

RAPPORT LNR 3354-95

**Avrenning og
forurensning fra skog og
skogsbruk.**

En litteraturstudie.



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 04 30 33
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgt 55
5008 Bergen
Telefon (47) 55 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

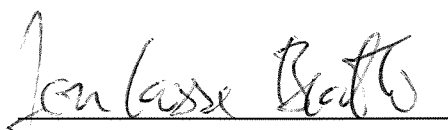
Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Avrenning og forurensning fra skog og skogsbruk. En litteraturstudie.	Løpenr. (for bestilling) 3354-95	Dato 28. november 1995
	Prosjektnr. Undernr. O-95119	Sider Pris 31
Forfatter(e) Bækken, Torleif Bratli, Jon Lasse	Fagområde Vassdrag	Distribusjon 50
	Geografisk område Norden	Trykket NIVA

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

<p>Sammendrag</p> <p>Det er få norske og nordiske studier som kvantifiserer avrenningen av N og P spesifikt fra avgrensede naturtyper som produktiv skog, myr og fjell. Likedan er det få studier av kjemiske og biologiske effekter grunnet hogst. Foreliggende norske bakgrunnsdata for N-avrenning fra skog varierer mellom 110 og 925 kg/km²/år. Data fra Sverige og Finland har samme størrelsesorden. P-avrenningen ligger i stor grad mellom 2 og 6 kg/km²/år i norske undersøkelser. Avrenning av N og P fra myr antas å være større enn fra produktiv skog. I tilførselsmodellen TEOTIL er det antatt at avrenningen fra produktiv skog og fra annen utmark er like. Avrenningen viser en stor sesongvariasjon med minimum om sommeren og maksima vår og høst. Både avvirking av skogen, grøfting og gjødsling øker avrenningen av N og P. Ved flatehogst øker N og P avrenningen til det mangedobbelte. Antall undersøkelser er lavt og tallene usikre. Et grovt estimat antyder at skogavvirking øker den totale N avrenningen fra produktiv skog med mellom 5 og 20 %. Det foreliggende datamaterialet gir ikke grunnlag for å foreslå endringer i avrenningskoeffisientene som anvendes i tilførselsmodellen TEOTIL.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Avrenningskoeffisienter 2. Nitrogen 3. Fosfor 4. Skog 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Runoff coefficients 2. Nitrogen 3. Phosphorus 4. Forest
--	--


Jon Lasse Bratli
Prosjektleder

ISBN 82-577-0000-0


Dag Berge
Forsknings sjef

**Avrenning og forurensning
fra skog og skogsbruk**

En litteraturstudie

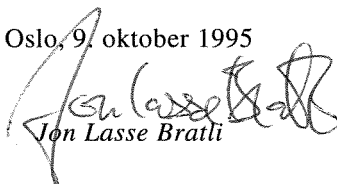
Forord

Dette prosjektet kom i stand etter henvendelse fra SFT's Tom Hjemseteren til undertegnede, våren 1995. Etter inngående samtaler og møteaktiviteter omkring problemfeltet skogbruk og forurensning, laget undertegnede en omforent prosjektplan som ble oversendt SFT 19. april d.å.

Forholdene omkring forurensningstilførsler fra skog og skogsdrift har lenge lenge vært et lite påaktet tema, og herværende rapport omfatter en litteraturstudie med oversikt over dagens kunnskapsstatus innen dette feltet, primært i Norge, men også ellers i Norden og i Nord-Amerika.

Undertegnede startet opp prosjektet, skrev disposisjon, startet litteratursøk og samlet inn endel litteratur. Torleif Bækken kom imidlertid på et tidlig stadium inn i arbeidet, og han slutførte innsamlingen av litteratur, bearbeidet denne, og har i all hovedsak ført denne rapporten i pennen.

Oslo, 9. oktober 1995



Jon Lasse Bratli

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	4	4. Avrenning ved skogsdrift	22
Summary and conclusions	7	5. Virkning av skogsdrift på biologien i skogsbekker og elver	25
1. Innledning	9	6. Koeffisienter for skog og annet utmarksareale i SFT's håndbok og i modellen TEOTIL	26
2. Litteratursøk	10	7. Litteratur	29
3. Avrenning av nitrogen og fosfor fra utmarksarealer	11		
3.1 Skogsområder	11		
3.2 Andre utmarksarealer	18		
3.2.1 Myrområder	18		
3.2.2 Fjell og hei	18		
3.3 Årstidsvariasjoner	19		
3.4 Tilførsler	20		

Sammendrag og konklusjoner

1. Skog og annet utmarksareal utgjør den langt største andelen av landarealet i Norge. Produktivt skogareal er etter siste taksering ca 70.000 km² og utgjør ca 23 % av landarealet. Av dette utgjør avvirket skogareal omkring 420 km²/år tilsvarende omkring 0,6 % av produktiv skog. Annet utmarksareal er om omkring 220000 km² og utgjør derved mer enn 70% av totalt landareal. Fordi ulike typer utmark dekker store områder er de viktige ved beregning av total stoffavrenning. Denne undersøkelsen har hatt som målsetning å gi en oversikt over dokumenterte tilførsler og effekter av N, P og erosjonsprodukter fra skog og utmarksarealer samt endringer ved skogsdrift. Data er i første rekke hentet fra Norge, Sverige og Finland.

2. Samlet sett viser de norske dataene en betydelig variasjon i nitrogenavrenningen fra skogfelt uten avvirkning med 110 og 925 kgN/km²/år som ytterpunkter. Variasjonen syntes bare delvis å være geografisk og nedbørvhengig. For fosfor ligger de refererte dataene stort sett mellom 2 og 6 kgP/km²/år, mens partikkelavrenningen ligger mellom 250 og 1000 kg/km²/år. Et utvalg svensk litteratur angir laveste og høyeste middelvei referert i disse undersøkelsene er henholdsvis 47 og 430 kgN/km²/år. Beregnet avrenning for ulike deler av Sverige varierte fra 100 til 236 kgN/km²/år. Avrenning av fosfor fra disse områdene var i gjennomsnitt 6 kgP/km²/år. Beregningene er imidlertid basert på forholdsvis få undersøkelser og er derfor beheftet med betydelig usikkerhet. En finsk undersøkelse angir et gjennomsnitt på 253 kgN/km²/år for 8 skogfelt. Laveste og høyeste årsgjennomsnitt alle feltene inkludert var henholdsvis 120 og 510 kgN/km²/år. De høyeste gjennomsnittsverdiene og maksimumsverdiene ble observert lengst sør, og ble forklart med høyere nitrogendeposisjon her enn i de øvrige delene av Finland. For fosfor ble det angitt en gjennomsnittlig avrenning på omkring 11 kg/km²/år.

Resultatene fra noen relevante undersøkelser i Nord-Amerika og New Zealand viser avrenningskoeffisienter i samme størrelsesorden som angitt for de nordiske landene.

Det er få publiserte data fra de siste 5 årene som tar for seg næringslekkasje fra skog. En stor del av bakgrunns materialet er derfor av eldre dato. I enkelte pågående norske forskningsprosjekter er avrenningsmålinger fra skogfelt inkludert.

3. Avrenning av nitrogen og fosfor antas å være større fra myrområder enn fra produktive skogsområder. Det synes først og fremst å være organisk bundet nitrogen og fosfor som øker i forhold til avrenning fra skog. På bakgrunn av et fåtallig observasjoner er det antatt at avrenningen av organisk bundet nitrogen og fosfor er dobbelt så stor fra myrområder som fra vanlige skogsområder med podsoljord. En antar videre at avrenning av de uorganiske fraksjonene er omtrent like fra myr og skog. Datagrunnlaget for disse beregningene er imidlertid dårlig og gjør beregningene usikre.

4. Antall undersøkelser av nitrogen og fosforlekkasje spesifikt fra veldefinerte fjellområder er lite. Generelt er det angitt en avrenning på 6 kgP/km²/år, men variasjonene kan være store.

5. Det er en betydelig årstidsvariasjon i avrenningen av nitrogen og fosfor, med minst avrenning om sommeren. Variasjonen styres i stor grad av nedbørmengden/avrenningen. Fordi den biologiske bindingen av næringsstoffer er størst om sommeren bidrar den også til mindre avrenning i denne perioden.

6. Nitrogenavsetningen har vært svakt økende eller forholdsvis stabil de siste tiårene. I områder med lav deposisjon vil det aller meste av nitrogenet holdes tilbake i jord og vegetasjon. En økende nitrogenavrenningen indikerer en begynnende nitrogenmetning i økosystemet. Selv om nitrogen tilførselen kan virke gunstig på skogens tilvekst, øker sannsynligvis ikke trofitylstanden i ferskvannsresipientene, fordi fosfor vil være den begrensende faktor. Hovedproblemet med økende nitrogenbelastning synes å være forsurening av overflatevannet.

7. Avrenning av nitrogen og fosfor fra skogsmark øker både ved avvirkning av skogen, ved grøfting og ved skoggjødsling. Datagrunnlaget for å beregne hvor mye næringsstoffer og partikler som renner av fra avvirkede områder er imidlertid magert i norsk sammenheng, men også i nordisk sammenheng. Svenske beregninger indikerer en økt lekkasje av nitrogen på 2 - 5 ganger og en fordobling av fosfor avrenningen etter skogavvirkning. En 20 år gammel norsk undersøkelse fant imidlertid 7 ganger høyere nitrogenavrenning etter avvirkning og 5 ganger høyere fosforavrenning.

Et grovt estimat antyder at for landet som helhet øker skogavvirkningen den totale nitrogenavren-

ningen fra skog i størrelsesorden 10%. Inngangstallene i dette regnestykket er svært usikre og resultatet blir tilsvarende usikkert. Det er likevel rimelig å anta at skogavvirkningen øker avrenningen av nitrogen med mellom 5 og 20 %. For svenske forhold er økningen estimert til 22 %.

Svenske beregninger antyder tilleggsavrenning av nitrogen grunnet av grøfting på omkring 3 ganger den naturlige avrenningen. Effekten av grøfting er antatt å være ca 5 år for nitrogen og 2 år for fosfor. For skoggjødsling har tilsvarende beregninger antydnet et tillegg til naturlig avrenning i underkant av 500 kgN/km²/år og omkring 5 kgP/km²/år. Forfatterne påpeker selv at dataene er svært usikre, og basert på et fåtall vitenskapelige rapporter.

8. De biologiske effektene i skogsbekker og elver grunnet skogsdrift er lite undersøkt både internasjonalt og i Norden. I Norge er temaet knapt berørt. De foreliggende publikasjonene har i noen grad tatt for seg effekter på algesamfunn. Virkninger på produksjon og sammensetning av bunnlevende smådyr som utgjør fiskens næring, samt virkninger på fisk, fiskeproduksjon og gytemuligheter er lite undersøkt.

9. Avrenningskoeffisientene oppgitt i SFT's tilførselshåndbok inkluderer også annen utmark. I tilførs-

selsmodellen TEOTIL er avrenningskoeffisientene for nitrogen fra skog og annen utmark antatt å være like. Det lille datagrunnlaget som finnes kan hverken bekrefte eller avkrefte en slik antagelse. De få svenske undersøkelsene angir større avrenning av nitrogen og fosfor fra myrmark enn fra skog. Heifeltet ved Longavatn hadde imidlertid ikke vesentlig forskjellig nitrogenavrenning fra et av skogsfeltene i samme prosjekt. Dataene fra fjellområdene varierer mye, men synes å ligge noe over data for skog på Østlandet. De refererte fjellområdene er imidlertid brepåvirkede og blir derfor å regne som spesielle områder.

Avrenningskoeffisientene for skog og annen utmark i TEOTIL har i liten grad vært gjenstand for vurdering med eventuell revidering. Det foreliggende datamaterialet fra norske arbeider som spesifikt tar for seg avrenning fra skog og fra annen utmark er svært magert og gir ikke grunnlag for å antyde endringer i avrenningskoeffisientene anvendt i TEOTIL. Resultatene er tildels sprikende for nærliggende områder grunnet lokale forskjeller. De nordiske (og andre utenlandske) arbeidene gir heller ikke grunnlag for revidering av koeffisienter. De er alle et resultat av landenes egne geo-biologiske og klimatiske forhold. Koeffisientene må ha som grunnlag natur- og klimaforhold i Norge.

Summary and conclusions

1. Woodland and other outlying fields make up most of the land area of Norway. Productive forests cover about 70000 km² that is about 23 % of the total land area. 420 km² of the productive forest area is cut each year that is about 0.6 %. All other outlying fields cover about 220000 km² being more than 70 % of the total land area. Because of their large areas, outlying fields are important when estimating the nutrient runoff. The present studies review Nordic data on runoff and effects of nitrogen (N), phosphorus (P) and particles from woodland, other outlying areas and changes caused by clearcutting of forests.

2. The presented Norwegian data on nitrogen runoff from uncut forests showed a considerable variation with minimum and maximum values of 110 and 925 kgN/km²/year respectively. The variation was only partly explained by geographical location or by precipitation. The referred phosphorus data mostly varied among 2 and 6 kgP/km²/year, and the data on particle runoff varied from 250 and 1000 kg/km²/year. A review on Swedish data referred nitrogen runoff from 47 to 430 kgN/km²/year. An estimate of N-runoff from 8 large areas covering the total of Sweden, varied from 100 to 236 kgN/km²/year. The estimated P-runoff from these areas had an average of 6 kgP/km²/year. However, these estimates were based on few investigations, the uncertainty of the results was high. A Finnish study reported an average N-runoff of 253 kgN/km² for 8 woodland fields. The minimum and maximum average values of these woodlands were 120 and 510 respectively. The highest values were observed in the South of Finland probably as a consequence of the higher N-deposition in that area. The average runoff of phosphorus was about 11 kgP/km²/year.

Some referred relevant publications from North-America and New-Zealand showed runoff coefficients of the same order of magnitude as those observed in Nordic countries.

There are few published Nordic data from the last 5 years dealing with nutrient runoff from woodland areas. A large proportion of background data therefore is quite old. Some ongoing Norwegian research projects include runoff studies on forests.

3. N and P runoff from bog areas are supposed to be higher than from productive woodland. The increase is mostly due to increased runoff of organic

N and P. Based on a few investigations it is assumed that the runoff of organic N and P is doubled from bog relative to normal woodland. Further it is assumed that the inorganic N and P runoff are about the same from bog and woodland. As the data are few, these assumptions are uncertain.

4. The numbers of investigations concerning N- and P-runoff from well-defined mountain areas are few. The average P-runoff is assumed to be about 6 kgP-/km²/year. However, the variations may be large.

5. The N- and P-runoff show a seasonal variation with the minimum runoff during the summer. The variation is to a large extent governed by precipitation. However, as the biological fixation of nutrients is at maximum during the summer, it also contributes to a low nutrient leaching during this period.

6. The N-deposition has been observed to be quite constant or slowly increasing during the last decades. In areas with low deposition most nitrogen is fixed in soil and vegetation. An increasing N-runoff indicates an incipient N-saturation in the ecosystem. Even though the N-supply may increase the productivity of the forests, it does not seem to add to the eutrophication of the freshwater. In these recipients phosphorus most often is the limiting factor. The main problem arising with increasing N-runoff is acidification of surface water.

7. N- and P- runoffs from woodlands increase when clearcutting, digging ditches and fertilising. Norwegian data to calculate nutrient and particle runoff from clear-cut areas are few which also applies for Nordic data. Swedish estimates indicate 2-5 times increased N-runoff and doubling of the P-runoff after clearcutting. A 20 year old Norwegian investigation observed, however, 7 times higher N-runoff and 5 times higher P-runoff after cutting the forest.

A rough estimate indicates that cutting of forests in Norway increase the total N-runoff from productive woodland in a size order of about 10 %. Although the data in these calculations are uncertain, it is fair to assume the N-runoff to be within the limits of 5 to 20 %. In Sweden the increased N-runoff is estimated to 22 %.

Swedish estimates indicate an additional N-runoff caused by digging ditches about 3 times the natural

size. The effect is assumed to last for 5 years for N and 2 years for P. Similar calculations for forest fertilisation indicate an additional runoff of about 500 kgN/km²/year and about 5kgP/km²/year. The authors call attention to the fact that the calculations are based on few data that bring about results with a high degree of uncertainty.

8. The biological effects of forest brooks and streams have not called much attention internationally or in the Nordic countries. In Norway this issue has hardly been discussed. The publications at hand have to some degree looked at the effects on algae communities. The effects of production and compositions on macroinvertebrate communities as well as the effects on production and spawning of fish have been less investigated.

9. The present runoff coefficients given by SFT (The Norwegian State Pollution Control Authority) also include all outlying fields including forest. In the model TEOTIL the runoff coefficients for N from woodland and other outlying fields are supposed to be identical. The present data can neither support nor reject such an assumption. The few

Swedish publications refer to higher N- and P-runoff from bogs than from forests. N-runoff from heathland at Longavatn was, however, not significantly different from N-runoff from nearby woodland fields. Data from mountain areas show a high degree of variability. On average, however, they seem somewhat higher than for woodland areas in Eastern Norway. Some of the referred mountain streams are, however, glacier fed and must be considered special cases.

The runoff coefficients for woodland and other outlying fields in TEOTIL have seldom been evaluated and revised. The presented results from Norwegian investigations that particularly are dealing with runoff from forests and other outlying areas are few and not sufficient to propose changes in runoff coefficients presently used by TEOTIL. The runoff values for nearby watersheds may vary greatly due to local differences. The Nordic (and other foreign) results can not be used to revise the runoff coefficients. All are a result of local and regional geo-biological and climatic relations. Runoff coefficients for use in Norway must therefore be based on nature and climatic condition in Norway.

1. Innledning

Utmarksarealer utgjør den langt største andelen av landarealet i Norge. Produktivt skogareal er etter siste taksering ca 70.000 km² og utgjør ca 23 % av landarealet. Av dette utgjør avvirket skogareal omkring 420 km²/år tilsvarende omkring 0,6 % av produktiv skog. Annet utmarksareal er om omkring 220000 km² og utgjør derved mer enn 70% av totalt landareal. Fordi ulike typer utmark dekker store områder er de viktige ved beregning av total stoffavrenning.

Bakgrunnsavrenning av partikulært material og næringsstoffer fra naturlige skogsområder og forurensende avrenning som følge av skogbruk har vært lite påaktet i Norge. Det er utført beregninger for å anslå "bakgrunnsavrenning" av nitrogen og fosfor fra forskjellige deler av Norge (Holtan & Åstebøl 1991). Disse anslagene inkluderer også annen utmark. Tilførselsmodellen TEOTIL anvender et sett avrenningskoeffisienter for ulikt arealbruk i forskjellige områder av Norge, blant annet for skog. For skog, myr og impedimenter er antall norske og nordiske undersøkelser få, og det reelle datagrunnlaget for beregning av avrenningskoeffisienter er dårlig. Et spinkelt datagrunnlag for

beregning av koeffisientene gir usikkerhet i de videre beregningene av stofftransporten. Flere av undersøkelsene er dessuten av eldre dato og inkluderer ofte en uspesifisert andel myr.

Det er kjent at skogsdrift endrer mengden avrenning, avrenningsmønsteret og stofftapet. Det nordiske datagrunnlaget for å beregne størrelsen på næringslekkasjen til overflatevann ved skogsdrift synes imidlertid lite. Det finnes bare et fåtall nordiske undersøkelser. Skogsdriften kan også endre livbetingelsene for livet i de påvirkede bekkene og elvene. Både produksjonen og sammensetningen av algesamfunn, bunndyr og fisk kan endres.

Denne undersøkelsen har hatt som målsetning å gi en oversikt over dokumenterte tilførsler og effekter av N, P og erosjonsprodukter fra skog og utmarksareal samt endringer ved skogsdrift. Data er i første rekke hentet fra Norge, Sverige og Finland. Resultatene vil bli sammenlignet med avrenningskoeffisientene for utmarksarealer som er brukt i tilførselsmodellen TEOTIL.

2. Litteratursøk

Det er søkt etter litteratur i følgende databaser:

- NIVAs database over egne utgivelser.
- BIBSYS, Nasjonalbiblioteket i Mo i Rana.
- Statens Naturvårdsverk.
- Institusjon för Vatten och Luftvårdsforskning (IVL).
- Aquatic Sciences & Fisheries Absreact (ASFA), 1978 - 1995.
- Water Resources Abstract (WRA), 1967 - 1994.
- Water Literature (WATLIT), 1975 - 1994.
- Pollution and Toxicology (PTOX), 1966 - 1994.

3. Avrenning av nitrogen og fosfor fra utmarksarealer

SFT angir i sin håndbok for innsamling av data om forurensningstilførsler, avrenningskoeffisienter for nitrogen og fosfor til bruk i ulike deler av landet og for ulike typer arealbruk. Utmarksarealer inkluderer der både skog, myr og fjellområder.

Bakgrunnsavrenning av nitrogen fra utmarksarealer er beregnet utfra sammenhengen mellom spesifikk avrenning og avrenning av nitrogen. For området "Nedre Telemark, Nedre Buskerud, Vestfold, Østfold og Akershus" gjelder f.eks. sammenhengen $y = 4x + 116$, der y er $\text{kgN}/\text{km}^2/\text{år}$ og x er spesifikk avrenning i $\text{L}/\text{s}/\text{km}^2$. Fosforavrenningen er stort sett bestemt utfra naturtypen. Avrenningskoeffisientene er angitt som intervaller. I modellen TEOTIL, som beregner tilførsler/transport av nitrogen og fosfor, er avrenningskoeffisienter for "skog" og "annet utmarksareal" skilt ad, men gitt identiske verdier. Koeffisientene som anvendes i TEOTIL avviker noe fra tallene i SFTs håndbok delvis på grunn av nyere vurderinger og delvis fordi områdene som vurderes er mindre. Felles for koeffisientene er at de har lite grunnlag i vitenskapelige undersøkelser som spesifikt tar for seg avrenning fra skog, myr eller fjellområder. Nedenfor er det angitt resultater fra norske og nordiske undersøkelser som spesielt har tatt for seg normal avrenning av nitrogen, fosfor og partikler fra forskjellige typer utmarksareal.

3.1 Skogsområder

Det er få publiserte data fra de siste 5 årene som tar for seg næringslekkasje fra skog. En stor del av bakgrunns materialet er derfor av eldre dato. I enkelte pågående norske forskningsprosjekter er avrenningsmålinger fra skogfelt inkludert. Resultatene fra prosjektet "Nitrogen fra fjell til fjord", som startet opp i 1992, og et nylig oppstartet skogkalkingsprosjekt, er imidlertid ennå få og til dels utilstrekkelige for å beregne nærings saltavrenningen.

En forholdsvis omfattende studie av nitrogen og fosforavrenning fra norske skogsområder og virkningen av flatehogst på vannkvaliteten ble foretatt av Haveraaen i 1972-1977 (Haveraaen 1981). Undersøkelsen ble gjort i to skogfelt i Andebu kommune i Vestfold. Feltene var dominert av eldre og gammel granskog. Et felt fungerte som

referanse da det ble foretatt snauhogst i det andre (se kap 3X). Den gjennomsnittlige avrenningen av totalnitrogen fra referansefeltet og hogstfeltet før hogst var henholdsvis 110-140 og 140 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$. Avrenningen av nitratnitrogen utgjorde 22-40 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$ i referansefeltet tilsvarende ca 20-30 % av totalnitrogen. Den årlige fosforavrenningen fra disse to feltene varierte mellom 0,7 og 6 kg/km^2 (Tabell 1). Skogfeltene ble ansett å være representative for dette området.

En undersøkelse i Telemarksvassdraget i perioden 1975- 1979 beregnet fosforavrenning og partikkeltransport fra blant annet fem felt med blandingsskog og granskog (Rognerud et al. 1979). Avrenningen av fosfor var forholdsvis lik for de fem feltene med en variasjon fra 3,4 til 6,2 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$. I gjennomsnitt var avrenningen av totalfosfor 5,8 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$. Undersøkelsen tok også for seg partikkelavrenningen som i gjennomsnitt var 0,64 $\text{tonn}/\text{km}^2/\text{år}$, med en variasjon fra 0,38 til 1,07 $\text{tonn}/\text{km}^2/\text{år}$ mellom feltene.

Et lite skogfelt (0,36 km^2) ved Maridalsvannet i Oslo ble undersøkt i perioden 1989 - 1991. Den gjennomsnittlige avrenningen av totalnitrogen var omkring 160 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$ (Holtan & Holtan 1993). Av dette var ca 90 kg, eller 50-60%, nitratnitrogen. Fosforavrenningen var ca 3 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$, mens den årlige partikkelavrenningen var omkring 0,25 $\text{t}/\text{km}^2/\text{år}$.

I forbindelse med et pågående kalkingsprosjekt i regi av NIVA er det gjort undersøkelser av førsituasjonen fra skogfelt ved Gjerstad i Aust-Agder. To stasjoner fra samme nedbørfelt viste tilnærmet lik avrenning med henholdsvis 364 og 334 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$ for totalnitrogen og 98 og 97 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$ for nitratnitrogen. Nitrat utgjorde derved 27 og 29 % av totalnitrogenavrenningen. Fosforavrenningen på disse stasjonene var henholdsvis 4,8 og 4,0 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$. Et referansevassdrag viste noe lavere avrenning av nitrogen med 235 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$. Her utgjorde nitrat ca 17% med 40 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$. Fosforavrenningen var så lav som 2 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$.

Fra 1992 er Bjerkreimvassdraget i Rogaland og Aulivassdraget i Vestfold, undersøkt spesielt med tanke på problematikken omkring nitrogenets kretsløp. Prosjektet kalles "Nitrogen fra fjell til fjord". Det tar for seg to skogfelt og to heifelt i Bjerkre-

imsvassdraget samt tre skogsfelt og to jordbruksfelt i Aulivassdraget. Konsentrasjoner og avrenningskoeffisienter er vist i Tabell 2. Dataene er foreløpig ufullstendige når det gjelder fosfor og vannføringsmålinger. Noen karakteristika ved skogsfeltene i dette prosjektet:

Bjerkreimvassdraget i Rogaland.

Skogsfelt ved Svla:

190 moh. og 0,51 km² stort. Drenerer et område beplantet med høyproduiserende bartreslag, vesentlig gran og sitkagran. Løsmassene er dominert av tykke sandholdige moreneavsetninger. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen i avtotalnitrogen i avrenningsvann fra dette feltet var 217 µg/L i perioden 1992-94. Det ble ikke foretatt vannføringsmålinger i 1992. Den gjennomsnittlige nitrogen-tapet var ca 590 kg/km²/år hvorav ca 60% var nitratnitrogen. Gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i avrenningsvannet i 1994 var lav med bare 1 µg/L hvilket ga en beregnet fosforavrenning dette året på 7,4 kg/km²/år (Tabell 1 og Tabell 2).

Skogsfelt ved Høgmo:

170 moh. og 0,45 km² stort. Nedbørfeltet består vesentlig av opprinnelig, seintvoksende furuskog med stort innslag av bjørk og få plantinger av gran. Steinrik morenegrunn. Avrenning burde være representativ for den naturlige skogen i nedbørfeltet. Den gjennomsnittlige nitrogenkonsentrasjonen i avrenningsvannet for perioden 1992-1994 var 152 µg/L. Det ga en gjennomsnittlig nitrogenavrenning på 238 kg/km²/år hvorav 48 % var nitratnitrogen. Den gjennomsnittlige fosforkonsentrasjonen i 1994 var 2 µg/L. Det ga en beregnet fosforavrenning på 3 kg/km² dette året.

Aulivassdraget i Vestfold:

Skogsfelt ved Dal:

Nedbørfeltet ligger sentralt i vassdraget og drenerer 0,142 km² skog hvorav ca. halvparten ligger under den marine grense. Skogen består av gran, furu og osp. Furu og ospeskogen, som utgjør ca 1/3 av totalarealet (0,044 km²), har lav produksjon og vil delvis være klassifisert som impediment. Gjennomsnittlig nitrogenkonsentrasjon i avrenningsvannet var 1440 µg/L for de tre årene (Tabell 1 og 2). Konsentrasjonene målt i 1992 var meget høye med en gjennomsnittsverdi på 2630 µg/L. Den gjennomsnittlige nitrogenavrenningen for perioden 1992-94 ble beregnet til 925 kg/km²/år. Av dette var omkring 80% nitratnitrogen. Deteksjonsgrensen for fosfor i disse prøvene var høye og resultatene var ikke anvendbare for beregning av avrenning.

Skogsfelt ved Svartbekk:

Feltet ligger over den marine grense og dekker et område på 0,45 km². Skogen domineres av tilnærmet urørt gammel gran og furuskog. Gjennomsnittlig nitrogenkonsentrasjon i var 507 µg/L for hele perioden. Ved antatt avrenning på 20 L/s/km²/år (fra isohydratkart) ble den beregnede nitrogenavrenningen 320 kg/km²/år. Av dette var 57 % nitratnitrogen. Fosformålingene var for unøyaktige til å anvendes i avrenningsestimater.

Skogsfelt ved Tuften:

Feltet dekker et areal på 8,8 km². Skogen domineres av gran og furu. Den antas å være representativ for indre skogsområder i Vestfold og har normal aktivitet når det gjelder hogst og skogskjøtselstiltak. Gjennomsnittlig nitrogenkonsentrasjon for perioden var 443 µg/L. Ved antatt avrenning på 20 L/s/km²/år ga dette et nitrogentap på 280 kg/km²/år. 59% av dette var nitratnitrogen. Fosformålingene var for unøyaktige til å anvendes i avrenningsestimater.

Samlet sett viser de norske dataene en betydelig variasjon i nitrogenavrenningen med 110 og 925 kg/km²/år som ytterpunkter. Variasjonen syntes bare delvis å være geografisk og nedbørvhengig. For fosfor ligger de refererte dataene stort sett mellom 2 og 6 kg/km²/år, mens partikkelavrenningen ligger mellom 250 og 1000 kg/km²/år.

Løfgren & Olson (1990) refererer litteratur som behandler nitrogenavrenning fra svenske skogsområder (Tabell 1). Laveste og høyeste middelverdi referert i disse undersøkelsene er henholdsvis 47 og 430 kgN/km²/år. De har utfra tilgjengelige data fra såkalte PMK områder, som de imidlertid påpeker er mangelfulle, beregnet avrenning av nitrogen og fosfor fra skogsområder i 8 deler av Sverige, fra Bottenviken til Skagerak. Disse verdiene er sammenlignet med de mest relevante undersøkelsene for bakgrunnsverdier. Estimaterne for nitrogenavrenning er bemerkelsesverdig like for de ulike områdene. Størst nitrogenavrenning ble beregnet (og målt) langs vestkysten med avrenning mot Skagerak, deler av Kattegat og Øresund med avrenningskoeffisienter på henholdsvis 236, 198 og 215 kgN/km²/år. I de øvrige delene av landet varerte nitrogenavrenningen mellom 100 og 150 kgN/km²/år. Beregningene er imidlertid basert på forholdsvis få undersøkelser og er derfor beheftet med betydelig usikkerhet (Løfgren & Olsson 1990). Særlig nevnes at tidsserier der næringslekkasjen og overflateavrenning studeres over lengre tid stort sett er fraværende for svensk skogsmark. For norske forhold er dette enda mer utpreget.

Løfgren & Olson (op.cit.) gjorde tilsvarende beregninger for fosfor som for nitrogenavrenning. Den høyeste avrenningskoeffisienten ble beregnet til 10.2 kgP/km²/år og ble registrert for skogsområder med avrenning til Bottenvika. Laveste avrenningskoeffisient ble bergnet til 3.2 kgP/km²/år for skogsområder som drenerte mot Østersjøen. Som gjennomsnitt for svenske skogsområder er det ved flere anledninger foreslått en koeffisient på 6 kgP/km²/år (Brink & Gustavson 1970, Ahl 1973, Ahl & Odén 1975).

De foreliggende resultatene for næringssaltavrenning fra skogsfelt i Finland viser ca. samme nivå som i svenske skogsområder (Tabell 1). Ahtiainen (1992) angir gjennomsnittsverdier på 157, 204 og 208 kgN/km²/år for tre skogsområder. Av dette var bare mellom 1,3 og 3,3 kg nitratnitrogen som er mindre enn 2% av totalnitrogenet. Fosforavrenningen i de samme skogsområdene varierte fra 6,9 til 14,6 kgP/km²/år. Partikkeltransporten var 0,3-0,4 t/km²/år.

Rekolainen (1989) angir et gjennomsnitt på 253 kgN/km²/år for 8 skogsfelt i perioden 1981-1985 spredt over den sørlige halvdel av Finland. Laveste og høyeste årsgjennomsnitt alle feltene inkludert var henholdsvis 120 og 510 kgN/km²/år. De høyeste gjennomsnittsverdiene og maksimumverdiene ble observert lengst sør, og ble av Rekolainen forklart med høyere nitrogendeposisjon her

enn i de øvrige delene av Finland. Pitkänen (1986) rapporterte tilsvarende resultater unntatt for de nordlige delene av Finland der nitrogenavrenningen ble estimert til 140 kgN/km²/år. Mussaari (1977) anslo bakgrunnsavrenningen i Finland til 185 kgN/km²/år.

For fosfor angir Rekolainen (op.cit) en gjennomsnittlig avrenning på 11,6 kg/km²/år. Det er tilnærmet samme bakgrunnsavrenning som anslått for Finland av Massaari (op.cit).

Resultatene fra noen relevante undersøkelser i Nordamerika og New Zealand viser avrenningskoeffisienter i samme størrelsesorden som angitt for de nordiske landene (Tabell 1). Den refererte undersøkelsen fra skogsfelt i New Zealand, viste gjennomsnittlig nitrogenavrenning på 131 og 367 kg/km²/år på områder med henholdsvis furuplantering og naturskog (Cooper & Thomson 1988). Nitrat utgjorde nærmere 80% av nitrogenavrenningen i naturskogen og vel 40 % i furuskogen. Fosforavrenningen i disse undersøkelsene var henholdsvis 9,5 og 12,0 kg/km²/år.

I det foreliggende utvalget av Nordamerikanske studier ligger avrenningskoeffisientene for nitrogen mellom 60 og 440 kg/km²/år og for fosfor mellom 4 og 20 kg/km²/år.

Tabell 1. Avrenningskoeffisienter for nitrogen, fosfor og partikler fra skogsområder. Data er først og fremst hentet fra Norge, Sverige og Finland. I tillegg er det tatt med enkelte undersøkelser fra Nord-Amerika og New Zealand.

Avrennings-område	tot.N kg/km ² /år	NO ₃ -N kg/km ² /år	NH ₄ -N kg/km ² /år	tot.P kg/km ² /år	PO ₄ -P kg/km ² /år	Partikler t/km ² /år	Referanse
Norge							
<i>Oslo</i>							
Skjervbekken 1989-1991	160	90		3	0,7	0,25	Holtan & Holtan 1993
<i>Vestfold</i>							
Andebu I ref, 72-75	110	40	-	0,7			Haveraaen 1981
Andebu I, ref, 75-77	140	22	0,5	6			
Andebu II, "før hogst", 1972-75	140			1,9			
<i>Telemark</i>							
Telemarkvassdraget 1975-79							
Barskog				4,6		0,54	Rognerud, Berge & Johannesen 1979.
Blandingsskog				3,4		0,38	
Blandingsskog				5,6		1,04	
Blandingsskog				6,2		0,53	
Blandingsskog				6,2		0,71	
"Nitrogen fra fjell til fjord"							
<i>Rogaland, Bjerkreimvassdraget</i>							
Svela, 1993-94	589	354		2,6			Kaste et al. 1995
Høgmo, 1993-94	238	114		3,0			
<i>Vestfold Aulivassdraget</i>							
Dal, 1992-94	925	703					
Svartbekken	320 ²⁾	180 ²⁾					
Tuften	280 ²⁾	160 ²⁾					
<i>Aust-Agder</i>							
Gjerstad St 1	364	98		4,8			Hindar pers. med.
St 4	338	97		4			
St 10	235	40		2			

Fortsetter neste side

Tabell 1. Fortsettelse

Avrennings-område	tot.N kg/km ² /år	NO3-N kg/km ² /år	NH4-N kg/km ² /år	tot.P kg/km ² /år	PO4-P kg/km ² /år	Partikler t/km ² /år	Referanse
Finland							
Finland, "Bakgr.avren."	185			11			Mussaari 1977
Finland (1felt)				0,02		0,02	Kohonen 1982 (i Ahl 1988)
Finland, 81-85 (8 felt)	253			11,6			Rekolainen 1989
Murtopuro, 72-82 (før hogst)	204	3,5	4,6	14,6	7,3	0,4	Ahtiainen 1992
Kivipuro, 72-82 (før hogst)	157	1,3	2,7	6,9	1,6	0,4	Ahtiainen 1992
Liuhapuro, 79-88, ref.	208	3,3	3,0	8,9	2,4	0,3	Ahtiainen 1992
Sverige							
<i>Bottenvika</i>							
Reivo 85-87	85-119						Kvarnäs 1089
Ammarnäs 85-87	169-190						
Moddus 85-87	166						
<i>Bottenhavet</i>							
Kullarna.ref.77-80	47-70	1-6					Rosén 1982
Kullarna.ref.1-5år senere	128	6	10				Rosén 1987
Kullarna.av.77-80, før hogst	81-102	3-15	3-8				Rosén 1982
Snipjern 77-80	76-108	1-40	4-12				Kvarnäs 1989
Tandovala	134						
Stenbitshøiden	89						
<i>Østersjøen</i>							
Däntersta 78-88	74-244						Ullén 1989
Däntarsta alkårr 78-88	123-335						
Kloten 70-77	106	13	3				Grip 1982
Anboda 86-86	123-206						Westling & Hultberg 1989
Tiveden 85-87	97-110						Kvarnäs 1989
Norra Kvell 85-87	79						

Fortsetter neste side

Tabell 2. Konsentrasjoner av nitrogen og fosfor ved fire stasjoner i Bjerkreimvassdraget og tre stasjoner i Aulivassdraget innenfor prosjektet "Nitrogen fra fjell til fjord" (Henriksen et al. 1993, Kaste et al., 1994, 1995). * angir generell avrenning fra området gitt på isohydratkart.

år	område type	areal km ²	tot N µg/L	NO ₃ -N µg/L	tot P µg/L	antall målinger	avrenning L/s/km ² /år	tot-N avr.k. kg/km ² /år	NO ₃ -N avr.k. kg/km ² /år	totP avr.k. kg/km ² /år
Bjerkreimvassdraget										
Rogaland										
Longavatin										
1992	hei	0,8	401	279	3	19	-			
1993			363	226		25	66	756	470	
1994			384	213	5	26	47	569	315	7,4
middel			383	239	4			663	393	
1992	hei	2,3	183	119	2	16	-			
1993			271	165		25	-			
1994			255	161	2	25	-			
middel			236	148	2					
1992	skog	0,51	194	108	4	7	-	664	376	
1993			263	149		26	80	514	331	2,6
1994			194	125	1	28	84	589	354	
middel			217	127	2,5					
1992	skog	0,45	111	56	2	18	-	240	105	3,0
1993			186	81		21	41	236	122	
1994			159	82	2	25	47	238	114	
middel			152	73	2					
Aulivassdraget										
Vestfold										
Dal										
1992	skog	0,142	2630	2240	<8	12	20*	1650	1400	<5
1993			943	685	<20	31	17	491	358	6,5 ?
1994			746	472	<21	25	29	634	352	13 ?
middel			1440	1132	<16			925	703	8 ?
1992	skog	0,45	360	80	<8	9				
1993			790	550	<18	21				
1994			370	<317	<8	15				
middel			507	290	<11		20*	320		
1992	skog	8,8	630	360	<8	14				
1993			396	212	<8	25				
1994			303	<210	<8	18				
middel			443	260	<8		20*	280		

3.2 Andre utmarksarealer

3.2.1 Myrområder

Avrenning av nitrogen og fosfor antas å være større fra myrområder enn fra produktive skogsområder. For svenske forhold oppgir Bergquist et al. (1984) en gjennomsnittlig nitrogenavrenning på mellom 200 og 400 kg/km²/år, Lundin & Bergquist (1990) angir 410 kgN/km²/år og Olofson (1989) finner en avrenning på 210 kgN/km²/år. I de samme undersøkelsene ligger fosforavrenningen på henholdsvis ca 6 - 8,5, 10 og 14 kgP/km²/år. Det synes først og fremst å være organisk bundet nitrogen og fosfor som øker i forhold til avrenning fra skog. På bakgrunn av et fåtallig observasjoner antar Løfgren & Olson (1990) at avrenningen av organisk bundet nitrogen og fosfor er dobbelt så stor fra myrområder som fra vanlige skogsområder med podsolljord. De antar videre at avrenning av de uorganiske fraksjonene er omtrent like fra myr og skog. Beregnet nitrogenavrenning fra myr/impedimenter for 8 definerte områder i Sverige varierte mellom 146 og 273 kg/km²/år med et gjennomsnitt på ca 240 kg/km²/år, mens tilsvarende for skog var 100 - 236 kg/km²/år og 170 kg/km²/år. Tilsvarende beregninger for fosfor var 6 -20 kg/km²/år med gjennomsnitt ca 10 for myr/impediment, og 3,2 - 10,2 kg/km²/år med gjennomsnitt ca 6 kg/km²/år for skog. Datagrunnlaget for disse beregningene er imidlertid dårlig og gjør beregningene usikre (Løfgren & Olson op.cit.).

3.2.2 Fjell og hei

Antall undersøkelser av nitrogen og fosforlekkasje spesifikt fra veldefinerte fjellområder er lite. I enkelte undersøkelser har imidlertid "fjell" inngått uten nærmere definisjon. Holmen (1978) anbefalte en avrenningskoeffisient på 110 kg/km²/år for totalnitrogen og 6 kg/km²/år for totalfosfor (Tabell 4). Dette var basert på anslag fra Uhlen i Stortingsmelding nr. 7, 1972-73, om at nitrogen- og fosforavrenning fra fjellområder var halvparten av det fra skog samt noe observasjonsmateriale av fosfor fra Holtan (1973). I øvre deler av Ottavassdraget, ved Ofossen og nederst i Bøvra var imidlertid den gjennomsnittlige fosforavrenningen i perioden 1977-1979 henholdsvis 11,5 og 24 kg/km²/år, med en årvis variasjon mellom henholdsvis 0,5 og 18,

og 17 og 35 kgP/km²/år (Holtan et al.1980) (Tabell 4). De høye verdiene skyldtes partikulært fosfor, vesentlig appatittfosfor, som ble tilført som erosjonsprodukter fra de ovenforliggende breområdene.

Også for nitrogen var avrenningskoeffisientene fra disse fjellområdene noe høyere enn foreslått av Holmen (1978). Ved Ofossen og Bøvra var den gjennomsnittlige avrenningen for perioden 1977-1979 henholdsvis ca 200 og ca 150, men med store årlige, og sessongmessige variasjoner. Vi kjenner ikke til fordelingen av fjellskog og snaufjell i dette området. Et mindre fjellområde i Telemark med ca 3/4 høyfjell hadde en avrenningskoeffisient for fosfor på 9 kg/km²/år. Fra dette området var partikkeltransporten på omkring 1,5 t/km²/år (Rognerud et al 1979).

I forbindelse med prosjektet "Nitrogen fra fjell til fjord" er avrenningen av nitrogen og fosfor fra to heifelt undersøkt (Tabell 2). Noen karakteristika ved disse feltene:

Heifelt ved Longavatn:

65 moh. og 0,8 km² stort. Består hovedsakelig av bart fjell, heivegetasjon, og tre mindre grunne tjern. Litt engareal fra gårdsbruk, og litt skogareal (bjørk). Lite beiting.

Heifelt ved Øygard:

Feltet ligger 290 moh. og er 2,3 km² stort. Feltet brukes til sauebeite, men er ellers et upåvirket utmarksområde med hei, noe bart fjell og noen mindre vann (ca 15% av arealet). Foreløpig er det ikke gitt størrelsen på avrenningen fra dette heifeltet.

Avrenningen av nitrogen fra heifeltet ved Longavatn ble beregnet til 756 og 569 kgN/km²/år i henholdsvis 1993 og 1994 (Tabell 3). I disse årene var henholdsvis 62 og 55% av nitrogenet nitrat-nitrogen. Data for avrenningen av fosfor var bare tilgjengelig for 1994 og ble da beregnet til 7,4 kgP/km²/år.

Løfgren & Olson (1990) bemerker at det ikke finnes data (svenske) på arealavrenning for nitrogen og fosfor fra hei og fjell, og antar at avrenningen fra disse områdene er den samme som for skogsområder.

Tabell 3. Avrenningskoeffisienter for nitrogen og fosfor fra hei og fjellområder i Norge.

Område	tot-N kg/km ² /år	tot-P kg/km ² /år	Partikler t/km ² /år	Referanser
Hei				
Rogaland, Bjerkreimvassdraget				
Longavatn, hei, 1993	756			Kaste et al 1994
1994	569	7,4		Kaste et al 1995
Fjell				
"Snaufjell"	110	6		Holmen 1978
Telemark, 1975-79		9	1,54	Rognerud, Berge & Johannesen 1979.
75% høgfjell (1 felt)				
Otta				
Ofossen 1977	105	0,5		Holtan et al 1980
1978	145	16		
1979	357	18		
Bøvra 1977	80	17		
1978	149	21		
1979	230	35		

3.3 Årstidsvariasjoner

Det er en betydelig årstidsvariasjon i avrenningen av nitrogen og fosfor. Variasjonen styres i stor grad av nedbørmengden/avrenningen. Et eksempel på årstidsvariasjonen fra skogsfeltet ved Dal i Aulivassdraget er vist i Tabell 4. Både for nitrogen og fosfor varierer avrenningen fra ingen avrenning i det hele tatt i juli til henholdsvis 248 kgN/km²/mnd og 4,3 kgP/km²/mnd i april. For

nitrogen utgjør aprilavrenningen hele 40 % av årsavrenningen. Avrenningen de tre månedene mars, april og oktober utgjør 3/4 av totalavrenningen av nitrogen. Det samme mønsteret gjelder for fosfor. Stofftapet er meget sterkt korrelert med avrenningsintensiteten. (Figur 1). De kraftige variasjonene viser at tidspunktet for innsamling av data er meget viktig og avgjørende for å lage realistiske beregninger av avrenningskoeffisienter.

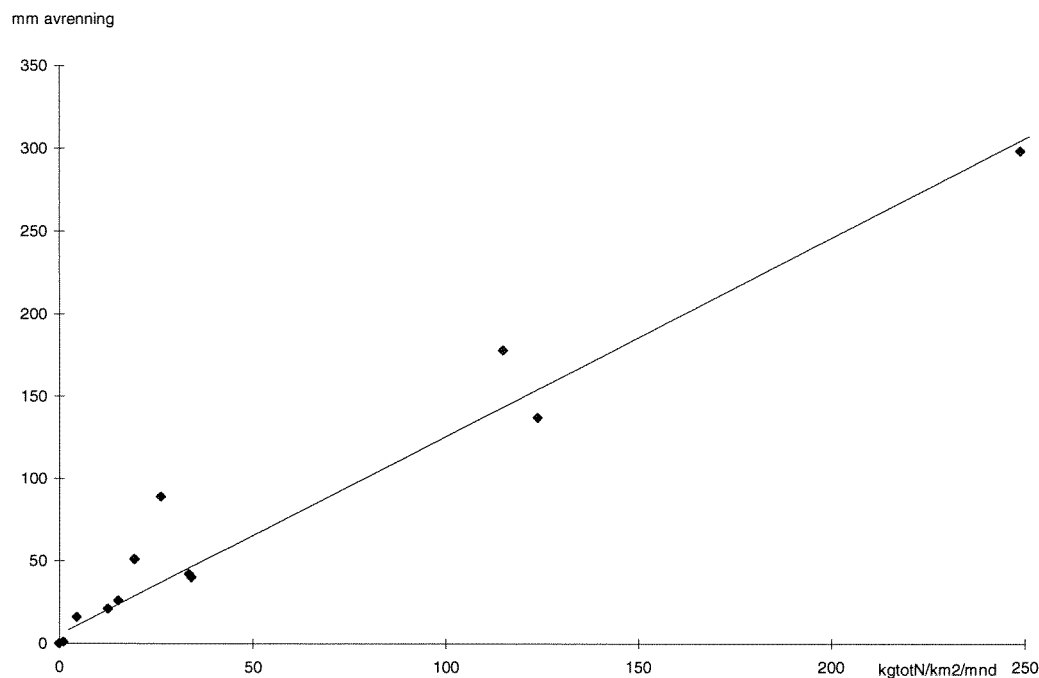
Tabell 4. Årstidsvariasjon for avrenning av nitrogen og fosfor fra skogsfelt Dal i Aulivassdraget 1994 (Kaste et al 1995).

	tot N kg/km ²	NO ₃ -N kg/km ²	tot P kg/km ²	avrenning mm
januar	33,6	14,3	3,2	42
februar	15,3	9,6	0,1	26
mars	123,7	80,2	1,9	137
april	248,4	127,1	4,3	298
mai	4,5	0	0,08	16
juni	1,1	0	0,03	1
juli	0	0	0	0
august	34,2	18,1	0,4	40
september	26,3	0,6	1,0	89
oktober	114,7	84,3	1,8	178
november	19,5	10,5	0	51
desember	12,6	7,1	0,1	21
sum 1994	633,9	351,8	12,9	899

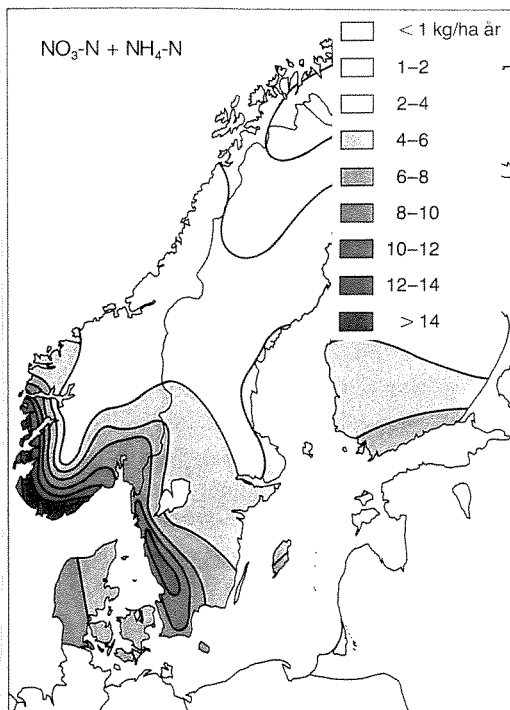
3.4 Tilførsler

Den største delen av nitrogentilførselen til skog og andre landområder kommer fra atmosfærisk våtavsetning av nitrat og ammonium. Bidraget fra tørravsetning antas å være omkring 10-20% av den totale avsetningen. Det generelle mønsteret for

våtdeposisjonen av nitrogen over Norden er vist i Figur 2. Den største deposisjonen observeres på Sør- og Sørvestlandet med avsetninger på mer enn 1500 kgN/km²/år.



Figur 1. Sammenhengen mellom avrenningen av vann og nitrogen fra skogsfelt ved Dal i Aulivassdraget i 1994 (Kaste et al 1995).



Figur 2. Våtavsetningen av nitrogen over Norden. Gjennomsnitt for årene 1986-1990 (Bernes 1993).

Næringslekkasjen fra skogsområder er for en stor del styrt av avsetning via nedbøren og dermed av avrenningen, men den er også avhengig av grunnforhold, skogstype og skogens tilstand. På grunn av tidsvariasjonen i nedbørmengde og nedbørens variasjoner av nitrogen og fosforinnhold varierer det atmosfæriske nedfallet gjennom året.

I motsetning til sulfatavsetningen som avtar, har nitrogenavsetningen vært svakt økende eller forholdsvis stabil de siste tiårene (SFT 1994). Det har medført økt nitratlekkasje fra skogsmark (Wiklander 1983, Anderson et al. 1985, Rosén et al 1989). Tilveksten i skog er vanligvis nitrogenbegrenset. Nitrogentilførselen har derfor en gjødslingseffekt. Nitrogen-retensjonen i områder med lav deponisjon er derfor høy. Høy deponisjonsrate kan derimot gi nitrogenmetning i jordsmonnet og betydelig nitratavrenning. I områder med høy deponisjon er det registrert økende utlekking med opptil 1000-1500kg/km²/år. Nitratlekkasjen kan være 10-30 ganger større enn normalt for skog med lav bonitet. I områder med lav deponisjon vil det aller meste av nitrogenet holdes tilbake i jord og vegetasjon. Den økende nitrogenavrenningen indikerer en begynnende nitrogenmetning i økosystemet. Selv om nitrogentilførselen kan virke gunstig på skogens tilvekst, øker sannsynligvis ikke trofittilstanden i ferskvannsresipientene der fosfor

vil være den begrensende faktor. Hovedproblemet med økende nitrogenbelastning synes å være forsuring av overflatevannet (Grennfelt & Hultberg 1985, Kaste et al 1995).

Også for fosfor kan den atmosfæriske tilførselen være betydelig. SFT (Holtan & Åstebøl 1991) angir det atmosfæriske nedfallet direkte på vannflaten mellom 10 og 35 kg/km²/år avhengig av landsdel. Rognerud et al. (1979) registrerte en middelværdi på 34 kg/km²/år på 20 stasjoner i Telemark. Tilsvarende undersøkelser ved Tyrifjorden viste en variasjon mellom 13 og 30 kgP/km²/år på 4 stasjoner (Berge 1983). Løfgren & Olson (1990) angir en midlere fosfordeponisjon til mellom 6 og 10 kgP/km²/år over Sverige. Fosforet bindes raskt opp i jordsmonnet. Man regner med at ca 50% av fosforet i nedbøren er partikulært og derfor lite biologisk tilgjengelig. På grunn av erosjon og forvitring får vassdragene en naturlig tilgang på fosfor.

Biologisk nitrogenfiksering er den eneste naturlige tilførselsveien for nitrogen ved siden av atmosfærisk avsetning. Enkelte arter av frittlevende heterotrofe bakterier og blågrønnalger er de viktigste for nitrogenfikseringen i barskog. Den årlige nitrogenfikseringen når der sjelden over 140 kgN/km²/år, mens det i tette bestander av or kan foregå symbiotisk nitrogenfiksering på opptil 22500 kgN/km²/år (Rosen & Lindberg 1980, Nohrstedt 1982, 1985 og Wetzel 1983 i Løfgren 1991)

Fordi mye av den atmosfæriske avsetningen bindes opp i vegetasjon og jordmonn og tilbakeføres til atmosfæren som elementært nitrogen via denitrifisering avrenningen normalt langt lavere enn tilførselene. Anslag referert i SFT (Holtan & Åstebøl 1991) antyder ca 40 % lavere. Foreliggende data fra Longavatn i Rogaland viser en våtdeponisjon på ca 1400 kgN/km²/år (NO₃-N + NH₄-N). Avrenning av nitrogen fra heifeltet ved Longavatnet var 756 og 569 kg/km²/år i henholdsvis 1993 og 1994. Det antyder at 50 - 60 % av deponert nitrogen holdes tilbake i dette heiområdet. En nærliggende nedbørsstasjon til skogfeltet ved Dal i Aulivassdraget hadde et nitrogennedfall på ca 1200 kg/km²/år. I 1992 ble nitrogenavrenningen fra skogfeltet beregnet å være 1650 kg/km²/år eller ca 40 % større enn den atmosfæriske tilførselen. I 1993 og 1994 ble ca 50 - 60 % av nitrogenet holdt tilbake.

4. Avrenning ved skogsdrift

Skogsdrift innebærer ulike typer av aktiviteter som flatehogst, grøfting, gjødsling, sprøyting, samt transport og lagring. Transport og lagring vil ikke bli tatt opp her. De andre temaene er i ulik grad undersøkt i Norden.

Haveraa (1981) undersøkte virkingen av flatehogst på avrenningintensiteten og vannkvaliteten i resipienten. Han fant at avvirkningen medførte en økt avrenning på 300 mm eller ca 30%. Nitrogenavrenningen økte nesten 7 ganger fra 140 til 950 kg/km²/år. Nærmere 70% av den økte nitrogenavrenningen var nitrat. Nitrat og ammoniumavrenningen økte henholdsvis 12 og 180 ganger. Fosforavrenningen var i utgangspunktet lav, og økte fra omkring 2 til 10 kg/km²/år (Tabell 6).

Svenske undersøkelser viste en klar økning i stofftransporten etter flatehogst. Fra en førsituasjon med nitrogenavrenning på omkring 100 kg/km²/år økte avrenningen til omkring 240 kg/km²/år som gjennomsnitt for de tre påfølgende årene ved Kloten (Grip 1982). Ved Kullarna viste tilsvarende avrenningstall 100 og 518 kg/km²/år som gjennomsnitt de 5 påfølgende årene (Grip op.cit). I begge disse undersøkelsene var økningen i nitrat og ammoniumavrenningen langt større enn for totalen. Det samme var tilfelle med de finske undersøkelsene. Gjennomsnittet av "før" og "etter" -situasjonen for disse undersøkelsene er vist i Tabell 5 og demonstrerer at en må regne med en flerdobling av nitrogen og fosforavrenningen fra hogstflater. Dette er også observert i utenomnordiske arbeider. Likens et al (1970) fant at nitratkonsentrasjoner ble 41 og 56 ganger høyere henholdsvis første og andre året etter snauhogst. I disse forsøkene ble det imidlertid også brukt herbicider for å holde planteveksten nede slik at nitrogenopptak via plantebiomasse ble forhindret.

Grunnet økt erosjon er det sannsynlig at partikkeltransporten øker etter flatehogst. Haveraa (1981) observerte en økning både i turbiditet, farge og organisk stoff. EPA (1975) påpekte at bygging av skogsbilveier var av de største kildene til økt partikkeltransport i hogstområder. Berge & Traaen (1983) refererer flere publikasjoner som viser økt partikkeltransport etter flatehogst. Ahtiainen (1992) undersøkte også endringer i partikkeltransporten. Den ble ikke vesentlig endret etter flatehogsten, men økte dramatisk i ett av feltene etter skogspløying. Før og etter hogst var partikkelavrenningen henholdsvis 0,4 og 0,6 t/km²/år, men etter

pløying økte den til 83 t/km²/år. Det andre feltet beholdt en vegetasjonssone langs resipienten. Dette syntes å redusere transporten av næringsstoffer og partikler vesentlig (Tabell 6).

Den forhøyede næringslekkasjen etter flatehogst synes oftes å vare fra 4 til 12 år alt etter jordsmonnets beskaffenhet (Wiklander 1983, Rosén et al 1989). En undersøkelse fra USA rapporterte imidlertid om forhøyede nitrogenkonsentrasjoner så lenge som 20 år etter avvirkningen (Swank 1988).

Avrenning av nitrogen og fosfor fra skogsmark øker både ved avvirkning av skogen, ved grøfting og ved skoggjødsling. Datagrunnlaget for å beregne hvor mye næringsstoffer og partikler som renner av fra avvirkede områder er imidlertid magert i norsk sammenheng, men også i nordisk sammenheng (Løfgren & Olson 1990).

Løfgren & Olson (1990) har utfra det foreliggende svenske materialet beregnet nitrogen og fosforavrenning fra skogsdrift i 8 områder. Et gjennomsnitt fra alle disse 8 områdene indikerer en økt lekkasje av nitrogen på 2 - 5 ganger og en fordobling av fosfor avrenningen etter skogavvirkning. Beregningene viste et gjennomsnitt på omkring 690 kgN/km²/år i ekstra avrenning grunnet skogavvirkning for de 8 områdene. Variasjonen mellom områdene var imidlertid betydelig med fra ca 300 kgN/km²/år i Bottenvika til over 1000 kgN/km²/år for avrenning mot Øresund og Skagerak. Dette er verdier som ligger tildels betydelig over verdiene angitt i Tabell 5. Haveraa (1981) fant imidlertid tilsvarende høye avrenningskoeffisienter etter snauhogst med en tilleggsavrenning på ca 800 kgN/km²/år.

Berge & Traaen (1983) konkluderte at foreurenningen fra skogbruk til vann, totalt sett, er beskjeden eller ubetydelig. Basert på på mer eller mindre godt dokumenterte forutsetninger er det mulig å gjøre en grovt anslag på skogbrukets tilskudd til avrenningen av f.eks. nitrogen og fosfor. Anta en tilleggsavrenning grunnet skogavvirkning på 500 kgN/km²/år som gjennomsnitt over en virkeperiode på 5 år. Det avvirkede arealet er ca 0,6 % pr. år av produktiv skog. Det betyr ca 3 % av produktiv skog til en hver tid er "hogstpåvirket". Dersom normalavrenningen settes til 150 kgN/km²/år vil det si at skogavvirkning øker avrenningen fra skog med omkring 10%. Inngangstallene i dette regnestykket er svært usikre og resultatet blir tilsvarende usikkert. Det er

likevel rimelig å anta at skogavvirkningen øker avrenningen av nitrogen med mellom 5 og 20 %. Løfgren & Olson (1990) angir 22 % for svenske forhold.

For fosfor er tallene enda mer usikre. Tallene i Tabell 5 antyder en mangedobling i avrenningen. De svenske beregningene til Løfgren & Olson antyder en fordobling, men med variasjoner fra ca 7 til 22 kgP/km²/år mellom ulike regioner. Anta en tilleggsavrenning på 10 kgP/km²/år grunnet avvirkning og en bakgrunn på 6 kgP/km²/år. Sett i forhold til avvirkningsarealer og virkningstider angitt ovenfor, gir skogavvirkningen en økt fosforavrenning på 5 %. Løfgren & Olson (1990) angir 3,8 % for svenske forhold.

Beregningene ovenfor antyder at skogbruket kan gi en økning i nitrogenavrenningen på opptil 1/5 av normalavrenningen fra skog. Dette har sannsynligvis liten effekt på den totale nitrogentilførselen til de store vassdragene i jordbruksområder og tettbygde strøk. I nærområdene til hogstfeltene kan imidlertid hogstarealet utgjøre en stor andel av totalarealet og derved bli en dominerende faktor for nitrogen, fosfor og partikkelavrenningen.

Berge & Traaen (1983) konkluderte på grunnlag av litteraturstudier at grøfting ikke hadde særlig store utslag på vannkjemien utover eventuelle pH-enderinger. Løfgren & Olson (1990) beregnet imidlertid avrenning på grunn av grøfting ga et tillegg

av nitrogen på omkring 500 kgN/km²/år og for fosfor omkring 20 kgP/km²/år, ca 3 ganger den naturlige avrenningen. Effekten av grøfting er antatt å vare ca 5 år for nitrogen og 2 år for fosfor (Lundin 1988, Bergquist et al. 1984). Avrenningen er avhengig av grøfteavstand og jordtype (Brække 1983).

Ogner (1981) undersøkte virkninger av skog-gjødning. Størst effekter ble observert i de små skogsbekkene der nitrat + ammonium økte til ca 2000 ganger normal konsentrasjon i løpet av få timer. Etter 15 måneder var ca 10 % av gjødselmengden vasket ut og nitrogenkonsentrasjonen i resipientene igjen lav. Løfgren & Olson (1990) gjorde beregninger av avrenning grunnet skogsgjødsling i svenske skoger. Beregningene antyder et tillegg til naturlig avrenning i underkant av 500 kgN/km²/år og omkring 5 kgP/km²/år. Forfatterne påpeker selv at dataene er svært usikre og bygger på sjabloner basert på et fåtall vitenskapelige rapporter.

Tabell 5. Middelt av gjennomsnittsverdien presentert i Tabell 6. kg/km²/år. Ikke inkludert Kiviputo.

	totN	totP
Før hogst	130	8
Etter hogst	540	33

Tabell 6. Avrenningskoeffisienter for nitrogen, fosfor og partikler fra før og etter avvirking av skog. Data er hentet fra Norge, Sverige og Finland.

Område	totN kg/km ² /år	NO3-N kg/km ² /år	NH4-N kg/km ² /år	totP kg/km ² /år	PO4-P kg/km ² /år	Partikler t/km ² /år	Referanser
Norge							
Andebu II, "før hogst", 72-75	140	54	0,2	1,9			Haveraaen 1981
Andebu II, "etter hogst" 75-77	950	640	36	10			
Sverige							
Kloten "før hogst" 70-77	106	13	3				Grip 1982
Kloten "etter hogst" 1-3år	241	70	36				
Kullarna "før hogst" 77-80	81-102	3-15	3-8				
Kullarna "etter hogst" 1-5år	518	88	38				Rosén 1982
Snipbjerg "før hogst" 77-80	76-108	1-40	4-12				Rosén 1987
Snipbjerg "etter hogst" 1-5år	567	168	57				
Svenske hogstområder	200-800						
Torvbråten "før grøfting" 80-81	390	10					Lundin & Bergquist 1990
Torvbråten "etter grøfting" 82-84	360	10					
Finland							
Murtopuro "før hogst" 72-82	204	3,5	4,6	14,6	7,3	0,4	Ahtiainen 1992
Murtopuro "etter hogst" 82-85	430	10,6	19,2	65,5	43,5	0,6	Ahtiainen 1992
Murtopuro "etter pløying" 86-88	600	30,2	28,2	68,1	27,8	83,1	Ahtiainen 1992
Kivipuro (med kantsone) "før hogst" 72-82	157	1,3	2,7	6,9	1,6	0,4	Ahtiainen 1992
Kivipuro (med kantsone) "etter hogst" 82-85	226	1,4	4,8	9,3	1,6	0,4	Ahtiainen 1992
Kivipuro (med kantsone) "etter pløying" 86-88	182	1,5	7,3	7,3	1,5	0,2	Ahtiainen 1992

5. Virkning av skogsdrift på biologien i skogsbekker og elver

De biologiske effektene i skogsbekker og elver grunnet skogsdrift er lite undersøkt både internasjonalt og i Norden. I Norge er temaet knapt berørt. De foreliggende publikasjonene har i noen grad tatt for seg effekter på algesamfunn. Virkninger på produksjon og sammensetning av bunnlevende smådyr som utgjør fiskens næring, samt virkninger på fisk, fiskeproduksjon og gytemuligheter er lite undersøkt.

Effekter av flatehogst og jordbunnsendringer (grøfting, pløying) på biologien i en liten skogsbekk ble undersøkt av Holopainen & Huttunen (1992). De fant at lys, temperatur og næringsinnholdet i vannet økte signifikant. Algebiomassen fikk en økning den første sommeren etter flatehogsten, den avtok temporært etter at markberedningen medførte økt turbiditet. Ved liten avrenning og liten sedimenttransport økte algeproduksjonen igjen. Det ble også registrert endringer i sammensetningen av algesamfunnet. CCA analyse indikerte at hovedårsakene til forandringene i algesamfunnet etter flatehogst var økt konsentrasjon av næringssalter og forsuring. Den viktigste effekten av markberedningen var økt temperatur. Holopainen & Huttunen konkluderte at effekten av flatehogst på algeproduksjonen vil vare minst 3 år,

mens effektene av jordbunnsendringer vil vare lengre. Martin et al. (1981) rapporterte om økte tettheter av alger og bunndyr på henholdsvis 2 og 4 ganger i fire bekker etter flatehogst. Årsaken ble antatt å være større tilgang på lys og økt temperatur. Også Lee & Samuel (1976) fant en betydelig temperaturøkning i skogsbekker etter flatehogst. De registrerte også forskjellige bunndyrsamfunn i terskeldammer i referanseområdet og flatehogstområdet. Det høyeste artsantallet og den største biomassen ble funnet i referansedammen.

Flere av parameterene som endres etter en flatehogst samvarierer. Det kan derfor være vanskelig å skille ut de egentlige årsakene til observerte endringer. Lowe et al. (1986) utførte et felteksperiment for å skille effektene av næringstilgang og økt belysning på alger i bekker etter flatehogst. Det viste seg at algemengden var større i alle hogstfeltbekker enn i referansebekkene uansett næringstilskudd. Lys syntes derfor å være en begrensende faktor for algervekst i skogsbekker. Det syntes som om enkelte algesamfunn i hogstfeltbekkene var næringsbegrensede. Nok lys resulterte også i et mer diversert samfunn.

6. Koeffisienter for skog og annet utmarksareale i SFT's håndbok og i modellen TEOTIL

SFT (Holtan & Åstebøl 1991) angir avrenningskoeffisienter for såkalte "uberørte" områder som inkluderer både skog, myr og fjell (Tabell 8 og 9). Avrenningskoeffisienten for totalnitrogen i Oslofjordområdet angis å ligge i området 150-250 kg/km²/år. Dette er noe høyere enn koeffisientene angitt for skogsområdet i indre Vestfold undersøkt i 1972-1977 (110-140 kgN/km²/år) (Haveraaen 1981). De foreliggende dataene for perioden 1992-1994 fra skogfeltene i Aulivassdraget i Vestfold, som ligger i samme området, var tildels betydelig over koeffisientene angitt av SFT med gjennomsnittsverdier fra 280 til 925 kgN/km²/år, og indikerer at de nåværende koeffisientene for Vestfold er noe for lave. Avrenningskoeffisienter anvendt i TEOTIL for skogsområder i Vestfold er 300 kgN/km²/år (Tabell 7). Dette stemmer godt overens med to av skogfeltene i Aulivassdraget (Svartbekk og Tuften), men er vesentlig lavere enn koeffisientene beregnet for skogfeltet ved Dal. Vi kjenner ikke den eksakte årsaken til forskjellen i avrenningsestimertene fra 1972 til 1994, men det er sannsynlig at økt nitrogenavsetning er en viktig faktor.

SFT angir avrenningskoeffisientene for totalnitrogen på Sørlandet til mellom 300 og 450 kgN/km²/år. Koeffisienten anvendt i TEOTIL for skog i indre strøk av Rogaland er 350 kgN/km²/år og for Jæren 450 kgN/km²/år. Disse verdiene stemmer godt overens med verdiene for et av skogfeltene ved Gjerstad i Aust-Agder (364, 338 kgN/km²/år), men lå noe høyere enn referansevasdraget på samme sted (235 kgN/km²/år). Resultatene fra de to undersøkte skogsområdene i Bjerkreimvasdraget i Rogaland viste gjennomsnittsverdier på hen-

holdsvis ca 240 og 590 kgN/km²/år og lå derfor på hver side av det anbefalte koeffisientintervallet.

Avrenningskoeffisientene oppgitt av SFT inkluderer også annen utmark. I tilførselsmodellen TEOTIL er avrenningskoeffisientene for nitrogen fra skog og annen utmark antatt å være like. Det lille datagrunnlaget som finnes kan hverken bekrefte eller avkreftes en slik antagelse. De få svenske undersøkelsene angir større avrenning av nitrogen og fosfor fra myrmark enn fra skog. Heifeltet ved Longavatn hadde imidlertid ikke vesentlig forskjellig nitrogenavrenning fra et av skogfeltene i samme prosjekt. Dataene fra fjellområdene varierer mye, men synes å ligge noe over data for skog på Østlandet. De refererte fjellområdene er imidlertid brepåvirkede og blir derfor å regne som spesielle områder.

Avrenningskoeffisientene for skog og annen utmark i TEOTIL har i liten grad vært gjenstand for vurdering med eventuell revidering. Det foreliggende datamaterialet fra norske arbeider som spesifikt tar for seg avrenning fra skog og fra annen utmark er svært magert og gir ikke grunnlag for å antyde endringer i avrenningskoeffisientene anvendt i TEOTIL. Avrenningen er tildels sprikende for nærliggende områder grunnet lokale forskjeller. De nordiske (og andre utenlandske) arbeidene gir heller ikke grunnlag for revidering av koeffisienter. De er alle et resultat av landenes egne geobiologiske og klimatiske forhold. Koeffisientene må ha som grunnlag natur- og klimaforhold i Norge.

Tabell 7. Avrenningskoeffisienter for totalnitrogen og totalfosfor for skog og annen utmark anvendt i tilførselsmodellen TEOTIL. Enhetene er kg/km²/år.

			total fosfor		total nitrogen	
			skog	annet	skog	annet
Østfold	Ytre	Oslofjord	15	15	300	300
	Midtre	Glomma	8	8	170	170
	Indre	Haldenvass	8	8	170	170
Akershus		Øyern	15	15	300	300
		Oslofjord	15	15	300	300
		Haldenvass.	8	8	250	250
Oslo			15	15	300	300
Hedemark		Mjøsa	7	5	100	100
	Glomma	sør	7	5	120	120
	Glomma	nord	6	4	75	75
Oppland		Sverige	6	4	75	75
		Mjøsa	7	5	100	100
		Lågen	6	4	80	80
Buskerud		Randsfjorden	5	4	80	80
		Begna	5	4	80	80
		Numedalslågen	5	4	80	80
		Krødern	5	4	80	80
		Drammensfjorden	6	5	300	300
Telemark		Tyrifjorden	6	5	100	100
		Vestfold	8	5	300	300
	Ytre	strøk	8	7	300	300
		Midtre/Nordsjø	7	6	200	200
Aust-Agder	Indre		6	6	200	200
	Ytre		6	5	400	400
Vest-Agder	Indre		5	5	300	300
	Ytre		8	7	400	400
Rogaland	Indre		7	7	300	300
		Jæren	10	8	450	450
	Sør/indre	Ryfylke/Boknafj	7	7	450	450
Hordaland		strøk	6	5	350	350
		Lavland	6	5	300	300
Fjord.		Høyland	3	3	400	400
		Lavland	6	5	300	300
Romsdal		Høyland	3	3	400	400
		Lavland	6	5	200	200
Sør-Trøndelag		Høyland	3	3	400	400
		Lavland	12	10	200	200
Nord-Trøndelag		Høyland	6	5	200	200
		Lavland	12	10	100	100
Nordland		Høyland	6	5	150	150
Nordland			6	4	100	100
Troms			4	4	100	100
Finmark			4	4	75	75

Tabell 8. Avrenningskoeffisienter for total nitrogen fra "uberørte" områder (skog, myr, fjell). Enheten er kgN/km²/år. Etter SFT 1991 (Holtan & Åstebøl 1991).

Finnmarksvidda	<75
Ytre Finnmark og Troms	75 - 150
Nordland - Trøndelag	100 - 200
Nordvestlandet	200 - 400
Sørvestlandet og Sørlandet	300 - 450
Oslofjordområdet	150 - 250
Østlandet	75 - 130

Tabell 9. Avrenningskoeffisienter for total fosfor fra naturområder angitt som kgP/km²/år. Etter SFT 1991 (Holtan & Åstebøl 1991).

Fra fjellområder uten isbreer	2 - 5
Fra skogområder	6 - 7
Fra lite erosjonsutsatte områder under den marine grense på Østlandet og i Trøndelag	8 - 12
Fra isbreområder	10 - 15
Fra erosjonsutsatte områder i lavlandet	10 - 20

7. Litteratur

- Ahl, T. 1988. Background yield of phosphorus from drainage area and atmosphere. An empirical approach. - *Hydrobiologia* 170: 35-44.
- Ahl, T. & Odén, S. 1975. Närsaltkällor - en översikt. I: Eriksson, U. (Ed). Eutrofiering. Nordforsk miljövårdssekretariat. Publikasjon 1975:1.
- Ahtiainen, M. 1992. The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. - *Hydrobiologia* 243/244: 465-473.
- Andersson, R., Nordlander, G. & Wiklander, G. 1985. Väkstnäring förluster från höggproduktiv skogsmark. - Lägesrapport Statens naturvårdsverk 1985-01-30.
- Berge, D. 1983. Tyrifjorden. Sammenfattende rapport fra Tyrifjordundersøkelsen 1978 - 1981. - Tyrifjordutvalget, Berge, D. redaktør.
- Berge, D. og T. S. Traaen 1985. Skogbruk og vannforurensning. En problemanalyse. NIVA rapport L.nr. 1700. 44 s.
- Bergquist, B., Lundin, L. & Andersson, A. 1984. Hydrologiska och limnologiska konsekvenser av skogs och myrdikning. - Rapport limnologiska institutionen, Uppsala Univ., LIU 1984: B4.
- Bernes, C. 1993. Norden miljø - tilstand utvikling og trusler. - Prosjektgruppen for en nordisk miljøtilstandsrapport, Nordisk Ministerråd. Nord 1993:11.
- Brink, N & Gustafson, A. 1972. Kväve och fosfor från skog, åker och bebyggelse. - Lantbr. högskolan, Inst. för markvetenskap, Uppsala, Vattenvård Nr. 1.
- Brække, F. H. 1983. Skogsgrøfting - endringer i vannbalanse og utvasking av næringsstoff. - NISK-Rapport 8/83.
- Clesceri, N.L., Curran, S.J. & Sedlak, R.I. 1986. Nutrient loads to Wisconsin lakes: Part I. Nitrogen and phosphorus export coefficients. - *Water Resources Bulletin*. 22 (6): 983-990.
- Cooper, A. B. & Thomsen, C.E. 1988. Nitrogen and phosphorus in streamwaters from adjacent pasture, pine, and native forest catchments. - *New Zealand J. Mar. and Freshwater Res.* 22: 279-291.
- Dillon, P.J. & Kirchner, W.B. 1974. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. - *Water Research* 9: 135-148.
- Fleischer, S., Andréasson, I.-M., Holmgren, G., Joelsson, A., Kindt, T., Rydberg, L. & Stibe, L. 1989. Markanvändning - vattenkvalitet. En studie i Laholmsbuktens tillrinningsområde. Länsstyrelsen i Hallands län Meddelande 1989:10.
- Grip, H. 1982. Water chemistry and runoff in forest streams at Kloten. UNGI rapport Nr. 58.
- Haveraaen, O. 1981. Virkning av hogst på vannmengde og vannkvalitet fra en østnorsk bar-skog. Meddelelse fra NISK 36.7. Ås.
- Henriksen, A., Beckmann, M. & Hessen, D. 1993. Nitrogen fra fjell til fjord. Årsrapport 1992. - NIVA Rapport 2901.
- Hewlett, J. D., H. E. Post & R. Ross 1984. Effect of Clear-Cut Silviculture on Dissolved Ion Transport and water Yield in the Piedmont. *Water Resources Research*, 20, no. 7:1030-1038.
- Hobbie, J. E. & G. E. Likens 1973. Output of phosphorus, dissolved organic carbon, and fine particulate carbon from Hubbard Brook watersheds. *Limnol. Oceanogr.* 18:734-742.
- Holmen, S. A. 1978. Tilførsler av organisk stoff, nitrogen og fosfor fra nedbør, skog, snaufjell og jordbruk. - NIVA Rapport A2-32.
- Holopainen, A., L. & Huttunen, P. 1992. Effects of forest clear-cutting and soil disturbance on the biology of small forest brooks. - *Hydrobiologia* 243/244: 457-464.
- Holtan & Åstebøl 1991. Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til fjorder og vassdrag, Revidert utgave - november 1991. - SFT Rapport TA - 774/1991.
- Holtan, G. & Holtan, H. 1993. Avrenning fra jordbruksområder i Maridalen 1989 - 1991. - NIVA-rapport 2839.
- Holtan, H., Kjellberg, G., Brettum, P. & Tjomsland, T. 1980. Gudbrandsdalslågen og Mjøsa. Resipientvurderinger i forbindelse med

- reguleringsinngrep i Jotunheimen. - NIVA Rapport 1200.
- Kaste, Ø., Beckmann, M. & Tørseth, K. 1993. Nitrogen fra fjell til fjord. Årsrapport 1993. - NIVA Rapport 3105.
- Kaste, Ø., Høyås, T.R., Berge, D., Fjeld, E., Johansen, S.W., Lindstrøm, E.-A., Nilsen, P. & Tørseth, K. 1994. Nitrogen fra fjell til fjord. Årsrapport 1994. - NIVA Rapport 3284
- Kvarnäs, H. 1989. Sammanställda resultat från PMK 5. Statens naturvårdsverk, Stensil.
- Larsson, S. & B. Gretner 1982. Effekten av skogsavverkning på erosjonsforløpet i sedimentslutninger i øvre Klaraelvdalen. Naturvårdsverket, Rapport SNV pm 1601. 67 s.
- Lee, R. & Samuel, D. E. 1976. Some thermal and biological effects of forest cutting in West Virginia. - *J. Environ. Quality* 5(4):362-366.
- Likens, G.E. & Bormann, F.H. 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. - *Bio-science* 24 (8) : 147-456.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Johnson, N.M., Fisher, D.W. & Pierce, R.S. 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. - *Ecological monographs* 40(1):24-47.
- Lowe, R.L., Golladay, S.W. & Webster, J.R. 1986. Periphyton response to nutrient manipulation in streams draining clearcut and forested watersheds. - *J. North Am. Benthol. Soc.* 5 (3): 221-229.
- Lundin, L. 1988. Impacts of drainage for forestry on runoff and water chemistry. - *Symp. On the hydr. Of wetlands in temperate and cold regions. Vol. 1.* Joensuu, Finland 6-8 juni 1988. *Publ. of the Academy of Finland*, 4: 1988.
- Lundin, L. & Bergquist, B. 1990. Effects on water chemistry after drainage of a bog for forestry. - *Hydrobiologia* 196: 167 - 181.
- Løfgren, S. 1991. Influence of atmospheric nitrogen deposition on nitrogen leakage to surface water in forest ecosystems. *Nordic Council of Ministers.* 52 s.
- Løfgren, S. & Olsson, H. 1990. Tillførsel av kväve och fosfor till vattendrag i Sveriges inland. - *Statens Naturvårdsverk Rapport* 3692.
- Martin, C. W., Noel, D. S. & Federer, C. A. 1981. The effect of forest clearcutting in New England on stream-water chemistry and biology. - *New Hampshire Univ., Durham. Northeastern Forest Experiment Station. Research Report* 34, 1988.
- Mussaari, J. 1977. Belastning från jordbruket och möjligheterna att minska den. - *Trettonde nordiska symposien om vattenforskning.* - *Nordforsk, stensil.*
- Ogner, G. 1981. Vannkvalitet etter gjødsling av skog. I. Korttidseffekt av gjødsling og et tilfelle av fiske død i Heggavassdraget, Hurdal. - *NISK Rapport* 4/81.
- Ogner, G. 1982. Vannkvalitet etter gjødsling av skog. II. Virkning av gjødsling på Heggavassdraget, Hurdal, i de første 15 månedene etter gjødsling. - *NISK Rapport* 9/82.
- Olofsson, H. 1989. Torvexploatering på Stormyran - effekter på vattenmiljøen. *Rapport Limnologiska institutionen, Uppsala Univ., LIU* 1989:B3.
- Omernik, J.M. 1976. The influence of land use on stream nutrient levels. EPA-600/3-76-104, U.S. Environmental Protection Agency.
- Omernik, J.M. 1977. Non-point source - Stream nutrient level relationships: A nationwide study. - EPA-600/3-77-105. U.S. Environmental Protection Agency.
- Pitkänen, H. 1986. Discharges of nutrients and organic matter to the Gulf of Bothnia by Finnish rivers in 1968-1983. - *Publications of the Water Research Institute, National Boards of Waters, Finland.* 68: 72-83.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fenn.* 19, 2:95-107.
- Rognerud, S., Berge, D. & Johannessen, M. 1979. Telemarkvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsen i perioden 1975-1979. - *NIVA Rapport* 1147.
- Rosén, K. 1982. Supply, loss and distribution of nutrients in three coniferous forest watersheds in central Sweden. - *Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära* Nr 41, Institutionen för skoglig marklära, SLU.
- Rösen, K. 1987. Utlaking i samband med kalavirkning - obearbetade tidsserier från tre små avrinningsområden i norra Hälsingland. *Rapport Institutionen för skoglig marklära, SLU.*

- Rosén, K., Wiklander, G., Nordlander, G. Bergholm, J. Johansson, M.-B., & Klemendtsson, L. 1989. Söderåsen - Nitrogen turnover in an acidified forested catchment. - Lägesrapport Statens naturvårdsverk.
- SFT, 1994. Övervakning av langtransportert förorenset luft og nedbør. Årsrapport 1993. - Statlig program for forurensningsovervakning, SFT, Rapport 583/94.
- Stednick, J.D. 1981. Precipitation and stream water chemistry in an undisturbed watershed in Southeast Alaska. - Res. Note-USDA-For. Serv. Pac. Northwest For. Range Exp. Stn.1981.
- Swank, W. T. 1988. Stream chemistry responses to disturbance. - In: Forest hydrology and ecology at Coweeta. Ecological studies, Volume 66. Springer - Verlag.
- Ulén, B. 1989. Sammanställda resultat från Däntersta försöksskog i Södermanland. Stensil.
- Uttormark P.D., Chapin, J.D. & Green, K.M. 1974. Estimating nutrient loading of lakes from non-point sources. - EPA -660/3-74-020. U.S. Environmental Protection Agency.
- Westling, O. & Hultberg, H. 1989. Liming and fertilization of forest soils - short term effects on runoff from small catchments. - Rapport ved IUFRO- Symposiet i Freiburg, Tyskland.
- Wiklander, G. 1983. Kväveutlakning från bördig skogsmark i södra Sverige. Skogs och Lantbr.akad. Tidskrift. 122: 311-317.

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3354-95.

ISBN 82-577-2884-5