

# Estimerte bidrag fra atmosfæriske avsetninger til nitrogeninnhold i elver



## 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](http://www.niva.no)

Tittel Estimerte bidrag fra atmosfæriske avsetninger til nitrogeninnhold i elver	Løpenummer 7678-2021	Dato 07.12.2021
Forfatter(e) Øyvind Kaste	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Fri
	Geografisk område Sør-Norge	Sider 17

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet	Kontaktperson hos oppdragsgiver Gunnar Skotte
Oppdragsgivers utgivelse: M-2167 I 2021	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 210231

**Sammendrag**

Hovedmålet med prosjektet har vært å estimere hvor stor andel av nitrogenet i vassdragene som kommer fra langtransporterte forurensninger. Arbeidet må betraktes som et forprosjekt basert på utprøving av en forenklet metodikk i tre eksempelvassdrag; Drammenselva, Bjerkreimselva og Driva. Data fra små bekkefelt (feltforskningsområder) med lange tidsserier for vannkjemi, vannføring og atmosfærisk deponisjon er benyttet for å representere avrenning fra utmarksområder i de store vassdragene. Foreløpige anslag er at 5-10 % av nitrogenet i Drammensvassdraget og rundt 40% av nitrogenet i Bjerkreimselva kan stamme fra atmosfæriske avsetninger. Det understrekes at estimatene er beheftet med stor usikkerhet og må betraktes som foreløpige. For å oppnå estimater med bedre geografisk oppløsning, anbefales det å ta i bruk større landsomfattende datasett på vannkjemi og atmosfæriske avsetninger.

Fire emneord	Four keywords
1. Atmosfæriske avsetninger	1. Atmospheric deposition
2. Nitrogen	2. Nitrogen
3. Elver	3. Rivers
4. Kildefordeling	4. Source apportionment

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

Øyvind Kaste  
Prosjektleder

Kari Austnes  
Kvalitetssikrer

Sondre Meland  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7414-1  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

**Estimerte bidrag fra atmosfæriske avsetninger til  
nitrogeninnhold i elver**

## Forord

NIVA fikk en henvendelse fra Miljødirektoratet i august 2021 med ønske om en utredning knyttet til betydningen av atmosfæriske nitrogentilførseler for nitrogeninnhold i elver. Et tilbud basert på en forholdsvis enkelt metodisk tilnærming ble oversendt den 24. august og tilbudet ble akseptert den 26. august 2021.

Jeg vil takke Jose-Luis Guerrero for å ha tilrettelagt tilførselsdata fra TEOTIL-modellen til Drammensvassdraget, Bjerkreimsvassdraget og Driva, og Kari Austnes for å ha kvalitetssikret rapporten.

Kontaktperson hos Miljødirektoratet har vært Gunnar Skotte

Grimstad, november 2021

Øyvind Kaste

---

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Innledning.....</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn.....	7
1.2 Mål.....	7
<b>2 Materiale og metoder.....</b>	<b>8</b>
2.1 Eksempelvassdrag.....	8
2.2 Metodisk tilnærming .....	9
<b>3 Resultater og diskusjon.....</b>	<b>10</b>
3.1 Nitrogentransport fra feltforskningsområdene .....	10
3.2 Lekkasje av atmosfærisk nitrogen i feltforskningsområdene .....	10
3.3 Nitrogentransport i elvene .....	14
3.4 Kildefordelte tilførsler beregnet med TEOTIL-modellen.....	14
3.5 Estimerte bidrag fra atmosfæriske kilder til N-transport i elvene .....	15
<b>4 Referanser.....</b>	<b>17</b>

## Sammendrag

Hovedmålet med prosjektet har vært å estimere hvor stor andel av nitrogenet (N) i vassdragene som kommer fra langtransporterte forurensninger. Det er tatt utgangspunkt i tre eksempel-vassdrag som er lokalisert i regioner med ulik belastning av atmosfærisk N-avsetning og hvor nedbørfeltet inkluderer ett av feltforskningsområdene fra overvåkingsprogrammet for langtransportert forurenset luft og nedbør. Elvene som er valgt, Drammenselva i Buskerud, Bjerkreimselva i Rogaland og Driva i Møre og Romsdal, har gode overvåkingsdata fra Elveovervåkingsprogrammet. Feltforskningsområdene som er valgt for å representere forholdene i utmarksområdene er Langtjern og Storgama (knyttet til Drammensvassdraget), Øygardsbekken (knyttet til Bjerkreimsvassdraget) og Kårvatn (knyttet til Driva).

TEOTIL-modellen ble benyttet for å beregne kildefordelte tilførsler av N til de tre store vassdragene. Ett av formålene med dette var å få to uavhengige estimater på bakgrunnsavrenningen av N i de tre vassdragene; ett fra TEOTIL og ett fra feltforskningsområdene som er lokalisert i eller i nærheten av vassdragene. Et annet formål var å få et estimat på N-tilførsler fra antropogene kilder (jordbruk, befolkning og industri).

På basis av beregnet transport av nitrat ( $\text{NO}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4$ ) i de store elvene og i feltforskningsområdene er det laget et estimat på bidraget fra atmosfæriske avsetninger til N-innholdet i elvene. Kårvatn i Møre og Romsdal ligger i et område som er lite påvirket av forurenset luft og nedbør og er brukt som referanse. Dvs. at avrenningen av totalt uorganisk nitrogen ( $\text{TIN} = \text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) fra Kårvatn ble ansett som «naturlig» og trukket fra TIN-avrenningen i de andre feltforskningsområdene.

Ved å la Langtjern og Storgama representere bakgrunnsavrenningen i Drammensvassdraget, er det estimert at 1-19% av TIN i elva kan stamme fra atmosfæriske kilder. Gitt at Storgama har noe høyere N-avsetning og større TIN-lekkasje enn Langtjern, og at sistnevnte ligger innenfor selve vassdraget, er det antatt at estimatet bør ligge noe nærmere 1% enn 19% (f.eks. 5-10%).

Basert på beregnet TIN-lekkasje i Øygardsbekken er det estimert at drøyt 40% av det uorganiske nitrogenet i elva kan stamme fra atmosfæriske kilder. Dette er i samme størrelsesorden som tidligere beregninger for Nidelva og Otra på slutten av 1980-tallet. Estimaten for Bjerkreimsvassdraget virker derfor ikke helt urimelige for dagens situasjon, gitt at N-avsetningen her er høyere enn på Sørlandet, samt at potensiell N-lekkasje er høyere på grunn av mer nedbør og tynt jordsmonn.

Det understrekes at estimatene som er presentert i rapporten er beheftet med stor usikkerhet og må betraktes som foreløpige. Det ligger store usikkerheter knyttet til å oppskalere resultater fra noen få, små feltforskningsområder ( $0,5\text{-}15\text{ km}^2$ ) til store vassdrag på flere tusen  $\text{km}^2$ . Det er også vanskelig å definere hvor mye av det utlekkede nitrogenet som stammer fra dagens atmosfæriske avsetninger og hva som kommer fra tidligere avsetninger. Her måtte en i så fall benytte dynamiske modeller, noe som har vært utenfor rammen av dette prosjektet.

For å kunne oppnå en bedre geografisk oppløsning på estimatene, kan det være en mulighet å bruke data fra 1000-sjøers undersøkelsen som ble gjennomført i 2019, sammen med landsomfattende (rute-baserte) data for atmosfæriske avsetninger.

## Summary

Title: Estimated contribution of atmospheric deposition to observed nitrogen concentrations in rivers

Year: 2021

Author(s):

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7414-1

The main goal of the project has been to estimate the proportion of nitrogen (N) present in rivers that can be traced back to atmospheric deposition. Three large river catchments were selected for the study; Rivers Drammenselva, Bjerkreimselva and Driva (all included in the national river monitoring programme). The selection criteria were that the catchments should be in regions with different atmospheric N deposition levels, and at least one calibrated catchment from the acid rain monitoring network should be within (or close to) the catchment boundaries. The calibrated catchments Langtjern and Storgama were assigned to Drammenselva, Øygardsbekken to Bjerkreimselva and Kårvatn to Driva.

The source-apportionment model TEOTIL was applied to calculate N inputs from different sources to the large rivers. The purpose was two-fold: To obtain two independent estimates on background inputs from upland areas (from TEOTIL and the calibrated catchments), and to obtain estimates of anthropogenic N inputs to the rivers.

The contribution of atmospheric sources to N loads in the large rivers was estimated from calculated total loads of nitrate ( $\text{NO}_3$ ) and ammonium ( $\text{NH}_4$ ), both in the large rivers and in the calibrated catchments. The Kårvatn calibrated catchment is little affected by long-range air pollution and was used as reference, which meant that total inorganic nitrogen ( $\text{TIN} = \text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) loads in this catchment were regarded as “natural background” and subtracted from TIN loads at the other calibrated catchments.

By letting Langtjern and Storgama represent runoff from upland areas in the Drammenselva catchment, the contribution from atmospheric sources were estimated to be in the range 1-19%. Given that Storgama receives more N deposition and leaches more TIN than Langtjern (which is located centrally within the Drammenselva catchment) the estimate should probably be in the lower end of the range (e.g. 5-10%).

Based on observed TIN leaching at Øygardsbekken, the contribution from atmospheric sources to TIN in Bjerkreimselva was estimated to about 40%. This is of the same order of magnitude as estimates for Arendalsvassdraget and Otra (southernmost Norway) made 30 years back in time. However, the new estimates for Bjerkreimselva do not seem unreasonable given that N deposition here is higher and the catchment's capacity to retain N is lower than in the Arendal and Otra catchments.

It should be emphasised that the estimates presented here are associated with large uncertainties and should be regarded as preliminary results. One major uncertainty is the upscaling from small calibrated catchments ( $0.5\text{-}15\text{ km}^2$ ) to upland areas in river catchments up to  $17000\text{ km}^2$ . It is also difficult to define whether the present N leaching originates from recently deposited N or from accumulated N from previous deposition.

To obtain estimates with better spatial resolution, it could be an option to use data from the national 1000-lake survey that was conducted in 2019, in combination with gridded national deposition data.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Miljødirektoratet har startet et større arbeid med verdsetting av effekter av luftforurensning. Målet er å komme fram til oppdaterte enhetskostnader for utslipp til luft. Høsten 2021 er det gjennomført et litteraturstudium av Menon/NINA/NIVA for å finne relevante studier om verdsetting av miljøeffekter av luftforurensning, og vurdere om de er overførbare til norske forhold (Magnussen m.fl. 2021). På bakgrunn av dette vil Miljødirektoratet vurdere hvilke miljøeffekter det skal jobbes videre med å verdsette. Som del av dette beslutningsgrunnlaget ønsker Miljødirektoratet mer kunnskap om hvilke effekter atmosfærisk nitrogen bidrar til i vann, og hvor stort det atmosfæriske bidraget til vassdragene er sammenliknet med andre kilder til nitrogen.

I 1989 ble det gjort en utredning på «Betydning av sur nedbør for økte nitrogen-tilførsler til fjordområder» (Hindar m.fl. 1989). Arbeidet ble basert på nitrogenbudsjetter for Otra og Arendalsvassdraget på Sørlandet, og konklusjonen den gang var at forurenset luft og nedbør utgjorde 30-40% av nitrogentransporten i de to vassdragene. For kystområdene innebar det at opp mot 30% av nitrogenet i de øverste 5 meterne av vannsøylen stammet fra atmosfærisk nitrogen tilført via elvene. Dette prosjektet, som ble gjennomført for mer enn 30 år siden og på en tid hvor nitrogenavsetningen var på det høyeste, danner et interessant og viktig bakteppe for problemstillingen som nå reises på nytt. Siden den gang har nitrogen-avsetningen fra forurenset luft og nedbør gått ned (Aas m.fl. 2017). Lekkasje av nitrogen fra jord til vann har i stor grad blitt redusert i takt med dette, selv om det er en del regional variasjon og forskjeller avhengig av klima og nedbørfelt-egenskaper (f.eks. Hindar m.fl. 2020, Kaste m.fl. 2020).

## 1.2 Mål

Hovedmålet med prosjektet har vært å forsøke å estimere hvor stor andel av nitrogenet i vassdragene som kommer fra langtransporterte forurensninger. Arbeidet må betraktes som et forprosjekt basert på utprøving av en forenklet metodikk i tre eksempel-vassdrag.



## 2 Materiale og metoder

### 2.1 Eksempelvassdrag

Det er tatt utgangspunkt i tre eksempelvassdrag som er lokalisert i regioner med ulik belastning av atmosfærisk nitrogen. Det er valgt ut elver hvor vi har gode overvåkingsdata i utløpet (fra Elveovervåkingsprogrammet; Kaste m.fl. 2021) og hvor nedbørfeltet inkluderer ett av feltforskningsområdene i overvåkingsprogrammet for langtransportert forurenset luft og nedbør (Garmo og Skancke 2021).

De valgte vassdragene og feltforskningsområdene er vist i henholdsvis **Tabell 1** og **Tabell 2**. Langtjern ligger i nedbørfeltet til Drammenselva, Øygardsbekken i nedbørfeltet til Bjerkreimselva og Kårvatn i nabofeltet til Driva. I tillegg er Storgama feltforskningsområde knyttet til Drammenselva, selv om det ligger utenfor feltet (i Nissedal, Telemark). Naturtypen antas å være representativ for høyereliggende deler av Drammensvassdraget, mens N-avsetningen sannsynligvis er noe høyere i og med at feltet ligger noe lenger mot sørvest.

**Tabell 1.** Nedbørfelt-karakteristikk for elvene. Kilde: nevina.nve.no

	Drammenselva	Bjerkreimselva	Driva
UTM 33N, ØV (utløp)	231015	24113	170351
UTM 33N, NS (utløp)	6632111	6517409	6965656
Areal (km <sup>2</sup> )	17034	705	2487
Sp. avrenning (l/s/km <sup>2</sup> )	18,4	76,0	26,7
Skog (%)	56	19	19
Myr (%)	7	1	2
Annen utmark (%)	20	50	69
Innsjøer (%)	7	13	3
Dyrket mark (%)	4	3,2	1,9
Urban (%)	0,4	0,1	0,2

**Tabell 2.** Nedbørfelt-karakteristikk for feltforskningsområdene. Koordinater og areal hentet fra Garmo og Skancke (2020), avrenning og arealfordeling fra nevina.nve.no.

	Langtjern	Storgama	Øygardsbekken	Kårvatn
UTM 33N, ØV (utløp)	209389	136291	1090709	188736
UTM 33N, NS (utløp)	6704526	6563177	6532218	6976169
Areal (km <sup>2</sup> )	4,8	0,6	2,6	25
Sp. avrenning (l/s/km <sup>2</sup> )	19,4	39,4	75,5	70,9
Skog (%)	86	29	3	5
Myr (%)	7	5	0	1
Snau fjell (%)	0	53	65	86
Innsjøer (%)	7	12	6	3
Annen utmark (%)	0	1	26	5

Atmosfærisk avsetning av nitrogen i feltforskningsområdene for perioden 2017-2020 er vist i **Tabell 3**. Dataene er basert på målinger på nærmeste stasjon drevet av NILU – Norsk institutt for luftforskning (Aas m.fl. 2021).

**Tabell 3.** Atmosfærisk avsetning av nitrogen på NILU-stasjoner som er lokalisert i nærheten av feltforskningsområdene. Gjennomsnitt for årene 2017-2020. Kilde: Aas m.fl. (2021).

	Langtjern	Storgama	Øygardsbekken	Kårvatn
NILU-stasjon	Brekkebygda	Treungen	Vikedal	Kårvatn
Avstand fra felt (km)	6	7	94	1
Våtavsetning (kg N/km <sup>2</sup> /år)				
NO <sub>3</sub>	222	266	396	88
NH <sub>4</sub>	190	279	568	132
TIN (NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> )	412	545	964	220

## 2.2 Metodisk tilnærming

Følgende stegvise prosedyre er benyttet for å forsøke å estimere hvor stor andel av nitrogenet (N) i vassdragene som kommer fra langtransporterte forurensninger:

1. Beregne transport av nitrat (NO<sub>3</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub>) og total nitrogen (tot-N) fra feltforskningsområdene i perioden 2017-2020 (Garmo og Skancke 2021).
2. Relatere transporten av totalt uorganisk nitrogen (TIN = NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>) til avsetningen av atmosfærisk N (Aas m.fl. 2021) for å estimere % N-lekkasje fra feltene.
3. Beregne transport av de samme elementene i elvene, basert på data fra Elveovervåkingsprogrammet (Kaste m.fl. 2021)
4. Estimere tilførsler av nitrogen fra ulike kilder<sup>1</sup> i de tre vassdragene, basert på kjøring av TEOTIL-modellen for årene 2017-2020 (Guerrero og Sample 2020). Før bruk i denne rapporten er tilførslene skalert til observert vannføring (fra NVE) og total nitrogentransport i elvene (jf. pkt. 3) i den aktuelle perioden.
5. Anslå bidraget fra atmosfæriske avsetninger til N-transport i elvene ved å la det mest nærliggende av feltforskningsområdene representere N-lekkasjen fra utmarksområder (Langtjern og Storgama knyttet til Drammensvassdraget, Øygardsbekken til Bjerkreimselva og Kårvatn til Driva). To tilnærminger er valgt for å representere bakgrunnsavrenningen fra utmarksområdene: (a) Bruke data fra TEOTIL-modellen og (b) bruke data fra de nærliggende feltforskningsområdene.

<sup>1</sup> Modellen skiller mellom tilførsler fra følgende kilder: Bakgrunn (avrenning fra skog, myr, annen utmark), befolkning (husholdningskloakk), industri, jordbruk og urbane områder.

## 3 Resultater og diskusjon

### 3.1 Nitrogentransport fra feltforskningsområdene

Feltforskningsområdene er i denne sammenhengen brukt til å representere utmarksområder i de store vassdragene. Det er store usikkerheter knyttet til å oppskalere resultater fra de små feltene (0,5-15 km<sup>2</sup>) til store vassdrag på flere tusen km<sup>2</sup>. Fordelen med denne tilnærmingen er imidlertid at det foreligger lange dataserier både på vannkjemi og vannføring i bekkene og tilsvarende lange dataserier på atmosfærisk avsetning fra nærliggende NILU-stasjoner. Dette gir en mulighet (som er nokså unik i norsk overvåkingssammenheng) til å beregne budsjetter (inn-ut) for nitrogen og andre komponenter i nedbør tilbake til 1970-tallet.

**Tabell 4** gir en oversikt over transport av NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> og tot-N ut av feltene i løpet av fireårs-perioden fra 2017 til 2020. Kårvatn, som ligger i et område som mottar lite forurenset luft og nedbør, brukes i denne rapporten som en representant for naturtilstanden med tanke på nitrogenutlekking. Langtjern har også svært lav transport av totalt uorganisk nitrogen (TIN). Tot-N er imidlertid betydelig høyere enn på Kårvatn, noe som bl.a. skyldes at Langtjern har en høyere andel myr i nedbørfeltet og dermed større utlekking av organisk nitrogen (**Tabell 2**). Storgama har klart høyere utlekking av TIN enn Langtjern, men betydelig lavere enn Øygardsbekken som ligger i den delen av Norge som er mest belastet med atmosfærisk N-avsetning. TIN-utlekkingen her er 20 ganger høyere enn på Kårvatn og Langtjern.

**Tabell 4.** Transport av ulike nitrogenfraksjoner fra feltforskningsområdene. Middelerverdier for årene 2017-2020. TIN = totalt uorganisk N (NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>). Basert på data fra Garmo og Skancke (2021).

	Enhet	Langtjern	Storgama	Øygardsbekken	Kårvatn
NO <sub>3</sub>	kg N/km <sup>2</sup> /år	8	38	294	11
NH <sub>4</sub>	"	9	16	10	3
TIN	"	17	53	304	15
Tot-N	"	198	315	560	69

### 3.2 Lekkasje av atmosfærisk nitrogen i feltforskningsområdene

Nedbøren over Sør-Norge består av omtrent like mengder NO<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub> (Aas m.fl. 2021). Nitrogen er generelt sett regnet for å være det begrensende næringsstoffet for terrestrisk vegetasjon, og feltene har derfor en ganske stor kapasitet til å holde tilbake N som avsettes via nedbør. NO<sub>3</sub> bindes dårligere i jord enn NH<sub>4</sub> og vil lekke forholdsvis raskt ut i overflatevannet dersom det ikke blir tatt opp av planter eller mikroorganismer. Lekkasjen vil dessuten være høyere i vinterhalvåret enn i vekstsesongen. NH<sub>4</sub> lekker vanligvis i mye mindre grad ut av jorda enn NO<sub>3</sub>, og lekkasjen skjer fortrinnsvis utenfor vekstsesongen, eller i forbindelse med kraftige flomepisoder.

Tilbakeholdelsen (retensjon) av N i elver og innsjøer er betydelig lavere enn i det terrestriske miljøet. Det betyr at NO<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub> som avsettes direkte på innsjøoverflater kan bidra betydelig til N-budsjettet i vassdrag med høy andel av innsjøer i nedbørfeltet (Hindar m.fl. 1989). NH<sub>4</sub> i vann kan bli nitrifisert til NO<sub>3</sub> eller bli tatt opp av alger og andre vannplanter, som ofte foretrekker NH<sub>4</sub> framfor NO<sub>3</sub>. Noe NO<sub>3</sub> kan denitrifiseres i kontakt med sedimentoverflaten i innsjøer og elver og omdannes til og

nitrogengass ( $N_2$ ) og/eller lystgass ( $N_2O$ ). Mesteparten av  $NO_3$  som blir tilført vannet vil imidlertid bli transportert videre nedover i vassdragene til det ender opp i havet.

Både Langtjern og Storgama har lite lekkasje av uorganisk N sammenlignet med det som kommer med nedbøren (**Tabell 5**). Prosentvis lekkasje er på linje med Kårvatn, men her må vi også ta i betraktning at N-avsetningen på Kårvatn er mye lavere (**Tabell 3**). Igjen er det Øygardsbekken som har den klart høyeste TIN-lekkasjen sammenlignet med atmosfærisk N-avsetning (>30%).

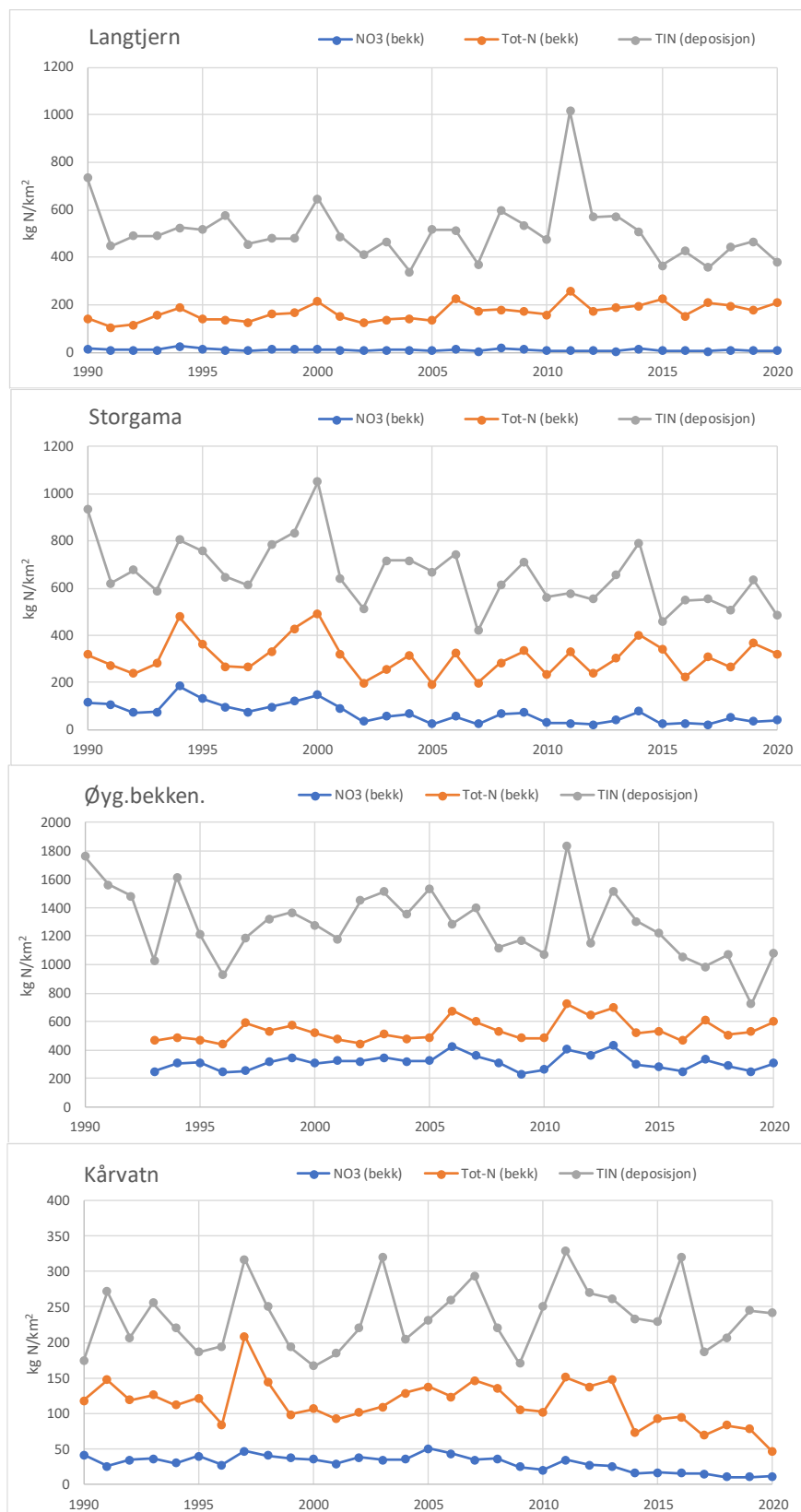
**Tabell 5.** Estimert lekkasje av atmosfærisk nitrogen (våtavsetning) fra feltforskningsområdene, i form av  $NO_3$  og TIN (summen av  $NO_3$  og  $NH_4$ ). Beregningene er for perioden 2017-2020 og basert på avsetningsdata i Tabell 3 og N-transport ut av feltene som vist i Tabell 4.

	Enhet	Langtjern	Storgama	Øygardsbekken	Kårvatn
$NO_3$	% av TIN-avsetn.	2	3	30	5
TIN	"	4	4	32	7
Tot-N	"	48	26	58	31

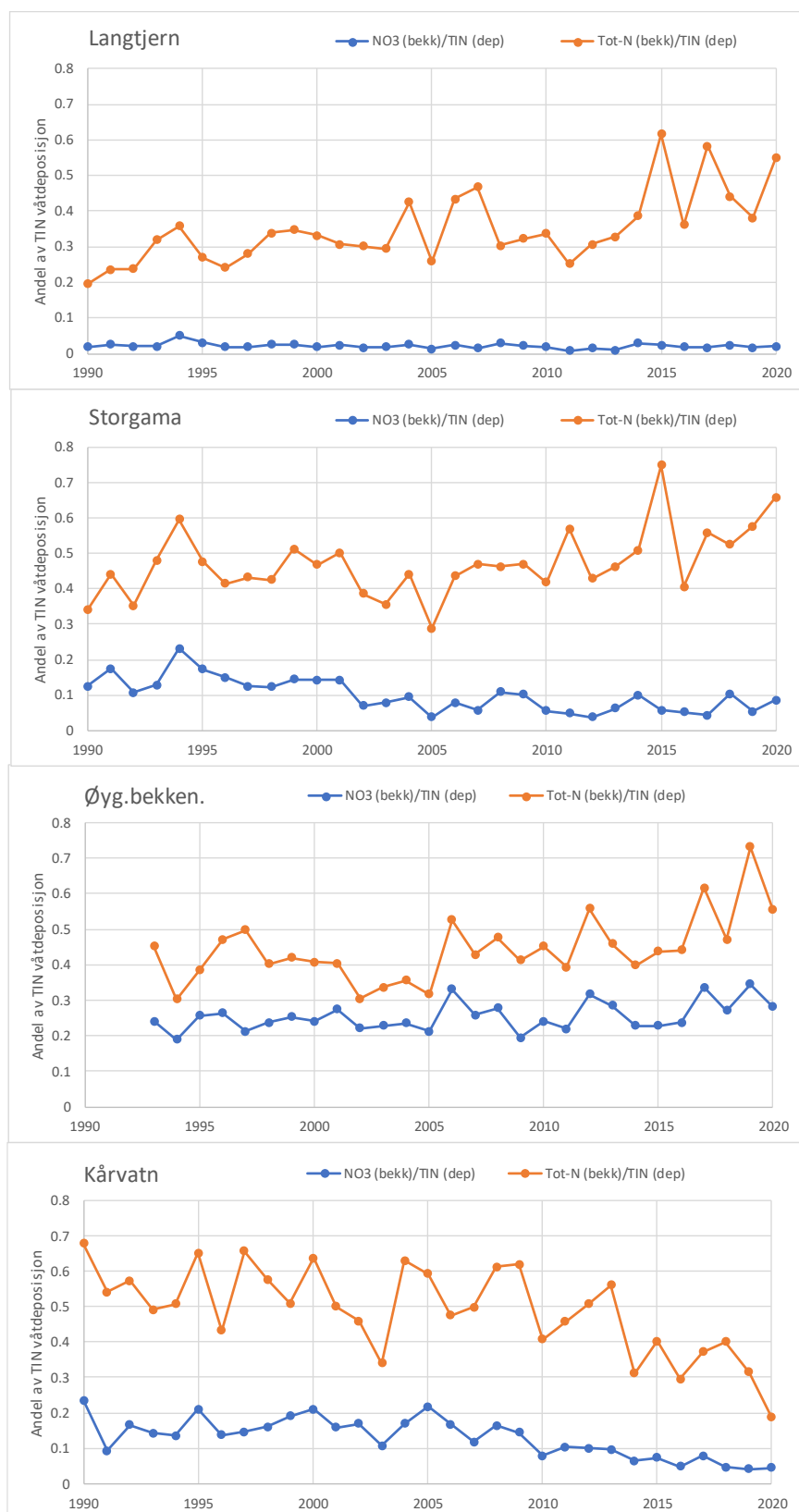
**Figur 1** viser årstransport av  $NO_3$  og tot-N fra feltforskningsområdene i perioden 1990-2020, sammenlignet med våtavsetning av TIN i samme tidsrom. Storgama og Øygardsbekken har hatt en statistisk signifikant nedadgående trend i våtavsetning av TIN i denne perioden, mens den tilsynelatende nedgangen på Langtjern ikke var signifikant (Kaste m.fl. 2020<sup>2</sup>). Langtjern og Storgama hadde en signifikant reduksjon i  $NO_3$ -transport, mens Øygardsbekken viste en tendens til økning, om enn ikke signifikant (Kaste m.fl. 2020). Selv om  $NO_3$ -transporten har vist en nedadgående tendens siden 1990, har både Langtjern, Storgama og Øygardsbekken hatt en statistisk signifikant økning i transporten av organisk N (Kaste m.fl. 2020). Dette settes i sammenheng med den økende trenden for totalt organisk karbon (TOC) i samme tidsrom (Garmo og Skancke 2021). N-avsetningen på Kårvatn viser en tendens til høyere verdier de siste 10 årene sammenlignet med 1990- og 2000-tallet (ikke sjekket for signifikans). Dette har trolig sammenheng med økt nedbør og ikke økt luftforurensning. På tross av dette, har transporten av  $NO_3$  og tot-N i bekken vist en nedadgående tendens de siste 5-6 årene (ikke sjekket for statistisk signifikans).

En annen måte å betrakte forholdet mellom bekketransport og tilførsel via nedbør er vist i **Figur 2**. Den viser at lekkasjen av  $NO_3$  på Storgama og Kårvatn har avtatt i forhold til N-avsetningen siden 1990, mens den har ligget flatt eller kanskje økt noe i Øygardsbekken. Langtjern har hatt svært liten endring i  $NO_3$ -lekkasje gjennom hele tidsperioden. Langtjern har imidlertid, i likhet med Storgama og Øygardsbekken hatt en økning i transport av tot-N relativt til N tilført via nedbøren (uten at det nødvendigvis er en sammenheng mellom N-avsetning og lekkasje av tot-N). Kårvatn skiller seg fra de andre feltene ved at transporten av tot-N har avtatt gradvis relativt til N-avsetning siden 1990.

<sup>2</sup> Trendanalysene i dette studiet omfattet feltene Langtjern, Storgama og Øygardsbekken for tidsrommet 1988-2017 (sistnevnte felt har data fra 1993)



**Figur 1.** Årstransport av NO<sub>3</sub> og tot-N fra feltforskningsområdene i perioden 1990-2020, vist sammen med våtavsetning av NO<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub> (=TIN) ved nærliggende NILU-stasjoner. Alle verdier i kg N/km<sup>2</sup>/år. Basert på data fra Garmo og Skancke (2021) og Aas m.fl. (2021).



**Figur 2.** Forhold mellom årstransport av hhv. NO<sub>3</sub> og tot-N på feltforskningsstasjonene og årlig våtavsetning av totalt uorganisk nitrogen (TIN) ved nærliggende NILU-stasjoner. Basert på data fra Garmo og Skancke (2021) og Aas m.fl. (2021).

### 3.3 Nitrogentransport i elvene

Drammenselva, Bjerkreimselva og Driva er blant de 20 elvene som overvåkes rutinemessig i forbindelse med i Elveovervåkingsprogrammet (Kaste m.fl. 2021). De to sistnevnte ble inkludert blant hovedelvene i 2017, mens Drammenselva har vært med siden programmet startet i 1990. Som en del av Elveovervåkingsprogrammet beregnes det også stofftransport av kjemiske komponenter i hovedelvene.

I **Tabell 6** viser transport av  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  og tot-N i utløpet av elvene i fireårs-perioden fra 2017 til 2020. Verdiene er vist som mengde transportert stoff per  $\text{km}^2$ , slik at det er mulig å sammenligne arealavrenning på tvers av vassdragene, uavhengig av størrelsen på nedbørfeltene.

Bjerkreimsvassdraget har den klart største avrenningen av  $\text{NO}_3$ , noe som hovedsakelig skyldes intensivt landbruk i de nedre delene av vassdraget samt betydelig påvirkning av N fra langtransporterte forurensninger (Kaste m.fl. 1997). Vassdraget har også en forholdsvis høy andel av innsjøer i nedbørfeltet (13%), noe som medfører at N-avsetning direkte på innsjøflater kan bidra en god del til den totale N-belastningen.

Drammensvassdraget er også betydelig påvirket av menneskelige kilder i de nedre delene, men elva har ellers et stort nedbørfelt som i hovedsak er dominert av skog, myr og fjell. Driva er noe påvirket av menneskelige kilder i de lavereliggende delene, men også her er nedbørfeltet dominert av utmark. Den arealspesifikke transporten av  $\text{NO}_3$  i Drammensvassdraget og Driva var bare henholdsvis 30 og 15% av nivået i Bjerkreimsvassdraget. Forholdet mellom vassdragene var om lag det samme når det gjaldt transport av tot-N. Transporten av  $\text{NH}_4$  var forholdsvis lav i alle de tre elvene.

**Tabell 6.** Transport av ulike nitrogenfraksjoner i elvene. Middelerverdier for årene 2017-2020 ( $\text{kg N/km}^2/\text{år}$ ). TIN = totalt uorganisk N ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ). Basert på data fra Kaste m.fl. (2021).

	Enhet	Drammenselva	Bjerkreimselva	Driva
$\text{NO}_3$	$\text{kg N/km}^2/\text{år}$	190	660	105
$\text{NH}_4$	"	6	10	2
TIN	"	196	669	107
Tot-N	"	292	897	177

### 3.4 Kildefordelte tilførsler beregnet med TEOTIL-modellen

TEOTIL-modellen estimerer tilførsler av nitrogen (tot-N) og fosfor (tot-P) til vassdrag fra ulike kilder (Guerrero og Sample 2020). **Tabell 7** viser simulerte tilførsler tilordnet Drammensvassdraget, Bjerkreimsvassdraget og Driva for perioden 2017-2020. Ett av formålene med å benytte TEOTIL-modellen i dette prosjektet var å få to uavhengige estimater på bakgrunnsavrenningen av N i de tre vassdragene; ett fra TEOTIL og ett fra feltforskningsområdene som er lokalisert i eller i nærheten av vassdragene. Et annet formål var å få et estimat på N-tilførsler fra antropogene kilder (jordbruk, befolkning og industri).

Estimatene av totale tilførsler (**Tabell 7A**) viser at det største vassdraget naturlig nok har de største tilførslene, både totalt og for hver enkelt kilde. **Tabell 7B**, som viser de arealveide tilførslene, er mer

interessant for å sammenligne på tvers mellom vassdragene. Det gjøres oppmerksom på at tilførslene fra de ulike kildene er fordelt på vassdragenes totale areal, og at f.eks. arealavrenningen fra jordbruk er betydelig høyere dersom tilførselen kun fordeles på arealet av dyrket mark.

Relativt til nedbørfeltarealet, er Bjerkreimsvassdraget klart mer påvirket av N fra dyrket mark enn de to andre vassdragene. Det samme gjelder N fra bakgrunnsavrenning, noe som gjenspeiler at vassdraget er betydelig mer påvirket av N-avsetning enn de to øvrige. Drammensvassdraget hadde den største påvirkningen fra befolkning (utslipp fra renseanlegg og spredt avløp).

Estimatene for bakgrunnsavrenning i TEOTIL-modellen var i relativt god overensstemmelse med beregnet transport av tot-N fra feltforskningsområdene (jf. **Tabell 4**) (alle tall i kg N/km<sup>2</sup>/år):

- 133 i Drammensvassdraget vs. 198 i Langtjern (Storgama lå noe høyere med 315).
- 511 i Bjerkreimselva vs. 560 i Øygardsbekken
- 126 i Driva vs. 69 i Kårvatn

**Tabell 7.** Estimerte tilførsler av total nitrogen (tot-N) fra ulike kilder i vassdragene, basert på kjøring av TEOTIL-modellen for årene 2017-2020 (Guerrero og Sample 2020). **Øverst:** Totale tilførsler per vassdrag. **Nederst:** Tilførsler delt på nedbørfeltareal. Tallene fra TEOTIL er skalert til observert vannføring og beregnet nitrogentransport i utløpet av elvene i den samme tidsperioden.

A) Totale tilførsler	Enhet	Drammenselva	Bjerkreimselva	Driva
Bakgrunn	tonn/år	2261	360	313
Befolkning	"	1151	18	42
Industri	"	12	1	0
Jordbruk	"	1524	253	86
Urban	"	26	1	0
<b>Totalt</b>	"	<b>4974</b>	<b>632</b>	<b>440</b>

B) Tilførsler per km <sup>2</sup>		Drammenselva	Bjerkreimselva	Driva
Bakgrunn	kg N/km <sup>2</sup> /år	133	511	126
Befolkning	"	68	25	17
Industri	"	1	2	0
Jordbruk	"	89	358	34
Urban	"	1	1	0
<b>Totalt</b>	"	<b>292</b>	<b>897</b>	<b>177</b>

### 3.5 Estimerte bidrag fra atmosfæriske kilder til N-transport i elvene

På basis av beregnet transport av NO<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub> (TIN) i de store elvene og i feltforskningsområdene er det i **Tabell 8** forsøkt laget et estimat på bidraget fra atmosfæriske avsetninger til N i elvene. Kårvatn, som ligger i et område med lite forurenset luft og nedbør (Møre og Romsdal) er brukt som referanse for beregningene. Dvs. at TIN-avrenningen fra Kårvatn ble ansett som «naturlig» og trukket fra TIN-avrenningen fra de øvrige feltforskningsområdene, slik at differansen blir å betrakte som bidraget fra atmosfærisk avsatt N.



Dersom en lar Langtjern og Storgama representere bakgrunnsavrenningen i Drammensvassdraget, er det estimert at 1-19% av det uorganiske nitrogenet (TIN) i elva kan stamme fra atmosfæriske kilder. Gitt at Storgama har noe høyere N-avsetning og klart større TIN-lekkasje enn Langtjern, og at sistnevnte ligger innenfor selve vassdraget, er det antatt at estimatet bør ligge noe nærmere 1% enn 19% (f.eks. 5-10%).

Basert på beregnet TIN-lekkasje i Øygardsbekken er det estimert at drøyt 40% av det uorganiske nitrogenet i elva kan stamme fra atmosfæriske kilder. Dette er i samme størrelsesorden som tallene Hindar m.fl. (1989) estimert for Arendalsvassdraget og Otra på slutten av 1980-tallet. Estimater for Bjerkreimsvassdraget virker derfor ikke helt urimelig gitt at N-avsetningen her er høyere enn på Sørlandet, samt at lekkasjen i Bjerkreims-området er høyere på grunn av mer nedbør samt tynt jordsmonn og sparsom vegetasjon med begrenset kapasitet til å holde tilbake tilført nitrogen (Kaste m.fl. 1997).

**Tabell 8.** Estimerte bidrag fra atmosfæriske avsetninger til N-transport i elvene. Estimaterne for det største vassdraget, Drammenselva, er basert på data fra feltforskningsområdene Langtjern og Storgama (verdier angitt som et intervall). Estimaterne for Bjerkreimsvassdraget og Driva er basert på data fra hhv. Øygardsbekken og Kårvatn.

	Enhet	Drammensv.	Bjerkreimsv	Driva	Kommentar
TIN i elvetransport	kg N/km <sup>2</sup> /år	196	669	107	<i>Fra Tab 6</i>
Tot-N fra bakgrunn (TEOTIL)	"	133	511	126	<i>Fra Tab 7</i>
Tot-N fra bakgrunn (feltforskn.omr.)	"	198-315	560	69	<i>Fra Tab 4</i>
TIN fra bakgrunn (feltforskn.omr.)	"	17-53	304	15	<i>Fra Tab 4</i>
Fratrekk naturlig TIN-avrenning	"	-15	-15	-15	<i>Kårvatn</i>
Atm. bidrag til TIN-avrenning	"	2-38	289	0	<i>Linje 4 minus linje 5</i>
Estimert atm. bidrag til TIN i elvene	% av elve-transport	1-19	43	0	<i>Linje 6 delt på linje 1</i>

Det understrekes at estimatene som er presentert i **Tabell 8** er beheftet med betydelig usikkerhet og må betraktes som foreløpige. Det ligger stor usikkerhet knyttet til å oppskalere resultater fra noen få, små feltforskningsområder (0,5-15 km<sup>2</sup>) til store vassdrag på flere tusen km<sup>2</sup>. Det er også vanskelig å definere hvor mye av utlekket N som stammer fra dagens atmosfæriske avsetninger og hva som kommer fra tidligere avsetninger. Her måtte en i så fall benytte dynamiske modeller, noe som har vært utenfor rammen av dette prosjektet.

For å kunne oppnå en bedre geografisk oppløsning på estimatene, kan det være en mulighet å bruke data fra 1000-sjøers undersøkelsen som ble gjennomført i 2019 (Hindar m.fl. 2020), sammen med landsomfattende (rute-baserte) depositionsdata fra NILU.

## 4 Referanser

- Garmo Ø, Skancke LB. 2021. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2020. Miljødirektoratet, rapport M-2102/2021, NIVA-rapport 7661, 92 s.
- Guerrero J-L, Sample JE. 2020. 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.
- Hindar A, Garmo Ø, Austnes K, Sample JE. 2020. Regional innsjøundersøkelse 2019. Miljødirektoratet rapport M-1876/2020. NIVA-rapport 7530, 86 s.
- Hindar A, Næs K, Molvær J. 1989. Betydning av sur nedbør for økte nitrogen-tilførsler til fjordområder. NIVA-rapport 2257, 45 s.
- 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
- Kaste Ø, Gundersen CB, Poste A, Sample J, Hjermann DØ. 2021. The Norwegian river monitoring programme 2020 – water quality status and trends. Norwegian Environment Agency, report M-2139|2021, NIVA report 7675-2021, 70 pp + appendix
- Kaste Ø, Henriksen A., Hindar A. 1997. Retention of atmospherically derived nitrogen in sub-catchments of the Bjerkreim River in Southwestern Norway. *AMBIO* 26: 296-303.
- Magnussen K, Aarrestad PA, Austnes K, Bakkestuen V, de Wit H, Fleisje EM, Furuseth IS, Navrud S. 2021. Verdsetting av luftforurensningens kostnader for miljø - en litteraturstudie. Menon-publikasjon nr. 125/2021. M-2137/2021.
- Aas W, Eckhardt S, Fiebig M, Solberg S, Platt SM, Yttri KE, Zwaftink CG. 2021. Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway. NILU report 13/2021; Norwegian Environment Agency M-2072|2021.
- Aas W, Hjellbrekke AG, Fagerli H, Benedictow A. 2017. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016. NILU-report 41/2017.

## 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 ressursspørsmål. 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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)