
overfor feil i de enkelte  
kildene

**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 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 A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

<b>Tittel</b> TEOTIL Totaltilførslenes følsomhet overfor feil i de enkelte kildene	Løpenr. (for bestilling) 3610-97	Dato 10.januar 1997
	Prosjektnr.    Undernr. 96073            3	Sider            Pris 23
Forfatter(e) Torulv Tjomsland Jon Lasse Bratli	Fagområde vannressursforvaltning	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

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

Sammendrag

Modellen TEOTIL beregner årlige tilførsler av fosfor og nitrogen til vassdrag og kyststrekninger i Norge. De totale tilførslene fra Norge er mest følsomme ovenfor endringer i følgende tilførselskilder og prosesser i denne rekkefølgen :

Fosfor : befolkning\_tett bosetning, fjellområder o.l., retensjon i innsjøer, skog, jordbruk\_fulldyrket eng

Nitrogen: fjellområder o.l., befolkning\_tettsted, skog, jordbruk\_åker, jordbruk\_fulldyrket eng

Fire norske emneord 1.    tilførselsmodell 2.    fosfor og nitrogen 3.    følsomhetsanalyse 4.    Norge	Fire engelske emneord 1.    input model 2.    phosphorus and nitrogen 3.    sensitivity 4.    Norway
---	--



Jon Lasse Bratli  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3166-8



Dag Berge  
Forskningsjef

Norsk institutt for vannforskning

960733

**TEOTIL**

**Totaltilførslenes følsomhet overfor feil i de enkelte kildene**

Oslo 10. januar 1997

Prosjektleder : Jon Lasse Bratli  
Medarbeider : Torulv Tjomsland

# Forord

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har på oppdrag av Statens forurensningstilsyn (SFT) utviklet en modell for beregning av tilførsler av fosfor- og nitrogentilførsler til norske havområder. Modellen blir bl.a. brukt som en del av resultatkontrollsystemet for tiltak gjennomført innen Nordsjøplanområdet, dvs. det som tilrenner kyststrekningen Svenskegrensa-Lindesnes. Modellen kan imidlertid også brukes for resten av landet.

Det er i denne rapporten fokusert på totaltilførslenes følsomhet (sensitivitet) i forhold til en prosentvis forandring i en av kildene. Dette er viktig å være klar over hvis det skulle vise seg at en av kildene systematisk er feilvurdert, og for å få en fornuftig dimensjonering av innsatsen vedr. forbedring av beregningsmåte for de ulike kildetilførslene.

Torulv Tjomsland har foretatt nødvendige databeregninger og har ført mesteparten av rapporten i pennen. SFTs saksbehandler har vært Dag S. Rosland

Oslo, 10. januar 1997

*Jon Lasse Bratli*

# 1. Sammendrag og konklusjoner

For avrenning fra hele landet viser nedenstående rangering hvor viktige de enkelte tilførselskildene og prosessen retensjon i innsjøer er. En dobling av tilførslene fra kilder med med liten skrift øker sum tilførsler med under 1%, vanlig skrift 1-10%, uthevet skrift 10-20% og uthevet skrånstilt skrift angir en økning på over 20%.

<i>rangering</i>	<i>fosfor</i>	<i>nitrogen</i>
1	<b><i>befolkning_tett</i></b>	<b><i>fjell</i></b>
2	<b><i>fjell</i></b>	<b><i>befolkning_tett</i></b>
3	<b><i>innsjø_retensjon</i></b>	<b><i>skog</i></b>
4	<b><i>skog</i></b>	<b><i>jordbruk_åker</i></b>
5	<i>jordbruk_fulldyrket eng</i>	<b><i>jordbruk_fulldyrket eng</i></b>
6	<i>befolkning_spredt bosetning</i>	<i>befolkning_spredt bosetning</i>
7	<i>jordbruk_åker</i>	<i>industri</i>
8	<i>industri</i>	<i>innsjø_arealavrenning</i>
9	<i>innsjø_arealavrenning</i>	<i>innsjøer_retensjon</i>
10	<i>jordbruk_punktkilder</i>	<i>jordbruk_punktkilder</i>
11	<i>jordbruk_annen eng</i>	<i>jordbruk_annen eng</i>

For tilførsler til Skagerrak gjelder følgende rangering :

<i>rangering</i>	<i>fosfor</i>	<i>nitrogen</i>
1	<b><i>innsjø_retensjon</i></b>	<b><i>befolkning_tett</i></b>
2	<b><i>befolkning_tett</i></b>	<b><i>skog</i></b>
3	<b><i>skog</i></b>	<b><i>jordbruk_åker</i></b>
4	<b><i>jordbruk_åker</i></b>	<b><i>fjell</i></b>
5	<b><i>fjell</i></b>	<b><i>innsjø_retensjon</i></b>
6	<i>befolkning_spredt bosetning</i>	<i>jordbruk_fulldyrket eng</i>
7	<i>industri</i>	<i>innsjø_arealavrenning</i>
8	<i>innsjø_arealavrenning</i>	<i>industri</i>
9	<i>jordbruk_fulldyrket eng</i>	<i>befolkning_spredt bosetning</i>
10	<i>jordbruk_punktkilder</i>	<i>jordbruk_annen eng</i>
11	<i>jordbruk_annen eng</i>	<i>jordbruk_punktkilder</i>

Generelt gjelder at den viktigste enkeltkilden er *befolkning\_tett*. Det er følgelig grunn til å legge vekt på å fremskaffe pålitelige opplysninger om disse tilførslene. Tilførslene fra denne kilden blir i økende grad basert på observasjoner i de enkelte renseanlegg. Det er trolig vanskelig å anslå hvor store lekkasjene på ledningsnettet er. Utslipp via et renseanlegg med en rensegrad på 90% vil f.eks. være av samme størrelse som 10% lekkasjer på nettet.

Tilførsler fra *skog* og *fjell* er hver for seg meget betydelige kilder. Koeffisientene representerer en mengde klimatiske og geologiske faktorer og må nødvendigvis være usikre. Verdiene er stipulert ut

fra litteratur og ved kalibrering mot målte transportverdier i vassdrag. Etterhvert som det fremskaffes bedre måleresultater, gir det en mulighet for å oppnå mer pålitelige koeffisienter.

Kildene befolkning\_spredt bosetning, jordbruk\_åker og jordbruk\_fulldyrket eng er generelt av mer moderat betydning enn de forannevte kildene. Imidlertid har de lokalt en betydelig virkning på vannkvaliteten og da i områder hvor det er bosatt mange mennesker med tilhørende variert bruk av dette vannet.

Kildene industri, jordbruk\_punktkilder og jordbruk\_annen eng har gjennomgående liten betydning. Vi bør formodentlig ta et forbehold for manglende opplysninger om industriutslipp. Industriutslipp som tilføres kommunalt avløpsnett inngår i kilden befolkning\_tettsted i TEOTIL.

Prosessen retensjon i innsjøer påvirker resultatene for fosfor i samme størrelse som tilførselskildene fjell og befolkning:tettsted for henholdsvis Norge og Skagerrak. Vi må anta at retensjonsverdiene er usikre, spesielt utenfor Skagerrak området. Mer korrekte retensjonskoeffisienter vil trolig redusere tilførselene som når havet.

## 2. Innledning

Arbeidet er utført av Norsk institutt for vannforskning etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn.

Modellen TEOTIL beregner årlige tilførsler av fosfor og nitrogen til vassdrag og kyststrekninger i Norge. Målet var å vurdere hvor følsomme modellens resultater var ovenfor de enkelte tilførselskilder og prosesser. Dette for å få et bedre grunnlag for å prioritere innsatsen for å oppnå sikrere resultater.

Det er lagt spesielt vekt på å fremskaffe "følsomhetsdata" for Norge totalt og for Skagerrak området totalt. I tillegg er det laget kartfremstillinger av hvor viktige de enkelte kildene er i de ulike delene av landet.

## 3. Resultater og vurderinger

I hvilken grad tilførslene til Skagerrak og fra hele landet er følsomme ovenfor endring av de enkelte kildene går frem av tabell 2. og fig 2.1 - 2.2. En mer detaljert regional fremstilling går frem av kartene på fig.1 - fig.10 i vedlegget.

Tabellen og kartene viser de enkelte kildenes betydning for sluttresultatet. Dette er det samme som å studere virkningen av å doble kildens verdi. For eksempel utgjør arealavrenning fra skog til Skagerrak 207 tonn som er 20 % av de totale tilførslene, se tabell 2. Det vil si at om arealavrenningskoeffisientene for skog øker til det dobbelte (100%), øker sum tilførsler til Skagerrak med 20 %. Tilsvarende gjelder at om arealavrenningskoeffisientene for skog ble økt med halvparten så mye (50 %), ville de totale tilførslene også økt med halvparten d.v.s. med 100 tonn eller 10 %. Kurvene på fig. 2.1 - 2.2 gir et mer nyansert uttrykk for virkningen av en gradvis endring av koeffisientenes verdier. Kartene gir et inntrykk av hvor følsom sum tilførsler i et gitt punkt i et vassdrag er ovenfor endring av hver enkelt kilde i nedbørfeltet oppstrøms.

Resultatene i tabell 2 gir et inntrykk av hvilke kilder som det er viktigst å oppnå pålitelige verdier for.

### **Arealavrenningskoeffisienter**

Arealavrenningskoeffisientene er oppgitt som kg avrenning pr. km<sup>2</sup> på koeffisientfilen (koeffisi.pro). Koeffisientene, slik de foreløpig er anvendt, er lest inn for opptil fire soner innen hvert fylke. Alternativt kan de gjøres gjeldende for vassdrag. Koeffisientenes verdier avspeiler nedbør, løsmasstype, driftsform m.m.

### **Fjell**

Kilden med betegnelsen "fjell" omfatter alt areal som ikke består av skog, innsjø og jordbruksområder. Fjell og annen utmark er dominerende.

Tabell 2 Følsomhetsvurdering av de enkelte kildene  
Effekt av økt kildetilførsel med 100% på sum tilførsler

tilførselskilde	Norge				Skagerrak			
	fosfor		nitrogen		fosfor		nitrogen	
	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%
skog	463	11.9	16511	16.0	207	20.0	7917	20.5
fjell og utmark	758	19.5	34515	33.5	119	11.5	6431	16.6
innsjø_arealavr.	100	2.5	5480	5.3	41	4.0	2206	5.7
åker	261	6.7	10776	10.5	157	15.2	7572	19.6
fulldyrket eng	323	8.3	10177	9.9	35	3.3	2317	6.0
annen eng	24	0.6	415	0.4	9	0.9	203	0.5
jordbruk_punkt	57	1.5	827	0.8	9	0.9	153	0.4
befolkning_tett	1354	34.9	18212	17.7	288	27.8	8773	22.7
befolkning_spredt	316	8.1	2979	2.9	92	8.9	1215	3.1
industri	229	5.9	3220	3.1	79	7.6	1911	4.9
sum	3885	100	103111	100	1036	100	38698	100
prosess								
innsjø_retensjon	743	19.1	913	0.9	576	35.7	3961	10.2

Modellens følsomhet ble testet for arealavrenningskoeffisientene for fjell. Koeffisientenes regionale fordeling er vist i Tjomsland og Bratli 1996 på fig.13. De laveste verdiene finnes for Nord-Norge og indre deler av Østlandet.

En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen fra hele landet med 20% og 34% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerrak ble de tilsvarende andelene noe lavere 12% og 17%. For hele landet var tilførslene fra fjell den nest største fosforkilden og den største nitrogenkilden, for Skagerrak den fjerde viktigste kilden både for fosfor og nitrogen.

Endring av koeffisientene får relativt størst effekt i Nord-Norge og i fjellområdene i Sør-Norge. Selv om den relative virkningen avtar ved transport mot kysten, er den fortsatt betydelig helt frem til sjøen også i Sør-Norge, se fig. 1.

### Skog

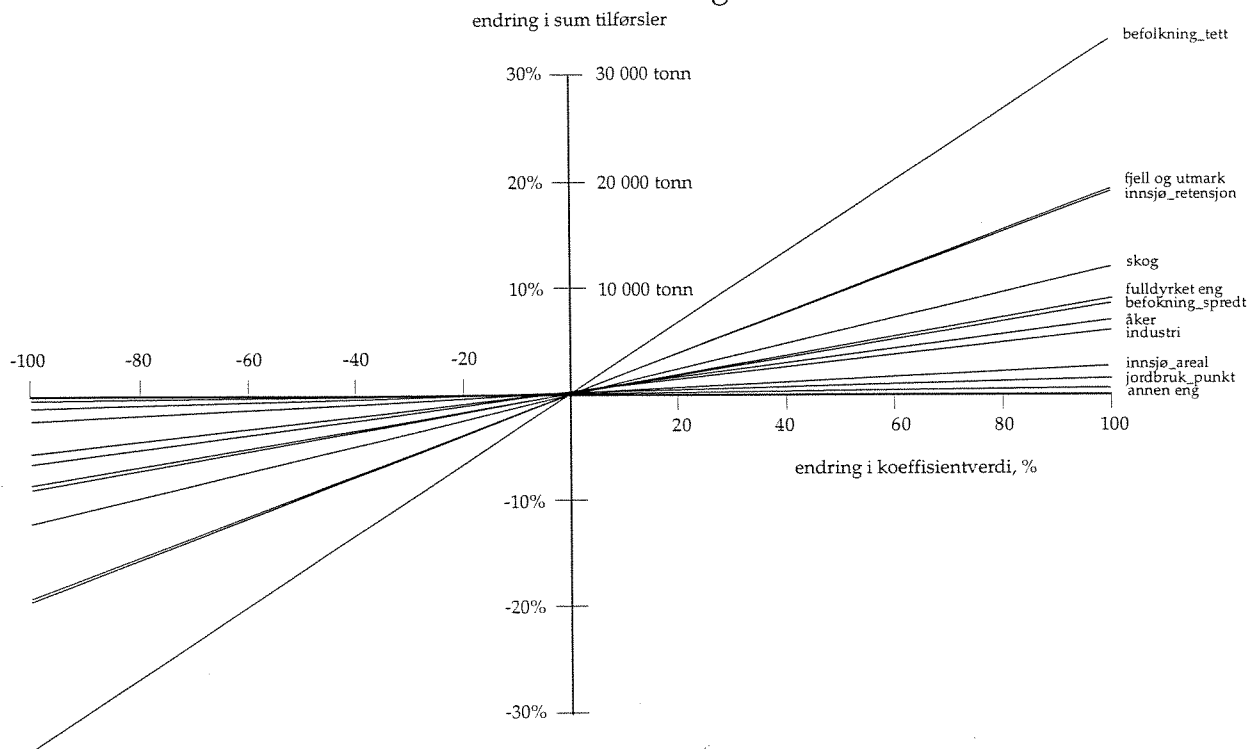
Modellens følsomhet ble testet for arealavrenningskoeffisientene for skog. Koeffisientenes regionale fordeling er vist i og Tjomsland og Bratli 1996 på fig.13. Koeffisientene er tilnærmet de samme som for fjellarealer.

En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen fra hele landet med 12% og 16% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerrak er de tilsvarende andelene noe høyere 20% og 21%. For hele landet er tilførslene fra skog den tredje største kilden, for Skagerrak den nest viktigste.

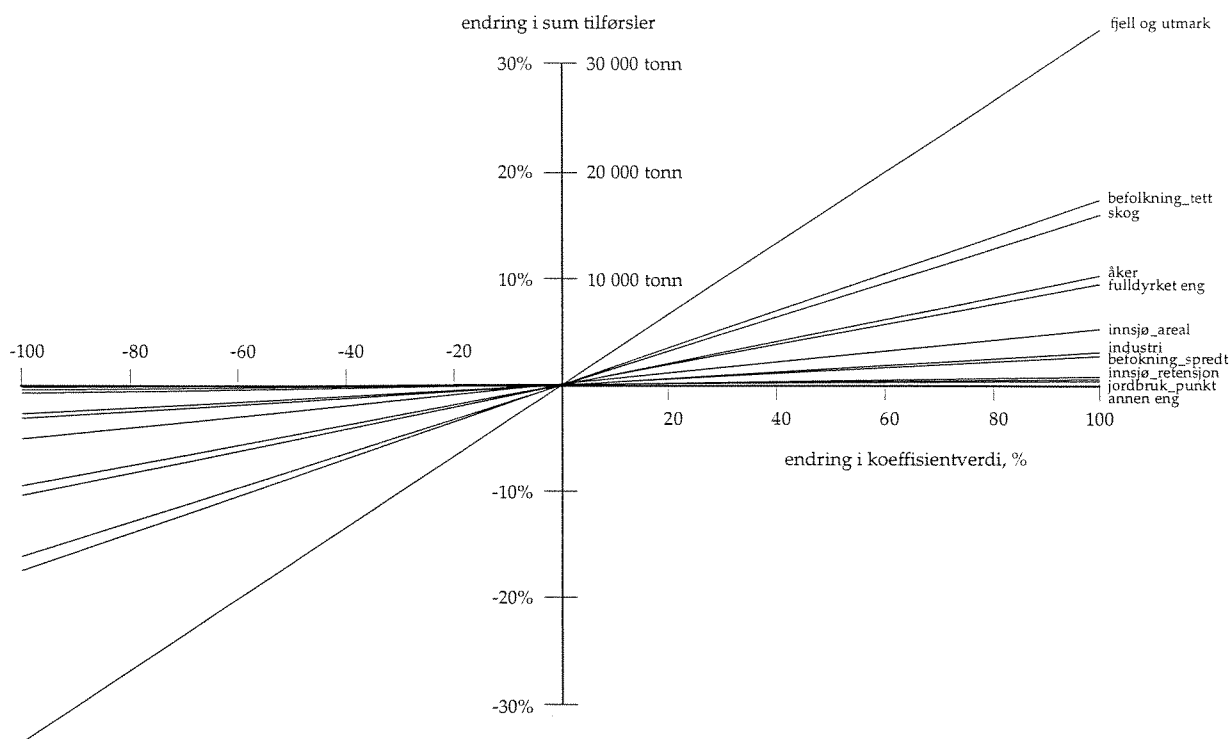
Endring av koeffisientene får relativt størst effekt i skogsområdene i Sør-Norge mellom kysten og fjellområdene innenfor og langs kysten av Nord-Norge, se fig. 2.



## Fosforfølsomhet i Norge

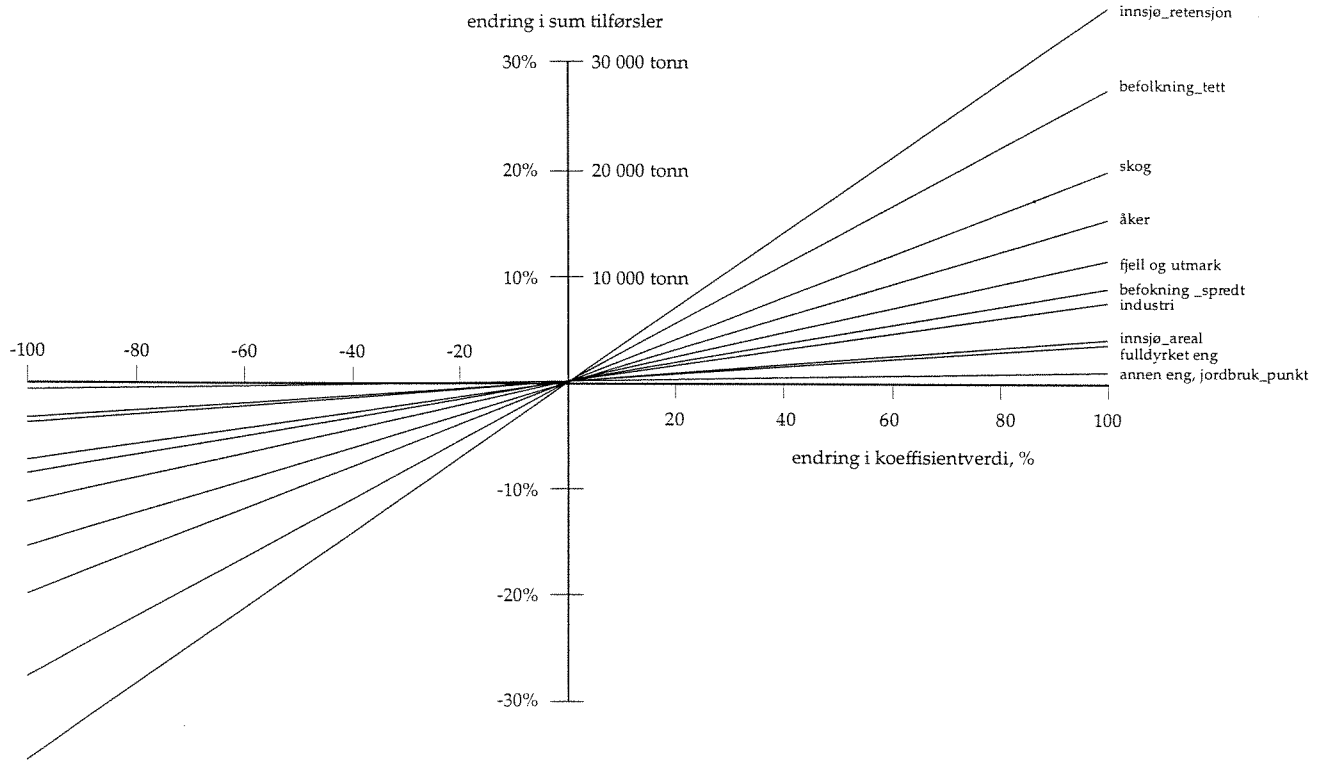


## Nitrogenfølsomhet i Norge

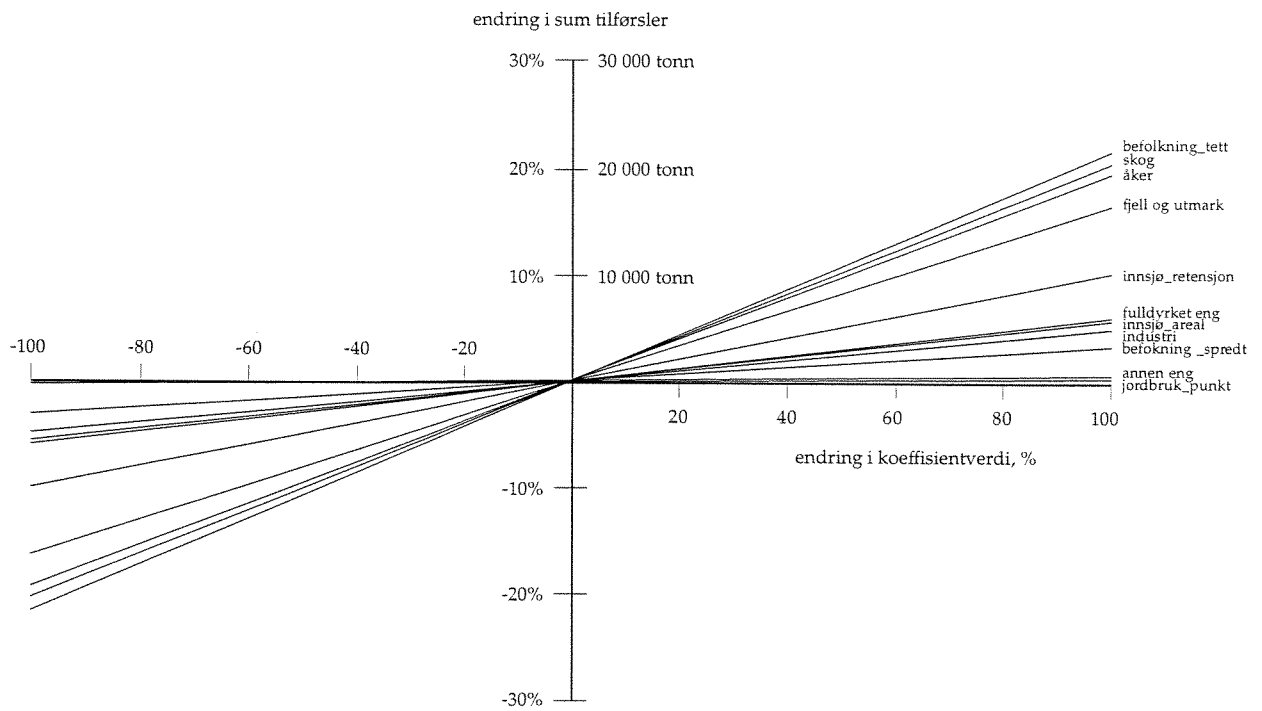


Figur 2.1 Avrenning fra Norge - Følsomhetsvurdering av de enkelte kildene.

## Fosforfølsomhet i Skagerrak



## Nitrogenfølsomhet i Skagerrak



Figur 2.2 Tilførsler til Skagerrak - Følsomhetsvurdering av de enkelte kildene

### **Innsjøer**

Modellens følsomhet ble testet for arealavrenningskoeffisientene for innsjøer, d.v.s atmosfærisk deponisjon, og retensjon.

Arealavrenningskoeffisientene, som er oppgitt bl.a. på filen "koeffisi.pro", er relatert til opptil fire soner innen hvert fylke. En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen fra hele landet med 3% og 5% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerak er de tilsvarende andelene omtrent de samme. Endring av koeffisientene får relativt størst effekt i skogsområdene i Sør-Norge, se fig.3. Bidrag fra nedbør direkte på innsjøer er blant de minst betydningsfulle kildene.

For hvert statistikkområde er det oppgitt hvor stor del av tilført stoffmengde som strømmer igjennom. Det vil si at vi i ikke benytter modellens mulighet for selv å beregne gjennomstrømningsandelen ved bruk av data om innsjøstørrelse og årsvannføring.

For hele landet blir henholdsvis 19% og 1% av fosfor og nitrogen som tilføres vassdraget holdt tilbake i innsjøer. For Skagerrak er de tilsvarende verdiene 36% og 10%. Det vil si at denne prosessen er meget viktig spesielt for fosfor resultatene. I følge resultatene er retensjon i innsjøer viktige for Skagerrak området enn for hele landet. Dette har tildels sammenheng med at det finnes et bedre datagrunnlag og at man har lagt større vekt på å fremmskaffe pålitelige verdier fra nedbørfelt som drenerer til dette området. For de fleste innsjøer finnes det ikke opplysninger om hverken areal eller dybde. Koeffisientenes pålitelighet kan likevel utvilsomt forbedres ved en grundigre teoretisk gjennomgang. Det ville i så måte være en god hjelp å legge inn spesifikt avløp for hvert statistikkområde i modellen. Slike avløpskoeffisienter kan nå beregnes og tilegnes statistikkområder datamaskinelt hos NVE.

### **Jordbruk\_åker**

Modellens følsomhet ble testet for arealavrenningskoeffisientene for åker. De høyeste koeffisientverdiene finner vi for kyststrøkene i Sør-Norge (Tjomsland og Bratli 1996, fig.14).

En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen fra hele landet med 7% og 11% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerak er de tilsvarende andelene høyere 11% og 20%. For hele landet var tilførslene fra åker den sjette største fosforkilden og den fjerde største nitrogenkilden, for Skagerrak den tredje viktigste kilden både for fosfor og nitrogen.

Endring av koeffisientene får relativt sett størst effekt på Østlandet, Jæren og i Trøndelag, se fig.4.

### **Jordbruk\_fulldyrket eng**

Modellens følsomhet ble testet for arealavrenningskoeffisientene for fulldyrket eng. Koeffisientene er tilnærmet de samme som for åker, d.v.s. at de høyeste verdiene finnes for kyststrøkene i Sør-Norge (Tjomsland og Bratli 1996, fig.14).

En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen fra hele landet med 8% og 10% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerak er de tilsvarende andelene 3% og 6%. For hele landet var tilførslene fra åker den fjerde største fosforkilden og den femte største nitrogenkilden. For Skagerrak var betydningen mindre.

Endring av koeffisientene får relativt størst effekt i indre deler av Østlandet og langs kysten på strekningen Rogaland - Troms, se fig.5.

**Jordbruk\_annen eng**

Betegnelsen "annen eng" omfatter jordbruksareal som ikke består av åker og fulldyrket eng, beite m.m. Modellens følsomhet ble testet for arealavrenningskoeffisientene for annen eng.

En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen med under 1%. Dette gjelder både for fosfor og nitrogen såvel for hele landet som for Skagerak. Annen eng er den minst betydningsfulle av de studerte kildene.

Endring av koeffisientene får relativt størst effekt langs kysten av Nordland og Troms, se fig.6.

**Jordbruk\_punktkilder**

Kilden består hovedsakelig av lekkasjer fra siloer og gjødselkjellere og blir beregnet som koeffisientverdi multiplisert med engareal. Modellens følsomhet ble testet for disse koeffisiene. De høyeste koeffisientverdiene var lokalisert til Rogaland og områdene rundt Oslo.

En dobling av avrenningskoeffisientene øker den totale avrenningen med under 1.5%. Dette gjelder både for fosfor og nitrogen såvel for hele landet som for Skagerak. Jordbruk\_punktkilder er den nest minst betydningsfulle av de studerte kildene.

Endring av koeffisientene får relativt størst effekt langs kysten av Nordland og Troms, se fig.7.

**Befolkning\_tettsted**

Kilden omfatter kommunalt avløp. Det vil si at bidrag fra industri m.m. som blir ledet til et kommunalt avløpsnett også inngår i denne kilden. TEOTIL benytter ferdig utregnede verdier fra modellen SSB-AVLØP. Dette gjør at vi ikke kan studere effekter av ulike koeffisienter og delprosesser.

Tilførslene er i økende grad basert på målinger i de enkelte renseanlegg.

En dobling av kildens verdi øker den totale avrenningen fra hele landet med 35% og 18% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerak er de tilsvarende andelene 28% og 23%. For hele landet er tilførslene fra befolkning\_tettsted viktigste fosforkilden og nestviktigste nitrogenkilden. For Skagerrak er kilden den mest betydningsfulle både for fosfor og nitrogen.

Endring av kildens verdi får relativt størst effekt i de tettstede befolkede delene av landet, d.v.s. på Østlandet og langs kysten av hele landet, se fig. 9.

**Befolkning\_spredd bosetning**

I likhet med kilden befolkning\_tettsted blir inputda til TEOTIL beregnet ved modellen SSB-AVLØP.

En dobling av kildens verdi øker den totale avrenningen fra hele landet med 8% og 3% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerak er de tilsvarende andelene 9% og 3%. For hele landet er tilførslene fra befolkning\_spredd bosetning femte viktigste fosforkilden og sjettede viktigste nitrogenkilden, omtrent det samme gjelder for Skagerrak.

Endring av kildens verdi får relativt størst effekt i områder med spredd bosetning, d.v.s. på Østlandet og langs kysten av hele landet, se fig 9.

### **Industri**

Kilden industri omfatter punkttilførsler som **ikke** er ledet til kommunalt avløpsnett. Tilførseldata blir lest direkte inn i modellen fortrinnsvis på bakgrunn av opplysninger i SFT's database MUNIN. Tilførslene er i økende grad basert på målinger i de enkelte bedrifter.

En dobling av kildens verdi øker den totale avrenningen fra hele landet med 6% og 3% for henholdsvis fosfor og nitrogen. For Skagerak er de tilsvarende andelene 8% og 5%. For hele landet er tilførslene fra industri den sjuende viktigste fosforkilden og nitrogenkilden, for Skagrerrak den femte viktigste.

Endring av kildens verdi får relativt størst effekt på enkelte steder langs kysten av Vestlandet og Nordland.

## **4. Referanser**

Tjomsland. Torulv og Bratli, Jon Lasse 1996. TEOTIL - Presentasjon av tilførselsdata på kart ved et geografisk informasjonssystem, løpenr. 3556-96, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

## **Vedlegg A. Figurer**

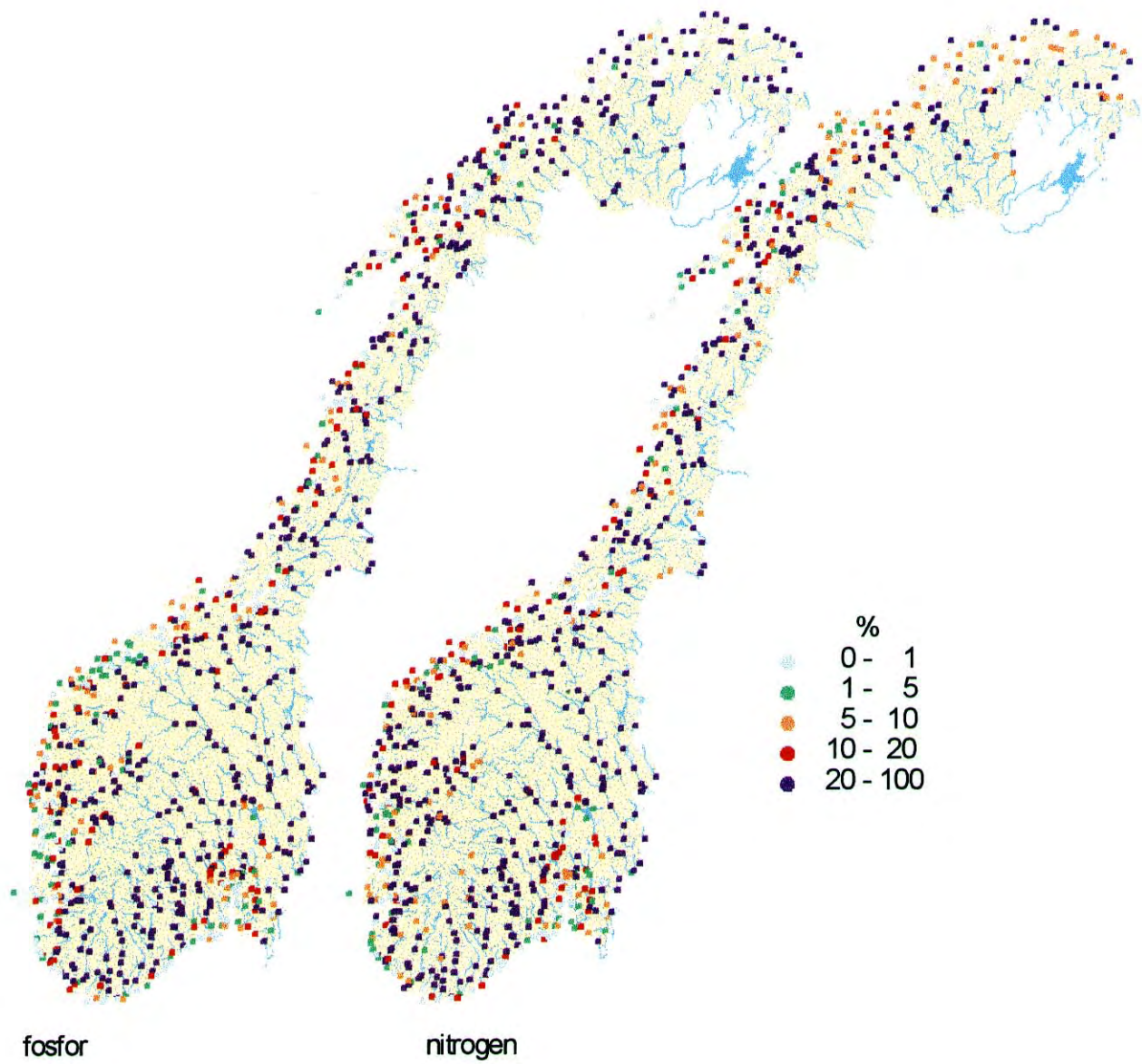


Fig. 1  
 Arealavrennings koeffisient for fjell.  
 Hvor følsom er total transport ovenfor endring (dobling) av koeffisientenes verdier.

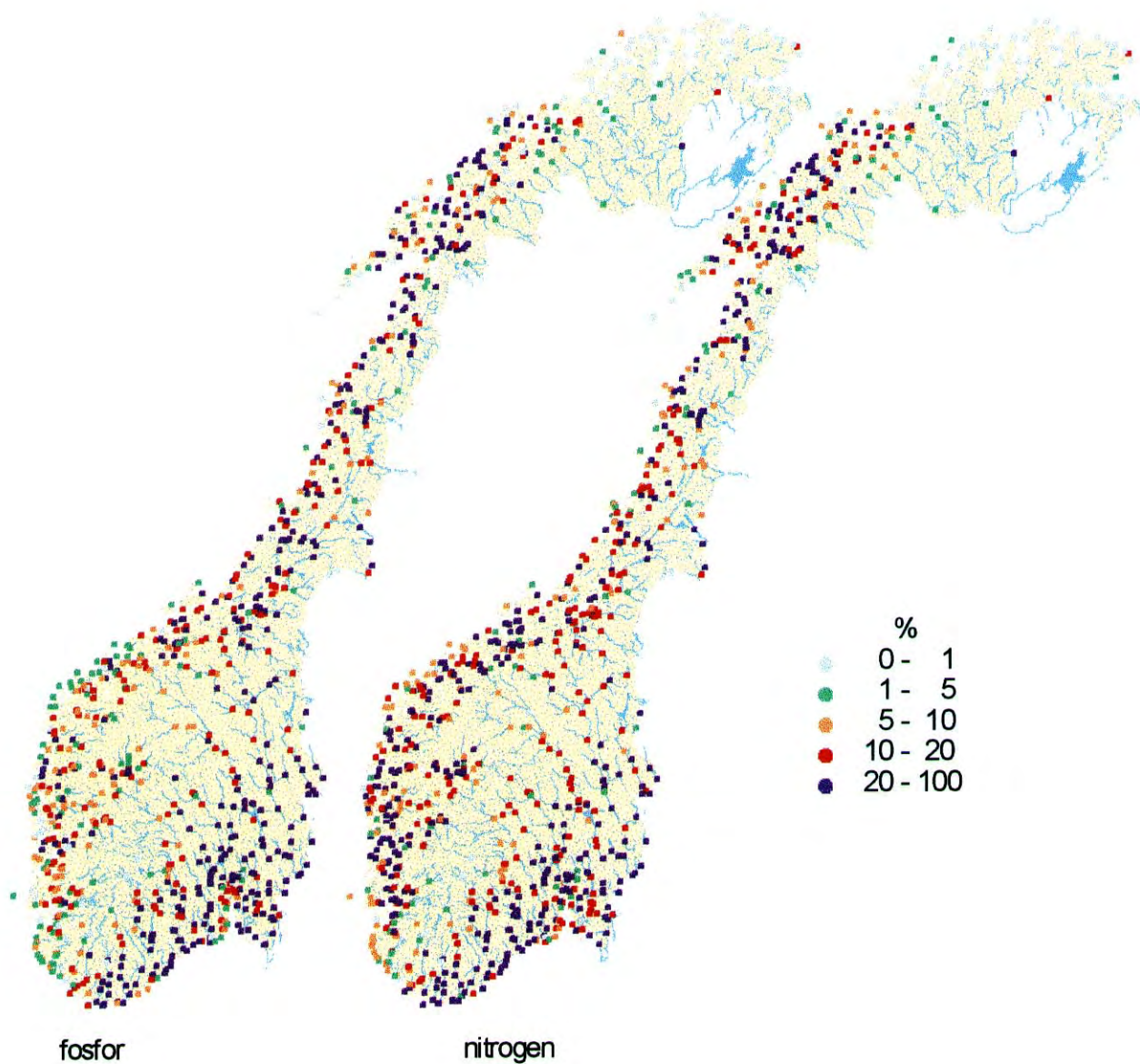


Fig. 2  
 Arealavrennings koeffisient for skog.  
 Hvor følsom er total transport ovenfor endring (dobligng) av koeffisientenes verdier.



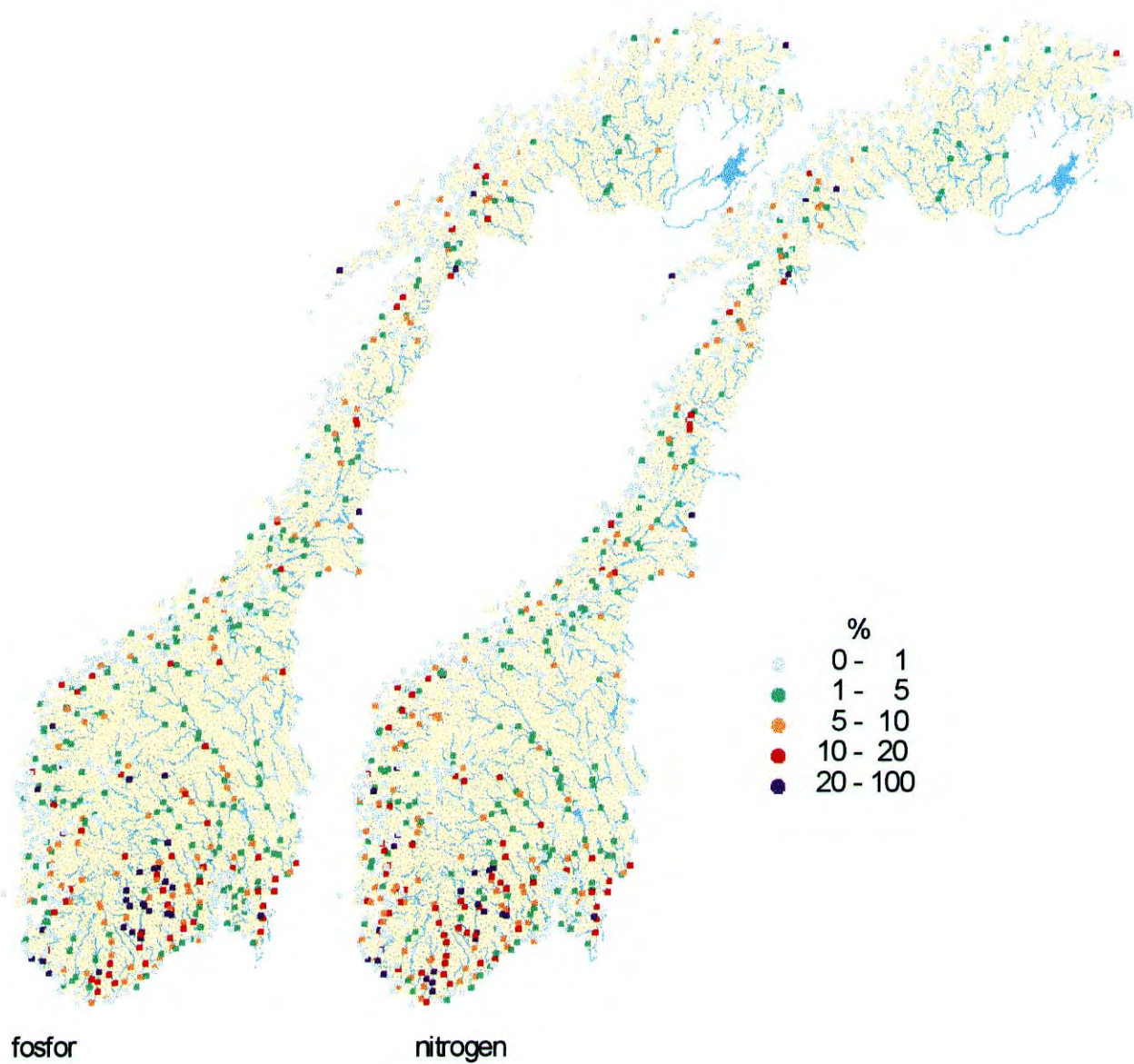


Fig. 3  
 Arealavrennings koeffisient for innsjøer.  
 Hvor følsom er total transport ovenfor endring (dobling) av koeffisientenes verdier.

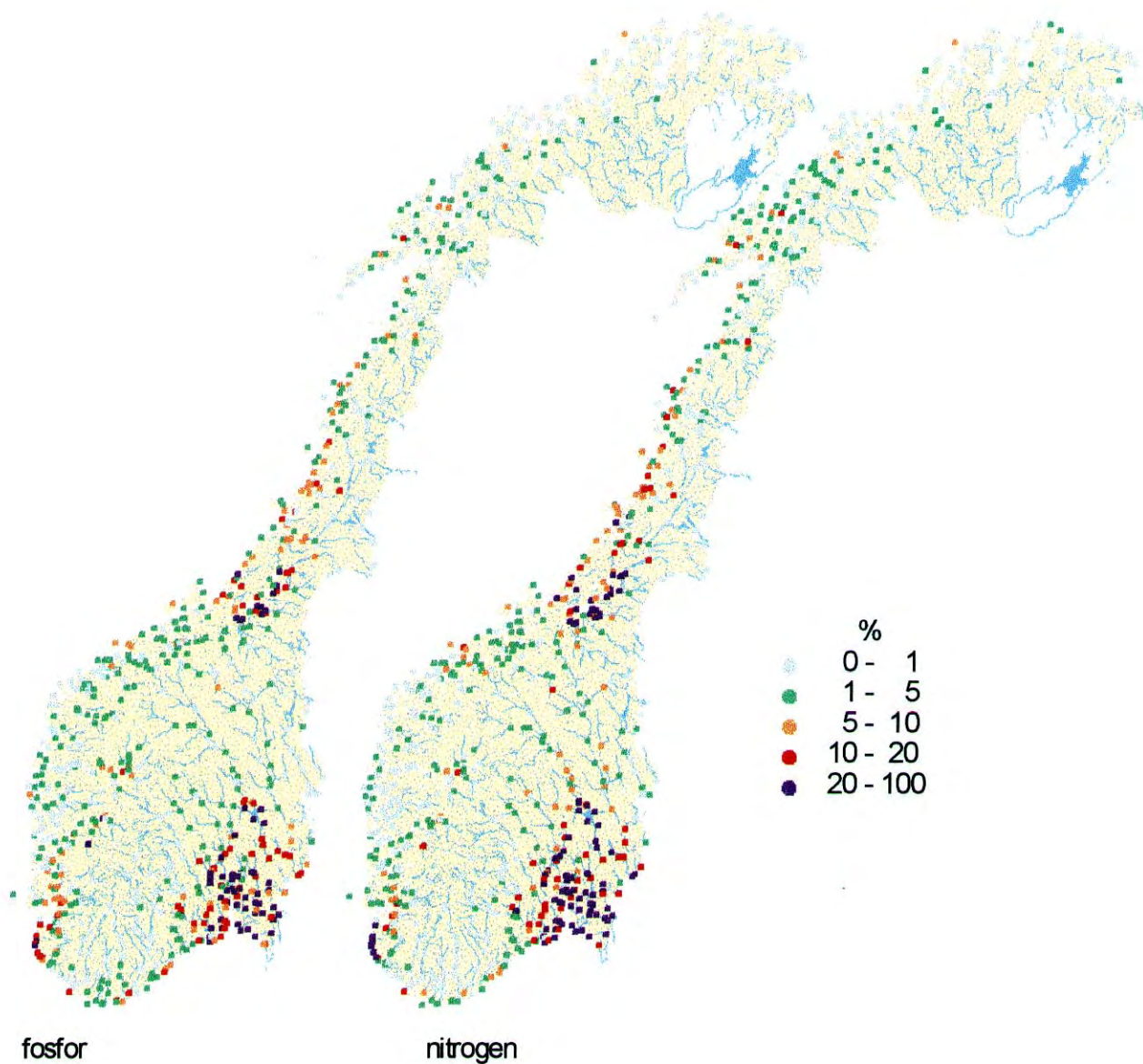


Fig. 4  
 Arealavrennings koeffisienter for jordbruk\_åker.  
 Hvor følsom er total transport overfor endring (dabling) av koeffisientenes verdier.

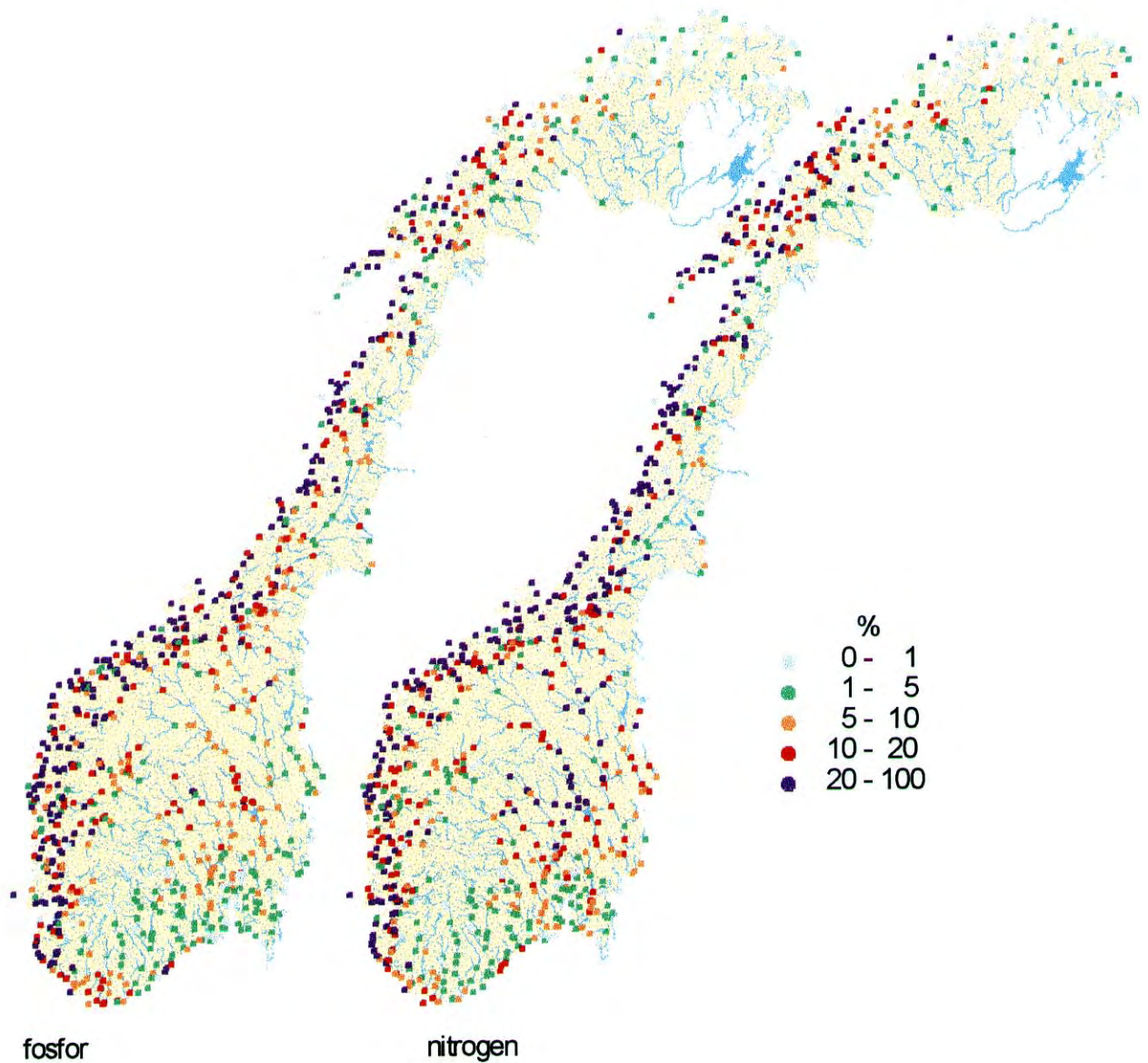


Fig. 5  
 Arealavrennings koeffisienter for jordbruk\_fulldyrket eng.  
 Hvor følsom er total transport overfor endring (dobling) av koeffisientenes verdier.



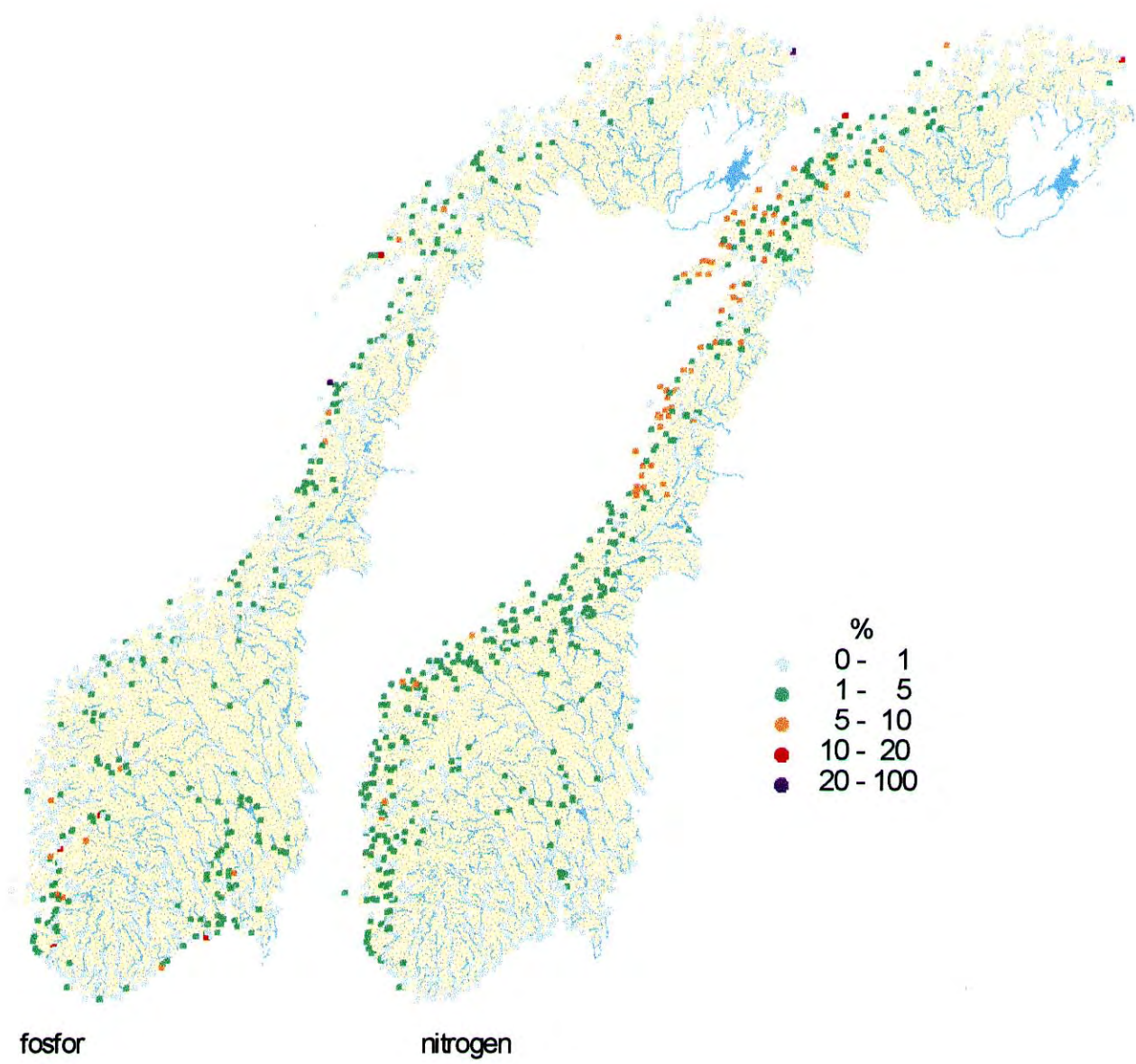


Fig. 6  
 Arealavrennings koeffisienter for jordbruk\_annen eng.  
 Hvor følsom er total transport ovenfor endring (dabling) av koeffisientenes verdier.

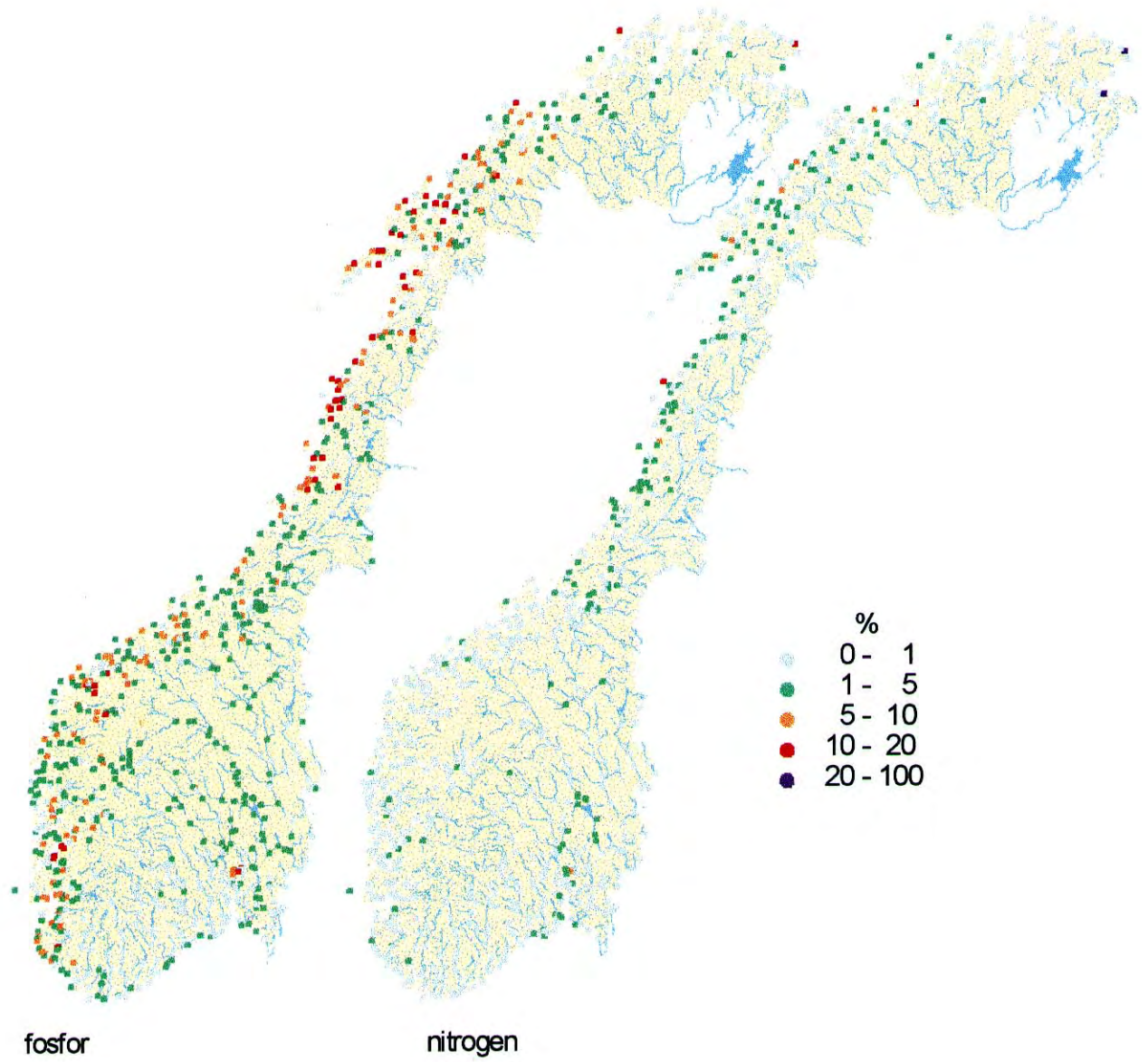


Fig. 7  
 Koeffisienter for jordbruk\_punktkilde.  
 Hvor følsom er total transport overfor endring (dabling) av koeffisientenes verdier.

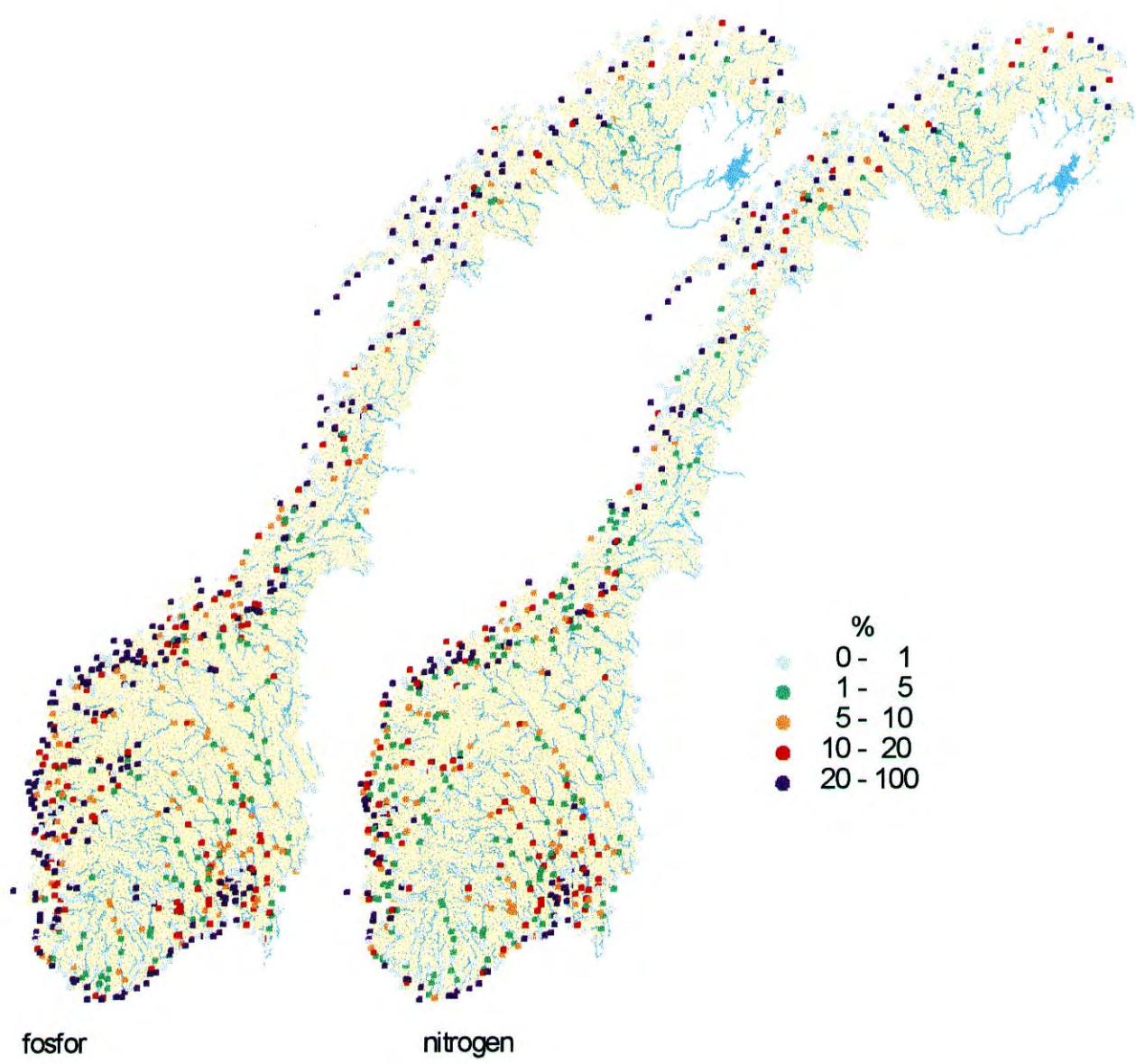


Fig. 8  
 Hvor følsom er total transport overfor endring (dobling) av tilførsler fra Befolkning\_tettsted.



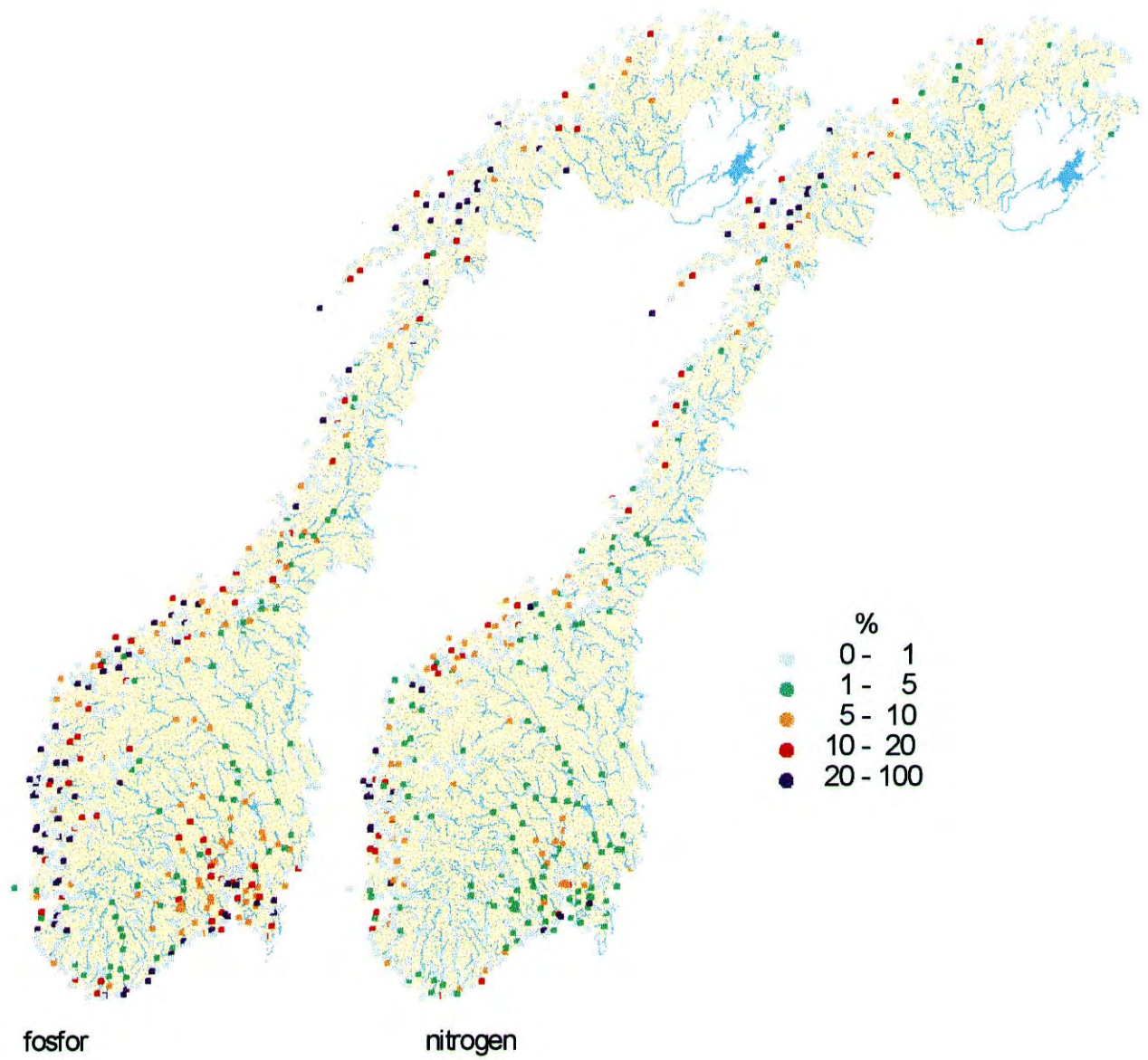


Fig. 9  
 Hvor følsom er total transport overfor endring (dabling) av tilførsler fra Befolkning\_spredt bosetning.

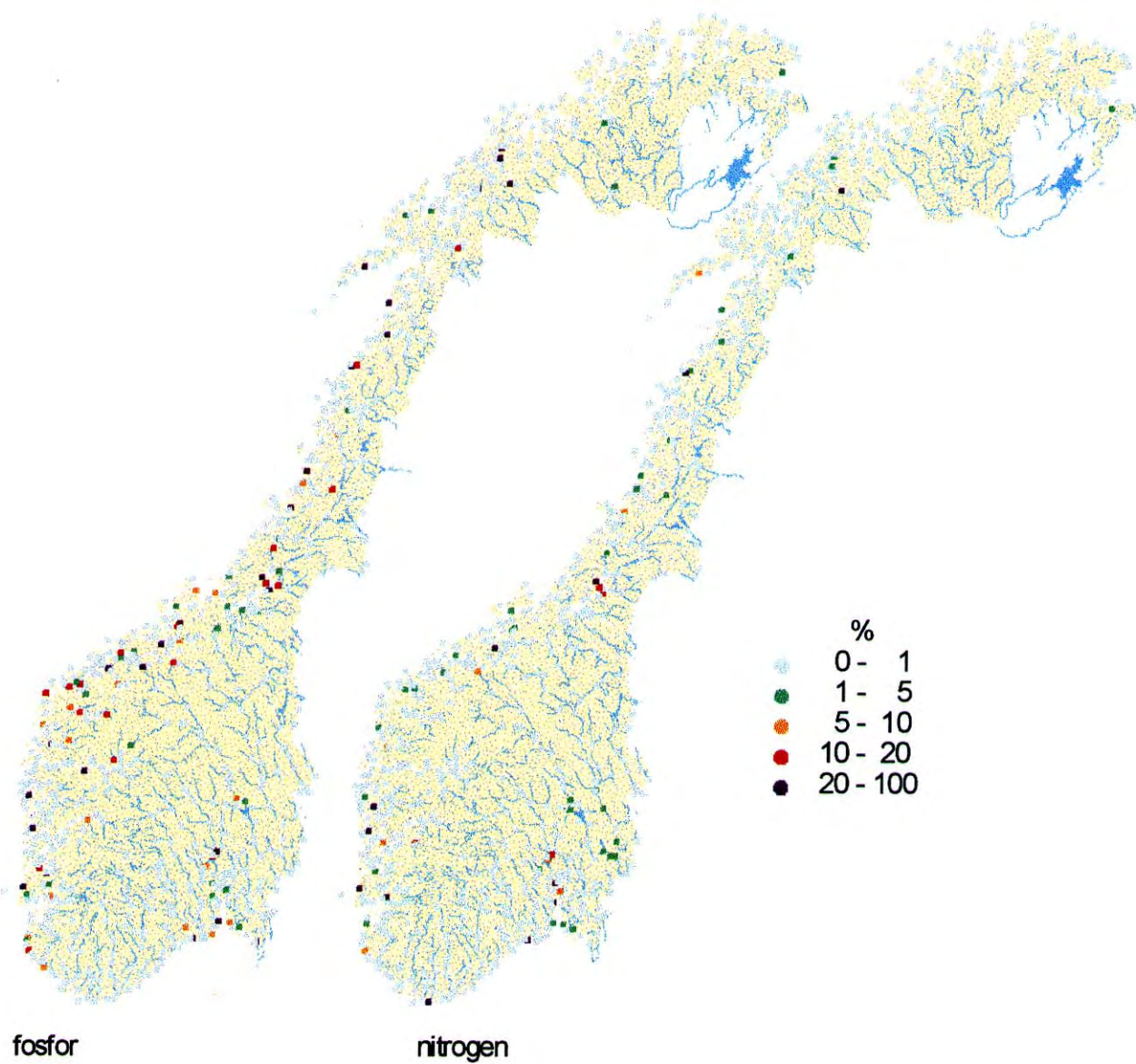


Fig. 10  
 Hvor følsom er total transport overfor endring (dobling) av tilførsler fra industri.