

Gjødsling av skog - vurdering av eksisterende hensynssone og tak for nitrogengjødsling på bakgrunn av ny kunnskap



RAPPORT

Hovedkontor

Økernveien 94
0579 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Gjødsling av skog - vurdering av eksisterende hensynssone og tak for nitrogengjødsling på bakgrunn av ny kunnskap	Løpenummer 7663-2021	Dato Oktober 2021
Forfatter(e) Øyvind Kaste, Eva Skarbøvik, Nicholas Clarke, Heleen de Wit	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Fri
	Geografisk område Sør-Norge	Sider 56

Oppdragsgiver(e) Landbruksdirektoratet (LDir) Miljødirektoratet (Mdir)	Kontaktperson hos oppdragsgiver Jon Lasse Bratli (Mdir)
Oppdragsgivers utgivelse:	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 210230

<p>Sammendrag</p> <p>I 2014 ble det utgitt en rapport om skoggjødsling som klimatiltak, hvor det ut fra hensyn til vannmiljø ble stipulert en hensynssone for nitrogengjødsling av skog og et arealmessig tak for gjødsling innenfor denne sonen. Hensynssonen omfattet deler av Rogaland, Sørlandet og deler av Østlandet rundt Oslofjorden, hvor det ble definert et maksimalt tak på 25 000 daa som kunne gjødsles over en tidsperiode på 5 år. Denne rapporten har vurdert konklusjonene i 2014-rapporten på nytt, og etter en gjennomgang av relevante overvåkingsdata fram til i dag, samt nyere litteratur, finner vi ikke grunnlag for verken å lempe på eller å skjerpe begrensningene innenfor hensynssonen som ble definert da tilskuddsordningen ble lansert i 2016. For å bedre kunnskapsgrunnlaget er det behov for mer systematisk og langsiktig overvåking av effekter av skoggjødsling, ulike hogstmetoder og tiltak for å redusere belastningen på vannforekomster.</p>

<p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Skog Klima Gjødsling Vannkvalitet 	<p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> Forest Climate Fertilisation Water quality
--	--

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Øyvind Kaste
Prosjektleder

Sondre Meland
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7399-1
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

**Gjødsling av skog - vurdering av eksisterende
hensynssone og tak for nitrogengjødsling på
bakgrunn av ny kunnskap**

Forord

Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og NIBIO fikk i juni 2021 i oppgave fra Landbruks og matdepartementet og Klima og miljødepartementet å evaluere ordningen fra 2016 med gjødsling av skog som klimatiltak. Som en del av denne evalueringen ønsket Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet en oppdatert vurdering av den geografiske avgrensningen av hensynssonen og det arealmessige taket ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for vannmiljøet. Bestilling ble sendt av Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet den 30. juni 2021 og oppdraget ble formelt tildelt NIVA og NIBIO den 26. august 2021.

Vi takker Jose-Luis Guerrero (NIVA) for innhenting, bearbeiding og presentasjon av modellerte depositionsdata fra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), Charles Carr (NIBIO) for å ha bistått med innhenting, bearbeiding og kartpresentasjon av data fra Vannmiljø-databasen, og Gunnhild Søggaard (NIBIO) for støtte og innspill.

Jon Andreas Ask og Jon Lasse Bratli har vært kontaktpersoner mot hhv. Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet. Begge takkes for godt samarbeid i forbindelse med prosjektgjennomføringen.

Grimstad, oktober 2021

Øyvind Kaste

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
1 Innledning	8
1.1 Bakgrunn.....	8
1.2 Mål for utredningen	9
1.3 Forkortelser, ord og uttrykk	9
2 Metode	11
2.1 Oppdragets innhold	11
2.2 Faglig tilnærming	12
3 Oppdatering av kunnskapsgrunnlag	13
3.1 Skogareal gjødslet siden 2015	13
3.2 Atmosfæriske tilførsler	15
3.2.1 Målinger fra NILUs stasjoner 2010-2020	15
3.2.2 NILUs beregninger av fem-års midler i atmosfæriske avsetninger	17
3.2.3 Data fra EMEP 2010-2019	18
3.3 Resultater fra nasjonal vannovervåking	21
3.3.1 Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør	21
3.3.2 Nitrogenutvasking fra feltforskningsområdene	24
3.3.3 Nasjonal innsjøundersøkelse 2019	25
3.3.4 Elveovervåkingsprogrammet og TEOTIL-prosjektet	27
3.3.5 Nitrogentilstand i vannområder i Norge siden 2010	29
3.4 Status for overskridelser av tålegrenser	31
3.5 Resultater fra overvåkingsprogrammet av skogskader	34
3.6 Utvikling av nitrogenstatus i sårbare ferskvannsystemer	35
3.6.1 Mjøsa	35
3.6.2 Referanseelver	36
3.6.3 Problemvekst av krypsiv	38
3.7 Utvikling av nitrogenstatus i særlig sårbare marine områder	39
3.8 Ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling basert på vitenskapelig litteratur	40
3.8.1 SURFER-prosjektet	40
3.8.2 BIOWATER	42
3.8.3 Nyere resultater fra vitenskapelig litteratur	43
4 Samlet vurdering	46
4.1 Viktige utviklingstrekk siden forrige utredning	46
4.2 Ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling	49
4.3 Kunnskapshull	50
4.4 Konklusjoner og anbefalinger	51
5 Referanser	53

Sammendrag

I 2014 ble det utgitt en rapport om skoggjødsling som klimatiltak, hvor det utfra hensyn til vannmiljø ble stipulert en hensynssone for nitrogengjødsling av skog og et arealmessig tak for gjødsling innenfor denne sonen (Haugland et al. 2014). Hensynssonen omfatter deler av Rogaland, Sørlandet og deler av Østlandet rundt Oslofjorden, hvor det ble definert et maksimalt tak på 25 000 daa som kunne gjødsles over en tidsperiode på 5 år. Denne rapporten har vurdert konklusjonene i 2014-rapporten på nytt, basert på relevante overvåkingsdata og nyere litteratur.

Rapporten gir en oversikt over gjødslet skog siden tiltaket ble satt i verk i 2016, både totalt for Norge og innenfor hensynssonen. Tiltaket er basert på at det gjødsles med en engangsdose på 15 kg N/daa ca. 10 år før skogen skal hogges. Det er utført en oppsummering av ny kunnskap om atmosfæriske tilførsler av nitrogen, med særlig fokus på endringer de siste årene. Nitrogenverdier i nasjonale vannovervåkingsprogram er også gjennomgått, både i overvåkingen for langtransportert forurensing, nasjonal innsjøundersøkelse, Elveovervåkingsprogrammet, TEOTIL og vannmiljødatabasen. Rapporten oppsummerer også data fra program for status for overskridelser av tålegrenser til vann, jord og vegetasjon, samt fra overvåkingsprogrammet for skogskader. Utvikling av nitrogenstatus i sårbare vannforekomster både i ferskvann og marine områder er diskutert. Det er også utført en litteraturgjennomgang av nyere kunnskap om effekter på vann av skoggjødsling.

De viktigste funnene fra utredningen:

- Innenfor hensynssonen ble taket på 25 000 daa nådd etter de tre første årene.
- Det har bare vært mindre endringer i atmosfæriske nitrogenavsetninger og nitrogenkonsentrasjoner i vann de siste 5-6 årene.
- Eutrofisituasjonen i Mjøsa har forverret seg i senere år. I referanseelver på Østlandet var rundt halvparten av lokalitetene nitrogenbegrenset i vekstsesongen.
- Det er lite som tyder på at nitrogen i nedbør har avgjørende betydning for problemvekst av krypsiv, men all tilførsel av næringsstoffer kan potensielt øke veksten der krypsiv allerede dominerer.
- Store deler av Oslofjorden har høye konsentrasjoner av nitrogen, og tilførsler fra land har sannsynligvis stor innvirkning på vannkvaliteten. Det er derfor viktig å redusere nitrogen-tilførselene fra alle kilder hvor det er mulig å gjøre utslippsbegrensende tiltak.
- Det er generelt lite data som dokumenterer utlekking av nitrogen i forbindelse med gjødsling, etter hogst av gjødslet skog og effekter av buffersoner for å redusere utlekking. Det finnes noen studier på jordvann, men betydelig færre på overflatevann. Svært få studier har høy nok tidsoppløsning til å fange opp kortvarige effekter i forbindelse med regnskyll, snøsmelting e.l.
- Generelt ser det ut til at utlekking av nitrogen i forbindelse med skoggjødsling oftest er lav, men kan ha betydning i lokale vassdrag som ligger nært inntil områdene som gjødsles.

Anbefalinger:

- Atmosfæriske avsetninger og nitrogenstatus i innsjøer, elver og kystvann er forholdsvis uendret i forhold til situasjonen i 2014. Nyere forskningsresultater på temaet er begrenset og gir heller ikke vesentlige bidrag til å endre de faglige vurderingene som ble lagt til grunn i den nevnte utredningen. Vi finner derfor ikke grunnlag for verken å lempe på- eller å skjerpe begrensningene innenfor hensynssonen som ble definert da tilskuddsordningen ble lansert i 2016.

- For å bedre kunnskapsgrunnlaget er det behov for mer systematisk og langsiktig overvåking av skog som gjødsles, effekter av ulike hogstmetoder og andre skogbrukstiltak i etterkant og effekter av ulike tiltak for å redusere belastningen på vannforekomster nedstrøms. Det vil være viktig med god informasjon om behandling og hogst i overvåkingsfeltene, samt at det opprettes representative referanser og måles vannføring både i tiltaks- og referansefelt.
- Det har vært få undersøkelser av effekt av skogsgjødsling på vann etter den første utredningen, og siden satsningen på grønt skifte og bioøkonomi er i startfasen, anbefales det at det gjennomføres en tilsvarende utredning om 5 år.

Summary

Title: Forest fertilisation – assessment of existing protection zone and restrictions on nitrogen fertilisation in southern Norway based on current knowledge.

Year: 2021

Author(s): Øyvind Kaste, Eva Skarbøvik, Nicholas Clarke, Heleen de Wit

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7399-1

In 2014, a report was published on forest fertilization as a climate measure. To protect vulnerable waterbodies, a protection zone with restrictions on nitrogen fertilization was implemented in parts of Rogaland, Agder, Vestfold & Telemark and areas around the Oslo Fjord. Within this zone, a maximum of 25000 could be fertilised over a period of 5 years. This report has re-assessed the conclusions of the 2014 report, based on relevant monitoring data and recent literature.

Atmospheric nitrogen deposition levels and nitrogen status in lakes, rivers and coastal waters are relatively unchanged compared to the situation in 2014. Recent research results related to forest fertilisation are few and do not add significantly to the knowledge status that was provided in the 2014 assessment. We therefore find no scientific basis for changing the current recommendations related to the precautionary zone that was defined when the forest fertilization scheme was launched in 2016.

To improve the knowledge base, there is a need for more systematic and long-term monitoring of forests that are fertilized, effects of various harvesting methods and measures to reduce negative effects on downstream water bodies.

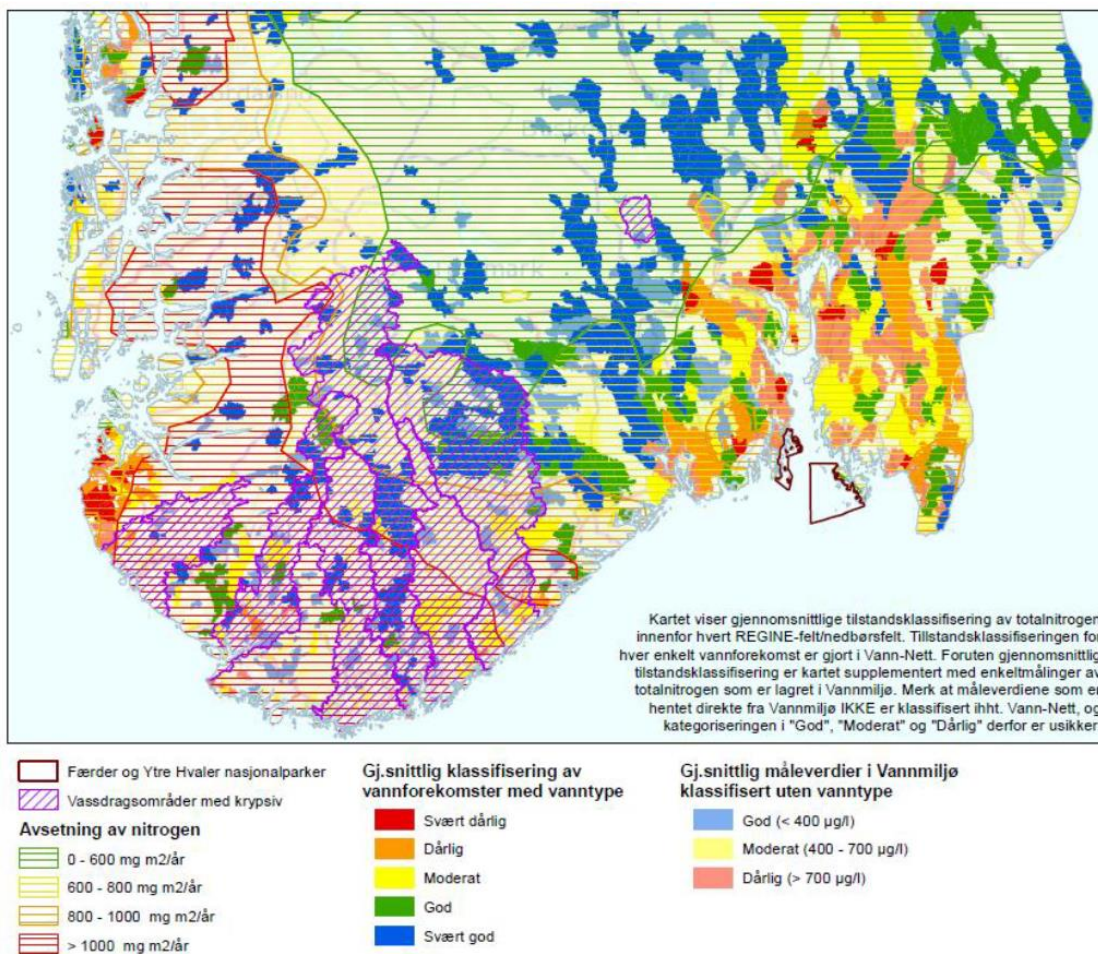
There have been few studies of the effect of forest fertilization on water after 2014, and since mechanisms related to the green shift and bioeconomy are in an early phase, it is recommended that a similar study should be carried out after another five years.

1 Innledning

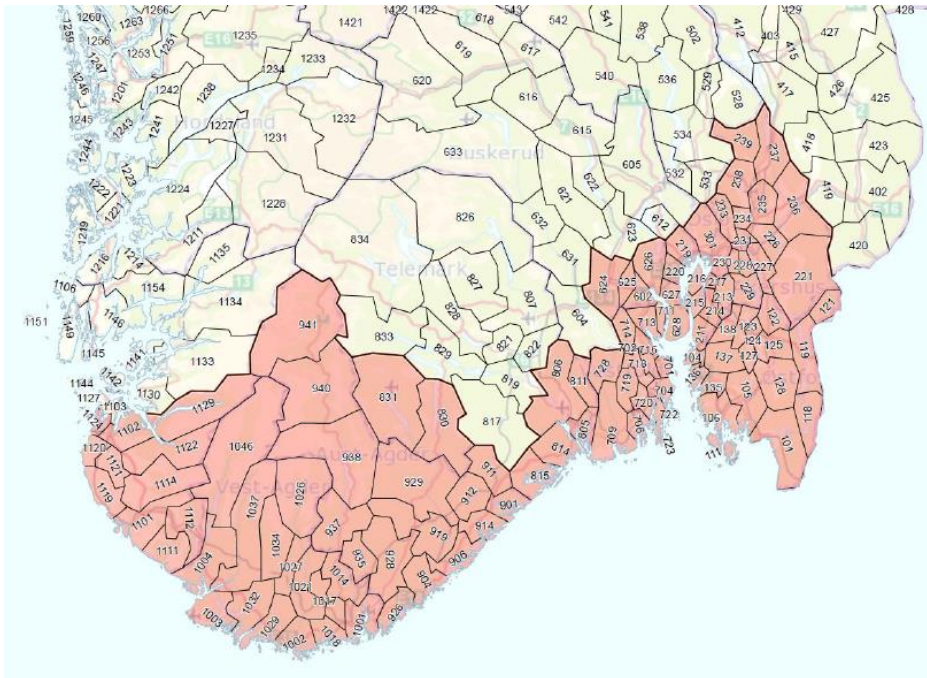
1.1 Bakgrunn

Som en oppfølging av Meld. St. nr. 21 (2011–2012) «Norsk klimapolitikk», gav Klima- og miljødepartementet (KLD) og Landbruks- og matdepartementet (LMD) et oppdrag til Miljødirektoratet (Mdir), Landbruksdirektoratet (Ldir) og Norsk institutt for skog og landskap (nå NIBIO) om å utrede gjødsling av skog som klimatiltak. Resultatene ble oppsummert i rapporten «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier» (Haugland et al. 2014). Basert på disse anbefalingene ble det i 2016 etablert en ordning med tilskudd til nitrogengjødsling av skog og forvaltningen av ordningen ble lagt til Landbruksdirektoratet. Tiltaket er basert på at det gjødsles med en engangsdose på 15 kg N/daa ca. 10 år før skogen skal hogges.

Direktoratene definerte en sone med angitte kommuner hvor det ble satt et tak for hvor stort areal som bør gjødsles innenfor sonen i sum over en periode på 5 år (**Figur 1, Figur 2**). Arealet ble fastsatt til 25 000 daa, noe som innebærer i gjennomsnitt 5 000 daa per år. Direktoratene anbefalte også at både sonen og taket burde vurderes etter fem år ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for miljø, klima og næring.



Figur 1. Områder som i 2014 ble vurdert til å ha en eller flere utfordringer når det gjelder ekstra tilførsler av nitrogen fra luft og til vannmiljø. Fra Haugland et al. (2014).



Figur 2. Oversikt over kommuner som ligger innenfor hensynssonen (oransje farge). Fra Haugland et al. (2014).

1.2 Mål for utredningen

Med framleggingen av Meld. St. 13 (2020-2021), «Klimaplan for 2021-2030», har regjeringen besluttet å videreføre og eventuelt styrke eksisterende klimatiltak i skog for å øke CO₂-opptaket. Av klimameldingen går det også fram at ordningen for tilskudd til gjødsling av skog skal vurderes i 2021. På bakgrunn av dette gav LMD, i samarbeid med KLD, den 1. juni 2021 Ldir, Mdir og NIBIO i oppgave å evaluere ordningen med gjødsling av skog som ble etablert i 2016.

Som en del av denne evalueringen ønsket Ldir og Mdir en oppdatert vurdering av den geografiske avgrensningen av hensynssonen og det arealmessige taket ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for vannmiljøet.

Det er i denne rapporten tatt utgangspunkt i dagens skogbruk, og ikke tatt hensyn til at skogbruksaktiviteten kan øke i en fremtid med mer aktiv skogsdrift pga. innføring av bioøkonomi.

1.3 Forkortelser, ord og uttrykk

Nedenfor er en liste over forkortelser, ord og uttrykk brukt i rapporten:

Kjemiske parametere med forkortelser:

Ammonium	NH ₄
Ammoniumnitrat	NH ₄ NO ₃
Fosfor	P
Nitrogen	N
Nitrat	NO ₃

Sulfat	SO ₄
Totalt organisk karbon	TOC
Totalt organisk nitrogen	TON
Total fosfor	tot-P
Total nitrogen	tot-N
Uorganisk nitrogen	DIN

Co-begrensning: Et begrep som betyr at f.eks. algevekst, vannplanter (makrofytter) osv. er begrenset av *både* fosfor og nitrogen, og ikke kun én av næringsstoffene.

EMEP: European Monitoring and Evaluation Programme (<https://www.emep.int/>)

Hensynssone: En sone i sørøstlige deler av Norge (deler av Rogaland, Sørlandet og deler av Østlandet rundt Oslofjorden) som av hensyn til vannmiljø i 2014 (Haugland et al. 2014) fikk et tak for nitrogen gjødsling av skog.

Gjødslingstak: Stedvis kalt 'taket for skogsgjødsling'. Omfatter et areal på maksimum 25 000 daa innenfor hensynssonen som kan gjødsles (i sum over en periode på 5 år; innebærer i gjennomsnitt 5 000 daa per år).

Ldir: Forkortelse brukt i denne rapporten for Landbruksdirektoratet

Markberedning: Markberedning innebærer at hogstflater graves opp med gravemaskin eller pløyes med store maskiner for å fjerne humus og blottlegge mineraljord, og derved skape bedre vekstvilkår for ny skog.

Mdir: Forkortelse brukt i denne rapporten for Miljødirektoratet

NILU: Norsk institutt for luftforskning

Regine: Nedbørfeltdatabasen REGINE er den nasjonale hydrografiske inndelingen av vassdragene i Norge og dekker landarealet og kystarealet så langt ut det finnes øyer.
(<https://www.nve.no/kart/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine>)

Vannmiljø-databasen: Vannmiljø er miljømyndighetenes fagsystem for registrering og analyse av tilstanden i vann. <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no>

Økologisk tilstand: I Vanndirektivet deles den økologiske tilstanden i vannforekomster inn i fem klasser: Svært god – God – Moderat – Dårlig – Svært dårlig. Miljømålet ligger på grensen mellom God og Moderat. Det betyr at vannforekomster i klassene Moderat, Dårlig og Svært dårlig ikke oppfyller miljømålet, og det må dermed igangsettes miljøtiltak.

2 Metode

2.1 Oppdragets innhold

Utgangspunktet for oppdraget er rapporten «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier» (Haugland et al. 2014). Her er det beskrevet en såkalt *hensynssone* (deler av Rogaland, Sørlandet og deler av Østlandet rundt Oslofjorden) som av hensyn til vannmiljø har et tak for nitrogengjødsling av skog. Sonen dekker områder som fra før har store N-avsetninger fra atmosfæren, hvor nitrogenverdiene i vann overskrider de nasjonale miljøkvalitetskriteriene for ferskvann og kystvann og/eller der det er utfordringer med krypsiv.

Hovedproblemstillingen i oppdraget har vært å få en kunnskapssammenstilling for å vurdere hvilken forskjell på vannmiljø gjødsling av skog i hensynssonen utgjør sammenliknet med ikke å gjødsle. Tiltaket gjelder produksjonsskog/aktivt drevet skog som skal hogges om ca. 10 år. Det gjødsles med 15 kg N/daa én gang i løpet av et omløp (dvs. i løpet av 70 – 80 år) og gjødslingen skal foregå på et tidspunkt da skogen har størst opptak og tilvekst. Vurderingen er gjort ut fra retningslinjer / miljøkrav som Landbruksdirektoratet har satt for tilskuddsordningen, jf. tekstboks under.

Om ordningen:

- De gjødslede arealene må kartfestes digitalt.
- Det kan gjødsles på egnede arealer på vegetasjonstypene blokkebærskog, bærlyngskog, blåbærskog, småbregneskog, storbregneskog og på torvmark med etablert foryngelse.
- Gjødsling skal gjøres i produksjonsskog med mindre enn 20 prosent lauv på furudominerte arealer med bonitet F8 til F17, og grandominerte arealer på bonitet G8 til G20.
- Bestanden bør ha optimal tetthet og ikke være flersjiktet.
- Lavarter bør utgjøre mindre enn 50 % av marksjiktet.
- Hogstklasse IV (4) prioriteres.
- Veksterlige bestand av furu i tidlig hogstklasse fem kan gjødsles dersom de ikke planlegges hogd før om lag 10 år.
- Sein hogstklasse tre kan gjødsles noen år etter at eventuelle tynninger er avsluttet.
- Det gis inntil 40 prosent av dokumenterte kostnader til gjødsling.

Miljøkrav:

- De miljøverdiene som er oppgitt i rapporten «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak» skal på forhånd sjekkes ut mot offentlige miljødatabaser og hensyntas når gjødslingen utføres.
- Det skal gjødsles med kalkholdig gjødsel.
- Gjødslingen må utføres slik at den ikke påvirker verdifulle miljøforekomster i nærheten av de gjødslede arealene. Det skal avsettes en gjødsselfri sone på 10-15 meter.
- Det avsettes en gjødsselfri sone på minst 25 meter i nedstrøms retning mot innsjøer, elver og bekker med helårs vannføring.
- Gjødsling med nitrogen skal ikke skje før snøsmeltingen er ferdig. For øvrig tilpasses gjødseltidspunktet slik at risiko for næringslekkasje blir minst mulig.
- Det skal normalt gjødsles med inntil 15 kilo nitrogen per dekar.
- På gjødslede arealer vil tilveksten øke i en periode på 6 til 10 år og hogst skal normalt utsettes i om lag 10 år til gjødselvirkningen er avsluttet.

I henhold til bestillingen har prosjektets arbeidsoppgaver omfattet:

- Gjøre seg kjent med gjødslingsrapporten fra 2014 mht. hvilke type arealer som kan gjødsles og hvilke miljøkrav som stilles (kantsoner, kartlagte verdier mm), herunder spesielt delkap. 6.3 som omtaler mulige konsekvenser for vannmiljø.
- Lage en sammenstilling av ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling, som kan gi grunnlag for direktoratens vurdering av den geografiske utbredelsen av hensynssonen og taket for skogsgjødsling med nitrogen. Vurderingen skal gjøres sett i lys av ny forskning og utredning som har skjedd siden Haugland et al. (2014) ble utgitt. Dette innebærer en litteraturgjennomgang av ny forskning på området som er relevant for vurdering av hensynssone og gjødslingstak.
- Gi innspill til oppdatering av figurer i delkapittel 6.3 dersom ny kunnskap gir grunnlag for det.

Oppdraget ble begrenset til å se på effekter på vannmiljø på bakgrunn av tiltaket gjødsling av skog, og har ikke omfattet effekter av skogsdrift eller effekter på terrestrisk naturmangfold.

2.2 Faglig tilnærming

Prosjektgruppen har gått gjennom momentene som ble lagt til grunn for vurderingene av effekter på vannmiljø i gjødslingsrapporten fra 2014 og gjennomført følgende vurderinger:

- Om det har skjedd vesentlige endringer i atmosfæriske N-avsetninger og/eller N-utlekking fra skog- og utmarksområder i det aktuelle området. Trender i tidsseriene er undersøkt ved hjelp av den ikke-parametriske Mann-Kendall testen (Hirsch og Slack 1984) og retningen på trenden ved hjelp av «Sen-slope estimator» (Sen 1968). Trender er ansett som statistisk signifikante på 95% signifikansnivå ($p < 0,05$).
- Status for overskridelser av tålegrenser for forsuring og N.
- Utvikling av N-status i særlig sårbare marine områder som Hvaler – Singlefjordområdet (utløpene av Haldenvassdraget og Glomma) og indre Oslofjord.
- Utvikling av N-status i sårbare ferskvannsystemer (jf. algeproblematikk i Mjøsa og problemvekst av krypsiv i Sørlandsvassdrag). Dette er basert på utgitte rapporter siden det ikke var tilstrekkelig ressurser til egne dataanalyser i dette prosjektet
- Nyere forskningsresultater om N-utvasking i forbindelse med gjødsling og senere avvirkning av N-gjødslet skog. Dette er basert på litteratur fra boreale og nordlige tempererte områder, dvs. Norden, men det er også gjort søk etter litteratur i sammenligningsbare områder som for eksempel Canada, nordlige USA og Skottland. Litteratursøk er utført gjennom anerkjente søkemotorer (fagfellevurderte artikler), og det er også søkt etter rapporter og 'grå litteratur' både på nettet og gjennom å kontakte prosjektkolleger i andre land, bl.a. Finland, Sverige, Skottland og Canada.

3 Oppdatering av kunnskapsgrunnlag

3.1 Skogareal gjødslet siden 2015

Tabell 1 viser fylkesvis arealfordeling av gjødslet skog i perioden 2016-2020. Den gamle fylkesinndelingen er brukt da denne gir bedre geografisk oppløsning. Totalt for fem år ble det gjødslet 310 208 daa med en dose på 15 kg N/daa. Det klart største arealet finner vi i gamle Hedmark fylke. Deretter følger Trøndelag, Buskerud, Oppland og Akershus. På landsbasis ble det gjødslet mest de to første årene, mens gjødslingen ble tilnærmet halvert med en snitt på 45 000 daa/år de tre siste årene. Gjødsling i hensynssonen er vist i **Tabell 2**. For hensynssonen totalt ble det gjødslet 26 201 daa alle fem år, og mest i Akershus og Østfold. Taket på 25 000 daa i løpet av 5 år ble nådd etter 3 år.

Tabell 1. Oversikt over gjødslet areal fordelt fylkesvis. Tallmateriale fra Landbruksdirektoratet.

Fylke *	Gjødslet skog (daa)					
	2016	2017	2018	2019	2020	Totalt 5 år
Aust- og Vest-Agder	1149	721	347	115	0	2332
Akershus	6611	3143	1759	0	4	11517
Buskerud	4138	11753	7069	4247	3737	30944
Hedmark	57369	52043	28036	22521	23620	183589
Hordaland	0	0	0	0	50	50
Møre og Romsdal	15	0	0	11	6933	6959
Nordland	32	80	75	0	12	199
Oppland	6592	4648	4532	3231	5197	24200
Rogaland	70	0	0	0	0	70
Telemark	3684	2017	1249	0	1065	8015
Troms	0	0	620	0	0	620
Sør og Nord-Trøndelag	206	11966	10865	5173	4482	32692
Vestfold	0	0	417	0	0	417
Østfold	2935	3731	1938	0	0	8604
Totalsum	82801	90102	56907	35298	45100	310208

* Vi har valgt å beholde den gamle fylkesinndelingen da dette ga bedre geografisk oppløsning.

Tabell 2. Gjødslet areal innenfor hensynssonen. Tallmateriale fra Landbruksdirektoratet.

Fylke	Gjødslet skog (daa) i hensynssonen					
	2016	2017	2018	2019	2020	Totalt 5 år
Aust- og Vest-Agder	1149	721	347	115	0	2332
Akershus	6611	3143	1759	0	4	11517
Buskerud	697	1008	0	0	0	1705
Rogaland	70	0	0	0	0	70
Telemark	484	665	407	0	0	1556
Vestfold	0	0	417	0	0	417
Østfold	2935	3731	1938	0	0	8604
Totalsum	11946	9268	4868	115	4	26201

Selv om utlekking av nitrogen i forbindelse med skoggjødsling i de fleste tilfeller er lav, vil likevel noe av det tilførte nitrogenet lekke ut til vassdragene. Anslagene på hvor mye av nitrogenet som kan lekke varierer, men basert på gjennomgang av tilgjengelige studier i Sverige anbefaler Ring (2007) at utlekking av nitrogen til vassdrag etter gjødsling settes til 5–10% av gjødseldoseringen. Disse tallene er også brukt av den svenske Skogstyrelsen samt også lagt til grunn i rapporten til Haugland et al. (2014). I følge Nohrstedt og Westling (1995) skjer utlekkingen hovedsakelig i løpet av det første året etter gjødsling, men nyere modellstudier indikerer noe av det ekstra nitrogenet også vil kunne lekke til vassdrag i forbindelse med hogst av den gjødslete skogen (Valinia et al. 2021).

Nedenfor er det estimert hvor mye nitrogen som kan lekke fra gjødslete arealer i hvert fylke (**Tabell 3**) og innenfor hensynssonen (**Tabell 4**) dersom en antar en utlekkingsgrad på 5% av gjødseldoseringen. På landsbasis, og for årene 2016-2020, varierer årlig utlekking fra 62 tonn det første året til omkring 34 tonn i 2020. Innenfor hensynssonen er tallene betydelig lavere, fra rundt 9 tonn det første året til nær null i 2020.

En gjødslingsdose på 15 kg N/daa tilsvarer omtrent 15 år med dagens atmosfæriske nitrogen-avsetning på Sørlandet og Sør-Vestlandet og rundt 30 år med dagens avsetning på Østlandet (jf. kapittel 3.2.1). For å sammenligne med andre nitrogenkilder i vassdrag kan vi velge Hedmark og Oppland som dekker store deler av Glommavassdraget ned til grensen mot tidligere Akershus fylke. Basert på gjødslingstallene i 2016 og en antatt utlekkingsgrad på 5% kan det estimeres utlekking av ca. 48 tonn nitrogen fra de tidligere fylkene Hedmark og Oppland. Dette tilsvarer bare om lag 0,3% av de menneskeskapte nitrogen-tilførslene (jordbruk, befolkning, industri) til hele Glommavassdraget, som i 2019 ble estimert til litt over 14000 tonn (Guerrero og Sample 2021). Det må imidlertid legges til at utlekking av nitrogen fra skoggjødsling kan ha betydelig større betydning i lokale vassdrag som ligger nært inntil områdene som gjødsles.

Tabell 3. Estimert nitrogenutvasking fra gjødslete arealer i **Tabell 1** (alle fylker), basert på antatt utlekkingsgrad på 5% og antatt gjødslingsdose på 15 kg N/daa.

Fylke	Utvasking (kg N)					Totalt 5 år
	2016	2017	2018	2019	2020	
Aust- og Vest-Agder	862	541	260	86	0	1749
Akershus	4958	2357	1319	0	3	8638
Buskerud	3104	8815	5302	3185	2803	23208
Hedmark	43027	39032	21027	16891	17715	137692
Hordaland	0	0	0	0	38	38
Møre og Romsdal	11	0	0	8	5200	5219
Nordland	24	60	56	0	9	149
Oppland	4944	3486	3399	2423	3898	18150
Rogaland	53	0	0	0	0	53
Telemark	2763	1513	937	0	799	6011
Troms	0	0	465	0	0	465
Sør og Nord-Trøndelag	155	8975	8149	3880	3362	24519
Vestfold	0	0	313	0	0	313
Østfold	2201	2798	1454	0	0	6453
Totalsum	62101	67577	42680	26474	33825	232656

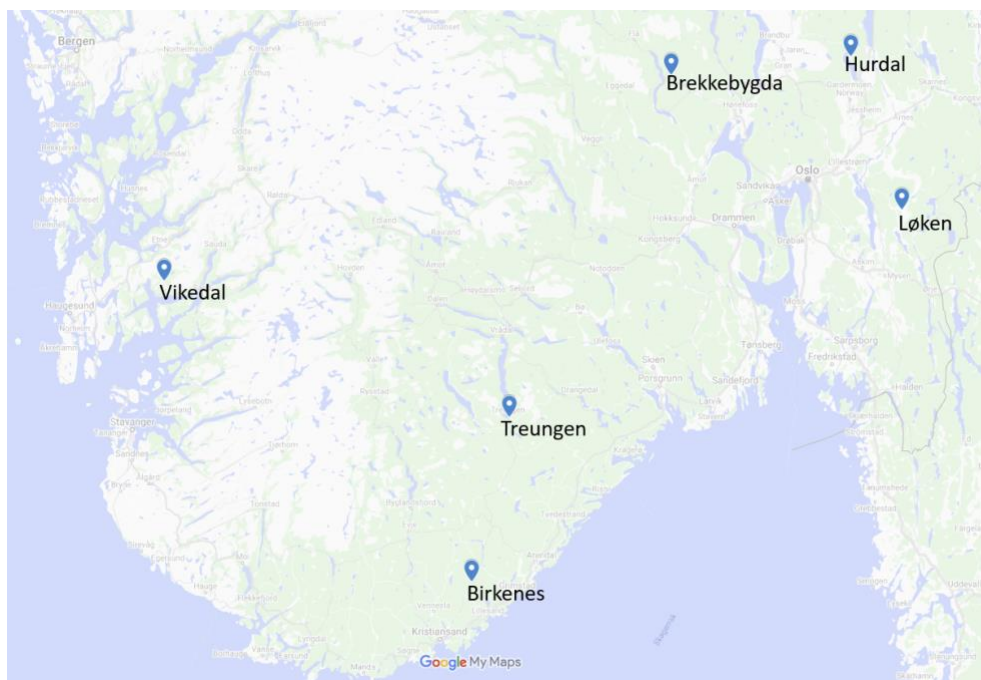
Tabell 4. Estimert nitrogenutvasking fra gjødslete arealer i **Tabell 2** (innenfor hensynssonen) basert på antatt utlekkingsgrad på 5% og antatt gjødslingsdose på 15 kg N/daa.

Fylke	Utvasking (kg N) i hensynssonen					Totalt 5 år
	2016	2017	2018	2019	2020	
Aust- og Vest-Agder	862	541	260	86	0	1749
Akershus	4958	2357	1319	0	3	8638
Buskerud	523	756	0	0	0	1279
Rogaland	53	0	0	0	0	53
Telemark	363	499	305	0	0	1167
Vestfold	0	0	313	0	0	313
Østfold	2201	2798	1454	0	0	6453
Totalsum	8960	6951	3651	86	3	19651

3.2 Atmosfæriske tilførsler

3.2.1 Målinger fra NILUs stasjoner 2010-2020

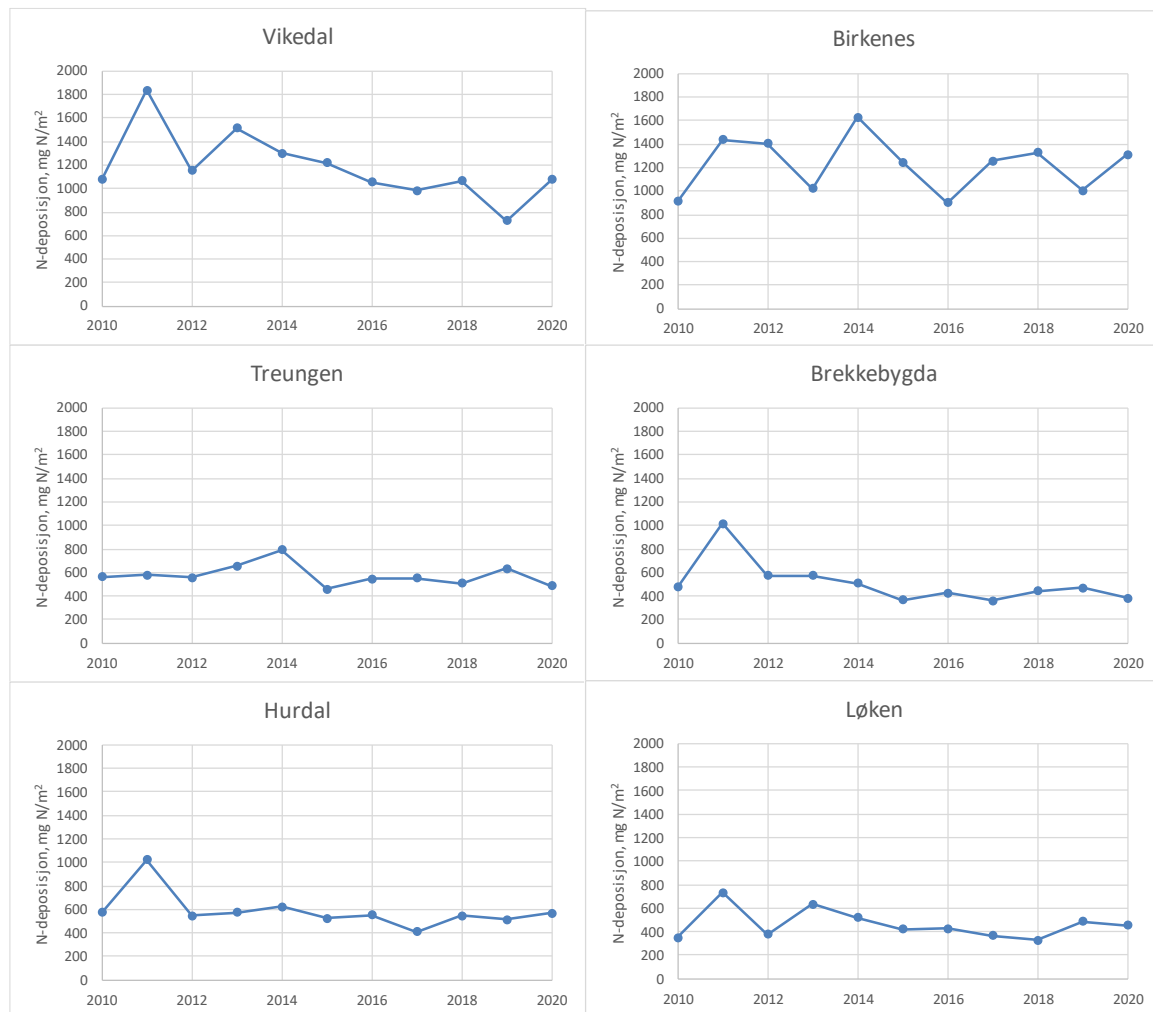
Norsk institutt for luftforskning (NILU) har overvåket avsetninger av kjemiske forbindelser (blant annet svovel og nitrogen) fra langtransportert forurenset luft og nedbør på faste stasjoner siden tidlig på 1970-tallet (Aas et al. 2021). Programmet ble en del av den statlige overvåkingen i 1980. I denne rapporten har vi valgt å fokusere på de av NILUs overvåkingsstasjoner som ligger innenfor eller i nærheten av den eksisterende hensynssonen i forbindelse med skoggjødsling, se **Figur 3**.



Figur 3. NILU-stasjoner som er lokalisert innenfor eller i nærheten av den eksisterende hensynssonen. Kartgrunnlag: Google My Maps.

Reduserte utslipp til luft fra europeiske kilder har ført til en betydelig nedgang i avsetningen av spesielt svovel, men også nitrogen i Norge. På Birkenes, en av stasjonene i Norge som har vært mest belastet med sur nedbør, har våtavsetningen av ikke-marint sulfat (SO_4), samt oksidert (NO_3) og redusert nitrogen (NH_4) avtatt med hhv. 73, 24 og 24% fra 1990 til 2020 (Aas et al. 2021). På stasjonene lenger øst, Treungen og Brekkebygda, har nedgangen vært enda litt større, hhv. 81 og 77% for ikke-marint SO_4 og 48% på begge stasjoner for summen av NO_3 og NH_4 .

Målinger fra 2010 fram til i dag viser imidlertid at utviklingen på Birkenes-stasjonen generelt har flatet ut de siste 10 årene (**Figur 4**, panel øverst til høyre). Det samme mønsteret gjelder i stor grad på Treungen, mens stasjonene lenger øst hadde en topp i 2011 og deretter en relativt flat utvikling fram mot 2020. Avsetningen av nitrogen i Sør-Norge viser generelt en øst-vest gradient, med de høyeste verdiene i vest. Blant stasjonene som er vist her, hadde Vikedal og Birkenes den høyeste nitrogenavsetningen. Førstnevnte stasjon hadde høyest avsetning i 2011, og har deretter vist en nedgang. En Mann-Kendall trendanalyse basert på dataene fra 2010 til 2020 viste ingen statistisk signifikant endring ($p > 0,05$) i den atmosfæriske avsetningen av nitrogen over tid. Stasjonene Vikedal og Hurdal var imidlertid svært nær å ha en statistisk signifikant nedgang, da begge hadde p-verdier på 0,052 (**Tabell 5**).



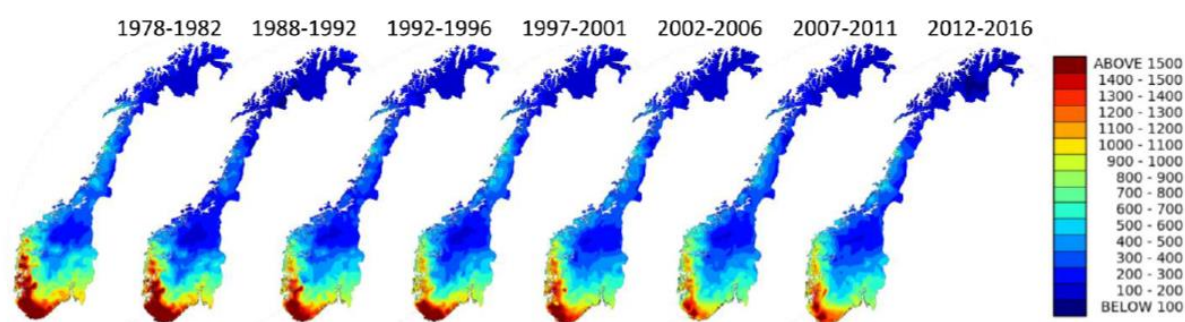
Figur 4. Avsetning av oksydert og redusert nitrogen fra nedbør (våtavsetning) på NILUs overvåkingsstasjoner i perioden 2010-2020. Kilde Aas et al. (2021).

Tabell 5. Resultater fra Mann-Kendall trendanalyse utført på årlig atmosfærisk nitrogenavsetning på 6 NILU-stasjoner i perioden 2010-2020. For statistisk signifikant endring må $p < 0,05$. Verdien for «Sen-slope» angir gjennomsnittlig årlig endring og om trenden er positiv eller negativ.

	p-verdi	Sen-slope
Vikedal	0,052	-61,0
Birkenes	0,815	-2,7
Treungen	0,243	-6,2
Brekkebygda	0,052	-21,5
Hurdal	0,102	-6,9
Løken	0,586	-8,2

3.2.2 NILUs beregninger av fem-års midler i atmosfæriske avsetninger

NILU beregner hvert femte år atmosfæriske avsetninger for hele Norge, og siste femårsrapport ble utarbeidet for perioden 2012-2016 (Aas et al. 2017). Metoden er basert på målinger fra alle NILUs nedbørstasjoner og statistisk interpolasjon (kriging) for å dekke hele Norges landareal. Utvikling av atmosfærisk avsetning av nitrogenforbindelser er vist i **Figur 5** og **Tabell 6**. Den største nedgangen skjedde mellom femårs-periodene 1983-1987 og 1988-1992 (15%) og mellom 2002-2006 og 2007-2011 (9%). Det var svært liten endring (+1%) mellom de to siste femårs-periodene.



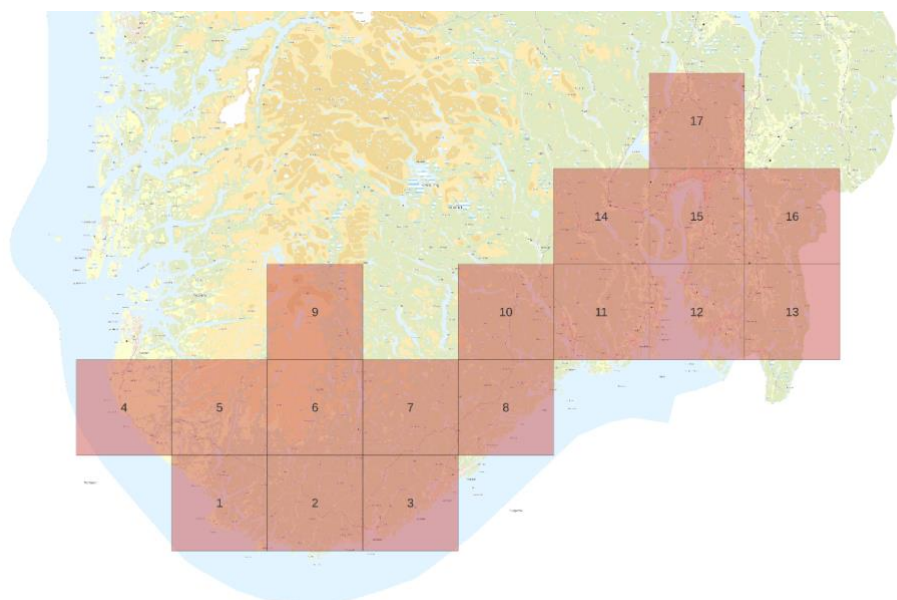
Figur 5. Trend i avsetninger av totalt nitrogen i Norge, basert på fem-års perioder fra 1978 til 2016. Enhet mg N/m². Figur hentet fra Aas et al. (2017).

Tabell 6. Atmosfærisk avsetning av totalt nitrogen over Norge basert på fem-års perioder fra 1978 til 2016. Kolonnene til høyre viser beregnet endring mellom femårs-periodene samt akkumulert endring for hele perioden. Basert på data fra Aas et al. (2017)

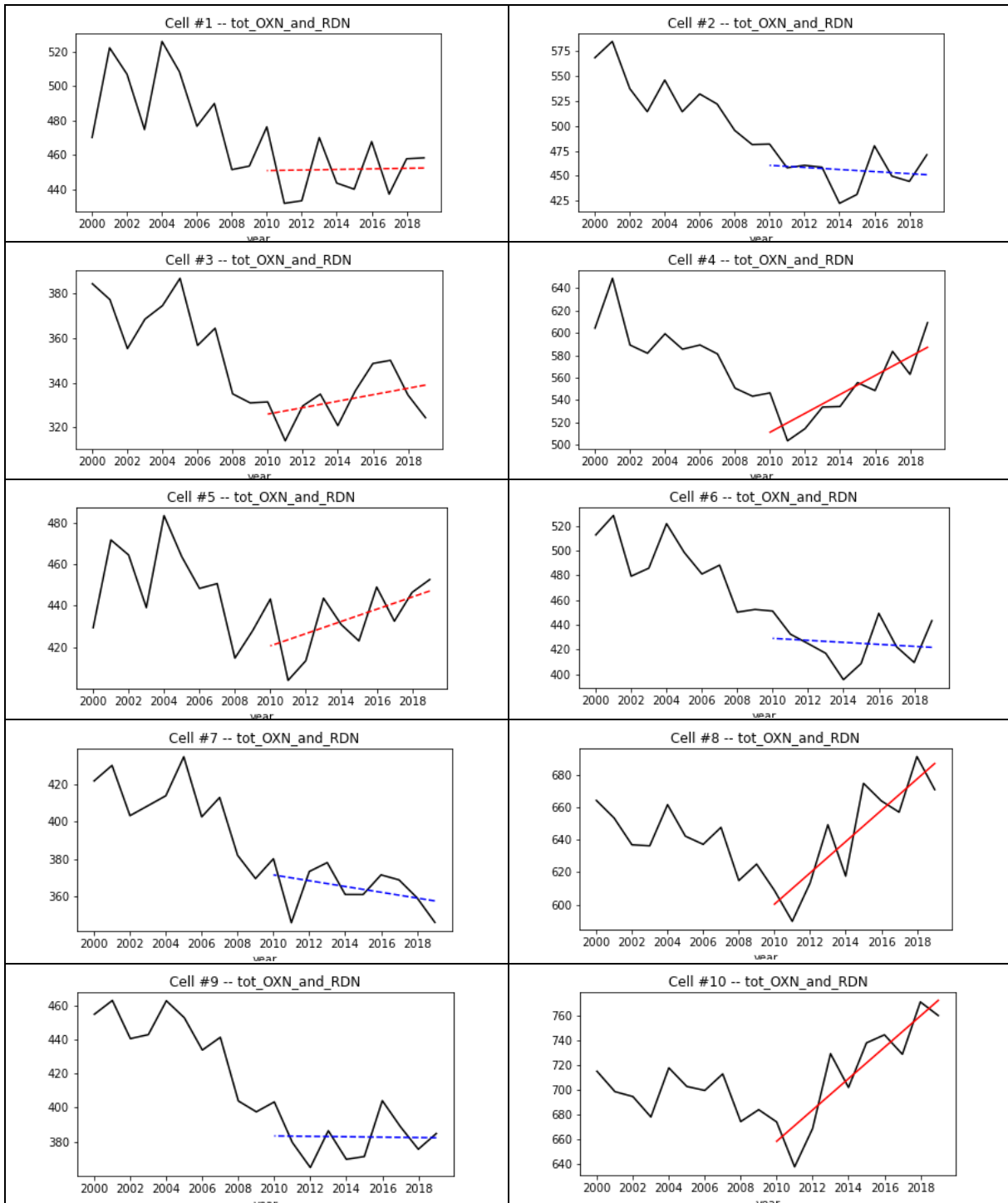
	Tot-N tonn/år	Endring mellom 5-års perioder %	Endring, akkumulert %
1978-1982	177224		
1983-1987	187058	6	6
1988-1992	159245	-15	-10
1992-1996	151852	-5	-14
1997-2001	151136	0	-15
2002-2006	154856	2	-13
2007-2011	140321	-9	-21
2012-2016	141660	1	-20

3.2.3 Data fra EMEP 2010-2019

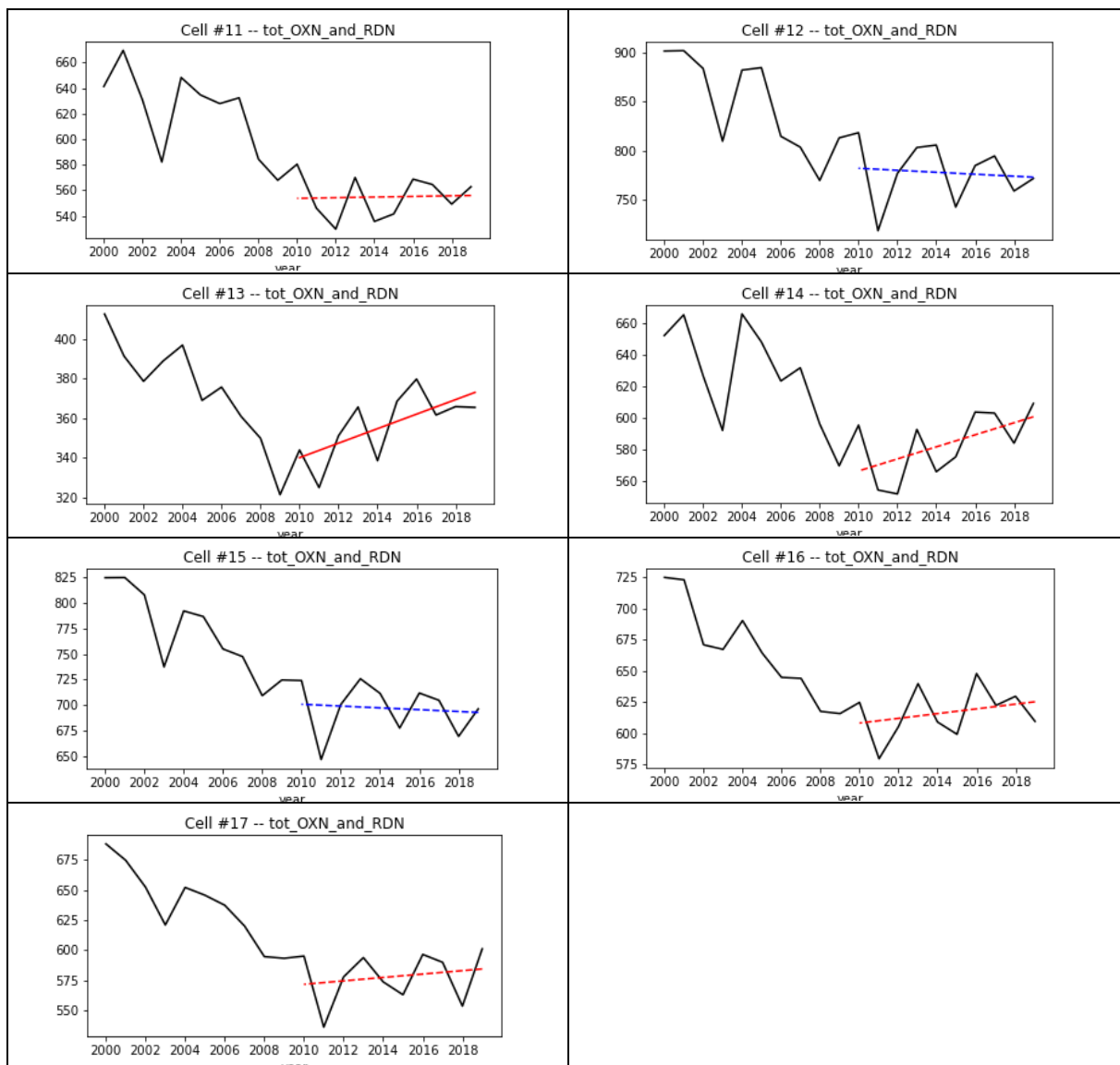
Et alternativ til å interpolere målinger fra faste stasjoner til et landsdekkende datasett, som vist i forrige avsnitt, er å benytte modellerte data. I dette avsnittet presenteres data fra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) og MSC-W modellen, som brukes som dokumentasjonsgrunnlag i forbindelse med oppfølging av Konvensjonen om langtransportert luftforurensning. Modellresultatene fra EMEP presenteres som et geografisk rutenett med oppløsning på 0,1 x 0,1 grader, og for vårt bruk har vi aggregert EMEP-rutene til 17 større ruter som til sammen dekker mesteparten av den eksisterende hensynssonen i forbindelse med skoggjødsling (Figur 6). I Figur 7 og Figur 8 vises modellerte data for de 17 rutene fra 2000 til og med 2019, samt trendlinjer for utviklingen mellom 2010 og 2019.



Figur 6. Aggregering av originale EMEPs rutenett (0,1 x 0,1 grader, eller ca. 10x10km) til større ruter som til sammen dekker mesteparten av den eksisterende hensynssonen.

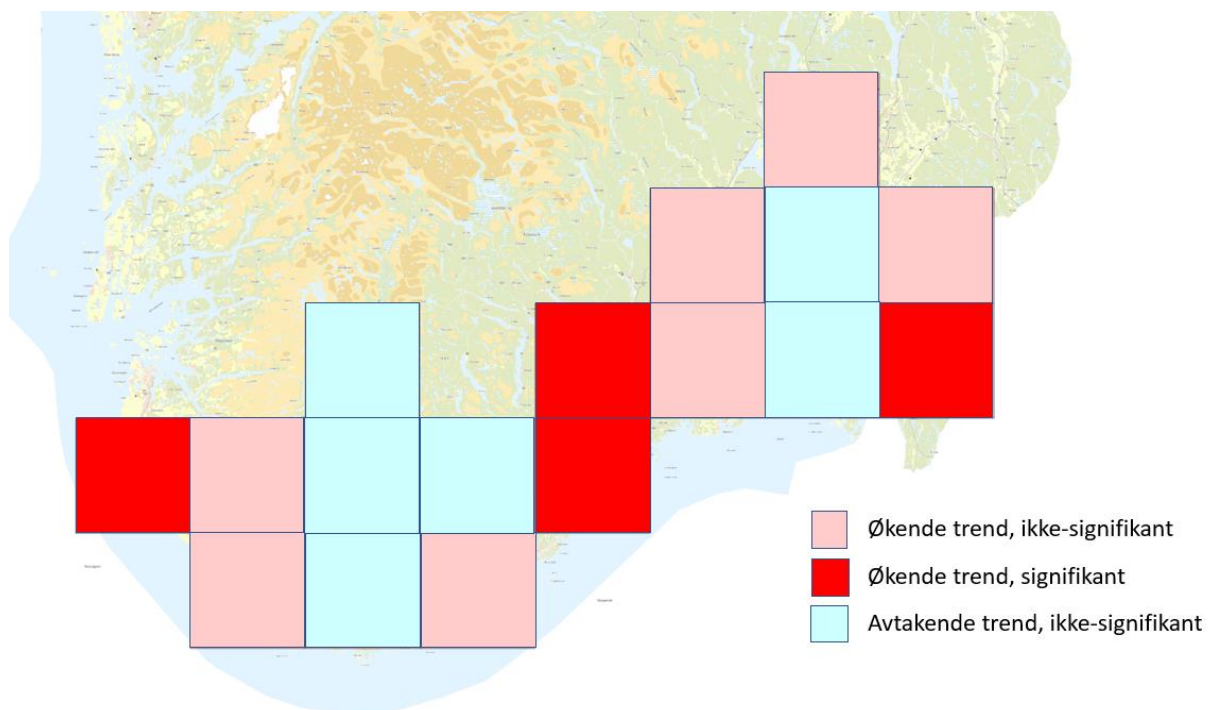


Figur 7. Modellerte data fra EMEP 2000-2019. Total avsetning av oksydert og redusert nitrogen (i mg N/m²) innenfor rutene/cellene 1-10 som er vist i **Figur 6**. Tallene inkluderer våtavsetning (fra nedbør) og tørravsetning (fra luft). Kilde: Fagerli et al. (2020). Det er lagt inn trendlinjer for perioden 2010-2019. Blå viser avtakende trend, rød en økende trend. Heltrukne linjer indikerer statistiske signifikante trender (p<0.05).



Figur 8. Modellerte data fra EMEP 2000-2019. Total avsetning av oksydert og redusert nitrogen (mg N/m^2) innenfor rutene 11-17 som er vist i **Figur 6**. Inkluderer våtavsetning (fra nedbør) og tørravsetning (fra luft). Kilde: Fagerli et al. (2020). Det er lagt inn trendlinjer for perioden 2010-2019. Blå viser avtakende trend, rød en økende trend. Heltrukne linjer indikerer signifikante trender ($p < 0.05$).

En kartframstilling av ruter med økende eller avtakende trender (**Figur 9**) viser ikke et tydelig geografisk mønster. Dette kan ha sammenheng med at endringene er små i den aktuelle tidsperioden (2010-2019) og trendene i de fleste av tilfellene ikke er statistisk signifikante. De eneste signifikante endringene er oppadgående trender i rute 4, 8, 10 og 13, men som det framgår av kartet ligger ikke de aktuelle rutene i samme geografiske område.



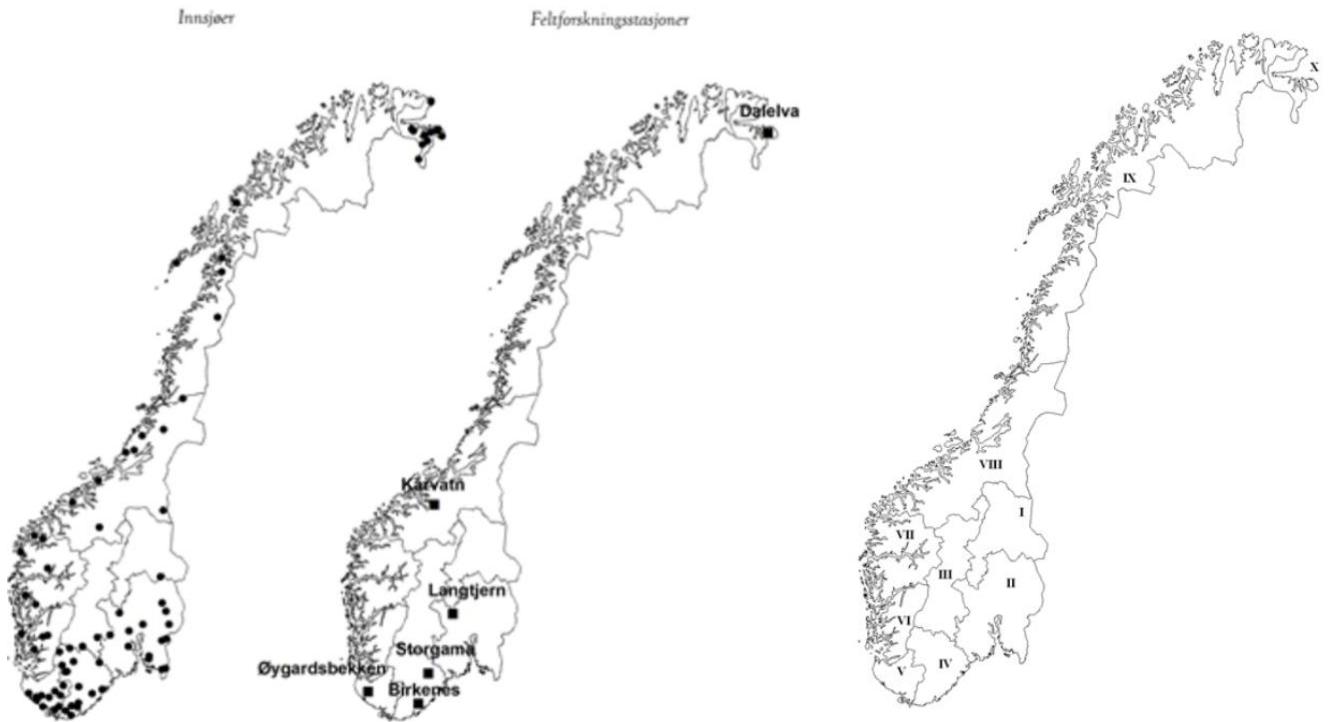
Figur 9. Kartframstilling av trendene for atmosfærisk avsetning av totalt nitrogen 2010-2019, som vist i **Figur 7** og **Figur 8**.

3.3 Resultater fra nasjonal vannovervåking

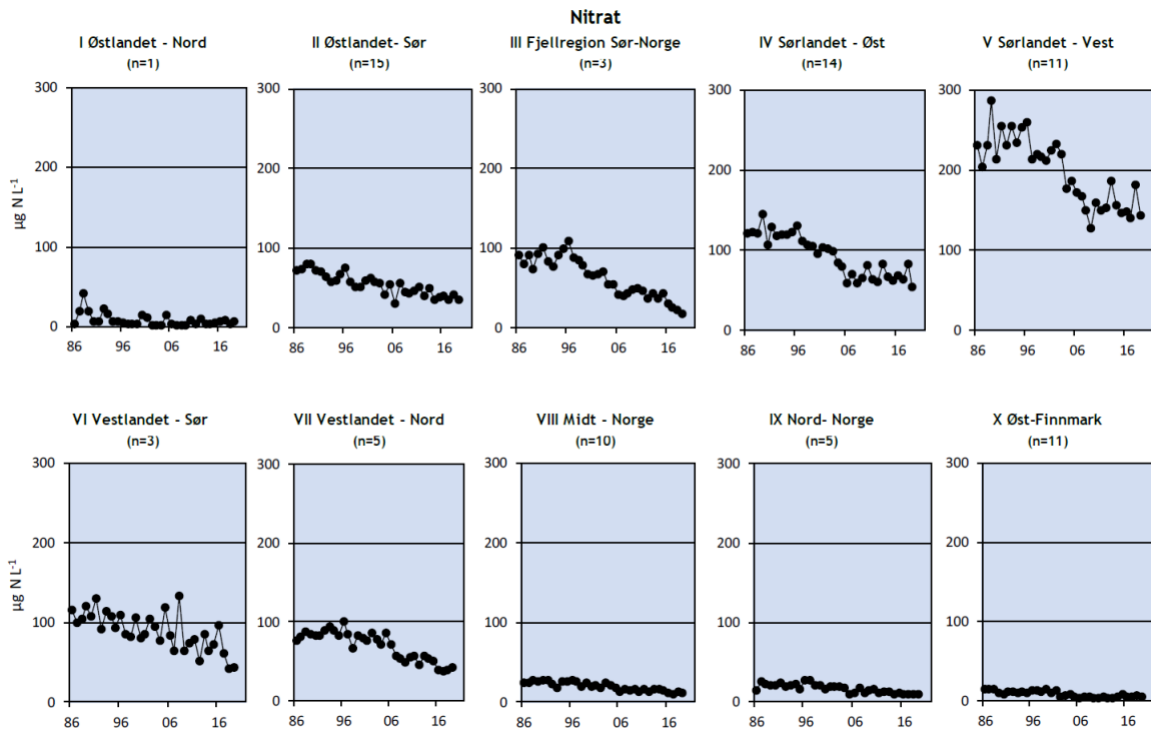
3.3.1 Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør

Programmet for "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" startet i 1980 etter avslutningen av forskningsprosjektet «Sur nedbørs virkning på skog og fisk» (SNSF-prosjektet). Den vannkjemiske delen av programmet omfatter lange tidsserier for om lag 80 innsjøer, 6 små nedbørfelt (feltforskningsområder) og to elver. Den hittil ferskeste årsrapporten inneholder data til og med 2019 (Garmo og Skancke 2020). Vi har valgt å fokusere på resultater fra innsjøene og feltforskningsstasjonene i denne rapporten. Lokalisering av stasjonene er vist i **Figur 10** og trender for nitrat er gitt for innsjøer i **Figur 11** og for feltforskningsstasjonene i **Figur 12**.

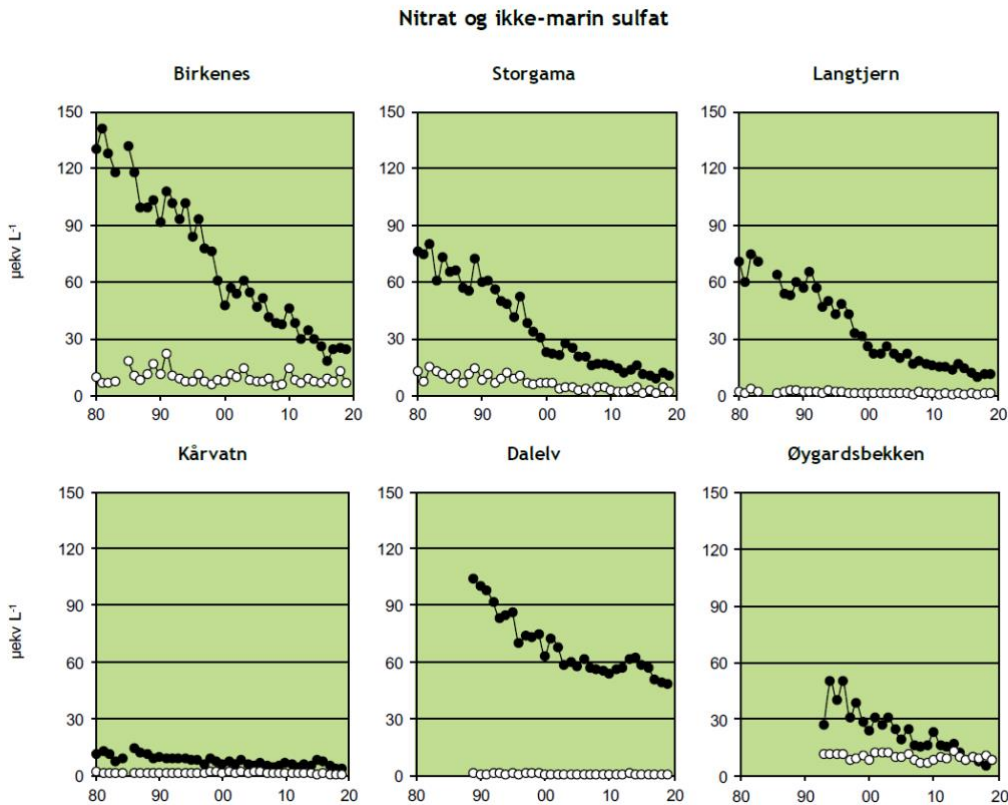
Når det gjelder innsjøene er det de fire regionene *Østlandet sør*, *Sørlandet øst*, *Sørlandet vest* og *Vestlandet* som geografisk sett dekker den eksisterende hensynssonen i forbindelse med skoggjødsling. Resultatene viser at konsentrasjonen av nitrat i innsjøer har vært relativt uendret de siste 5-6 årene i regionene *Østlandet sør* og *Sørlandet øst* og *vest*. I region *Vestlandet sør* var nitratkonsentrasjonen i 2018 og 2019 den laveste som er registrert siden innsjøene ble overvåket for første gang i 1986. Blant regionene er det *Sørlandet vest* som har de høyeste gjennomsnittskonsentrasjonene av nitrat, både historisk sett og i dag.



Figur 10. Lokalisering av innsjøene og feltforskningsstasjonene som overvåkes i forbindelse med overvåkingsprogrammet for langtransportert forurenset luft og nedbør. Kartet til høyre viser regioninndelingen som brukes for innsjøene (Garmo og Skancke 2020).

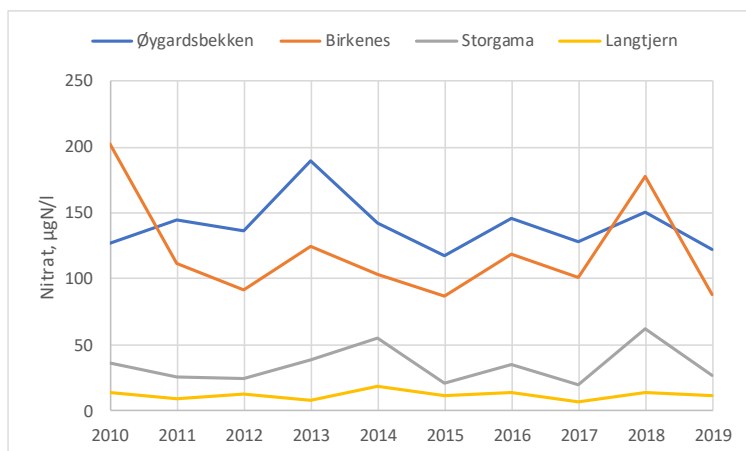


Figur 11. Trenden for nitrat for innsjøer fordelt på 10 regioner i Norge for perioden 1986-2019. Den horisontale akse viser årstall. Figur hentet fra Garmo og Skancke (2020).



Figur 12. Trender for volumveid konsentrasjon av nitrat og ikke-marin sulfat på feltforskningsstasjonene for perioden 1980-2019. Symboler: Ikke-marin sulfat ● og nitrat ○. Benevning: µekv/L Den horisontale aksene viser årstall. Figur hentet fra Garmo og Skancke (2020).

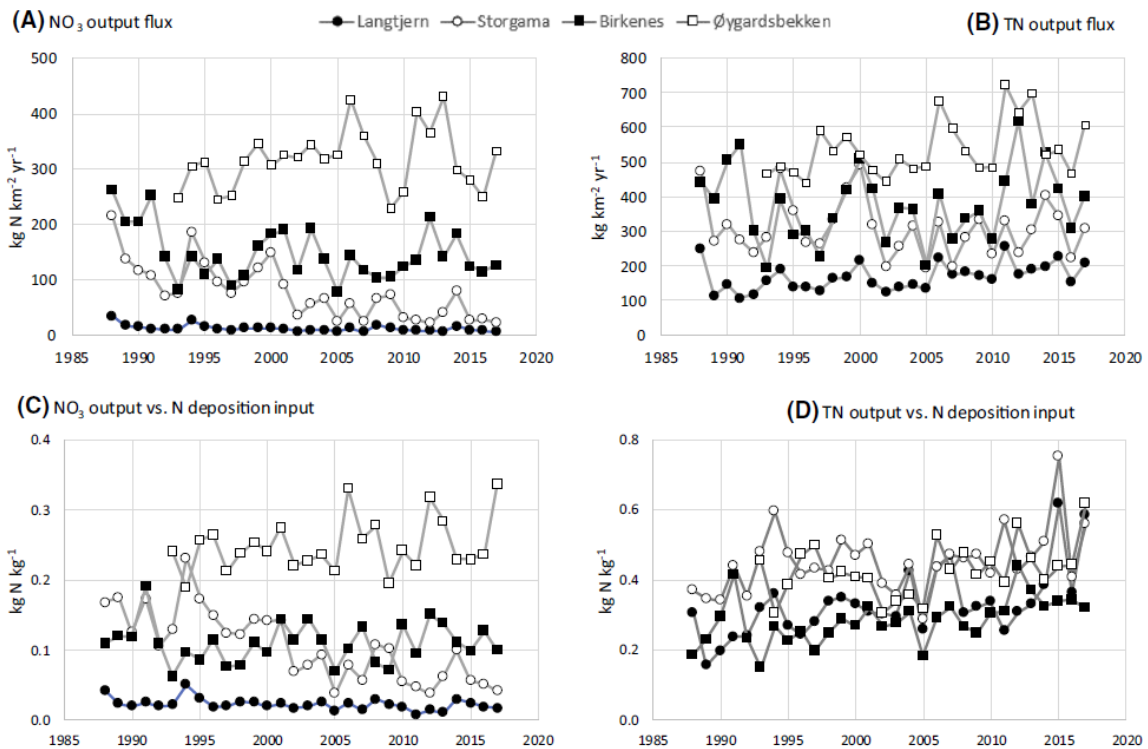
Også på feltforskningsstasjonene har det vært relativt lite endringer i middelkonsentrasjon av nitrat i løpet av de siste 5-10 årene (**Figur 12, Figur 13**). Vi finner de høyeste konsentrasjonene i vest og sør (Øygardsbekken, Birkenes), mens Storgama i Telemark og Langtjern i Hallingdal har lave konsentrasjoner. Hvis en går lenger tilbake tid (**Figur 12**) går det fram at Storgama hadde en del høyere konsentrasjoner enn dagens, mens verdiene på Langtjern stort sett har vært lave hele tiden.



Figur 13. Volumveide årsmiddelkonsentrasjoner av nitrat på feltforskningsstasjonene Øygardsbekken, Birkenes, Storgama og Langtjern for perioden 2010-2019. Benevning: µg N/l.

3.3.2 Nitrogenutvasking fra feltforskningsområdene

Feltforskningsområdene Øygardsbekken, Birkenes, Storgama og Langtjern (vist på kart i **Figur 10**) ligger langs en gradient i Sør-Norge hvor årsnedbøren og atmosfæriske N-avsetninger er høyest i vest og lavest i øst. Lange dataserier (1988-2017) viser at feltene responderer ulikt på nedgangen i atmosfærisk nitrogenavsetning som er observert i samme tidsperiode (Kaste et al. 2020). På de tre østligste stasjonene ble det dokumentert en reduksjon i nitrogenutlekkingen over tid, mens feltet lengst vest (Øygardsbekken) ikke viste noen signifikant nedgang (**Figur 14**) – muligens på grunn av tynt jordsmonn med lavt karbon/nitrogen-forhold, sparsomt vegetasjonsdekke og høy årsnedbør. Det årlige tapet av total nitrogen fra jord til overflatevann ble her estimert til 30-50% av den årlige nitrogenavsetningen fra atmosfæriske kilder. Undersøkelsen viser at feltene har stor kapasitet til å akkumulere nitrogen som avsettes via luft og nedbør, men at dataene (særlig i det vestligste feltet) også peker på at avsetningen av nitrogen fra forurenset luft og nedbør fortsatt kan gi betydelig utlekking av nitrogen til vann i skrinne utmarksområder.



Figur 14. Transport av nitrat (NO₃) og total nitrogen (TN) ved fire feltforskningsstasjoner i Sør-Norge vs. tilførsler fra atmosfæriske kilder. Benevning: kg N/km²/år. Figur fra Kaste et al. (2020).

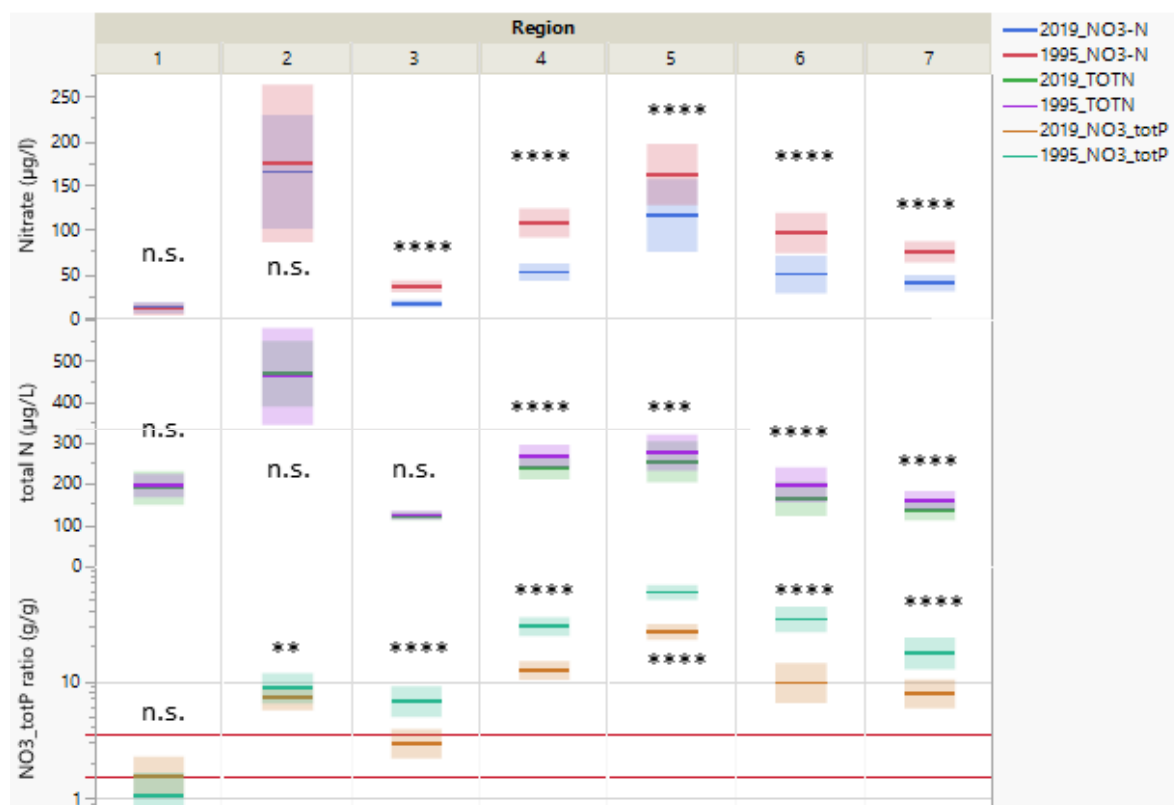
3.3.3 Nasjonal innsjøundersøkelse 2019

En sammenligning av vannkjemiske data for innsjøer i Norge i 1995 og 2019 (rapportert i Hindar et al. 2021) viser at nitratkonsentrasjonene har gått kraftig ned i høyereliggende innsjøer og på Vestlandet og Sørlandet (**Figur 15, Tabell 7**), mens det ikke har skjedd endringer på Østlandet.

Nitratkonsentrasjonene er høyest på Sørlandet og Vestlandet. Endringene i total nitrogen er mindre enn for nitrat, men også her er nivåene fra 1995 høyere enn i 2019 på Sørlandet og Vestlandet. Reduksjonen i total nitrogen blir påvirket av den omfattende økningen av TOC som har skjedd siden nittitallet, og som dermed innebærer at en stor del av nitrogenet er organisk bundet. I region 3-7 har total organisk nitrogen (TON) økt (**Tabell 7**). Forholdet mellom nitrat og tot-P har også endret seg mot en mindre andel nitrat i forhold til tot-P. Dette indikerer at innsjøene både har blitt mer næringsfattige og mer nitrogenbegrenset. Intervallet som indikerer overgangen fra nitrogen- til fosforbegrensing er basert på vekstsesongen, når forholdet mellom nitrat og tot-P er betydelige lavere enn på høsten (**Figur 15**) på grunn av opptak av nitrogen i vegetasjon og skog, som jo er sterkt koblet til temperatur. De regionale forskjellene i nitratkonsentrasjon styres i all hovedsak av en kombinasjon av nedbørfeltetegenskaper (jordtykkelse, andel skog, m.v.), klima og atmosfærisk nitrogenavsetning.

Tabell 7. Middelerverdier av nitrat, total organisk nitrogen (TON), tot-N ($\mu\text{g/l}$) og forholdet mellom nitrat (NO_3) og tot-P (g/g) for sju norske regioner, i 1995 og 2019. Lokalisering av de ulike regionene er vist i **Figur 10**. Kilde: 1000-sjøundersøkelsen.

Regionsnavn	Region	Ant innsjøer	NO_3		TON		totN		$\text{NO}_3:\text{totP}$	
			1995	2019	1995	2019	1995	2019	1995	2019
Østlandet Nord	1	42	11	13	186	179	198	192	4,4	4,2
Østlandet - Sør	2	110	175	166	288	305	464	471	25,9	18,1
Fjellregion	3	130	37	17	88	106	125	123	21,5	10,3
Sørlandet - Øst	4	106	109	53	160	186	268	239	47,0	21,9
Sørlandet - Vest	5	98	163	117	115	139	278	256	74,6	37,4
Vestlandet - Sør	6	54	97	50	102	114	199	165	49,4	20,5
Vestlandet Nord	7	100	76	40	85	95	160	135	38,7	17,6

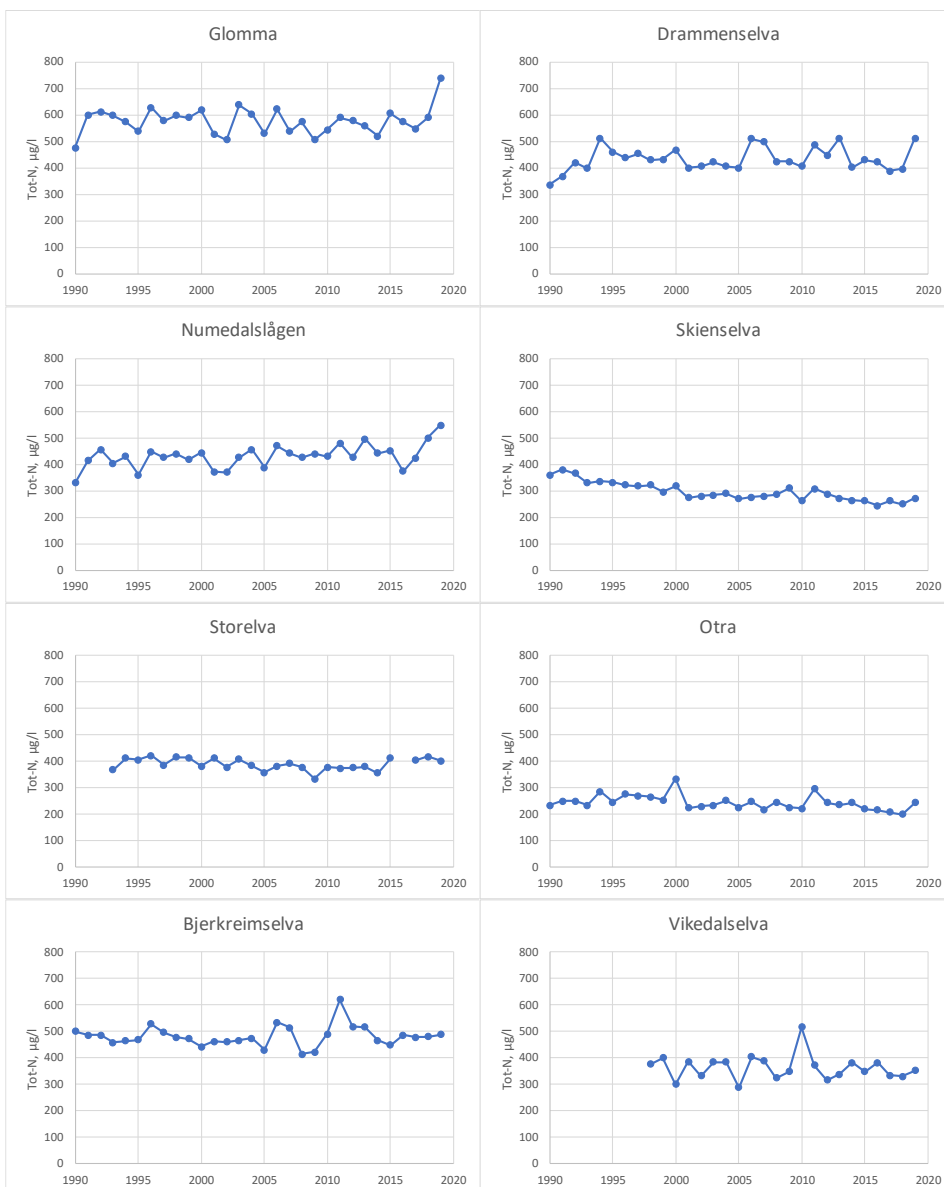


Figur 15. Konsentrasjoner av nitrat og total nitrogen, og forholdet mellom nitrat og tot-P (log-skala), i 1995 og 2019 basert på 1000-sjøers undersøkelsen, i sju regioner i Norge (se **Figur 7**). Prøvene er tatt etter høstsirkulering. Linjene viser middelerverdier, og skraverte felt viser konfidensintervallet (95%). Resultat av statistisk analyse (pairwise comparison): n.s., not significant ($p > 0,05$), ****, $p < 0,0001$; *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$. De to røde linjene i nitrat-totP panelet viser intervallet som forbindes med overgangen fra nitrogen-begrensning ($< 1,5$) til fosforbegrensning ($< 3,5$) (basert på vannkjemi fra sommersesongen).

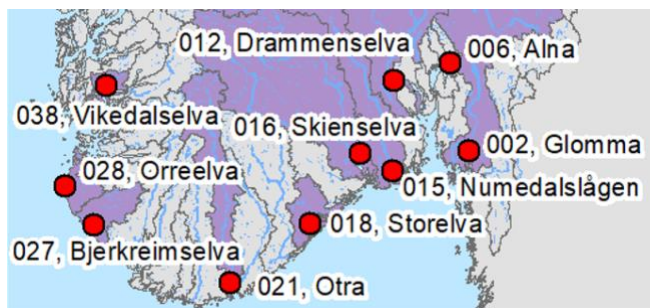
3.3.4 Elveovervåkingsprogrammet og TEOTIL-prosjektet

Elveovervåkingsprogrammet

Elveovervåkingsprogrammet (tidligere Elvetilførselsprogrammet/RID) inkluderer per i dag månedlig overvåking av vannkjemi i 20 elver rundt om i Norge (Braaten et al. 2020). Vi har valgt å vise data fra åtte elver som ligger innenfor eller nær hensynssonen for skoggjødsling. **Figur 16** viser årsmiddelkonsentrasjoner av total nitrogen fra 1990 til 2019 i overvåkingselvene (kartet i **Figur 17** viser lokalisering av elvene). På tross av en del år-til-år variasjon ser det ut til at konsentrasjonene generelt sett er relativt stabile over tid. Om vi ser litt nærmere på 10-års perioden fra 2010 til 2019, var det kun Otra som hadde en statistisk signifikant endring (nedgang) i årsmiddelkonsentrasjon av total nitrogen (**Tabell 8**). Otra er blant elvene i programmet som er minst påvirket av jordbruk (0,9% dyrka mark).



Figur 16. Årsmiddelkonsentrasjoner av total nitrogen 1990-2019 i elver som er inkludert i Elveovervåkingsprogrammet (Braaten et al. 2020). Data før 2017 i Storelva, Bjerkreimselva og Vikedalselva er fra overvåkingsprogrammet for kalkede laksevasdrag (Miljødirektoratet 2020).



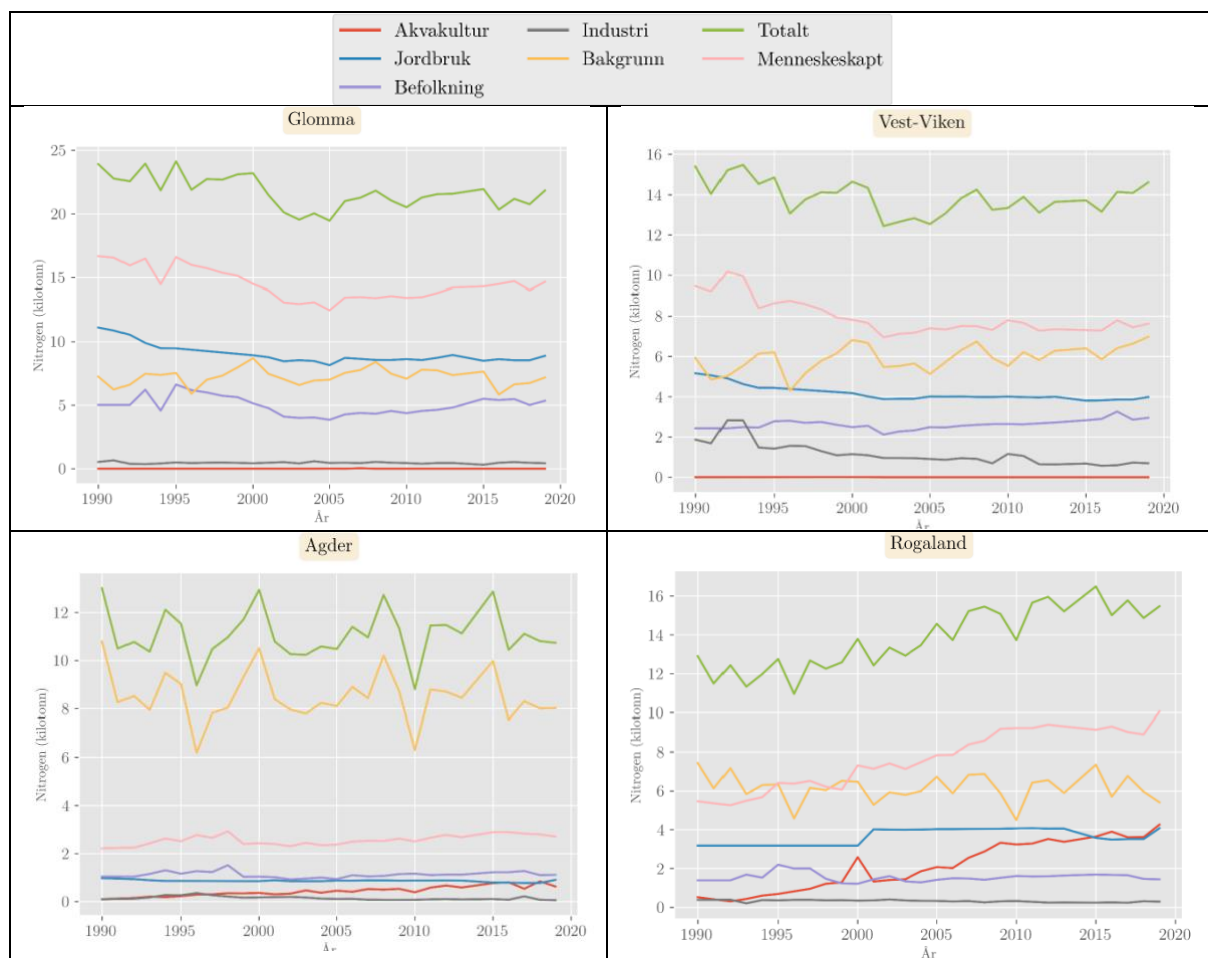
Figur 17. Lokalisering av elvene fra Elveovervåkingsprogrammet (data er vist i **Figur 16**). Det er ikke vist data for Alna og Orreelva, da disse er sterkt påvirket av hhv. urban avrenning og jordbruk.

Tabell 8. Resultater fra Mann-Kendall trendanalyse utført på årlige middelkonsentrasjoner av total nitrogen 2010-2020 i åtte elver fra Elveovervåkingsprogrammet. For statistisk signifikant endring må $p < 0.05$. Verdien for «Sen-slope» angir gjennomsnittlig årlig endring og om trenden er positiv eller negativ.

	p-verdi	Sen-slope
Glomma	0,33	5,0
Drammenselva	0,53	-2,8
Numedalslågen	0,42	7,8
Skienselva	0,09	-3,2
Storelva	0,10	3,8
Otra	0,04	-6,9
Bjerkreimselva	0,18	-4,6
Vikedalselva	0,33	-5,9

TEOTIL-prosjektet

Hvert år beregnes kildefordelte tilførsler av fosfor og nitrogen til alle hydrologiske sub-enheter (REGINE-felt) i Norge (Guerrero og Sample 2021). Fra disse minste-enhetene kan tilførslene akkumuleres til ulike enheter som f.eks. vassdrag, vannområder og vannregioner. **Figur 18** viser årlige nitrogentilførsler for perioden 1990-2019 i de fire vannregionene som berører hensynssonen. I vannregionene Glomma og Vest-Viken avtok de totale tilførslene frem til om lag 2005, deretter har de hatt en svak økning. I vannregion Agder er tilførslene preget av store år-til-år variasjoner, men uten en tydelig trend. Tilførslene av nitrogen i vannregion Rogaland har vist en jevn økning siden midten av 1990-tallet, noe som i all hovedsak skyldes utslipp fra akvakultur langs kysten. Det er tendens til utflating av de totale tilførslene etter 2011.



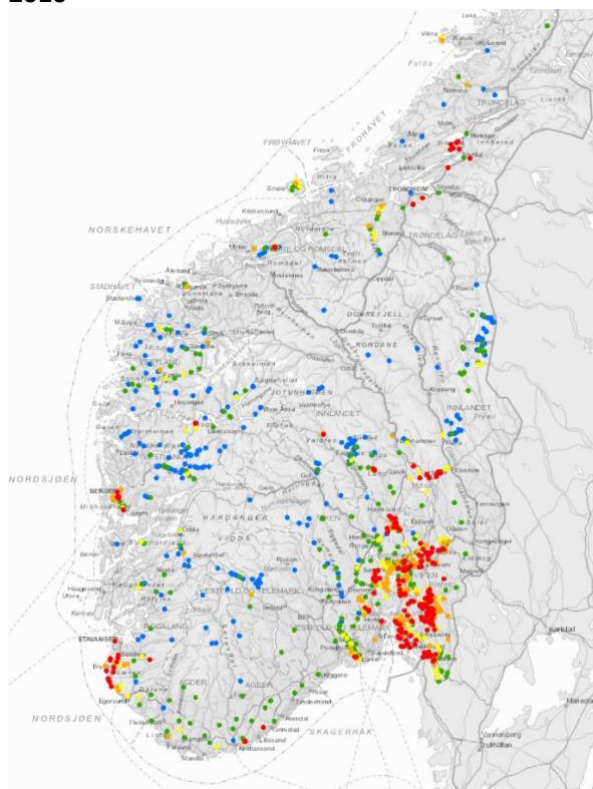
Figur 18. Kildefordelte tilførsler av nitrogen til vannregionene Glomma, Vest-Viken, Agder og Rogaland. Figurer hentet fra Guerrero og Sample (2021).

3.3.5 Nitrogentilstand i vannområder i Norge siden 2010

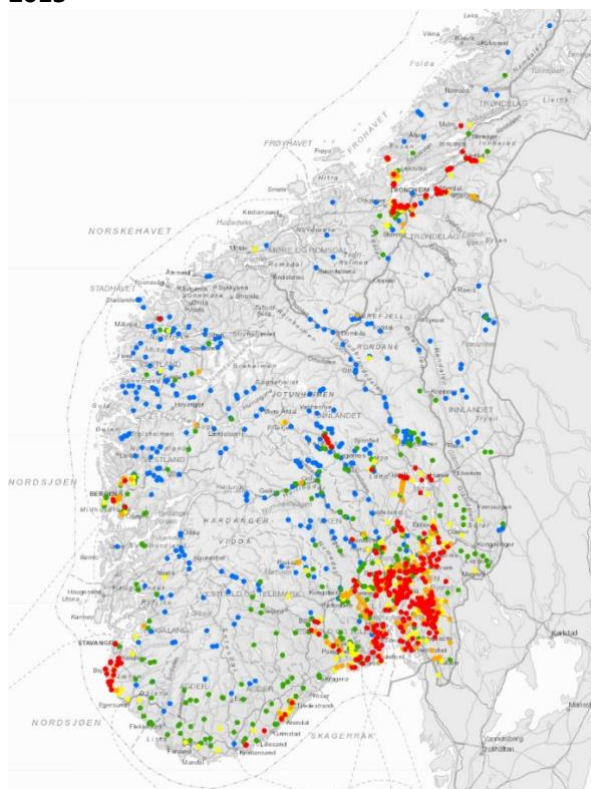
Kartet i **Figur 19** viser status for total nitrogen per vannområde i Sør-Norge for hhv. 2010, 2015 og 2020. Statusklassene er basert på de mest sårbare vanntypene i forhold til nitrogen, som omfatter elve- og innsjøtypene 101, 102, 201, 202, 204 og 205 (Direktoratsgruppen vanddirektivet 2018). I henhold til Klassifiseringsveilederen er klassegrensene for disse vanntypene 1-250 $\mu\text{g/l}$ (svært god); 250-425 $\mu\text{g/l}$ (god); 425-675 $\mu\text{g/l}$ (moderat); 675-1250 $\mu\text{g/l}$ (dårlig) og over 1250 $\mu\text{g/l}$ (svært dårlig tilstand).

Det er en utfordring at nitrogendata i Vannmiljø-databasen feilaktig ligger inne med to ulike enheter, mg/l og $\mu\text{g/l}$. I **Figur 20** er gjennomsnitt med standardavvik for tot-N for hele Norge vist for perioden 2010-2020, sammen med antall prøver per år. Alle verdier under 100 er fjernet for å forsøksvis unngå problemet med feil enheter, noe som gir et høyere gjennomsnitt enn det som er reelt. Én ekstremverdi på 120 mg/l i mars 2013 ble dessuten fjernet fra serien; denne avvek så kraftig fra resten av serien at den ga kraftig utslag på standardavviket.

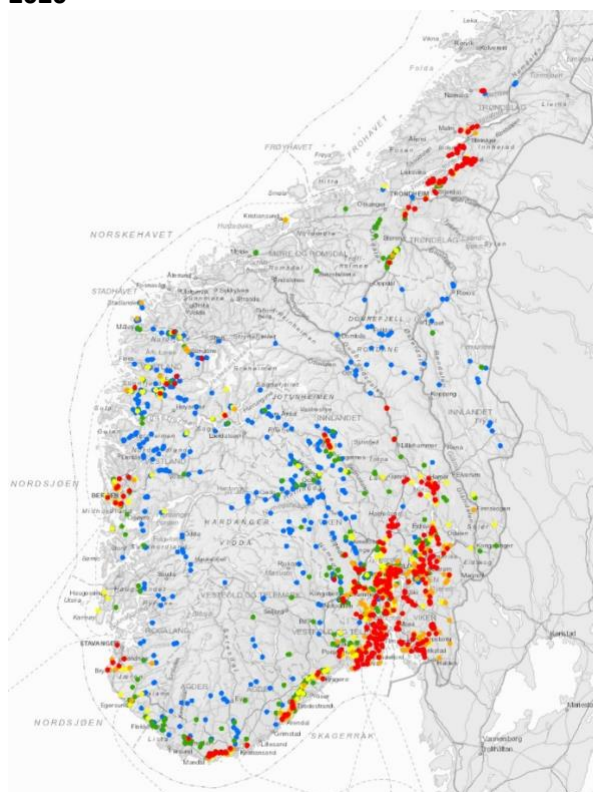
2010



2015



2020



Forklaring:

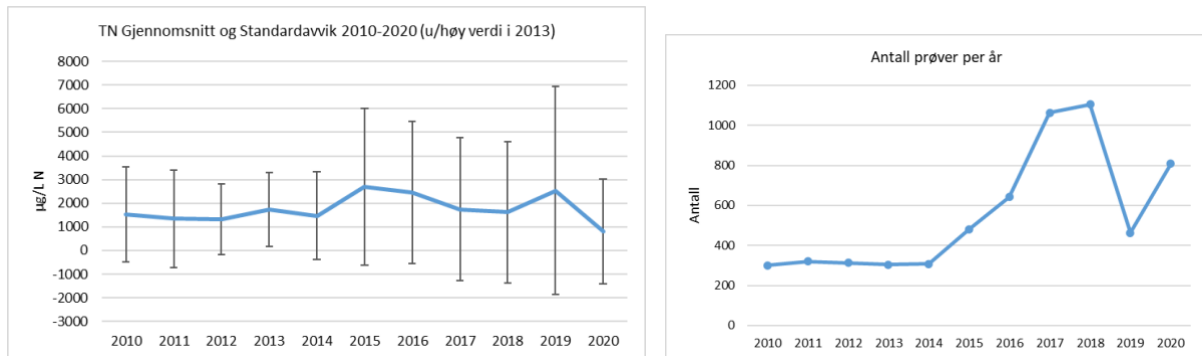
Vannlokaliteter

Totalnitrogen i Ferskvann



Figur 19. Tilstand for total nitrogen per vannområde i hhv 2010, 2015 og 2020. Blå: Svært god, grønn: God, gul: Moderat, Oransje: Dårlig, rø: Svært dårlig. Konsentrasjonsintervallene er oppgitt i $\mu\text{g N/L}$. Kilde: Vannmiljø-databasen.

Variasjoner mellom år kan ha flere årsaker, som værforhold og hvilke stasjoner som er prøvetatt de ulike årene. Antall prøver varierer fra år til år; det er adskillig flere prøver i databasen fra 2015-2020 enn tidligere, noe som gjør det vanskelig å utføre trendanalyser på dette materialet. Årene 2015, 2016 og 2019 hadde de høyeste gjennomsnittlige tot-N-konsentrasjonene, mens 2020 hadde de laveste. Det var ingen tydelig trend i den gjennomsnittlige tot-N-konsentrasjonen på landsbasis.



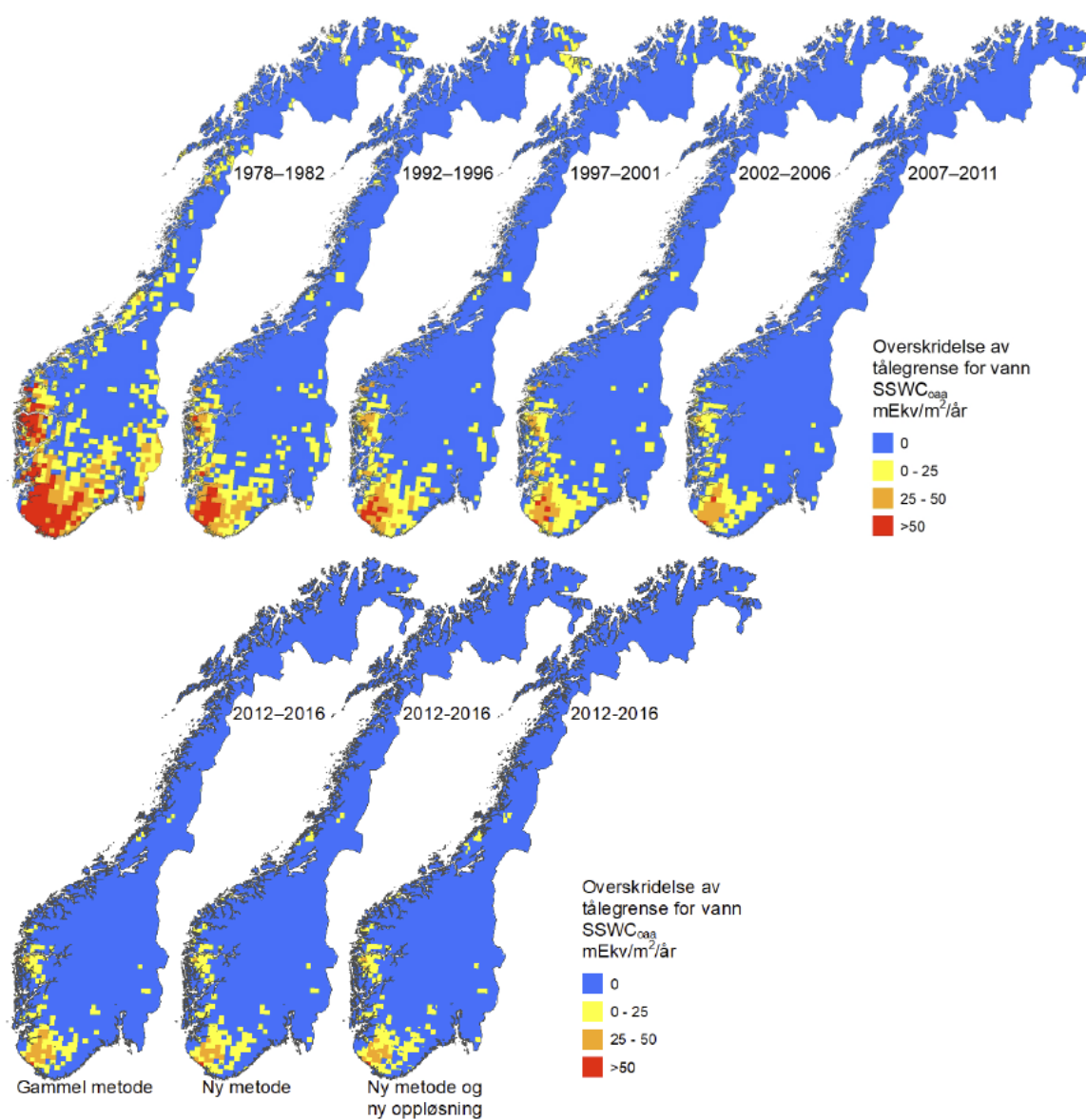
Figur 20. Gjennomsnitt med standardavvik (til venstre) og antall prøver per år (til høyre) av tot-N for perioden 2010-2020, basert på data fra vannområder i hele Norge. Siden data ligger inne med ulik enhet i Vannmiljø-databasen ble alle verdier under 100 fjernet, i tillegg til en ekstremverdi i mars 2013. Kilde: Vannmiljø-databasen.

3.4 Status for overskridelser av tålegrenser

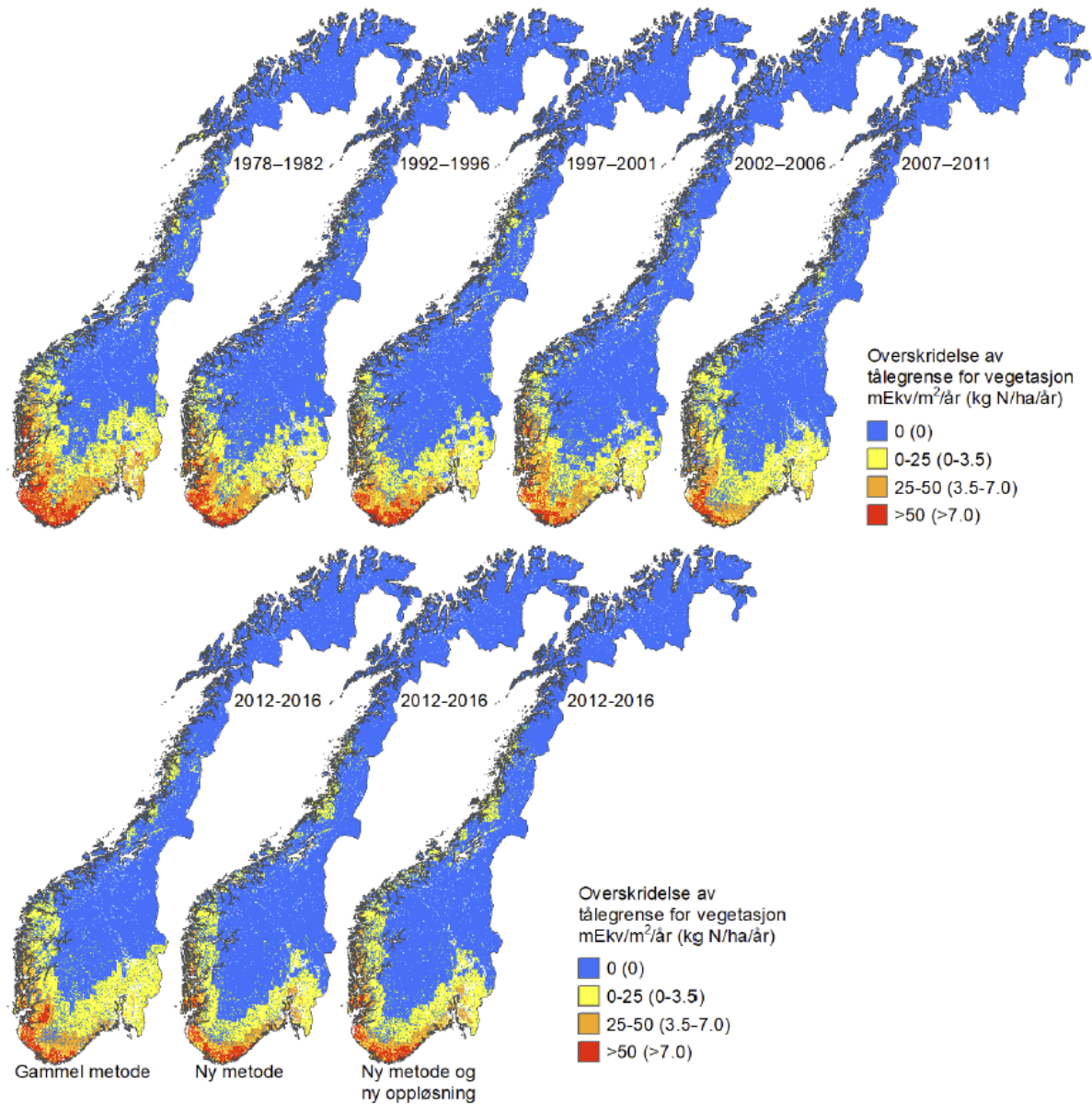
Hvert femte år oppdaterer NIVA, på oppdrag fra Miljødirektoratet, beregninger og kart for overskridelser av tålegrensene for tilførsler av svovel og nitrogen til vann, jord og vegetasjon. Den nyeste rapporten fra dette arbeidet viser oppdaterte tålegrensekart og overskridelser med avsetningsdata (Austnes et al. 2018).

For forsurening av vann var tålegrenser overskredet for 7% av Norges areal i 2012-2016, mot 8% i den foregående fem-års perioden (**Figur 21**). Denne beregningen er gjort med en statisk modell (SSWC-modellen) som er basert på dagens nitrogenutlekking. Med FAB-modellen, som representerer et «worst case» scenario i forhold til fremtidig nitrogenutlekking, var overskridelsen 19% i 2012-2016, mot 20% i den foregående fem-års perioden. For nærmere beskrivelse av modellene, se Austnes et al. (2018).

Overskredet areal for overgjødslingseffekter på terrestrisk vegetasjon var 20% i 2012-2016, mot 21% i forrige periode (**Figur 22**). For det meste er overskridelsen under 200 ekv $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ (Forsius et al. 2021, fig. 1), men den kan også være høyere på noen steder, for eksempel ved Birkenes-flata (Forsius et al. 2021, tabell 3, fig. 2). Tålegrensene for forsurening av skogsjord viste i likhet med de seneste periodene ingen overskridelser.



Figur 21. Beregnet overskridelse av **tålegrenser for forurening av overflatevann** ved bruk av SSWC-modellen for fem-års perioder mellom 1978 og 2016. For den siste fem-års perioden er overskridelsene vist med gammel metode og en ny som er basert på en kombinasjon av observasjoner og modellerte data. Metodene viste små forskjeller i forhold til overskredet areal. Figur fra Austnes et al. (2018).



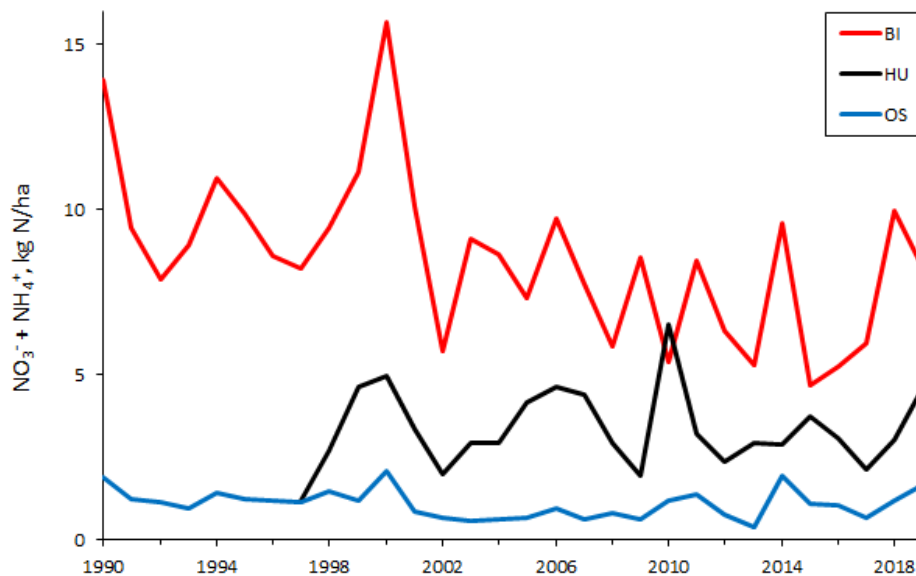
Figur 22. Beregnet overskridelse av **tålegrenser for overgjødning av vegetasjon** for fem-års perioder mellom 1978 og 2016. For den siste fem-års perioden er overskridelsene vist med gammel metode og en ny som er basert på en kombinasjon av observasjoner og modellerte data. Metodene viste forholdsvis små forskjeller i forhold til overskredet areal. Figur fra Austnes et al. (2018).

3.5 Resultater fra overvåkingsprogrammet av skogskader

Det norske overvåkingsprogrammet for skogskader (OPS, Timmermann et al. 2020) har tre intensivt overvåkede flater (**Figur 23**), ved Birkenes (BI), Hurdal (HU) og Osen (OS). Både Birkenes og Hurdal ligger innenfor hensynssonen, mens Osen ligger utenfor.



Figur 23. Intensive flater i overvåkingsprogrammet for skogskader. BI = Birkenes, HU = Hurdal, OS = Osen. Fra Timmermann et al. (2020).



Figur 24. Langtidstrender i avsetning av uorganisk nitrogen i kronedrypp (kg/ha/år) på de tre intensive overvåkingsflater på Birkenes (BI), Hurdal (HU) og Osen (OS), fra Timmermann et al. (2020). Kronedrypp måles i nedbørsamlere under trærne, på bakkenivå.

Programmet måler bl.a. nitrogeninnhold i kronedrypp. Avsetning av uorganisk nitrogen i kronedrypp på de tre intensive flatene som inngår i dette overvåkingsprogrammet ser ut til å ha vært i samme størrelsesorden i 2019 som i 2014 (**Figur 24**); eventuelt med en liten økning, men dette er usikkert. Spesielt på Birkenes er avsetning av uorganisk nitrogen relativt høy. I jordvann er mesteparten av N organisk bundet og konsentrasjoner av uorganisk nitrogen, spesielt nitrat, er generelt lave, oftest under deteksjonsgrensa (Timmermann et al. 2020). Dette er vanlig for norske skogøkosystemer. Men disse jordvannprøvene er normalt tatt kun i den snø- og telefrie årstiden, da planter aktivt tar opp nitrogen, og konsentrasjoner av uorganisk nitrogen kan være høyere under andre årstider. Avrenning av N til bekker kan bli høyere under for eksempel høststormer eller snøsmelting.

3.6 Utvikling av nitrogenstatus i sårbare ferskvannsystemer

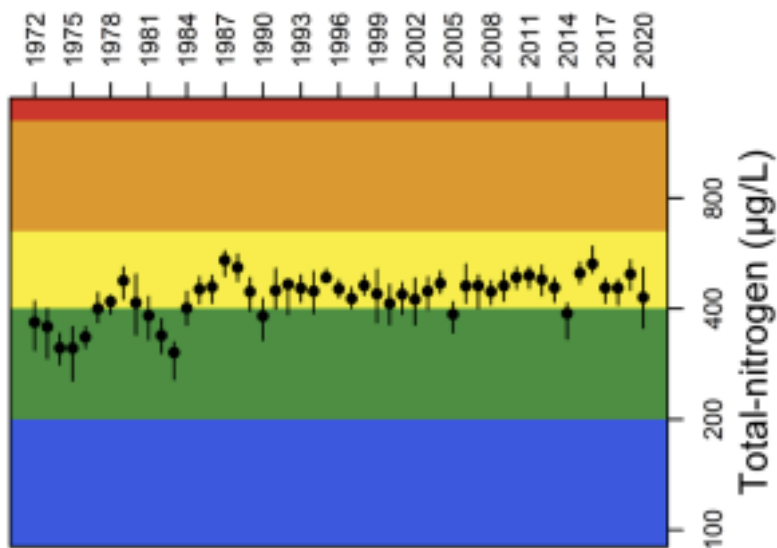
Eutrofiering er fortsatt et betydelig problem i mange vannforekomster i Norge, og økt temperatur og nedbør i forbindelse med klimaendringer er med på å forverre situasjonen.

Det har generelt vært antatt at primærproduksjonen i innsjøer er fosforbegrenset, men det er etter hvert også kommet litteratur peker på at bildet kan være mer nyansert. Blant annet har Elser et al. (2009) pekt på at planteplankton i innsjøer i Skandinavia og Nord-Amerika opprinnelig var nitrogenbegrenset, men at avsetning av nitrogen fra atmosfæriske kilder i løpet av det siste århundret har gjort de fleste av innsjøene fosforbegrenset. I mange tilfeller vil planteplanktonet dessuten kunne være såkalt «co-begrenset», dvs. at primærproduksjonen vil øke mer ved tilførsel av både nitrogen og fosfor enn ved økt tilførsel av fosfor alene.

I elver er forholdene rundt næringsstoffbegrensning mer komplisert, og sannsynligvis også mer variabel over tid. En av årsakene til dette er at de fleste av primærproduzentene er fastsittende og kan utnytte næringsressurser i substratet i tillegg til næringsstoffer som foreligger i vannfasen.

3.6.1 Mjøsa

Til tross for betydelig bedring siden 1970- og 80-tallet, er økologisk tilstand mht. eutrofiering fortsatt moderat i flere av Mjøsas tilløpselver, og dermed har ikke miljømålet god økologisk tilstand blitt oppfylt (Thrane og Økelsrud 2021, Bechmann et al. 2021). Avløp og avrenning fra jordbruk er fortsatt betydelige kilder til økte næringssaltkonsentrasjoner i mange av tilløpselvene. Mjøsas hovedvannmasser var i 2020 i god økologisk tilstand. Furnesfjorden, som er en arm av Mjøsa, hadde moderat tilstand i 2020 pga. planteplankton, og i løpet av de siste årene har også andre deler av innsjøen nærmet seg grensen til moderat tilstand. En oppblomstring av cyanobakterier (blågrønnalger) i 2019 kan tyde på forverring av tilstanden. Generelt har konsentrasjonene av totalfosfor vært høyere det siste tiåret sammenliknet med perioden 2002-2010. Dette skyldes periodevis store tilførsler av næringsstoffer, spesielt i forbindelse med flommer. Fosfortilførsler er den vesentligste årsaken til eutrofiering og plagsomme algeoppblomstringer, men som nevnt andre steder i rapporten kan det heller ikke utelukkes at samtidige tilførsler av både fosfor og nitrogen kan stimulere primærproduksjonen ytterligere (co-begrensning). Tidsutvikling for total nitrogen på hovedstasjonen, Skreia, i perioden 1972-2020 er vist i **Figur 25**.



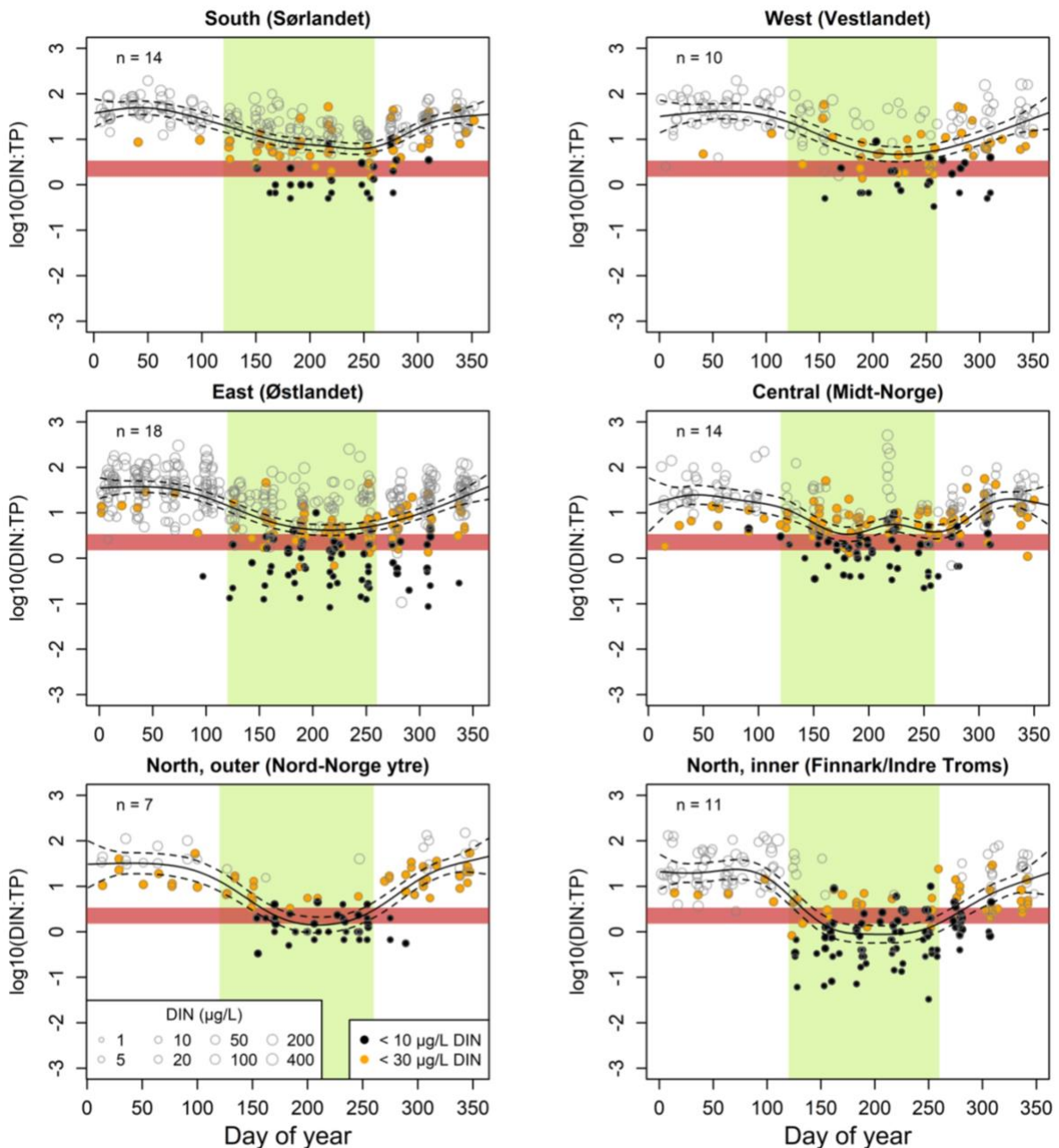
Figur 25. Tidsutvikling for total nitrogen på hovedstasjonen, Skreia, i perioden 1972-2020. Sorte vertikale streker angir 25 og 75 prosentiler. Figur fra Thrane og Økelsrud (2021).

3.6.2 Referanseelver

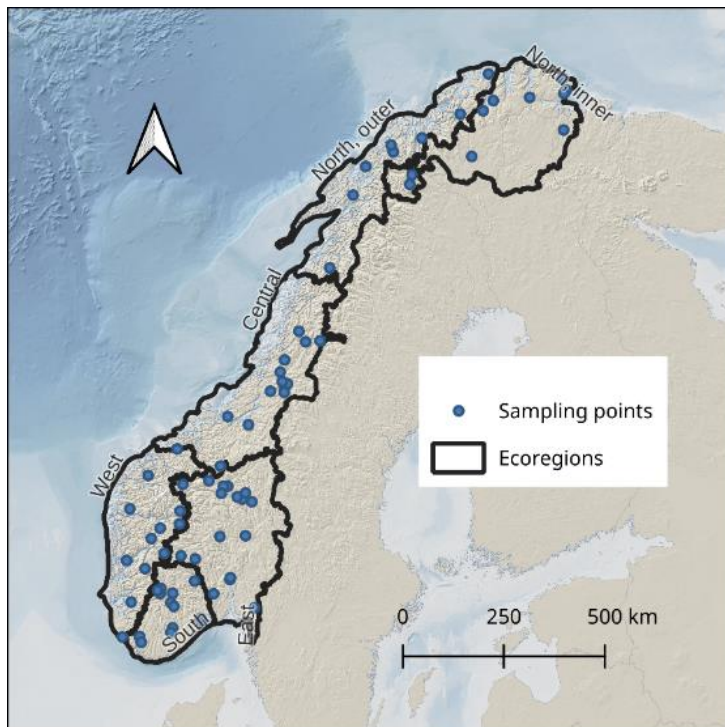
Vannkjemiske data fra det nasjonale overvåkingsprogrammet «Referanseelver» består av elver med nesten bare naturlige påvirkninger (Thrane et al. 2020, Sandin et al. 2021). I et arbeid av Thrane et al. (i arbeid) ble data fra programmet analysert for å undersøke mulig nitrogenbegrensning i elvene (**Figur 26**). Lokalitetene ble gruppert etter økoregioner, som også grovt sett tilsvarer gradienter i nitrogen-deposisjon (**Figur 27**). Forholdet mellom konsentrasjoner av uorganisk nitrogen og total fosfor (DIN:tot-P) i kombinasjon med nitratkonsentrasjon kan benyttes for å vurdere nitrogenbegrensning (Bergström 2010; Myrstener m fl. 2018).

Det var en klar tendens til økt nitrogenbegrensning i vekstsesongen langs gradienten fra sør til nord. Elvene på Sørlandet var stort sett fosforbegrensede, det vil si at det alltid var høy nok nitrat til stede for algevekst. På Østlandet derimot var nitrogenbegrensning i vekstsesongen nokså vanlig i rundt halvparten av elvene. De høyeste nitratkonsentrasjonene om sommeren ble registrert på Sørlandet. Denne regionen overlapper også med hensynssonen som er definert i forbindelse med skoggjødsling.

Dataene fra den nasjonale innsjøundersøkelsen i 2019 (**Figur 15**) kan ikke sammenlignes fullt ut med referanseelvene siden det førstnevnte datasettet baserer seg på høstprøver. Det er likevel samsvar mellom romlige mønstre i nitratkonsentrasjoner og DIN:tot-P forhold i Sør-Norge. Nitrat og DIN:tot-P er høyest på Sør- og Sør-Vestlandet og lavest på Østlandet både i innsjøene og i referanseelvene.



Figur 26. Forholdet mellom løst uorganisk nitrogen (DIN) og total fosfor (TP) i 74 elver plottet mot dager i året. Basert på to år med data fra hver elv i perioden 2017-2020. Elvene er fordelt på seks ulike økoregioner som er vist på kart i **Figur 27**. Området skraveret med grønt tilsvarer vekstsesongen, her definert fra og med mai til og med september. Røde bånd indikerer overgang fra P-begrensning til N-begrensning jf. Bergström (2010). Når den sorte trendlinjen faller under det røde båndet indikerer det at planteveksten er nitrogenbegrenset. Trendlinjene viser gjennomsnittlig DIN/TP-forhold for hver økoregion. Figur er hentet fra Thrane et al. (i arbeid).



Figur 27. Lokalisering av elvene i **Figur 26** i forhold til økoregioner.

3.6.3 Problemvekst av krypsiv

Masseforekomst av krypsiv er fortsatt et problem i mange elver på Sørlandet og Sør-Vestlandet. I perioden 2014-2017 ble v 18 stasjoner i Mandalselva, Otra og Tovdalselva overvåket med hensyn til tilstand og utvikling av krypsivbestandene (Moe og Demars 2017). Undersøkelsene viste at ingen enkeltfaktor kunne forklare de store forskjellene i krypsivbiomasse mellom stasjoner, men at utviklingen av de massebestandene av krypsiv vi ser i dag sannsynligvis skyldes en kombinasjon av kjemiske og fysiske påvirkninger over tid. Det pekes på at kraftproduksjonen ikke bare påvirker de hydrologiske forholdene i elvene, men også endrer vannkjemien, med høyere konsentrasjoner ammonium og CO₂, to viktige faktorer for plantevekst.

Moe et al. (2019) studerte det støkiometriske forholdet mellom karbon, nitrogen og fosfor i rot og skudd av krypsivplanter, og relaterte dette til eksterne miljøfaktorer i innsjøer og elver hvor plantene var høstet. De fant at fosforinnholdet i plantematerialet var negativt korrelert til organisk innhold i sedimentet og vegetasjonsdekke i nedbørfeltet (mer vegetasjon – mindre fosforutlekking til vann). De fant ingen sammenheng mellom nitrogeninnholdet til plantene og nitrogeninnholdet i vannet på voksestedet – og forklarte dette med at plantene primært var fosforbegrenset. Ut fra dette konkluderte de med at masseforekomst av krypsiv hovedsakelig ble trigget av økt fosfortilgang og i mindre grad CO₂ og ammonium som pekt på i tidligere studier. De utelukket imidlertid ikke co-begrensning, dvs. at veksten vil kunne stimuleres ytterligere ved tilførsel av både fosfor og nitrogen.

I en sammenstilling av data fra Otra oppstrøms Brokke konkluderer Schneider og Demars (2020) med at årsaken til masseforekomstene av krypsiv sannsynligvis er en sum av flere faktorer som har virket over lang tid (20-40 år) og til sammen har ført til økt vekst og redusert dødelighet av vannplanten. Blant faktorene de trekker fram er: (1) Redusert isgang, (2) høyere og mindre variabel vannstand, (3) reduserte flomtopper pga. regulering, (4) økt sedimentering av finmateriale som ved nedbrytning frigjør CO₂ og næringssalter og (5) selv om konsentrasjonene i Otra er lave, kan tilførsler av organisk

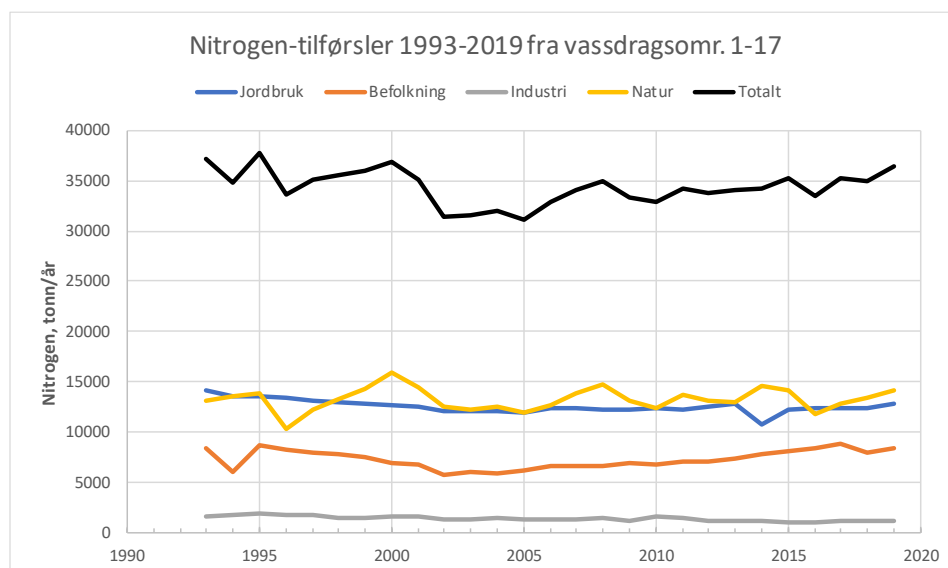
materiale og næringsstoff fra lokale kilder (renseanlegg og spredt avløp) ha betydning. De nevner også at en økning av CO₂ i vannet ofte er koblet til økt tilgjengelighet av NH₄ og delvis også fosfor.

Disse undersøkelsene viser at det er utfordrende å peke på enkeltfaktorer som trigger problemvekst av krypsiv, og at veksten sannsynligvis skyldes en kombinasjon av flere faktorer over tid. De mest sannsynlige årsakene til massevekst av krypsiv er knyttet til regulering og eutrofiering. Det er lite som tyder på at nitrogen i nedbør har avgjørende betydning for massevekst av krypsiv, men på den annen side kan all tilførsel av næringsstoff til elver og innsjøer med mye krypsiv føre til økt vekst og tettere bestander.

3.7 Utvikling av nitrogenstatus i særlig sårbare marine områder

Nitrogen er generelt antatt å være det begrensende næringsstoffet for planteplankton i marint vann. I kystnære områder som blir påvirket av elver med varierende nitrogen/fosfor-forhold kan det vekse mellom at algene er begrenset av nitrogen, fosfor eller av begge stoffene samtidig (Staalstrøm et al. 2021, inkludert referanser). Det betyr at tilførsler fra land kan ha stor innvirkning på vannkvaliteten i fjordene langs kysten. I de senere årene har spesielt Oslofjorden vært i fokus på grunn av negativ utvikling i eutrofisituasjonen (Engesmo et al. 2021a, Staalstrøm et al. 2021), og det jobbes for tiden intenst med å kartlegge årsaker og mulige tiltak for å bedre situasjonen (Salt 2019, Miljødirektoratet 2019).

Staalstrøm et al. (2021) peker på at store deler av Oslofjorden har høye konsentrasjoner av nitrogen i vannmassene og at de hovedsakelig skyldes lokale tilførsler. De fire største vassdragene som drenerer til Ytre Oslofjord (Glommavassdraget, Drammensvassdraget, Numedalslågen og Skiensvassdraget) bidrar med hele 74% av de samlede tilførslene. Modellverktøyet TEOTIL har blitt benyttet for å estimere kildefordelte tilførsler av nitrogen fra land til Ytre Oslofjord i 2019 (Engesmo et al. 2021b). For tilførsel av total nitrogen stod jordbruk for 35 %, avløpsvann fra befolkning 23 % og industri 3 % (**Figur 28**). Den naturlige bakgrunnsavrenningen fra skog- og utmarksområder (som bl.a. er påvirket av atmosfærisk deposisjon) bidro med nær 39% av de totale nitrogentilførslene i 2019.



Figur 28. Tilførsler av nitrogen fra vassdragsområdene som drenerer til Ytre Oslofjord i perioden 1993-2019. Beregnet ved hjelp av TEOTIL-modellen. Figur hentet fra Engesmo et al. (2021b).

3.8 Ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling basert på vitenskapelig litteratur

Dette delkapittelet omhandler nyere forskningsresultater i forhold til N-utvasking i forbindelse med gjødsling og senere avvirkning av N-gjødslet skog. Vi har basert oss på litteratur fra boreale og nordlige tempererte områder, dvs. Norden, men også til en viss grad sammenligningsbare områder som for eksempel Canada, nordlige USA og Skottland.

3.8.1 SURFER-prosjektet

Det tverrfaglige forskningsprosjektet SURFER («Surface waters: The overlooked factor in the forestry climate mitigation debate») ([SURFER NO - NIVA](#)) var finansiert av Norges forskningsråd i perioden 2017-2019 og tok for seg ulike effekter av en mer intensivt skogbrukspraksis på bekker, elver og innsjøer. Målet var å fremskaffe kunnskap og veiledningsverktøy for forvaltere, beslutningstakere og næringen, for bedre ivaretagelse av verdifulle vannøkosystemer ved planlegging av nye intensiveringstiltak innen skogbruket.

Prosjektet belyste effekter av et mer intensivt skogbruk på overflatevann på ulike nivåer:

- Politiske føringer/lovverk: Ved å undersøke om intensivt skogbruk som klimatiltak er forenelig med gjeldende norske lover og direktiver på vannområdet
- Forsuring: Vurdering av mulige effekter av et mer intensivt skogbruk på forsuringsfølsomme vannlokaliteter
- Biologiske effekter: Gjennomgå litteratur om effekter av et mer intensivt skogbruk på biogeokjemiske prosesser, mobilisering av miljøgifter og biologisk mangfold i ferskvann.
- Drikkevann: Studere potensielle effekter av skogsgjødsling på vannkvaliteten i en drikkevannskilde, nærmere bestemt Glitrevann i Lier kommune.

Det er gitt en kort omtale av noen av publikasjonene fra prosjektet under. Tekstene er hentet fra faktaark som er publisert på SURFER-prosjektet sin hjemmeside.

Intensivt skogbruk som klimatiltak – i hvor stor grad er vannmiljøet ivaretatt i nasjonalt og internasjonalt regelverk for bærekraftig skogbruk? (Sundnes et al. 2020)

I Norge er det retningslinjer på plass for å forsikre at skogbruk er drevet på en bærekraftig måte, for eksempel gjennom den norske PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification)-skogstandard (PEFC 2015). Det er imidlertid stor usikkerhet om den langsiktige effekten av gjødsling, også om hvordan endring av dynamikken i skognæringen og tilpasninger til fremvoksende markeder kan endre måten dagens regelverk passer inn i norsk skogbrukssammenheng.

Potensielle effekter av intensivt skogbruk som klimatiltak på vannkvalitet i forsuringsfølsomme nedbørfelt (Valinia et al. 2021)

Trusselen om klimaendringer har ført til behov for nye forvaltningstiltak for å øke opptak og lagring av karbon i skog. Dette kan omfatte gjødsling av skog med nitrogen og økt biomasseuttak i form av heltre-hogst, dvs. uttak av grener og topper i tillegg til selve trestammene. Et mer intensivt skogbruk kan imidlertid ha potensielt negative konsekvenser for kvaliteten på overflatevann i sårbare områder. I deler av Skandinavia, som har forsuringsfølsom berggrunn, er det bekymring for at de nye

skogforvaltningstiltakene kan medføre økt forsuring av bekker og innsjøer på grunn av større tap av basekationer og økt utvasking av nitrat fra jorda.

I denne studien er det anvendt den biogeokjemiske modellen MAGIC på Birkenes, som er et lite og intensivt undersøkt skogfelt i den sørligste delen av Norge. Målet var å simulere virkningene av ulike scenarier for skoggjødsling og intensivt skogbruk på forsuringssituasjonen i jord og overflatevann. Modellen ble kalibrert i forhold til 40-års overvåkningsdata på vannkvalitet, jord og vegetasjon – og deretter brukt til å simulere gjødsling og avvirkning av hogstmoden skog, enten ved konvensjonell hogst (kun stammer) eller ved heltre-hogst (stammer, grener og topper).

Simuleringene indikerer at gjødslingen øker skogveksten, men resulterer i høyere utvasking av nitrat i 5-10 år etter hogst. Den umiddelbare pulsen av nitrat etter hogst var større ved konvensjonell hogst enn ved heltrehogst, men systemet innhentet seg raskere etter konvensjonell hogst. Dette skyldes at heltrehogst forårsaker sterkere forsuring av overflatevann i forhold til konvensjonell hogst, fordi den førstnevnte metoden fører til en større uttømming av basekationer, nitrogen og karbon fra jorda.

Modellarbeidet illustrerer at intensivt skogbruk som inkluderer gjødsling potensielt kan ha negative effekter på overflatevannskvaliteten i forsuringfølsomme områder. Det må imidlertid bemerkes at resultatene er basert på modellering og ikke reelle målinger og at studien representerer et ekstremt tilfelle med snauhogst som dekker 100% av nedslagsfeltet til en bekk. Med dagens praksis vil bare en liten brøkdel av arealet i et nedbørfelt bli hogd i løpet av et år, og det er dessuten pålagt å etablere buffersoner langs bekker med permanent vannføring hele året. Selv om effektene etter hogst kan være betydelige i små bekker, vil effektene være relativt kortvarige og svekkes raskt på veien nedover i et vassdrag. Det er likevel viktig at skogeiere og -forvaltere vurderer risiko for negative effekter i sårbare vannforekomster ved gjødsling av skog og ved valg av hogstmetoder.

Vurdering av risiko knyttet til gjødsling og hogst av skog nær drikkevannskilder (Jackson-Blake & Clayer 2020)

Det er laget en langtidsplan for gjødsling i nedbørfeltet til Glitrevann for å øke skogproduksjonen. Innsjøen er en viktig drikkevannskilde, og spørsmålet for denne prosjektaktiviteten var derfor om skoggjødslingen kan påvirke kvaliteten på drikkevannet. Et lite område (0,675 km²) innenfor nedbørfeltet (45 km²) ble gjødslet med nitrogen i juni 2017, og overvåking av innløpsbekkene og i Glitrevann før og etter gjødslingen gjorde det mulig å studere om tiltaket hadde umiddelbare effekter på vannkvaliteten. Potensielle langtidseffekter ble vurdert ved å sette opp et nitrogenbudsjett for nedbørfeltet samt å bruke resultater fra et modelleringsarbeid som nylig er gjennomført på et lignende norsk skogfelt. De viktigste resultatene og anbefalingene fra utredningen knyttet til Glitrevann er:

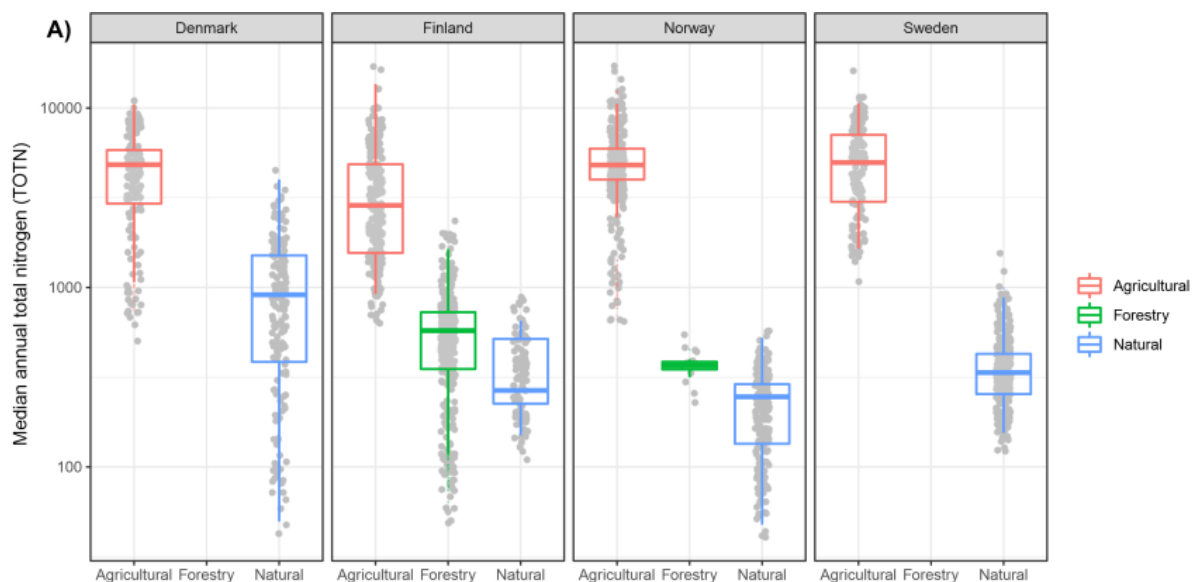
- Det ble kun registrert en liten og kortvarig utlekking av nitrat etter gjødslingen i juni 2017. Det forventes derfor heller ikke problemer i forbindelse med gjødsling i tiden framover, så lenge gjødslingsplanene blir overholdt.
- Hogst fører til økt nitrogenavrenning til Glitrevann. Dette er illustrert gjennom en nylig gjennomført hogst i nedbørfeltet til Guritjernsbekken, og hvor det nå måles høyere konsentrasjoner av nitrat og totalt nitrogen enn i de andre innløpsbekkene til Glitrevann.
- Det planlegges å hogge ca. 1 km² skog i tiden rundt 2050 og ca. 5 km² i tiden rundt 2070. Modellberegninger tyder på at dette kan resultere i en 20-23% økning i nitrogen-tilførslene til innsjøen over perioden 2017-2090.

- For å beskytte drikkevannskilden mot uakseptabelt høye nitrogen-tilførsler anbefales det at hogst-intensiteten holdes under 1 km² per år (2,2% av nedbørfeltet).
- For å dokumentere en eventuelt hogst-relatert økning i nitrogen-tilførslene til Glitrevann anbefales det rutinemessig overvåking av påvirkede tilløpsbekker.
- Tiltak for å beskytte skogbunnen mot kjøreskader og etablering av buffersoner mot bekker og innsjøer vil være viktig for å unngå unødvendig høye tilførsler av nitrogen og karbon til nedenforliggende vannforekomster. For å beskytte drikkevannskilden anbefaler vi å utvide bruken av bufferstriper til bekker også uten årsikker vannføring. Valg av tidspunkt for hogst-relaterte aktiviteter er også viktig, i forhold til grunnforhold, forventet nedbør eller snøsmelting.

3.8.2 BIOWATER

BIOWATER (www.biowater.info) er et nordisk senter for framragende forskning med mål å vurdere effekten på vann av bioøkonomien. Hypotesen er at bioøkonomi, med økt behov for biomasse, vil endre arealbruken og dermed påvirke vannressursene og de økosystemtjenestene vi får fra nedbørfeltene. Det har kommet flere artikler om skogsdrift fra BIOWATER, men effekter av skogsgjødsling behandles ikke spesifikt i disse.

I et studium av 69 små nordiske nedbørfelt, sammenlignet de Wit et al. (2020) median konsentrasjonsnivå på total nitrogen i hhv. jordbruksvassdrag, naturlige skogsvassdrag og vassdrag med skogsdrift (**Figur 29**). Sammenligningen viste for det første mangelen på tilgjengelige data fra skogsdrift – det finnes nok flere undersøkelser enn det som er vist, men data ligger 'gjemt' i ulike rapporter og foreligger ikke på et format som gjorde sammenligning mulig. Videre viste undersøkelsen at nitrogenkonsentrasjoner i områder med skogsdrift ligger et sted mellom jordbruk og naturlig skog.



Figur 29. Nitrogenkonsentrasjoner (medianverdier; µg/l) i bekker som drenerer hhv. jordbruksland (Agricultural; rød); skogbruk (Forestry; grønn) og naturlig skog (Natural; blå) i fire nordiske land. Kilde: de Wit et al. 2020.

Høyere nitrogenavrenning fra skogbruksfelt trenger ikke nødvendigvis å skyldes gjødsling. Nyere studier av skogsbruk fra Finland har bl.a. vist at drenering av skog gir høyere tap av nitrogen, fosfor og organisk karbon enn tidligere antatt (Finer et al. 2021; Lepisto et al. 2021). Disse funnene kan ha betydning der nitrogengjødsling utføres på grøftet skog.

I tillegg til vurderinger av vannkjemi og nitrogenkonsentrasjoner, er biologiske undersøkelser viktig for å anslå effekten av skogsdrift på vann. Rajakallio et al. (2020) konkluderte med at kombinasjonen drenering og hogst kan gi store tap av biomangfold i ferskvannssystemer. En solid buffersone med skog ble anbefalt for å redusere virkningene. Samtidig demonstrerte Tolkkinen et al. (2021) betydningen av skogkledde buffersoner mot vann på nasjonalt nivå: de undersøkte 900 vannforekomster i Finland og fant at økologisk tilstand i små og mellomstore elver nesten ble en tilstandsklasse bedre når skogdekket økte fra 10 til 60 %. Dette var dog mest synlig i jordbruksbekker, men begge disse arbeidene viser behovet for å opprettholde skogkledde buffersoner mot vann, og at det kan være et effektivt tiltak mot negative effekter på ferskvannsbiologien av mer intensiv skogsdrift.

3.8.3 Nyere resultater fra vitenskapelig litteratur

N-gjødsling leder til økte konsentrasjoner av både N og andre grunnstoff i jordvann. En feltstudie med ammoniumnitratgjødsling (150 kg ha^{-1}) (= 15 kg daa^{-1}) i granskog på Hobøl i Viken viste at nitrogengjødsling førte til kortsiktige økninger i konsentrasjoner av NO_3 , NH_4 , kalsium, magnesium, kobolt, nikkel og sink i jordvann ved 40 cm dybde, og en reduksjon i pH (Clarke et al. 2018a). Også Ring et al. (2018) fant, i en tidligere N-gjødslet og hogget furuflate, at endringer i jordas N-lager etter gjødsling bidro til økt nitrat i jordvann etter hogst.

Økningen i N-avrenning pleier å vare i noen år, men er ikke langvarig. Lundin og Nilsson (2021) fant økt avrenning av N i en bekk i over 5 år etter gjødsling av et furudominert nedbørfelt i Sverige. Over 20% av den tilførte nitrogenmengden ble tapt til avrenningsvannet, hovedsakelig i form av nitrat. Resultater for jordvannkjemi i en blandet gran/furuskog i Sverige fra 9 til 17 år etter gjødsling viste ingen forskjell mellom $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ -behandlingen og kontrollfeltet uten gjødsling (Ring et al. 2021).

På Gårdsjön, nær Gøteborg, har et skogfelt hvert år siden 1989 blitt gjødslet med 40 kg/ha ammoniumnitrat (NH_4NO_3) for å simulere kronisk høy atmosfærisk avsetning av nitrogen. Resultatene fra 26 år med eksperimentell nitrogen tilsetning er rapportert av Moldan et al. (2018). I løpet av de 10 første årene med behandling var det en økende mengde nitrat og i liten grad ammonium i avrenningsvannet. Deretter stabiliserte N-utvaskingen seg de neste 16 årene, på et nivå som tilsvarer omkring 9% av den årlige tilsetningen av nitrogen. I de første årene var nitratkonsentrasjonene i avrenningsvannet lave om sommeren, men er nå høye året rundt. Hyppig prøvetaking viste at topper i nitratkonsentrasjonen generelt inntreffer under flommer og spesielt hvis flommene kommer rett etter nitrogen tilsetning.

Modellering med ForSAFE-modellen (Lucander et al. 2021) viste at effekten av N-gjødsling på N-avrenning var tydeligst på en flate med høy N-avsetning. Dette bekrefter hypotesen at N ikke blir værende i skogsjorda når økosystemet er N-mettet.

I Skottland oppsummerte Shah og Nisbet (2019) resultater av overvåking av næringsstoff i tre små bekker i sensitive områder (naturlig lave på næringsstoff), etter skogsgjødsling med både fosfor og

nitrogen. Alle tre nedbørfelt hadde svært god tilstand i vannforekomstene mht. fosfor og nitrogen før gjødslingen. For nitrogen fant de følgende resultater:

- En rask men kortvarig økning i ammonium-N i alle tre overvåkede bekker, men bare i en av bekkene gikk ammoniumnivået over fra svært godt til moderat. Denne effekten var dog ikke synlig lenger ned i hovedelva. Det ble antatt at dette skyldtes gjødsling innenfor buffersonen på 50 meter.
- En liten økning av nitrat-N i kun en av de tre bekkene en måneds tid etter gjødsling, men nitratkonsentrasjonene holdt seg svært lave for området, under 0,51 mg/l.

Forfatterne konkluderte med at buffersoner opp til 50 meter ved gjødsling fra helikopter og 10 meter ved gjødsling fra bakken var tilstrekkelig for å beskytte vannforekomstene, men at det ene tilfellet med ammonium viser hvor viktig det er at disse buffersonene overholdes.

For å forhindre avrenning av nitrogen fra gjødslet skog, er det et krav i den norske PEFC-skogstandard (PEFC 2015) at det skal beholdes en buffersone mot vassdrag, innsjøer osv. I kravpunkt 18 står det blant annet at «ved gjødsling i skog skal det settes igjen en gjødslingsfri sone på 25 meter mot vann, elver og bekker (gjelder bekker med helårs vannføring) for å unngå avrenning», med hensikt å sikre vannkvaliteten i vann og vassdrag. Det er en utfordring at dette i praksis ikke alltid er lett å få til, i hvert fall ved spredning med helikopter: Solli (2020) fant gjødselrester innenfor buffersonen rundt vann, elver og bekker og innenfor buffersonen til livsmiljøer i skog. Også i kravpunkt 18 står det om tidspunkt for gjødsling: «Gjødsling skal ikke skje før snøsmeltingen er ferdig – for øvrig tilpasses gjødslingstidspunktet slik at risikoen for næringsutvasking blir minst mulig».

Muligens kan kombinert P- og N-gjødsel lede til redusert utvasking av N, som indikert i Hedwall et al. (2014).

Hogst leder til nedbrytning av hogstresten og jordas organiske stoffer, samt redusert opptak av nitrogen fra avsetning, og altså til økt avrenning av nitrogen fra flata, også i skog som ikke er gjødslet. Effekten av hogst er altså økte konsentrasjoner av løste næringsstoffer, inklusive N, i jordvann i noen år (Clarke et al. 2018b) og også øke konsentrasjoner og flukser av disse stoffer i vassdrag (Haveraaen 1981).

Vegetasjonstilvekst etter hogst av en gjødslet furuskog reduserte konsentrasjoner av N i jordvann (George et al. 2017). Hedwall et al. (2015) fant at N-opptak i vegetasjon etter hogst av en gjødslet granskog reduserte N-utvasking; allerede 30-40%-vegetasjonsdekning reduserte tap av NO₃-N og NH₄-N fra jord til vann til nesten null, uavhengig av tiden siden hogst. Tilvekst av vegetasjon etter hogst virket å være uavhengig av gjødslingsmengden.

Effekten på vannkvalitet varierer med hogsttype. I Norge er det vanligst med flatehogst der kun stammene blir tatt, mens stubber, røtter, samt greiner og topper (grot) blir igjen på hogstflata. Det har tidligere vært interesse for å ta i bruk grot for bioenergi (heltrehogst), noe som er gjort blant annet i Sverige og Finland. I praksis betyr det oftest at grot blir samlet i hauger i flere måneder for at de næringsrike nålene skal falle av, før haugene blir fjernet. I jordvann kan heltrehogst med samling av hogstresten i grothauger lede til økte konsentrasjoner under haugene og lavere konsentrasjoner der grot er fjernet for å danne hauger. Clarke et al. (2018b) fant økte konsentrasjoner av NO₃-N og tot-N i jordvann ved 30 cm dybde etter stammehogst av granskog og der det hadde vært grothauger etter heltrehogst (men ikke der hogstresten hadde blitt fjernet) på en flate på Østlandet. På en brattere og mer nedbørsrik flate på Vestlandet ble økte N-konsentrasjoner også funnet der hogstresten hadde blitt fjernet. Forskjellen mellom flatene kan ha berodd på forskjellene i

topografien. I Sverige fant Ring et al. (2017) signifikant lavere konsentrasjoner av $\text{NO}_3\text{-N}$ etter heltrehogst enn etter stammehogst av granskog, men ingen signifikant forskjell for $\text{NH}_4\text{-N}$.

Markberedning fremmer rask etablering, tidlig vekst og god overlevelse av både naturlig foryngelse og utsatte planter. I de nordiske land er det i dag mekanisk markberedning som er mest utbredt. Disse metoder innebærer eksponering av mineraljord ved fjerning eller blanding av det organiske sjiktet. Jordforstyrrelsene gir endringer i jordas mikroklima og stimulerer nedbryting av organisk materiale i jorda, med frigivelse av næringsstoffer. Det forventes at markberedning etter hogst av gjødslet skog vil øke N-konsentrasjoner i avrenning, men publiserte resultater er ikke entydige. George et al. (2017) fant at markberedning med simulert skålharv¹ etter hogst av gjødslet furuskog i Sverige påvirket vegetasjonen og vannavrenningen slik at det ble økt N-avrenning fra tidligere N-gjødslete flater. På den annen side var det noe overraskende at Ring et al. (2018) påviste lavere nitratkonsentrasjoner i jordvann etter simulert markberedning, kanskje på grunn av økt opptak i unge trær og færre hogstrestrester der det ble gravd. Videre viste Ring et al. (2018) at det ikke var statistisk signifikant interaksjon mellom gjødsling og markberedning. Begge studier er basert på modellering av markberedning, og ikke direkte undersøkelser.

¹ Skålharv er en harv som benyttes ved markberedning. Harven har to roterende skiver med trykk nedover i jordmassene, og det lages da to parallelle grøfter. Markberedning anbefales for bedre vekst av ny skog, men vi har ikke funnet forskning som ser på effekten av dette for vannforekomstene (f.eks. erosjon og økt partikkeltransport).

4 Samlet vurdering

Basert på rapporten «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier» som kom ut i 2014 ble det i 2016 etablert en ordning med statlige tilskudd til nitrogengjødsling av skog. Det ble den gang definert en såkalt *hensynssone* hvor det ble satt et tak for hvor stort areal som kunne gjødsles i løpet av en 5 års periode. Hensynssonen ble etablert av hensyn til vannmiljøet i områder som fra før har store N-avsetninger fra atmosfæren, hvor nitrogenverdiene i vann overskrider nasjonale miljøkvalitetskriterier og/eller der det er utfordringer med massevekst av krypsiv. Etter at ordningen nå har eksistert i 5 år ønsker Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet en oppdatert vurdering av den geografiske avgrensningen av hensynssonen og det arealmessige taket ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for vannmiljøet.

4.1 Viktige utviklingstrekk siden forrige utredning

Skogareal gjødslet siden 2015

Totalt for fem år (2016-2020) er det gjødslet 310 208 daa skog i Norge. Innenfor hensynssonen er det gjødslet 26 201 daa i løpet av de fem årene, og mest i Akershus og Østfold. Taket på 25 000 daa i løpet av 5 år ble i praksis nådd etter 3 år. Selv om utlekking av nitrogen i forbindelse med skoggjødsling i de fleste tilfeller er lav, vil likevel noe av det tilførte nitrogenet lekke ut til vassdragene. Ved en antatt utvaskingsgrad på 5% varierer årlig utlekking fra gjennomførte skoggjødslingstiltak i Norge fra 62 tonn i 2016 til ca. 34 tonn i 2020. Innenfor hensynssonen er tallene betydelig lavere, fra rundt 9 tonn i 2016 til nær null i 2020.

En normal gjødslingsdose på 15 kg N/daa tilsvarer omtrent 15 år med dagens atmosfæriske nitrogenavsetning på Sørlandet og Sør-Vestlandet og rundt 30 år med dagens avsetning på Østlandet. På vassdragsnivå, for eksempel for Glomma, viser imidlertid våre beregninger at skoggjødslingen bare utgjør om lag 0,3% av de totale menneskeskapte N-tilførslene til vassdraget (fra jordbruk, befolkning og industri) dersom antar 5% utlekkingsgrad. Utlekking av nitrogen fra skoggjødsling kan imidlertid ha større betydning i lokale vassdrag i nærheten av områdene som gjødsles.

Atmosfæriske avsetninger

Fra Norsk institutt for luftforskning (NILU) overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør (Aas et al. 2021) har vi trukket ut informasjon fra de stasjonene som ligger innenfor eller i nærheten av hensynssonen. Det har vært en nedgang i atmosfærisk nitrogenavsetning på alle stasjoner mellom 1990 og 2020, litt ulikt fra sted til sted: Lengst vest en nedgang på 24 - 39 %; lenger østover en nedgang på 48% og helt i øst 13 - 31%. Nedgangen i nitrogenavsetning ser ut til å ha flatet ut i løpet av de siste 10 årene (ingen statistisk signifikant trend).

NILU beregner hvert femte år atmosfæriske avsetninger for hele Norge. Den største nedgangen skjedde mellom 1983-1992 og mellom 2002-2011. Det var svært liten endring mellom 2007-2016.

Modellerte data fra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) for perioden 2010-2019 viste ingen signifikant endring i avsetningen av total nitrogen for 13 av de 17 rutene som overlapper med hensynssonen. Fire av rutene viser en signifikant økning, mens ingen hadde signifikant nedgang.

Rutene med signifikant økning henger ikke sammen rent geografisk, men er spredt forholdsvis jevnt fra øst til vest i landet.

Resultater fra nasjonal vannovervåking

Resultatene fra **overvåkingsprogrammet for langtransporterte forurensinger** (Garmo og Skancke 2020) viser at konsentrasjonen av nitrat har vært relativt uendret de siste 5-6 årene i innsjøer fra regionene *Østlandet sør* og *Sørlandet øst og vest*. I region *Vestlandet sør* var nitratkonsentrasjonen i 2018 og 2019 den laveste som er registrert siden innsjøene ble overvåket for første gang i 1986. *Sørlandet vest* er regionen med høyest nitratkonsentrasjon, både historisk sett og i dag. Også på feltforskningsstasjonene har det vært relativt lite endringer i middelkonsentrasjonene av nitrat i løpet av de siste 5-10 årene. Vi finner de høyeste konsentrasjonene i vest og i sør, mens det er lavere konsentrasjoner i øst. Lange dataserier (1988-2017) fra feltforskningsstasjonene viser at feltene har en stor kapasitet til å akkumulere nitrogen, men at atmosfæriske avsetninger fortsatt kan gi en betydelig nitrogenutvasking til vann i skrinne utmarksområder.

Landsomfattende undersøkelser av 1000 innsjøer i 1995 og 2019 viser at nitratkonsentrasjonene har gått kraftig ned i høyereliggende innsjøer samt på Vestlandet og Sørlandet, mens det ikke har skjedd vesentlige endringer på Østlandet (Hindar et al. 2021). Endringene i total nitrogen er mindre, men også her er nivåene fra 1995 høyere enn i 2019 på Sørlandet og Vestlandet. Forholdet mellom nitrat og total fosfor i vannet er redusert, noe som indikerer at innsjøene har blitt mer næringsfattige og har blitt mer nitrogenbegrenset.

Åtte elver i det nasjonale **Elveovervåkingsprogrammet** ligger innenfor- eller nær den eksisterende hensynssonen for skoggjødsling. På tross av år-til-år variasjon ser det ut til at årsmiddelkonsentrasjonene av total nitrogen har vært forholdsvis stabile siden 1990. For 10-års perioden fra 2010 til 2019 var det kun Otra som hadde en signifikant endring (nedgang) i årsmiddelkonsentrasjon av total nitrogen.

Hvert år beregnes kildefordelte tilførsler av fosfor og nitrogen til alle vassdrag i Norge ved hjelp av **TEOTIL-modellen** (Guerrero og Sample 2021). I vannregionene Glomma og Vest-Viken avtok de totale nitrogen-tilførslene fra 1990 til rundt 2005, deretter har det vært en svak økning. I vannregion Agder er det store variasjoner fra år til år, men ingen tydelig trend. I Rogaland har det vært en jevn økning fra midten av 1990-tallet, hovedsak pga. akvakultur, men det er tendens til utflating av totale tilførsler etter 2011.

Et uttrekk fra **Vannmiljø-databasen** av tot-N-data fra hele Norge viste at det ligger adskillig flere prøver i databasen fra 2015-2020 enn tidligere år, noe som gjør det vanskelig å utføre trendanalyser på dette materialet. Årene 2015, 2016 og 2019 hadde de høyeste gjennomsnittlige tot-N-konsentrasjonene. Det ser ut til å ha vært en jevn økning i maksimumsverdi siden ca. 2015, mens gjennomsnittlige tot-N konsentrasjoner ikke viser noen tydelig trend på landsbasis.

Status for overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen

Overskridelser av tålegrensene for tilførsler av svovel og nitrogen til vann, jord og vegetasjon oppdateres hvert 5. år, og den seneste rapporten viser data til og med 2016 (Austnes et al. 2018). For forsuring av vann var 7% av Norges areal overskredet i 2012-2016, mot 8% i den foregående fem-års perioden. En beregning av «worst case» scenario for fremtidig nitrogenutvasking ga en overskridelse på 19% i 2012-2016, mot 20% i den foregående fem-års perioden. Overskredet areal for

overgjødningseffekter på vegetasjon var 20% i 2012-2016, mot 21% i forrige periode. Tålegrensene for forsuring av skogsjord viste ingen overskridelser.

Resultater fra overvåkingsprogrammet for skogskader

Det norske overvåkingsprogrammet for skogskader (Timmermann et al. 2020) har tre intensivt overvåkede flater hvorav to ligger innenfor hensynssonen. Avsetning av uorganisk nitrogen i kronedrypp på de tre stasjonene var i samme størrelsesorden i 2019 som i 2014. Spesielt på Birkenes (innenfor hensynssonen) er avsetningen av uorganisk nitrogen relativt høy. I jordvann er mesteparten av nitrogenet organisk bundet og konsentrasjoner av uorganisk nitrogen generelt lave. Jordvannsprøvene tas normalt bare i vekstsesongen og konsentrasjonene av uorganisk nitrogen kan være høyere til andre årstider og i forbindelse med høststormer eller snøsmelting.

Utvikling av nitrogenstatus i sårbare ferskvannsystemer

Til tross for betydelig bedring siden 1970- og 80-tallet, er økologisk tilstand mht. eutrofiering fortsatt moderat i flere av **Mjøsas** tilløpselver (Thrane og Økelsrud 2021, Bechmann et al. 2021). Mjøsas hovedvannmasser var i 2020 i god økologisk tilstand, men i løpet av de siste årene har flere deler av innsjøen nærmet seg grensen til moderat tilstand. En oppblomstring av cyanobakterier i 2019 kan også tyde på forverring av tilstanden. Generelt har konsentrasjonene av total fosfor vært høyere det siste tiåret sammenliknet med perioden 2002-2010, noe som blant annet skyldes store tilførsler i forbindelse med flommer. Fosfortilførsler er den vesentligste årsaken til eutrofiering og plagsomme algeoppblomstringer, men det kan heller ikke utelukkes at samtidige tilførsler av både fosfor og nitrogen kan stimulere primærproduksjonen ytterligere.

Det nasjonale overvåkingsprogrammet «**Referanseelver**» består av elver med nesten bare naturlige påvirkninger (Thrane et al. 2020, Sandin et al. 2021). En analyse viste at det var en klar tendens til mindre nitrogenbegrensning i vekstsesongen langs gradienten fra nord til sør i landet, noe som vi kobler til høyere nitrogenavsetning og lavere retensjon i nedbørfeltet grunnet mindre skog. Elvene på Sørlandet var stort sett fosforbegrensede, mens på Østlandet var nitrogenbegrensning i vekstsesongen ikke uvanlig i rundt halvparten av elvene. De høyeste nitratkonsentrasjonene om sommeren ble registrert på Sørlandet.

Masseforekomst av **krypsiv** er fortsatt et problem i mange elver på Sørlandet og Sør-Vestlandet. Nyere undersøkelser viser at det er utfordrende å finne enkeltfaktorer som utløser problemvekst av krypsiv, men at veksten sannsynligvis skyldes en kombinasjon av flere faktorer over tid. De mest sannsynlige årsakene til massevekst av krypsiv er knyttet til regulering og eutrofiering. Det er lite som tyder på nitrogen i nedbør har avgjørende betydning for massevekst av krypsiv, men på den annen side kan all tilførsel av næringssalter til elver og innsjøer med mye krypsiv føre til økt vekst og tettere bestander.

Utvikling av nitrogenstatus i særlig sårbare marine områder

Nitrogen er generelt antatt å være det begrensende næringsstoffet for planteplankton i marint vann. I kystnære områder som blir påvirket av elver med varierende nitrogen/fosfor-forhold kan det vekse mellom at algene er begrenset av nitrogen, fosfor eller av begge stoffene samtidig (Staalstrøm et al. 2021). I de senere årene har spesielt Oslofjorden vært i fokus på grunn av negativ utvikling i eutrofisituasjonen (Engesmo et al. 2021a, Staalstrøm et al. 2021), og det jobbes for tiden intenst med å kartlegge årsaker og iverksette tiltak for å bedre situasjonen (Salt 2019, Miljødirektoratet 2019).

Modellverktøyet TEOTIL har blitt benyttet for å estimere kildefordelte tilførsler av nitrogen fra land til Ytre Oslofjord i 2019 (Engesmo et al. 2021b) og for tilførsel av totalt nitrogen stod jordbruk for 35 %, avløpsvann fra befolkning 23 % og industri 3 %. Den naturlige bakgrunnsavrenningen fra skog- og utmarksområder (som blant annet er påvirket av atmosfærisk deponisjon) bidro med nær 39% av de totale nitrogentilførslene til Ytre Oslofjord i 2019.

4.2 Ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling

Kunnskapsinnhenting er basert på litteratur fra boreale og nordlige tempererte områder.

SURFER-prosjektet (2017-2019; Surface waters: The overlooked factor in the forestry climate mitigation debate; finansiert av Forskningsrådet). Prosjektet har utført en rekke studier som bl.a. har gitt følgende ny kunnskap (Jackson-Blake & Clayer 2020; Valinia et al. 2021):

- Utvasking av nitrogen i forbindelse med skogsgjødsling kan potensielt ha negative konsekvenser i vannforekomster som er følsomme for eutrofiering eller forsurening. Ved valg av lokaliteter for skogsgjødsling bør det tas hensyn til sårbare vannforekomster i nedbørfeltet.
- Det kan være små effekter på N-konsentrasjoner i vann umiddelbart etter skogsgjødsling, men modellsimuleringer antyder at det kan forekomme forhøyet utvasking av nitrat i 5-10 år etter hogst av den gjødslete skogen.
- Den umiddelbare pulsen av nitrat etter hogst kan være større ved konvensjonell hogst enn ved heltrehogst, på grunn av nedbryting av grener og topper som ligger igjen på bakken. Heltrehogst kan imidlertid forårsake mer langvarig forsurening av overflatevann på grunn av større uttømming av basekationer fra jorda.
- Ved skogsdrift som drenerer til drikkevannsforkomster må det tas særlig hensyn. For å beskytte en drikkevannskilde ble det anbefalt å redusere hogst-intensiteten og utvide bruken av buffersoner til å omfatte bekker uten årssikker vannføring, samt å innføre rutinemessig overvåking.

BIOWATER (2017-2022) er et nordisk senter for framragende forskning finansiert av NordForsk. Følgende kunnskap av betydning for skogsgjødsling og skogsdrift kan trekkes frem (de Wit et al. 2020; Finer et al. 2021; Lepisto et al. 2021; Rajakallio et al. 2020; Tolkkinen et al. 2021):

- Det er generelt mangel på tilgjengelige data om virkninger av skogsdrift på overflatevann både i Norge og i Norden.
- Nitrogenkonsentrasjoner i områder med skogsdrift ligger lavere enn jordbruk, men høyere enn naturlig skog.
- Høyere nitrogenavrenning fra skogbruksfelt trenger ikke nødvendigvis å skyldes gjødsling, siden nyere studier fra Finland har vist at drenering av skog gir høyere tap av nitrogen, fosfor og organisk karbon enn tidligere antatt.
- For å ivareta akvatisk økologi er det særlig viktig med gode buffersoner (uten hogst eller gjødsling) rundt vannforekomstene.

Nyere resultater fra vitenskapelig litteratur

Siden rapporten til Haugland et al. (2014) ble publisert, har det kommet nye relevante vitenskapelige artikler mest fra Sverige og Norge, men også fra Skottland. Nyere resultater i den vitenskapelige litteraturen bekrefter i stor grad tidligere kunnskap.

- N-gjødsling leder til økte konsentrasjoner av både N og andre grunnstoff i jordvann. Økningen i N-avrenning pleier å vare i noen år, men er ikke langvarig. Modellering har vist at effekten av N-gjødsling på N-avrenning var tydeligst på en flate med høy N-avsetning, hvilket bekrefter at N ikke holdes tilbake i skogsjorda når økosystemet er N-mettet. (Lucander et al. 2021)
- Nitrogengjødsling av et skogsfelt (Gårdsjön) hvert år siden 1989 (40 kg/ha NH_4NO_3) ga i løpet av de 10 første årene økende mengde nitrat, men bare i liten grad ammonium i avrenningsvannet. Deretter stabiliserte N-utvaskingen seg på om lag 9% av den årlige tilsetningen av nitrogen. Høye nitratkonsentrasjoner inntreffer ofte under flommer, spesielt hvis flommene kommer rett etter nitrogentilsetning (Moldan et al. 2018).
- Muligens kan kombinert P- og N-gjødsel lede til redusert utvasking av N (Hedwall et al. 2014).
- Tiltak for å redusere negative virkninger av gjødsling omfatter buffersoner mot vassdrag (PEFC 2015). En utfordring er at dette ikke alltid er like lett i praksis, spesielt ved spredning med helikopter (Solli 2020; Shah og Nisbet 2019).

Følgende er veletablert kunnskap:

- Hogst leder til nedbrytning av hogstresten og jordas organiske stoffer, samt redusert opptak av nitrogen fra avsetning, noe som gir til økt avrenning av nitrogen fra flata.
- Vegetasjonstilvekst reduserer avrenning av N i jordvann etter hogst.

Nyere litteratur gir også ny kunnskap om driftspraksis ved hogst:

- Effekten på vannkvalitet varierer med hogsttype. I jordvann kan heltrehogst med samling av hogstresten i grothauger lede til økte nitratkonsentrasjoner under haugene, men lavere konsentrasjoner der grot er fjernet for å danne hauger.
- Markberedning fremmer rask etablering, tidlig vekst og god overlevelse av både naturlig foryngelse og utplantede trær. I de nordiske land er det i dag mekanisk markberedning som er mest utbredt. Det er forventet at markberedning etter hogst av gjødslet skog skulle øke N-konsentrasjoner i avrenning, men publiserte resultater er ikke entydige.

4.3 Kunnskapshull

Basert på gjennomgangen over har vi identifisert en del kunnskapshull / datamangler som begrenser muligheten for å vurdere effekten av skoggjødsling på omkringliggende vannforekomster og dermed også behovet for- og omfanget av en hensynssone med restriksjoner i forhold til gjødsling:

- Det foreligger lite overvåkingsdata i Norge som dokumenterer effekter av skoggjødsling, både rundt gjødslingstidspunktet og i forbindelse med at den gjødslete skogen avvirkes. Det er for øvrig svært lite overvåking knyttet til skogsdrift generelt, dersom en sammenligner med andre næringer som jordbruk og industri.
- Det er gjort forholdsvis lite forskning på effekter av skoggjødsling i forhold til overflatevann. Hovedfokuset har vært på skogens tilvekst, jordkjemi og jordvannkjemi. Det betyr at det fortsatt er manglende kunnskap mht. overflatevann når det gjelder nitrogenutlekking etter

gjødning, hogst av skog etter gjødning og effekter av buffersoner i forbindelse med gjødning og hogst.

- Det bør vurderes nærmere hvordan klimaendringer kan spille inn, både i forhold til utlekking av nitrogen ved skoggjødning og ved dimensjonering av buffersoner for å redusere belastning på nærliggende vannforekomster.
- Det bør forskes mer på næringsstoffbegrensning i ferskvann og marint vann (nitrogen, fosfor, eller begge); hvordan dette kan variere i tid og rom og hvilke eksterne faktorer som virker inn.
- Det er utilstrekkelig informasjon om effekten av noen skogbrukstiltak, for eksempel markberedning i gjødslet skog.

4.4 Konklusjoner og anbefalinger

Konklusjoner:

- Utlekking av nitrogen i forbindelse med skoggjødning er i de fleste tilfeller lav, men kan ha betydning i lokale vassdrag som ligger nært inntil områdene som gjødsles. Det er derfor viktig å se gjødning av skog i sammenheng med øvrige nitrogenkilder og å vurdere den samlede belastningen på vannforekomstene. Det var lite eller ingen gjødning innenfor hensynssonen i 2019 og 2020, da taket for gjødning i praksis ble nådd i løpet av de tre første årene tilskuddsordningen eksisterte.
- Atmosfæriske nitrogenavsetninger i den sørlige delen av Sør-Norge har flatet ut i løpet av de siste 10 årene, dvs. at nivået i dag er omtrent det samme som da hensynssonen ble etablert i 2014.
- Konsentrasjonen av nitrat i innsjøer har vært relativt uendret de siste 5-6 årene på Østlandet og Sørlandet. I Rogaland har konsentrasjonen gått ytterligere ned de siste to årene. I små bekkefelt har det vært relativt liten endring av nitratkonsentrasjonen de siste 5-10 årene. I større elver har konsentrasjonene av total nitrogen vært mer eller mindre stabile siden 1990.
- Det var svært liten endring i arealet med overskridelser av tålegrensene for forsuring av vann i 5-års periodene mellom 2007-2016
- Resultater fra skogovervåkingen viser at avsetning av uorganisk nitrogen i kronedrypp på stasjonene i Sør-Norge var i samme størrelsesorden i 2019 som i 2014.
- Eutrofisituasjonen i Mjøsa har forverret seg i senere år. Selv om produksjonen i innsjøer og elver hovedsakelig er fosforbegrenset, kan samtidig tilførsel av fosfor og nitrogen øke produksjonen mer enn tilførsel av fosfor alene. I referanseelver på Østlandet var rundt halvparten av lokalitetene nitrogenbegrenset i vekstsesongen.
- Problemvekst av krypsiv skyldes sannsynligvis en kombinasjon av flere faktorer som virker over tid. Det er lite som tyder på at nitrogen i nedbør har avgjørende betydning, men all tilførsel av næringsstoffer kan potensielt øke veksten der krypsiv allerede dominerer.
- Store deler av Oslofjorden har høye konsentrasjoner av nitrogen, og tilførsler fra land har sannsynligvis stor innvirkning på vannkvaliteten. Det er derfor viktig å redusere nitrogen-tilførselene fra alle kilder hvor det er mulig å gjøre utslippsbegrensende tiltak.

- Det er generelt lite data som dokumenterer utlekking av nitrogen i forbindelse med gjødsling, etter hogst av gjødslet skog og effekter av buffersoner for å redusere utlekking. Det finnes noen studier på jordvann, men betydelig færre på overflatevann. Svært få studier har høy nok tidsopløsning til å fange opp kortvarige effekter i forbindelse med regnskyll, snøsmelting e.l.

Anbefalinger:

- Atmosfæriske avsetninger og nitrogenstatus i innsjøer, elver og kystvann er forholdsvis uendret i forhold til situasjonen i 2014, da den forrige utredningen av skoggjødsling som klimatiltak ble utgitt. Nyere forskningsresultater på temaet er begrenset og gir heller ikke vesentlige bidrag til å endre de faglige vurderingene som ble lagt til grunn i den nevnte utredningen. Vi finner derfor ikke grunnlag for verken å lempe på- eller å skjerpe begrensningene innenfor hensynssonen som ble definert da tilskuddsordningen ble lansert i 2016.
- For å bedre kunnskapsgrunnlaget er det behov for mer systematisk og langsiktig overvåking av skog som gjødsles, effekter av ulike hogstmetoder og andre skogbrukstiltak i etterkant og effekter av ulike tiltak for å redusere belastningen på vannforekomster nedstrøms. Det vil være viktig med god informasjon om behandling og hogst i overvåkingsfeltene, samt at det opprettes representative referansefelter og måles vannføring både i tiltaksfelter og referansefelter. I og med at skog vokser sakte, vil det være mest kostnadseffektivt å ha høyest prøvetakingsfrekvens omkring tidspunktene for gjødsling og i forbindelse med avvirkning av skogen.
- Overvåkingsdataene vil i seg selv stimulere til mer forskning som kan øke kunnskapsgrunnlaget rundt effekter av skogsgjødsling, ulike hogstmetoder og tiltak innenfor skogbruket.
- Det har vært få undersøkelser av dette tema siden den første utredningen for sju år siden (Haugland et al. 2014). Ettersom satsningen på grønt skifte og bioøkonomi er i startfasen, anbefales det at det gjennomføres en tilsvarende utredning om 5 år.

5 Referanser

- Austnes K, Lund E, Sample JE, Aarrestad PA, Bakkestuen V, Aas W. 2018. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012–2016. Miljødirektoratet-rapport M-966, NIVA-rapport 7239.
- Bechmann M, Thrane JE, Kværnø S, Turtumøygard S. 2021. Eutrofiering av Mjøsa - kartlegging av årsaksforhold og kilder til fosfor i ni delnedbørfelt. NIBIO-rapport 7/58/ 2021, 25 s.
- Braaten HFV, Gundersen CB, Kaste Ø, Sample J, Hjermann DØ, Norling MD, Calidonio JLG, Allan I, Nizzetto L. 2020. The Norwegian river monitoring programme 2019 – water quality status and trends. NIVA report 7564-2020, Norwegian Environment Agency, report M-1817-2020, 87 pp
- Clarke N, Skår S, Kjønås OJ, Hanssen KH, Økland T, Nordbakken J-F, Eldhuset TD, Lange H. 2018b. Effects of forest residue harvesting on short-term changes in soil solution chemistry. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33:3, 299-307, DOI:10.1080/02827581.2017.1375141.
- Clarke N, Økland T, Hanssen KH, Nordbakken J-F, Wasak K. 2018a. Short-term effects of hardened wood ash and nitrogen fertilisation in a Norway spruce forest on soil solution chemistry and humus chemistry studied with different extraction methods. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33:1, 32-39, DOI:10.1080/02827581.2017.1337921.
- de Wit, HA, Lepistö, A, Marttila, H, Wennig, H, Bechmann, M, Blicher-Mathiesen, G, Eklöf, K, Futter, MN, Kortelainen, P, Kronvang B, Kyllmar, K, Rakovic, J: 2020 Land-use dominates climate controls on nitrogen and phosphorus export from managed and natural Nordic headwater catchments. *Hydrological Processes*. 2020; 1– 20. <https://doi.org/10.1002/hyp.13939>
- Direktoratsgruppen vanndirektivet 2018. Veileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann
- Elser JJ, Andersen T, Baron J S, Bergström A.K, Jansson M, Kyle M, Nydick KR, Steger L, Hessen DO. 2009. Shifts in lake N: P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition. *Science*, 326: 835-837.
- Engesmo A, Staalstrøm A, Selvik JR, Kistenich S. 2021a. Overvåking av Ytre Oslofjord 2019-2023. Tilførsler og undersøkelser i vannmassene i 2020. Fagrapport. NIVA-rapport 7626-2021, 57 s.
- Engesmo A, Staalstrøm A, Gran S, Borgersen G, Beylich B, Kaste Ø, Walday M. 2021b. Overvåking av Ytre Oslofjord 2019-2023 - Årsrapport 2020. NIVA-rapport (under utarbeidelse)
- Fagerli H. et al. 2020. Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components. *EMEP Status Report 2020*. Norwegian Meteorological Institute, 270 pp.
- Finér, L. Lepistö, A. Karlsson, K. Räike, A. Härkönen, L., Huttunen, M. Joensuu, S., Kortelainen, P. Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S. Tattari, S. Ukonmaanaho, L. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Sci. Tot. Environ. Vol 762*, 2021, 144098, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>.
- Forsius M, Posch M, Holmberg M, Vuorenmaa J, Kleemola S, Augustaitis A, Beudert B, Bochenek W, Clarke N, de Wit H, Dirnböck T, Frey J, Grandin U, Hakola H, Kobler J, Kram P, Lindroos A-J, Löfgren S, Pecka T, Rönnback P, Skotak K, Szpikowski J, Ukonmaanaho L, Valinia S, Váňa M. 2021. Assessing critical load exceedances and ecosystem impacts of anthropogenic nitrogen and sulphur deposition at unmanaged forested catchments in Europe. *Science of the Total Environment* 753: 141791.

- Garmo Ø, Skancke LB. 2020. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2019. Miljødirektoratet rapport M-1770/2021, NIVA-rapport 7550-2020, 93 s.
- George MOR, Hansson LJ, Ring E, Jansson PE, Gärdenäs AI. 2017. Nitrogen leaching following clear-cutting and soil scarification at a Scots pine site—A modelling study of a fertilization experiment. *Forest Ecology and Management*, 385, 281-294.
- Guerrero JL, Sample JE. 2021. Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2019 –tabeller, figurer og kart. Miljødirektoratet rapport M-1961 | 2021, NIVA-rapport 7599, 99 s.
- Haugland H, Backer EB, Løbersli EM, Selboe O-K, Gunnarsdottir H, Granhus A, Søgaard G, Hanssen KH, Terum T, Lileng J, Sørli HA. 2014. Måltrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier. Miljødirektoratet Rapport M174-2014. 143 s.
- Haveraaen O. 1981. Virkning av host på vannmengde og vannkvalitet fra en østnorsk barskog. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 36(7): 1-27.
- Hedwall P-O, Bergh J, Nordin A. 2015. Nitrogen-retention capacity in a fertilized forest after clear-cutting - the effect of forest-floor vegetation. *Canadian Journal of Forest Research* 45(1): 130-134.
- Hedwall P-O, Gong P, Ingerslev M, Bergh J. 2014. Fertilization in northern forests – biological, economic and environmental constraints and possibilities, *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(4): 301-311, DOI:10.1080/02827581.2014.926096.
- Hindar A, Garmo ØA, Austnes K, Sample JE. 2020. Nasjonal innsjøundersøkelse 2019. NIVA-rapport 7530.
- Hirsch RM, Slack JR. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 20, 727–732.
- Jackson-Blake L, Clayer F. 2020. Assessment of risks to drinking water provision in Glitrevann from forest fertilization and harvesting. NIVA report 7458-2020, 33 pp.
- Kaste Ø, Austnes K, de Wit HA. 2020. Streamwater responses to reduced nitrogen deposition at four small upland catchments in Norway. *Ambio* 49: 1759–1770.
- Lepistö, A., A. Räike, T. Sallantausta, L. Finér, 2021. Increases in organic carbon and nitrogen concentrations in boreal forested catchments — Changes driven by climate and deposition. *Science of The Total Environment*, Vol 780, 146627, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146627>.
- Lucander K, Zanchi G, Akselsson C, Belyazid S. 2021. The effect of nitrogen fertilization on tree growth, soil organic carbon and nitrogen leaching—a modeling study in a steep nitrogen deposition gradient in Sweden. *Forests*, 12(3), 298.
- Lundin L, Nilsson T. 2021. Duration of forest fertilization effects on streamwater chemistry in a catchment in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 496: 119450.
- Meld. St. 13 (2020-2021), «Klimaplan for 2021-2030».
- Meld. St. nr. 21 (2011–2012) «Norsk klimapolitikk».
- Miljødirektoratet 2020. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2019. Rapport M-1791 | 2020, 410 s.
- Miljødirektoratet. 2019. Forslag til helhetlig plan for Oslofjorden. M-1550 | 2019.

- Moe TF, Demars BOL. 2017. Årsrapport krypsivovervåking 2017. NIVA-rapport 7202, 89 s.
- Moe TF, Hessen DO, Demars BO. 2019. Functional biogeography: Stoichiometry and thresholds for interpreting nutrient limitation in aquatic plants. *Science of the Total Environment*, 677, 447-455.
- Moldan F, Jutterström SEK, Hruška J, Wright RF. 2018. Experimental addition of nitrogen to a whole forest ecosystem at Gårdsjön, Sweden (NITREX): Nitrate leaching during 26 years of treatment. *Environmental Pollution*, 242, 367-374.
- Nohrstedt HÖ, Westling O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGs gödslingsprogram, Del 1 faktaunderlag (In Swedish). B1218, IVL Swedish Environmental Research Institute, 90 pp.
- PEFC. 2015. Norsk PEFC Skogstandard. PEFC N 02. Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) Norway. <https://cdn.pefc.org/pefc.no/media/2021-01/c713871e-587a-4b0b-b367-64ea6a3ab5e0/16118998-c836-5851-aa38-eda2bed48004.pdf>.
- Rajakallio, M., Jyväsjärvi, J., Muotka, T. and Aroviita, J. (2021), Blue consequences of the green bioeconomy: clear-cutting intensifies the harmful impacts of land drainage on stream invertebrate biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 00: 1– 10. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13889>
- Ring E, Högbom L, Jacobson S, Jansson G, Nohrstedt HÖ. 2018. Long-term effects on soil-water nitrogen and pH of clearcutting and simulated disc trenching of previously nitrogen-fertilised pine plots. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(10), pp.1115-1123.
- Ring E, Jacobson S, Jansson G, Högbom L. 2017. Effects of whole-tree harvest on soil-water chemistry at five conifer sites in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 47, 349-356.
- Ring E, Jansson G, Högbom L, Jacobson S. 2021. Long-term effects on soil-water chemistry of wood ash and nitrogen application in a conifer forest. *Canadian Journal of Forest Research* 51: 792–8.
- Ring, E. 2007. Estimation of leaching of nitrogen and phosphorus from forestry in northern Sweden. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens tidskrift* 146.
- Salt. 2019. Kunnskapsstatus Oslofjorden. Salt Rapport Nr 1036.
- Schneider SC, Demars BOL. 2020. Vannplanter i Otra oppstrøms Brokke før og nå, og hva det betyr for problemvekst av krypsiv. NIVA-rapport 7484, 39 s.
- Sen PK. 1968. Estimates of regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379–1389.
- Shah N and Nisbet T. 2019. The effects of aerial and hand fertiliser applications on water quality in the North Forest Region: monitoring in sub-catchments of the River Oykel, Peffery Burn and Loch Shin. Forest fertilisation in sensitive catchments. The research agency of the Forest Commission. 36 s. https://www.forestresearch.gov.uk/documents/7297/FR_Highland_fertiliser_monitoring_Aug2019_Final_Report.pdf
- Solli SS. 2020. Blir miljøkriteriene for tilskuddsordningen overholdt ved gjødsling av skog? Masteroppgave, Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, NMBU.
- Staalstrøm A, Walday M, Vogelsang C, Frigstad H, Borgersen G, Albretsen J, Naustvoll LJ. 2021. Utredning av behovet for å redusere tilførselen av nitrogen til Ytre Oslofjord. NIVA-rapport 7639.

- Sundnes F, Karlsson M, Platjouw FM, Clarke N, Kaste Ø, Valinia S. 2020. Climate mitigation and intensified forest management in Norway: To what extent are surface waters safeguarded? *Ambio* 49: 1736-46.
- Thrane JE, Økelsrud A. 2021. Miljøtilstanden i Mjøsa med tilløpselver 2020. NIVA-rapport 7604.
- Timmermann V, Andreassen K, Beachell AM, Brurberg MB, Børja I, Clarke N, Halvorsen R, Høyen G, Jepsen JU, Perminow JIS, Solberg S, Solheim H, Talgø V, Tollefsrud MM, Vindstad OPL, Økland B, Økland T, Aas W. 2020. Skogens helsetilstand i Norge. Resultater fra skogskadeovervåkingen i 2019. NIBIO Rapport 6/119.
- Tolkkinen, M., Vaarala, S. & Aroviita, J. 2021 The Importance of Riparian Forest Cover to the Ecological Status of Agricultural Streams in a Nationwide Assessment. *Water Resour Manage* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02923-2>
- Valinia S, Kaste Ø, Wright RF. 2021. Intensified forestry as a climate mitigation measure alters surface water quality in low intensity managed forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36, 15-31.
- Aas W, Eckhardt S, Fiebig M, Solberg S, Platt SM, Yttri KE, Zwaafink CG. 2021. Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway. NILU report 13/2021; Norwegian Environment Agency M-2072 | 2021.
- Aas W, Eckhardt S, Fiebig M, Solberg S, Yttri KE. 2020. Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway. Annual Report 2019. Norwegian Environment Agency report M-1710 | 2020, NILU report 4/2020, 133 pp.
- Aas W, Hjellbrekke AG, Fagerli H, Benedictow A. 2017. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016. NILU report 41/2017, 35 pp.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressurs spørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.



Norsk institutt for vannforskning

Økernveien 94 • 0579 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no