

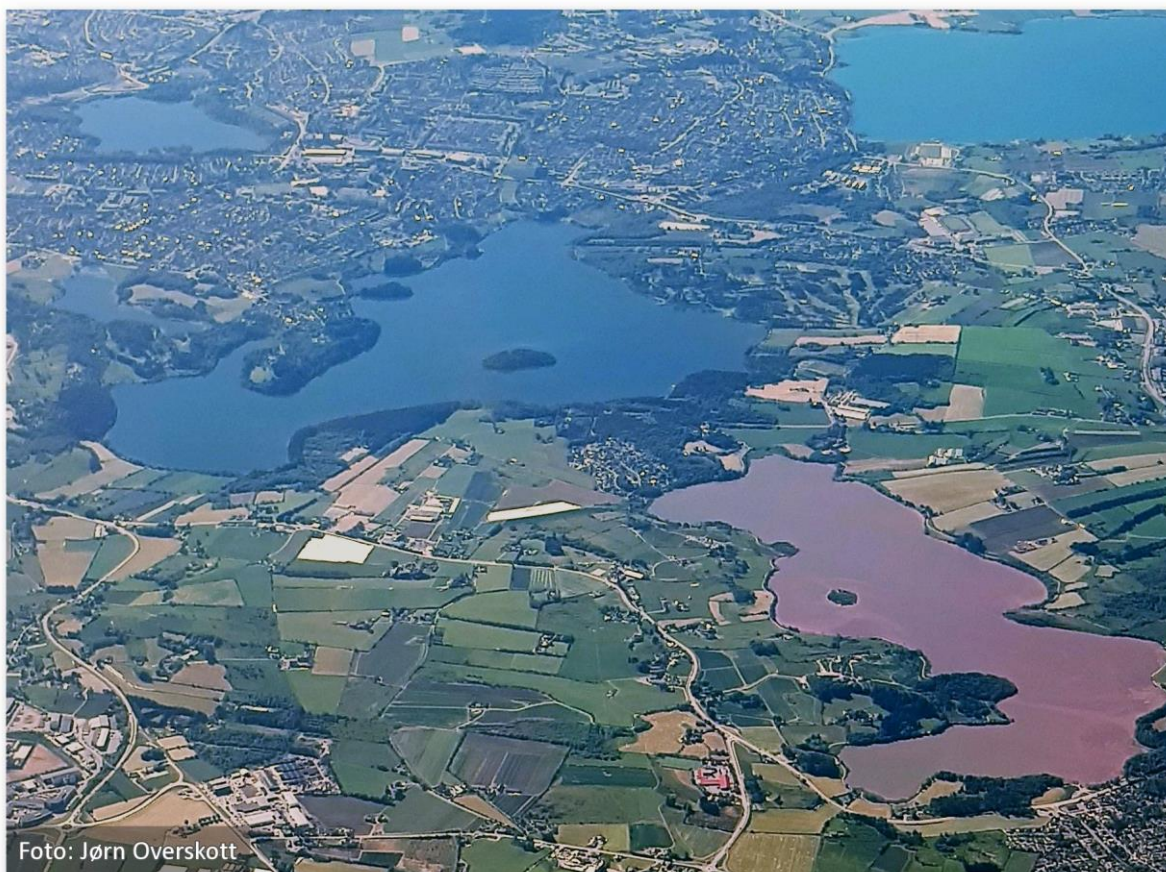
Tilførsler og avlastningsbehov for Hålandsvatnet i Rogaland

Forfattere(e)/Author(s):

Åge Molversmyr (NORCE), Marianne Bechmann (NIBIO), Sigrun Kværnø (NIBIO) og Stein Turtumøygard (NIBIO)

Rapport:

Klima og miljø 2-2022



Rapporttittel	Tilførsler og avlastningsbehov for Hålandsvatnet i Rogaland
Prosjektnummer	104622
Institusjon	NORCE Klima og miljø
Oppdragsgiver(e)	Miljødirektoratet
Gradering	Åpen
Rapportnr./ Miljødirektoratets rapportnummer	Klima og miljø 2-2022/ M-2308 I 2022
ISSN/ ISBN	ISBN 978-82-8408-198-4
Antall sider	34
Publiseringsdato	April 2022
CC-lisens	
Sitering	Molversmyr, Å., M. Bechmann, S. Kværnø & S, Turtumøygard, 2022. Tilførsler og avlastningsbehov for Hålandsvatnet i Rogaland. NORCE rapport, Klima og miljø 2-2022.
Bildekreditering	Bildet på forsiden av rapporten er tatt av Jørn Overskott, og er gjengitt med tillatelse fra fotografen.
Geografisk område	Stavanger/Randaberg, Rogaland
Stikkord	Hålandsvatnet, overgjødning, avlastningsbehov, jordbrukstiltak, interngjødsling

Sammendrag:

NIBIO og NORCE har gjennomført en utredning av hvor mye næringsstoffer som tilføres Hålandsvatnet, hvor stort behovet er for å redusere dette, og har kvantifisert aktuelle tiltak for kunne å nå miljømålet. Totalt tilføres innsjøen om lag 730 kg P/år. Arealavrenning fra jordbruket den største kilden til fosfortilførsler (86 %). Arealet med grønnsaker og potet er beregnet å bidra med rundt 50 % av de totale fosfortilførslene, mens tilførslene fra eng og beite bidrar med 24 %. Spredt og kommunalt avløp bidrar kun med ca. 7 % av de totale tilførslene. Det er beregnet at fosfortilførslene fra nedbørfeltet må reduseres med om lag 460 kg P/år for at det på sikt skal kunne oppnås god økologisk tilstand i innsjøen. Ifølge modellen er reduksjon i jordas fosforstatus det viktigste tiltaket for å redusere fosfortilførslene til innsjøen. Ulike scenarier med enkelttiltak og kombinasjoner av tiltak for å redusere avrenningen er presentert i rapporten. Innsjøsedimentet er svært fosforrikt etter mange års overbelastning, og betydelig interngjødsling bidrar til å forsinke responsen på reduksjon i tilførsler fra nedbørfeltet. Innsjøinterne tiltak kan derfor være aktuelt å gjennomføre i tillegg til tiltak i nedbørfeltet.

Revisjoner

Rev.	Dato	Forfatter	Kontrollert av	Godkjent av	Årsak til revisjon
0	31.01.2022				(første utgave)
1	29.04.2022	 Åge Molversmyr	 Steinar Sanni	 Renate Kvingedal	Tilførsler etter innspill fra MDir.

FORORD

Miljødirektoratet ønsket å få beregnet tilførsler og avlastningsbehov for Hålandsvatnet i Stavanger og Randaberg kommuner, i forbindelse med sitt arbeid med forurensning fra jordbruk til vann og arbeidet med eutrofi. Det ble inngått avtale med NORCE om å gjennomføre en slik utredning, som har resultert i den foreliggende rapporten. Arbeidet er utført som et samarbeid mellom NIBIO og NORCE.

Ved NIBIO har Marianne Bechmann koordinert arbeidet og beskrevet trender i jordbruksdrift og vurdert jordbrukstiltak, Sigrun Kværnø har hatt hovedansvaret for beregning av jordbrukets tilførsler og tiltakseffekter, og Stein Turtumøygard har hatt ansvar for tilrettelegging av datagrunnlag og beregning av tilførsler fra kommunalt og spredt avløp..

Ved NORCE har Åge Molversmyr hatt ansvar for å sammenstille og vurdere data om vannkvalitet i Hålandsvatnet, og å vurdere avlastningsbehov i forhold til eksterne og innsjøinterne tilførsler. Han har også vært prosjektleder, og har hatt ansvar for sammenstillingen av sluttrapporten.

Faglig kvalitetssikrer for prosjektet har vært Steinar Sanni ved NORCE / UiS.

Takk for godt samarbeid med Anne Grethe Bø Cazon og Åsta Egelandssaa i Randaberg kommune, og Kristin Bringedal og Silke Ullrich i Stavanger kommune, som har bidratt med informasjon og kunnskap om lokale forhold.

Prosjektet er finansiert av Miljødirektoratet.

Stavanger, 29. april 2022

Åge Molversmyr, prosjektleder

INNHold

SAMMENDRAG	1
1 BAKGRUNN FOR PROSJEKTET.....	3
2 PROBLEMENE I HÅLANDSVATNET.....	3
3 INNSJØEN OG NEDBØRFELT.....	3
4 METODISK TILNÆRMING	5
4.1 Jordbruk og tilførsler av fosfor	5
4.2 Spredt avløp	6
4.3 Kommunalt avløp	6
4.4 Andre eksterne tilførsler.....	7
4.5 Innsjøinterne tilførsler	7
4.6 Avlastningsbehov.....	7
4.7 Tiltakseffekter	7
5 TRENDER I JORDBRUKSDRIFT	8
5.1 Vekstfordeling	8
5.2 Husdyrtetthet	8
5.3 Jordas fosforstatus (P-AL)	9
5.4 Gjennomførte vannmiljøtiltak.....	10
6 TILFØRSLER FRA NEDBØRFELTET	10
6.1 Avrenning fra jordbruket	10
6.2 Punktutslipp fra jordbruksaktivitet.....	12
6.3 Spredt avløp	12
6.4 Utslipp fra kommunalt avløp.....	13
6.5 Tilførsler totalt.....	13
7 INNSJØINTERNE TILFØRSLER	14
7.1 Bidrag fra dypvannsedimenter	14
7.2 Bidrag fra gruntvannsedimenter.....	15
7.3 Betydningen av innsjøinterne tilførsler	16
8 AVLASTNINGSBEHOV	17
9 VURDERING AV TILTAK OG EFFEKTER	18
9.1 Tiltak mot jordbrukets arealavrenning	18
9.2 Tiltak mot jordbrukets punktutslipp.....	21
9.3 Tiltak for spredt og kommunalt avløp	21
9.4 Tilførsler før og etter tiltak for alle kilder	22
9.5 Innsjøinterne tiltak	24
10 OPPSUMMERING.....	24
11 REFERANSER	26
VEDLEGG 1.....	28

SAMMENDRAG

Hålandsvatnet i Stavanger og Randaberg kommuner har svært dårlig økologisk tilstand, og overgjødning medfører årvisse masseforekomster av cyanobakterier og høyt innhold av toksiner som disse produserer. Miljødirektoratet har ønsket å få utredet hvor mye næringsstoffer som tilføres Hålandsvatnet, og hvor stort behovet er for å redusere dette. NIBIO og NORCE har i samarbeid gjennomført denne utredningen.

Vanntilførselen til Hålandsvatnet er liten i forhold til innsjøvolumet, og lav vanngjennomstrømming gjør at det er lite som skal til av næringstilførsler før det oppstår eutrofieringseffekter i innsjøen. Store fosfortilførsler over tid har dessuten ført til at innsjøsedimentet er svært fosforrikt, og mye av fosforet finnes på former som lett kan mobiliseres og løses ut i vannmassene.

Trender i jordbruksdrift gjennom de siste 20 årene basert på informasjon fra Søknad om Produksjonstilskudd kan gi en indikasjon på om det har vært store endringer som kan ha hatt betydning for fosfortilførsler til innsjøen. Under ellers like forhold er det generelt større fosfortap fra åpen åker enn fra eng/beite. Nedbørfeltet kan deles i en nordlig og sørlig del, etter kommunegrensen mellom Randaberg og Stavanger kommuner. I delfeltet Hålandsvatnet nord har fordelingen mellom åpen åker og eng/beite ifølge statistiske opplysninger holdt seg stabilt de siste 20 årene. I Hålandsvatnet sør, derimot, har det tilsvarende vært en nedgang i kornareal og en økning i areal med eng/beite.

Husdyrtettheten gir en indikasjon om hvor mye husdyrgjødsel som spres på arealene, men statistiske opplysninger viser ikke om det er avtaler om spredeareal knyttet til gårdsbruk innenfor nedbørfeltet. Basert på den innhentede informasjonen har det gjennom de siste 20 årene vært en økning i antall gjødseldyrenheter i den sørlige delen av nedbørfeltet, mens det tilsvarende har vært en liten reduksjon i den nordlige delen.

Jordas fosforstatus har betydning for fosforavrenningen, både som partikkelbundet fosfor og løst fosfat fra jorda. Jordas fosforinnhold i jordprøver fra jorddatabanken (1997-2006) og jordprøver hentet inn i forbindelse med prosjektet (2016-2020) er meget høyt. Basert på tilgjengelige data for jordas fosforstatus er det ikke påvist endring fra perioden 1997-2006 til perioden 2016-2020.

Det er beregnet fosfortilførsler og effekt av arealtiltak i jordbruket med Agricat2-modellen inkludert en tilleggsmodul for løst fosfat. Beregningene er basert på tilgjengelig kartgrunnlag (klima, jordsmonn, topografi) og data for jordbruksdrift (registerdata fra Landbruksdirektoratet). Fosfortilførsler fra spredt avløp er beregnet med modellen WebGISavløp. Fosfortilførsler fra innmarksbeite, utmark, vannflater, samferdsel og bebyggelse, samt bakgrunnsavrenning fra jordbruksareal, er beregnet med fosfortapskoeffisienter. Det er stor usikkerhet forbundet med slike beregninger og datagrunnlaget kan i noen tilfeller være mangelfullt. Beregningene kan likevel brukes til å beskrive den relative betydningen av ulike kilder til fosfor og tiltakseffekter.

Ifølge beregningene er arealavrenning fra jordbruket den største kilden til fosfortilførsler til innsjøen (86 %). Arealet med grønnsaker og potet er beregnet å bidra med rundt 50 % av de totale fosfortilførslene, mest i den nordlige delen av nedbørfeltet. Fosfortilførslene fra eng og beite er beregnet til 24 % av de totale fosfortilførslene. Spredt og kommunalt avløp bidrar også med fosfor til innsjøen, men totalt utgjør disse kildene ifølge beregningene kun 7 % av de totale tilførslene. Naturlig bakgrunnsavrenning (deposisjon vann, utmark og bakgrunnsavrenning) utgjør 7 % av tilførslene.

I Hålandsvatnet skjer også betydelig interngjødsling med fosfor fra sedimentene, kanskje i størrelsesorden 1000-1500 kg P/år, der bidrag fra gruntliggende sedimenter vil dominere. Fosforfrigjøringen skjer i hovedsak om sommeren, og bidrar da til de store algeoppblomstringene som observeres. Men til tross for dette er det begrenset hvor mye fosfor som tapes via utløpet. Massebalanseberegninger

indikerer at ca. 65 % av fosforet som årlig tilføres fra nedbørfeltet holdes tilbake i innsjøen, som er om lag det en normalt ville forvente. Det betyr at fosforet som frigjøres fra sedimentet i all hovedsak vil havne tilbake i sedimentet igjen, og inngår primært i en syklus internt i innsjøen.

Det er estimert at fosfortilførslene fra nedbørfeltet til Hålandsvatnet bør begrenses til 270 kg P/år for at det på sikt skal kunne oppnås god økologisk tilstand i innsjøen. Det er dermed store tilførselsreduksjoner som må til, om lag 460 kg P/år – tilsvarende 63 % av dagens antatte tilførsler, for å oppnå miljømålet for innsjøen.

Ifølge Agricat2-modellen er reduksjon i jordas fosforstatus det viktigste tiltaket for å redusere fosfortilførslene til innsjøen. Beregningene antyder at man ved å redusere P-AL til 14 mg/100 g på areal der dette nivået overskrides, kan redusere fosfortapet fra jordbruksarealer med ca. 50 % (340 kgP/år). Tilsvarende er det beregnet 60 % (390 kg P/år) reduksjon i fosfortap ved å redusere P-AL til maksimalt 10 mg/100 g. For å oppnå reduksjon i jordas fosforstatus må det gjødsles med mindre fosfor enn det som fjernes med avling. Aktuelle tiltak for å redusere fosforstatus i jord, og dermed tilførslene til Hålandsvatnet, kan være; at husdyrgjødsel ikke importeres til nedbørfeltet, at husdyrgjødsel fraktes ut av nedbørfeltet, bruk av fosforfri mineralgjødsel, ingen spredning av husdyrgjødsel på korn- og grasarealer, samt en reduksjon i areal med fosforkrevende vekster, samtidig med økning i grasareal.

Andre tiltak i jordbruket omfatter overvintring i stubb på kornareal, fangvekst på areal med grønnsaker og potet, grasdekte kantsoner mot vassdrag og rundt kummer, etablering av rense- og sedimentasjonsdammer og andre hydrotekniske tiltak som begrenser erosjon og øker sedimentasjon. Renseløsninger (sedimentasjonsdammer, renseparker etc.) for å redusere fosfortapene som skjer gjennom drenering direkte ut i Hålandsvatnet kan bestå av filtrering gjennom materialer som binder fosfor. Slike tiltak er i liten grad utprøvd i praksis, og byr på utfordringer med å få tilstrekkelig gjennomstrømning i filtermaterialet. I dette prosjektet har det ikke vært mulig å gjøre kartlegging og detaljert vurdering av potensialet for å etablere flere slike renseløsninger.

Punktutslipp fra jordbruket er ikke kvantifisert, men det foreligger planer for resirkulering og oppsamling av gjødselvann fra veksthus der disse tiltakene ennå ikke er på plass. For husdyrproduksjon kan det være aktuelt med en kartlegging av evt. lekkasjer fra husdyrrom og gjødsellager for å fjerne disse, forhindre at dyr beiter for nært vannet, og sikrere lagring av rundballer.

For å redusere fosfortilførsler fra spredt avløp bør eldre anlegg oppgraderes, eller husstandene bør knyttes til offentlig avløpsnett. Dette kan bidra til å redusere tilførslene med ca. 30 kg P. Beregningene viser at lekkasjer fra kommunalt avløpsnett utgjør 3 % av fosfortilførslene. Norsk Vann utarbeidet i 2017 en nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen. Her anbefales det en gjennomsnittlig fornyelsestakt for avløpsnettet på 1 % hvert år frem til 2040. I tillegg forutsettes det kontinuerlig utbedring av ledningsnettet.

Andre tiltak kan være aktuelle ut fra en nærmere kartlegging i nedbørfeltet.

Å oppnå redusert P-AL i jorda vil ta lang tid (kanskje flere tiår), som betyr at det vil ta lang tid å oppnå tiltenkt reduksjon av tilførslene fra nedbørfeltet. Interngjødsling vil i tillegg motvirke endringer når tilførsler fra nedbørfeltet reduseres, som ventelig vil medføre betydelig forsinkelser fra tiltak i nedbørfeltet er gjennomført med tilsiktede tilførselsreduksjoner til det oppnås forventet effekt i innsjøen. For Hålandsvatnet kan det derfor være aktuelt å gjennomføre innsjøinterne tiltak i tillegg til tiltakene i nedbørfeltet, for å oppnå raskere respons i innsjøen. Men dette vil ikke løse eutrofieringsproblemene, og tilførslene fra nedbørfeltet må reduseres i tilstrekkelig grad for at varig god økologisk tilstand skal kunne oppnås.

1 BAKGRUNN FOR PROSJEKTET

Miljødirektoratet har i forbindelse med sitt arbeid med forurensning fra jordbruk til vann og arbeidet med eutrofi ønsket å få utredet hvor mye næringsstoffer som tilføres Hålandsvatnet i Stavanger og Randaberg kommuner, og hvor stort behovet er for å redusere dette.

Hålandsvatnet har svært dårlig økologisk tilstand, og har de siste drøye 15 årene hatt årvisse masseforekomster av cyanobakterier som med få unntak har medført baderestriksjoner hver sommer som følge av høyt innhold av algetoksiner i vannet. Brukerverdien av innsjøen er dermed vesentlig redusert.

NIBIO og NORCE har i samarbeid gjennomført denne utredningen med målsetning om å beregne tilførsler og avlastningsbehov for Hålandsvatnet.

2 PROBLEMENE I HÅLANDSVATNET

Hålandsvatnet har mottatt store mengder næringsstoffer (overgjødning) over lang tid, og allerede i 1988 ble det angitt at betydelige tilførselsreduksjoner måtte til for å oppnå tilfredsstillende forhold i innsjøen (Molversmyr & Sanni 1990). I 2005 oppsto en masseoppblomstring av cyanobakterien *Planktothrix* i innsjøen, og utviklingen siden den gang har gått i retning av en forverring (Molversmyr & Hereid 2021). Det er årvisse masseforekomster av cyanobakterier, og høye forekomster av toksiner som disse produserer.

Som del av en tiltaksanalyse for Jærvassdragene i 2007 ble fosfortilførslene fra nedbørfeltet beregnet til ca. 840 kg P pr. år, som ble anslått å være mer enn det dobbelte av tålegrensen til innsjøen (Molversmyr et al. 2008). Landbruksaktiviteter (høyt innslag av grønnsakproduksjon) er dominerende i feltet, og landbruket er største bidragsyter til tilførslene. I 2007 var det også et betydelig bidrag fra spredt avløp, men det meste av dette er nå tilknyttet offentlig avløp.

Kommunene gjorde en gjennomgang av landbruksaktivitetene i nedbørfeltet i 2019/2020, og har foreslått tiltak for å redusere landbruksavrenningen (Storberget & Larsen 2020). Det ble imidlertid ikke gjort oppdaterte tilførselsberegninger, og effektene av foreslåtte tiltak med tanke på tilførselsreduksjoner ble heller ikke estimert.

En ny gjennomgang og beregning av tilførsler fra nedbørfeltet er derfor en hovedmålsetting for prosjektet. I tillegg gjøres en ny gjennomgang av avlastningsbehov som må antas å være nødvendige for å kunne oppnå god økologisk tilstand i innsjøen.

3 INNSJØEN OG NEDBØRFELT

Sentrale data om Hålandsvatnet er vist i tabell 1. Nedbørfeltet har et areal på drøye 6 km², som er lite i forhold til innsjøarealet (figur 1). Vanntilførselen er liten i forhold til innsjøvolumet, og teoretisk oppholdstid er lang. Innsjøen er relativt smal og avlang, og må regnes å være sterkt vindpåvirket. Lav vanngjennomstrømming gjør at det er mindre som skal til av næringstilførsler før det oppstår eutrofieringseffekter i innsjøen.

Nedbørfeltet til Hålandsvatnet kan deles i en nordlig og sørlig del (figur 1), med beliggenhet i hhv. Randaberg kommune og Stavanger kommune. Jordbruksarealet utgjør 68 % av nedbørfeltarealet, med 70 % i den nordlige delen og 65 % i den sørlige delen (tabell 2). Tilførselsberegningene er gjort separat for disse to delene av nedbørfeltet.



Figur 1. Hålandsvatnet med nedbørfelt
[nordlige del (Randaberg kommune) og sørlige del (Stavanger kommune)].

Tabell 1. Innsjødata (kilde: NVE).

Parameter	Størrelse
Innsjøareal (km ²)	1,22
Maksimalt dyp (m)	25
Middeldyp (m)	9,3
Innsjøvolum (10 ⁶ m ³)	11,3
Vanntilførsel (10 ⁶ m ³ /år)	5,9
Teoretisk oppholdstid (år)	1,92

Tabell 2. Ulike arealtyper (daa) i nedbørfeltet til Hålandsvatnet.

Arealtype	Nord	Sør	Nedbørfeltet totalt
Bebygd	278	234	512
Samferdsel	79	54	133
Fulldyrka jord	1 664	1 298	2 962
Overflatedyrka jord	36	20	56
Innmarksbeite	200	163	363
Skog	253	356	609
Åpen fastmark	165	131	296
Myr	48	9	57
Ferskvann	602	630	1 232
Totalt	3 325	2 895	6 220

4 METODISK TILNÆRMING

4.1 Jordbruk og tilførsler av fosfor

4.1.1 *Trender i jordbruksdrift*

Informasjon om trender i jordbruksdrift er hentet fra Statistisk sentralbyrå og Landbruksdirektoratet (eStil) basert på data for eiendommene som ligger i nedbørfeltet, uten hensyn til jordleie og avtaler om spredeareal. Det vil si at gjødsel fra husdyr registrert på eiendommer innenfor nedbørfeltet er antatt spredd på jordbruksareal i nedbørfeltet. Trender i utvikling av jordbruket gjennom de siste 20 årene er beskrevet. Det inkluderer utvikling i antall husdyr (gjødseldyrenheter), vekstfordeling, jordas fosforstatus mellom to ulike perioder og tiltak med tilskudd fra det Regionale miljøprogram. Informasjon om hydrotekniske tiltak er oppgitt av Randaberg kommune.

4.1.2 *Arealavrenning*

Fulldyrka og overflatedyrka areal, jordtap og tap av partikkelbundet fosfor

Jord- og fosfortap fra jordbruksarealet i nedbørfeltene er beregnet med en empirisk modell, Agricat 2 (Kværnø *et al.* 2014). Modellen beregner jordtap ut fra erosjonsrisiko ved høstpløying, korrigert for andre driftsformer (vekst og jordarbeiding) gjennom bruk av jordarbeidingsfaktorer. Detaljer om tilpasning av modellen og datakilder er beskrevet i vedlegg 1.

I modellen blir jordtap fra areal som drenerer til grasdekt kantsone i åker og/eller sedimentasjonsdammer videre modifisert gjennom beregning av disse tiltakenes renseeffekter.

Fosforinnholdet på partiklene beregnes utfra fosforstatus i jord (P-AL), teksturklasse og en anrikningsfaktor som korrigerer for at de små, mest eroderbare jordpartiklene er mer fosforrike enn større partikler. Fosfortapet fra arealene beregnes som en funksjon av jordtapet og fosforinnholdet på partiklene.

Erosjonsrisikokart er ikke tilgjengelig for nedbørfeltet til Hålandsvatnet fordi området kun er jordsmonnkartlagt med forenklet metode. Derfor er erosjonsrisikokart laget for dette prosjektet som beskrevet i vedlegg 1.

Beregninger av jord- og fosfortap med overflateavrenning gjøres for enhetene (polygonene) i erosjonsrisikokartet, og summeres deretter opp for de to delnedbørfeltene Hålandsvatnet nord og Hålandsvatnet sør. Modellen tar ikke høyde for retensjon av partikler og fosfor i nedbørfeltet, dvs. at beregningen antar at erosjon på et skifte transporteres ut i resipienten uten retensjon. Dette er en feilkilde som potensielt overestimerer tilførslene. Det kan imidlertid forventes at mye av overflatevannet fra arealene når fram til resipienten gjennom nedløpskummer, rør og kanaler. En annen usikkerhet er at erosjonsrisikokartet kun inkluderer flate- og rillerosjon, og dråg erosjon er lagt til i etterkant (se vedlegg). Prosesser med erosjon som gir dype erosjonsspor utenom drågene (f.eks. i åkerrader, langs åkerkanter, o.l.) og punkterosjon (graving rundt kummer, rør o.l.), som kan være viktig særlig i kraftige nedbørepisoder, er dessuten ikke med. Det kan bidra til underestimering av tilførslene.

Jordtap gjennom grøftene er satt til 3 kg/daa på alt areal, basert på 1) overvåkingsdata fra JOVA-feltet Øvra Time (www.nibio.no/jova), der gjennomsnittlig jordtap gjennom grøftene er målt til 6 kg/daa/år, og 2) skjønsmessig antakelse om at 50 % av arealet i nedbørfeltet til Hålandsvatnet er kunstig drenert.

Fulldyrka og overflatedyrka areal, tap av løst fosfor

Det er gjort et estimat på avrenning av løst fosfat, ved bruk av en annen empirisk modell som nylig er utviklet (Kværnø *et al.*, unpubl.). Denne modellen beregner tap av løst fosfat fra jord, plantemateriale (utfrysing), og husdyrgjødsel (direktetap ved nedbørsepisoder). Informasjon om datakilder er beskrevet i vedlegg 1.

Innmarksbeite, tap av jord og fosfor

Arealavrenning fra innmarksbeite er for fosfor basert på 15 g/daa (Kværnø *et al.* 2019). Jordtapet forventes å være ubetydelig. Areal av innmarksbeite er beregnet utfra arealressurskart fra NIBIO (FKB-AR5). Det er regnet med 50 % løst fosfat fra innmarksbeite basert på Brod *et al.* (2017).

Bakgrunnsavrenning fra jordbruksareal

Norges Geologiske Undersøkelser (NGU)s løsmassekart viser at det ikke er marine leiravsetninger i nedbørfeltet. Dermed kan bakgrunnsavrenning fra jordbruksareal beregnes vha. en koeffisient som ikke er avhengig av leirdekningsgraden. Her er koeffisienten satt til 6 g P/daa jordbruksareal (Bechmann *et al.* 2021). Bakgrunnsavrenning er beregnet for hele jordbruksarealet (fulldyrka + overflatedyrka jord samt innmarksbeite) fra FKB-AR5, og også for de fire vekstkategoriene eng og beite, frukt og bær, korn og oljevekster, og potet og grønnsaker.

4.1.3 Punktutslipp fra jordbruk

Det gjøres ikke egne undersøkelser av lekkasjer fra gjødsel- og silolagre innenfor dette oppdraget. Det er tatt som utgangspunkt at alle gjødsel- og silolagre er tette. Det vil likevel alltid være en risiko for punktkilder fra melkerom, gjødsel- og silolager og risikoen er større jo flere husdyr der er. Det er ikke gjort beregninger av punktutslipp fra husdyrhold siden utslippene er ukjente. Representanter fra kommunene oppgir at det ikke er fjørfehus i nedbørfeltet. Derfor er det ikke utslipp av vaskevann fra fjørfeproduksjon heller.

Det er flere veksthus innenfor nedbørfeltet, men vi har ikke hatt tilgang til kvantifiserte utslipp fra disse. Reduksjon i utslipp fra veksthus er likevel tatt med kvalitativt i tiltakene basert på informasjon fra Statsforvalteren.

4.2 Spredt avløp

Utslipp fra private avløpsløsninger i nedbørfeltet er beregnet med avløpsmodellen WebGISavløp på grunnlag av data mottatt fra kommunene om hvert enkelt anlegg: Anleggstype, anleggsår, antall personer, bygningstype, koordinat eller Gnr/Bnr (Turtumøygard & Hensel 2021). Korteste avstand til resipient er beregnet ved hjelp av GIS-verktøy. For anlegg uten opplysning om belastning, er det benyttet en standard husstand (2,4 p.e.). Det antas en belastning på 1 husstand pr anlegg.

4.3 Kommunalt avløp

Lekkasjer av fosfor fra ledningsnett for kommunalt avløp er bestemt på grunnlag av mengde fosfor i avløpsnettet og meter avløpsnett bygget hhv. før og etter 1970. Data er levert av Stavanger og Randaberg kommuner. Antall tilknyttede personer er mottatt fra kommunene. For hver person er det antatt en gjennomsnittlig tilførsel på 0,66 kg fosfor/år.

Det er beregnet 3 % lekkasjer fra ledningsnett bygget etter 1970 (N%) og 6 % fra det som er eldre (G%). Lekkasjer blir dermed: $L = IR \cdot 0,03 \cdot (N/100) + IR \cdot 0,06 \cdot G/100$ (IR=mengde fosfor i avløpsnettet). Vi vet lite om hvor lekkasjene befinner seg, og har derfor antatt verste alternativ, dvs. at lekkasjene går direkte til resipienten uten rensing i terrenget.

Ifølge opplysninger fra kommunene er det ikke overløp og restutslipp fra kommunalt avløp til Hålandsvatnet.

4.4 Andre eksterne tilførsler

Det er beregnet tilførsler av fosfor fra andre kilder (arealtyper) i nedbørfeltet ved bruk av standard-koeffisienter (Bechmann *et al.* 2016; Kværnø *et al.* 2019) som multipliseres med arealet av arealtypene fra FKB-AR5-kartet. Kildene og koeffisientene er:

- «Urban» = fosforavrenning fra bebyggelse (arealtype 11) og samferdsel (arealtype 12): 7,5 g P/daa.
- «Deposisjon» = atmosfærisk tørr- og våtdeposisjon på vannflater (arealtype 81): 16 g P/daa.
- «Utmark» = fosforavrenning fra skog (arealtype 30), åpen fastmark (arealtype 50) og myr (arealtype 60): hhv. 6 g P/daa, 5 g P/daa og 8 g P/daa.

4.5 Innsjøinterne tilførsler

Vurderingene av innsjøinterne tilførsler er basert eksisterende data om sedimentsammensetning, og på vurderinger/beregninger av potensiale for fosforfrigjøring under ulike forhold. Dette baseres dels på observasjoner fra Hålandsvatnet og dels på resultater fra forsøk i laboratoriet med sediment fra Hålandsvatnet. Kilder til informasjonen gis i beskrivelsene i avsnitt 7.

4.6 Avlastningsbehov

Grense mellom god og moderat økologisk tilstand, slik den er angitt i klassifiseringsveilederen til Vannforskriften (Direktoratsgruppen vanndirektivet 2018), er et naturlig utgangspunkt for vurdering av avlastningsbehov. Hålandsvatnet tilhører vanntype L107 (LWL23112 – moderat kalkrik, klar), som har grenseverdi for total fosfor på 17 µg/l P som gjennomsnitt for vekstsesongen. Ekstern belastning som under normale forhold (med likevekt) antas å ville resultere gitte fosfornivå i vannet er estimert ved bruk av ulike modeller (beskrevet i avsnitt 8).

4.7 Tiltakseffekter

Det er beregnet effekter av ulike tiltak for å redusere fosfortilførselene til Hålandsvatnet.

For arealavrenning er de samme modellene (Agricat 2 og løst fosfat-modell) som er beskrevet i avsnitt 4.1.2 og vedlegg 1, brukt for å beregne effekter av 9 tiltakspakker (scenarier) for å redusere arealavrenning fra fulldyrka og overflatedyrka jord:

- SC1: Ingen jordarbeiding om høsten på alt kornareal
- SC2: Grasdekte kantsoner på alt areal med korn, grønnsaker og potet
- SC3: Ingen jordarbeiding om høsten på alt kornareal og grasdekte kantsoner på alt areal med korn, grønnsaker og potet
- SC4: P-AL reduseres til 14 mg/100 g på alt areal der dette nivået overskrides
- SC5: P-AL reduseres til 10 mg/100 g på alt areal der dette nivået overskrides
- SC6: P-AL reduseres til 7 mg/100 g på alt areal der dette nivået overskrides
- SC7: Ingen jordarbeiding om høsten på alt kornareal, kantsoner på alt areal med korn, grønnsaker og potet og P-AL reduseres til 14 mg/100 g på alt areal der dette nivået overskrides
- SC8: Ingen jordarbeiding om høsten på alt kornareal, kantsoner på alt areal med korn, grønnsaker og potet og P-AL reduseres til 10 mg/100 g på alt areal der dette nivået overskrides
- SC9: Ingen jordarbeiding om høsten på alt kornareal, kantsoner på alt areal med korn, grønnsaker og potet og P-AL reduseres til 7 mg/100 g på alt areal der dette nivået overskrides

Tiltakseffektene er sammenliknet med fosfortapene ved faktisk drift i 2020.

Det finnes ikke kvantitativ informasjon om punktutslipp, og derfor er effekter av tiltak mot punktutslipp heller ikke kvantifisert.

Metodikk for tiltak mot spredt avløp og kommunalt avløp er beskrevet sammen med resultatene i avsnitt 9.2.

5 TRENDER I JORDBRUKSDRIFT

Endringer i jordbruksdrift kan føre til endringer i avrenning av fosfor fra jordbruket. Det er her sett på endringer i vekstfordeling, husdyrtall og jordas fosforstatus basert på tilgjengelige data for hele gårdsbruk med hovednummer innenfor nedbørfeltet til Hålandsvatnet.

5.1 Vekstfordeling

Arealer med grønnsaker og potet har større risiko for avrenning av fosfor enn korn og eng/beite, fordi jorda ofte ligger åpen uten vekst store deler av året. I grønnsaks- og potetproduksjon kan det dessuten oppstå jordpakking på grunn av mye ferdsel med tunge maskiner (noe som kan gi stor overflateavrenning), og i noen vekster blir det jordarbeidet flere ganger i løpet av sesongen. Begge deler gir økt risiko for erosjon og tap av fosfor som er bundet til jorda.

Vekstfordelingen i jordbruket i den nordlige delen av nedbørfeltet til Hålandsvatnet har endret seg lite gjennom de siste 20 årene (figur 2). På om lag 45 % av jordbruksarealet er det eng og beite, mens grønnsaker og potet dyrkes på resten av jordbruksarealet. På begynnelsen av 2000-tallet var det 5 % korn, men det forsvant fra 2012. Endringene i vekstfordeling i den nordlige delen av nedbørfeltet er så små at det har liten effekt på fosforavrenning.

I den sørlige delen av nedbørfeltet til Hålandsvatnet har det siden 2002 vært en økning i arealet med eng og beite fra 35 til 70 % av jordbruksarealet på bekostning av arealet med korn (figur 2). Areal med eng og beite beskytter jorda mot erosjon og fosfortap. Økningen i dette arealet forventes å bidra til reduserte tap av fosfor, men fosfortapet avhenger i tillegg av gjødsling og fosforstatus i jorda. Arealet med grønnsaker og potet utgjør i 2020 8 % og har variert fra 6 til 11 % gjennom de siste 20 årene.

For nedbørfeltet til Hålandsvatnet som helhet har det vært en økning i andelen areal med eng og beite, noe som forventes å bidra til reduserte fosfortap.

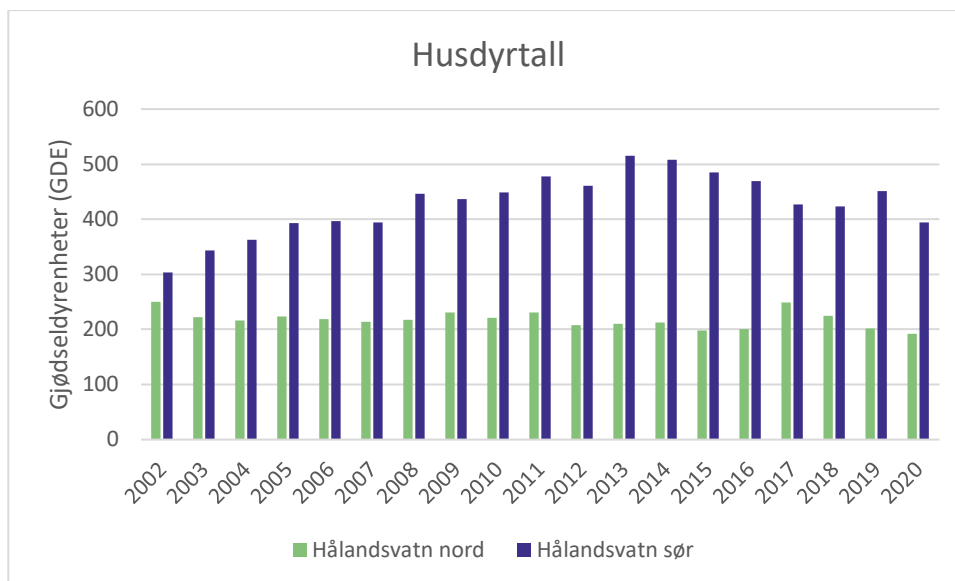


Figur 2. Utvikling i vekstfordeling i Hålandsvatnet nord og sør i perioden 2002-2020. Basert på data fra Landbruksdirektoratet for gårdsbruk med hovednummer innenfor nedbørfeltet.

5.2 Husdyrtetthet

Statistiske opplysninger viser at det i perioden fra 2002 til 2020 har vært en liten reduksjon (fra ca. 250 til ca. 190 gjødseldyrenheter) i totalt antall husdyr knyttet til gårdsbruk i den nordlige delen av nedbørfeltet til Hålandsvatnet, særlig melkekyr (figur 3). I den sørlige delen av nedbørfeltet har det vært en økning i totalt antall husdyr, særlig svin og melkekyr, frem mot 2013-2014 og deretter en reduksjon frem til 2020. Totalt i den sørlige delen er det rundt 400 gjødseldyrenheter i 2020 mot 300 i 2002 (figur 3). Antall husdyr kan gi en indikasjon på mengden av spredt husdyrgjødsel, men det er ikke kjennskap til om husdyrgjødsel fra de pågjeldende husdyrene er spredt på arealer i nedbørfeltet eller utenfor nedbørfeltet.

Storberget og Larsen (2020) har gjort en detaljert gjennomgang av antall husdyr som hører til i nedbørfeltet og konkluderer med at det spres gjødsel fra ca. 850 gjødseldyrenheter innenfor feltet (nord og sør). Det vil si at det spres gjødsel fra flere husdyr enn de som er registrert på eiendommer i nedbørfeltet (figur 3). Trendene i faktisk spredning av husdyrgjødsel i nedbørfeltet kan derfor avvike fra det som er presentert i figur 3.



Figur 3. Trender i antall gjødseldyrenheter (GDE) i nedbørfeltene Hålandsvatnet nord og sør for perioden 2002-2020. Basert på data fra Landbruksdirektoratet for gårdsbruk med hovednummer innenfor nedbørfeltet.

5.3 Jordas fosforstatus (P-AL)

Fosfor er et av hovednæringsstoffene i planteproduksjon og finnes naturlig i jorda i små mengder. For å øke produksjonen gjødsles det med fosfor i form av mineralgjødsel og husdyrgjødsel. Dersom fosforinnholdet i avlingen som høstes er mindre enn det som tilføres med gjødsel vil jordas fosforstatus øke. Fosfor som er tilført tidligere år vil være tilgjengelig for planteproduksjonen de påfølgende årene. Optimalt nivå for fosfor i jordbruksjord er 5-7 mg P-AL/100 g for korn, gras og flere grønnsaksvekster (nibio.no/gjodslingshandbok). For produksjon av potet- og noen grønnsaksvekster er optimalt nivå for fosfor i jorda opp mot 9 mg P-AL/100 g. Dersom fosforinnholdet i jorda er over 14 mg P-AL/100 g anbefales det ikke å gjødsle med fosfor til korn og gras. Til potet- og grønnsaksvekster anbefales det å gjødsle med reduserte fosformengder når jordas fosforstatus overstiger det optimale nivået (nibio.no/gjodslingshandbok). Derfor vil det ofte være høyere fosforstatus i jord der det dyrkes potet- og grønnsaker enn der det dyrkes korn og gras.

Fosforstatus i jordbruksjorda har betydning for avrenning av fosfor på grunn av økt innhold av fosfor på jordpartiklene som eroderes, og på grunn av økt risiko for utvasking av løst fosfat ved økende fosforstatus. Ved høye P-AL-verdier øker tilgjengeligheten av fosfor for utvasking sterkt. Derfor er kunnskap om endringer i fosforstatus av interesse for å forklare årsaker til eventuelle endringer i fosforavrenningen, og som grunnlag for beregning av avrenning fra ulike kilder.

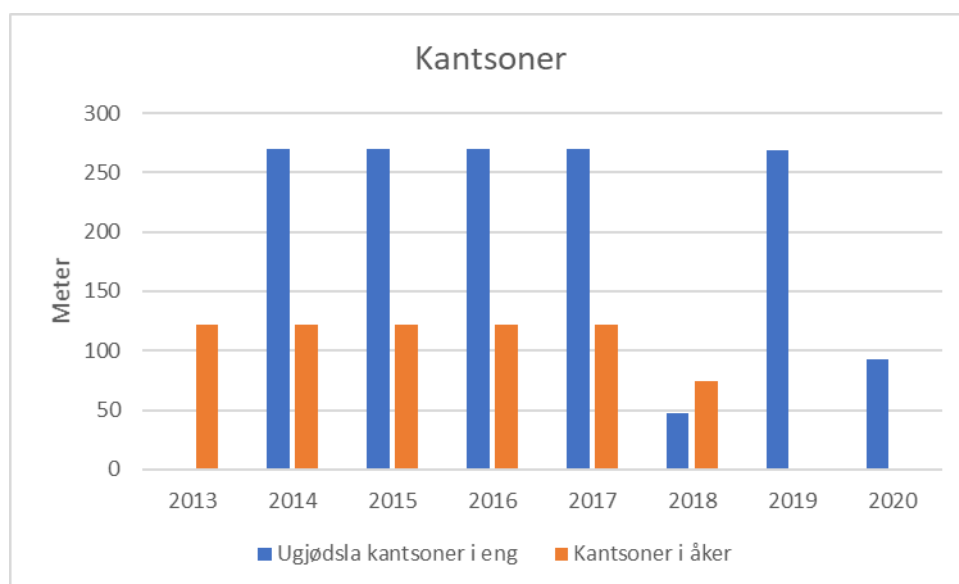
Basert på tilgjengelige data er gjennomsnittlig fosfortall (P-AL) i jordprøver fra den nordlige delen av nedbørfeltet 29 mg/100 g, og klassifiseres dermed som ekstremt høyt (nibio.no/gjodslingshandbok). Det er litt høyere gjennomsnittsverdi for perioden 2016-2020 enn i perioden 1997-2007 (tabell 3). I den sørlige delen er gjennomsnittlig fosforstatus i jordprøvene 21 mg P-AL/100 g, og klassifiseres som svært høyt. Der er det ikke registrert noen forskjell mellom de to periodene. Datagrunnlaget for de to periodene er forskjellig, noe som kan påvirke resultatene. I første periode er alle jordprøver tilknyttet eiendommer med hovednummer innenfor nedbørfeltet inkludert, mens det i andre periode kun er jordprøver på skifter innenfor nedbørfeltet som er med. Hvordan dette påvirker resultatene er usikkert, avhengig av om en forventer høyere eller lavere fosfortall i jorda innenfor nedbørfeltet enn utenfor nedbørfeltet. Dersom en forventer de høyeste fosfortallene på hver eiendom på den jorda som ligger innenfor nedbørfeltet, kan økningen i fosfortall være overestimert.

Tabell 3. Gjennomsnittlig fosforstatus (P-AL) i jordbruksjord og antall jordprøver for periodene 1997-2007 og 2016-2020 for gårdsbruk i nedbørfeltene til Hålandsvatnet nord og sør.

Nedbørfelt	1997-2007		2016-2020	
	Antall jordprøver	Gjennomsnitt P-AL	Antall jordprøver	Gjennomsnitt P-AL
Hålandsvatnet nord	88	26	70	29
Hålandsvatnet sør	89	20	39	21

5.4 Gjennomførte vannmiljøtiltak

Tiltak som er gjennomført med tilskudd fra Regionalt miljøprogram (RMP) omfatter ugjødsla kantsone i eng og grasdekt kantsone i åker (figur 4). Til sammen er det ca. 400 meter kantsone langs åpent vann, det vil si en liten strekning sett i forhold til lengden på bekker og kanaler. Overvintring i stubb, fangvekst og grasdekte vannveier har vært gjennomført i liten grad med tilskudd fra RMP. Øvrige tiltak i RMP er i hovedsak rettet mot utslipp av klimagasser. Kartfestet informasjon er tilgjengelig i Landbruksdirektoratets fagsystem for søknader (eStil) fra 2013.



Figur 4. Kantsoner i åker og ugjødsla kantsoner i eng fra 2013-2020. Basert på data for landbrukseiendommer innenfor nedbørfeltet.

Ifølge informasjon fra Randaberg kommune ble det med tilskudd fra blant annet Spesielle miljøtiltak i landbruket (SMIL) etablert 3 renseparker rundt år 2002 og 6 sedimentasjonsdammer fra 2013 og fremover. I tillegg ble det uten tilskudd etablert flere andre hydrotekniske løsninger som fanger og holder tilbake partikler og næringsstoffer.

6 TILFØRSLER FRA NEDBØRFELTET

6.1 Avrenning fra jordbruket

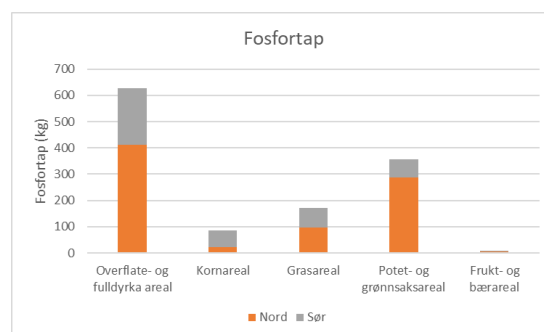
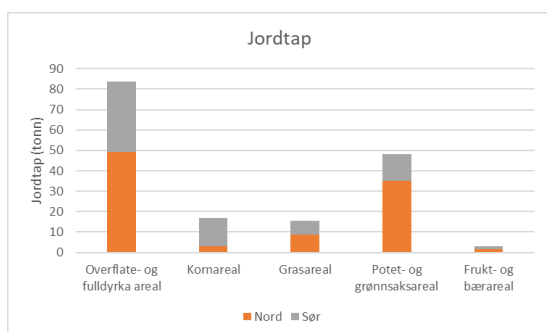
Jord- og fosfortap fra jordbruksarealene i 2020 er beregnet til totalt henholdsvis 83 tonn jordtap og totalt 628 kg fosfortap årlig, hvorav det er beregnet ca. 30 % (200 kg) løst fosfat (tabell 4), som er direkte biotilgjengelig. Fosfortap fra innmarksbeite er beregnet til å utgjøre lite (<1 %) av de totale fosfortapene. Beregnede tap fra jordbruksarealet er basert på kart og statistiske opplysninger, og er forbundet med stor usikkerhet. Ifølge beregningene er det fosfortap fra overflatedyrka og fulldyrka areal som dominerer.

Beregningene antyder at ca. 60 % av jordtapet og 65 % av fosfortapet kommer fra den nordlige delen av nedbørfeltet til Hålandsvatnet (figur 5). Dette henger sammen med større utbredelse av erosjonsutsatte kulturer (grønnsaker og potet) og høyere registrert fosforstatus i jorda i nord enn i sør, i tillegg til at den nordlige delen av nedbørfeltet har mer jordbruksareal enn den sørlige delen.

Tabell 4. Beregnet årlig jord- og fosfortap fra jordbruksareal, bakgrunnsavrenning fratrukket.

SS = suspendert stoff, PP = partikkelbundet fosfor, DRP = løst fosfor.

Nedbørfelt	Areal (daa)	SS (kg/daa)	PP (g/daa)	DRP (g/daa)	TP (g/daa)	SS (tonn)	PP (kg)	DRP (kg)	TP (kg)
Kornareal									
Hele feltet	347	49	183	60	243	17	64	21	84
Nord	67	44	224	98	322	3	15	7	21
Sør	281	50	174	51	224	14	49	14	63
Grasareal									
Hele feltet	1718	9	52	51	103	16	90	87	177
Nord	967	9	52	48	100	9	50	46	97
Sør	752	9	53	54	107	7	40	40	80
Potet- og grønnsaksareal									
Hele feltet	898	52	299	99	399	47	269	89	358
Nord	639	55	335	115	450	35	214	74	287
Sør	258	47	211	61	272	12	54	16	70
Frukt- og bærareal									
Hele feltet	58	52	129	26	155	3	7	2	9
Nord	29	50	186	45	232	1	5	1	7
Sør	29	53	70	7	77	2	2	0	2
Innmarksbeite									
Hele feltet	364	-	8	8	15	-	1	3	3
Nord	201	-	8	8	15	-	0	2	2
Sør	163	-	8	8	15	-	0	1	1
Totalt jordbruksareal									
Hele feltet	3384	28	127	59	187	83	430	201	631
Nord	1901	29	150	68	218	49	284	129	414
Sør	1482	26	98	48	147	35	146	72	217



Figur 5. Beregnet årlig jord- og fosfortap fra jordbruksareal med ulike vekster, bakgrunnsavrenning fratrukket. Ref. tabell 4.

Gjennomsnittlig jordtap og tap av partikkelbundet fosfor (PP) per arealenhet er beregnet til henholdsvis 28 kg jord/daa og 142 g PP/daa for summen av overflatedyrka og fulldyrka areal (tabell 4). Tilsvarende, når en kun ser på arealet med grønnsaker og potet, er tapene beregnet til hhv. 50 kg jord/daa og 300 g PP/daa. På grunn av usikkerheter knyttet til erosjonsrisiko på areal med grønnsaker og potet. For grasarealene er jord- og fosfortap beregnet til hhv. 10 kg jord/daa og 50 g PP/daa, for areal med dyrking av frukt og bær hhv. 50 kg jord/daa og 130 g PP/daa (svært usikre tall pga. lite kunnskap om erosjonsrisiko på slikt areal), og for areal med korn (alt er høstpløyd ifølge eStil 2020, og mesteparten vårkorn ifølge søknad om produksjonstilskudd) hhv. 50 kg jord/daa og 180 g PP/daa.

Selv om husdyrtettheten er høyere i sør enn i nord, er beregnet tap av løst fosfat høyere i nord (128 kg DRP) enn i sør (71 kg DRP). Det skyldes hovedsakelig høyere P-AL i jorda i nord enn i sør og dermed mer løst fosfat fra jorda som kan følge avrenningen.

Det har vært gjennomført flere sedimentasjonstiltak i nedbørfeltet, men effekten av disse tiltakene er ikke målt. Beregnet effekt er usikker. Nedbørfeltarealene til hver sedimentasjons- og kumdam er estimert manuelt ut fra kart. Basert på disse estimatene tyder beregningene på en reduksjon i partikkelbundet fosfor på ca. 5-10 % som samlet effekt av sedimentasjon- og kumdammer.

6.2 Punktutslipp fra jordbruksaktivitet

I nedbørfeltet til Hålandsvatnet er det informasjon om husdyr- og veksthusproduksjon som kan bidra med punktutslipp av næringsstoffer.

I 2020 er det ifølge Søknad om produksjonstilskudd 585 gjødseldyrenheter hjemmehørende på gårdsbruk i nedbørfeltet til Hålandsvatnet. Det er disse dyrene som evt. bidrar med punktutslipp til innsjøen. Husdyr som ikke tilhører gårdsbruk i nedbørfeltet, men som har spredeareal innenfor nedbørfeltet (jvf. tall oppgitt av Storberget og Larsen (2020)) vil ikke bidra til punktutslipp. Det er risiko for lekkasjer fra melkerom, gjødsel- og silolager og risikoen er større jo flere husdyr der er. Det har ikke vært gjort undersøkelse av tilstanden på silo- og gjødsellager og utslippene er derfor ikke kvantifisert. Ifølge Storberget og Larsen (2020) er det dessuten risiko for avrenning fra lagring av hestegjødsel utendørs.

Det har ikke vært tilgang til informasjon om størrelsen på utslipp av næringsstoffer fra veksthus, og disse utslippene er derfor heller ikke kvantifisert. Statsforvalteren i Rogaland har opplyst at det er tre veksthus i nedbørfeltet med til sammen ca. 13 dekar under tak som har avrenning til Hålandsvatnet. Et av veksthusene har resirkulering av gjødselvann og eventuelle lekkasjer repareres fortløpende. Et annet veksthus har oppsamling av avrenningsvann i tett tank og gjødselvannet brukes på bringebær i henhold til gjødslingsplan. Det tredje veksthuset har direkteutslipp, og et viktig tiltak er å oppgradere det anlegget til enten resirkulering eller oppsamling av gjødselvann.

I tillegg til veksthus med produksjon under tak er det areal med herding av planter. Overskudd av gjødselvann ledes til dreneringen. Oppsamling og bruk av dette på grønnsaksareal planlegges.

6.3 Spredt avløp

I Randaberg er det fosfortilførsler fra 1 slamavskiller, noe som ifølge beregningene utgjør tilførsel av 1 kg fosfor/år (tabell 5). I Stavanger er det tilførsler fra 7 minirensanlegg og 21 slamavskillere med tilsvarende utslipp på 32 kg fosfor/år ifølge beregningene.

Tabell 5. Totalt utslipp til Hålandsvatnet fra 29 avløpsanlegg.

Nedbørfelt	Antall anlegg	Tilførsel kg P/år
Hålandsvatnet nord	1	1
Hålandsvatnet sør	28	32

6.4 Utslipp fra kommunalt avløp

Mer enn 90 % av det kommunale ledningsnettet er bygget etter 1970 og det er derfor forholdsvis lite lekkasje (tabell 6). Totalt er lekkasjen beregnet til 20 kg fosfor/år fordelt på 11 kg fra Hålandsvatnet nord og 9 kg fra Hålandsvatnet sør.

En avløpsledning fra 1985 ligger øst-vest i Hålandsvatnet. Ifølge kommunen frakter denne kun avløp generert innenfor nedbørfeltet. Siden den ligger i selve innsjøen, kan den utgjøre en ekstra risiko for miljøforurensing. Vi anbefaler at man vurderer å følge opp dette spesielt.

Begge kommuner har opplyst at det ikke er overløp til Hålandsvatnet fra kommunalt avløp.

Tabell 6. Lekkasje fra ledningsnett for kommunalt avløp.

Nedbørfelt	Antall personer	kg P/år	% nett før 1970	% nett etter 1970	Lekkasje kg P/år
Hålandsvatnet nord	500	330	9	91	11
Hålandsvatnet sør	420	277	8	92	9

6.5 Tilførsler totalt

De totale tilførslene til Hålandsvatnet anslås dermed til ca. 734 kg P/år, hvorav ca. 85 % skyldes arealavrenning fra jordbruk, eksklusiv bakgrunnsavrenning fra jordbruksarealet (tabell 7 og innfelt kake-diagram). Arealavrenning fra areal med grønnsaks- og potetproduksjon er beregnet til å utgjøre ca. 50 % av de totale tilførslene, arealavrenning fra grasareal ca. 25 %, og arealavrenning fra areal med korn ca. 10 % (figur 6). Avløp bidrar til sammen med 7 % av tilførslene, mens de andre kildene bidrar med 1-3 % hver.

Drøye 60 % av tilførslene anslås å komme fra det nordlige delfeltet. Som nevnt tidligere, er dette fordi det nordlige delfeltet har større jordbruksareal, mer areal med erosjonsutsatte kulturer og i gjennomsnitt høyere fosforverdier i jorda. Mens grønnsaker og potet står for drøyt 60 % av tilførslene i nord, er det i sør en jevnere fordeling mellom de ulike produksjonene (figur 6).

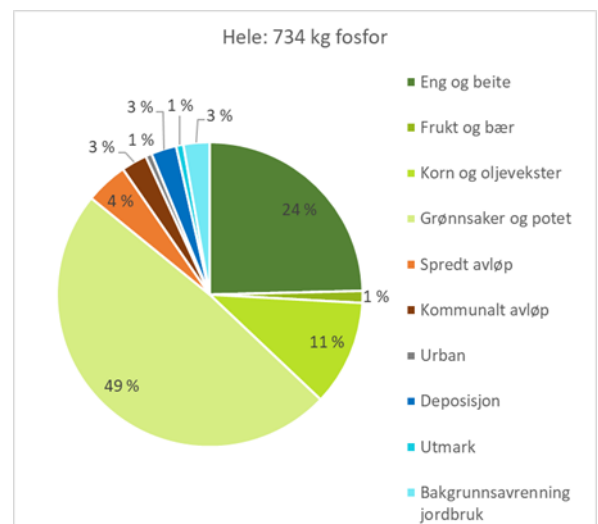
I det sørlige delfeltet utgjør fosfor fra avløp en forholdsmessig større andel av total tilførsel enn i det nordlige delfeltet (figur 6). Kommunalt avløp utgjør omtrent like mye i hvert delfelt, mens fosfor fra spredt avløp er beregnet til 1 kg i nord og ca. 30 kg i sør.

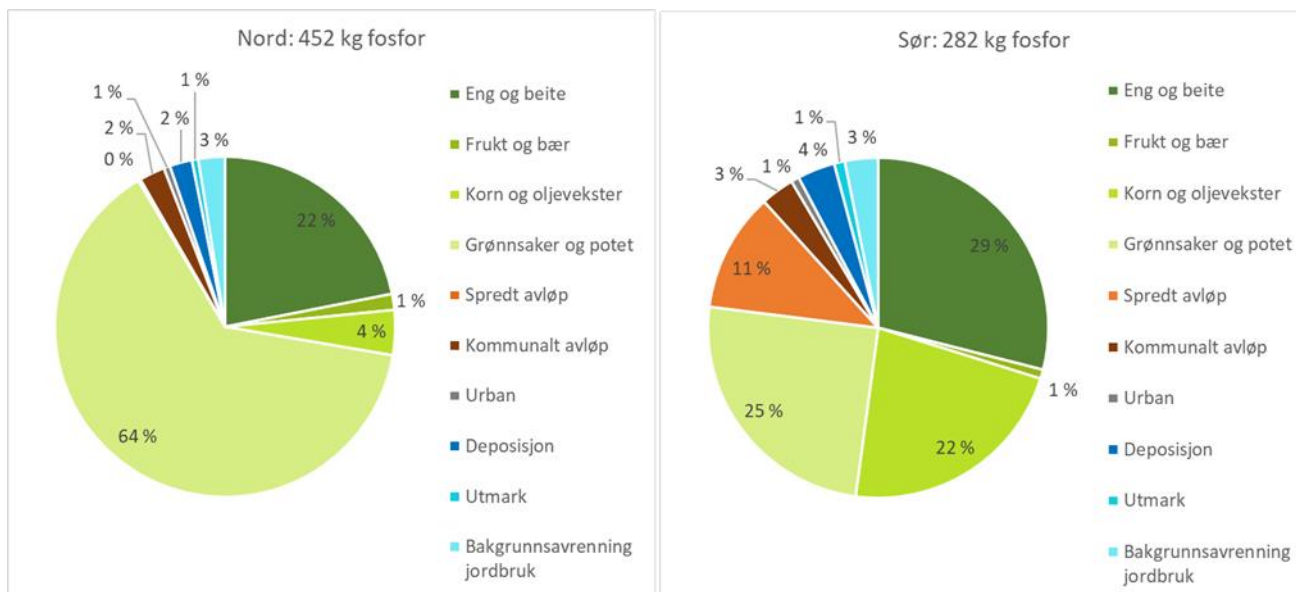
Punktkilder fra jordbruket er ikke med i kilderegnskapet fordi de ikke kan kvantifiseres. De kan likevel ha betydning for innsjøen.

Tabell 7. Beregnet kildefordeling for totalfosfor til Hålandsvatnet.

Kilde	Nord kg TP/år	Sør kg TP/år	Nedbørfeltet totalt	
			kg TP/år	%
Arealavrenning*	413	217	631	86
Punktutslipp jordbruk	-	-	-	-
Spredt avløp	1	32	33	4
Kommunalt avløp	11	9	20	3
Urban areal	3	2	5	1
Deposisjon på vann	10	10	20	3
Utmark	3	3	6	1
Bakgrunnsavrenning	11	9	20	3
Totalt	452	282	734	

*Fulldyrka, overflatedyrka og innmarksbeite, uten bakgrunnsavrenning.





Figur 6. Kildefordeling i nordlige og sørlige del av nedbørfeltet til Hålandsvatnet. Kilderegnskapet omfatter ikke punktutslipp fra jordbruket.

7 INNSJØINTERNE TILFØRSLER

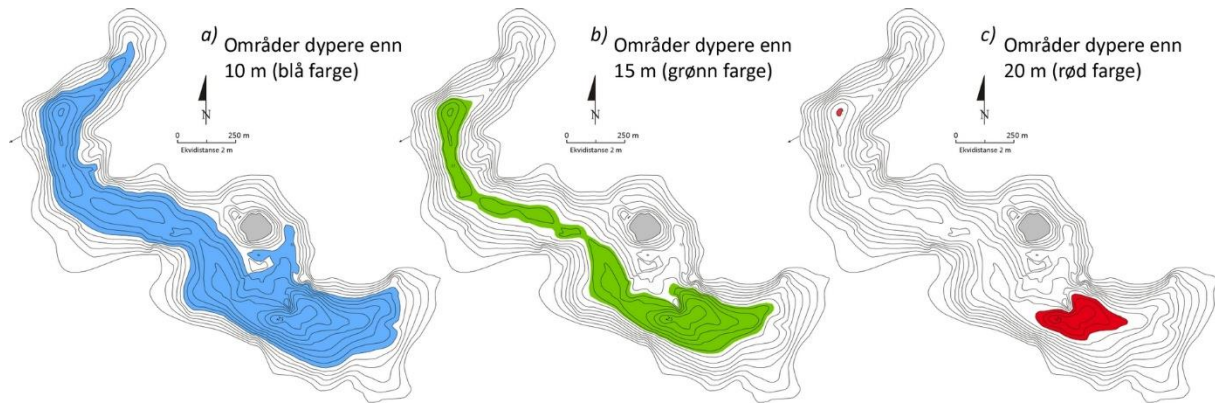
Store fosfortilførsler over tid har ført til at innsjøsedimentet er svært fosforrikt, og mye av fosforet finnes på former som lett kan mobiliseres og løses ut i vannmassene (Molversmyr 2010; Nadelyaeva 2018; Eggen *et al.* 2018). Faktisk er det like mye av lett mobiliserbart fosfor i de øverste få millimeterne i sedimentet som det en finner av fosfor i hele innsjøens vannmasse. Sedimentet er en potensielt viktig kilde til næringsstoffer, som kan påvirke utviklingen i planteplanktonet gjennom vekstsesongen.

Hålandsvatnet er relativt dyp i forhold til overflatearealet, med ganske bratte bassengvegger ned til ca. 14-15 meter. I figur 7 er arealer dypere enn 10, 15 og 20 meter fremhevet. Drøye halvparten av sedimentarealet (56 %) ligger grunnere enn 10 meter, og vil normalt være eksponert for den øvre, sirkulerende, vannsøylen (over sprangsjiktet) om sommeren (kalt gruntvannssedimenter videre i rapporten). Vannvolumet som ligger under dette dypet, og som normalt ligger under sprangsjiktet om sommeren, utgjør ca. 26 % av innsjøvolumet (tilhørende sediment omtales som dypvannssedimenter videre i rapporten). Dypere enn 15 meter ligger om lag 22 % av arealet og 8 % av innsjøvolumet, og andelen som ligger under 20 meters dyp er kun 4 % av arealet og 0,7 % av innsjøvolumet. Disse forholdene påvirker hvordan interngjødsling i innsjøen vil foregå, og hvor stor betydning det vil ha.

Hålandsvatnet blir normalt temperatursjiktet tidlig i mai, mens fullsirkulasjon om høsten skjer ca. midt i oktober. I store deler av stagnasjonsperioden ligger sprangsjiktet mellom 7 og 12 meter, og i vannet under sprangsjiktet avtar oksygeninnholdet raskt som følge av betydelig nedbrytningsaktivitet. Oftest er det oksygenfritt i det dypeste partiet allerede tidlig i juni, og fra midten av juli er det ofte oksygenfritt i vannsøylen under 10-15 meter (se f.eks. Molversmyr & Hereid 2021).

7.1 Bidrag fra dypvannssedimenter

I anaerobt bunnvann kan fosfat frigjøres fra sedimentet når denitrifikasjonsprosesser har redusert nitraten i vannet. Oksyderte jernforbindelser i overflatesedimentet vil da reduseres og løses ut i vannet, og fosfat - som i stor grad er bundet til jern i sedimentet - vil også løses ut. I Hålandsvatnet skjer dette allerede mot slutten av juli eller tidlig i august, når sprangsjiktet gjerne ligger rundt 12 meter (se f.eks. Molversmyr & Hereid 2021). Det betyr at bunnvannet vil anrikes med fosfat, som kan bidra til økt algevekst om det blandes inn i det sirkulerende overflatelaget.



Figur 7. Dypområder i Hålandsvatnet.

Fosfat vil i noe grad passere sprangsjiktet fra bunnvann til overflatevann som følge av diffusjonsprosesser (pga. konsentrasjonsforskjeller), og Stølen (2020) beregnet i sin masteroppgave at ca. 170 kg P passerte sprangsjiktet i perioden med stabil sjikning i 2019. Bunnvann kan også blandes inn i overflatevann i perioder med stabil temperatursjikning, som resultat av vindinduserte interne vannstrømmer. Sterk vind kan sette i gang interne bølger som medfører pulsvis innblanding (oppstrømning) av bunnvann i overflatelaget (MacIntyre 2018). I hvor stor grad dette skjer i Hålandsvatnet er ukjent.

Ellers er det om høsten, når avkjøling foregår og sprangsjiktet «brytes ned», at innblanding av fosfat-anrikt bunnvann vil skje. Da vil overflatelaget sirkulere stadig dypere, og bunnvann bli blandet inn. Stølen (2020) estimerte at ca. 190 kg P ble blandet inn i denne perioden om høsten 2019.

Dypvannssedimentene i Hålandsvatnet må antas å kunne bidra med vesentlige mengder fosfor (drøye 350 kg P fra prosesser som ble estimert for 2019 av Stølen (2020)). Størst betydning har antakelig det som måtte tilføres om sommeren, mens det som kommer om høsten i forbindelse med dypere sirkulasjon og nedbrytning av sprangsjiktet antakelig betyr mindre for algeveksten.

7.2 Bidrag fra gruntvannssedimenter

Fosforrike grunntliggende sedimenter kan være en betydelig kilde til interngjødsling, og det er flere prosesser som vil resultere i frigjøring av fosfor fra sedimentet. Særlig ventes fosforfrigjøring ved høy pH i overflatevann (som følge av intensiv algevekst) å kunne gi store bidrag, men frigjøring ved vinddrevet resuspensjon av sediment ventes også potensielt å kunne gi vesentlige bidrag til interngjødslingen (Molversmyr 2010). Fosfor vil også frigjøres ved mineralisering i sedimentoverflaten når mikroorganismer bryter ned organisk materiale som samles der. Nedbrytningsprosessene i sedimentet gir økt innhold av fosfor i porevannet, som vil tilføres overliggende vann som følge av diffusjon (pga. konsentrasjonsforskjeller). Utlekkingen vil øke når temperaturen er høy, og særlig dersom rolige vindforhold gjør at det øverste sedimentsjiktet blir anaerobt i perioder (som følge av høyt bakterielt oksygenforbruk). I tillegg kan sedimentspisende fisk og andre dyr som finner føde i sedimentet bidra til at sediment røres om og frigjør fosfat, men dette har neppe et så stort omfang at det vil gi vesentlig bidrag til interngjødslingen.

Fosfor fra grunntliggende sedimenter frigjøres i vannmassene der algene vokser, og vil være direkte tilgjengelig for økt algevekst. Kraftige algeoppblomstringer som en ser forekommer, som f.eks. i 2012 (Molversmyr *et al.* 2013), må ha hatt tilgang til betydelige mengder fosfor for å kunne bygge opp algebiomassen. Biomasseøkningen må ha medført «forbruk» av store mengder fosfor, og i 2012 kan det anslås at i størrelsesorden 400 kg P gikk med til å bygge opp biomassen som ble observert i juni og juli dette året. At dette i hovedsak må ha blitt tilført fra sedimentene synes klart, siden slike mengder neppe kan ha kommet fra nedbørfeltet i de aktuelle periodene om sommeren. Hvor mye som frigjøres fra gruntvannssedimentene avhenger av mange faktorer, og vil variere betydelig etter forholdene som til enhver tid er i innsjøen. En kan vanskelig tallfeste «normale» verdier for denne interngjødslingen, men en det kan skisseres nivåer for hva som er tenkelig.

I en utredning om interngjødsling i Frøylandsvatnet på Jæren i 2005 ble det ved utlekkingsforsøk med intakte sedimentkjerner fra innsjøen beregnet at utlekking ved høy pH i overliggende vann ville tilsvare om lag 6 mg P/m²-døgn ved pH 9,5 (Molversmyr & Andersen 2006). I en forstudie om mulig bruk av Phoslock® som innsjøinternt tiltak i Hålandsvatnet (Molversmyr *et al.* 2020b) ble det utført et lignende forsøk. Dette forsøket var ikke designet for å måle frigjøringsrater, men det kan beregnes at det ble frigjort ca. 6,5 mg P/m²-døgn i gjennomsnitt over en 7-dagers periode da vannet over sedimentet ble holdt ved ca. pH 9,5. Dette samsvarer med nevnte resultater fra Frøylandsvatnet, men det kan også være tilfeldig selv om overfatesedimentet er relativt likt i disse innsjøene med tanke fosforinnhold og -sammensetning. I løpet av den nevnte 7-dagers perioden må en forvente at frigjøringsraten vil avta når løst fosfat anrikes i vannet over sedimentet i den statiske sedimentkjernen, slik at den reelle frigjøringsraten i innsjøen antakelig vil være høyere (frigjort fosfat vil ikke anrikes i overliggende vann på samme måte som i en sedimentkerne). Det nevnes også at utlekkingsforsøk utført med sediment fra Hålandsvatnet i 1988 (med tilsvarende metodikk som for Frøylandsvatnet) indikerte vesentlig høyere utlekkingsrater, helt opp mot 17 mg P/m²-døgn ved pH 9,5 (Molversmyr & Sanni 1990).

Høy pH i vannet er et resultat av intens algevekst (fotosynteseaktivitet), og i Hålandsvatnet måles pH mellom 9 og 10 gjennom store deler av sommeren (f.eks. Molversmyr & Hereid 2021; Stølen 2020). Frekvensen og varigheten av slike perioder, og intensiteten av algeveksten, vil variere fra år til år avhengig av værforholdene, og pH vil variere gjennom døgnet i tråd med at fotosynteseaktiviteten varierer med lyset. Men basert på frigjøringsratene nevnt ovenfor og på observerte perioder med høy pH kan det anslås at i størrelsesorden 300-500 kg P frigjøres ved denne prosessen i løpet av sommermånedene i Hålandsvatnet, slik forholdene har vært der de senere årene.

Hålandsvatnet er sterkt vindpåvirket, og en må vente at vind vil skape bølgebevegelser som kan medføre at sediment blir suspendert og blandet inn i vannmassene. Stølen (2020) beregnet hvor dypt bølgebevegelser vil gi slike effekter ved ulike vindstyrker, og fant f.eks. at kuling vindstyrke vil påvirke sediment ned til ca. 3,5 meters dyp. Molversmyr (2010) gjorde forsøk med sediment fra ulike dyp i Hålandsvatnet, og fant at sedimentet nesten uansett ville frigjøre fosfat dersom det ble resuspendert. Basert på disse forsøkene og sedimentarealet som kan påvirkes, kan det anslås at 50-100 kg P vil kunne frigjøres fra resuspendert sediment under en episode med sterk kuling. Selv en episode med frisk bris vil kunne medføre at flere titalls kg P blir frigjort. Og skjer en slik resuspensjonsepisode når det er høy pH i vannet vil frigjøringen av fosfat ventelig øke vesentlig. Hvor mye dette bidrar til intern fosforgjødsling vil variere betydelig, avhengig av vindstyrke, varighet, vindretning og frekvensen av vindepisoder. Det synes imidlertid klart at potensialet er stort (antakelig flere hundre kg P pr. år).

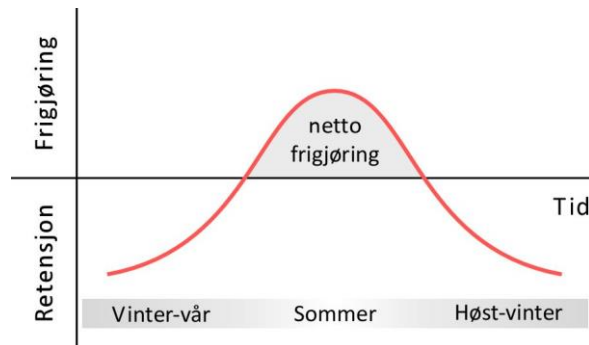
Frigjøring av fosfor som følge av mineralisering i sedimentoverflaten og diffusjon fra sediment til overliggende vann er prosesser som vil foregå i større eller mindre grad i alle innsjøer. I en utredning om interngjødsling i Frøylandsvatnet (Molversmyr & Andersen 2006) ble det funnet et «bakgrunnsnivå» for fosforutlekking fra sedimentkjerner som var i overkant av 1 mg P/m²-døgn, og som ble antatt å være resultat av denne prosessen. Om en antar tilsvarende utlekkingsrate fra sedimentene i Hålandsvatnet kan det anslås at i størrelsesorden 150-200 kg P vil tilføres vannet i overflatelaget gjennom vekstsesongen.

Totalt er det altså betydelige mengder fosfor som en må forvente kan frigjøres fra sedimentene i Hålandsvatnet, kanskje i opptil i størrelsesorden 1000-1500 kg P/år, der bidrag fra grunntliggende sedimenter vil dominere.

7.3 Betydningen av innsjøinterne tilførsler

Til tross for betydelige interne tilførsler er det begrenset hvor mye fosfor som tapes fra innsjøen via utløpet. Dette har sammenheng med at vanngjennomstrømmingen er lav, særlig om sommeren når intern frigjøring antas å være størst. Basert på målte fosforkonsentrasjoner i vannet de siste tre årene, reell og normal fordeling av nedbør over året, og oppgitt normalavrenning (NVE), kan det beregnes at ca. 250 kg P normalt vil tapes via utløpet pr. år. I forhold til beregnede årlige tilførsler fra nedbørfeltet (avsnitt 6.5) betyr dette at ca. 65 % av tilført fosfor holdes tilbake i innsjøen (retensjon).

Hålandsvatnet ser dermed ut til å opptre relativt normalt med tanke på hvor mye av det årlig tilførte fosforet som kan ventes å bli holdt tilbake i denne innsjøen (Nürnberg 2020; Khorasani & Zhu 2021). Det vil si at det meste av de innsjøinterne fosfortilførslene havner tilbake i sedimentet, og inngår primært i en syklus internt i innsjøen. Fosforfrigjøringen skjer i hovedsak om sommeren, og bidrar da til de store algeoppblomstringene som observeres. Men det meste vil sedimentere igjen med biomassen som etter hvert havner i sedimentet. En slik sesongvariasjonen er illustrert i figur 8.



Figur 8. Illustrasjon: sesongmessig variasjon av fosforutlekking og -retensjon fra/til innsjøsediment. (omarbeidet fra Hupfer et al. 2020).

Næringsinnholdet i vannet om vinteren/våren er tilstrekkelig til å gi betydelig algevekst i Hålandsvatnet i starten av vekstsesongen, men den kraftige oppveksten av *Planktothrix* som ofte observeres om sommeren synes å være sterkt knyttet til fosfor som har opphav i sedimentet i innsjøen (Molversmyr 2019). Dette fosforet gir en selvforsterkende effekt som muliggjør ytterligere utlekking fra sedimentet (som følge av at pH øker) og ytterligere algevekst.

Når eutrofieringsutviklingen har kommet så langt som i Hålandsvatnet vil interngjødsling motvirke endringer som en normalt vil forvente dersom tilførsler fra nedbørfeltet reduseres (Scheffer et al. 2001). I slike tilfeller tar det ofte lang tid (kanskje mange tiår) fra tiltak i nedbørfeltet er gjennomført med tilsiktede tilførselsreduksjoner, til det oppnås forventet vannkvalitet i innsjøen (Cooke et al. 2005; Jeppesen et al. 2005).

En forutsetning for å kunne oppnå stabile forhold uten større algeoppblomstringer, er å gjennomføre tiltak som reduserer de eksterne næringsstofftilførsler i tilstrekkelig grad. Men innsjøinterne tiltak kan også være aktuelt for at tiltenkte forbedringer skal kunne oppnås innen rimelig tid.

8 AVLASTNINGSBEHOV

Miljømålet for Hålandsvatnet er god økologisk tilstand, som er definert som «akseptable avvik fra naturtilstanden» (Direktoratsgruppen vanddirektivet 2018). Hva som menes med «akseptable avvik» er nærmere beskrevet i Vedlegg V i vannforskriften (Lovdata 2006), der det gis følgende definisjon for næringsstoffer: «konsentrasjonene av næringsstoffer overstiger ikke nivåene fastsatt for å sikre at økosystemet fungerer, og at verdiene angitt for biologiske kvalitetselementer oppnås». For Hålandsvatnet er som nevnt i avsnitt 4.6 grensen mellom god og moderat økologisk tilstand for gjennomsnittlig innhold av total fosfor i overflatevannet i vekstsesongen lik 17 µg/l P, som i denne sammenheng kan anses som miljømålet. På dette nivået antas det at det ikke vil oppstå nevneverdig algeoppblomstring eller andre eutrofieringseffekter under normale forhold.

Å estimere hvor store eksterne tilførsler av fosfor som vil resultere i dette fosfornivået i innsjøvannet kan gjøres ved hjelp av innsjømodeller. Det finnes mange typer av modeller, fra den opprinnelige Vollenweider-modellen og andre steady-state modeller, til komplekse økosystemmodeller. Sistnevnte type kan gi mulighet til å simulere endringer i sesongvariasjoner både i tid og rom, men krever betydelig med inngangsdata og omfattende verifisering/kalibrering. Slike modeller er mindre anvendelige og gir opphav til betydelig usikkerhet om datagrunnlaget ikke er tilstrekkelig (Nürnberg 2020). Dette gjelder

for Hålandsvatnet, og en enklere innsjømodell beskrevet av Nürnberg (1998) er derfor benyttet. Denne gir nært samsvar mellom beregnet fosforinnhold i vannet med dagens antatte tilførsler (42,7 µg/l P), og det som måles i Hålandsvatnet (43,1 µg/l P i gjennomsnitt for de siste 3 årene). I tillegg modelleres tilnærmet identisk retensjon av fosfor i innsjøen (65,7 %) i forhold til det som kan estimeres med massebalanseberegninger (65,3 % basert på antatt tilførsel og observert fosforinnhold i vannet).

Etter denne modellen vil ca. 300 kg P/år være det som kan tilføres fra nedbørfeltet før miljømålet på 17 µg/l P i vannet overskrides. Alle modellestimater er forbundet med usikkerhet, og for å ta høyde for dette bør det legges inn en sikkerhetsmargin når tiltak for å oppnå tilførselsreduksjoner planlegges. Ofte blir en sikkerhetsmargin på 10 % benyttet (Nunoo *et al.* 2020), og brukes tilsvarende her vil miljømålet for Hålandsvatnet være ca. 270 kg P/år. Det er dermed svært store tilførselsreduksjoner som må til, om lag 460 kg P/år – tilsvarende 63 % av dagens antatte tilførsler, for å oppnå miljømålet for innsjøen.

9 VURDERING AV TILTAK OG EFFEKTER

9.1 Tiltak mot jordbrukets arealavrenning

Arealene med de største fosfortapene er der det er høye fosfortall, samtidig som det er stor erosjon og sedimenttransport. Det er mest effektivt å gjennomføre tiltak på disse arealene først.

Figur 9 viser beregnet effekt av utvalgte tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealene (fulldyrka og overflatedyrka jord, fratrukket bakgrunnsavrenning). Beregningene tyder på at det er mulig å få til store reduksjoner i fosfortap fra jordbruksarealene, men at det vil ta tid.

9.1.1 Tiltak som reduserer jorderosjon og tap av partikkelbundet fosfor

Kornareal. Det viktigste tiltaket for å redusere erosjon og fosfortap på kornarealene er **ingen jordarbeiding om høsten (stubb)** (scenario 1). Effekten er beregnet til ca. 5 % (ca. 30 kg) reduksjon i fosfortap for hele nedbørfeltet til Hålandsvatnet (figur 9). Effekten er såpass lav fordi kornarealet utgjorde en lav andel av jordbruksarealet i 2020. Det er høyere effekt i den sørlige delen (drøyt 10 %) enn i den nordlige delen (ca. 2 %) pga. større andel kornareal i sør enn i nord i 2020. I tillegg til overvintring i stubb vil grastiltakene også ha betydning for jord- og fosfortap fra kornarealer. Grastiltakene omfatter både **grasdekte kantsoner** og **grasdekte vannveier**. Graset dekker og binder jorda hele året, og derfor er det lite erosjon og lave tap av partikkelbundet fosfor fra arealer med gras. Grastiltakene vil derfor redusere erosjon og fosfortap, og i tillegg bidra til å rense overflateavrenning fra arealer med erosjon ved å bremse vannhastigheten og øke infiltrasjonen.

Grønnsaks- og potetareal. Tiltaket ingen jordarbeiding om høsten gir ikke beskyttelse mot erosjon der det dyrkes grønnsaker og potet, i samme grad som der det dyrkes korn. Her er **fangvekst** et alternativ. Fangvekst på areal med grønnsaker og potet er et lite utprøvd tiltak. Såing av fangvekst er mest effektivt dersom den kan sås tidlig i sesongen. På areal der det høstes sent i sesongen, blir effekten av fangvekst mer begrenset fordi plantene ikke rekker å etablere seg med beskyttende plantedekke og rotnett før veksten slutter om høsten. Det er i beregningene forutsatt at fangvekst på areal med grønnsaker og potet har den samme effekten som ingen jordarbeiding om høsten på kornareal. Tiltakseffekten er skjønnsmessig anslått basert på at en velutviklet fangvekst binder jorda og beskytter jordoverflaten mot erosjon om vinteren og våren. Effekten er, som for overvintring i stubb, størst på arealer med stor erosjonsrisiko. Fangvekst er kun beregnet å ha effekt på tap av partikkelbundet fosfor. På den bakgrunnen er dette tiltaket alene beregnet til å kunne redusere totalt fosfortap med ca. 20 % (150 kg) for hele nedbørfeltet (ikke vist i figur 9). Et annet tiltak mot erosjon på grønnsaks- og potetareal kan være jorddekke med materialer som bark, flis, halm, papp eller plantemateriale. I tillegg vil grastiltak som **grasdekte kantsoner**, **grasstriper i åker** og **grasdekte vannveier** også være viktige for jord- og fosfortap fra potet- og grønnsaksarealene på tilsvarende måte som for kornarealer. Grasstriper i åker kan bidra til å dele lange hellinger, der vannet ellers kan få stor fart og kraft til å erodere.



Figur 9. Beregnete tap av fosfor (partikkelbundet og løst) ved ulike enkelttiltak og kombinasjoner av tiltak, og prosent reduksjon i tap av fosfor sammenliknet med ingen tiltak (= faktisk drift 2020). Verdiene gjelder for overflatedyrka og fulldyrka jord og innmarksbeite, og fratrukket bakgrunnsavrenning. Tiltakene er lagt på følgende areal: Stubb på kornareal, kantsoner på areal med korn, potet og grønnsaker, og P-AL-reduksjon på alt areal. Se også avsnitt 4.7.

9.1.2 Tiltak som reduserer jordas fosforstatus (P-AL)

Ifølge de dataene som er samlet inn for P-AL, er det i gjennomsnitt meget høye fosfortall i jorda i sør og ekstremt høye fosfortall i jorda i nord (tabell 3). Dette gjelder særlig på grønnsaksarealene. Det medfører høy risiko for tap av løst fosfat, og også høy risiko for tap av partikkelbundet fosfor der det er erosjon av betydning. For å oppnå en betydelig reduksjon i jordas fosforstatus må det gjødsles med mindre fosfor enn det som fjernes med avling, det vil si en **negativ fosforbalanse**. Det gjelder gjødsling med fosfor både i mineralgjødsel og husdyrgjødsel. Dette kan bety at husdyrgjødsel ikke skal importeres til nedbørfeltet, og at evt. overskytende **husdyrgjødsel fraktes ut av nedbørfeltet**. Regnet ut fra antall gjødseldyrenheter som tilhører gårdsbruk innenfor nedbørfeltet til Hålandsvatnet (590 GDE) er det 8,3 tonn fosfor tilgjengelig i husdyrgjødsel. Det svarer til 2,4 kg fosfor/daa fordelt på alt jordbruksareal. Tilgjengelige P-AL-verdier viser at 80 % av jordprøvene har så høy fosforstatus (> 14 mg P-AL/100 g) at det ikke er behov for fosfor dersom det dyrkes korn eller gras (nibio.no/gjodslinghandboka). Bruk av **fosforfri mineralgjødsel** og ingen husdyrgjødsel på korn- og grasarealer med høy fosforstatus (> 14 mg P-AL/100g) vil gi en negativ fosforbalanse og bidra til å redusere fosfortilførslene til Hålandsvatnet. Til fosforkrevende vekster, f.eks. potet og noen grønnsaker, kan det fortsatt være nødvendig å tilføre noe fosfor også ved høy fosforstatus i jorda for å oppnå tilstrekkelig gode avlinger. Slike vekster har derfor større risiko for fosfortap enn korn og gras. En reduksjon i areal med fosforkrevende vekster, samtidig med økning i grasareal vil over tid gi reduserte tilførsler av fosfor til Hålandsvatnet.

Det tar tid å få ned fosforinnholdet i jorda, så selv med negativ fosforbalanse vil en ikke se effekt før det har gått en del år. Beregningene antyder at ved å redusere P-AL til 14 mg/100 g på areal der dette nivået overskrides, kan fosfortapet fra fulldyrka og overflatedyrka jord reduseres med ca. 50 % (340 kg). Tilsvarende ved å redusere P-AL til maksimalt 10 mg/100 g blir det ca. 60 % (390 kg) reduksjon i fosfortap, og nesten 70 % (430 kg) reduksjon ved å redusere P-AL til maksimalt 7 mg/100 g. Reduksjon til P-AL 7 og 10 vil ikke være mulig i overskuelig fremtid.

Redusert gjødsling for å oppnå reduksjon i jordas fosforstatus er beregnet å være det viktigste tiltaket for å redusere jordbrukets fosfortilførsler til Hålandsvatnet på lang sikt. Redusert gjødsling gir en tilleggseffekt ved at det blir mindre risiko for direkte tap av gjødsel med overflateavrenning i tilfelle nedbør rett etter gjødsling. Denne effekten er ikke beregnet her. Effekten av reduksjon i P-AL på avling er ikke vurdert i dette oppdraget.

9.1.3 Rensetiltak og hydrotekniske tiltak

Siden reduksjon i jordas fosforstatus er et langsiktig tiltak, kan det i tillegg være behov for tiltak som har raskere effekt. Det er ulike renseløsninger for både overflate- og grøfteavrenning.

Åpen åker. Av tiltak som bremser overflatevann og fanger opp og holder tilbake allerede erodert materiale før det når vann, er det beregnet effekt av 6 meter brede **grasdekte kantsoner** på alt areal med korn, grønnsaker og potet (scenario 2, figur 9). Effekten er beregnet til ca. 24 % (150 kg) reduksjon i fosfortap for hele nedbørfeltet, og er omtrent lik (i prosent) i begge delfelt. Kantsoner omfatter her grasdekt kantsoner i åker, og representerer også andre liknende tiltak som kantsoner rundt nedløpskummer o.l. Det er også beregnet effekt av å kombinere stubb på kornareal og kantsoner på korn-, grønnsaks- og potetareal (scenario 3), som ga liten effekt i tillegg til å bare ha kantsoner, pga. at kornarealet er lite. Om en dessuten reduserer P-AL til < 14 mg/100 g på alt areal viser beregningene en reduksjon i fosfortap på 65 % (figur 9).

Det er også andre aktuelle grastiltak som reduserer erosjonsrisiko og holder tilbake allerede erodert materiale fra ovenforliggende areal. **Grasstripe i åker** anlegges på tvers av fallet i lange hellinger, og reduserer den effektive hellingslengden slik at det blir mindre overflateavrenning og erosjon. **Grasdekt vannvei** anlegges i søkk/forsenkninger (dråg), og reduserer risiko for erosjon i selve dråget i tillegg til å fange opp partikler som kommer inn med overflateavrenning fra tilførselsarealet til dråget. Effekten av grasdekte vannveier på jordtap henger sammen med hvor stor erosjon og jordtap det er i de aktuelle drågene. Tiltaket er dokumentert kun i et fåtall undersøkelser, og viser god evne til å redusere jordtap

(Lundekvam, upubl.; Fiener & Auerswald, 2003). Begge disse tiltakene kan kombineres med nedløpskummer for kontroll med overflateavrenning. Det er både lange hellinger og noen dråg på jordbruksarealene rundt Hålandsvatnet, men det var ikke innenfor rammene av prosjektet å kartlegge erosjon og beregne effekter av disse tiltakene fullt ut.

Grasareal. Et av de viktigste tiltakene på grasarealer er ugjødsla kantsoner. De bidrar til å redusere fosforavrenning ved at overflatevann infiltrerer i kantsonen. En kantson betyr samtidig at en unngår at gjødsel spres/havner rett i bekker og kanaler i nedbørfeltet. Et annet tiltak er å forhindre at dyr beiter for nært vannet ved f.eks. å avgrense med gjerder. Spredning av husdyrgjødsel om våren og i vekstsesongen vil dessuten bidra til at næringsstoffene utnyttes til plantevekst fremfor å tapes ved avrenning.

Sedimentasjonsdammer, renseparker og andre tekniske løsninger. Disse tiltakene fanger og holder tilbake partikler og næringsstoffer. Renseeffekten av fangdammer er i forskningsprosjekter målt til 45-75 % for partikler, 21-44 % for fosfor og 3-15 % for nitrogen for fangdammer som har en størrelse på 0,1-0,4 % av arealet til nedbørfeltet som drenerer til fangdammen (Hauge *et al.* 2008). Renseeffekten øker med fangdammens størrelse i forhold til nedbørfeltet. Det er mange ulike løsninger i nedbørfeltet til Hålandsvatnet og det er ikke mulig å kvantifisere effekten av hver enkelt type renseløsning. Slike lokale renseløsninger der erosjonsproblemene er størst anbefales. Det er dessuten viktig at slike løsninger vedlikeholdes, slik at effekten ikke reduseres over tid. Det anslås at de etablerte sedimentasjonsløsningene har redusert tap av partikkelbundet fosfor med 5-10 % på nedbørfeltbasis. Renseløsninger for de fosfortapene som skjer gjennom dreneringen direkte ut i Hålandsvatnet kan bestå av filtrering gjennom materialer som binder fosfor, men slike tiltak er i liten grad utprøvd i praksis og byr på utfordringer med hensyn til å få tilstrekkelig gjennomstrømning i filtermaterialet. Det har i dette prosjektet ikke vært mulig å gjøre en kartlegging og detaljert vurdering av potensialet for å etablere flere slike renseløsninger.

Hydrotekniske tiltak. Der det er problemer med at overflatevann forårsaker overflateavrenning og erosjon kan hydrotekniske tiltak være en løsning. Aktuelle tiltak er f.eks. nedløpskummer, kumdammer og avskjæringsgrøfter. Det er avgjørende at disse tiltakene utføres på riktig måte mht. beliggenhet, utforming og dimensjonering, hvis ikke kan de virke mot sin hensikt og i verste fall gi store erosjonsskader. Evt. ødelagte/ikke-fungerende anlegg bør repareres/oppgraderes. Det har i dette prosjektet ikke vært mulig å gjøre en detaljert vurdering av behovet for og effekter av hydrotekniske tiltak på jordbruksarealene rundt Hålandsvatnet.

9.2 Tiltak mot jordbrukets punktutslipp

Tiltak mot direkteutslipp fra punktkilder gjennomføres for å redusere næringsstofftilførslene fra veksthus og husdyrhold.

Det foreligger planer for resirkulering og oppsamling av gjødselvann fra veksthus der disse tiltakene ennå ikke er på plass. Planene må følges opp. For husdyrproduksjon kan det være aktuelt med en kartlegging av lekkasjer fra husdyrrom og gjødsellager for å fjerne eventuelle lekkasjer.

For å redusere fosfortilførsler fra beitearealer bør dyrene gjerdes borte fra åpent vann og fôrplasser plasseres langt unna bekken/elven. Lagring av rundballer bør skje med minst mulig risiko for lekkasje.

9.3 Tiltak for spredt og kommunalt avløp

Spredt avløp

I temaplan for tilknytning til offentlig avløp for nord-Jæren rensedistrikt legges det opp til at samtlige boliger rundt Hålandsvatnet skal tilknyttes offentlig avløp, og at disse står øverst på prioriteringslisten i fremdriftsplanen. Kun boliger der tilknytning viser seg uforholdsmessig dyr, vil få pålegg om å sende inn ny utslippstillatelse.

På dette grunnlaget har vi valgt å beregne et scenario der alle private avløpsanlegg er sanert, og husstandene er tilknyttet offentlig avløpsnett. lekkasje i ledningsnettet etter tilknytningen er anslått til 1 % pr. husstand, se nærmere beskrivelse i avsnittet om kommunalt avløpsnett.

Etter dette tiltaket er totale tilførsler (lekkasjer) fra de 29 husstandene til Hålandsvatnet beregnet til 0,02 kg fosfor/år i Hålandsvatnet nord og 0,4 kg fosfor/år i Hålandsvatnet sør (tabell 8).

Tabell 8. Fosfortilførsler til Hålandsvatnet nord og sør etter tilknytting av alle husstander til offentlig avløpsnett.

Nedbørfelt	Før tiltak kg P/år	Etter tiltak kg P/år
Hålandsvatnet nord	1	0,02
Hålandsvatnet sør	32	0,4

Kommunalt avløp

Norsk Vann utarbeidet i 2017 en nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen. Her anbefales det en gjennomsnittlig fornyelsestakt for avløpsnettet på 1 % hvert år frem til 2040. I tillegg forutsettes det kontinuerlig utbedring av ledningsnettet basert på bl.a. lekkasjelytting og innvendig rørinspeksjon med kamera.

Det er vanskelig å tallfeste effekten av slike tiltak. I en tilsvarende utredning for Tunevannet i 2016 valgte man å benytte 0-2 % lekkasjer for ledningsnett bygget etter 1980. Et mulig scenario for Hålandsvatnet kan være at man klarer å redusere lekkasjene i spillvannsnettet til 1 %. I et slikt scenario vil P-utslippet fra lekkasjer bli 3,3 kg P/år fra Hålandsvatnet nord og 2,8 kg P/år fra Hålandsvatnet sør, det vil si ca. 6 kg P/år mot 20 kg P/år før tiltak.

9.4 Tilførsler før og etter tiltak for alle kilder

Nødvendig reduksjon i fosfortap er beregnet til ca. 460 kg for å nå målet om å holde fosfortilførslene under 270 kg. Tiltak for reduksjon av utslipp fra kommunalt og spredt avløp er beregnet til 47 kg fosfor. Det betyr at arealavrenning fra jordbruksarealene må reduseres med ca. 410 kg. Ifølge beregningene er det vanskelig å oppnå dette uten betydelig reduksjon i jordas fosforstatus (P-AL). Med scenario 7 (figur 9), der P-AL reduseres til 14 mg/100 g, alt kornareal overvintres i stubb og det anlegges kantsoner på åpen åker, kommer man rett i nærheten av målet. Skal man komme under målet, kan P-AL reduseres til 10 mg/100 g, samtidig som andre tiltak gjøres (scenario 8). Uten andre tiltak ser det ut til at en kan oppnå målet ved å redusere P-AL enda mer (scenario 6). Reduksjon av P-AL er et langsiktig tiltak. Det er estimert å ta minimum 20 år å redusere P-AL fra > 20 til ca. 10 (Øgaard et al. 2016).

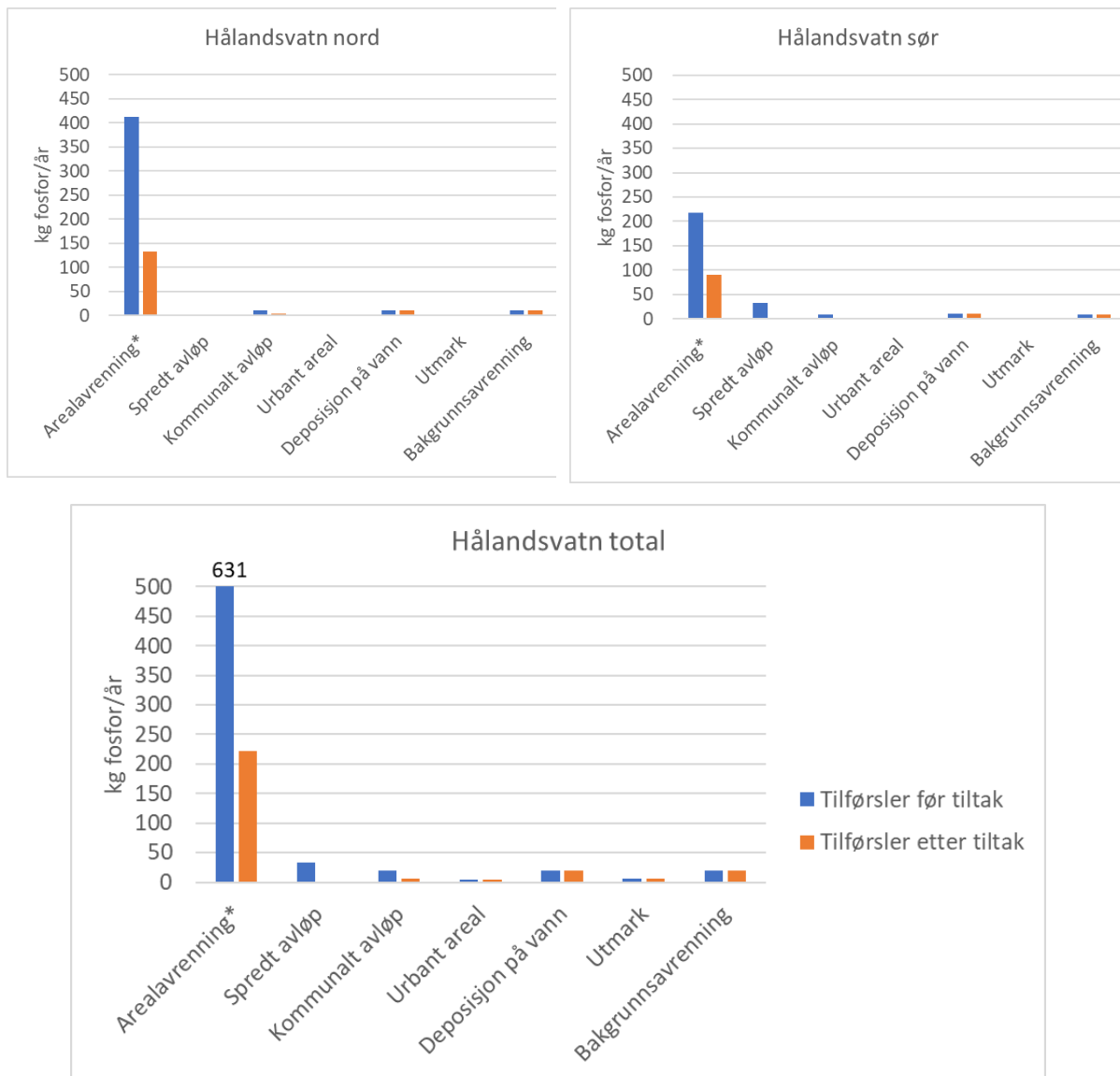
Reduksjon i jordbrukets punktutslipp fra veksthus- og husdyrproduksjon vil også bidra til å redusere fosfortilførslene til innsjøen, men størrelsen på denne reduksjonen er ikke kvantifisert.

Tabell 9 og figur 10 viser totale fosfortilførsler for ulike kilder før og etter gjennomføring av utvalgte tiltak (scenario 7 for arealavrenning fra jordbruksareal) som anslås å gi tilnærmet tilstrekkelig reduksjon i tilførslene. Tallene gir kun et anslag for tiltakseffekter, og gir en indikasjon på om hvor mye og hvilke tiltak som bør gjennomføres for å nå målet. Det er mange usikkerheter i tall og beregninger brukt i dette prosjektet, det er flere tiltak som det ikke er beregnet effekter av her, og en del tiltak har man fortsatt begrenset kunnskap om effektiviteten av.

Tabell 9. Beregnede fosfortilførsler fordelt på kilder, før og etter tiltak (utvalgt scenario 7 for arealavrenning fra jordbruk).

Kilde	Tilførsler før tiltak			Tilførsler etter tiltak		
	Nord kg TP/år	Sør kg TP/år	Total kg TP/år	Nord kg TP/år	Sør kg TP/år	Total kg TP/år
Arealavrenning*	413	217	631	132	90	222
Punktutslipp jordbruk	-	-	-	-	-	-
Spredd avløp	1	32	33	0,02	0,4	0,42
Kommunalt avløp	11	9	20	3,3	2,8	6,1
Urbant areal	3	2	5	3	2	5
Deposisjon på vann	10	10	20	10	10	20
Utmark	3	3	6	3	3	6
Bakgrunnsavrenning	11	9	20	11	9	20
Totalt	452	282	734	162	117	279

*Fulldyrka, overflatedyrka og innmarksbeite



*Fulldyrka, overflatedyrka og innmarksbeite

Figur 10. Beregnede fosfortilførsler fordelt på kilder, før og etter tiltak (utvalgt scenario 7 for arealavrenning fra jordbruk).

9.5 Innsjøinterne tiltak

Det er liten tvil om at det fosforrike sedimentet i Hålandsvatnet bidrar vesentlig til de kraftige algeoppblomstringene en har sett her de siste årene. Å redusere fosfortilførslene fra nedbørfeltet til nivået som er foreslått i denne rapporten vil ventelig gi god økologisk tilstand i innsjøen i en tilstand av likevekt, men på grunn av interngjødsling kan det ta lang tid før dette oppnås (Jeppesen *et al.* 2005). Rippey *et al.* (2021) anslår at det generelt må ventes å ta mellom ett og tre tiår for innsjøer der interngjødsling er av betydning.

Som omtalt i avsnitt 9.1 er tiltaket som gir størst effekt å redusere fosforgjødsling på jordbruksarealene for å oppnå lavere P-AL-tall i jorda. Men det vil ta lang tid å oppnå redusert P-AL, kanskje flere tiår (Øgaard *et al.* 2016), som også betyr at det tar lang tid å oppnå tiltenkt reduksjon av tilførslene fra nedbørfeltet.

For Hålandsvatnet kan dette gjøre det aktuelt å gjennomføre innsjøinterne tiltak i tillegg til tiltakene i nedbørfeltet, for å oppnå raskere respons i innsjøen. Mulige innsjøinterne tiltak er vurdert og foreslått (Molversmyr 2019; Molversmyr *et al.* 2020b), og det som ble ansett som mest egnet er bruk av en lantanmodifisert bentonitt som vil binde fosfor i sedimentet og hindrer at dette lekker ut i vannmassene. Gjennomført på optimal måte ventes et slikt tiltak å gi rask effekt, og ha virkning over flere år. Et slikt tiltak vil være kostbart, men vil kanskje være nødvendig for at en skal kunne oppnå ønsket forbedring i Hålandsvatnet innen rimelig tid. Men dette vil ikke alene være noen løsning på eutrofieringsproblemene, og tilførslene fra nedbørfeltet må reduseres i tilstrekkelig grad for at Hålandsvatnet skal kunne oppnå varig god økologisk tilstand.

10 OPPSUMMERING

De viktigste funnene/forholdene kan oppsummeres som følger:

- Hålandsvatnet i Stavanger og Randaberg kommuner har svært dårlig økologisk tilstand, og overgjødsling medfører årvisse masseforekomster av cyanobakterier og høyt innhold av toksiner som disse produserer. NIBIO og NORCE har i samarbeid gjennomført utredningen med målsetning om å beregne tilførsler og avlastningsbehov for innsjøen.
- Vanntilførselen er liten i forhold til innsjøvolumet, og lav vanngjennomstrømming gjør at det er lite som skal til av næringstilførsler før det oppstår eutrofieringseffekter i innsjøen.
- Gjennom de siste 20 årene har det i nedbørfeltet vært en liten nedgang i åpenåker areal med tilsvarende økning i eng/beite, mens endring i spredt mengde husdyrgjødsel og fosfortall i jorda ikke viser entydig endring i perioden.
- Matjordas gjennomsnittlige fosforstatus er høy på jordbruksarealene i nedbørfeltet, noe som har betydning for fosforavrenningen. Beregningene viser at arealavrenning fra jordbruket er den største kilden til fosfor i innsjøen.
- Arealet med grønnsaker og potet er beregnet å bidra med rundt 50 % av de totale fosfortilførslene fra nedbørfeltet. Herav kommer om lag 80 % fra den nordlige delen av nedbørfeltet, der arealet med potet- og grønnsaker er størst. Spredt og kommunalt avløp bidrar også med fosfor til innsjøen. Totalt utgjør disse kildene ifølge beregningene 7 % av de totale tilførslene.
- Store fosfortilførsler over tid har ført til at sedimentet i innsjøen er svært fosforrikt, og mye av fosforet finnes på former som lett kan mobiliseres og løses ut i vannmassene. Det er betydelige mengder fosfor som må forventes å kunne frigjøres fra sedimentene, kanskje opptil i størrelsesorden 1000-1500 kg P/år, der bidrag fra gruntliggende sedimenter vil dominere. Fosforfrigjøringen skjer i hovedsak om sommeren, og bidrar da til de store algeoppblomstringene som observeres.
- Til tross for betydelige interne fosfortilførsler er det begrenset hvor mye fosfor som tapes fra innsjøen via utløpet. Massebalanseberegninger indikerer at ca. 65 % av fosforet som årlig tilføres fra nedbørfeltet holdes tilbake i innsjøen. Hålandsvatnet ser dermed ut til å opptre relativt normalt

med tanke på hvor mye av det årlig tilførte fosforet som blir holdt tilbake. Dette betyr at fosforet som frigjøres fra sedimentet i all hovedsak vil havne tilbake i sedimentet igjen, og inngår primært i en syklus internt i innsjøen.

- Det er estimert at fosfortilførslene fra nedbørfeltet til Hålandsvatnet bør begrenses til 270 kg P/år for at det på sikt skal kunne oppnås god økologisk tilstand i innsjøen. Det er dermed store tilførselsreduksjoner som må til, om lag 460 kg P/år – tilsvarende 63 % av dagens antatte tilførsler, for å oppnå miljømålet for innsjøen.
- Tiltak for 29 spredte boliger og på kommunalt ledningsnett vil kunne redusere fosfortilførsler med om lag 46 kg P/år, som tilsvarer 7 % av tilførslene.
- Det er meget høye fosfortall i jorda i sør, og ekstremt høye fosfortall i jorda i nord, særlig på grønnsaksarealene. Dette medfører høy risiko for tap av både løst og partikkelbundet fosfor. 80 % av jordprøvene har så høy fosforstatus at det ikke er behov for fosfor dersom det dyrkes korn eller gras. Tiltaket som gir størst effekt på fosfortallene i jorda, vil derfor være å redusere fosforgjødsling på jordbruksarealene. Om jordas fosforstatus f.eks. reduseres til 14 mg P-AL/100 g på areal der dette nivået overskrides, kan det redusere fosfortapet fra fulldyrka og overflatedyrka jord med ca. 50 % (340 kg P/år).
- Aktuelle tiltak for å redusere jordas fosfortall, og dermed tilførslene til Hålandsvatnet kan være; ikke gjødsle med mer fosfor enn det som fjernes med avling, unngå import av husdyrgjødsel til nedbørfeltet, sørge for at husdyrgjødsel fraktes ut av nedbørfeltet for spredning annet egnet sted, ta i bruk fosforfri mineralgjødsel, unngå bruk av husdyrgjødsel på korn- og grasarealer, andel areal med fosforkrevende vekster kan reduseres samtidig som andel grasareal økes.
- Aktuelle tiltak for å redusere erosjon fra åpen åker er; ingen jordarbeiding om høsten, grasdekte vannveier og kantsoner mot vassdrag og rundt kummer, samt fangvekster på grønnsaksareal. Disse tiltakene er beregnet å kunne redusere tilførslene av fosfor med minimum 24 %, eller om lag 150 kg P/år.
- Aktuelle tiltak på grasarealene er ugjødsla kantsoner, og spredning av husdyrgjødsel kun om våren og i vekstsesongen. Slike tiltak er ikke kvantifisert i denne rapporten.
- Aktuelle tiltak mot utslipp fra punktkilder er; resirkulering og oppsamling av gjødselvann fra veksthus, kartlegging av lekkasjer fra husdyrrom og gjødsellager for å fjerne eventuelle lekkasjer, hindre at dyr beiter for nært vannet ved å avgrense med gjerde, samt lagring av rundballer med minst mulig risiko for lekkasje. Slike tiltak er ikke kvantifisert i denne rapporten.
- Renseløsninger (sedimentasjonsdammer, renseparker etc.) for å redusere fosfortapene som skjer gjennom dreneringen direkte ut i Hålandsvatnet kan i tillegg til sedimentasjonsbassenger bestå av filtrering gjennom materialer som binder fosfor. Slike tiltak er i liten grad utprøvd i praksis, og kan by på utfordringer med å få tilstrekkelig gjennomstrømning i filtermaterialet. I dette prosjektet har det ikke vært mulig å gjøre kartlegging og detaljert vurdering av potensialet for å etablere flere slike renseløsninger.
- Nærmere kartlegging av punktkilder direkte i nedbørfeltet anbefales.
- Å oppnå redusert P-AL i jorda vil ta lang tid, som betyr at det tar lang tid å oppnå tiltenkt reduksjon av tilførslene fra nedbørfeltet. Interngjødsling fra innsjøsedimentene vil dessuten motvirke endringer som forventes når tilførsler fra nedbørfeltet reduseres, og i tilfeller som Hålandsvatnet tar det ofte lang tid (flere tiår) fra tiltak i er gjennomført med tilsiktede tilførselsreduksjoner til det oppnås forventet effekt i innsjøen.
- For Hålandsvatnet kan det være aktuelt å gjennomføre innsjøinterne tiltak i tillegg til tiltakene i nedbørfeltet, for å oppnå raskere respons i innsjøen. Mulige tiltak er vurdert og foreslått i tidligere rapporter, og gjennomført på optimal måte kan slike tiltak gi rask effekt og ha virkning over flere år. Men dette vil ikke i seg selv løse eutrofieringsproblemene, og tilførslene fra nedbørfeltet må reduseres i tilstrekkelig grad for at varig god økologisk tilstand skal kunne oppnås.

11 REFERANSER

- Bechmann, M., S. Kværnø, S. Turtumøygard, S. Haande & L.M. Poverud, 2016. Evaluering og revidering av tiltaksanalyse for Tunevann. *NIBIO Report 2(115)*.
- Bechmann, M., Stenrød, M., Kværnø, S.H., Eggstad, H.O. 2021. Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Sammenholdsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992-2019. *NIBIO Rapport 7(135)*.
- Brod, E., M. Bechmann & A.F. Øgaard, 2017. Løst fosfat i jordbruksavrenning – forskjell mellom driftssystemer. *Vann 52/01: 47-56*.
- Cooke, G.D., E.B. Welch, S. Peterson & S.A. Nichols, 2005. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. CRC press, Boca Raton.
- Direktoratsgruppen vandndirektivet, 2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiserings-system for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Direktoratgruppen for gjennomføring av vannforskriften, Veileder 02:2018. (<https://www.vannportalen.no/veiledere/klassifiseringsveileder/>).
- Eggen, T., C. Escudero, N. Værøy & A. Hauge, 2018. Organisk innhold i innsjøsediment og tiltak for å redusere bidrag til eutrofiering. NIBIO, rapport 4/88/2018.
- Fiener, P. & K. Auerswald, 2003. Effectiveness of grassed waterways in reducing runoff and sediment delivery from agricultural watersheds. *J. Environ. Qual. 32: 927-936*.
- Hauge, A., A.G.-B. Blankenberg & O.S. Hanserud, 2008. Evaluering av fangdammer som miljøtiltak i SMIL. *Bioforsk-rapport 3(140)*.
- Hupfer, M., K. Reitzel & B. Grüneberg, 2020. Methods for Measuring Internal Loading. In: Steinman, A.D. & B.M. Spears (Eds.), *Internal Phosphorus Loading in Lakes - Causes, Case Studies, and Management*, pp 15-43. J.Ross Publishing, USA.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, J.P. Jensen, m.fl., 2005. Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biol. 50: 1747-1771*.
- Kolle, S.O. & M. Oguz-Alper, 2020. Bruk av gjødselressurser i jordbruket 2018. *SSB-rapport 2020/9*.
- Khorasani, H. & Z. Zhu, 2021. Phosphorus retention in lakes: A critical reassessment of hypotheses and static models. *J. Hydrol. 603, 126886*.
- Kværnø, S., S. Turtumøygard, H. Grønsten & M. Bechmann, 2014. Modellverktøy for beregning av jord- og fosfortap fra jordbruksdominerte områder. *Bioforsk rapport 9(108)*.
- Kværnø, S., S. Turtumøygard, M. Bechmann, A. Engebretsen & D. Krzeminska, 2019. Tiltaksanalyse for vannregion Glomma. *NIBIO rapport 5(173)*.
- Lovdate, 2006. Forskrift om rammer for vannforvaltningen. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446#KAPITTEL_12.
- MacIntyre, S., 2018. Mixing Dynamics: From Hutchinson to the 21st Century. International Society of Limnology, 34th Congress, Nanjing, China, Plenary lecture 20.8.2018.
- Molversmyr, Å., 2010. Undersøkelser av sedimentene i Hålandsvatnet. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2010/114*.
- Molversmyr, Å., 2016. Overvåking av Jærvassdrag 2015 – Datarapport. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2016/025*.
- Molversmyr, Å., 2019. Innsjøinterne tiltak i Hålandsvatnet – vurdering av muligheter og effekter. *NORCE Norwegian Research Centre AS, rapport 021-2019*.
- Molversmyr, Å. & T. Andersen, 2006. Kartlegging og vurdering av interngjødsling i Frølandsvatnet. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2006/017*.
- Molversmyr, Å. & M.A. Bergan, 2011. Overvåking av Jærvassdrag 2010 – Datarapport. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2011/052*.

- Molversmyr Å. & S. Sanni, 1990. Hålandsvatnet – resipientundersøkelse. *Rogalandsforskning, rapport RF-28/90*.
- Molversmyr, Å., S. Schneider, H. Edvardsen, H.M. Berger & M.A. Bergan, 2012. Overvåking av Jærvassdrag 2013 – Datarapport. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2013/030*.
- Molversmyr, Å., S.-E. Gabrielsen, C. Postler, S.W. Hereid & K.Ø. Våge, 2020a. Overvåking av innsjøer og elver i Jæren vannområde 2019. *NORCE Norwegian Research Centre AS, rapport Miljø 3-2020*.
- Molversmyr, Å., L. Moodley & A. Le Tressoler 2020b. Innledende laboratorie-undersøkelser knyttet til mulig bruk av Phoslock® for å bedre tilstanden i Hålandsvatnet. *NORCE rapport, Miljø 12-2020*.
- Molversmyr, Å. & S.W. Hereid, 2021. Overvåking av innsjøer og elver i Jæren vannområde 2020. *NORCE Norwegian Research Centre AS, rapport Miljø 3-2021*.
- Molversmyr, Å. & S. Sanni, 1990. Hålandsvatnet. Resipientundersøkelse. *Rogalandsforskning, rapport RF-28/90*.
- Nadelyaeva, Y., 2018. Implication of forms and distribution of phosphorous in sediments of three Stavanger lakes and ponds of constructed wetland on the potential for sedimentary phosphorous release and future eutrophication. *Universitetet i Stavanger, Masteroppgave, Vårsemesteret 2018*.
- Nunoo, R., P. Anderson, S. Kumar & J.-J. Zhu, 2020. Margin of safety in TMDLs: natural language processing-aided review of the state of practice. *Journal of Hydrologic Engineering 25 (4), art. no. 04020002*.
- Nürnberg, G., 1998. Prediction of annual and seasonal phosphorus concentrations in stratified and polymictic lakes. *Limnol. Oceanogr. 43: 1544-1552*.
- Nürnberg, G., 2020. Internal Phosphorus Loading Models: A Critical Review. In: Steinman, A.D. & B.M. Spears (Eds.), *Internal Phosphorus Loading in Lakes - Causes, Case Studies, and Management*, pp. 45-62. J.Ross Publishing, USA.
- Rippey, B., J. Campbell, Y. McElarney, J. Thompson & M. Gallagher, 2021. Timescale of reduction of long-term phosphorus release from sediment in lakes. *Water Res, 200, article 117283*.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke & B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature, 413(6856): 591-596*.
- Storberget, I.U & A.B. Larsen, 2020. Rapport og tiltaksforslag for å redusere landbruksavrenning til Hålandsvatnet - Del 1 og 2. *Stavanger kommune, Park og vei, rapport datert 12.08.2020*.
- Stølen, M.T.R, 2020. A phosphorous mass-balance and implications of sedimentary phosphate release in lake Hålandsvatn. *Universitetet i Sør-Øst Norge, Masteroppgave, 2019-2020*.
- Turtumøygard, S. & G. Hensel, 2021. WebGIS avløp – Fagsystem for avløp fra private renseanlegg. *NIBIO-pop 7(31)*.
- Øgaard, A.F., A. Ø. Kristoffersen & M. Bechmann, 2016. Utredning av forslag til forskriftskrav om tillatt spredemengde av fosfor i jordbruket. *NIBIO rapport 2(131)*.

VEDLEGG 1

Modeller for beregning av jord- og fosfortap

Tilpasning av modellen Agricat2

Beregning av tap av jord og partikkelbundet fosfor fra nedbørfeltet til Hålandsvatn er beregnet ved hjelp av Agricat 2 (Kværnø m. fl. 2014). Det er gjort noen tilpasninger og videreutvikling av modellen som beskrevet herunder sammen med anvendte datakilder.

Jordarbeidingsfaktoren er en funksjon av vekst og erosjonsrisiko. Vårkorn med høstpløying har jordarbeidingsfaktor lik 1, og potet og grønnsaker har jordarbeidingsfaktor lik 1,2. For vårkorn med stubb, gras, og frukt/bær, er jordarbeidingsfaktorene funksjoner av erosjonsrisikoen, med større reduksjon i jordtap sammenliknet med høstpløying jo høyere erosjonsrisikoen er. I dette prosjektet har vi vurdert om nåværende jordarbeidingsfaktor for potet og grønnsaker (Kværnø m.fl. 2014) burde modifieres, men vi har ikke funnet empirisk grunnlag for å gjøre det. Det er gjort en del forsøk med måling av erosjon og fosfortap fra arealer med korn og gras, og datagrunnlaget for disse vekstene er ganske bra. Derimot er det gjort få (om noen) forsøk med måling av erosjon og fosfortap fra potet- og grønnsaksarealer. Grønnsaker omfatter mange ulike produksjoner med ulik risiko for erosjon og fosfortap. Med en stor andel salat i nedbørfeltet vil det være såing og gjødsling mange ganger i løpet av sesongen, noe som kan bidra til økt risiko for erosjon og fosfortap (Storberget og Larsen, 2020). Beregningene i modellen vil være forholdsvis usikre når det gjelder erosjon og fosfortap fra arealer med potet og grønnsaker.

Modellen beregner renseeffekten for kantsone i åker som en funksjon av kantsonens bredde med 6 meter som standard.

Renseeffekten for sedimentasjonsdam i modellen er en funksjon av forholdstallet mellom dammens størrelse og størrelsen på nedbørfeltet til dammen. Sedimentasjonstiltakene i nedbørfeltet til Hålandsvatn har ulike utforminger og omtales som sedimentasjonsdam, rensepark, tiltak rundt kum og voll. På grunn av de ulike utformingene og usikkerhet om dammenes størrelse er funksjonen erstattet med en konstant renseeffekt for partikler på 60 %, basert på Braskerud (2008).

Anrikningsfaktoren er i dette prosjektet økt til det dobbelte for $P\text{-AL} > 15 \text{ mg}/100 \text{ g}$ i forhold til Kværnø m. fl. (2014). Denne endringen er basert på nye analyser av sammenhenger mellom $P\text{-AL}$ og tap av partikkelbundet fosfor i JOVA-felt (upubliserte data).

Følgende datakilder er brukt i beregningene i Agricat 2:

Kart over nedbørfeltgrenser er tegnet opp av NIBIO i samarbeid med Randaberg og Stavanger kommuner (A.G.B. Cazon og K.H. Bringedal).

Erosjonsrisikokart er ikke tilgjengelig fordi området kun er jordsmonnkartlagt med forenklet metode. Erosjonsrisikokart er laget for dette prosjektet ved bruk av:

- Jordsmonnkart uten erosjonsrisiko (lastet ned fra Kilden, NIBIO), som gir kartfigurer som kan brukes som beregningsenheter, samt informasjon om moldinnhold i jorda og teksturklasse (sistnevnte var ikke tilgjengelig per nedlastingsdato, men ble tilsendt av S. Svengård-Stokke ved NIBIOs Divisjon for kart og statistikk).
- Erosjonsrisikokart for nærliggende områder og tilhørende mer detaljerte data fra NIBIOs jordsmonndatabase, for beregning av topografiuavhengig erosjonsrisiko for aktuelt klima og

jordsmonn. Jordtap ved overflateavrenning er beregnet til ulike verdier for ulike kombinasjoner av teksturklasse og moldklasse.

- Digital terrengmodell for å beregne hellingsgrad (Kartverket, hoydedata.no), for videre beregning av topografiavhengig erosjonsrisiko. Det er brukt en standard hellingslengde lik 100 m i beregningene.

Drågerosjon er anslått til samme nivå som flate-/rilleerosjon og er inkludert for kartfigurer der det er vurdert sannsynlig at drågerosjon kan oppstå. Vurderingen er basert på drågerosjonskart og markfuktighetskart fra NIBIO. Estimater er meget usikkert. Det er videre antatt at jordarbeidingsfaktorene for flate-/rilleerosjon kan brukes også for drågerosjon.

Med denne metoden blir erosjonsrisiko ved høstpløying for flate-/rilleerosjon og jordtap gjennom grøftene i størrelsesorden 8 – 279 kg/daa for arealene i nedbørfeltet til Hålandsvatn. Arealveid gjennomsnittlig erosjonsrisiko ved høstpløying er beregnet til 58 kg/daa i Hålandsvatnet nord, 48 kg/daa i Hålandsvatnet sør og 54 kg/daa i hele nedbørfeltet.

Eiendomskart med gårds- og bruksnummer hentes fra Kartverket (Matrikkeldata).

Informasjon om vekstfordeling hentes fra Landbruksdirektoratet (søknad om produksjonstilskudd og jordleieregisteret), korrigert ved å studere flybilder fra april 2020 og april 2021 (norgebilder.no). Merk at slike data blir til dels usikre, bl.a. pga. det mangler registerdata for en rekke eiendommer, og kan være vanskelig å identifisere vekster utfra flybilder, særlig når bildene er tatt før/under våronna. Merk også at jordleie er tatt høyde for i inputdataene til Agricat 2, mens jordleie ikke er inkludert i tidsseriene for trender i jordbruksdrift.

Kart over RMP-tiltak hentes fra Landbruksdirektoratet (eStil). Det var for 2020 ingen aktuelle RMP-tiltak som er relevante for beregninger av tap av partikler og partikkelbundet fosfor, verken ingen jordarbeiding om høsten på kornareal, fangvekst, grasdekt kantsone i åker eller grasdekt vannvei.

Sedimentasjonsdammer, sedimentasjonsvoller, renseparker og kumdammer er levert av Landbrukskontoret i Randaberg (A.G.B. Cazon). Informasjon er levert i form av et flybilde der plassering av disse tiltakene er tegnet inn. Tilførselsarealet til de enkelte anleggene er identifisert utfra kart over høydekoter, flybilde og vannlinjer, supplert med informasjon ved telefonkontakt med Landbrukskontoret.

Informasjon om fosforstatus i jord (P-AL) per driftsenhet er levert for perioden 2016-2020 av Landbrukskontorene i Randaberg og Stavanger kommuner (A.G.B. Cazon og S.D. Ulrich), som samlet inn dataene ved å ta direkte kontakt med gårdbrukere i nedbørfeltet, mens for tidligere år er data hentet fra Jordatabanken ved NIBIO. I Agricat 2 er det lagt inn så nye data som mulig, men supplert med eldre data dersom nyere data mangler. Noen steder er eksakt lokalitet der jordprøven er tatt, kjent. Der kartfiguren har bare ett prøvepunkt, får hele kartfiguren dette punktets P-AL-verdi. I kartfigurer med mer enn ett prøvepunkt, er det beregnet gjennomsnitt av alle prøvene innenfor figuren. Andre steder er det angitt én eller flere P-AL-verdier for hele eiendommen, uten stedfesting, og da er P-AL-verdi/gjennomsnitt av P-AL-verdier lagt inn i alle kartfigurer som tilhører den aktuelle eiendommen. Der det fortsatt ikke fins data, er det brukt gjennomsnitt av tilgjengelige data per produksjonssystem.

Løst fosfat-modell

Det er gjort et estimat på avrenning av løst fosfat, ved bruk av en annen empirisk modell som nylig er utviklet basert på data fra norske nedbørfelt, småfelt/skifter og ruteforsøk (Kværnø *m.fl.*, upubl.). Denne modellen beregner tap av løst fosfat fra jord, plantemateriale (utfrysing), og husdyrgjødsel (direktetap ved nedbørsepisoder). Beregninger er gjort for hver hovedproduksjon (gras, frukt/bær, korn, grønnsaker/potet) i begge delfelt (nordlig del og sørlig del). Modellen er også brukt til beregning av effekt av tiltaket redusert gjødsling.

Modellen for beregning av tap av løst fosfat bruker følgende inputdata:

Informasjon om fosforstatus i jord (P-AL) per driftsenhet. Se over for informasjon om datakilder. I denne beregningen brukes gjennomsnittlig P-AL per produksjon per delnedbørfelt, beregnet utfra inputdataene for P-AL til Agricat 2. Tallene for nordlig del er 21 mg/100 g for gras, 22 mg/100 g for frukt/bær, 44 mg/100 g for korn og 51 mg/100 g for grønnsaker og potet. Tallene for sørlig del er 21 mg/100 g for gras, 5 mg/100 g for frukt/bær, 22 mg/100 g for korn og 26 mg/100 g for grønnsaker og potet. I scenarier med tiltakseffekter er effekt av redusert gjødsling i løst fosfat-modellen beregnet ved å redusere P-AL til utvalgte nivåer (7, 10 og 14 mg/100 g).

Informasjon om husdyrtall og spredeareal per driftsenhet hentes fra Landbruksdirektoratet (søknad om produksjonstilskudd). Beregningen bruker gjennomsnittlig husdyrtetthet som input, som er 0,10 GDE/daa i nord og 0,27 GDE/daa i sør. Det er antatt at 80 % av husdyrgjødselmengden som spres på åpen åker moldes ned etter spredning, og det er antatt at 6 % av all husdyrgjødsel spres om høsten, resten i vekstsesongen (Kolle og Aguz-Alper, 2019). Det er antatt at det ikke spres husdyrgjødsel på areal med frukt og bær. Merk at husdyrtettheten *ikke* er endret ved beregning av tiltakseffekter som innebærer redusert gjødsling, da det ikke fins noen informasjon om bruk av mineralgjødsel i nedbørfeltet. Dermed mangler grunnlag for å vurdere hvor mye husdyrtettheten må reduseres for å oppnå et bestemt P-AL-nivå. Det gir litt underestimert effekt av tiltaket redusert gjødsling.

Total årsavrenning er satt lik gjennomsnittet for JOVA-feltene Time og Skas-Heigre, dvs. 731 mm/år.

Jord- og terrengfaktor. Dette er empiriske koeffisienter som gjenspeiler risiko for tap av løst fosfor grunnet jordas fysiske og kjemiske egenskaper, samt hellingsgraden. I nedbørfeltet er det hovedsakelig morenejord (jordfaktor = 0,007), og gjennomsnittlig hellingsgrad på jordbruksarealene er 5,8 % i nord og 6,2 % i sør (terrengfaktor = 1,5).

Herdighetssone er satt til H1. Denne brukes i beregning av utfrysing av fosfor fra plantemateriale.