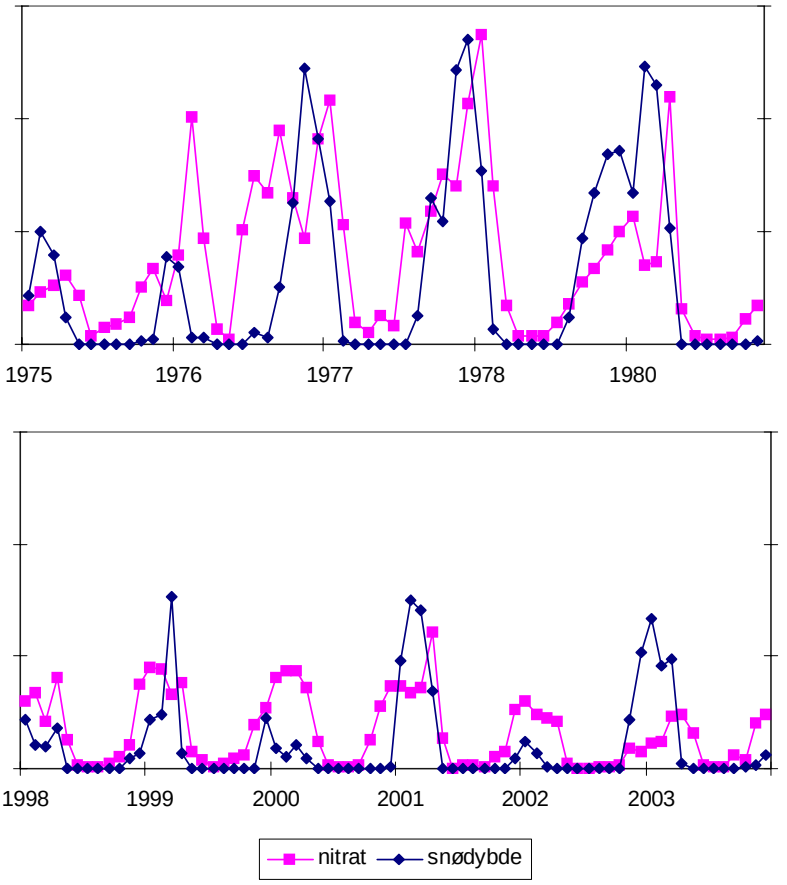
NIVA

RAPPORT LNR 5064-2005

NATURENS TÅLEGRENSER

Miljøverndepartementet
Fagrapport Nr.120

Betydningen av klima-variasjon for nitrogen i vassdrag og feltforsknings-områder.



Naturens Tålegrenser

Programmet Naturens Tålegrenser ble satt igang i 1989 i regi av Miljøverndepartementet. Programmet skal blant annet gi innspill til arbeidet med Nordisk Handlingsplan mot Luftforurensninger og til aktiviteter under Konvensjonen for Langtransporterte Grensoverskridende Luftforurensninger (Genevekonvensjonen). I arbeidet under Genevekonvensjonen er det vedtatt at kritiske belastningsgrenser skal legges til grunn ved utarbeidelse av nye avtaler om utslippsbegrensning av svovel, nitrogen og hydrokarboner.

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

Arbeidsgruppen har for tiden følgende sammensetning:

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

Henvendelse vedrørende programmet kan rettes til:

Direktoratet for naturforvaltning
7485 Trondheim
Tel: 73 58 05 00

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

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

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

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

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

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

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

Tittel	Løpenr. (for bestilling)	Dato
Betydningen av klimavariasjon for nitrogen i vassdrag og feltforskningsområder.	5064-2005	2005.10.18
	Prosjektnr. Undernr. O-24181/O-25259	Sider Pris 61
Forfatter(e) Atle Hindar, Heleen de Wit og *Lars Hole (NILU)*	Fagområde Klima	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e)	Oppdragsreferanse
Direktoratet for naturforvaltning (DN); Naturens tålegrenseprogrammet og NIVA	Kontrakt 03040684, 04040684, 05040035

Sammendrag

Dette er første gang det presenteres en omfattende analyse av nitrogendata fra det nasjonale overvåkingsprogrammet for langtransportert forurenset luft og nedbør. Vi presenterer dataforekomster for nitrogen i nedbør og avrenning med de trender, avvikende perioder og spesielle episoder vi har identifisert. Formålet har vært å knytte slike forhold til klimavariasjon og å finne fram til de klimatiske faktorer som er viktigst for nitrogendynamikken. Framstillingen er dels beskrivende ved at datamønstre for N-deposisjon, avrenning og nitrattransport er sammenliknet, dels analyserende ved at flere statistiske metoder er tatt i bruk for å finne fram til trender og signifikante sammenhenger. I og med at vi har hatt tilgang på lange dataserier (20-30 år) for både nedbør og avrenning, har det vært mulig å nærme seg viktige forklaringsvariable fra flere kanter.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Nitrogendynamikk	1. Nitrogen dynamics
2. Klimavariasjon	2. Climate variability
3. Nitrogentransport	3. Nitrogen fluxes
4. Små nedbørfelt og vassdrag	4. Small catchments and rivers

Atle Hindar
Prosjektleder

Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder

Øyvind Sørensen
Ansvarlig

ISBN 82-577-4768-8

Naturens tålegrenser

Fagrapport nr. 120

Betydningen av klimavariasjon for nitrogen i vassdrag og feltforskningsområder.

Forord

Som en del av NIVAs arbeid med å knytte lange tidsserier for vannkjemiske data til klimatiske variable ble det foreliggende prosjektet initiert. Kontrakt med Direktoratet for naturforvaltning for fase I av prosjektet ble underskrevet i desember 2003, i juni 2004 for fase II og i juli 2005 for den foreløpig siste fasen.

Mens et tidligere arbeid med samme utgangspunkt hadde fokus på klima, sjøsaltdeposisjon og forsuringsrelaterte effekter i fem vassdrag, har dette arbeidet fokus på klimavariabilitet og nitrogenutlekking. Langtids dataserier fra SFTs Statlig program for forurensningsovervåking er brukt i prosjektet.

Parallelt med dette DN-prosjektet er det gjennomført tre andre prosjekter; et strategisk instituttprogram (SIP; Virkninger av klimaendringer i ferskvannsforekomster og fjorder), CLUE-prosjektet ('Effect of climate change on flux of N and C: air-land-freshwater-marine links'; NFR-finanisert) og EUROLIMPACS (EU-kommisjonen) på overlappende tema. Disse prosjektene er forsøkt samkjørt ved at det er avholdt møter og lagt et parallelt løp for en del av analysearbeidet. Prosjektet er delfinansiert med midler fra NIVAs basisbevolgning.

Vi takker samarbeidspartnere på met.no (Ole Einar Tveito og Torill Skaugen Engen) og på NILU (Kjetil Tørseth, Yvan Orsolini). I denne rapporten har vi brukt data fra begge institutter. Vi har også benyttet oss av vannføringsdata fra NVE.

Kontaktperson i DN har vært Else Løbersli. Vi takker for godt samarbeid.

Grimstad, 18. oktober 2005

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag **6**

Summary **8**

1. Bakgrunn **10**

2. Materiale og metoder **12**
2.1 Målestasjoner for avrenningsvann 12
2.2 Våtdeposisjon 14
2.3 Vannkjemiske data 15
2.4 Hydrologi 15
2.5 Lokalklimatiske data 15
2.6 Atmosfæriske sirkulasjonsmønstre 16
2.7 Statistiske metoder 18

3. Resultater **18**
3.1 Nitrogendeposisjon 18
3.1.1 Trender 18
3.1.2 Episoder og avvikende perioder 20
3.2 Trender i nitratkonsentrasjoner i vann 24
3.2.1 Elver 24
3.2.2 Feltforskningsområder 26
3.3 Nitrattransport og avrenning i feltforskningsområdene 30
3.3.1 Trender i nitrattransport 30
3.3.2 Fordeling over året 31
3.3.3 Avvikende nitrattransport i vann 32
3.3.4 Retensjon av nitrogen 39
3.4 Kopling av nitratkonsentrasjoner og klimadata 41
3.4.1 Fire feltforskningsområder 41
3.4.2 Nærmere analyser for Storgama 42
3.5 Kopling mot regional klimavariasjon 46

4. Diskusjon **48**
4.1 Trender i konsentrasjon og transport 48
4.2 Betydningen av snø og temperatur 49
4.3 Avrenningens betydning 50
4.4 Effekten av regional klimavariasjon 51
4.5 Det kan bli mer gunstig for laksen 51
4.6 Nitrogentransporten til kysten endres 52
4.7 Oppsummering 52

5. Referanser **53**

Vedlegg A. Endringer (trender) av nitratkonsentrasjon i nedbør, nedbørmengde og våtdeposisjon basert på kvartalsverdier. **54**

Vedlegg B. Endringer (trender) av nitratkonsentrasjon i nedbør, nedbørmengde og våtdeposisjon basert på halvårsverdier. **55**

Sammendrag

Nitrat kan virke forsurende på samme måte som sulfat i vassdrag, og det er vist at bidraget fra nitrat varierer sterkt over året. Nitratkonsentrasjonen kan bli forholdsvis høy om våren, men nærme seg null om sommeren. Det har vært mye fokus på hvilke faktorer som påvirker nitrogenomsetningen. Vektleggingen i denne rapporten er betydningen av klimavariasjon.

Grunnen til at vi er i stand til å analysere sammenhengen mellom nitratavrenning og klimavariasjoner er de lange dataseriene (20-30 år) vi har fra feltforskningsområder og vassdrag som er samlet inn gjennom nasjonale overvåkingsprogram under Statlig program for forurensningsovervåking som er adminsitrert av Statens forureningstilsyn (SFT). Vi presenterer avrenningsdata (mengde og konsentrasjoner) fra sju feltforskningsområder og fem vassdrag med tilhørende stasjoner for måling av nedbør og konsentrasjoner i nedbør, samt klimadata fra nærliggende meteorologiske stasjoner. I tillegg er avrenningsdata koplet mot fire regionale klimamønstere over den euro-atlantiske sektor.

Det er første gang det presenteres en omfattende analyse av nitrogendata fra det nasjonale overvåkingsprogrammet. Vi presenterer data med de trender, avvikende perioder og spesielle episoder vi har funnet fram til. Framstillingen er dels beskrivende ved at datamønstre er sammenliknet, dels analyserende ved at flere statistiske metoder er tatt i bruk for å finne fram til signifikante sammenhenger. I og med at vi har hatt tilgang på vannkjemiske data for både deposisjon og avrenning, samt en rekke klimavariable har det vært mulig å nærme seg viktige forklaringsvariable fra flere kanter.

Resultatene viser at det er tegn til (spredte eksempler på) signifikant økning i nedbør og nedgang i nitratkonsentrasjoner i nedbør over hele måleperioden (1975-2004) basert på data aggregert til kvartal og halvår, men ingen klare tegn til endringer i **nitrogendeposisjon over tid**.

Akkumulerte **avvik fra middeldeposisjon** av nitrogen synliggjør avvikende perioder og spesielle episoder som kan være av stor betydning for variasjonen i nitratavrenning. Ved alle stasjoner, unntatt helt i nord, har N-deposisjonen ligget over middelet i perioden 1985-1991. I tillegg har det vært tre perioder i Sør-Norge hvor deposisjonen har vært betydelig høyere enn middelet, nemlig i 1979, 1987-88 og høsten 2000.

To av fem **overvåkingselver** viser signifikante endringer i **nitratkonsentrasjoner over tid**, nemlig Vikedal i Rogaland med en nedgang på 1,2 % årlig og Trodøla i Sogn og Fjordane med en økning på 1,7 % årlig.

Feltforskningsområdet Kårvatn viser en signifikant økning i **nitratkonsentrasjon over tid**, mens Storgama, Langtjern og Svartetjern viser en signifikant nedgang. Den reelle økningen på Kårvatn er imidlertid svært liten. Trendene kan variere alt ettersom hvilken periode som betraktes, og er sterkest fra 1994. De mest signifikante endringene fra 1994 skjer på sensommeren og om høsten for innlandsstasjonene Storgama og Langtjern, og om vinteren på Kårvatn. Tidstrenden i Birkenes er antageligvis påvirket av hogst, med påfølgende nitratavrenning, på 1980-tallet.

Signifikant økning i **nitrattransport over tid** er funnet for to felt, mens reduksjonen i to andre felt ikke er signifikant. De tre øvrige har for korte dataserier til at analysen er gjennomført.

Fordeling av nitrattransport over året grupperer feltforskningsområdene i to; høyereliggende innlandsfelt har en klar vårflom med stor N-transport, mens kystnære felt har en fordeling i N-fluks over hele vinteren. Det er imidlertid tendenser til at N-fluksen i avrenningen i den første gruppen blir mer lik den andre, trolig fordi vintrene blir mildere og snødekket blir mer ustabilt. Omlag 75 % av

nitratavrenningen i felt med en lang vinter skjer i april-mai/juni, mens i kystnære og lavereliggende felt skjer 30- 45 % av avrenningen i månedene januar til mars.

Beregningen av akkumulert nitrattransport og de **avvik fra middeltransport** som framkommer viser at felt preget av stabile vintre med jevnt snødekke har høy nitrattransport under snøsmeltinga, mens lavereliggende og kystnære felt med mildere vintre har en nitrattransport som er fordelt over hele vinteren. For den første gruppen er avrenningsmønsteret temmelig annerledes enn mønstre i nitrattransport, mens mønstrene er langt mer sammenfallende for den andre gruppen. Dette indikerer at det er faktorer av betydning for snødekke som styrer fordelingen av nitrattransporten; skarpe økninger i N-deposisjon i innlandet vinterstid blir ikke fulgt av skarpe økninger i nitrattransport. Økningen av nitrattransport vinterstid på Kårvatn er et resultat av både høyere konsentrasjoner og høyere avrenning.

N-retensjon i feltforskningsområdene er beregnet å være mellom 3 og 26 % av innkommende N med nedbør. N-deposisjonen er imidlertid underestimert fordi deposisjonsmålingene er foretatt i lavereliggende strøk sammenlignet med nedbørfeltenes beliggenhet. N-retensjonen i Øygardsbekken i Bjerkreim er likevel klart lavere enn i alle andre felt, og tyder på at feltet er preget av en viss grad av nitrogenmetning i jorda.

En rekke **klimavariable er brukt som forklaringsvariable** for å forklare variasjonen i nitratkonsentrasjon i avrenningsvannet. Årsmiddelverdier av nitratkonsentrasjoner for fire feltforskningsområder viste til dels dårlige og motstridene sammenhenger med graddagsum (growing degree days) og lengde vekstsesong i en enkel lineær regresjon. Opptil 17 % av variasjonen i årsmiddelverdien ble forklart. Det er imidlertid sannsynlig at faktorene som styrer årlige variasjoner i nitratavrenning er mer sammensatt enn en enkel lineær regresjon kan vise, at tidsoppløsningen er for grov eller at mer velegnete forklaringsvariable ikke ble brukt.

En analyse av nitratkonsentrasjoner fra Storgama basert på forholdene i ulike perioder forut for prøvetaking viste at snødybde forklarte opptil 37 % av variasjonen. Både **variable som er knyttet til langtidsvariasjon og sesongvariasjon** var signifikante. Temperatur og vannføring var godt korrelert med nitrat, mens nedbør stort sett bidro lite til forklaringen av variasjonen i nitratkonsentrasjon.

En multippel regresjonsanalyse av klimavariable, aggregert over ulike tidsintervaller, mot ukentlige nitratkonsentrasjoner fra Storgama forklarte 70 % av all variasjon. **Snødekke forklarte mest** og var positivt korrelert med nitrat. Variable (temperatur, snødekke og snødybde) som var integrert over tidsintervaller fra 1 til 3 år bidro med 21 % av forklaringen. Modellberegnet nitratkonsentrasjon viste en større nedgang over tid enn målt nitrat. I en videre analyse må også N-deposisjon inkluderes som forklaringsvariabel.

Regional klimavariasjon, uttrykt med klimaindeksene NAO, EU og EATL, forklarte mellom 2 og 19 % av variasjonen i månedlige middelkonsentrasjoner av nitrat i overvåkingselver og feltforskningsstasjoner. Indeksene var alltid negativt korrelert med nitratkonsentrasjoner, som vil si at høye konsentrasjoner av nitrat opptrer i kalde vintre. I en videre analyse bør sammenhengen med klimaindeksene for ulike tidsintervaller før prøvetaking undersøkes.

Vår konklusjon er at en endring av klima mot varmere og mildere vintre, uten permanent snødekke vil medføre lavre nitratkonsentrasjoner og en spredning av nitrogenavrenningen over året. En slik endring innebærer at nitrogenets relative andel av forsuringen avtar om våren. Vi tror de klimaendringer som er beskrevet og de effekter dette har i vassdrag dermed kan være **positivt for laksen** i og med at laksen smoltifiserer i mai/juni, den omstilles fysiologisk til livet i havet, og er da spesielt sensitiv for surt vann.

Vi konkluderer også med at **endret fordeling av nitrogentransport til kysten** vil ha økologiske konsekvenser som bør utredes nærmere.

Summary

Title: The significance of climate variability for nitrogen in rivers and streams
Year: 2005
Author: Atle Hindar, Heleen de Wit and Lars Hole
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4768-8

Nitrate contributes to acidification, but its contribution varies throughout the year, as concentrations tend to be high in spring and low during summer. Focus in this report is the significance of climate variability for nitrogen in rivers and streams.

Long-term data series (20-30 years) for precipitation, N-deposition and water chemistry from national monitoring programmes have been analysed and related to climatic data from nearby monitoring stations. Also, some of these data have been coupled to four leading climatic patterns over the Euro-Atlantic sector.

We present the data records with their inherent long-term trends, deviating periods and special episodes. The presentation is both descriptive and analytic, and different statistical methods have been used to reveal significant relations with explaining variables.

Signs (scattered examples) of significant increases in precipitation amounts and decreases in nitrate concentrations in precipitation over the whole monitoring period were found, but no clear signs of trends in N-deposition.

Plots of accumulated deviation from mean N-deposition reveal deviating periods and special episodes. All stations, except for those in north, showed N-deposition in excess of the mean from 1985 until 1991. Also, three deviating periods with high deposition were seen; in 1979, 1987-1988 and autumn of 2000.

Two of the five rivers showed significant trends in nitrate concentrations; a 1.2 % annual decrease in River Vikedalselva and a 1.7 % annual increase in River Trodøla.

Of the seven catchments, Kårvatn showed increasing nitrate concentrations over time, whereas Storgama, Langtjern and Svartetjern (from 1994) had significant decreases. The trends were especially pronounced from 1994, with most significant changes in late summer/autumn at Storgama and Langtjern and in winter at Kårvatn. The trend in Birkenes is probably influenced by clear-cutting in the 1980'ies.

Significant increased nitrate fluxes were found at two catchments, wheras a decrease in two others was not significant. The three catchments with short (from about 1994) records were not analysed.

The seasonal distribution of nitrate flux can be used to sort the catchments in two categories; one "inland" group with "typical" Norwegian spring-melt runoff and one "coastal" group with runoff more evenly distributed over the winter due to less snow accumulation. N-flux for the first group was about 75 % in spring, whereas 30-45 % of the flux was in January-March in the other. The "inland" group tended to be more like the "coastal" over time, however, as the snow accumulation decreased.

Catchments with stabile winters and permanent snow cover typically have spring N-flux patterns with relatively low N-flux the rest of the year, thus differing from the discharge pattern. In contrast, N-

fluxes of the coastal catchments resemble the discharge patterns, underlining the importance of snow-cover for N-flux.

N-retention in the catchments is estimated at 3-26 % of N-deposition, but the deposition for some catchments is obviously under-estimated, and the numbers are typically below 10 % after correction according to differences in runoff. Deposition is monitored at stations at low altitudes compared to the location of the catchments, and some of the numbers for nitrogen deposition are probably 2-3 times lower than in the catchment itself. For Øygardsbekken in SW, the N-retention is still about 20 % after correction, thus showing signs of N-saturation.

Several climatic variables and parameters have been used as explaining variables. Growing degree days and length of growing season explained up to 17 % of the variability in annual mean nitrate concentrations based on simple linear regression analyses. For Storgama, variables representing long-term and seasonal variation were significant, especially snow depth, explaining 37 % of the variability in nitrate concentrations. Temperature and discharge were also significant.

A model based on multippel regression analysis explained 70 % the variation in nitrate concentrations. Snowcover contributed most to this number and was positively correlated. Variables (temperature, snowdepth and snowcover) integrated over 1-3 years had significant contributions. N-deposition should be included in such analyses, however, as the model predicted lower nitrate concentrations than measured over time.

Winter indexes for the climatic patterns NAO, EU and EATL explained 2-19 % of the variation in monthly mean nitrate concentrations in rivers and streams. The relations were weaker as those previously found for sea-salt episodes, thus emphasizing the more complex pattern of the N-dynamics in the catchments. Negative correlations, e.g for NAO, indicate high nitrate concentrations in years with cold winters.

The climatic changes that were found and their effects on nitrogen may be important for biota. As the nitrate concentrations decreases over time with decreasing snowdepth and snowcover, and the N-flux over time tend to be more evenly distributed throughout the winter in high-elevation, inland catchments, less pronounced contribution to acidification by nitrate in spring is the result. The smoltification period for Atlantic salmon typically coincides with spring runoff, and smolts are extremely sensitive to acidified water. Atlantic salmon stocks may thus be less affected by nitrate-induced acidification in some rivers.

Also, a change in the distribution of N-transport to the coast from a typical spring situation to being more evenly distributed throughout the winter may have ecological consequences, which should be further assessed.

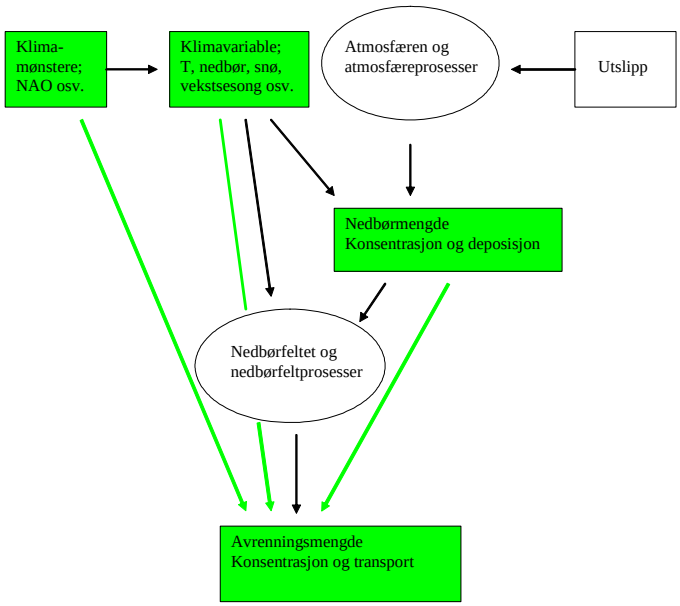
1. Bakgrunn

Det er tidligere vist at sjøsaltepisoder i vassdrag henger nøye sammen med regionale klimamønstre, og at perioder med redusert pH og økt konsentrasjon av labilt aluminium i vassdrag på Vestlandet og i Trøndelag er direkte korrelert med den Nord-Atlantiske svingning (NAO; Hindar m.fl. 2004). Koplingen mellom klimavariasjoner, sjøsaltepisoder og forsuring gjør det mulig å lage bedre scenarier for framtidig vannkvalitetsutvikling.

Sjøsaltepisoder og medfølgende vannkjemiendringer i vassdrag er i sin natur direkte koplet til storm og uvær langs kysten. Det er fordi samspillet mellom slike værfenomener og vannkjemi/jordkjemi gir et temmelig umiddelbart resultat i vassdrag. Klorid fra sjøsaltnedfallet under stormer og orkanbyger passerer jordsmonnet nærmest upåvirket, mens adsorpsjon av natrium i jorda umiddelbart kompenseres ved at andre positivt ladde stoffer følger kloridet til bekker og elver.

Nitrogen (N) inngår i biokjemiske prosesser og er påvirket av opptak i planter og nedbrytingsprosesser i jorda og dermed den vegetasjon og mikrobiolgi som måtte finnes i området. Vegetasjon og mikrobiologiske prosesser påvirkes i sin tur direkte av temperaturforhold og nedbør og av avledede variable som snødekke, frost-tine-sykluser, tørke og vekstsesong. Lokalklimatiske forhold vil derfor være viktige for N-dynamikken og dermed for de konsentrasjoner og transporterte mengder som kan måles og beregnes. Det kan også være en del tidsforsinkelse mellom klimatisk variasjon og resultatet av de prosesser som påvirkes av denne variasjonen.

Samspillet mellom klimavariasjon på stor-regional skala, klimatiske forhold på stedet og konsentrasjoner av nitrogen i avrenningsvannet er forsøkt illustrert i **Figur 1**. Resultatet i avrenningsvannet er også påvirket av samspillet mellom N-utslipp, atmosfæriske prosesser og konsentrasjon i nedbør og deposisjon.



Figur 1. Diagram som viser grupper av variable (firkanter) og områder for prosesser (sirkler) med den direkte koplingen mellom dem representert ved svarte piler. Grønne bokser og grønne piler representerer de datatyper og koplinger som er gjort i denne rapporten.

Nedfallet fra atmosfæren er i form av både nitrat (NO_3) og ammonium (NH_4), mens jordprosessene gir som resultat at NH_4 omdannes til NO_3, slik at det er lite NH_4 til stede i overflatevann. Det har medført at NH_4 i liten grad måles i det nasjonale programmet for forsuringsovervåking. Frigjøring av nitrogen ved nedbryting følges av opptak i jord og vegetasjon, og dette fører til at det normalt også er lite NO_3 som lekker ut i vann og vassdrag.

Med økte nitrogenutslipp fra biler, båter og andre forurensningskilder er det en rekke steder i Europa blitt registrert betydelig lekkasje av NO_3 til overflatevann. Lekkasjen skjer ved at opptaket ikke lenger holder tritt med tilførselen fra nedbøren, et forhold som er omtalt som nitrogenmetning. Det er gjerne områder med lavt C/N-forhold i jorda som viser høy lekkasje.

Nitrat virker forsurende, og det er vist at bidraget varierer sterkt gjennom året. Det er fordi nitratopptaket er høyt om sommeren, men lite i kaldere og mørkere årstider. I tillegg kan det være en økt nitrattransport om våren i forbindelse med snøsmelting. Nitratkonsentrasjonen i vassdrag kan dermed bli forholdsvis høy om våren, men kan nærme seg null om sommeren.

Fordi nitratlekkasjen virker forsurende på samme måte som sulfat i vassdrag, er det naturlig nok blitt mye fokus på hvilke faktorer som påvirker nitrogenomsetningen. Det er lett å peke på faktorene rent kvalitativt, langt vanskeligere å skille ut hvilke faktorer eller kombinasjoner av faktorer som virkelig bidrar til variasjonen i nitratkonsentrasjon og nitrattransport. Fokus i denne rapporten er påvirkningen av klimavariasjon.

Grunnen til at vi er i stand til å analysere slike forhold er de lange dataseriene (20-30 år) vi har fra enkelte feltforskningsområder og vassdrag som er samlet inn gjennom nasjonale overvåkingsprogram under Statlig program for forurensningsovervåking som er adminsitrert av Statens forureningstilsyn (SFT). Dataseriene er dessverre preget av store endringer i de nasjonale overvåkingsprogrammene over tid. Blant annet ble vannkjemisk overvåking i alle de fem vassdragene avsluttet i 2002.

For å sette opp optimale datasett for analyse av årsakssammenhenger er det viktig med en god forståelse av de forhold som skal undersøkes, og det er viktig med hypotesedannelse slik at sammenhenger kan bekreftes eller avkreftes. Vi har antatt at nitrogendynamikken påvirkes av klimavariasjon i og med at nitrogen inngår i biokjemiske prosesser. En hovedhypotese er derfor at både nitratkonsentrasjon i avrenningsvann og nitrattransporten har en signifikant sammenheng med en eller flere klimavariable. De mest aktuelle klimavariable er temperatur og nedbørmengde. Men av disse kan vi avlede og også måle flere variable; perioder med snødekke, snødybde, tørkeperioder, vekstsesong, start vekstsesong og avrenning.

Men sammenhengene kan være innfløkte. For eksempel er det ikke sikkert at økt vintertemperatur kan brukes som et uttrykk for økt temperatur i jorda og dermed økt mikrobiologisk aktivitet og nebryting av nitrogenholdig organisk stoff. Paradoksalt nok kan høyere vintertemperatur føre til kaldere jordsmonn pga. redusert snødekke.

Uten snø og med temperaturer som fluktuerer omkring 0^oC om vinteren vil den øverste delen av jorda gjennomgå hyppig frysing og tining, noe som kan medføre oppsmuldring av planterøtter og organisk materiale og gi rikelig med substrat for mineralisering (Groffman et al. 2001). I neste omgang kan dette føre til økt nitrifikasjon, redusert planteopptak og økt nitrogenavrenning (Ryan *et al.* 2000; Mitchell *et al.* 1996; Murdoch *et al.* 1998). Et permanent snødekke kan gi andre forutsetninger for slike forhold. Relevante data for temperatur og nedbørmengde/-type er derfor viktig. Siden det er betydelige topografiske gradienter, må bruk av data fra nærliggende, men lavereliggende værstasjoner skje med forsiktighet.

Tørke med påfølgende fukting av jorda vil kunne føre til økt mineralisering, nitrifikasjon og nitrogen-utlekking (Miegroet et al. 2001). Tørke er derfor en viktig avledet variabel som må defineres, og i våre analyser har vi brukt etablerte tørkeindekser.

Vi har også som hypotese at endringer i nitratkonsentrasjon og N-transport over tid er påvirket av endringer i nitratkonsentrasjon i nedbør og N-deposisjon. Selv om nitrogenlageret i jorda er stort og nitrogen deltar i mange jordprosesser, er det vist at nitrogenkonsentrasjonen i avrenningsvannet svarer direkte på endringer i deposisjon (Wright et al. 1988). I denne rapporten har vi sett på trender for nitrogen i nedbør og identifisert avvikende perioder i N-deposisjonen.

Det er første gang det presenteres en omfattende analyse av nitrogendata fra det nasjonale overvåkingsprogrammet, og denne rapporten er resultatet av en prosess der flere har vært og vil være involvert i tiden framover. Mulighetene for datasammenstillinger er mange, nesten ubegrenset. Vi har valgt å ha fokus på å presentere data med de trender, avvikende perioder og spesielle episoder vi kan finne fram til, samt å gjennomføre analyser for å finne fram til hvilke klimavariable som påvirker variasjonen. Framstillingen er dels beskrivende ved at datamønstre for N-deposisjon, avrenning og N-transport i avrenningsvannet er sammenliknet, dels analyserende ved at flere statistiske metoder er tatt i bruk for å finne fram til signifikante sammenhenger. I og med at vi har hatt tilgang på langtidsdata for både deposisjon og avrenning, samt en rekke klimavariable har det vært mulig å nærme seg viktige forklaringsvariable fra flere kanter.

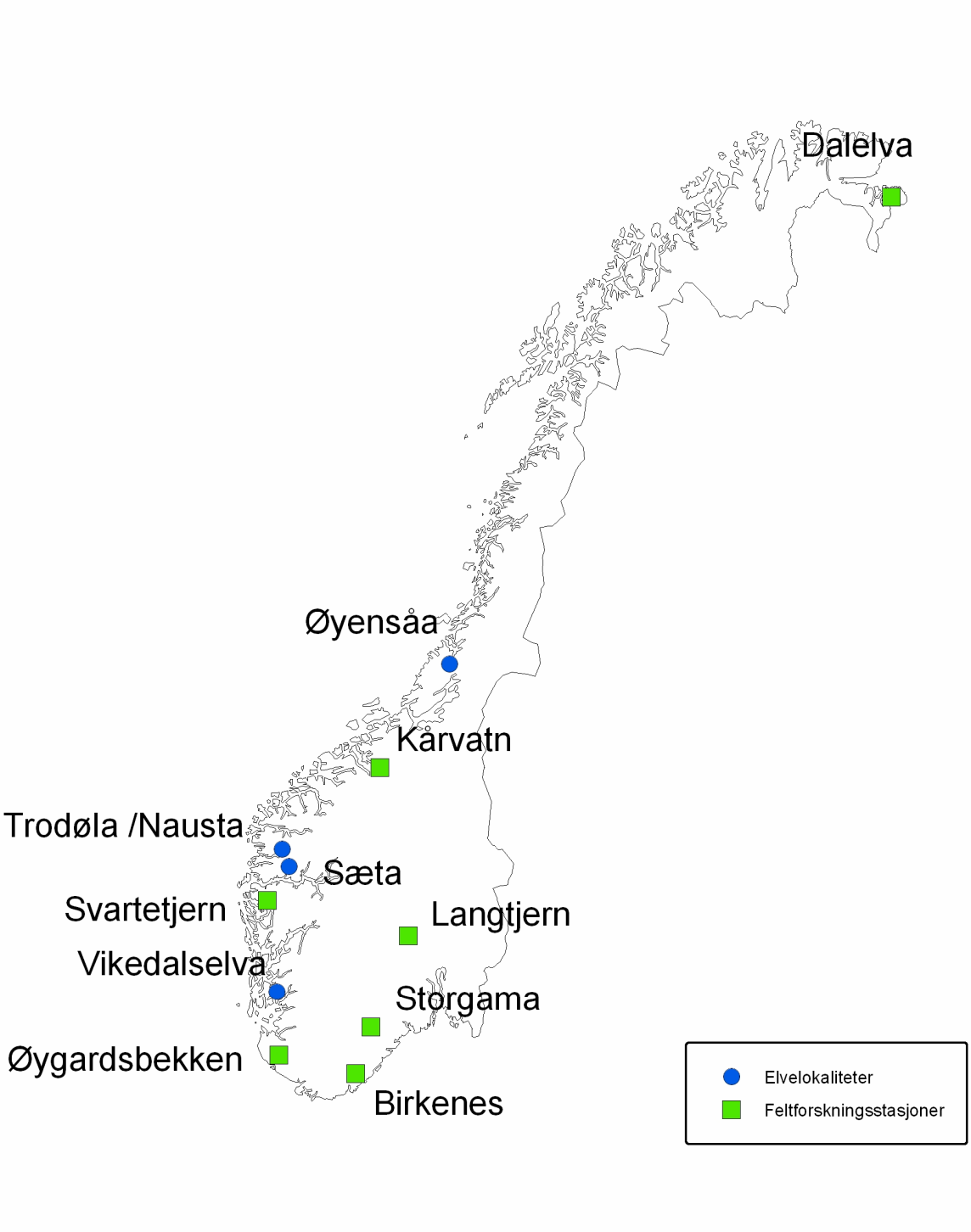
Diagrammet i **Figur 1** viser relevante grupper av variable og koplingen mellom dem. Som man ser har vi i denne rapporten brukt deposisjonsdata direkte uten å trekke inn utslipp og atmosfæreprosesser. Vi har heller ikke koplet inn prosesser i nedbørfeltet. Vi har knyttet klimamønstere direkte til variable i avrenningsvannet uten å gå veien om klimavariable. Vi har knyttet klimavariable direkte til variable i avrenningsvannet uten å ta med deposisjon i analysene.

2. Materiale og metoder

2.1 Målestasjoner for avrenningsvann

I dette arbeidet har vi brukt data fra sju feltforskningsområder og fem vassdrag som er samlet inn som en del av SNSF-prosjektet (til og med 1979) og deretter som en del av "Overvåkingsprogram for langtransportert forurenset luft og nedbør" under Statlig program for forurensningsovervåking (**Figur 2**). Feltforskningsområdene har dataserier fra 1970-tallet og fram til idag, mens elvene ble tatt ut av programmet i 2002.

Feltforskningsområdene ligger spredt i hele Norge og dekker en rekke geografiske og klimatiske gradienter, mens alle de fem vassdragene er kystnære og befinner seg på strekningen Haugesund i Rogaland til Namdalseid i Nord-Trøndelag (**Tabell 1**).



Figur 2. Oversikt over de sju feltforskningsstasjonene og de fem elvene som omtales i denne rapporten. Trodøla er sidefelt i Nausta, mens Sæta er sidefelt i Gaularvassdraget.

Tabell 1. Data for elver (øverst) og feltforskningsområder (nederst).

Navn	Areal, km^2	Fylke	UTM-ØV	UTM-NS	Kartblad	Laveste/høyeste punkt (moh)	Årsnedbør mm
Vikedalselva	117	Rogaland	3291	66030	1214 2	60 - 1118	1800
Nausta	190	Sogn og Fjordane	3314	68312	1218 3	60 - 1385	2184
Trodøla i Nausta	10	Sogn og Fjordane	3376	68312	1218 2	260 - 1064	2184
Sæta i Gaula	180	Sogn og Fjordane	3483	68033	1217 1	177 - 1427	2140
Øyensåa	253	Nord-Trøndelag	6055	71271	1623 1	10-622	1210

Navn	Areal, km^2	Fylke	UTM-ØV	UTM-NS	Kartblad	Laveste/høyeste punkt (moh)	Årsnedbør mm
Langtjern	4,8	Buskerud	5401	66931	1715 1	510-750	685
Storgama	0,6	Telemark	4803	65462	1613 3	580-690	960
Birkenes	0,41	Aust-Agder	4561	64716	1216 4	200-300	1400
Øygardsbekken	2,55	Rogaland	3320	65016	1212 2	185-544	2140
Svartetjern	0,57	Hordaland	6399	67470	1216 4	302-754	3900
Kårvatn	25	Møre og Romsdal	4942	69610	1420 1	200-1375	1450
Dalelva	3,2	Finnmark	3987	77328	2434 2	20-241	350

2.2 Våtdeposisjon

I dette arbeidet har vi brukt data for våt (bulk) deposisjon av nitrogen til å kvantifisere belastningen og til å analysere langtidstrender. Data er gitt som volumveide middelkonsentrasjoner i mg N/L og som deposisjon i mg N/m^2. Total deposisjon for en måleperiode (måned) beregnes som produktet av total nedbørsmengde (mm eller L/m^2) og midlere konsentrasjon (mg N/L).

Nedbørsmengder målt på NILUs stasjoner er brukt til å beregne våtdeposisjon, altså nitrat tilført med nedbør i form av snø eller regn. Representative målinger av nedbør er vanskelig å få til på grunn av store lokale variasjoner. Man regner generelt med at nedbør øker med høyden over havet, men andre topografiske effekter kompliserer bildet. På Vestlandet er det for eksempel kjent at de største nedbørsmengdene forekommer i midtre strøk, og det kan være opp til 100 % forskjell i årsnedbør innenfor noen tiltalls kilometer. Ved beregning av total deposisjon i Norge er det derfor benyttet nedbørsmengder fra opp til 700 klimastasjoner for å få et best mulig bilde av den geografiske fordelingen (Hole og Tørseth 2002). Konsentrasjonene av nitrogen i nedbør varierer derimot lite og et nettverk på rundt 30 stasjoner er regnet å være tilstrekkelig. I denne rapporten ligger nedbørstasjonene lavt i forhold til feltene som er undersøkt og det er derfor grunn til å tro at deposisjonen er underestimert, se seinere avsnitt.

Et annet usikkerhetsmoment er tørrdeposisjon, altså avsetning av gasser og partikler direkte fra luft til mark og vegetasjon. Innholdet i tørrdeposisjonen kan vaskes ut ved nedbør. For total nitrogen varierer den fra omlag 10 % i nedbørrike områder (Sørvest-Norge) til nærmere 80 % i tørre områder som Finnmark (Hole og Tørseth 2002). I tillegg til å avhenge sterkt av vegetasjonstype, vil tørravsetningen være klimaavhengig. Avsetningshastigheten styres av meteorologiske parametere som luftfuktighet, lufttemperatur, overflatefuktighet og innstråling. Dette er parametere som forventes å endres i kommende tiår. Tørravsetningen er vanskelig og kostbar å måle direkte og dette gjøres i liten grad i

Norge. Pågående prosjekter søker å øke forståelsen av sammenhengen mellom klima og tørr- og våtavsetning av nitrogen i Norge og å undersøke mulige effekter av forskjellige klimascenarier. Det kan også nevnes at redusert svoveldeposisjon forandrer de kjemiske forholdene på overflater, noe som også vil påvirke avsetningshastigheten for nitrogen.

2.3 Vannkjemiske data

Data for nitrogenfraksjoner (nitrat og totalnitrogen) finnes for en lengere tidsperiode enn f.eks. aluminiumsfraksjoner og TOC, som dannet grunnlag for arbeidet til Hindar m.fl. (2004). For elvene er det data for nitrat fra 1980-84 og fram til 2002, mens det for fire av feltforskningsområdene er data helt tilbake til 1972-78 og fram til idag. Det vil si at det er et enda bedre grunnlag i nitrogenmaterialet for koplingen mot klimatiske variable. Det er imidlertid gjort lite analyser av nitrogen tidligere, denne rapporten inneholder den første omfattende analysen.

I denne fasen av arbeidet med nitrogen fra lange dataserier i vassdrag og feltforskningsområder har vi gjennomført en første totalgjennomgang av dataene for å lete etter endringer over tid, avvikende perioder og spesielle episoder. Både konsentrasjoner og transportberegninger er med i analysene.

For NO_3-N var det endring i deteksjonsgrensen fra 10 til 1 µg/L fra og med den 12. februar 1984. I vannkjemidatabasen er det lagt inn 10 µg/L også hvis analyseresultatet ble oppgitt til <10 µg/L. Verdier over 10 er oppgitt som 20, 30, 40 osv., slik at også nyansene er langt svakere i resultater fra før 1984. Dette påvirker en del beregninger, spesielt når det generelle nivået for NO_3 er lavt.

Ikke alle analyser er gjort for alle dataserier. Det henger sammen med datasettenes ulike lengde og med tilgang på klimatiske dataserier fra de ulike områdene.

2.4 Hydrologi

Til hvert vannkjemiske datasett fra feltforskningsstasjonene finnes også døgnmiddelvannføring fra en målestasjon i samme bekk. Disse dataene er brukt til å beregne transporter og til å karakterisere avrenningsforholdene i forbindelse med spesielle episoder eller trender. Vannføringsdataene er utelukkende hentet fra NVE, men flere av stasjonene ble i sin tid opprettet av NIVA.

2.5 Lokalklimatiske data

De vannkjemiske data er koplet mot lokalklimatiske data og avledede parametre, samt til hydrologiske data. I samarbeide med met.no har vi valgt ut variable og parametre som vi oppfatter som de mest interessante ut fra en gjennomgang av hypoteser og resultater presentert i internasjonal litteratur. Variablene inkluderer temperatur, nedbør, snødybde og snødekke, lengde vekstsesong, graddagsum, antall dager med smelteepisoder per år, antall snøfrie dager per år og en tørkeindeks (Palmer Drought Severity Index; Alley 1984).

Lengde vekstsesong er perioden med sammenhengende døgnmiddeltemperatur over 5 ºC, mens graddagsum er akkumulert gradsum for temperaturer over 5 ºC i vekstsesongen. Palmerindeksen er basert på nedbør- og temperaturdata og er et uttrykk for avvik i jordas vannbalanse.

I **Tabell 2** har vi listet opp de stasjonsnumre som hører til feltforskningsområder og elver.

Tabell 2. Oversikt over hvilke meteorologiske stasjoner som er koplet til elver og feltforskningsområder. Vi gjør oppmerksom på at ikke alle stasjoner er brukt i denne rapporten.

Lokalitet	Feltfo/Elv	Met-stasjon	Navn	P/T-stasjon*
Langtjern	F	24770	GULSVIK IV	T
Storgama	F	37230	TVEITSUND	P
Birkenes	F	38450	HEREFOSS	T
"		39690	BYGLANDSFJORD - SOLBAKKEN	P
Øygard	F	43450	HELLELAND	T
"		43500	UALAND - BJULAND	P
Vikedal	E	46850	HUNDSEID I VIKEDAL	T
"		46910	NEDRE VATS	P
Svartetjern	F	52300/52290	MODALEN II/I	P
"		52700	MASFJORDEN	T
Sæta (Gaular)	E	56960	HAUKEDAL	T
Nausta	E	57990	GJENGEDAL	T
Trodøla	E	57990	GJENGEDAL	T
Kårvatn	F	63420	SUNNDALSØRA III	P
"		63580	ÅNGÅRDSVATNET	T
Øyensåna	E	72100	NAMDALSEID	P
Dalelva	F	99370	KIRKENES LUFTHAVN	P
"		99690	LANABUKT	T

*T=temperatur observert; P=nedbørstasjon (T interpolert)

2.6 Atmosfæriske sirkulasjonsmønstre

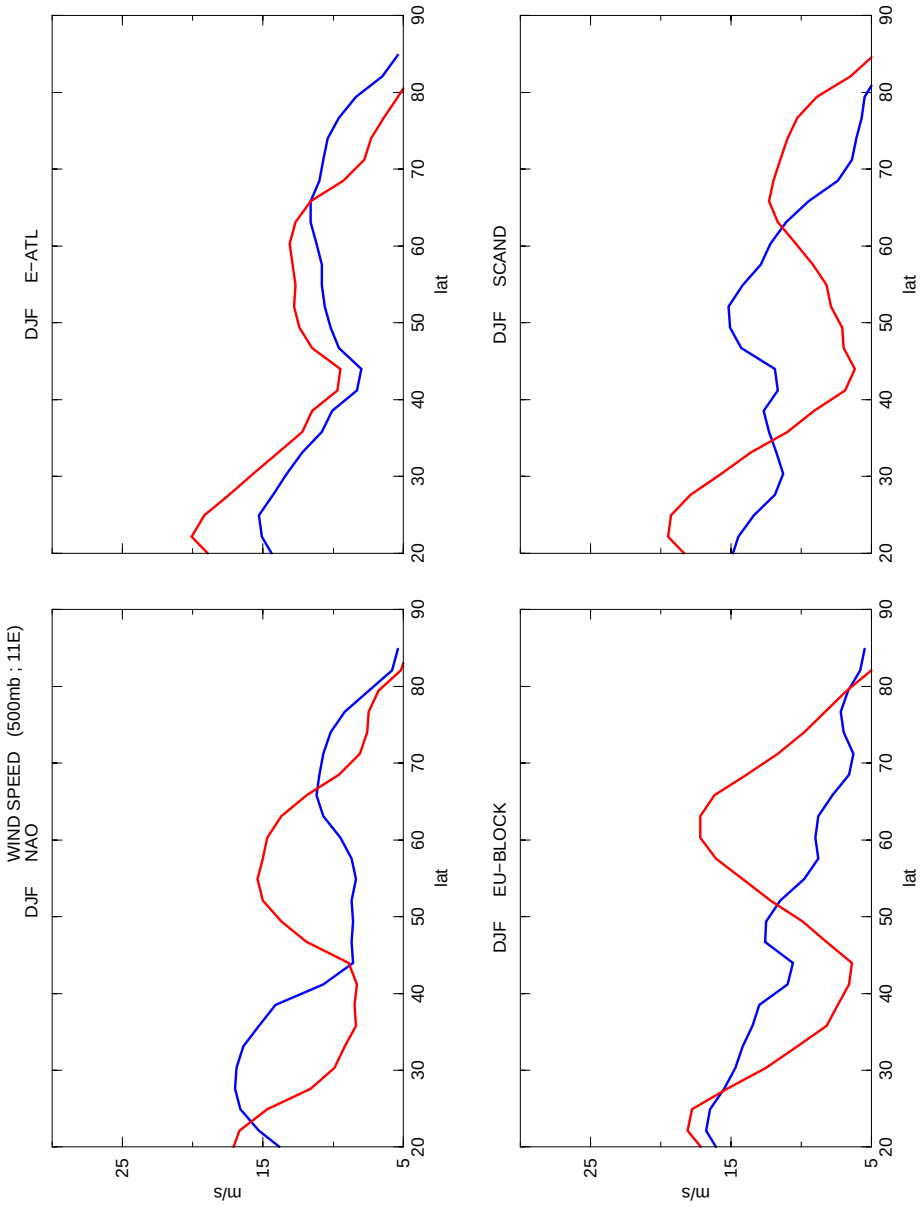
En del av datamaterialet er koplet sammen med ulike atmosfæriske (troposfæriske) sirkulasjonsmønstre, slik de blant annet framkommer i et arbeid av Orsolini og Doblas-Reyes (2003). De brukte en såkalt "Empirical Orthogonal Function (EOF)" analyse. For den Euro-Atlantiske sektor (20˚N-90˚N og 90˚V-60˚Ø) er disse hovedmønstrene (EOFs) identifisert som (i avtakende betydning): North Atlantic Oscillation (NAO), East-Atlantic pattern (EATL), European blocking (EU) og Scandinavian pattern (SCAND). Rangeringen gjelder vinterstid (desember, januar, februar), mens rangeringen er NAO, EATL, SCAND og EU for vårperioden (februar, mars, april), se **Tabell 3**. Det vil si at NAO har størst betydning både vinter og vår og forklarer alene 25-27 % av variasjonen i geopotensial. Geopotensial er den potensielle energi på grunn av tyngdekraften som en mengde luft har.

Tabell 3. Hovedsirkulasjonsmønstre påvist ved EOF-analyse rangert etter deres bidrag til forklaring av variasjon i geopotensial.

Vinter-indekser:	NAO	EATL	EU	SCAND
Bidrag til forklaring	26,90	19,53	13,87	9,00
Vår-indekser	NAO	E-ATL	SCAND	EU-BLOCK
Bidrag til forklaring	24,79	17,86	11,40	10,31

For å vise litt tydeligere hvordan disse trykkmønstrene påvirker været i vårt land vinterstid (desember-februar) viser vi vindhastighet i nord-sørretningen (meridianprofiler) i de fire viktigste

klimamønstrenes positive og negative faser (**Figur 3**). Figuren viser at NAO i sin positive fase gir høy vindhastighet i Sør-Norge, mens negativ fase forårsaker høye vindstyrker i Middelhavsområdet. EATL har høyest vindhastighet i sin positive fase i sør, mens den negative fasen gir høyest vindhastighet fra Midt-Norge og nordover. Forskjellen i vindstyrke er imidlertid ikke så stor mellom positiv og negativ fase. EU setter opp et vindmønster som likner NAO, men de høyeste vindhastighetene i den positive fasen kommer lenger nord. SCAND er ikke forbundet med tilsvarende værforhold, idet vindhastighetene er forholdsvis lave.



Figur 3. Meridianprofiler av horisontal vindhastighet vinterstid (desember-februar) for de fire viktigste klimamønstrenes positive (rød) og negative (blå) faser. Lengdegraden er 11°E, dvs. en nord-sør linje rett øst for linjen mellom Trondheim og Oslo. Breddegradene i figurene er fra 20°N til 90°N. Dette vil si at figuren viser vindhastigheter langs denne linjen fra Sahara (20°N) til Nordpolen og med Norge i området 58°N til nesten 72°N. Disse vindhastighetene gjelder ved 500 mb trykk, dvs. halvveis oppe i atmosfæren.

Hindar et al. (2004) brukte kun NAOI (NAO-indeksen), og tilordnet ukes- og månedsverdier til hvert enkelt prøvetakingstidspunkt i elvene basert på døgnverdier for NAOI. I dette arbeidet har vi kun hatt tilgang på kalendermånedsverdier fra ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) for de tre andre indeksene. Data er hentet fra ERA-40 (datareanalyser for de siste 40 år). Vi har derfor valgt å bruke det som utgangspunkt for dette arbeidet.

2.7 Statistiske metoder

I tillegg til enkle og multiple lineære regresjoner, har vi brukt Mann-Kendall testen, som er spesielt laget for å oppdage trender i tidsserier, og som er mye brukt i analysen av trender i miljøvariabler. Det er en robust og enkel metode som også tåler manglende verdier. Den er ikke-parametrisk, og det vil si at den kun sammenlikner verdier fra forskjellige datoer for å fastslå om de er større, mindre eller like. Metoden trenger ingen antagelser om hvordan verdiene fordeler seg statistisk sett, for eksempel om de følger en normal fordeling (Hirsch et al., 1992; Hirsch og Slack, 1984).

Mann-Kendall testen detekterer kun monotone trender, dvs. trender som beveger seg i en retning. Når vi tester trender over flere tiår, kan det være perioder med klar økning og reduksjon i forhold til middelet uten at dette framkommer.

Mann-Kendall testen kan brukes til å oppdage sesongsavhengigheten i tidstrenden, i en såkalt 'seasonal Mann-Kendall test'. Dette er gjort for nitratobservasjonene i deposisjon og i avrenningsvann fra feltforskningsstasjonene. Sesong ble definert som kvartal og halvår (deposisjon) og måned (avrenning). Årlig endring av disse verdiene over hele perioden ble beregnet med en 'Sen slope estimator' (Sen, 1968), som tar medianverdien av endringene som er beregnet basert på sammenligning av de enkelte verdiene.

Vi har koplet månedsmiddelverdier for nitrat i avrenning til klimaindeksene for de fire nevnte trykkmønstre og analysert sammenhengene med multippel regresjon for å se hvilket mønster eller hvilke kombinasjoner av mønstere som gir best forklaringsgrad.

3. Resultater

3.1 Nitrogendeposisjon

3.1.1 Trender

Volumveid månedsmiddelkonsentrasjon (mg/L) og midlere månedsdeposisjon (mg/m^2) av nitrat er beregnet for alle feltforskningsområdene (**Tabell 4**). Midlere nitratkonsentrasjon er størst i Birkenesfeltet med 0,55 mg/L og lavest på Kårvatn med 0,08 mg/L. Deposisjonen er imidlertid størst ved Svartetjern med 83 mg/m^2 per måned, mens Kårvatn også her ligger lavest med 7,72 mg/m^2 per måned.

For å finne trender ved hjelp av Mann-Kendall tester har vi aggregert data til kvartal- og halvårsverdier. Analysedata er gitt i Vedlegg A og B. Aggregering av data reduserer den støyen som månedlig variasjon kan gi, men likevel er det funnet få trender som er signifikante (**Tabell 5**). For nedbør er det hovedsakelig funnet økte mengder, men de signifikante trendene er spredt, og det er få tegn til sammenfall mellom beregninger basert på kvartal og halvår. For nitratkonsentrasjon er det hovedsakelig reduksjon, og for Birkenes, Langtjern og Storgama er det delvis sammenfall mellom de to beregningsgrunnlagene. For deposisjon er det kun spredte signifikante trender.

Mann-Kendall testen viser tegn til (spredte eksempler på) signifikant økning i nedbør og nedgang i nitratkonsentrasjoner i nedbør sett over hele måleperioden basert på data aggregert til kvartal og halvår, men ***ingen klare tegn til endringer i nitrogendeposisjon.***

Tabell 4. Månedsmiddelverdier for nitrat i nedbør, nedbørmengde og våtdeposisjon i feltforskningsområdene.

Stasjon	Parameter	Middel av månedsverdier
Birkenes (1973-2003)	Nitrat (mg/L)	0,55
	Nedbør (mm)	124
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	57,2
Kårvatn (1978-2003)	Nitrat (mg/L)	0,08
	Nedbør (mm)	118,2
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	7,72
"Langtjern" (Gulsvik 1973-1997 Brekkebygda 1997-2003)	Nitrat (mg/L)	0,47
	Nedbør (mm)	64,7
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	23,6
"Storgama" (Treungen 1974-2003)	Nitrat (mg/L)	0,45
	Nedbør (mm)	83,8
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	34,19
"Dalelva" (Dalelva 1988-1989, Karpdalen 1990-1998 Karpbukt 1998-2003)	Nitrat (mg/L)	0,36
	Nedbør (mm)	30,9
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	10,8
"Svartetjern" (Haukeland 1974-2003)	Nitrat (mg/L)	0,33
	Nedbør (mm)	237
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	83
"Øygardsbekken" (Skreådalen 1973-2003)	Nitrat (mg/L)	0,3
	Nedbør (mm)	186
	Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)	46

Tabell 5. Oppsummering av sesonger med signifikante trender for nedbør, NO_3-konsentrasjon og våtdeposisjon, se **Tabell 4** for tidsperioder. Beregningene er gjort med seasonal Mann-Kendall test for kvartal (1-4) og halvår (der sommer er april-september og vinter er oktober-mars), se tabeller i vedlegg bak i rapporten. Perioder med signifikansnivå tilsvarende $p<0,05$, men også med $p<0,1$ (gitt i parentes) er vist. Økende trend er vist med plusstegn, mens avtakende trend er vist med minustegn.

	Nedbør	**Konsentrasjon**	**Deposisjon**
Birkenes	sommer(+)	vinter(-), 1(-)	vinter(-)
Kårvatn	(sommer+), 1(+), 2(+)	sommer(-), vinter(+), (1-)	sommer(-), vinter(+)
Langtjern	vinter(+)	vinter(-), 1(-), 3(-)	3(-)
Storgama	2(+)	vinter(-), 1(-), (3-)	(2+)
Svartetjern		3(+)	
Dalelva	sommer(+), 1(+), 3(+)	vinter(+)	(vinter+), 1(+)
Øygardsbekken	(1+), (2+), 3(-), (4-)		1(+), (4-)

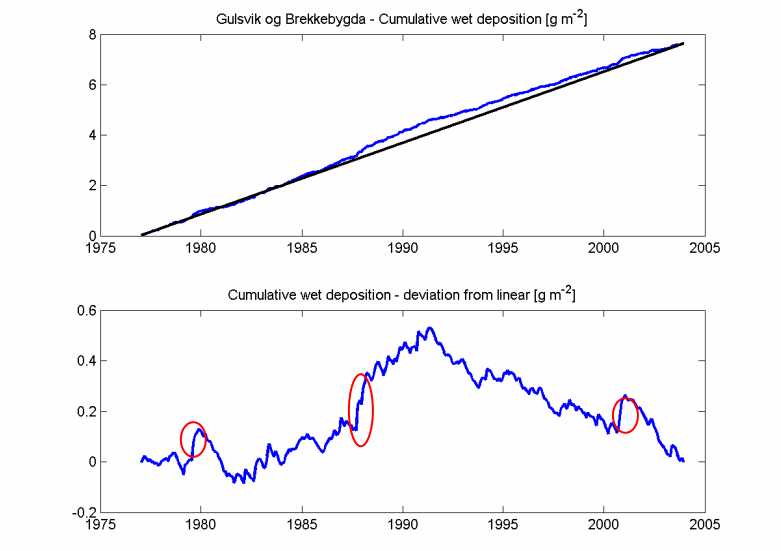
3.1.2 Episoder og avvikende perioder

Ved å beregne akkumulert deposisjon over hele observasjonsperioden kan vi få innblikk i avvikende perioder og spesielle episoder. Grafisk framstilling av akkumulert avvik fra månedlig middel-deposisjon er en måte å synliggjøre slike forhold. Beregninger av denne typen og grafiske framstillinger er presentert i **Figur 4**-**Figur 10**. Siden en del av denne databearbedingen er ny, vil vi både her og i avsnittet om N-transport i avrenning forklare framstillingen noe nærmere før vi går inn på hvert enkelt felt. Det vil forhåpentligvis lette lesningen og forståelsen.

Den øverste kurven i figurene viser akkumulert nitratdeposisjon over tid. Perioder med deposisjon over middelet ligger over den rette linjen, mens perioder med lavere deposisjon enn middelet ligger under. Spesielle episoder med økning eller avtak kan ses som skarpere krusninger. Kurven for akkumulert avvik i deposisjon av nitrat (nederste kurve i figurene) gir en bedre visuell presentasjon av det samme. Det er fordi små krusninger i den øverste figuren blir kraftig forstørret. Der akkumulert deposisjon viser en økning over middelet, viser akkumulert avvik ofte en klar stigning, og der akkumulert deposisjon viser en utflating, dvs. et avtak fra middeltransporten, kommer dette klart fram som en bevegelse nedover i figuren for akkumulert avvik. Der akkumulert deposisjon i en periode ligger nær middeldeposisjonen, viser akkumulert avvik en bevegelse parallelt med x-aksen. Typisk for slike beregninger er at avviket starter nær null og ender nær null fordi det totale avviket fra middelet alltid vil være null

Figurene for akkumulert avvik viser spesielt stort utslag for perioder med klar økning eller reduksjon i nitratdeposisjon, se **Figur 4**. Det letter identifikasjonen av perioder og episoder som betyr mye for den totale nitratdeposisjonen.

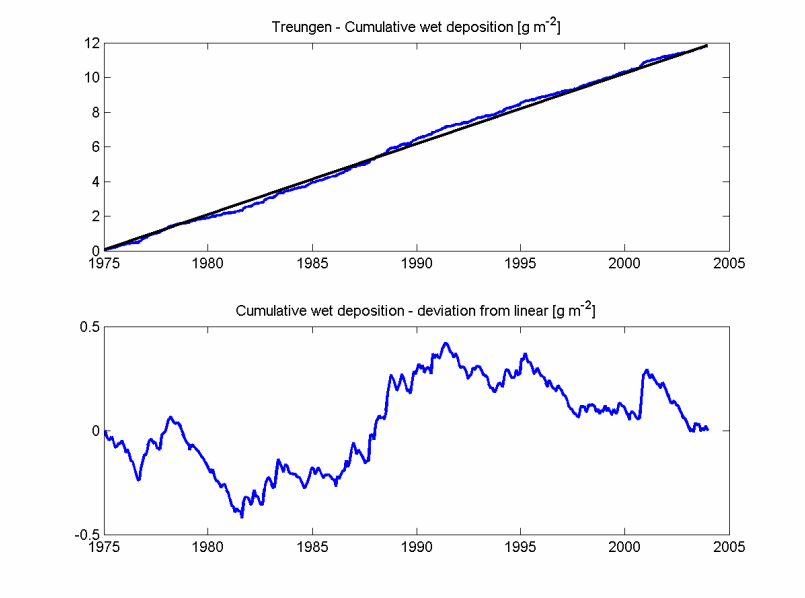
Målestasjonene ved Langtjern viser en klar økning i N-deposisjonen i perioden 1985-1991, mens det er en like klar reduksjon i etterfølgende periode og fram til 2004 (**Figur 4**). Det har vært tre kortere perioder hvor deposisjonen var klart høyere enn middelet; 1979, 1987-88 og høsten 2000. Periodene er markert med ringer i figuren.



Figur 4. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonene Gulsvik og Brekkebygda ved Langtjern. Ringer markerer perioder med klare økninger.

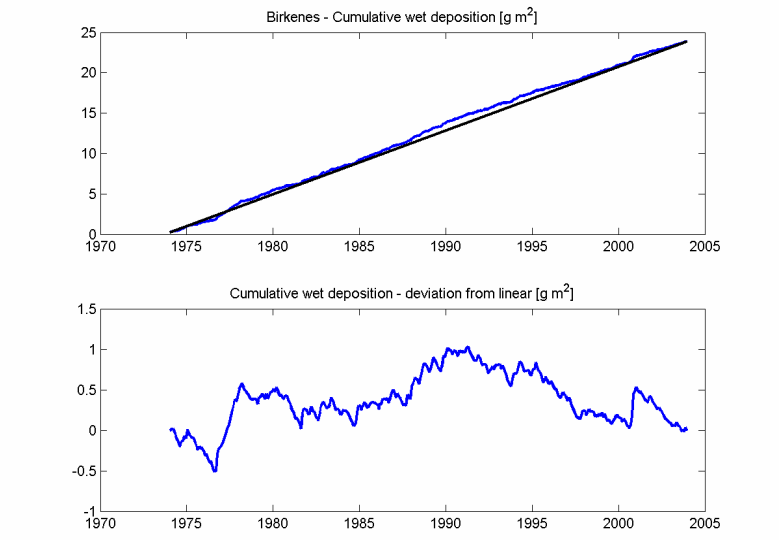
Målestasjonen Treungen ved Storgama viser en svært lik profil som stasjonene ved Langtjern, med økning fram til ca. 1991 og deretter avtak (**Figur 5**). Høsten 2000 slår kraftigere ut her, trolig fordi

lavtrykket som ga kraftig høstflom på sør-østlandet passerte forholdsvis langt sør i landet og ga mer nedbør på Treungen enn ved Langtjern.



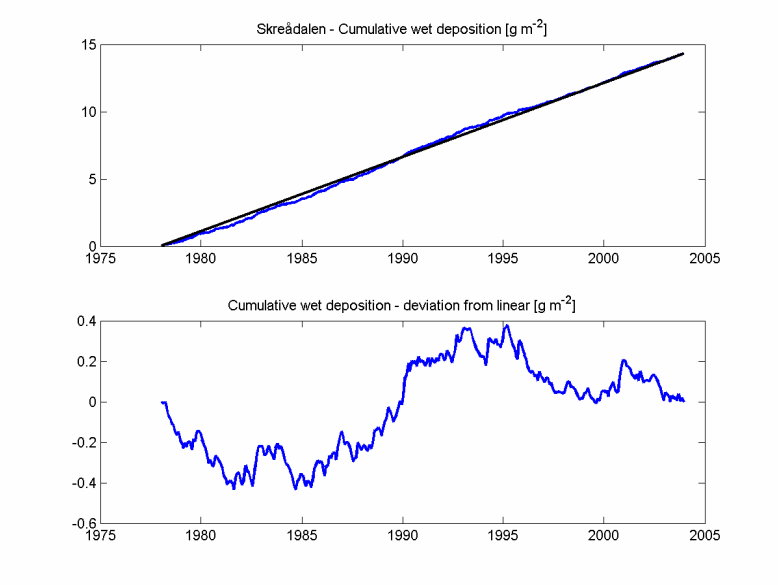
Figur 5. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonen Treungen ved Storgama.

Ved Birkenes var forløpet mer dempet, men mønsteret fra de to foregående stasjonene ses her også (**Figur 6**). Høsten 2000 framstår med en enda kraftigere økning i deposisjon i forhold til middeldeposisjon. I Birkenes ses en kraftig økt nitrogendeposisjon i 1976-1977. Noe av den samme økningen er også registrert ved Langtjern og Storgama, men den er særlig utpreget i Birkenes.



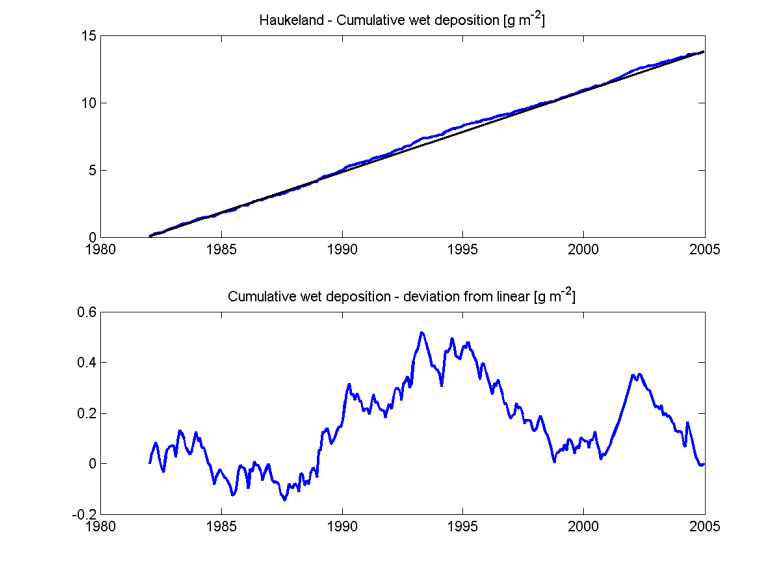
Figur 6. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonen ved Birkenes.

Målestasjonen Skreådalen har en noe kortere måleserie enn for eksempel Treungen ved Storgama, men mønsteret fra denne stasjonen er lett gjenkjennelig, med økning i deposisjon i forhold til middelet fram til 1990 og et avtak utover i perioden (**Figur 7**).



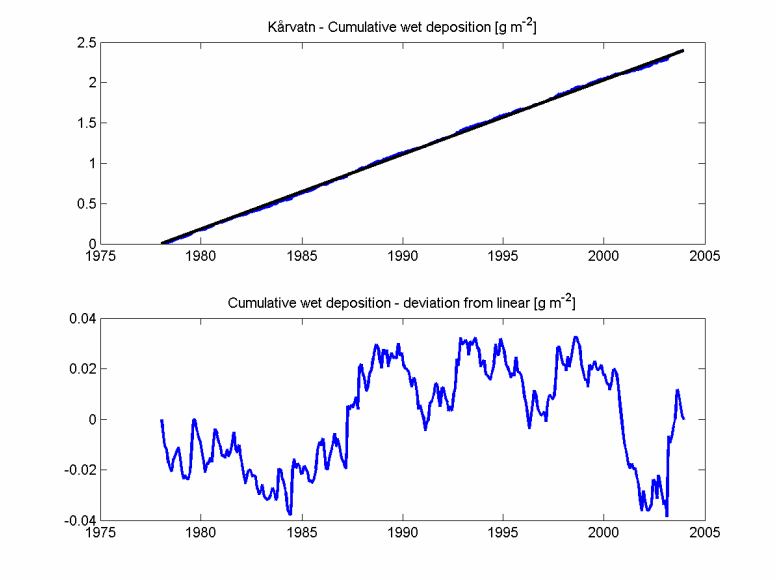
Figur 7. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonen Skreådalen ved Øygardsbekken.

Ved Haukeland ser det ut til at forløpet for nitrogendeposisjon er noe annerledes enn for de foregående, med større deposisjon enn middelet fra 1989 og fram mot 1995 (**Figur 8**). Det var deretter et avtak fram til 1999, en kraftig økning i 2001-2002 og et tilsvarende kraftig avtak fram til 2005.



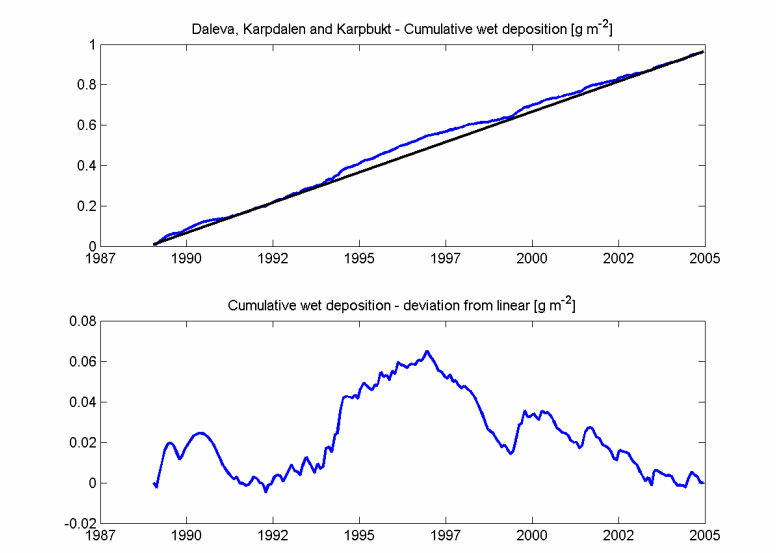
Figur 8. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonen Haukeland ved Svartetjern.

Akkumulert deposisjon ved Kårvatn viser først en økning i forhold til middelet i perioden 1986-1989 og deretter stor variasjon fram til 2000 (**Figur 9**). I 2000-2001 var det en bemerkelsesverdig kraftig reduksjon etterfulgt av tilsvarende økning i 2003-2004. På Kårvatn er deposisjonen svært lav og endringene er ikke så store i absolutte mengder.



Figur 9. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonen ved Kårvatn.

Ved Dalelva har det vært tre målestasjoner i drift, og til tross for at disse ligger svært langt unna målestasjonene lenger sør i landet, viser akkumulert nitrogendeposisjon mye av det samme forløpet. Det mest typiske er reduksjonen i siste del av perioden (1996-2005). Her var det kraftig økning i korte perioder i 1989, 1994 og i 1999.



Figur 10. Akkumulert deposisjon av NO_3-N (øverst) og akkumulert avvik fra middeldeposisjon av NO_3-N (nederst) for målestasjonene Dalelva, Karpdalen og Karpbukt ved Dalelva.

Akkumulerte avvik fra middeldeposisjon av nitrogen *synliggjør avvikende perioder og spesielle episoder som kan være av stor betydning for variasjonen i nitratavrenning. Ved alle stasjoner, unntatt helt i nord, har N-deposisjonen ligget over middelet i perioden 1985-1991. I tillegg har det vært tre episoder i Sør-Norge hvor deposisjonen har vært betydelig høyere enn middelet, nemlig i 1979, 1987-88 og høsten 2000.*

3.2 Trender i nitratkonsentrasjoner i vann

3.2.1 Elver

Elvene befinner seg på Vestlandet (Rogaland og Sogn og Fjordane) og i Nord-Trøndelag. De er derfor preget av forholdsvis stor avrenning og moderat til lite N-deposisjon. Kombinasjonen gir NO_3-konsentrasjoner i området 0-200 µg N/L (**Figur 11**). Vikedalselva har klart høyest konsentrasjon, mens Øyensåa sør for Namdalseid i Nord-Trøndelag har klart lavest.

Det er minst variasjon i data fra Vikedalselva, som har et relativt standardavvik (s.d./middel*100) på 21 %, mens de andre elvene ligger på 40-76 %. Årsaken til dette er sannsynligvis høye konsentrasjoner og at ovenforliggende innsjøer i Vikedal jevner ut variasjonen i vannkjemi. Det kan også forklare det høye signifikansnivået for endringen over tid. Med svært lave konsentrasjoner, slik som i Øyensåa, er også det relative standardavviket stort (76 %).

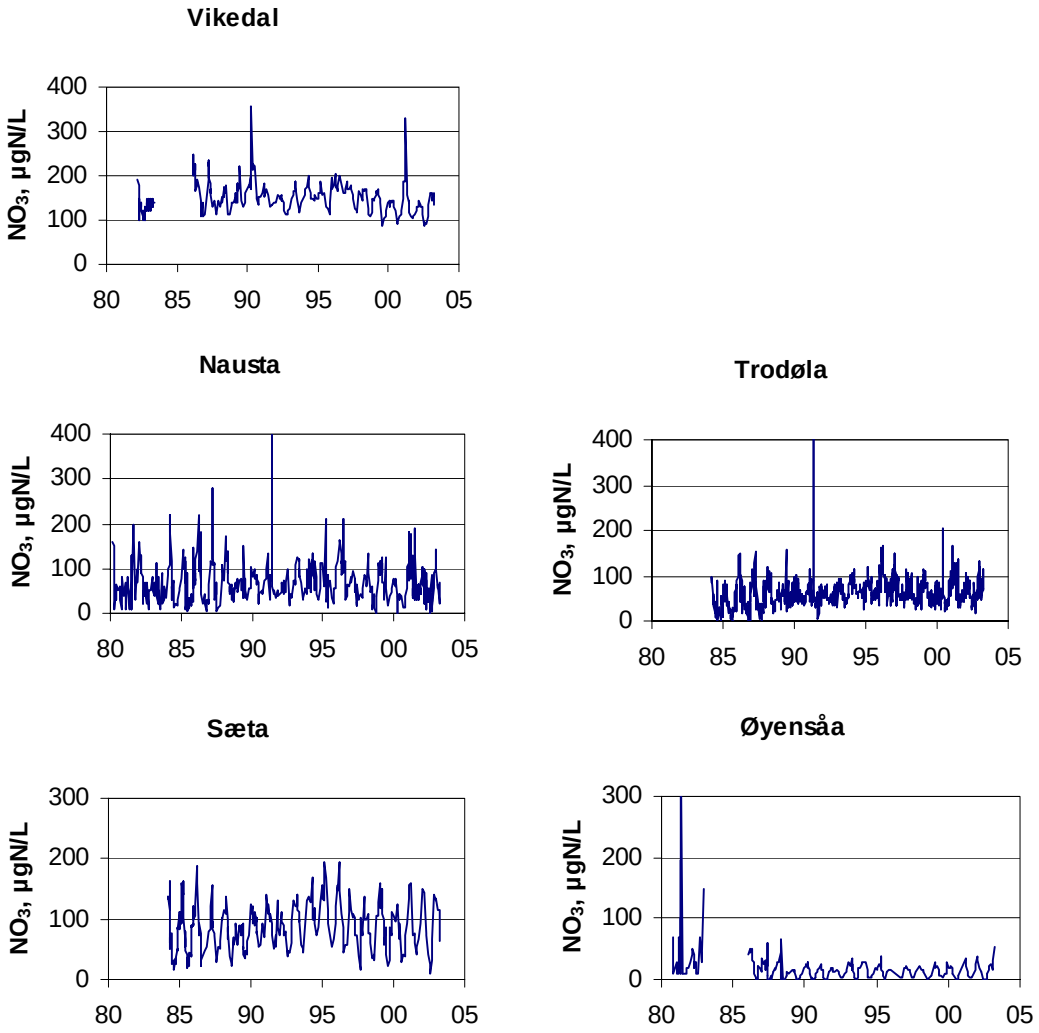
I Vikedalselva er konsentrasjonene i hovedsak over 100 µg N/L hele tiden. Innsjødempingen og lavt forbruk via primærproduksjon gir dette resultatet. De laveste verdiene er sent på sommeren fordi tilførslene er lave på denne årstiden og fordi forbruket av nitrogen i innsjøen først og fremst skjer i løpet av sommeren. Av spesiell interesse er somrene 1994 og 1996, da denne reduksjonen ikke skjedde.

En svært høy NO_3-verdi (**Figur 11**) ble registrert i både Nausta og sidevassdraget Trodøla den 20.5.1991. Vi er usikre på årsaken til dette, spesielt for Trodøla synes denne verdien å være svært høy, mer enn dobbelt så høy som nest høyeste verdi i måleserien.

I to elver har det vært en signifikant endring i NO_3-konsentrasjonen i 20-årsperioden fram til 2003 (**Tabell 6**). Mens det har vært en klar reduksjon i Vikedal, har det vært en klar økning i Trodøla.

Tabell 6. Månedsmiddelkonsentrasjoner av nitrat og årlig endring i disse for fem elver. Signifikansnivå (p-verdi) er beregnet med seasonal Mann-Kendall test (Hirsch og Slack 1992), og signifikante endringer ($p<0,05$) er uthevet. Årlig endring er beregnet med Sen's ikke-parametriske trend estimator (Gilbert 1987).

Elv og periode	Månedsmiddel NO_3 µg N/L	Årlig endring NO_3 µg N/L	Årlig endring % av middelverdi	p-verdi
Vikedal (1982-2003)	148	-1.8	-1.2	**0.03**
Nausta (1980-2003)	66	0.2	0.3	0.43
Trodøla (1984-2003)	63	1.1	1.7	**0.01**
Sæta (1984-2003)	87	0.9	1.0	0.12
Øyensåa (1980-2003)	17	-0.3	-1.6	0.12



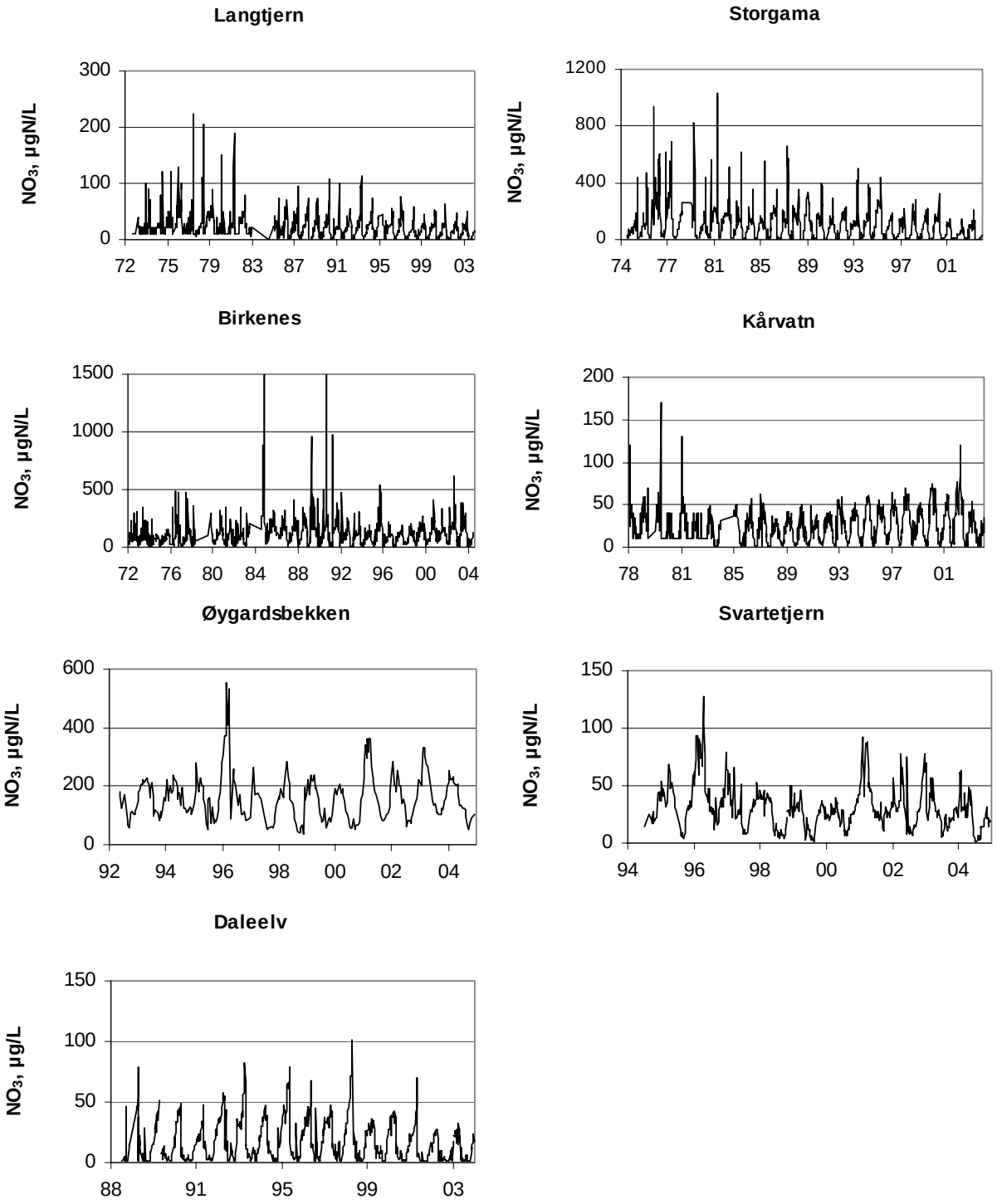
Figur 11. Variasjon i konsentrasjonen av nitrat over tid i seks overvåkingselver i perioden fra 1980 og fram til avslutning av overvåkingen i april 2003. Legg merke til at starttidspunktet er ulikt og at y-aksen er forskjellig. Konsentrasjoner utenfor figuren er 445 µg/L for Nausta (den 20.5.1991), 420 µg/L for Trodøla (20.5.1991) og 385 µg/L for Øyensåa (24.5.1981).

Denne økningen er ikke funnet i Nausta. I Sæta, som ligger litt lenger inn i landet enn Nausta, har det ikke vært signifikante endringer, men en økende tendens. I Øyensåa i Nord-Trøndelag har det vært en avtakende tendens, men endring av målepunkt mellom 1982 og 1984 kan forkare noe av dette. Reduksjonen i NO_3-konsentrasjon i Vikedalselva er fra ca. 180 µg N/L til ca. 130 µg N/L, mens økningen i Trodøla er fra ca. 40 µg N/L til 85 µg N/L.

Økningen i Trodøla er interessant fordi det ikke har vært endringer i hovedvassdraget Nausta. En seasonal Mann-Kendall test viser at økningen i Trodøla i hovedsak skjer i april og mai, samt i august og september. **Figur 11** viser at minimumsverdiene i Trodøla har økt i forhold til 1984-1986, mens minimumsverdiene for nitrat i Nausta ikke har gjort det. Nedbørfeltet for Trodøla ligger gjennomsnittlig høyere over havet enn Nausta. Det kan tenkes at eventuelle endringer i snøforhold og vekstsesong er mer signifikant i høyereliggende områder. Endringene i Vikedalselva skjer i hovedsak på sensommeren og tidlig høst, og nedgangen ser ut til å ha vært størst fra 2000.

3.2.2 Feltforskningsområder

Nitratkonsentrasjonene i alle feltforskningsområdene viser store årlige variasjoner (**Figur 12**). Beregning av endringen av nitratkonsentrasjoner over tid viser at nitrat i noen områder øker med opptil 1.8 % årlig, mens nitrat går ned i andre stasjoner med opptil 3 % årlig (**Tabell 7**).



Figur 12. Variasjon i konsentrasjonen av nitrat over tid i feltforskningsområdene i perioden fra oppstart (som varierer) og fram til 2005. Legg merke til effekten av endret deteksjonsgrense i 1985.

Høye konsentrasjoner av nitrat forekommer ofte under snømeltingen, mens de laveste konsentrasjonene blir målt i vekstsesongen. I Storgama og Langtjern var årlige maksima høyere på 1970-tallet enn på 1990-tallet. Sett over hele perioden er det en signifikant nedadgående trend i disse to feltområdene, henholdvis 2.4 % og 1.6 % per år.

I Birkenes var det spesielt høye nitratkonsentrasjoner i perioden fra 1985 til 1992, som antageligvis skyldes hogst i en liten del av nedbørfeltet i 1984 (Wright, pers. komm). Fra 1996 økte nitratkonsentrasjonene igjen, både på grunn av en økning i maksimumsverdier og på grunn av en økning i minimumsverdier. Sett over hele perioden er det ingen økning i nitrat i Birkenes. Kårvatn har, i likhet med Langtjern og Storgama, noen høye konsentrasjoner av nitrat sent på 1970-tallet og en signifikant økning på 1.8 % årlig sett over hele måleperioden, tilsynelatende på grunn av økninger i maksimumsverdier. Av de tre områdene med kortest dataserie er det Svartetjern som viser en signifikant og relativt stor nedgang i nitrat, mens det ikke er noen tidstrend i Øygardsbekken og Dalelva.

For å kunne sammenligne trendene fra stasjonene på likt grunnlag er de samme analysene gjort for perioden 1994-2004 (**Tabell 8**). I Birkenes vises det nå en signifikant økning i månedsmiddelverdier for nitrat på nesten 4 %, mens økningen i Kårvatn ikke lenger er signifikant. For Langtjern og Storgama har den nedadgående trenden blitt enda klarere og ligger på 7 % av middelverdien. I Dalelva er trenden også blitt signifikant. Dette tyder på at de største endringene i nitratkonsentrasjoner skjedde etter 1994, med unntak av Kårvatn.

Tabell 7. Middelkonsentrasjoner av nitrat for feltforskningsområdene, basert på månedlige middelverdier. Endring i µg/L er beregnet som 'sen-slope'. Test om endringene er signifikante er med seasonal Mann-Kendall test. Signifikansnivå (p-verdi) er gitt, og signifikante endringer ($p<0,05$) er uthevet.

Feltområde og periode	Månedsmiddel NO_3 µg N/L	Årlig endring ('sen-slope') µg N/L	Årlig endring % av middelverdi	p-verdi
Birkenes (1972-2004)	114	0.8	0.7	0.30
Kårvatn (1978-2004)	25	0.5	1.8	**0.009**
Langtjern (1974-2004)	22	-0.4	-1.6	< **0.001**
Storgama (1974-2004)	104	-2.5	-2.4	< **0.001**
Dalelva (1988-2004)	17	-0.3	-1.6	0.26
Svarttjern (1994-2004)	31	-1.0	-3.1	**0.007**
Øygardsbekken (1992-2004)	158	0.7	0.4	0.85

Tabell 8. Middelkonsentrasjoner av nitrat for feltforskningsområdene, basert på månedlige middelverdier i perioden 1994-2004. Endring i µg/L er beregnet som 'sen-slope'. Test om endringene er signifikante er med seasonal Mann-Kendall test. Signifikansnivå (p-verdi) er gitt, og signifikante endringer ($p<0,05$) er uthevet.

Feltområde og periode	Månedsmiddel NO_3 µg N/L	Årlig endring ('sen-slope') µg N/L	Årlig endring i % av middelverdi	p-verdi
Birkenes	105	3.9	3.7	**0.041**
Kårvatn	29	0.3	1.1	0.73
Langtjern	17	-1.1	-6.6	**0.002**
Storgama	76	-6.7	-8.7	**0.003**
Dalelva	18	-1.1	-6.0	**0.010**
Svarttjern	31	-1.0	-3.1	**0.007**
Øygardsbekken	160	0.9	0.6	0.82

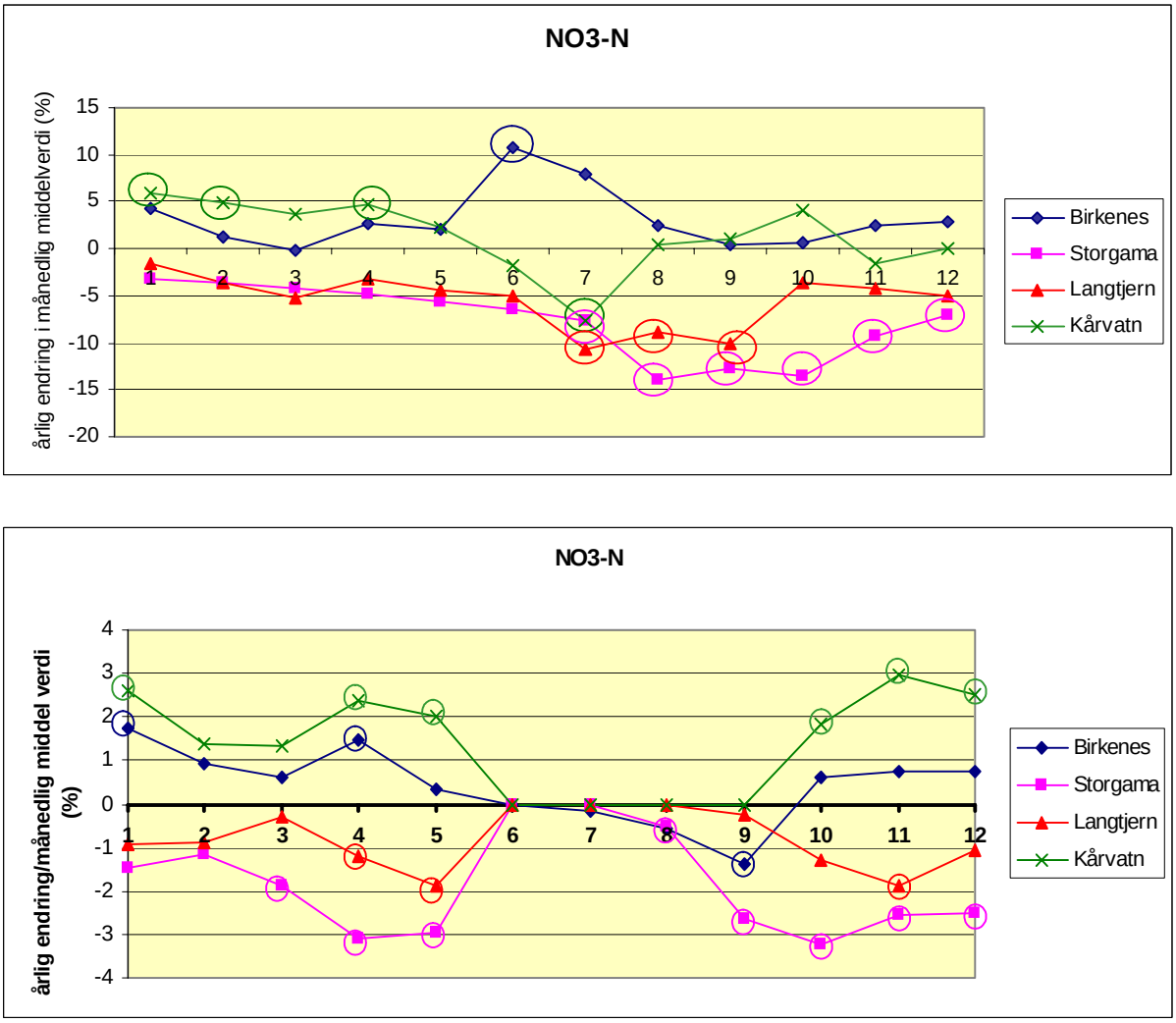
Det er altså et flertall av feltforskningsområdene som har en nedgang i nitratkonsentrasjoner, mens to stasjoner viser en økende trend i nitrat, avhengig av hvilken periode man betrakter. Feltene er forskjellige med hensyn på klima, nåværende og historisk N-deposisjon, vegetasjon og jordsmonn. Antageligvis er alle slike egenskaper viktige i forhold til nitratavrenning og respons på klimaendring.

Vi har også testet endringer for enkeltmåneder for å se om det er spesielle perioder i året der endringer er mest utpreget. Den årlige trenden i nitratkonsentrasjon på de fire stasjonene med ca 30 år med data ligger stort sett mellom +3 % og -3 % av gjennomsnittlig månedlig konsentrasjon, og viser en klar sesongavhengighet (**Figur 13)**. Det er ingen trend i juni og juli, månedene med de laveste nitratverdiene. I Storgama skjer nedgangen i nitrat spesielt om høsten og fra mars til april, mens Kårvatn viser nesten et speilvendt mønster, med en økning i nitrat i samme periode. Birkenes og Langtjern viser en liten, men signifikant økning, henholdsvis nedgang noen måneder i året, omtrent parallelt med Kårvatn og Storgama. Det påfallende fraværet av trender i sommermånedene kan skyldes at minimumskonsentrasjonen ble satt til 10 µg/L fram til 1984 fordi deteksjonsgrensen var 10 µg/L fram til 1984.

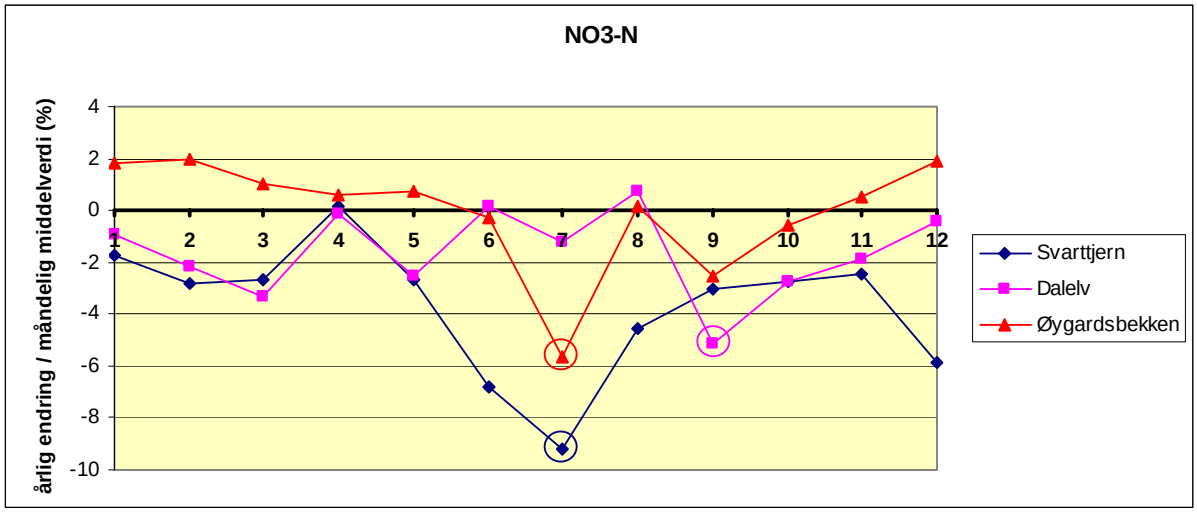
Når datagrunnlaget er begrenset til 11 år (1994-2004) blir trendene sterkere. I denne perioden var deteksjonsgrensen på 1 µg/L. Endringene er mellom +10 % og -15 % av månedlig middelverdi. Den sterkeste økningen i Birkenes er i sommermånedene. Dette kan tyde på et redusert opptak i trærne på grunn av økende bestandsalder. I Birkenes er det mye gammel skog, og det er kjent at gammel skog trenger mindre næringsstoffer enn tidligere i bestandsutviklingen. På Kårvatn er det økende trender i vintermånedene og en tydelig nedgang midt på sommeren. Avtaket i Langtjern og Storgama er klarest om sommeren og tidlig på høsten (Langtjern) og om høsten og tidlig på vinteren (Storgama). Her kan det spekuleres i om årsaken er en forlenget vekstsesong, og dermed et forlenget opptak av nitrat i planter utover høsten.

Feltforskningsstasjoner med kort dataserie (Øygardsbekken, Svartetjern og Dalelv) viser få signifikante endringer i nitratkonsentrasjon (**Figur 14**). De signifikante endringene er negative, med et avtak på mellom -5 % og -9 %. Avtaket skjer i juli og september.

*To av fem **overvåkingselver** viser signifikante endringer i nitratkonsentrasjoner over tid, nemlig Vikedal i Rogaland med en nedgang på 1,2 % årlig og Trodøla i Sogn og Fjordane med en økning på 1,7 % årlig.*
***Feltforskningsområdet** Kårvatn viser en signifikant økning i nitratkonsentrasjon over tid, mens Storgama, Langtjern og Svartetjern viser en signifikant nedgang. Trendene kan variere, avhengig av hvilken periode som betraktes, og er sterkest fra 1994. De mest signifikante endringene fra 1994 til 2004 skjer på sensommeren og høsten for innlandsfeltene Storgama og Langtjern, og om vinteren på Kårvatn. Tidstrenden i Birkenes er antakelig påvirket av hogst i 1984, med påfølgende nitratavrenning.*



Figur 13. Årlig endring i % av månedlig middelkonsentrasjon av nitrat i fire feltforskningsområder, basert på ca 30 år med data (øverst) og de siste 11 år med data (nederst). Minimumskonsentrasjon i øverste figur er satt til 10 µg/L, deteksjonsgrensen for nitrat før 1984. Signifikante punkter ($p<0.05$) er ringet inn i samme farge som tilhørende stasjon.



Figur 14. Årlig endring i % av månedlig middelkonsentrasjon av nitrat i tre feltforskningspmråder, basert på 10-15 år med data. Y-aksen viser månedsnummer. Signifikante punkter (p<0,05) er ringet inn i samme farge som tilhørende stasjon.

3.3 Nitrattransport og avrenning i feltforskningsområdene

Dette avsnittet omhandler nitrattransport, som framkommer ved å multiplisere en volumveid middelkonsentrasjon for en periode med den totale avrenningen i perioden. Siden både konsentrasjon og avrenning måles på samme sted i nedbørfeltet i feltforskningsområdene, får man svært gode mål på denne transporten. For elvene ble dette langt mer komplisert fordi avrenningsdata for flere av dem må hentes fra andre vassdrag og eventuelt modelleres for å tilpasses vassdraget med vannkjemiske data. Elvetransport av nitrat er derfor ikke beregnet i denne omgangen.

Betegnelsen nitrattransport er valgt her, men fluks, eksport (”ut av feltet”) ”nitratavrenning” og eventuelt andre betegnelser kunne også vært brukt. I noen av tabellene er ”fluks” brukt av plasshensyn. Avrenning er brukt generelt for vannet ut av feltet og for vanntransport.

3.3.1 Trender i nitrattransport

Trender i nitrattransport er mindre tydelige enn trendene i nitratkonsentrasjoner (**Tabell 9**). Nitrattransport ut av nedbørfeltet har økt signifikant i Birkenes og på Kårvatn, mens den nedgangen som er funnet i Storgama og på Langtjern ikke er signifikant. På Kårvatn skjer økningen i nitrattransport i vintermånedene, og dette er i samsvar med trendene i konsentrasjoner. I Birkenes er økningen i nitrattransport signifikant i januar og februar.

Det er overraskende at den klare nedgangen i nitratkonsentrasjoner i Storgama og på Langtjern ikke blir fulgt av en signifikant nedgang i nitrattransport, men avenningen kan ha variert for mye til at trenden blir signifikant.

Tabell 9. Middeltransport (-fluks) av nitrat for feltforskningsområdene, basert på månedlige middelverdier. Endring i kg/år er beregnet som 'sen-slope'. Test om endringene er signifikante er med seasonal Mann-Kendall test. Signifikansnivå (p-verdi) er gitt, og signifikante endringer (p<0,05) er uthevet. Svært høy transport på Kårvatn i forhold til de andre skyldes at nedbørfeltet er stort.

Feltområde og periode	Midlere NO_3-transport kg N/måned	Årlig endring ('sen-slope') Kg N/år	Årlig endring i % av middel	p-verdi
Birkenes (1974-2004)	5.1	0.055	1.1	**0.05**
Storgama (1974-2004)	6.1	-0.055	-0.9	0.58
Langtjern (1974-2004)	6.2	-0.038	-0.6	0.16
Kårvatn (1978-2004)	71	0.809	1.1	**0.001**

3.3.2 Fordeling over året

Fordelingen av nitrattransporten over året viser at vinter og/eller vår er viktige perioder for transporten i alle felt. For felt med lang vinter (Langtjern, Storgama, Kårvatn og Dalelva) kommer mer enn 50 % av nitrattransporten i perioden april-mai (de to første) eller april-juni (de to siste). For disse fire skjer om lag 75 % av N-transporten i perioden januar-mai, hhv. januar-juni (**Tabell 10**). I lavereliggende, kystnære felt (Birkenes, Øygardsbekken og Svartetjern) skjer N-transporten hovedsakelig vinterstid i perioden januar-mars, med hhv. 35, 46 og 34 % av totaltransporten.

Tabell 10. Nitrattransport i avrenningen for hele året (N_{tot}) og fordeling av nitrattransporten på vinter (januar-mars), vår (april-mai)* og vinter+vår. Det er brukt middeltall for de respektive datasettene. N er her brukt for NO_3-N.

Feltområde	Areal Km^2	N_{tot} mgN/m^2	N_{vinter} mgN/m^2	$N_{vår}$ mgN/m^2	N_{vinter}/N_{tot} %	$N_{vår}/N_{tot}$ %	$N_{vinter+vår}/N_{tot}$ %
Langtjern	4,8	15,5	1,15	10,4	7	67	75
Storgama	0,6	122	19,2	70	16	57	73
Birkenes	0,41	148	52	37	35	25	60
Øygardsbekken	2,55	301	139	40	46	13	60
Svartetjern	0,57	125	42	27	34	22	55
Kårvatn	25	33,4	2,90	21	9	63	72
Dalelva	3,2	4,2	0,83	2,4	20	57	77

*for Kårvatn og Dalelva er juni inkludert i "vår".

Det er tendenser til forskyvninger i nitrattransporten fra vår til vinter for Langtjern og Storgama. På Langtjern er det med lineær regresjon funnet en nær signifikant (p=0,06) reduksjon i transporten i perioden april+mai fra 70 kg N til 30 kg N i undersøkelsesperioden, men ingen endring vinterstid. På Storgama har det vært en signifikant (p=0,04) reduksjon i transporten om våren fra 62 kg N til 22 kg N. En økning vinterstid er forholdsvis stor (fra 8 kg til 15 kg), men ikke signifikant. I begge felt er det en nær signifikant reduksjon (p=0,07) i nitrattransport for perioden januar-mai.

I Birkenes er det ikke signifikante endringer, og transporten er jevnere fordelt over vinteren. Det skyldes mindre snøakkumulering og flere regn/smelteperioder gjennom vinteren. I Øygardsbekken er det tendenser til at mer av transporten skjer vinterstid (enda mer om vinteren og mindre om våren), men det er ikke signifikante forskyvninger. I Svartetjern kommer hovedtransporten i januar-mars (24

kg N i middel), mens transporten i april+mai er lavere (14-15 kg). Her var det tendenser til mindre nitrattransport både vinter og vår, men endringene er ikke signifikante. Klarest endring er på Kårvatn, der transporten vinterstid er signifikant (p=0,009) og sterkt økt fra 35 kg N til 110 kg N. Her er det imidlertid også tendens til økning om våren, noe som resulterer i en nær signifikant økning (p=0,11) fra 500 kg N til 700 kg N for perioden januar-juni. I Dalelva er det ikke spesielle endringer vinterstid, men en tendens til redusert avrenning om våren.

Signifikant økning i nitrattransport *er funnet for to felt, mens reduksjonen i to andre felt ikke er signifikant. De tre øvrige har for kort dataserie til at analysen er gjennomført.* ***Fordeling av nitrattransport over året*** *grupperer feltforskningsområdene i to; høyereliggende innlandsfelt har en klar vårflom, mens kystnære felt har en fordeling i nitrattransport over hele vinteren. Det er imidlertid tendenser til at nitrattransporten i den første gruppen blir mer lik den andre, trolig fordi vintrene blir mildere og snødekket blir mer ustabilt. Om lag 75 % av nitrattransporten i felt med en lang vinter skjer i april-mai/juni, mens i kystnære og lavereliggende felt skjer 30- 45 % i månedene januar til mars. I innlandsfeltene Langtjern og Storgama har det skjedd en reduksjon i avrenningen i april og mai, med en tendens til økning vinterstid (Storgama). På Kårvatn har nitrattransporten om vinteren økt.*

3.3.3 Avvikende nitrattransport i vann

For å identifisere avvikende perioder og spesielle episoder er akkumulert nitrattransport over tid beregnet slik det er gjort for N-deposisjon. Transportene er så normalisert ved at det for hver måned er beregnet avvik fra middeltransporten. Avviket er akkumulert og plottet mot tid. Typisk for slike beregninger er at avviket starter nær null og ender nær null fordi det totale avviket fra middelet alltid vil være null. De resulterende to kurvene er så sammenholdt med tilsvarende for deposisjon og vannmengde (**Figur 15**-**Figur 21**).

Siden en del av denne databearbedingen er ny, vil vi også her forklare framstillingen noe nærmere før vi går inn på hvert enkelt felt.

Kurven for akkumulert avvik i nitrattransport gir en god visuell presentasjon av endringer i nitrattransport i forhold til middelet. Det er fordi små krusninger i figuren for akkumulert transport blir kraftig forstørret. Der akkumulert transport viser en økning over middelet, viser akkumulert avvik ofte en klar stigning, og der akkumulert transport viser en utflating, dvs. et avtak fra middeltransporten, kommer dette klart fram som en bevegelse nedover i figuren for akkumulert avvik. Der akkumulert transport i en periode ligger nær middeltransporten, viser akkumulert avvik en bevegelse parallelt med x-aksen.

Figurene for akkumulert avvik viser spesielt stort utslag for perioder med klar øking eller reduksjon i nitrattransport. Det letter identifikasjonen av perioder og episoder som betyr mye for den totale nitrattransporten.

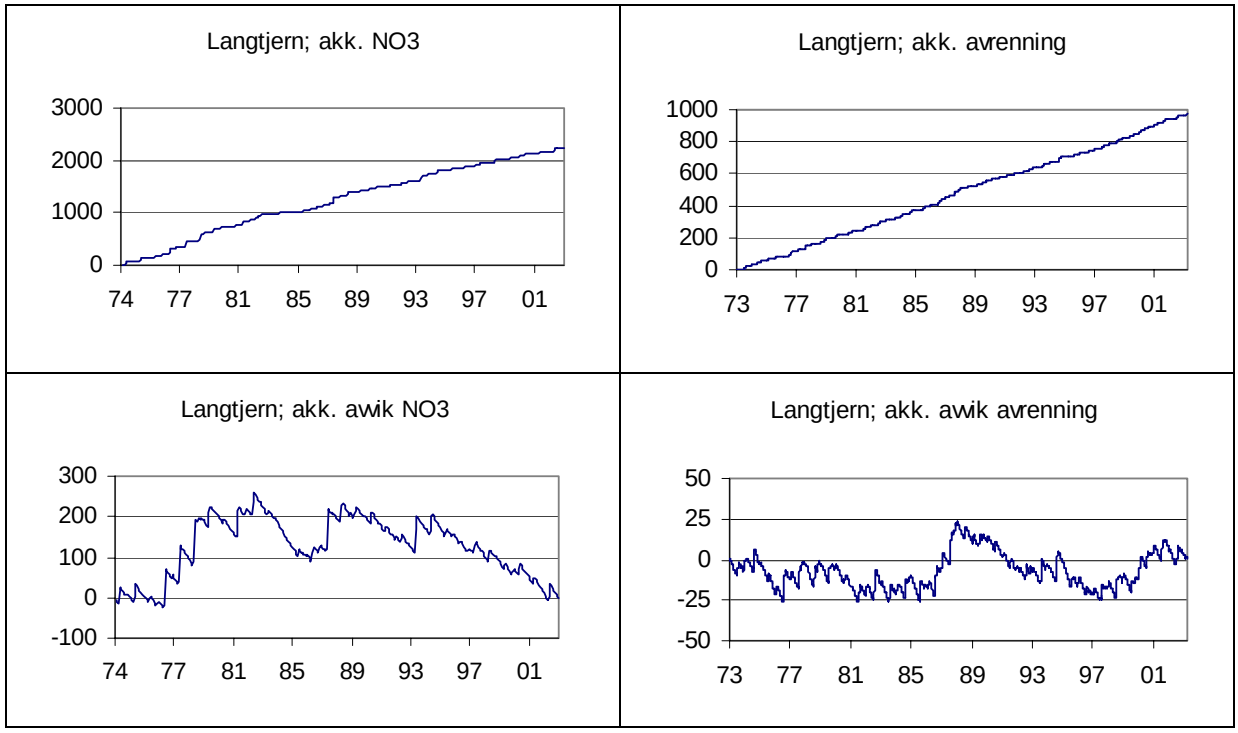
I dette datamaterialet framstår akkumulert avvik-figurene ofte med en skråstilt eller opprett, tannete form, der det i begynnelsen av året (snøsmelting) er stor økning mot en skarp topp (tann), etterfulgt av et vedvarende avtak (sommer, høst, vinter) fram mot neste raske økning. Dette harmonerer godt med resultatene over, som viste at vinter+vår betyr mest for N-transporten. År med uteblitt snøsmelting framstår gjerne uten ”tann” (liten N-transport om våren), slik at avtaket etter forrige topp er monotont over lengere tid.

Akkumulert avvik for avrenning viser samme type endringer. Legg spesielt merke til flomhøsten i 2000 på Østlandet, som i noen av disse figurene framstår som den viktigste enkeltperioden for vanntransport.

Det er viktig å være klar over at tallverdiene for avrenning i disse framstillingene er forholdsvis meningsløse siden vi har akkumulert døgnmiddelvannføringen (m^3/s) og ikke vannmengden for hvert døgn. Det er også viktig å være klar over at akkumulert N-deposisjon ikke kan sammenliknes direkte med akkumulert nitrattransport i feltene fordi deposisjon er beregnet som g/m^2 for hver måned, mens transport i avrenning er beregnet i kg/mnd.

Langtjern

Dataserien fra Langtjern er fullstendig fra 1974. Middeltransporten på månedsbasis var 6,20 kg N/mnd. Det var en økning i transporten i perioden 1976-1979, et jevnt avtak fra 1982 til 1985, fulgt av økning i to korte perioder i 1988 og 1994 og med et jevnt avtak fra 1995 (**Figur 15**). Dette mønsteret var svært forskjellig fra avrenningsmønsteret og viser at det er andre forhold enn kun avrenning som styrer nitrattransporten. Det er verdt å legge merke til at avtakende transport mot slutten av perioden skjer til tross for økning i avrenning og en sterk økning i N-deposisjon i 2001 (**Figur 4**). Avtaket i nitrattransport i perioden 1982-1985 har ingen tilsvarende parallell i verken avrenning eller deposisjon. Nedgangen på 1990-tallet er derimot sammenfallende for alle de tre.



Figur 15. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Langtjern. Høyre del viser tilsvarende for avrenning (relative enheter).

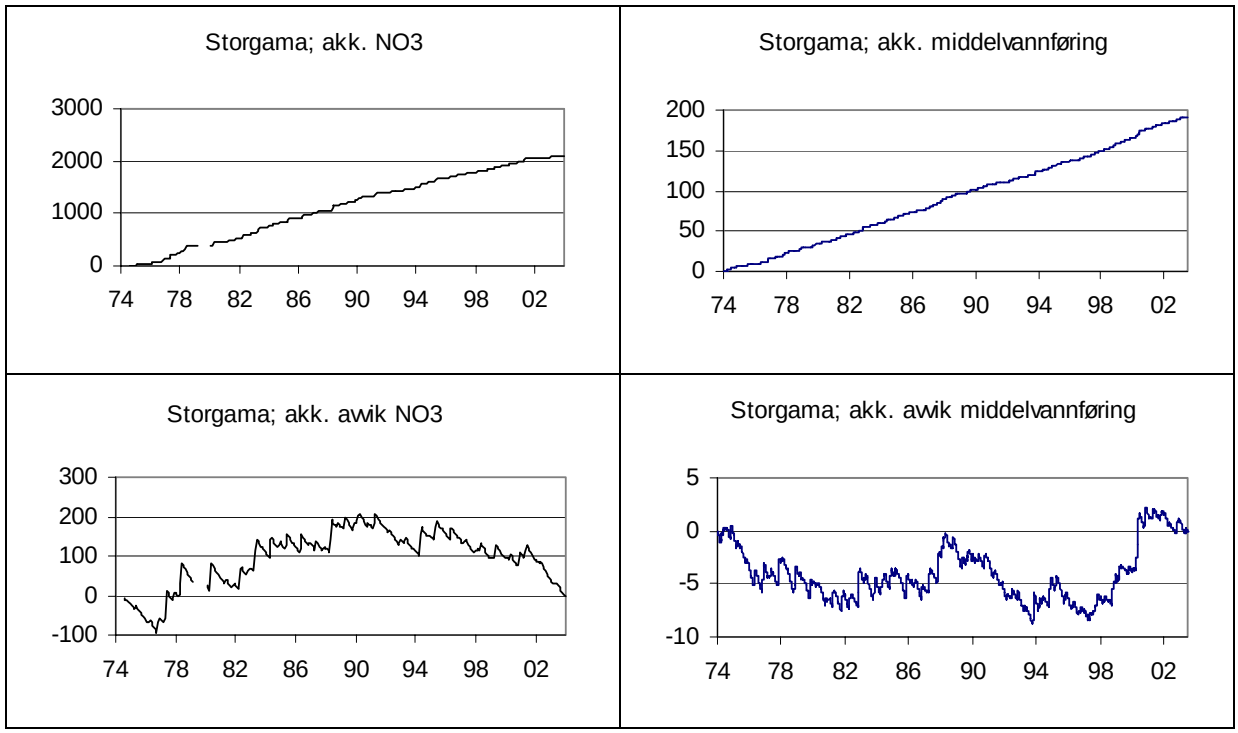
Høy nitrattransport skjer i snøsmeltingsperioden, derav det tannete mønsteret i **Figur 15**, akkumulert avvik. Høy nitrattransport i 1977, 1988 og 1994 gjenspeiles i avrenningen og skyldes stor vannføring i forbindelse med snøsmelting i mai disse årene. Også for de andre årene skyldes høy nitrattransport snøsmelting. Den avtakende vårtransporten, som er omtalt tidligere, ses som avtakende "tenner" i figuren. Våravrenningen tidlig på 1980-tallet er nærmest uteblitt.

Et unntak fra den typiske snøsmeltingssituasjon i april/mai, er den milde vinteren 1990. Denne vinteren var nitrattransporten jevnere fordelt, og i både februar og mars var transporten ca. 15 kg/mnd. På den andre enden av skalaen finner vi den kalde vinteren 1996, da det var nær null avrenning og nitrattransport i perioden januar-mars.

Storgama

Storgama har også en lang dataserie, men data for perioden april-desember 1979 mangler. Middeltransporten for NO_3-N på månedsbasis var 6,11 kg N/mnd. Omkring 1980 viser nitrattransporten i Storgama en stor grad av stabilitet (nær middeltransport), til tross for at deposisjonen var lavere enn middeldeposisjonen i denne perioden (**Figur 5**). Fra ca. 1990 er det tegn til en systematisk endring med lavere nitrattransport. Fra årtusenskiftet forsterkes denne reduksjonen, og spesielt de siste to årene er avviket markant. Som man ser, henger ikke dette sammen med avrenningen for perioden etter 1994, som viste en stabil tendens. Deposisjonen hadde derimot også et markant avtak fra middelet i disse to årene (**Figur 5**).

Den kraftige høstflommen i 2000 medførte en tilsynelatende liten økning i akkumulert nitrattransport. Det skyldes ikke at det ble transportert lite nitrat denne høsten. Faktisk hadde nitrattransporten for oktober-desember vært så høy som 55 kg kun en gang tidligere, høsten 1976, mens alle andre oktober-desember-perioder hadde nitrattransport lavere enn 35 kg. Middeltransporten for oktober-desember er beregnet til 18 kg. Men, mens både deposisjonen (**Figur 5**) og avrenningen høsten 2000 var spesielt stor, ble nitrattransporten kun på størrelse med transportene for april+mai. Det sier også en god del om hvor mye avrenningen om våren bidrar til totaltransporten av nitrat. Høy nitrattransport høsten 1976 skyldes først og fremst høye NO_3-konsentrasjoner. Avtaket i avrenning omkring 1993 medførte avtakende nitrattransport i denne perioden.



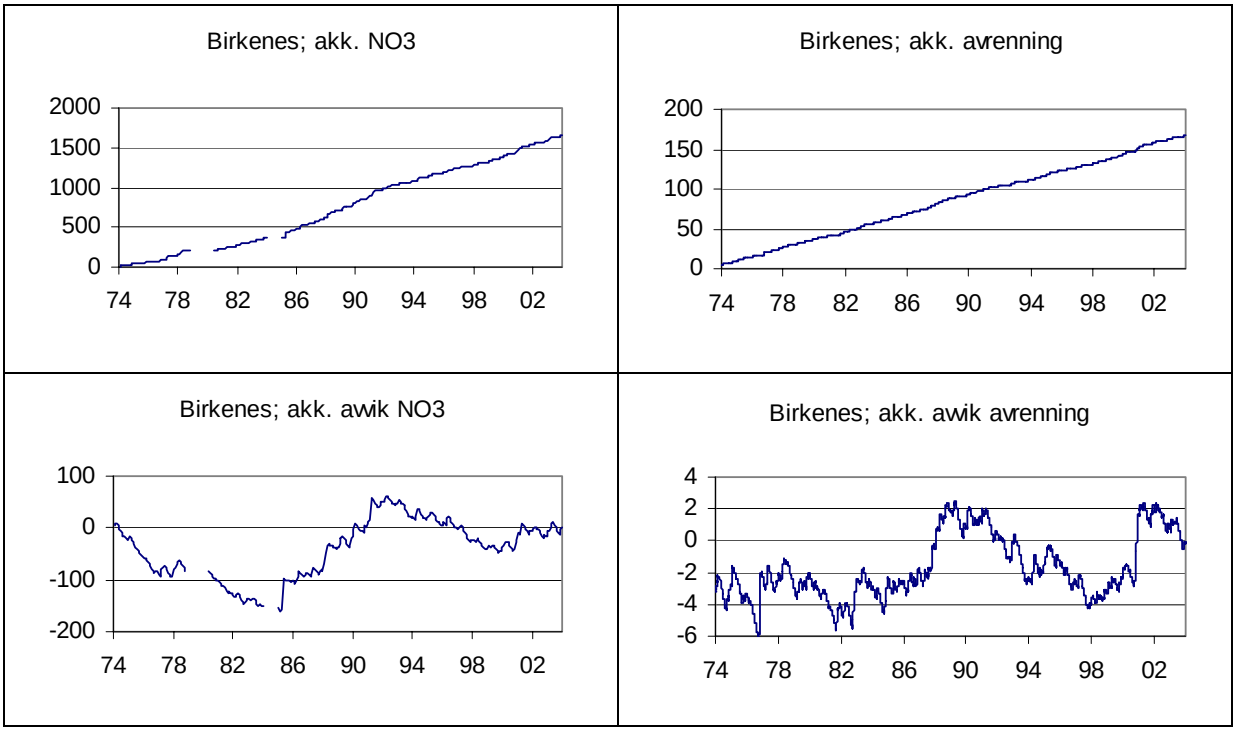
Figur 16. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Storgama. Høyre del viser tilsvarende for avrenning (relative enheter).

Vi har sett nærmere på vintertransporten i perioden 1985-1990. Mens vintrene 1985-1987 var svært kalde, var de tre påfølgende vintrene svært varme. En kunne derfor tenke seg at det var klare forskjeller i nitrattransporten mellom de to periodene. Akkumulert avvik (**Figur 16**) viser imidlertid at transporten i begge periodene har vært svært nær middeltransporten (kurven er parallell med x-aksen), men avbrudt av en sterk økning midt mellom periodene. Denne økningen skjer i april og mai i 1988, og skyldes undersøkelsesperiodens største vår-transport på Storgama med 93 kg N.

Birkenes

Dataserien fra Birkenes starter i 1972, mens vår bearbeiding er fra 1974. Det er to perioder som mangler data; 1. november 1978 til 20. januar 1979 og hele 1984. Med unntak av 1976 og 1977, er nitrattransporten i hele perioden 1974-1982 (**Figur 17**) lavere enn resten av undersøkelsesperioden. Deposisjonen var sterkt økende i 1976-1978 (**Figur 6**), mens nitrattransporten i feltet var stabil. Fra 1985 til etter vårsmeltingen i 1991 var det en økning i transporten, mens tilsvarende vendepunkt som på Storgama så ut til å inntreffe deretter. I Birkenes var det imidlertid ingen markert reduksjon helt mot slutten av perioden, snarere ga høstflommen 2000 en økning etterfulgt av en stabil periode. Uværet høsten 2000 ses klart i både økt avrenning og økt N-deposisjon.

Avrenningen var relativt stabil på 1970-tallet og fram til den kraftige flommen i oktober 1987. Ett unntak er 14. og 15. oktober 1976, da det var ekstremt stor avrenning. I perioden 1991-1998 var det igjen avtak i forhold til normal avrenning, helt parallelt med avtaket i nitrattransport.



Figur 17. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Birkenes. Høyre del viser tilsvarende for avrenning (relative enheter).

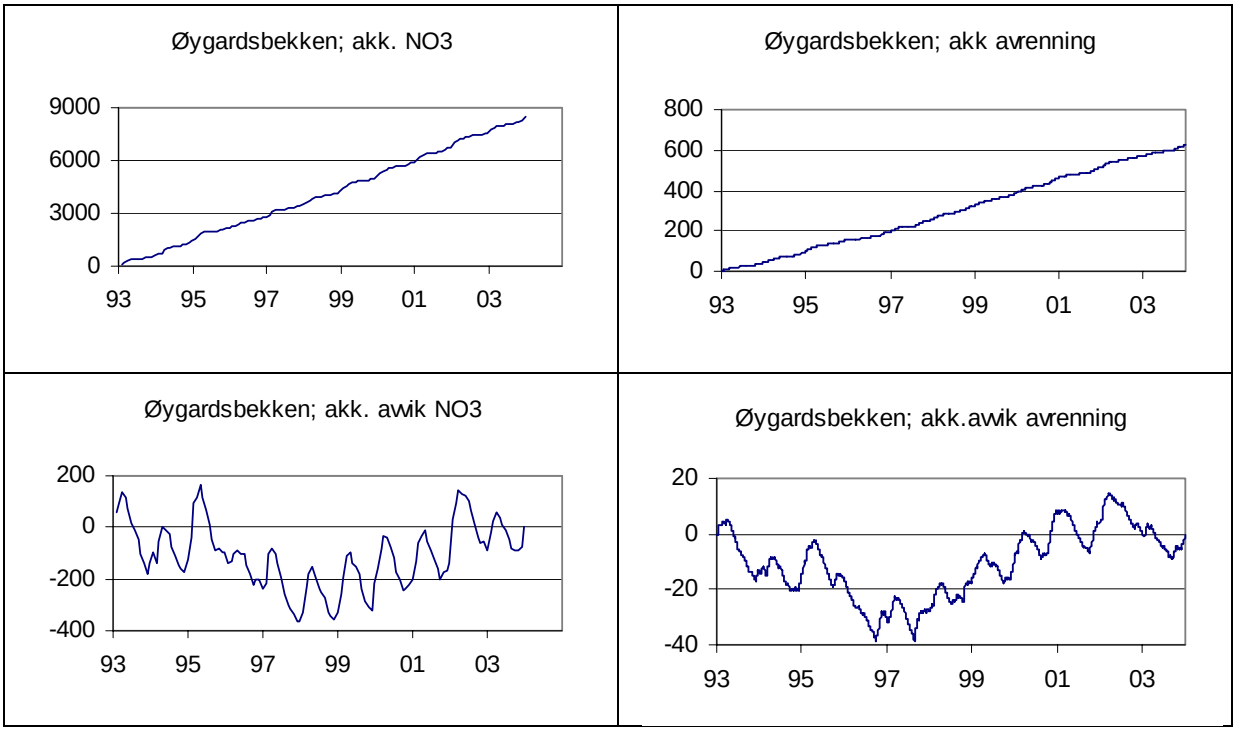
Birkenes skiller seg fra de to foregående ved at mønsteret for nitrattransport og avrenning er likere, og i motsetning til for Langtjern og Storgama, var nitrattransporten for Birkenes jevnere fordelt over vinteren, se tidligere omtale.

Nitrattransporten i april-mai i 1985 skilte seg markert fra de andre vintrene ved å være hele 72 kg. Det skyldtes ekstremt høye konsentrasjoner midt i april. Perioden kan sees i figuren for nitrattransport som en økning, men kommer svært klart fram i figuren for akkumulert avvik.

Øygardsbekken

Øygardsbekken har en ubrudt, men kortere dataserie enn de tre foregående. Et raskt blikk på akkumulert avvik-kurvene i **Figur 18** viser at mønsteret for nitrattransport og vanntransport er temmelig likt. Det indikerer at avrenningsforholdene er avgjørende for nitrattransporten. Deposisjonen viser også et liknende mønster i denne forholdsvis korte perioden (**Figur 7**). Det tannete mønsteret for nitrattransporten (akkumulert avvik-figuren) her er annerledes enn i for eksempel Langtjern ved at det er mer symmetri omkring toppene. Det framkommer ved at økningen etter sommerminimum skjer gjennom hele seinhøsten/vinteren og kulminerer omkring februar. Deretter er det avtak igjen fram mot neste sommer.

I Øygardsbekken var det en markert topp i NO_3-konsentrasjon vinteren 1996. Denne vinteren var spesielt kald og snøfattig også i denne landsdelen. I figuren for akkumulert avvik i nitrattransport er denne toppen nesten helt borte. Dette er den eneste "vintertoppen" i konsentrasjon som er nesten helt utvisket i transportmønsteret. Årsaken er både lav temperatur og manglende nedbør, som har resultert i liten transport av både vann og nitrogen. Vinteren 2003 var det liten avrenning, og nitrattransporten ble tilsvarende redusert i forhold til andre vintere.



Figur 18. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Øygardsbekken. Høyre del viser tilsvarende for avrenning (relative enheter).

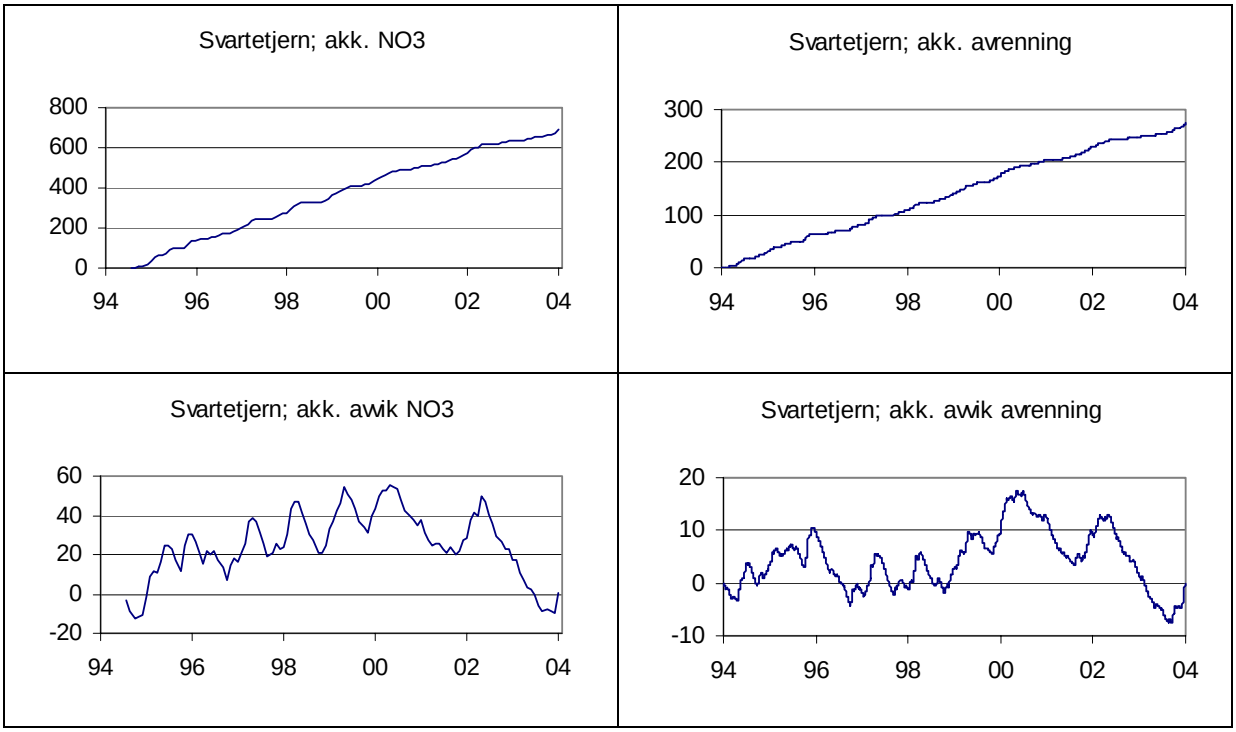
Svartetjern

Dataserien for Svartetjern er enda litt kortere enn for Øygardsbekken, men 10 år med data gir likevel muligheter for å undersøke transportmønstere. Midlere nitrattransport var 6,0 kg/mnd. Også for Svartetjern er mønsteret i nitrattransport og avrenning relativt likt (**Figur 19**), og viser at avrenningen spiller en avgjørende rolle for nitrattransporten. N-deposisjonen hadde et helt motsatt forløp ved at det

var en klar reduksjon i perioden 1995-1999 (**Figur 8**), mens det var økning i nitrattransport og forholdsvis stabil avrenning. Sterkt fallende forløp fra 2002 var imidlertid felles for alle tre.

Også her er nitrattransporten vinteren 1996 preget av liten avrenning i januar-mars. Lite avrenning i denne perioden gjør seg gjeldende også i 2001 og 2003 og gir de karakteristiske lange høyresidene på tre av toppene i figuren for akkumulert avvik i vanntransport. De gjenspeiles også i tilsvarende figur for nitrattransport og viser at lite vannføring gir liten nitrattransport. Både i 1996 og 2001 var det forholdsvis høye NO_3-konsentrasjoner, slik som observert i Øygardsbekken i 1996, uten at dette dermed gjenspeiles i transporten.

Liten avrenning i januar-mars i 2001 og 2003 har medført en avtakende tendens i nitrattransport, men foreløpig bør dette bare betraktes som årsvariasjoner.



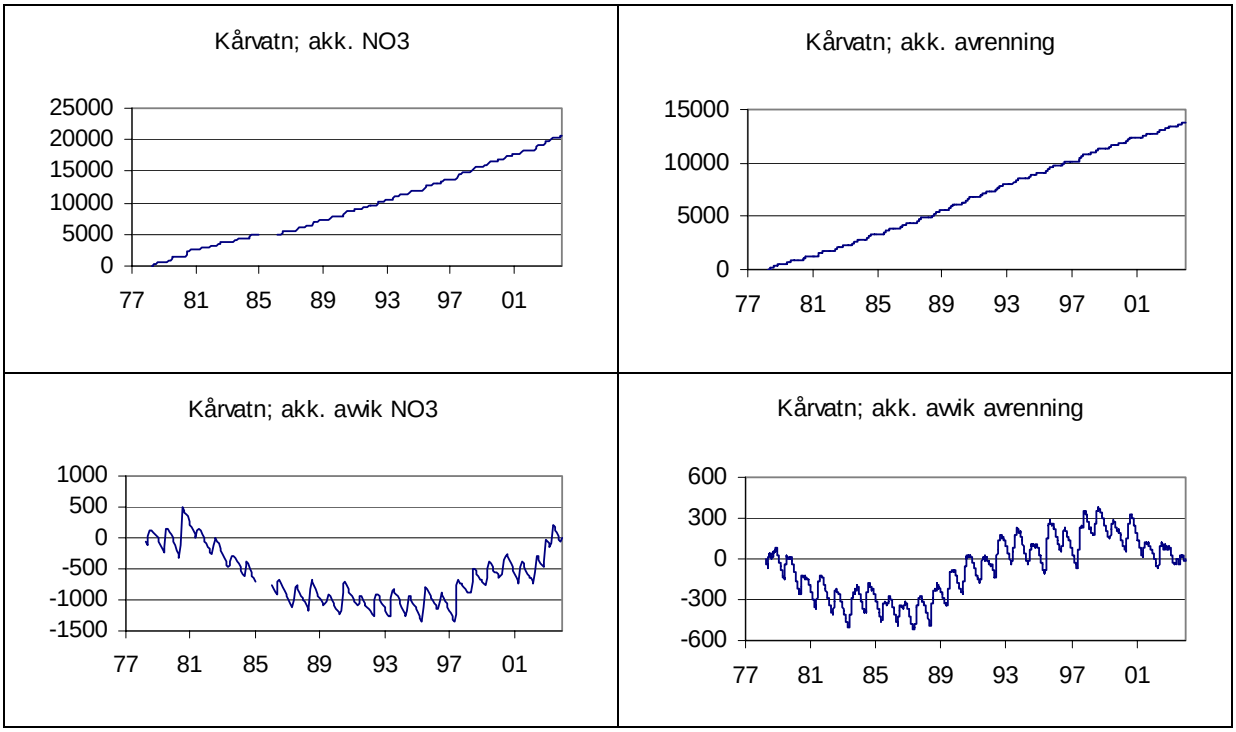
Figur 19. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Svartetjern. Høyre del viser tilsvarende for avrenningsmengde (relative enheter).

Kårvatn

Dataserien for Kårvatn er fra 1978, men for året 1985 er det ikke data. Middeltransporten var 69 kg N/mnd i dette feltet. Serien for nitrattransport og avrenning starter med samme mønster, men fra 1989 er det økt avrenning i forhold til middelet, mens dette ikke skjer parallelt med nitrattransporten (**Figur 20**). Her er det imidlertid en stigende tendens fra 1997, men som ikke er gjenspeilet i avrenningen. Deposisjonen var klart høyere enn middelet i årene 1987-1989 (**Figur 9**), mens dette ikke ble gjenspeilet i verken nitrattransport i feltet eller i avrenning. Den kraftige reduksjonen i N-deposisjon i 2001 hadde ikke en tilsvarende parallell i nitrattransport i feltet, mens økningen i 2003 også kunne gjenfinnes i feltet.

De to klareste transportøkningene er i mai-juni 1980 pga høye konsentrasjoner og i juni 1997 pga høy avrenning.

Skiftet i deteksjonsgrense i februar 1984 kan spille en rolle for resultatet. Det er fordi konsentrasjonsnivået generelt er lavt og ligger kun fem ganger høyere enn deteksjonsgrensen som ble brukt før 1984. "Høye" konsentrasjoner er overrepresentert før 1984 fordi verdier lavere enn deteksjonsgrensen på 10 µg/L er satt til 10 µg/L. Ved å sette inn verdien for den halve deteksjonsgrensen (5 µg/L) blir trolig dataene mer realistiske. Denne usikkerheten tilsier at transporten for denne perioden egentlig skal være enda lavere, og at de avvik i transport som er påvist kan være enda tydeligere.



Figur 20. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Kårvatn. Høyre del viser tilsvarende for avrenning (relative enheter).

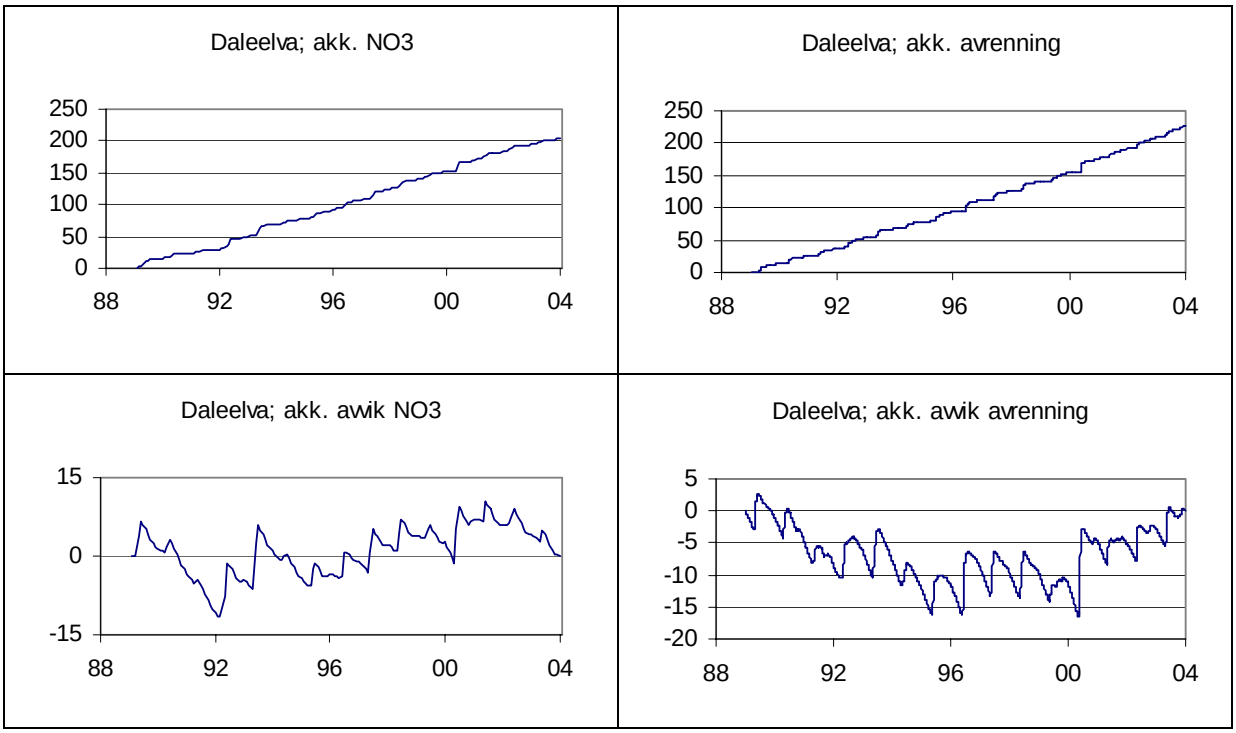
Dalelva

Dataserien fra Dalelva er fra august 1988, men det mangler data i perioden desember-88 til februar-89, så bearbeidingen her er fra mars 1989. Middeltransporten av NO_3-N i Dalelva var 1,13 kg N/mnd. Den var økende i nesten 10 år fra 1993, parallelt med økningen i N-deposisjon (**Figur 10**), og har hatt en reduksjon de siste to årene (**Figur 21**). Deposisjonen var lavere enn middelet i hele den siste perioden fra 1996, med unntak av høsten 1999. Avrenningen har avtatt fra starten og i perioden fram til 1995, men de siste fire årene har den vært større enn middelet. Sammenhengen mellom N-deposisjon, nitrattransport ut av feltet og avrenning er derfor ikke åpenbar.

En av årsakene til en lavere transport enn middelet helt innledningsvis i måleperioden er at vårflommen var svært beskjeden i 1991, mens konsentrasjonene ikke hadde spesielle avvik. Vårflommen de to påfølgende år og også stor avrenning i juni 1993 bidro til stor økning i nitrattransporten. Økt N-deposisjon i 1994 hadde ingen tilsvarende parallell i nitrattransporten ut av feltet.

Vintrene 1999 og 2000 kan kanskje illustrere noe som går igjen i datamaterialet fra feltforskningsområdene; høye konsentrasjoner vinterstid er assosiert med liten avrenning og stor

avrenning gir stor nitrattransport selv om konsentrasjonene er "normale". Våren 1999 (perioden 15.5-15.6) var det således svært liten avrenning (10 mill. m^3), men høye NO_3-konsentrasjoner, mens det i samme periode i 2000 var svært stor avrenning; 35 mill. m^3; dvs. 3,5 ganger så mye som året før.



Figur 21. Akkumulert nitrattransport (kg N; øverst, venstre) og akkumulert avvik fra middeltransport (nederst, venstre) for Dalelva. Høyre del viser tilsvarende for avrenning (relative enheter).

*Beregningen av **akkumulert nitrattransport og de avvik som framkommer** viser at felt preget av stabile vintere med jevnt snødekke har høy nitrattransport under snøsmeltinga, mens lavereliggende og kystnære felt med mildere vintere har en nitrattransport som er fordelt over hele vinteren. For den første gruppen er avrenningsmønsteret svært forskjellig fra mønstre i nitrattransport, mens mønstrene er langt mer sammenfallende for den andre gruppen. Dette indikerer at det er faktorer av betydning for snødekke som styrer fordelingen av nitrattransporten; skarpe økninger i N-deposisjon blir ikke fulgt av skarpe økninger i nitrattransport pga snøakkumulasjon. Den klare økningen av nitrattransport på vinterstid på Kårvatn er et resultat av både høyere konsentrasjoner og høyere avrenning om vinteren.*

3.3.4 Retensjon av nitrogen

Transportregnskapet for feltforskningsområdene viser balansen mellom deposisjon av nitrogen (reduserte og oksiderte former) i nedbørfeltene og transporten ut av nedbørfeltene. Begge størrelser er på arealbasis (mg N/m^2) og blir dermed direkte sammenliknbare. Transport beregnes på basis av målt konsentrasjon og vannmengde.

Det regionale mønsteret i transport av nitrat ut av feltforskningsområdene henger nøye sammen med N-deposisjonen. En enkel regresjon viser at N_{inn} (summen av NO_3-N og NH_4-N i deposisjon) forklarer mer enn 50 % av variasjonen i N_{ut} (NO_3 - transporten). Nitrattransporten ut av feltområdene varierer

imidlertid innenfor 3-26 % av den totale N-mengden som kommer med nedbøren (**Tabell 11**). Det er derfor en påfallende stor variasjon og det er grunn til å se nærmere på usikkerheten i datagrunnlaget.

Beregnet transport av nitrogen ut av nedbørfeltene er relativt pålitelig fordi målingene er foretatt i selve nedbørfeltene. Deposisjonsdata, derimot, er i hovedsak hentet fra målestasjoner som ligger lavere i terrenget enn feltforskningsområdene. Dette gir et til dels stort avvik i forhold til det som ville blitt målt innenfor feltet. Dette gjelder for eksempel på Kårvatn, der nedbøren blir målt nede i dalen. NVE Atlas viser at avrenningen her er mindre enn halvparten av middelet for nedbørfeltet. Vi antar derfor at også deposisjonen kan være om lag halvparten i dalbunnen. En dobling av deposisjonen gir N_{ut}/N_{inn} på 7-8 %, dvs. en halvering.

For Storgama er avrenningen en tredel på nedbørstasjonen Treungen i forhold til inne i Storgamafeltet. En tredobling av deposisjonen gir N_{ut}/N_{inn} på om lag 5 %. En justering bør trolig også gjøres for Birkenes fordi målestasjonen ligger i dalbunnen, mens feltet går opp til 300 meters høyde.

Øygardsbekken har Skreådalen som "sin" nedbørstasjon. Her er forholdet mer komplisert fordi nedbørstasjonen ligger 40 km innover i landet og har 20 % mindre avrenning. Deposisjonen er trolig også mindre fordi Øygardsbekken ligger nærmere europeiske og lokale (spesielt for NH_4) nitrogenkilder. Hvis vi antar minst 25 % større deposisjon enn målt, kommer N_{ut}/N_{inn} ned til om lag 20 %, som fortsatt representerer en betydelig nitrogenlekkasje. Denne stasjonen skiller seg derfor markant ut siden N-lekkasjen etter justeringer blir under 10 % for de seks andre.

For Svartetjern antas det at avviket er lite i og med at nedbørstasjonen ligger svært nærme, men høydeforskjellen tilsier at deposisjonen i feltet trolig er større enn målt. For stasjonsparet Karpbukt og Dalelva gjelder trolig også at depsisjonen er høyere i feltet enn målt fordi nedbørstasjonen ligger kun 20 moh, mens feltet kommer opp i 240 moh.

Usikkerhetene her er til dels store, og det er foreslått en metodikk for å korrigere for effektene av forskjellig beliggenhet av målestasjonene. Metoden baserer seg på en korreksjon i forhold til årlig kloridtransport, idet en antar at klorid inn i et nedbørfelt er lik klorid ut av feltet over denne tidsperioden, dvs. at klorid går upåvirket gjennom jorda. Problemer med redusert deposisjon av klorid i en gradient fra kyst til innland fører imidlertid til at denne metoden kan være lite anvendelig for enkelte felt. Vi vil derfor ikke gå videre med disse regnestykkene. Det er imidlertid grunn til å understreke at den målte variasjonen i deposisjon antas å representere variasjonen i feltenes deposisjon på en akseptabel måte. Deposisjon kan dermed brukes som forklaringsvariabel i analyser.

Tabell 11. Transportregnskap for feltforskningsområdene. Deposisjon (N_{inn}) av NO_3^-, NH_4^+ og summen av de to er beregnet, samt NO_3-transport i utløpet av feltforskningsområdene. Transport ut i prosent av total deposisjon er også vist. Det er brukt middeltall for de ulike datasettene. Se tekst for tolkning av disse beregningene; N_{inn} er for lav i de fleste tilfeller slik at lekkasjen overestimeres.

Feltområde	Areal Km^2	$NH_{4\ inn}$ mgN/m^2	$NO_{3\ inn}$ mgN/m^2	N_{inn} mgN/m^2	$NO_{3\ ut}$ kgN/mnd	N_{ut} mgN/m^2	N_{ut}/N_{inn} %
Langtjern	4,8	312	279	591	6,2	15,5	2,6
Storgama	0,6	369	399	768	6,1	122	15,9
Birkenes	0,41	757	769	1526	5,1	148	9,7
Øygardsbekken	2,55	606	546	1152	63,9	301	26,1
Svartetjern	0,57	697	589	1286	6,0	125	9,7
Kårvatn	25	136	91,4	227	69,6	33,4	15
Dalelva	3,2	56,9	53,4	110	1,1	4,2	3,8

Data i **Tabell 11** med korreksjonene nevnt over viser at Langtjern og Dalelva har lavest utlekking (størst N-retensjon), noe som kan være styrt av lite N-deposisjon og/eller opptak i skog. Birkenes har 90 % skog i nedbørfeltet, og tenderer derfor mot høy N-retensjon pga opptak. Skogen er imidlertid gammel, og retensjonen kunne trolig vært enda større med en yngre bestand. Høy N-deposisjon over lang tid kan ha bidratt til en viss grad av N-metning i Birkenes, en tendens som er klart forsterket i Øygardsbakken. Vi må her understreke at antall felt er lite og at resultatene ikke bør overtolkes.

N-retensjon i feltforskningsområdene *er beregnet å være mellom 3 og 26 % av N-deposisjon. N-deposisjonen er imidlertid underestimert fordi deposisjonsmålingene er foretatt i lavereliggende strøk sammenlignet med nedbørfeltenes beliggenhet. N-retensjonen i Øygardsbekken i Bjerkreim er likevel klart lavere enn i alle andre felt, og tyder på at dette feltet er preget av nitrogenmetning i jorda.*

3.4 Kopling av nitratkonsentrasjoner og klimadata

I tidligere avsnitt er det vist trender i N-deposisjon og konsentrasjon og transport av nitrat i feltforskningsområder og elver. Vi har sammenliknet mønstere for nitrattransport med mønstere i deposisjon og avrenning. Det er antydet mulige sammenhenger mellom disse datasettene og klimavariasjon.

I dette avsnittet prøver vi å teste om det er statistiske sammenhenger mellom nitratkonsentrasjoner og ulike forklaringsvariable. N-deposisjon ved feltforskningsområdene har enten vært uendret over tid eller noe avtagende, men det er ingen helt klare trender når alle disse dataene ses under ett. Sammenligning av avvikene i N-deposisjon og i nitrattransport i feltforskningsområdene ga ingen tydelige sammenhenger, men det er åpenbart at deposisjonen er viktig for nivået på nitrattransporten. I første omgang (denne rapporten) velger vi å se bort fra N-deposisjon som forklaringsvariabel for variasjon i nitratkonsentrasjoner.

3.4.1 Fire feltforskningsområder

Årsmiddelverdien av nitrat for de fire feltforskningsområdene med de lengste dataseriene ble koplet mot klimavariablene, som per definisjon er gitt for et kalenderår, som for eksempel lengde av vekstsesongen og antall smelteepisoder. Den årlige middelkonsentrasjonen av nitrat ble beregnet fra månedlige middelkonsentrasjoner, fordi prøveantallet varierte fra år til år. Dersom det var færre enn 9 måneder med prøver i ett år, ble dette året slettet fra datamaterialet.

Tabell 12. Resultater av enkle lineære regresjonsanalyser for nitratkonsentrasjoner i avrenningsvann og ulike klimavariable for fire feltforskningsområder. Signifikante ($p<0,05$) sammenhenger er i bold.

	Storgama		Kårvatn		Langtjern		Birkenes	
Variabel	r^2	t-verdi	r^2	t-verdi	r^2	t-verdi	r^2	t-verdi
Graddagsum (GDD)	0.08	-1.5	0.07	0.07	**0.17**	**-2.4**	0.00	-2.4
Lengde vekstsesong	0.06	-1.3	0.02	0.02	**0.16**	**-2.3**	0.02	-2.3
Antall dager med smelteepisoder	0.10	-1.7	0.15	0.15	0.01	0.1	0.05	-0.6
Antall dager med frost uten snødekke, høst	0.01	-0.5	0.12	0.12	0.05	0.1	0.00	-1.1
Antall dager med frost uten snødekke, vår	0.00	-0.2	0.02	0.02	0.09	0.5	0.01	-1.6
Første dag uten snø	0.06	1.3	**0.15**	**-2.0**	**0.15**	**2.2**	0.01	2.2
n	28		25		29		29	

Den variabelen som forklarte mest, og som var signifikant, er 'growing degree days' eller 'graddagsum' (GDD), altså summen av grader over terskeltemperaturen (5^0C) i vekstsesongen (**Tabell 12**). 'Growing degree days' forklarte 17 % av variasjonen på Langtjern og var negativt korrelert med nitrat. Lengden på vekstsesongen på Langtjern forklarte omtrent like mye som GDD. Dagnummer for den første snøfrie dagen forklarte 15 % av variasjonen i årsmiddelverdier i Kårvatn og Langtjern, men viste en negativ, henholdvis positiv korrelasjon med årlig middelverdi for nitrat. Det motsatte tegnet for sammenhengen mellom den første snøfrie dagen og nitrat for Kårvatn og Langtjern henger sammen med den motsatte utviklingen i nitrat på begge stasjoner: en økning i Kårvatn og en nedgang på Langtjern. På begge stasjoner er det en trend mot en tidligere avslutning av snøsmelting.

Antall dager med frost uten snødekke om høsten og om våren, og antall dager med smelteepisoder viste ingen signifikante sammenhenger med årlig middelverdi for nitrat og vises ikke i **Tabell 12**. Det er mulig at disse variablene har en sammenheng med nitratkonsentrasjoner midlet over en mer egnet periode enn år, men det er ikke testet her.

Den betydelige nedgangen i nitratkonsentrasjoner på Storgama kunne ikke forklares ved hjelp av de undersøkte forklaringsvariablene.

Bruken av de ovennevnte klimavariablene ga altså ingen stor, men til dels motstridende forklaring av variasjonen i årlig middelverdi av nitrat. En tolkning av modellen for henholdsvis Langtjern og Kårvatn ville være at effekten av klimaoppvarming - økt lengde av vekstsesongen, økt GDD og tidligere snøsmelting – minsker henholdvis øker nitratavrenning. Klimaoppvarming vil derimot ikke bety noe særlig på Storgama og Birkenes, ifølge denne regresjonsmodellen. Det er imidlertid mer sannsynlig at de faktorene som styrer nitratavrenning er mer kompliserte enn det de enkle forklarings-variablene kan vise. Andre variable og kortere tidsintervaller må også testes for å forsøke å få til en bedre forklaring på variasjonene i nitratkonsentrasjoner.

Årsmiddelverdier av nitratkonsentrasjoner for fire feltforskningsområder viste til dels dårlige og motstridene sammenhenger med graddagsum (growing degree days) og lengde vekstsesong i en enkel lineær regresjon. Opptil 17 % av variasjonen i årsmiddelverdien ble forklart. Det er imidlertid sannsynlig at faktorene som styrer årlige variasjoner i nitratavrenning er mer sammensatt enn en enkel lineær regresjon kan vise, at tidsoppløsningen er for grov eller at mer velegnete forklaringsvariable ikke ble brukt.

3.4.2 Nærmere analyser for Storgama

En matrix bestående av ukentlige målinger av nitrat fra Storgama koplet mot ulike forklaringsvariable er utgangspunkt for en enkel og multippel regresjonsanalyse. Forklaringsvariablene er integrert over ulike tidsintervaller; 1 dag, 3 dager, 1 uke, 1 måned, 3 måneder, 6 måneder, 1 år og 3 år beregnet bakover i tid fra prøvetakingsdato. Det er for å teste om været *under* og *før* prøvetaking hadde betydning for den målte nitratkonsentrasjonen. Resultatene av en enkel lineær regresjon av temperatur, nedbør, vannføring, snødybde og snødekke integrert over ulike tidsintervaller er vist i **Tabell 13**.

Det kan se litt merkelig ut å beregne gjennomsnittlig snødybde for de siste 3 årene når snødybde er en variabel som er så tydelig knyttet til årstid. Likevel er det slik at denne variabelen viser en klar og signifikant nedgang over tid, noe som antageligvis henger sammen med lengre vekstsesong og flere smelteperioder i vintersesongen. Altså kan en slik variabel være en indikasjon på endret klima, mens gjennomsnittlig snødybde beregnet over de 3 månedene før prøvetaking er mest en indikasjon på sesongvariasjon.

Snødybde er den variabelen som forklarer mest, nemlig opptil 37 % av variasjonen. Variablene som er integrert over 3 og 1 år gir stort sett svært signifikante sammenhenger, men forklarer ikke mer enn opptil 7 % av variasjonen. Det er altså signifikante langtidseffekter. Variablene som er integrert over 1 – 6 måneder forklarer fra 0 % opp til 40 % av variasjonen. Spesielt snøvariablene, integrert over 3 og 1 måneder forklarer mye. Tegnet for effekten på nitratkonsentrasjonen er det samme uansett tidsintervall, unntatt for nedbør. Tidsintervallene fra 1-6 måneder er i stor grad knyttet til sesongsvariasjon. Variablene som er integrert over de tre korteste tidsintervallene forklarer fra 0 % og opp til 32 %. Det er spesielt snø og temperatur som slår ut.

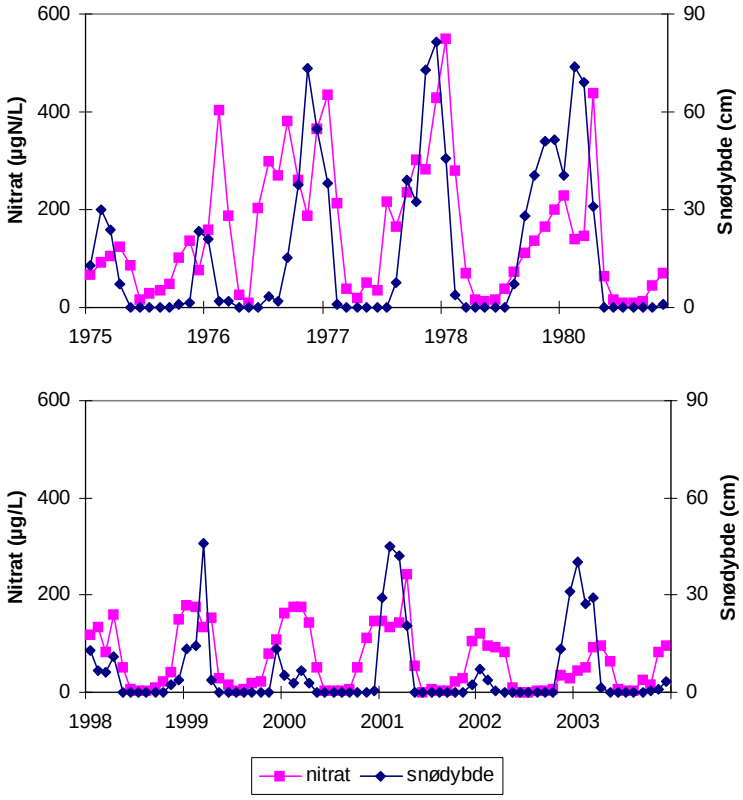
Tabell 13.. Resultater av enkel lineær regresjon for nitratkonsentrasjoner i Storgama mot variablene i tabellen, integrert over ulike tidsintervall (år, måneder og dager) før prøvetaking. 1 dag refererer til selve prøvetakingsdagen. **** p < 0,0001; *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05. n er ca 1400.

Variable	Antall år	r^2	t-verdi	p	Antall mnd.	r^2	t-verdi	p	Antall dager	r^2	t-verdi	p
Vannføring	-	-	-	-	6	0,06	-9,3	****	7	0,01	3,8	****
Snødybde	-	-	-	-		0,11	14	****		0,25	22	****
Snødekke	-	-	-	-		0,07	11	****		0,32	27	****
Temperatur	-	-	-	-		0,10	-13	****		0,23	-21	****
Nedbør	-	-	-	-		0,04	8,0	****		0,01	-4,4	****
Vannføring	3	0,07	-9,7	****	3	0,06	-10	****	3	0,02	5,4	****
Snødybde		0,05	8,5	****		0,37	30	****		0,22	20	****
Snødekke		0,05	8,4	****		0,30	25	****		0,30	25	****
Temperatur		0,02	-5,2	****		0,31	-26	****		0,21	-20	****
Nedbør		0,02	-5,1	****		0,00				0,01	-3,6	****
Vannføring	1	0,00	-2,1	*	1	0,00	-2,2	*	1	0,02	6,0	****
Snødybde		0,07	11	****		0,41	32	****		0,19	19	****
Snødekke		0,04	7,4	****		0,38	31	****		0,28	24	****
Temperatur		0,02	-5,4	****		0,31	-26	****		0,19	-18	****
Nedbør		0,00				0,02	-5,0	****		0,01	-3,0	**

Tegnet for effekten på nitratkonsentrasjon er positivt for snøvariablene, og dette tyder på at mer snø og mer snødekke øker nitratkonsentrasjoner. Omvendt gir lavere snødekke lavere nitratkonsentrasjoner. Dette er i samsvar med tolkninger som er gjort i tidligere avsnitt, spesielt om akkumulert nitrattransport, hvor mildere vintre ofte sammenfalt med lavere nitrattransport. Prosessen bak dette kan være at mye snø isolerer jorda, slik at jordtemperaturen holder seg oppe og mineralisering av organisk materiale og produksjon av nitrat kan fortsette under snøen, som da blir vasket ut under snøsmeltingen. I tillegg skjer det en oppsamling av langtransportert nitrogen i snødekket. Vi har illustrert sammenfallet mellom snødybde og nitratkonsentrasjon for Storgama i **Figur 22**, der data for de fem første og de fem siste årene i overvåkingsperioden er vist.

Vannføring veksler tegn fra positiv til negativ i de korteste tidsintervallene. Dette kan tyde på at mye vannføring fortynner nitrat på kort sikt, men at høy vannføring på lengre sikt fører til økte nitratkonsentrasjoner. Det samme synes å gjelde temperatur; noen dager med høy temperatur medfører en økning i nitrat, men sett over et intervall på 1-6 måneder er det en sterk negativ effekt. Dette er antageligvis knyttet til veksling mellom sommer og vinter. I et tidsperspektiv på 1-3 år er det en negativ effekt av temperatur på nitrat. Nedbør forklarer uansett tidsintervall lite av variasjonen.

En analyse av nitratkonsentrasjoner fra Storgama basert på forholdene i ulike perioder forut for prøvetaking viste at snødybde forklarte opptil 37 % av variasjonen. Både variabler som var knyttet til langtidsvariasjon og sesongvariasjon var signifikante. Temperatur og vannføring var godt korrelert med nitrat, mens nedbør stort sett bidro lite til forklaringen av variasjonen i nitratkonsentrasjon.



Figur 22. Samvariasjon mellom nitratkonsentrasjon og snødybde i første og siste del av undersøkelsesperioden på Storgama.

Enkel lineær regresjon viser at noen enkeltvariable forklarer mye av variasjonen i nitrat. Det gjelder både sesongvariasjon, langtidsvariasjon og variasjon over noen dager. Variablene, og deres interaksjon, kan brukes i en multippel regresjon for å øke forklaringsgraden av nitratkonsentrasjoner på Storgama. I en multippel regresjonsmodell er det viktig å være kritisk med hensyn på hvilke variable som velges, fordi mange av dem er korrelert med hverandre. Det gjelder for eksempel snødybde og temperatur, eller vannføring og nedbør, spesielt når intervallene de er integrert over er de samme eller ligger nær hverandre. Metoden som brukes her er en 'stepwise' lineær regresjon, og det kritiske utvalget av variable kalles for 'pruning'. Akaike's Information Criterion (AIC) blir brukt for å velge det beste antall variable i modellen (Akaike, 1974). Modellen med den laveste verdien for AIC er best.

Variablene i regresjonsmodellen vises i **Tabell 14**. Målt og predikert nitrat vises i **Figur 23**.

Tabell 14. Resultat av multippel lineær regresjon for nitratkonsentrasjoner på Storgama og ulike forklaringsvariable. **** p < 0,0001; *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05. n = 1326.

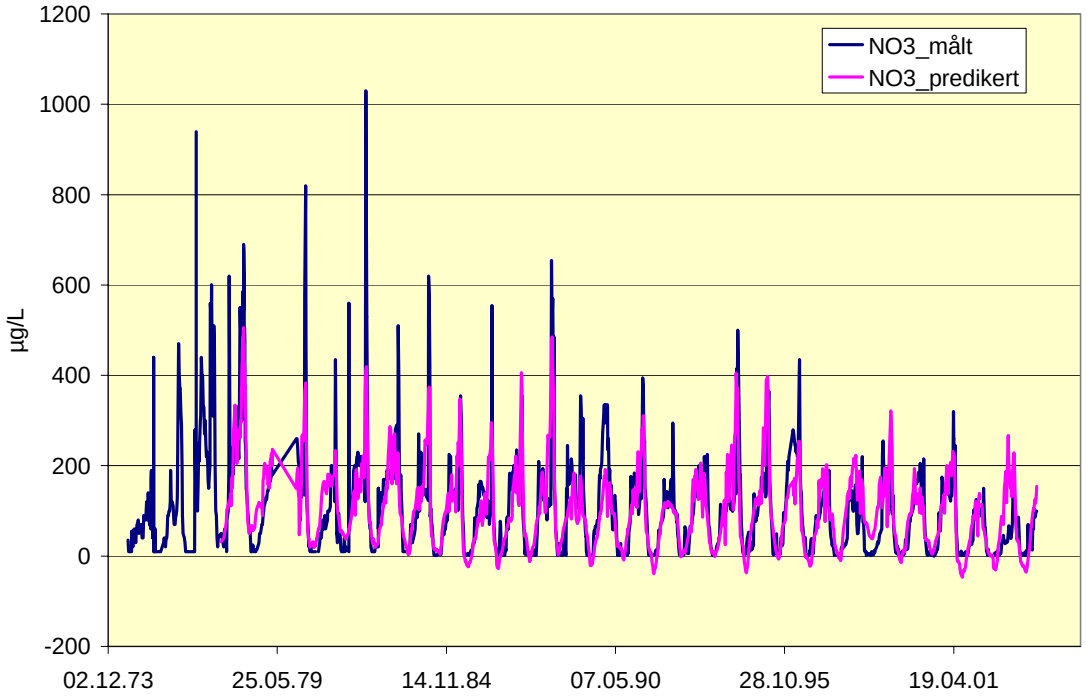
Intervall	Variabel	Helning	Bidrag til r^2	p
1 dag	snødekke	-	0,08	****
1 måned	snødekke (s)	+	0,23	****
	temperatur (t)	-	0,05	****
	interaksjon s x t	+	0,10	****
3 måned	nedbør	+	0,04	****
1 år	snødekke	+	0,03	***
	temperatur	+	0,06	****
3 år	snødybde (s)	+	0,03	****
	vannføring (v)	-	0,07	****
	interaksjon s x v	-	0,02	*
		r^2	0,70	

Den multiple regresjonsmodellen forklarer 70 % av den totale variasjonen i nitratkonsentrasjoner på Storgama. Snødekke, temperatur og deres interaksjon i 1-månedsintervallet bidrar mest til forklaringen (38 %). Variablene fra 1-års- og 3-års intervaller bidrar med 21 % av forklaringen, mens det korteste intervallet på 1 dag bidrar med 8 %.

Figur 23 viser at sesongsvariasjonen er godt beskrevet av denne modellen, men at nitrattoppene blir underestimert fram til om lag 1995, og at den siste toppen i 2003 blir overestimert. Det er også slik at nitratkonsentrasjonene om sommeren blir underestimert, og kommer dels med negative verdier, spesielt sent i perioden. Predikert nitratkonsentrasjon over tid viser en noe større nedgang enn det som er målt. Det viser at variablene i modellen ikke representerer de faktorene som styrer langtidstrenden av nitrat godt nok.

Nedgangen i hyppigheten av høye konsentrasjoner er altså ikke godt beskrevet av modellen. Høye konsentrasjoner av nitrat varer kort tid, og det er påfallende at det er kun 1 variabel i modellen for et tidsintervall under 1 måned. Antall smeltedager kan bidra til å beskrive disse høye nitratkonsentrasjoner bedre, men så langt er denne variabelen kun gitt per kalenderår. Det er også mulig at akkumulert N-deposisjon om vinteren ville bidratt til å øke forklaringsgraden.

En modell basert på multippel regresjonsanalyse av klimavariable, aggregert over ulike tidsintervaller, mot ukentlige nitratkonsentrasjoner fra Storgama forklarer 70 % av all variasjon i nitrat. Snødekke forklarer mest og er positivt korrelert med nitrat. Variable som er integrert over tidsintervaller fra 1 til 3 år bidrar med 21 % av forklaringen. Modellberegnet nitratkonsentrasjon viser en større nedgang over tid enn målt nitrat. I en videre analyse må også N-deposisjon inkluderes som forklaringsvariabel.



Figur 23. Målt og predikert (modellberegnet) nitratkonsentrasjon (µg N/L) på Storgama. Modellen er vist i **Tabell 14**.

3.5 Kopling mot regional klimavariasjon

Nitratdata fra vassdragene og feltforskningsområdene er koplet til regional klimavariasjon, uttrykt ved de fire trykkmønstrene som det er redegjort for. Basert på månedsmidler for nitratkonsentrasjoner i vinter- og vårmånedene og for indekser er det gjennomført multiple regresjonsanalyser for feltforskningsområdene. Som **Tabell 15** viser, er det funnet signifikante sammenhenger ($p<0,05$) mellom nitratkonsentrasjon og NAO eller NAO og EU for to av de fem elvene. Verken EATL eller SCAND hadde signifikante bidrag til forklaring av variasjonen for elvene.

Tabell 15. Resultat av multippel regresjonsanalyse av sammenhengen mellom månedsmidler for nitratkonsentrasjon i feltforskningsområdene og elvene for fire ulike sirkulasjonsmønstere, se metodekapittelet.

Lokalitet	Signifikante trykkmønstere	p-verdi	r^2	Kurvehelling
Langtjern	-			
Storgama	-			
Birkenes	EATL	<0,05	0,02	negativ
Svartetjenn	NAO	0,02	0,11	negativ
Øygardsbekken	NAO	0,03	0,08	negativ
Kårvatn	NAO+EU	0,001	0,10	negativ + negativ
Vikedal				
Nausta	-			
Trodøla	NAO	<0,001	0,19	negativ
Sæta	NAO+EU	0,002	0,12	negativ + negativ
Øyensåa	-			

For feltforskningsområdene var også NAO viktigst (tre felt), mens EATL alene (Birkenes) og EU i kombinasjon med NAO (Kårvatn) også ga signifikante sammenhenger.

At EU hadde betydning for Kårvatn er interessant fordi EU i sin positiv fase er assosiert med kraftige vinder i akkurat dette området. SCAND hadde ingen signifikant sammenheng med variasjonen i våre data, men er blitt assosiert med den situasjonen som frambrakte flommen høsten 2000 over UK (Blackburn og Hoskins 2001) og sør på Østlandet. Denne situasjonen ser imidlertid ut til å være et særfenomen (op.cit), og SCAND gir åpenbart ikke et systematisk bidrag til forholdene sør i landet.

Modellene viser at lave NAO-indekser gir høye NO_3-konsentrasjoner (negativ kurvehelling). Det vil si at høye konsentrasjoner først og fremst opptrer i kalde vintre.

Denne koplingen mellom indekser og NO_3 må generelt sies å være forholdsvis svak, og langt svakere enn koplingen til sjøsaltepisoder. Det kan skyldes at klimatiske forhold som kan relateres til negative eller positive faser av NAO eller andre indekser ikke gir et entydig utslag og/eller at det er en svak sammenheng mellom indeksene og den type klimavariasjon som påvirker NO_3-konsentrasjonen.

Men svake korrelasjoner kan også skyldes at analyser basert på månedsverdier ikke er en optimal måte å kople slike data. Det kan for eksempel tenkes at en gitt fase av de regionale klimamønstre gir klimaforhold som påvirker nitrogenomsetningen i jorda i en gitt retning (økt eller redusert frigjøring av NO_3), men at resultatet i bekkene først manifesterer seg som en stor eller liten NO_3-transport i våravrenningen. Vi har derfor beregnet NO_3-transport for vinter, vår og for summen av de to og analysert sammenhengen med månedsmiddelverdier for NAO i disse periodene.

Analyser av NO_3-transport for vinter (desember-februar), vår (mars-april) og vinter+vårsesongen (desember-april) mot middelverdier av NAO for disse periodene ga kun en signifikant sammenheng for Storgama, nemlig mellom NO_3-transport i mars-mai og sesongmiddelet (desember-april) for NAO. NO_3-transporten i mars-mai eller i mars+april mot NAO for mars+april ga ingen signifikant sammenheng. Det vil si at denne analysen ikke ga noen klarere holdepunkter for en sammenheng mellom NO_3 og regionale klimamønstre i dette området.

I Birkenesfeltet var det en signifikant sammenheng med EATL, og vi gjorde tilsvarende analyser her for å se om sammenhengen bedret seg ytterligere og om det kom klarere fram hvilke perioder som er viktige. Det viste seg at både EATL for vinter og for vinter+vår hadde signifikant sammenheng ($p=0,02$) med sesongtransporten for NO_3. Ved de laveste negative verdiene for $EATL_{vinter+vår}$ var NO_3-transporten mer enn dobbelt så stor som ved de høyeste verdiene. Heller ikke med transportanalyser var det noen signifikant sammenheng med NAO i dette feltet.

Vi gjorde tilsvarende analyse for Kårvatn, hvor det jo var en klar sammenheng mellom NO_3-konsentrasjoner og NAO+EU. Her kommer imidlertid våravrenningen med høy NO_3-transport hovedsakelig i mai og juni, mens indeksene vi har valgt å holde oss til er for månedene desember-april. På den annen side: hvis værforholdene fra desember til april er reflektert i indeksene og forårsaker en spesielt stor eller liten NO_3-transport i mai-juni, må jo dette sies å være knyttet til klimamønsteret. Vi fant imidlertid ingen signifikante sammenhenger mellom klimaindeksene NAO og EU og NO_3-transporter for de ulike periodene.

Svartetjern og Øygardsbekken har bare 10 år med data, og vi har derfor ikke kommet videre med denne typen analyse. Transportberegninger for elvene Trodøla og Sæta kan imidlertid være egnet, men slike transporter er ikke beregnet.

Regional klimavariasjon, uttrykt med klimaindeksene NAO, EU og EATL, forklarte mellom 2 og 19 % av variasjonen i månedlige middelkonsentrasjoner av nitrat i overvåkingselver og feltforskningsstasjoner. Indeksene var alltid negativt korrelert med nitratkonsentrasjoner, som vil si at høye konsentrasjoner av nitrat opptrer i kalde vintre. I en videre analyse bør sammenhengen med klimaindeksene for ulike tidsintervaller før prøvetaking undersøkes.

4. Diskusjon

Forholdet mellom nitrogen og svovel i deposisjon er sterkt endret de siste årene og dermed den relative betydningen av N for forsuringseffekter i vassdrag. Et sannsynlig scenario ved ytterligere reduksjoner i S-nedfallet er at forsuringen reduseres på en generell basis, men at N-basert forsuring i episoder fortsetter å skape problemer for reetablering av sensitive organismer.

Episodisk forsuring vinter/vår kan i økende grad tilskrives nitrat fordi nitrat-relatert forsuring først og fremst vil opptre utenom vekstsesongen. For den Atlantiske villaksen er dette i utgangspunktet dårlig nytt, siden laksesmolten er spesielt sensitiv for surt vann når den omstilles fysiologisk til livet i sjøvann i mai/juni. Sammenfallet i tid mellom smoltutvikling og nitratbasert forsuring er derfor en viktig bakgrunn for den foreliggende rapporten om nitrogenutlekking og dens årsaker.

Nitrogenets rolle har fått betydelig oppmerksomhet de siste årene. Det er dels av grunner som er skissert over, dels fordi en rekke faktorer er med å avgjøre nivået for NO_3-konsentrasjoner og NO_3-transport, men ikke minst fordi den samlede effekten av disse faktorene er uoversiktlige og lite kjent.

I denne rapporten har vi studert lange dataserier fra de nasjonale overvåkingsundersøkelsene av N-deposisjon og nitrat i feltforskningsområder og elver. Både konsentrasjoner og transporter er undersøkt. Langtidstrender, avvikende perioder og spesielle episoder er koplet til klimavariasjon. Vi må understreke at rapporten er fra de første faser i et større prosjektsamarbeid og at en rekke av de forhold som er omtalt her blir undersøkt videre og rapportert på andre måter.

4.1 Trender i konsentrasjon og transport

Trender over flere år påvirkes først og fremst av faktorer som setter rammer for variasjon i konsentrasjon og transport, slik som deposisjon, avrenning og klimaforhold. Avrenning og klimavariasjon har sterke sesongmessige variasjoner, og med det som utgangspunkt gjennomførte vi en analyse av trender i konsentrasjon for alle feltforskningsområdene og i fem elver.

Elvene viste ingen entydige felles trender i nitratkonsentrasjon over de om lag 20 årene overvåkingsundersøkelsene varte, men en signifikant reduksjon på over en prosent årlig ble funnet i Vikedalselva, mens en signifikant økning ble funnet i Trodøla i Nausta. Overvåkingen ble stoppet i 2002, og det er derfor ikke mulig å følge utviklingen videre.

Storgama og dels Langtjern viste klare, nedadgående trender i nitratkonsentrasjon, spesielt på sensommeren og høsten, mens Kårvatn viste klare økninger i nitrat, spesielt om vinteren. Birkenes viste en økning i nitrat fra midten av 1990-tallet. Resultatene er tilsynelatende motstridende, men det kan tenkes årsaken kan ligge i påvirkning av forskjellige faktorer. Birkenes og Kårvatn er begge kystnære nedbørfelt, mens Storgama og Langtjern ligger lenger inn i landet. En regresjonsanalyse for Storgama viste at snødekke var en viktig forklaringsvariabel for variasjoner i nitrat. Det kan tenkes at

snødekke som forklaringsvariabel for endringer i nitratkosentrasjoner er mindre viktig i kystnære nedbørfelt som alltid har opplevd milde vintre, mens ustabile og milde vintre har blitt normalt siden nittitallet for nedbørfelt som Langtjern og Storgama.

På Storgama var det en klar tendens til påbegynt reduksjon i nitrattransport på slutten av undersøkelsesperioden. Selv ikke den forholdsvis store nitrattransporten høsten 2000 klarte å rokke ved dette. Det kan være at økende nedbørmengde i flere år kamuflerte en reduksjon i transport, og at dette kommer klarere til syne når nedbørmengden stabiliseres. Normaliserte konsentrasjoner i nedbør bør kunne avklare dette bedre.

Mens deposisjon gir rammer for transport over tid, vil avrenningen påvirke fordeling gjennom året og mellom år. Klimavariasjonen påvirker avrenningsmønsteret, men representerer også andre forhold, for eksempel fryse/tine-forhold vinterstid, tørkeforhold og muligheter for opptak i vegetasjonen. Det vil si at endringer i klimaforhold kan ha en mer uklar og sammensatt betydning for endringer i konsentrasjon og transport over tid.

Et viktig resultat er reduksjonen i nitrogenkonsentrasjon og -avrenning i de viktige vårmånedene april og mai på Storgama. Endringen om høsten er prosentvis like stor som endringer i april og mai for konsentrasjoner, men på langt nær så stor i absolutte verdier. Nedgangen i nitrattransport i april og mai over måleperioden er på hele 65 %, dvs. langt større enn alle andre endringer vi har identifisert. Her er det åpenbart at klimaforhold spiller inn, og siden variasjonen i snødekke og temperatur var viktig for variasjonen i nitratkonsentrasjon, er det trolig også endringer i disse faktorene som kan forklare endringen i nitrattransport over tid. Gradvis mindre snøakkumulering og dermed mindre av tradisjonell snøsmelting kan være viktigst, men økt temperatur kan også endre vekstsesongens lengde og framskynde oppstarten. Dette kan forsterke reduksjonen i både konsentrasjon og transport, spesielt i mai.

4.2 Betydningen av snø og temperatur

Resultatene i denne rapporten viser at N-dynamikken vinter og vår er sterkt påvirket av temperatur og snøforhold. Det gjelder både nitratkonsentrasjon og -transport. For nitratkonsentrasjonene på Storgama er det satt opp en modell basert på ulike kombinasjoner av disse faktorene som forklarer hele 70 % av variasjonen i konsentrasjon. Men langtidstrenden er ikke tilstrekkelig forklart med denne modellen, og spørsmålet er hvilken betydning konsentrasjoner i nedbøren og deposisjon av NO_3 og NH_4 har. Målt konsentrasjon i nedbør er volumveid middelkonsentrasjon i bulkprøvetakere, og ved å multiplisere med vannmengden får en N-deposisjon i mg/m^2. Det er ikke funnet signifikante endringer, men normaliserte konsentrasjoner, der variasjonen i vannmengde er tatt bort, er ikke analysert. Det kan være at denne eller en annen variant av nedbør-N kan forklare en del av variasjonen i nitratkonsentrasjon i avrenningsvannet i feltene.

Nitrattransporten i feltforskningsområdene skjer hovedsakelig om våren i høyereliggende felt med innlandspreg, dvs. felt med ”typiske” norske vinterforhold. Over 50 % av transporten skjer om våren i fire av de sju feltene, mens transporten er jevnere fordelt over vinteren i kystnære felt.

Endringer i fordelingen av nitrattransport vinterstid i høyereliggende innlandsfelt kan bety at slike områder får et avrenningsmønster og en nitrattransport som nærmer seg de vi har beregnet for lavereliggende kyststrøk, representert ved for eksempel Birkenesfeltet. Tendensen til at stabile vintre med permanent snødekke erstattes av vintre med periodevis snøavsmelting kan vise seg å bli tydeligere i årene framover, både fordi endringene blir større, men også fordi datagrunnlaget blir mer egnet for å få fram slike endringer.

Vi har identifisert en rekke vintersituasjoner der den typiske vårtransporten av NO_3 er uteblitt eller har vært langt lavere enn normalt for feltet. Disse vintrene er ofte svært kalde og snøfattige (vinteren

1996) og kjennetegnet av høye nitratkonsentrasjoner (Øygardsbekken). Nitrattransporten kan også være bedre fordelt over hele vinteren hvis vinteren har vært usedvanlig varm (snøfattig). I disse vintrene er det gjerne også stor avrenning.

Vintre med sterkt redusert "vår"-transport av NO_3 identifiseres lett i figurene for akkumulert avvik i nitrattransport. Disse vintrene bidrar til et generelt avtak i nitrattransport over tid fordi reduksjonen ikke ser ut til å bli kompensert ved økning seinere på året. Det kan imidlertid være nyttig å se på lange tidsforsinkelser (1 og 3 år) for å se om eventuelt opplagret NO_3 kan transporteres ut neste vår. Med enda lengere tidsserier kunne en for eksempel ha sammenliknet nitrattransport året etter for vintre med normal og uteblitt vårtransport.

Vi har også forsøkt å se nærmere på nitrattransporten i det vi vil oppfatte som typisk kalde og varme vintre utfra avvik i lufttemperaturen på Storgama. Men for tre år med varme vintre etterfulgt av tre år med kalde vintre fant vi ingen forskjell i transport. Men vi fant at nitrattransporten våren 1988 (etter den varme vinteren) var svært høy. Forklaringen her er at det var betydelig snøakkumulering denne vinteren til tross for at lufttemperaturene ikke var svært lave, og at konsentrert snøsmelting i april og mai resulterte i den store transporten. Her må vi også legge til at det er temperaturavvik mellom stasjonen på Treungen og feltforskningsområdet på Storgama, slik at snøkkumuleringen kan ha foregått ved noe lavere temperaturer enn de som måles på Treungen.

4.3 Avrenningens betydning

Diskusjonen over er ikke frikoplet fra en diskusjon om hvordan avrenningsmønsteret påvirker nitratkonsentrasjoner og nitrattransport. Vi velger likevel å diskutere avrenningens betydning spesielt, dels fordi avrenningsmønsterets påvirkning har generell interesse og dels fordi forholdet mellom konsentrasjon og mengde/transport er interessant i seg selv. Mens nitratkonsentrasjonen kan være viktig for om ferskvann er surt eller ikke, er det først og fremst transporten (mengden) som er viktig for en eventuell påvirkning i kystområdet.

Trenden i nitrattransport er delvis frikoplet fra trenden i avrenning. Det vises tydelig i figurene for akkumulert avvik ved at mønstrene for flere felters vedkommende er forskjellig. Mens det er tydelige forskjeller for høyereliggende innlandsfelt som Langtjern, Storgama og Kårvatn, er det en langt bedre sammenheng for feltene nær kysten, som Øygardsbekken og Svartetjern. Det viser at områder med mindre snøakkumulering har en bedre fordeling av nitrattransporten over året og dermed et mønster i nitrattransport som er sterkere koplet til avrenningen. For kaldere områder med varierende grad av snøakkumulering vil faktorene temperatur og snødekke være avgjørende for mønsteret.

Vi har også studert perioder med stor avrenning i andre deler av året enn vinter/vår. En spesielt interessant periode er høsten 2000 på Østlandet, da det kom usedvanlig store nedbørmengder i perioden oktober-november. Nitrattransporten i denne perioden ble imidlertid bare på nivå med normal nitrattransport for april og mai i Birkenesfeltet og på Storgama. Langtjern ligger så langt nord at området ikke ser ut til å ha blitt rammet av de store nedbørmengdene. Dette understreker betydningen av vinter/vår for den totale nitrattransporten.

Stor avrenning vil fortynne en del stoffer i vann, for eksempel basekationer (Ca og Mg), mens andre stoffer (for eksempel løst organisk stoff) drives ut av jorda med avrenningen og her er mønsteret mer komplisert. For atter andre, slik som sjøsalter, er høye konsentrasjoner nær knyttet til spesielle episoder. Et generelt mønster ser ut til å være at høye NO_3-konsentrasjoner sammenfaller med liten vannføring (Øygardsbekken i 1996 og Svartetjern i 1996 og 2001), men dette er ikke studert eksplisitt her, samt at det er funnet klare unntak fra dette mønsteret ved at høy konsentrasjon har bidratt til høy nitrattransport.

4.4 Effekten av regional klimavariasjon

Regional klimavariasjon, representert ved en eller to av fire dominerende klimamønstre i den euro-atlantiske sektor, har en signifikant betydning for variasjonen i nitratkonsentrasjoner i fire av seks undersøkte feltforskningsområder (Dalelva er ikke analysert) og i to av de fem elvene. Men sammenhengene er langt mindre markant enn det som er funnet for sjøsalter (Hindar et al. 2004). Det henger sammen med de forhold som ble nevnt innledningsvis, at nitrogendynamikken i jord og vassdrag er langt mer komplisert og at det er andre faktorer som i sterk grad påvirker konsentrasjoner og transporter.

Som for sjøsaltepisoder på Vestlandet, er det NAO som er viktigst og som forklarer mest av variasjonen. Men her er det et motsatt forhold; det er ikke varme, våte vintre (typisk for høy NAO-indeks) som frambringer høye nitratkonsentrasjoner. Det er, som vi allerede har diskutert, de kalde vintre (med negativ NAOI) som assosieres med høye konsentrasjoner.

Det er verdt å merke seg at NAO er sterkest assosiert med nitratkonsentrasjoner i Trodøla, mens det ikke ble funnet en signifikant sammenheng for "modervassdraget" Nausta. Det kan tenkes at de klimaforhold NAO representerer påvirker nitratkonsentrasjonen mer direkte i et lite, høyereliggende felt som Trodøla framfor et sammensatt vassdrag som Nausta.

Det klimamøsteret som er identifisert som European Blocking (EU) har betydning for feltforskningsområdet Kårvatn og elva Sæta. East-Atlantic pattern har en signifikant betydning for Kårvatn, men ikke for de andre områdene. Som vi allerede har diskutert, var det en økning i N-transporten i Kårvatn. Videre undersøkelser kan avdekke hvilken forbindelse det er mellom disse funnene.

Det ble antatt at klimamønstrene kunne påvirke nitrattransporten i perioden vinter og vår, men middelverdier for ulike indekser for periodene vinter, vår og vinter+vår ga ikke tydelige holdepunkter for at dette var situasjonen. Enkelte signifikante forhold ble imidlertid avdekket, som at EATL hadde en klar sammenheng også med nitrattransporten i Birkenes for perioden vinter+vår.

4.5 Det kan bli mer gunstig for laksen

Noe av bakgrunnen for dette arbeidet er den biologiske relevansen av endringer i nitrogendynamikken, spesielt de endringer i forsuringseffekt dette måtte ha.

Flere av de resultatene som er presentert her kan være fordelaktig for laksen, spesielt i forsurede vassdrag som mottar mye av sin avrenning fra høyereliggende områder. Viktigst er trolig en klimabasert forskyvning av NO_3-transporten fra vårmånedene til vinteren. Dette kom klart fram for Storgama, hvor transporten i april og mai var sterkt redusert og hvor det var en antydning til økning i vintermånedene januar-mars. Årsakene til dette er "klimakaskaden": høyere temperatur→ mindre snøakkumulering→ kortere og mer oppsplittet periode med snødekke→ framskyndet vekstsesong.

Hvis nitratavrenningen framskyndes, vil det si at laksen vil oppleve mindre nitrogenbasert forsuring i sin mest følsomme livsfase, nemlig smoltifiseringsperioden om våren. Samtidig er dette allerede situasjonen i lavereliggende områder, slik som vist for Birkenesfeltet. Her er det en helt annen fordeling av nitrattransporten, med større transport i januar-mars enn i april+mai. Det viser at lavereliggende laksevassdrag allerede nå kan ha et fortrinn, nemlig at nitrogenbasert forsuring ikke er et like klart vårfenomen som i vassdrag med betydelig andel høyereliggende områder.

Kalde og snøfattige vintre kan også være en fordel for laksen fordi den typiske våravrenningen av NO_3 uteblir eller blir sterkt redusert, slik som vinteren 1996. NO_3-konsentrasjonen kan imidlertid være spesielt høy i slike vintre, og det er avgjørende i hvilken grad dette kompenseres med økt

konsentrasjon av basekationer som Ca og Mg og i hvilken grad dette vannet fortynnes med nedbør før nitrogenet når lakseførende strekning. Kalde og snøfattige vintre kan bli mindre hyppige i framtida hvis klimaendringen, med mildere vær og mer nedbør, fortsetter.

4.6 Nitrogentransporten til kysten endres

Høyere temperatur, redusert snødekke og kortere periode med snødekke fører til at nitrogentransporten i de høyereliggende delene av vassdragene blir fordelt over større deler av året. En sterk vårtransport ser ut til å avta, mens det er tegn til at nitrattransporten øker vinterstid. Denne endringen vil tilføre mer nitrogen til kystområdet vinterstid, mens tilførselen vil avta i perioden april-juni. Resultatet kan være at grunnlaget for våroppblomstringen av alger avtar pga redusert næringstilgang, mens grunnlaget for algevekst øker i den mørke årstiden. Mens den første endringen har en klar implikasjon fordi næringstilgangen er begrensende faktor om våren/forsommeren, vil den siste ha liten effekt i og med at temperatur og lys begrenser produksjonspotensialet.

Denne endringen vil være viktig for kystområder som er sterkt påvirket av ferskvannstransport. I kystområder der næringstilgangen stort sett er styrt av tilførsler med kyststrømmen, vil den direkte effekten være langt mindre. På den annen side vil regionale endringer i tilførsler fra land også påvirke kyststrømmens transport av næringsstoffer. Det kan derfor være grunn til kartlegge både regionale og lokale endringer langs kysten. I tillegg bør de økologiske effektene utredes, for eksempel ved å simulere endret næringstilførsel i eksisterende fjordmodeller.

4.7 Oppsummering

Denne rapporten er basert på en forholdsvis omfattende gjennomgang av lange dataserier for nitrogen i nedbør og avrenning. Det er første gang nitrogendata fra feltforskningsområder og elver fra det nasjonale overvåkingsprogrammet for langtransportert forurenset luft og nedbør er blitt gjenstand for så omfattene analyser.

Det analysearbeidet som er utført og presentert her er resultatet av en prosess, der flere prosjekter og en rekke personer har vært involvert, og denne prosessen fortsetter. Det vil si at videre bearbeiding av dataene og andre typer dataanalyser kan kaste mer lys over sammenhengen mellom klimavariasjon og nitrogendynamikk i disse lokalitetene.

Nitrogenkonsentrasjoner i avrenning viser stor variasjon over året fordi nitrogenet inngår i biokjemiske prosesser og dermed er gjenstand for opptak og omsetning før det når overflatevannet. De statistiske analysene er dels preget av denne variasjonen, og kravet om lange dataserier er høyt hvis en vil avdekke endringer over tid. Slik sett øker verdien av datasettene jo lengere seriene blir. Dette er spesielt viktig når de koples mot klimavariasjon, som jo også viser stor variabilitet over tid. Vi håper vi med denne rapporten også har fått synliggjort verdien av å videreføre disse dataseriene.

5. Referanser

Alley, W.M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. Journal of Climate and Applied Meteorology 23:1100–1109.

Evans, C.D., Monteith, D.T. og Harriman, R. 2001. Long-term variability in the deposition of marine ions at west coast sites in the UK Acid Waters Monitoring Network: impacts on surface water chemistry and significance for trend determination. Sci. Total Environ. 265: 115-129.

Groffman, P.M., Driscoll, C.T., Fahey, T.J., Hardy, J.P., Fitzhugh, R.D., and Tierney, G.L. 2001. Colder soils in a warmer world: A snow manipulation study in a northern hardwood forest ecosystem. Biogeochemistry 56: 135-150.

Hindar, A., Tørseth, K., Henriksen, A. og Orsolini, Y. 2002. Betydningen av den nordatlantiske svingning (NAO) for sjøsaltepisoder og forsuring i vassdrag på Vestlandet og i Trøndelag. NIVA, rapport 4592-2002. 30 s.

Hindar, A., Tørseth, K., Henriksen, A. and Orsolini, Y. 2004. The significance of the North Atlantic Oscillation (NAO) for sea-salt episodes and acidification-related effects in Norwegian rivers. Environmental Science and Technology 38(1): 26-33.

Hirsch R.M. and Slack J.R., 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research 20, 727-732

Hole, L.R. and Tørseth, K., Deposition of major inorganic compounds in Norway 1978-82 and 1997-2001. Project report for the Norwegian State Pollution Agency (SFT) and Direktoratet for naturforvaltning ("Naturens Tålegrenser"). NILU OR 61/2002.

Hurrell, J. W. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. Science 269: 676-679.

Kaste, Ø. and Skjelkvåle, B.L. 2002. Nitrogen dynamics in runoff from two small heathland catchments representing opposite extremes with respect to climate and N deposition in Norway. Hydrol. Earth System Sci. 6: 351-362.

Lydersen, E. 1998. Effects of cold and warm years on the water chemistry at the Birkenes catchment, Norway. *Water Air Soil Pollut.* **80**: 1-16.

Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., McCartney, M., Saravanan, R., Visbeck, M. 2001. North Atlantic Climate Variability: phenomena, impacts and mechanisms. Inter. Jour. Climatology, vol.21, No.15: 1863-1898

Mitchell, M.J., Driscoll, C.T., Kahl, J.S., Likens, G.E., Murdoch, P.S., and Pardo, L.H. 1996. Climatic control of nitrate loss from forested watersheds in the northeast United States. Environ. Sci. Technol. 30: 2609-2612.

Monteith, D.T., Evans, C.D., and Reynolds, B. 2000. Are temporal variations in the nitrate content of UK upland freshwaters linked to the North Atlantic Oscillation? Hydrol. Process. 14: 1745-1749.

Murdoch, P.S., Burns, D.A., and Lawrence, G.B. 1998. Relation of climate change to the acidification of surface waters by nitrogen deposition. Environ. Sci. Technol. 32: 1642-1647.

Orsolini, Y.J. and Doblas-Reyes, F.J. 2003. Ozone signatures of climate patterns over the Euro-Atlantic sector in the spring. Q. J. Roy. Meteor. Soc. 129 (595): 3251-3263.

Ryan, M.C., Kachanoski, R.G., and Gillham, R.W. 2000. Overwinter soil nitrogen dynamics in seasonally frozen soils. Can. J. Soil Sci. 80: 541-550.

Stenseth, N.C., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrel, J., Chan, K.-S. og Lima, M. 2002. Ecological effects of climate fluctuations. Science 297: 1292-1296.

van Miegroet, H., Creed, I.F., Nicholas, N.S., Tarboton, D.G., Webster, K.L. Shubzda, J., Robinson, B., Smoot, J., Johnson, D.W., Lindberg, S.E., Lovett, G.M., Nodvin, S., and Moore, S. 2001. Is there synchronicity in nitrogen input and output fluxes at the Noland Divide watershed, a small N-saturated forested catchment in the Great Smoky Mountains National Park? In: Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection: Proceedings of the 2nd International Conference on Science and Policy. The Scientific World 1(S2): 480-492.

Wright, R.F., Lotse, E. and Semb, A. 1988. Reversibility of acidification shown by whole-catchment experiments. Nature 334: 670-675.

Vedlegg A. Endringer (trender) av nitratkonsentrasjon i nedbør, nedbørmengde og våtdeposisjon basert på kvartalsverdier.

Stasjon	Kvartal	Nitrat (mg/L)			Nedbør (mm)			Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)		
		MK	Signifikans-nivå	Årlig endring (mg/L)	MK	Signifikans-nivå	Årlig endring (mm per halvår)	MK	Signifikans-nivå	Årlig endring (mg/m^2 per halvår)
Birkenes (1973-2003)	1	-2.29	0.02	-0.009	0.16	0.87	0.15	-1.57	0.11	-2.80
	2	-1.18	0.23	-0.006	1.38	0.16	3.04	0.59	0.55	1.29
	3	-1.26	0.20	-0.003	0.41	0.68	1.13	-0.98	0.32	-1.32
	4	0.10	0.91	0	-0.55	0.58	-2.01	-0.51	0.60	-0.69
Kårvatn (1978-2003)	1	-1.63	0.10	-0.0008	1.96	0.04	7.70	0.70	0.48	0.10
	2	-0.80	0.42	-0.0005	2.00	0.04	3.50	1.4327	0.15	0.29
	3	-1.11	0.26	0	-0.19	0.84	-0.55	-1.256	0.20	-0.24
	4	-1.59	0.11	-0.001	-0.15	0.87	-0.58	-1.261	0.20	-0.22
”Langtjern” (Gulsvik 1973-1997 Brekkebygda 1997-2003)	1	-3.05	0.002	-0.014	0.89	0.37	1.20	-1.537	0.12	-1.14
	2	-1.49	0.13	-0.005	1.30	0.19	2.60	0.2335	0.81	0.24
	3	-3.21	0.001	-0.007	0.54	0.58	0.92	-2.272	0.02	-1.34
	4	-0.45	0.64	-0.001	-0.31	0.75	-0.51	-0.020	0.98	-0.08
”Storgama” (Treungen 1974-2003)	1	-2.19	0.028	-0.008	0.03	0.97	0.13	-1.088	0.27	-1.36
	2	-0.45	0.65	-0.001	2.14	0.03	3.69	1.8971	0.05	1.26
	3	-1.80	0.071	-0.002	0.19	0.84	0.34	-0.790	0.42	-0.52
	4	-0.27	0.78	-0.001	-0.63	0.52	-1.27	-0.592	0.55	-0.69
”Dalelva” (Dalelva 1988-1989, Karpdalen 1990-1998 Karpbukt 1998-2003)	1	0.44	0.66	0.0083	2.52	0.01	2.68	2.3259	0.02	1.38
	2	0.06	0.95	0.0000	-0.54	0.58	-1.08	-0.137	0.89	-0.19
	3	0.49	0.62	0.0100	2.13	0.03	7.62	1.1496	0.25	3.11
	4	0.84	0.40	0.0091	1.53	0.12	3.24	1.4351	0.15	1.62
”Svartetjern” (Haukeland 1974-2003)	1	-0.31	0.76	-0.002	1.55	0.11	20.87	0.9305	0.35	4.14
	2	0.28	0.78	0.0014	0.55	0.57	2.83	0.5922	0.55	1.24
	3	1.83	0.066	0.0063	-0.81	0.41	-4.52	0.3666	0.71	1.89
	4	-0.45	0.65	-0.001	-0.81	0.41	-9.34	-0.501	0.61	-1.91
”Øygardsbekken” (Skreådalen 1973-2003)	1	-0.61	0.55	-0.001	1.65	0.09	16.54	2.0499	0.04	2.64
	2	-0.48	0.63	-0.001	1.69	0.08	4.30	0.9919	0.32	1.23
	3	0.19	0.84	0	-1.96	0.04	-6.66	-1.344	0.17	-1.87
	4	-0.81	0.41	-0.001	-1.73	0.08	-10.56	-1.689	0.09	-2.57

Vedlegg B. Endringer (trender) av nitratkonsentrasjon i nedbør, nedbørmengde og våtdeposisjon basert på halvårsverdier.

Stasjon	Halvår	Nitrat (mg/L)			Nedbør (mm)			Våtdeposisjon (mg/m^2 per måned)		
		MK	Signifikans-nivå	Årlig endring (mg/L)	MK	Signifikans-nivå	Årlig endring (mm per halvår)	MK	Signifikans-nivå	Årlig endring (mg/m^2 per halvår)
Birkenes (1973-2003)	sommer	-0.94	0.34	-0.002	3.33	<0.001	13.08	1.27	0.20	3.88
	vinter	-2.40	0.01	-0.006	-1.34	0.17	-8.51	-2.39	0.016	-7.19
Kårvatn (1978-2003)	sommer	-2.97	0.002	-0.0025	1.60	0.10	11.5	-2.33	0.019	-0.79
	vinter	3.27	0.001	0.001	-0.99	0.32	-5.69	2.92	0.003	0.81
"Langtjern" (Gulsvik 1973-1997 Brekkebygda 1997-2003)	sommer	-0.23	0.81	-0.0009	-0.56	0.57	-1.16	-0.093	0.92	-0.37
	vinter	-3.10	0.001	-0.01	2.19	0.02	6.34	-0.87	0.38	-1.11
"Storgama" (Treungen 1974-2003)	sommer	-0.51	0.60	-0.0008	1.42	0.15	3.53	0.63	0.52	0.706
	vinter	-2.26	0.023	-0.005	0.37	0.70	2.21	-0.65	0.51	-1.48
"Dalelva" 1988-1989, Karp-dalen 1990-1998, Karpbukt 1998-2003)	sommer	-0.48	0.62	-0.009	2.68	0.007	12.46	1.22	0.22	3.54
	vinter	3.36	<0.001	0.03	0.85	0.39	4.65	1.94	0.05	8.33
"Svartetjern" (Haukeland 1974-2003)	sommer	0.62	0.53	0.005	-0.079	0.93	-3.31	0.98	0.32	8.05
	vinter	0.45	0.64	0.002	-0.25	0.79	-3.7	-0.32	0.74	-2.38
"Øygardsbekken" (Skreådalen 1973-2003)	sommer	0.22	0.82	0.0005	0.41	0.67	4.46	0.15	0.87	0.18
	vinter	-0.21	0.83	-0.0002	-0.84	0.40	-10.83	-0.46	0.64	-0.98

Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.

Uten nr. Jaworovski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.

2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.

3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum ,G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.

4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsuringsfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II:Vedlegg og bilag).

5 Pedersen, H. C. & Nybø, S. 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO_2, NOx og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 005.

6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.

7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.

8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.

9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.

10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.

11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.

11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.

12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsuringsfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).

13 Flatberg, K.I, Foss, B., Løken,A. & Saastad, S.M. 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat.

14 Frisvoll, A.A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA) , Oppdragsmelding 55.

15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA) , Oppdragsmelding 69.

16 Mortensen, L.M. 1991. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.

17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. 1991. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.

18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 71.

19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Rapport 0-89185,2.

20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenlingning av parametre for å bestemme forsuringsfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.

21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsuringsfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.

22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.

23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.

24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.

25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.

26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.

27 Lindstrøm, E.A.1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.

28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.

29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.

30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.

31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.

32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsuringsfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.

33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.

34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.

35 Lien, L. Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.

36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.

37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.

38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.

39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt . Laboratorium for ferskvannsøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.

40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.

41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.

42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.)1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.

43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.

44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.

45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.

46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.

47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effektstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.

48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.

49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogengjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.

50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94

51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.

52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172

53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.

54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.

55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.

56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.

57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.

58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 288.

59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.

60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.

61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose *(Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.

62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.

63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.

64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.

65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.

66 Sagmo Solli, I.M, Flatberg, K.I.F., Söderström, L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier. NTNU. Vitenskapsmuseet. Rapport botanisk serie 1996-1.

67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1996. Tålegrenser for nitrogen i skog - en vurdering av kunnskapsgrunnlaget. Aktuelt fra Skogforsk 7-96.

68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.

69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til tålegrenser og forurensning. Rapport fra Skogforsk 22-95.

70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.

71 Pedersen, H.Chr. (red.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387

72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.

73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.

74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1996. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96

75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sci. 7: 129-138.

76 Mortensen. L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sciences 8:91-97.

77 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.

78 Thomsen, M.G., Esser; J., Venn, K. & Aamlid, D. 1996. Sammenheng mellom trærs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).

79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.

80 Esser, J.M. & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).

81 Henriksen, A. , Hindar; A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann, beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3528-96.

82 Henriksen, A., Hesthagen, T. & Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3565-96.

83 Wright, R. F., Raastad, I.A., & Kaste, Ø. 1996. Atmospheric deposition of nitrogen, runoff of organic nitrogen, and critical loads for soils and waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3592-97

84 Mortensen, L.M. 1995. The influence of ozone pollution on growth of young plants of Betula pubescens Ehrh. And Phleum alpinum L. Dose-response relations. Norw. J. Agr. Sci. 9:249-262

85 Mortensen, L.M. 1996. Ozone senistivity of Betula pubescens at different growth stages after budburst in spring. Norw. J. Agr. Sci. 10:187-196.

86 Tørseth, K., Rosendahl, K.E., Hansen, A.C., Høie, H. & Mortensen, L.M. 1997. Avlingstap som følge av bakkenært ozon. Vurderinger for perioden 1989-1993. SFT-rapport.

87 Rognerud, S, Hognve, D. & Fjeld, E. 1997. Naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. Kan amosfæriske avsetninger påvirke metall-konsentrasjoner slik at det ikke reflekterer berggrunnens geokjemi? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3670-97

88 Skjelkvåle, B.L., Wright, R.F. & Tjomsland, T. 1997. Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3646-97

89 Nordbakken; J.-F. 1997. Småskalaendringer i ombrotrof myrvegetasjon i SØ-Norge 1990/91-96. Botanisk Hage og Museum, Univ. Oslo Rapp. 1

90 Sogn, T.A., Kjønnås, J., Stuanes, A.O., & Abrahamsen, G. 1997. Akkumulering av nitrogen - variasjoner avhengig av bestandsutvikling, nitrogentilførsel og simulert snødekke. Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag, Rapport nr. 10/97.

91 Nygaard, P.H., Ødegård, T. & Flatberg, K.I.F. Vegetasjonsendringer over 60 år i fattig skog- og myrvegetasjon i Karlshaugen skogreservat. Skogforsk (in prep)

92 Knutzen, J., Gabrielsen, G.W., Henriksen, O.E., Hylland, K., Källqvist, T. Nygård, T., Pacyna, J.S. Skjegstad, N. & Steinnes, E. 1997. Assessment of the applicability for pollution authorities ofthe concept “critical load” of long-range transported micrpollutants in relation to aquatic an terrestrial ecosystems. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3751-97.

93 Tørseth, K. & Semb, A. 1997. Deposition of major inorganic components in Norway 1992-1996. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 67/97.

94 Henriksen, A. 1998. Application of the first order acicvity balance (FAB) model to Norwegian surface waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3809-98

95 Sogn, T.A. & Wright, R.F. 1998. The model MERLIN applied to Nordmoen, Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3844-98

96 Skjelkvåle, B.L. & A. Henriksen, 1998. Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Hardangervidda. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Report SNO 3895-98

97 Henriksen, A. 1998. Binding grid cells – Norway. An evaluation. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3942-98

98 Lükewille, A. & A. Semb. 1998. Deposition in Norwegian Mountain areas. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 66/97

99 Strand, L.T., Stuanes, A.O. & G. Abrahamsen. 1998. Akkumulering av karbon og nitrogen i unge jordsmonn. Institutt for jord og vannfag, rapport nr 9/98.

100 Wright, R.F. & Henriksen, A. 1999. Gap closure; use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4012-99

101 Henriksen, A. 1999. Tålegrenser i fjellområder. Hva vet vi og hva bør vi vite? Rapport fra seminar 16.-17. Februar 1999. Rondablikk Føyfjellshotell. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4017-99

102 Wright, R.F. 1999. Risk of N leaching from forests to surface waters in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4038-99

103 Wright, R.F., Mulder, J. & Esser, J.M., 1999. Soils in mountain uplands regions of southwestern Norway: nitrogen leaching and critical loads. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4130-99

104 Lindstrøm, E.A., Kjellberg, G. & Wright, R.F. 1999. Tålegrensen for nitrogen som næringsstoff i norske fjellvann: økt "grønske"? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4187-2000

105 Thomsen, M.G. & Nellemann, Chr. 2000. Mortalitet og tilvekst i relasjon til forurensningsbelastningen i Sør Norge 1920-2000 (under trykking)

106 Henriksen, A & Buan, A.K. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 4179-2000

107 Aarrestad, P.A. & Vandvik, V. 2000. Vegetasjonsendringer i vestnorsk kystlynghei - effekter av skjøtselsformene brann og sauebeite ved rehabilitering av gammel lynghei på Lurekalven i Hordaland. - NINA fagrapport 044.

108 Oredalen, J.T. & Aas, W. 2000. Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst-Norge. Norsk institutt for vannforskning Rapport LNR 4310-2000.

109 Bruteig, I., Thomsen, M.G. & Altin, D. 2001. Vekstrespons hos tre aerofyttiske algar på tilførsel av nitrogen. NINA oppdragsmelding 680. (*Rapporten er feilnummerert og har fått nummer 108)*

110 Sogn; T.A., Mulder, J., Haugen, L.E., Berge, G., Rustad, K.B. & Stuanes, A. 2001. N-omsetning i hei-/fjellområder: En første tilnærming til dynamiks modellering av N-omsetningen. Institutt for jord- og vannfag, Norges landbrukshøgskole. Rapport nr 11/2001.

111 Kroglund, F., Wright, R.F. & Burchart, C. 2001. Acidification and Atlantic salmon: critical limits for Norwegian rivers. Norwegian Institute for Water Research Report No O-20191

112 Lindstrøm, E.A. 2001. Økt plantevekst i uberørt fjellvann: et samspill mellom langtransporterte forurensninger og klima. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4459-2001.

113 Larssen; T.; Clarke, N., Tørseth, K. & Skjelkvåle, B.L. 2002. Prognosis for future recovery from acidification of water, soils and forests: Dynaic modelling of Norwegina data from ICP Forests, ICP IM and ICP Waters. Norsk institutt for vannforskning. Report no. O-21172

114 Hindar, A. Tørseth, K., Henriksen, A. & Orsolini, Y. 2002. Betydningen av den nordatlantiske svingning (NAO) for sjøsaltepisoder og forsuring i vassdrag på Vestlandet og i Trøndelag. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4592-2002

115 Hole, L. R. & Tørseth, K. 2003. Deposition of major inorganic compunds in Norway 1978-1982 and 1997-2001: status and trends. Norsk institutt for luftforskning OR 61/2002. ISBN 82-425-1410-0.

116 Larssen, T. & Høgåsen, T. 2003. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser i Norge. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4722-2003.

117 Hesthagen,T., Kristensen, T., Rosseland, B.O. & Saksgård, R. 2004. Relativ tetthet og rekruttering hos aure i innsjøer med forskjellig vannkvalitet En analyse basert på prøvefiske med garn og vannets syrenøytraliserende kapasitet (ANC). NINA Oppdragsmelding 806

118 Lindstrøm, E.-A., Brettum, P., Johansen, S.W. & Mjelde, M. 2004. Vannvegetsjon i norske vassdrag. Kritiske grenseverdier for forsuring. Effekter av kalking. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4821-2004.

119 Hindar, A. og Larssen, T. 2005. Modifisering av ANC- og tålegrenseberegninger ved å inkludere sterke organiske syrer. NIVA-rapport 5030-2005. 39 s.

120 Hindar, A., de Wit, H. og Hole, L. 2005. Betydningen av klimavariasjon for nitrogen i vassdrag og feltforsknings-områder. NIVA-rapport 5064-2005. 61 s.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon