

Norsk Vann: Kompetanseløftet for nitrogenfjerning

**Norsk Vann rapport C22/2026 Midlertidige løsninger for
nitrogenfjerning i eksisterende anlegg**



Norsk Vann rapport: C22/2026
ISBN nr: 978-82-414-0505-1

Aquateam COWI AS
Rapport nr: 25-023
Prosjekt nr: A295514-001

Prosjektleder: Renata Tomczak-Wandzel, PhD
Medarbeidere: Bjørn Rusten, Dr. Ing.
Hallvard Ødegaard, Prof. Em., SET AS
Jon G. Siljudalen, Siv.ing. Biowater Technology AS
Erik Johannessen, PhD, COWI AS
Eilen Arctander Vik, PhD

Aquateam COWI AS
Postboks 6412 Etterstad, 0605 Oslo
Karvesvingen 2, 0579 Oslo

Rapportnummer: 25-023

Tilgjengelighet: Åpen

www.aquateamcowi.no

Rapportens tittel	Dato
Norsk Vann: Kompetanseløftet for nitrogenfjerning	05.01.2026
Delprosjekt 2.2: Midlertidige løsninger for nitrogenfjerning i eksisterende anlegg	Antall sider og bilag
	17
Forfatter(e) sign.	Ansv. sign.
Renata Tomczak-Wandzel <i>Renata Tomczak-Wandzel</i>	Eilen Arctander Vik
Bjørn Rusten <i>Bjørn Rusten</i>	<i>Eilen A. Vik</i>
Erik Johannessen	Prosjektnummer
	A295514

Oppdragsgiver	Oppdragsgivers ref.
Norsk Vann	Elisabeth Lyngstad

Rapport versjon	Dato	Signatur
V1	05.01.2026	<i>Eilen A. Vik</i>

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	5
1. Bakgrunn-behov for midlertidige løsninger	6
2. Metoder for å øke N-fjerningen i eksisterende kjemiske anlegg.....	7
2.1. Fjerning av nitrogen i rejeftvann.....	7
2.1.1. Innpassing av biologisk nitrogenfjerning som et tilleggstrinn:.....	7
2.1.2. Oppgradering med biologisk nitrifikasjon og denitrifikasjon:	7
2.1.3. Ammoniakkstripping:	7
2.1.4. MAP – felling	7
2.2. Oppgradering av eksisterende kjemisk anlegg ved å legge til et nytt biottrinn	8
2.2.1. Nytt biottrinn før eksisterende kjemisk anlegg	8
2.2.2. Nytt biottrinn etter eksisterende kjemisk anlegg.....	8
3. Metoder for å øke N-fjerningen i eksisterende biologisk/kjemiske renseanlegg	10
3.1. Oppgradering av eksisterende biologisk/kjemiske sekundærrenseanlegg	10
3.1.1. Utvidelse av MBBR-anlegg med for- og etterdenitrifikasjon	10
3.1.2. Utvidelse av AS-anlegg til IFAS med for- og etter denitrifikasjon	10
3.1.3. Eksempel på trinnvis utbygging mot N-fjerning i eksisterende kjemisk anlegg (Søndre Follo Renseanlegg)	11
3.1.4. Mulige tiltak i anlegg med N-fjerning som ikke klarer eksisterende rensekrav	12
3.2. Prefabrikkerte og flyttbare løsninger for nitrogenfjerning	13
4. Sammendrag og konklusjoner	16

Forkortelser

Anammox	Anaerob ammoniumoksidasjon
AOB	Ammonium-oksiderende bakterier
AS	Aktivt slam
BOF	Biokjemisk oksygenbehov (5 dager)
CAS	Konvensjonelt aktivt slam
DAF	Flotasjonsprosess (Dissolved Air Flotation)
DAS	Fortettet (Densified) aktivt slam
DN	Denitrifisering
DN/A	Delvis nitrittering – Anammox
DO	Oppløst oksygen
IFAS	Integrert Fast-Film og Aktivt Slam
KOF	Kjemisk oksygenbehov
MABR	Membrane Aerated Biofilm Reactor
MAP	Magnesium-Ammonium-Fosfat
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
MBR	Membran Bioreaktor
NFRA	Nordre Follo Renseanlegg
NOB	Nitritt-oksiderende bakterier
RA	Renseanlegg
SBR	Satsvis biologisk rensing (Sequencing Batch Reactor)
SFRA	Søndre Follo Renseanlegg
TN	Totalt nitrogen
TP	Totalt fosfor

Sammendrag

Denne rapporten presenterer resultatene fra Norsk Vann prosjektet: Kompetanseløftet for Nitrogenfjerning, Delprosjekt 2.2. Midlertidige løsninger for nitrogenfjerning i eksisterende anlegg. Gjennomføringen av prosjektet inkluderte presentasjon på fagdagen

“Kompetanseløftet for nitrogenfjerning” som ble gjennomført i Oslo 28.10.2025.

Presentasjonen “*Midlertidige løsninger for nitrogen-fjerning i eksisterende anlegg*”, som ble holdt av Hallvard Ødegaard, er vedlegg 1 til denne rapporten.

Prosjektet skulle undersøke om det finnes noen midlertidige løsninger for å oppnå en reduksjon av nitrogen på 70%, som eksisterende anlegg kan benytte for å tilfredsstille kravet, frem til en permanent løsning er på plass (ombygd anlegg eller nytt anlegg).

- Det finnes ikke «enkle» midlertidige løsninger for nitrogenfjerning, som eksisterende anlegg kan benytte, for å klare kravet i forurensningsforskriften til 70% reduksjon frem til en permanent løsning er på plass.
- For avløpsrenseanlegg med en størrelse over 10 000 pe finnes det ingen alternative løsninger som kan tilby 70 % nitrogenfjerning, enten midlertidig eller permanent, som avviker fra eller er enklere enn de metodene som kreves for å oppnå rundt 80 % nitrogenfjerning. Med andre ord, det finnes ingen raske eller enkle løsninger («quick fix») for nitrogenreduksjon på dette nivået. For slike store anlegg må man derfor basere nitrogenfjerningen på velprøvde, teknisk krevende og godt integrerte biologiske og/eller kjemiske prosesser som sikrer høye renseeffekter. Dette innebærer at valg av nitrogenfjerningsstrategi må være gjennomtenkt og omfatte robuste løsninger.
- Det anses ikke bærekraftig å etablere midlertidige anlegg for nitrogenfjerning basert på eksisterende anlegg, enten de er kjemiske eller biologiske, fremfor å satse på bygging av permanente anlegg fra starten av. Midlertidige løsninger kan ofte innebære unødvendige investeringer, økt kompleksitet og høyere driftskostnader på sikt, i tillegg til miljømessige utfordringer. I stedet anbefales det å planlegge og bygge permanente renseanlegg, eventuelt gjennom en trinnvis utbyggingsstrategi, som sikrer en effektiv og langsiktig nitrogenfjerning. På denne måten oppnås en mer bærekraftig ressursbruk, bedre prosesskontroll og et mer stabilt renseresultat over tid. Dette vil imidlertid kreve at det gis realistiske tidsfrister.
- I spesielle situasjoner kan et midlertidig renseanlegg være den beste løsningen. Det finnes eksempler på kontainerbaserte løsninger hvor nitrogenfjerning for 10.000 pe vil kreve 12-15 containere totalt, til en budsjettpris på ca. 40 mill. NOK. Leverandørene jobber også med løsninger for leasing av slike midlertidige anlegg.
- I utgangspunktet er løsninger basert på midlertidige eller flyttbare anlegg kun aktuelt for de minste anleggene som kan få krav om nitrogenfjerning. For noe større, eksisterende nitrogenfjerningsanlegg, som er overbelastet og ikke klarer nåværende krav, kan det også være aktuelt. Som en midlertidig løsning for store anlegg, som er forsinket med sin utbygging til nitrogenfjerning, er det imidlertid ikke aktuelt, fordi det vil kreve altfor mange containere
- I eksisterende, kjemiske anlegg med råtnetanker kan man øke N-rense-effekten ved N-fjerning i rejeaktvannet – men ikke over ca. 50 %.

1. Bakgrunn - behov for midlertidige løsninger

Flere kommuner som er i brudd med gjeldende utslippstillatelse har fått varsel fra statsforvalter om tilknytningsstopp for anlegget fram til tilfredsstillende renseløsning er etablert. I tilfeller der det vil ta lang tid før oppgradert renseløsning eller nytt anlegg er på plass, medfører dette at det er et stort ønske om å vurdere midlertidige løsninger, slik at tilknytningsstopp kan unngås. Det vil også være kommuner som i dag ikke er i brudd, men som har fått varslet at de må ha nitrogenfjerning innen utgangen av 2030/2031, og hvor de ser at det ikke vil være mulig å få dette på plass innen fristen. Mange eksisterende anlegg planlegges nedlagt og vannet overføres til et nytt sentralt fellesanlegg. Disse vil da også få behov for en midlertidig løsning for det eksisterende anlegget, med mindre de får innvilget en utvidet frist.

I prosjektbeskrivelsen er det forutsatt at man skal ta utgangspunkt i kjemiske og biologisk/kjemiske anlegg (uten N-fjerning) som vil få krav om nitrogenfjerning. Dette gjelder anlegg i tettbebyggelser fra 10.000 pe med utslipp til et område som er sårbart for nitrogen, og omfatter nå anlegg med utslipp til Oslofjorden eller i nedbørfeltet til Oslofjorden. Kravet i forurensningsforskriften er 70% reduksjon av nitrogen, men det er forventet strengere krav ved gjennomføring av revidert avløpsdirektiv. Kravet i revidert avløpsdirektiv er 80 % N-fjerning eller en maksimal utløpskonsentrasjon på 8 mg Tot N/l for anlegg fra 150.000 pe (som årsmiddel). For anlegg i tettbebyggelser fra 10 000 pe med utslipp til et sårbart område, og anlegg fra 10 000 pe i nedbørfeltet til det sårbare området, er kravet 80% reduksjon eller en maksimal utslippskonsentrasjon på 10 mg Tot N/l. De fleste anlegg i Norge kommer inn under den sistnevnte kategorien. For spesielt følsomme resipienter kan det settes strengere krav.

I prosjektbeskrivelsen er det også forutsatt at man skal ta utgangspunkt i at de midlertidige løsningene skal oppnå 70 % N-fjerning som årsmiddel da dette er dagens krav i forurensningsforskriften. Ettersom det er tatt utgangspunkt i kun et %-krav vil innløpsvannets sammensetning (grad av fortynning) ha mye å si. Døgnmiddelverdien av Tot N i innløpsvann varierer mye fra anlegg til anlegg (30-60 mg Tot N/l) og også over året i ett og samme anlegg (f.eks. 13,0-74,8 mg Tot N/l ved NFRA i 2020). Vi anslår et årsmiddel over alle de aktuelle anleggene på 35-40 mg Tot N/l. Dersom den midlere innløpskonsentrasjonen er < 33,3 mg Tot N/l (som kanskje kan være typisk for mange anlegg langs kysten), vil et krav på 70 % være strengere enn kravet på 10 mg Tot N/l som er konsentrasjonskravet i revidert avløpsdirektiv. Det betyr at dagens krav i forurensningsforskriften på 70% reduksjon og konsentrasjonskravet i revidert avløpsdirektiv kan ligge svært nær hverandre.

Ettersom man sannsynligvis vil benytte de samme teknologier for et anlegg med 70 % N-fjerning som ved 80 %, er det ikke mye å spare på å etablere midlertidige løsninger for 70%. Det anses som lite bærekraftig å etablere en midlertidig løsning for 70% reduksjon av nitrogen på et anlegg som skal legges ned når det nye anlegget står ferdig. Det hadde kanskje hatt mer for seg om man satte det midlertidige kravet til 60 eller 50 %.

Dette prosjektet samlet og sammenstilte informasjon om **tilgjengelige midlertidige løsninger for nitrogenfjerning**, og erfaringer med slike. Det ble også innhentet erfaringer fra naboland. Prosjektet skulle ta utgangspunkt i et rent kjemisk anlegg og et som i dag har sekundærrensing og fosforfjerning, og som skal oppnå minst **70% reduksjon av nitrogen**.

Gjennomføringen av prosjektet inkluderte presentasjon på fagdagen "Kompetanseløftet for nitrogenfjerning" som ble gjennomført i Oslo 28.10.2025. Presentasjonen «Midlertidige løsninger for nitrogen-fjerning i eksisterende anlegg» som ble holdt av Hallvard Ødegaard, er vedlagt denne rapporten (vedlegg 1).

2. Metoder for å øke N-fjerningen i eksisterende kjemiske anlegg

2.1. Fjerning av nitrogen i rejektivann

I anlegg med kjemisk behandling (primærfelling eller sekundærfelling) fjernes partikler (TSS), fosfor, og partikulært og kolloidalt organisk stoff. Erfaringene viser at et kjemisk RA fjerner $\leq 30\%$ av Tot N. Rejektivann er det vannet som skilles ut fra slammet (etter avvanning eller sentrifugering). En vesentlig del av nitrogenbelastningen i anlegg med råtnetanker, kommer fra rejektivann-strømmen (ca. 20-25 %). Rejektivannet har typisk høy konsentrasjon av ammonium (ofte 500–1500 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$) og lavt innhold av organisk karbon. Ved retur direkte til det kjemiske renseanlegget vil i beste fall bare noe av det partikulære nitrogenet i rejektivannet bli fjernet og ikke noe $\text{NH}_4\text{-N}$.

Hvor høyt kan man komme i Tot-N fjerning ved kun å fjerne N i rejektivann-strømmen fra anlegg med råtnetanker? Det kan oppnås $< 50\%$ for et kjemisk RA. Det betyr at man kan ikke klare N-kravet ved kun å behandle slamvannet – men forbedre N-fjerningen noe.

Mulige løsninger for fjerning av nitrogen i rejektivann ved eksisterende kjemiske anlegg med råtnetanker:

2.1.1. Innpassing av biologisk nitrogenfjerning som et tilleggstrinn:

DN/A-teknologi (Delvis Nitrifikasjon/Anammox):

Hvis det er mulig å etablere et separat biologisk reaktortrinn for slamvannet, kan DN/A-prosessen være svært energieffektiv. Slamvannet nitrittifiseres delvis og reagerer deretter i anammox-reaktorer, som omdanner ammonium og nitritt til nitrogen-gass uten tilførsel av ekstern karbonkilde.

2.1.2. Oppgradering med biologisk nitrifikasjon og denitrifikasjon:

Krever tilførsel av organisk karbon siden slamvann har lite slikt selv. Dette kan håndteres ved tilsetning av ekstern karbonkilde (som metanol) eller ved å blande slamvannet med en vannstrøm med høy konsentrasjon av lett biologisk nedbrytbart organisk stoff (hvis tilgjengelig).

2.1.3. Ammoniakkstripping:

Ved å øke pH (for eksempel med kalktilsetning) og samtidig lufting kan ammonium fjernes som ammoniakk-gass, som så reagerer med f.eks. svovelsyre og gjenvinnes som ammoniumsulfat.

2.1.4. MAP – felling

MAP (Magnesium-Ammonium-Fosfat; $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – struvitt. MAP-felling innebærer å tilsette magnesium (Mg^{2+}) til avløpsvann/rejektivann slik at disse ionene reagerer og danner uoppløselige struvittkrystaller som felles ut. Denne prosessen kan brukes i avløpsrenseanlegg for å fjerne fosfor og ammonium fra avløpsvannet før det slippes ut i miljøet. Prosessen er i praksis ikke aktuell på et rent kjemisk renseanlegg. Fjerningen av nitrogen vil bli neglisjerbar fordi man bare fjerner 0,45 g N per g P. Kommunalt avløpsvann har ca. 7-10 ganger mer N enn P, og bare en del av denne P ender opp som struvitt. Det betyr at uten tilsetning av både magnesium og fosfor kan man teoretisk fjerne mindre enn 4 % av nitrogenet. Derfor er produksjon av struvitt kun aktuelt på renseanlegg med biologisk fosforfjerning. På slike bio-P anlegg bidrar MAP-felling til bærekraftig fosforhåndtering og resirkulering ved produksjon av et verdifullt gjødselprodukt.

2.2. Oppgradering av eksisterende kjemisk anlegg ved å legge til et nytt biotrinn

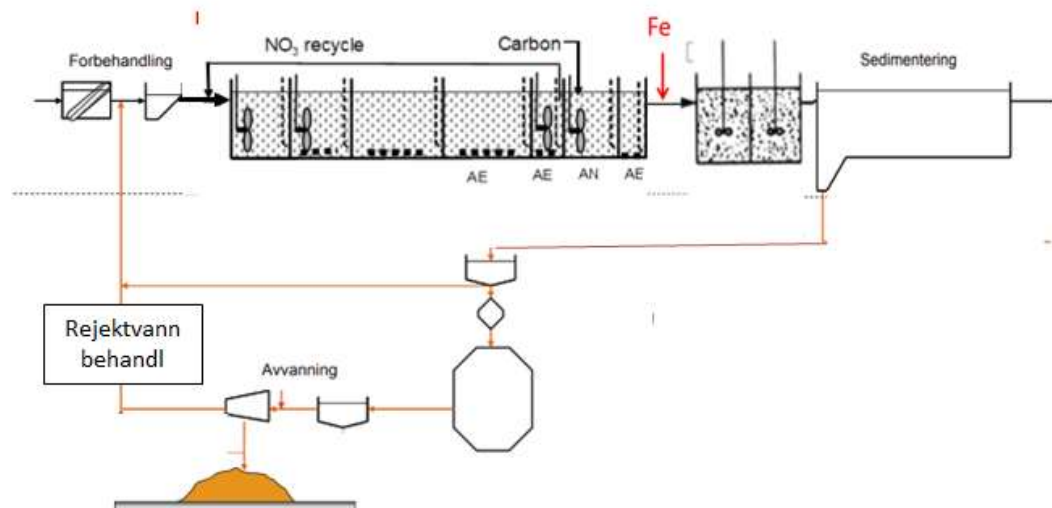
For å oppnå god nitrogenfjerning må man normalt innføre en biologisk prosess som fjerner nitrogen. Alternative løsninger ved utbygging av biotrinn:

2.2.1. Nytt biotrinn før eksisterende kjemisk anlegg

En løsning er å beholde kjemisk anlegg for etterseparasjon og bygge nytt biotrinn foran:

- Etter-DN (evt. kombinasjon av både for og etter DN) i MBBR-anlegg
- Etter-DN (evt. kombinasjon av både for og etter DN) i aktivslam-anlegg

Det vil også være verdt å vurdere separat rejektivannbehandling med DN/A prosess eller andre fysiske og kjemiske teknologier for anlegg som har rånetanker. Dette er skissert i figur 1 for et MBBR-anlegg.

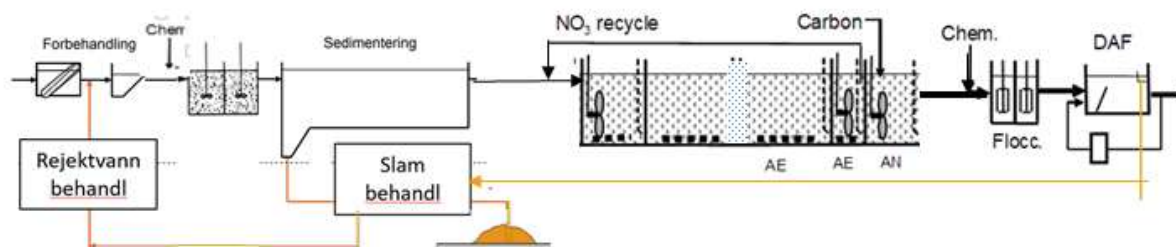


Figur 1. Nytt biologisk trinn (MBBR) med N-fjerning, plassert foran eksisterende kjemisk renseanlegg (SET AS).

2.2.2. Nytt biotrinn etter eksisterende kjemisk anlegg

MBBR med for- og etter-denitrifikasjon

Mesteparten (70%) av det organiske stoffet er fjernet i det kjemiske steget. Derfor blir lite karbonkilde tilgjengelig til for-DN. Som løsning kan man ha en sving-reaktor i første MBBR-steg som utnytter rest (løst) BOF etter felling til noe for-denitrifikasjon, og som kan kjøres aerobt ved lave temperaturer og tynt vann (om våren), se figur 2.

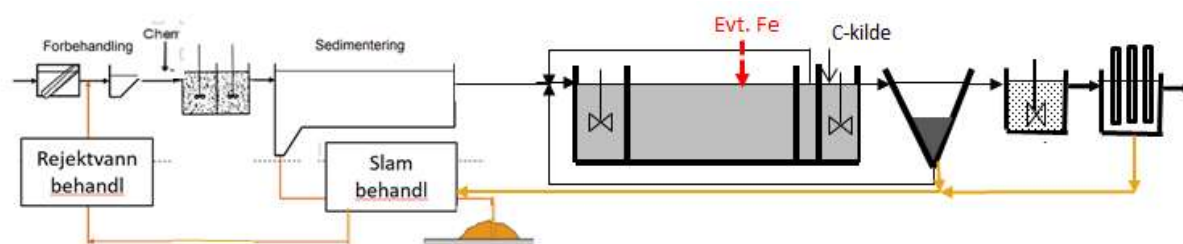


Figur 2. Nytt biologisk trinn (MBBR) med N-fjerning, plassert etter eksisterende kjemisk renseanlegg (SET AS).

Det er mulig å kombinere BOF-fjerning og nitrifikasjons prosessene i ett enkelt aerobt steg, så lenge dette er tilstrekkelig lavt belastet. Det betyr at mikroorganismer i det aerobe bassenget samtidig bruker oksygen til både å bryte ned organisk materiale (som gjør at BOF reduseres) og til å oksidere ammonium til nitrat (nitrifikasjon). Utfordringen er lav pH som følge av forfelling og nitrifikasjon – alkalitetskorrigerende kan bli nødvendig.

AS-anlegg med for- og etter-DN pluss simultanfelling eller bio-P

Eksisterende fellingsanlegg drives som primærrensing, uten felling. Eventuelt kan det drives med polymer-koagulering. Aktivslam-anlegget baseres på for- og etter-DN og med simultanfelling (evt. med anaerob selektor/bio-P). Slamseparasjonen vil vanligvis være basert på sedimentering (arealkrevende), alternativt ultrafiltrering (MBR). Ved strenge P-krav ($\geq 90\%$ fjerning) kan det være nødvendig med sluttfiltrering (skivefilter, sandfilter eller membranfilter). Denne løsningen er skissert i figur 3, med disk-filter til polering.



Figur 3. Nytt biologisk nitrogenfjerningstrinn, her basert på AS-anlegg med kombinert for- og etter-DN og simultanfelling, plassert etter eksisterende kjemisk renseanlegg (SET AS).

IFAS-anlegg med for- og etter-DN pluss simultanfelling eller bio-P

Dette er i prinsippet samme prosess som vist i figur 3, men i den aerobe delen av AS anlegget har man både biofilm (normalt MBBR) og AS. Dette gjør at reaktorvolumet reduseres og at det meste av nitrifikasjonen skjer i biofilmen, spesielt ved lave temperaturer.

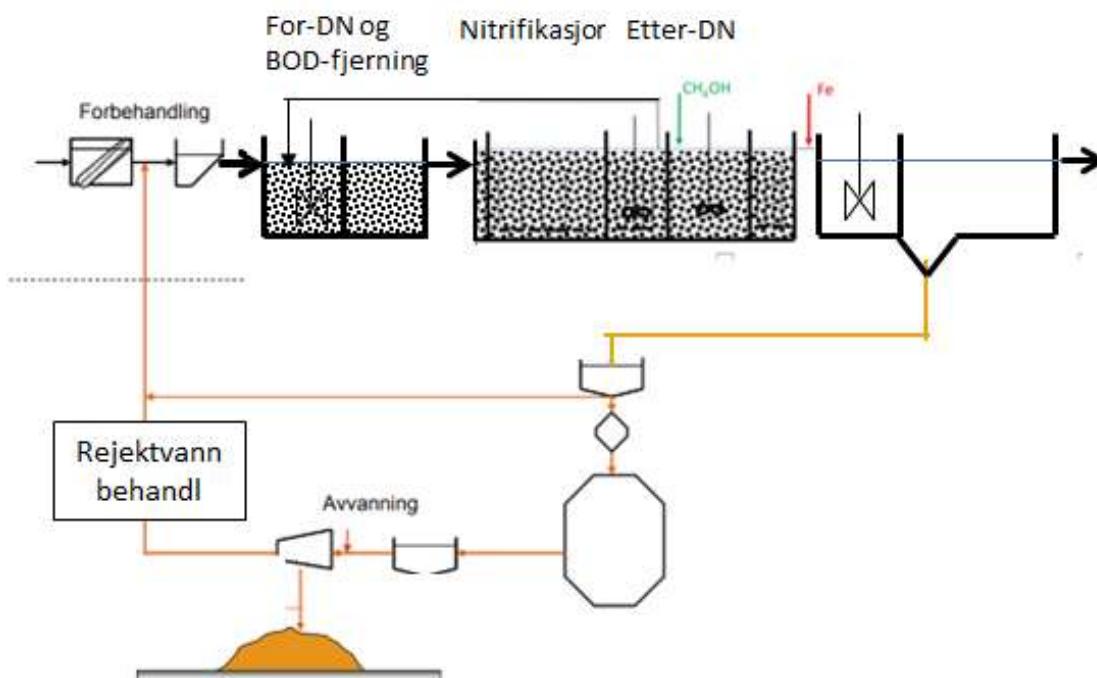
3. Metoder for å øke N-fjerningen i eksisterende biologisk/kjemiske renseanlegg

3.1. Oppgradering av eksisterende biologisk/kjemiske sekundærrenseanlegg

3.1.1. Utvidelse av MBBR-anlegg med for- og etterdenitrifikasjon

For å få til nitrogenfjerning i renseanlegget kan man bygge om eksisterende aerobe reaktorer slik at én reaktor brukes til for-denitrifikasjon (for-DN) og én reaktor til organisk stoff-fjerning (BOF-fjerning). I tillegg må det biologiske trinnet utvides med nye reaktorer som er dedikert til nitrifikasjon og etter-denitrifikasjon for å sikre effektiv omdanning av ammonium, først til nitrat og så til nitrogengass. Denne løsningen er skissert i figur 4.

Eksisterende flokkulering og separasjon, enten ved sedimentering eller flotasjon, beholdes som før, så lenge den hydrauliske kapasiteten i disse enhetene er tilfredsstillende. Hvis det er behov, kan man også sette inn et rejektivannbehandlingsanlegg for å håndtere ammoniakkrikt rejektivann fra slamavvanning. Totalt sett gir dette en prosess som optimaliserer både fjerning av organisk stoff og nitrogen, samtidig som eksisterende anleggselementer utnyttes best mulig.



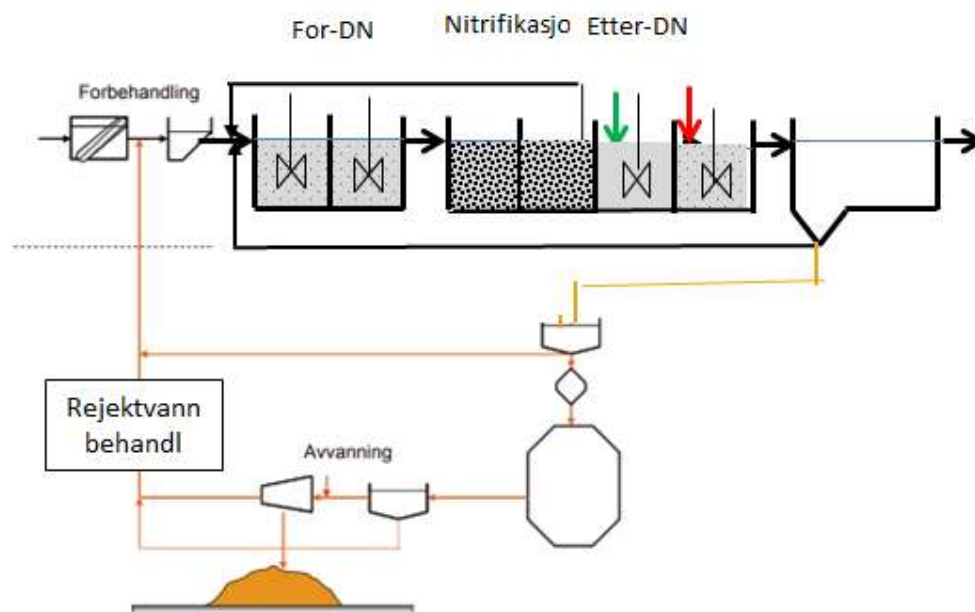
Figur 4. Utvidelse av MBBR anlegg fra sekundærrensing til nitrogenfjerning (SET AS).

3.1.2. Utvidelse av AS-anlegg til IFAS med for- og etter denitrifikasjon

For å forbedre nitrogenfjerningen i eksisterende AS renseanlegg anbefales det å bygge om de nåværende aerobe reaktorene til for-DN reaktorer. Samtidig bør det bygges nye reaktorer dedikert til nitrifikasjon og etter-DN. Etter-DN kan enten baseres på tilførsel av ekstern karbonkilde eller gjennom endogen etter-DN uten tilsetning av karbon.

I nitrifikasjonsreaktorene kan det vurderes å benytte biofilmbærere (IFAS prosess) for å øke nitrifikasjonskapasiteten og stabiliteten. Det eksisterende etter-sedimenteringsbassenget beholdes uendret, forutsatt at den hydrauliske kapasiteten fortsatt er tilfredsstillende for den aktuelle slamkonsentrasjonen og vannmengden. Dersom anlegget mottar rejektivann fra slambehandlingsprosesser, bør det vurderes å sette inn egen rejektivannbehandling for å redusere belastningen på hovedrenseprosessen.

Denne oppgraderingen gir en fleksibel og effektiv nitrogenfjerningsprosess med maksimal utnyttelse av eksisterende anleggsstruktur og er skissert i figur 5.



Figur 5. Utvidelse av AS anlegg fra sekundærrensing til nitrogenfjerning med IFAS prosess (SET AS).

3.1.3. Eksempel på trinnvis utbygging mot N-fjerning i eksisterende kjemisk anlegg (Søndre Follo Renseanlegg)

Søndre Follo Renseanlegg er et interkommunalt avløpsrenseanlegg som er plassert i Vestby kommune. Anlegget er designet for å behandle kommunalt avløpsvann og har som mål å beskytte det lokale miljøet, særlig fjord- og kystområdene. Anlegget er i dag et direktefellingsanlegg. For å oppnå nitrogenfjerning må renseanlegget bygges ut. Det er her vist tre alternativer for en mulig trinnvis utbygging mot nitrogengjerning for dette anlegget.

Alternativ 1

Bygg nytt biologisk nitrogenfjerningsanlegg foran det eksisterende kjemiske anlegget.

I dette alternativet etableres et nytt biologisk renseanlegg som håndterer nitrogenfjerningen foran det kjemiske anlegget for fosforfjerning og slamseparasjon. Det biologiske anlegget vil typisk bestå av nitrifikasjons- og denitrifikasjonsprosesser som fjerner nitrogenforbindelser biologisk. Etter at nitrogenfjerningen er utført, ledes vannet videre til det kjemiske anlegget for effektiv fjerning av fosfor via kjemisk felling og separasjon.

Alternativ 2

Behold eksisterende kjemisk anlegg uendret, og bygg nytt nitrogenfjerningsanlegg basert på etter-DN eller kombinert for- og etter-DN etter kjemisk trinn.

I dette alternativet gjennomføres kjemisk fjerning av fosfor og slamseparasjon som i dag, uten større endringer på kjemianlegget. Etter at vannet har gått gjennom det kjemiske steget, installeres et biologisk nitrogenfjerningsanlegg som baseres på etter-DN, eventuelt kombinert for- og etter-DN. Dette innebærer en eller flere anoksiske reaktorer som benytter nitrat fra nitrifikasjon tidligere i prosessen til å redusere nitrogen til N_2 -gass i et siste renseledd. Nedstrøms nitrogenfjerningsprosessen må det være et nytt separasjonstrinn. Alternativer her er sedimentering, flotasjon eller skivefilter.

Alternativ 3

Innføring av rejektivannbehandling som supplement i begge alternativer.

Uavhengig av hvilken av de to hovedalternativene som velges, kan det være gunstig å supplere med rejektivannbehandling. Rejektivannbehandling kan bidra til å:

- Redusere belastningen på hoved renseanlegget, særlig i forhold til ammoniumkonsentrasjon.
- Øke den totale nitrogen- og fosforrensekapasiteten.
- Gi bedre prosess-stabilitet og redusere risiko for høye utslipp.

Behandlingen kan skje ved biologiske metoder som nitrifikasjon/denitrifikasjon eller DN/A, evt. med ammoniakkavdriving eller inndamping i egne prosess-reaktorer.

3.1.4. Mulige tiltak i anlegg med N-fjerning som ikke klarer eksisterende rensekrav

Kommuner som har renseanlegg som er overbelastet og ikke klarer å oppfylle eksisterende utslippstillatelser kan få tilknytningsstopp. Dette kan få store økonomiske konsekvenser for kommunen. Det er derfor viktig å finne løsninger som kan øke renseanleggets kapasitet for nitrogenfjerning på kort sikt.

Optimalisering av de biologiske prosessene

For å øke nitrogenfjerningen kan man forsøke å optimalisere de biologiske prosessene som finnes i renseanlegget. Prosesskontrollen kan forbedres med sanntidsovervåking og justering via automatiserte systemer (pH, temperatur, DO, NH_4 , NO_x sensorer), som optimalisere f.eks. lufting og kjemikaliedosering. I nitrifikasjonsdelen kan man sørge for å justere pH slik at denne ligger i det optimale området. For biofilmreaktorer kan man også øke nitrifikasjonshastigheten ved å øke oksygenkonsentrasjonen i reaktorene. DN-hastighetene kan også økes ved at man f.eks. tilsetter ekstern karbonkilde til både for-DN og etter-DN reaktorer. Slike tiltak øker driftsutgiftene betydelig, men har for MBBR anlegg med nitrogenfjerning vist at man da kan overholde utslippskravene selv om anleggene belastes betydelig høyere enn hva de opprinnelig var dimensjonert for. Dermed kjøper kommunen seg tid, fram til et nytt eller utvidet renseanlegg blir ferdig.

I anlegg hvor det er enten bare nitrifikasjon eller bare DN som er flaskehalsen kan man også endre fordelingen mellom henholdsvis aerobe og anoksiske soner, for å få en bedre total utnyttelse av eksisterende volum.

Separat rensing av rejektivann fra avvanning av utråtnet slam

Separat fjerning av nitrogen fra rejektivannet (omtalt før) frigjør kapasitet i hovedrenseanlegget, slik at nitrogenfjerningskapasiteten totalt sett øker med ca. 20 %.

Endring av driftsstrategi

- Gå fra forsedimentering til forfelling. Dette kan etableres relativt enkelt ved å dosere fellingskemikalier foran sandfang og bruke sandfanget til flokkulering. Tiltaket gir større nitrifikasjonskapasitet, men krever mer fellingskemikalier og økt forbruk av ekstern karbonkilde.
- Gå fra for-DN eller kombinert for- og etter-DN til ren etter-DN. Dette frigjør for-DN reaktorene slik at disse kan kjøres aerobt og dermed øke nitrifikasjonskapasiteten betydelig. I etter-DN med ekstern karbonkilde er reaksjonshastigheten mye høyere enn i for-DN, slik at etter-DN reaktoren kan ha relativt lite volum. Forbruket av ekstern karbonkilde vil imidlertid øke.

Økning av biomasse i reaktorene

- Øke fyllingsgraden av biofilmbærere i MBBR anlegg. De fleste anlegg har i utgangspunktet noe lavere fyllingsgrader enn det som maksimalt kan brukes. Etterfylling av biofilmbærere opp til leverandørenes maksimalt anbefalte fyllingsgrader vil da være uproblematisk, men kan føre til noe økt energiforbruk for å opprettholde god omrøring i hele reaktorvolumet.
- Øke slamkonsentrasjonen i AS anlegg. Dette kan skje ved:
 - i) Granulering/densifisering, som kan øke slamkonsentrasjonen fra f.eks. 3 g TS/l til 6 g TS/l.
 - ii) Ombygging til MBR (membranseparasjon), som kan øke slamkonsentrasjonen fra f.eks. 3 g TS/l til 8 g TS/l.
 - iii) Omlegging til IFAS-prosess, som vil minst doble nitrifikasjonskapasiteten, men krever introduksjon av biofilmbærere og bygging av et silarrangement i IFAS-reaktorene.
 - iv) Bygge inn MABR (Membrane Aerated Biofilm Reactor) i aerobt steg. Dette blir da en effektiv nitrifikasjonsreaktor.

3.2. Prefabrikkerte og flyttbare løsninger for nitrogenfjerning

Prefabrikkerte og flyttbare moduler kan tilby en fleksibel og effektiv løsning for midlertidig nitrogenfjerning. Dette kan f.eks. gjelde avløpsrenseanlegg som har fått krav om nitrogenfjerning, men ikke har rukket å bygge om/utvide eksisterende renseanlegg, eller at eksisterende nitrogenfjerningsanlegg er overbelastet og trenger ekstra kapasitet i en overgangsperiode fram til permanent anlegg er utvidet.

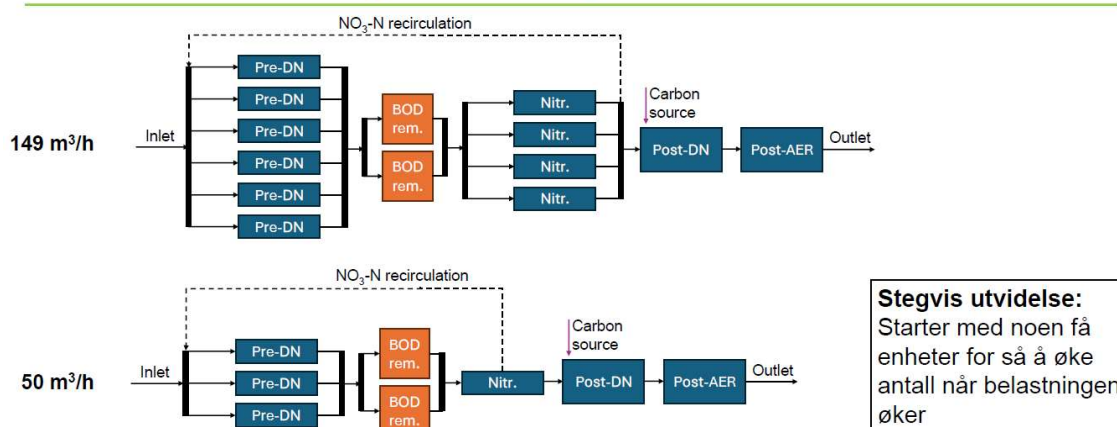
Normalt vil slike løsninger være basert på MBBR eller MBR prosesser plassert i standardiserte containere, eller SBR prosesser i glassfiberarmerte (GAP) landbrukstanker. Noen løsninger er basert på at det prefabrikkerte anlegget er et komplett renseanlegg, og da vil hver container ha svært liten kapasitet. Andre løsninger er basert på at det flyttbare anlegget plasseres på et eksisterende renseanlegg hvor både forbehandling (rist, sandfang og evt. primærrensing) og sluttseparasjon skjer i eksisterende renseanlegg.

Ett av de firmaene som tilbyr sistnevnte løsning er Biowater Technology¹. De kan levere MBBR baserte skid-systemer for fjerning av organisk stoff og nitrogen. Deres løsning benytter standardiserte containere med LxBxH på 12,19 m x 2,44 m x 2,89 m. For å oppgradere et eksisterende kjemisk renseanlegg for 10.000 pe til sekundærrensing vil man normalt trenge 3 containere. Dette kan være et første trinn mot framtidig nitrogenfjerning. For å gå fra et eksisterende direktefellingsanlegg på 10.000 pe til et anlegg med 70 eller 80 % nitrogenfjerning vil man imidlertid trenge fra 12 til 15 containere totalt. Avløpsvannets sammensetning vil være avgjørende for hvor mange containere av hver type man vil trenge. I et eksempel med 15 containere kan man f.eks. ha 5 containere til for-DN, 4 containere til BOF-fjerning, 4 containere til nitrifisering, 1 kontainer til etter-DN og 1 kontainer til etterlufting. Dersom eksisterende kjemisk renseanlegg har flotasjon som sluttseparasjon kan evt. etterlufting sløyfes.

Figur 6 viser et boksdiagram for oppgradering av et biologisk-kjemisk sekundærrensseanlegg på ca. 10.000 pe til nitrogenfjerning. Siden anlegget i dag har betydelig lavere belastning (ca. 4000 pe) har Biowater Technology foreslått en løsning hvor man begynner med 6 containere, for til slutt å ende opp med 12 containere når man når dimensjonerende belastning. Flotasjon brukes som sluttseparasjon på dette renseanlegget. Dimensjoneringen er for >90 % fjerning av Tot-P og > 80 % fjerning av Tot-N.

Totalt fotavtrykk for utvidelse til nitrogenfjerning for ca. 10.000 pe er anslått til ca. 600 m². Per i dag er forventet budsjettpris for et containerbasert (15 containere) anlegg for nitrogenfjerning ca. 40 mill. NOK. Biowater Technology jobber imidlertid med å få til en finansiering hvor containerne kan leies (Leasing avtale) over en periode som passer hver enkelt kunde. Opplegget vil være det samme som om man Leaser en bil. Kundene kan da få dette på driftsbudsjettet og ikke på investeringsbudsjettet. I tillegg til kostnaden for containere kommer nødvendige arbeider som klargjøring av areal for plassering av containere, framføring av nødvendig elektrisitet, oppkobling mot eksisterende driftsovervåkingssystem, overføring av vann fra og til eksisterende prosessenheter, etc.

Foreslått reaktor arrangement for dagens og dim. belastning



Figur 6. Trinnvis utbygging av et sekundærrensseanlegg til nitrogenfjerning for ca. 10.000 pe (med tillatelse fra Biowater Technology).

¹ Jon G. Siljudalen: «Skid»-system for fjerning av organisk stoff og nitrogen. Innlegg på LUP-konferansen, 9. desember 2025.

Den store fordelen med prefabrikkerte løsninger er at de kan iverksettes svært raskt. Installasjon kan skje i løpet av noen uker/måneder, sammenlignet med flere år for konvensjonelle oppgraderinger. Fordi det produseres mange og like enheter kan man også forvente at slik standardisert «fabrikkproduksjon» gir jevn og god kvalitet.

I utgangspunktet er løsninger basert på midlertidige eller flyttbare anlegg kun aktuelt for de minste anleggene som kan få krav om nitrogenfjerning. For noe større, eksisterende nitrogenfjerningsanlegg, som er overbelastet og ikke klarer nåværende krav, kan det også være aktuelt. Som en midlertidig løsning for store anlegg, som er forsinket med sin utbygging til nitrogenfjerning, er det imidlertid ikke aktuelt, fordi det vil kreve altfor mange containere.

4. Sammendrag og konklusjoner

1. Det finnes ikke «enkle» midlertidige løsninger for nitrogenfjerning, som eksisterende anlegg kan benytte, for å klare kravet i forurensningsforskriften til 70% reduksjon frem til en permanent løsning er på plass.
2. For avløpsrenseanlegg med en størrelse over 10 000 pe finnes det ingen alternative løsninger som kan tilby 70 % nitrogenfjerning, enten midlertidig eller permanent, som avviker fra eller er enklere enn de metodene som kreves for å oppnå rundt 80 % nitrogenfjerning. Med andre ord, det finnes ingen raske eller enkle løsninger («quick fix») for nitrogenreduksjon på dette nivået. For slike store anlegg må man derfor basere nitrogenfjerningen på velprøvde, teknisk krevende og godt integrerte biologiske og/eller kjemiske prosesser som sikrer høye renseeffekter. Dette innebærer at valg av nitrogenfjerningsstrategi må være gjennomtenkt og omfatte robuste løsninger.
3. I spesielle situasjoner kan et midlertidig renseanlegg være den beste løsningen. Det finnes eksempler på containerbaserte løsninger hvor nitrogenfjerning for 10.000 pe vil kreve 12-15 containere totalt, til en budsjettpris på ca. 40 mill. NOK. Leverandørene jobber også med løsninger for leasing av slike midlertidige anlegg.
4. I utgangspunktet er løsninger basert på midlertidige eller flyttbare anlegg kun aktuelt for de minste anleggene som kan få krav om nitrogenfjerning. For noe større, eksisterende nitrogenfjerningsanlegg, som er overbelastet og ikke klarer nåværende krav, kan det også være aktuelt. Som en midlertidig løsning for store anlegg, som er forsinket med sin utbygging til nitrogenfjerning, er det imidlertid ikke aktuelt, fordi det vil kreve altfor mange containere
5. I eksisterende, kjemiske anlegg med råtnetanker kan man øke N-rense-effekten ved N-fjerning i rejektivannet – men ikke over ca. 50 %.
6. Det anses ikke bærekraftig å etablere midlertidige anlegg for nitrogenfjerning basert på eksisterende anlegg, enten de er kjemiske eller biologiske, fremfor å satse på bygging av permanente anlegg fra starten av. Midlertidige løsninger kan ofte innebære unødvendige investeringer, økt kompleksitet og høyere driftskostnader på sikt, i tillegg til miljømessige utfordringer. I stedet anbefales det å planlegge og bygge permanente renseanlegg, eventuelt gjennom en trinnvis utbyggingsstrategi, som sikrer en effektiv og langsiktig nitrogenfjerning. På denne måten oppnås en mer bærekraftig ressursbruk, bedre prosesskontroll og et mer stabilt renseresultat over tid. Dette vil imidlertid kreve at det gis realistiske tidsfrister.
7. I eksisterende kjemiske og biologisk kjemiske renseanlegg med råtnetanker kan man øke renseeffekten for nitrogen noe ved å fjerne nitrogen fra rejektivannet.
8. For eksisterende kjemiske renseanlegg er det ofte mest økonomisk å gjennomføre utbygging ved å installere et nytt nitrogenfjerningssteg foran det eksisterende kjemiske trinnet. Denne løsningen gjør det mulig å beholde det nåværende anleggets funksjonalitet samtidig som nitrogenfjerningen forbedres effektivt. Dersom man derimot ønsker å inkludere sekundærrensing som en del av prosessen, kan det være hensiktsmessig å plassere nitrogenfjerningssteget etter det kjemiske trinnet. Valget mellom disse løsningene vil avhenge av anleggets tekniske forutsetninger, plassforhold og rensebehov, men begge strategiene har sine fordeler i forhold til kostnad og prosesseffektivitet.
9. For eksisterende biologisk-kjemiske renseanlegg er det ofte mest hensiktsmessig å utnytte den eksisterende bioreaktoren til for-denitrifikasjon og samtidig organisk stoff-

fjerning (BOF-fjerning). Dette gjør det mulig å optimalisere nitrogenfjerningsprosessen ved å bruke innkommende organisk stoff til å redusere nitrat i en tidlig fase. Da oppnår man samtidig en lavere tilførsel av organisk stoff til de aerobe, nitrifiserende reaktorene. Alternativt kan den samme bioreaktoren benyttes til etter-DN og etterlufting, avhengig av anleggets prosessoppsett og rensekraft. Ved å gjenbruke eksisterende kapasitet reduseres behovet for omfattende ombygginger.

10. For eksisterende biologisk-kjemiske nitrogenfjerningsanlegg som har behov for å øke renseeffekten fra omtrent 70 % til 80 %, finnes det flere aktuelle tiltak som kan vurderes for å oppnå dette målet. En viktig tilnærming for anlegg med råtnetanker er å fjerne nitrogen fra rejeckt vann i et eget rensetrinn, for å redusere nitrogenbelastningen på hovedanlegget. Et annet alternativ er å endre driftsstrategien fra for-DN til etter-DN.
11. For å øke den biologiske kapasiteten kan biomassen i anlegget økes. Dette kan skje på flere måter, blant annet ved å øke fyllingsgraden i biofilmreaktorer med MBBR prosess, eller øke slamkonsentrasjonen i aktivslamanlegg ved granulering eller densifisering av slam. Økt biomasse innebærer at flere nitrifiserende og denitrifiserende mikroorganismer er til stede og kan dermed gi høyere nitrogenfjerningseffekt. En annen mulighet er å bygge om det eksisterende anlegget til en membranbioreaktor (MBR), som gir høyere slamkonsentrasjon, bedre separasjon og renere utløpsvann.
12. Bygge inn MABR (Membrane Aerated Biofilm Reactor) i aerobt steg. Dette blir da en effektiv nitrifikasjonsreaktor.

Ved å kombinere ett eller flere av disse tiltakene kan eksisterende biologisk-kjemiske anlegg oppgraderes for å nå høyere renseeffekt, samtidig som man kan tilpasse løsninger etter anleggets spesifikke forutsetninger og behov.

2.b Midlertidige løsninger for nitrogen-fjerning i eksisterende anlegg

Hallvard Ødegaard* og Bjørn Rusten**

*Scandinavian Environmental Technology (SET) AS

** Aquateam COWI AS

hallvard.odegaard@ntnu.no

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Oppgavebeskrivelse

«Flere kommuner som er i brudd med gjeldende utslippstillatelse har fått varsel fra statsforvalter om **tilknytningsstopp** for anlegget fram til tilfredsstillende renseløsning er etablert. I tilfeller der det vil ta lang tid før nytt eller oppgradert renseløsning er på plass, medfører dette at det er et stort ønske om å vurdere **midlertidige løsninger**, slik at tilknytningsstopp kan unngås.

Det vil også være kommuner som i dag ikke er i brudd, men som vil trenge en midlertidig løsning frem til permanent løsning er på plass.

Dette prosjektet skal innhente og sammenstille informasjon om **tilgjengelige midlertidige løsninger for nitrogenfjerning**, og erfaringer med slike. Det vil også være aktuelt å hente erfaringer fra naboland. Det skal tas utgangspunkt i et rent kjemisk anlegg og et som i dag har sekundærrensing og fosforfjerning, og som skal oppnå minst **70% reduksjon av nitrogen**».

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Konklusjon

1. Det finnes ingen **andre tilgjengelige løsninger for 70 % nitrogenfjerning** i anlegg > 10.000 pe - **midlertidige eller permanente** – enn de som er tilgjengelige for 80 % fjerning (ingen quick fix)
2. Det finnes imidlertid flere løsninger for å **øke N-fjernings-kapasiteten** på eksisterende anlegg for å unngå tilknytningsstopp
 - Anlegg uten N-fjerning i dag (opp til 30-50 %)
 - Anlegg med 70 % N-fjerning i dag (til 80 %)
3. Det synes ikke bærekraftig å bygge **midlertidige** anlegg for N-fjerning med utgangspunkt i sekundærrenseanlegg (kjemiske eller biologiske) fremfor å bygge permanente anlegg med en gang – **evt. basert på trinnvis utbygging**
4. Som følge av konklusjonen, gjelder det jeg skal diskutere og anbefale, like mye for permanente anlegg som for midlertidige anlegg - evt. anlegg med trinnvis utbygging

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Anlegg uten N-fjerning i dag

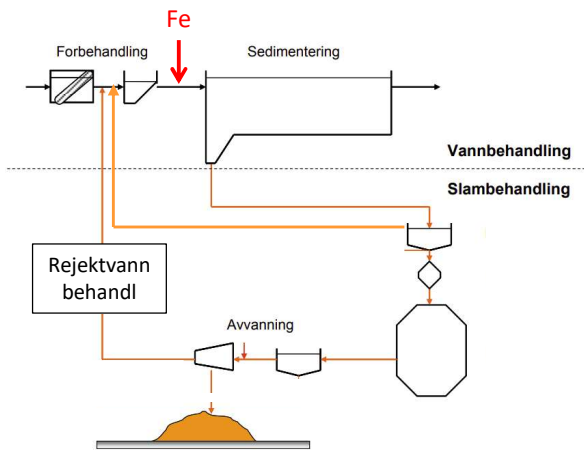
- Kjemiske anlegg
- Biologisk/kjemiske anlegg (sekundærrensing med fosfor-fjerning)
- Aktuelle tiltak i eksisterende anlegg (kjemisk eller biologisk/kjemisk)
 - **Rejektvann-behandling** i anlegg med anaerob slamstabilisering for å øke renseeffekten noe – typisk fra 30 til 50 %
 - I kjemiske og biol/kjem. anlegg uten råtnetanker er N-fjerning i rejektvann fånyttet
 - **Nytt biologisk trinn** (for å oppnå 70 evt. 80 % N-fjerning)
 - For-denitrifikasjon, etter-denitrifikasjon eller kombinert for- og etter-denitrifikasjon.

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Utgangspunkt: kjemisk anlegg med råtnetanker



Rejektivannbehandling

- Erfaringene viser at et kjemisk RA fjerner 30- 35 % av tot N
- En vesentlig del av nitrogenbelastningen i anlegg med råtnetanker, kommer fra rejektivann-strømmen (ca. 20-25 %). N fra fortykkervann betyr mindre
- Hvor høyt kan man komme i Tot-N fjerning ved kun å fjerne N i rejektivann-strømmen fra anaerobråtning?
- Svar: < 50 % for et kjemisk RA.
 - Det betyr at man kan ikke klare N-kravet ved kun å behandle slamvannet – men forbedre N-fjerningen noe

SET AS

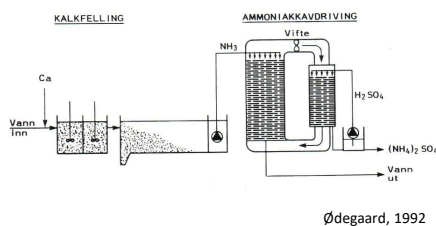
COWI

aquateam | COWI

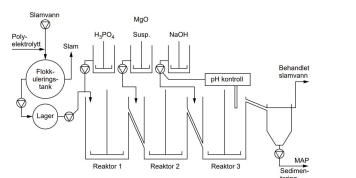
De mest benyttede metoder for fjerning av nitrogen i slamvann

Kjemisk

Ammoniakk-avdriving

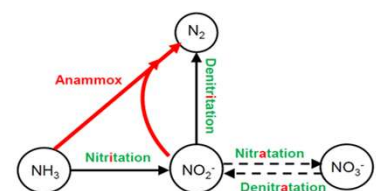


MAP-felling



Biologisk

Anammox



De fysisk/kjemiske metodene gir mulighet for materialgjenvinning

- Ammoniumsalt
- Magnesium-ammonium-fosfat (MAP)

Anammox-metoden er normalt billigst og er mest i skuddet for tiden

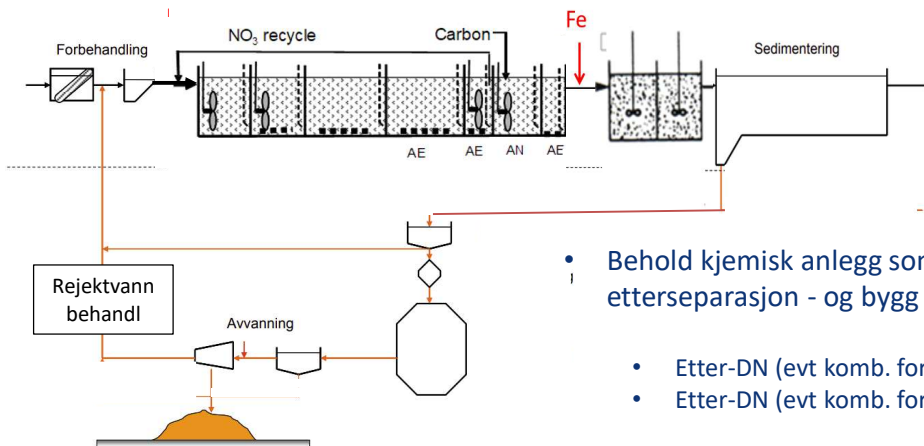
SET AS

COWI

aquateam | COWI

Alternative løsninger ved utbygging av biotrin

Alt.1: Nytt biotrin før eksisterende kjemisk anlegg



- Behold kjemisk anlegg som det er, men nå for etterseparasjon - og bygg nytt biotrin foran:

- Etter-DN (evt komb. for og etter-DN) i MBBR-anlegg
- Etter-DN (evt komb. for og etter-DN) i aktivslam-anlegg

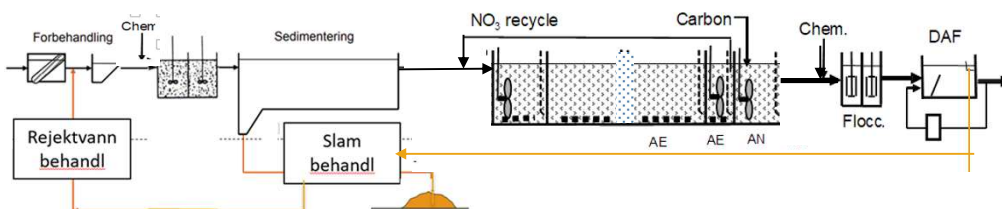
- Evt. reje

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Alt. 2a: Nytt biotrin etter eksisterende kjemisk anlegg (Her: MBBR med for- og etter-denitrifikasjon)



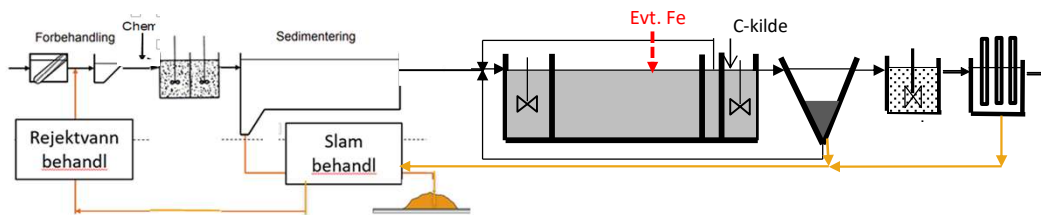
- Mesteparten (70%) av det organiske stoffet er fjernet i det kjemiske steget – lite karbonkilde blir igjen til for-DN – derfor sving-reaktor i første MBBR-steg som utnytter rest (løst) BOF etter felling til noe for-denitrifikasjon, og som kan kjøres aerobt ved lave temperaturer og tynt vann (om våren) - da blir anlegget en ren etter-DN
- Man kan klare seg med ett aerobt steg (BOF-fjerning og nitrifikasjon i ett). Velger man DAF, kan man klare seg uten re-oksygeneringsteg
- Utfordring: lav pH som følge av forfelling og nitrifikasjon – alkalitetskorrigering kan bli nødvendig.

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Alternativ 2b: Nytt biotrinns etter eksister. kjemisk anlegg (Her: AS-anlegg med komb.-DN og simultanfelling)



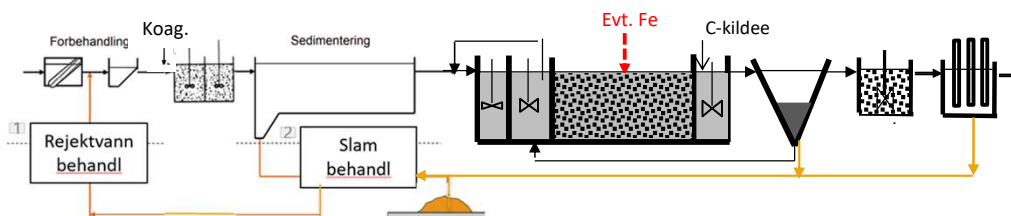
- Eksisterende fellingsanlegg drives uten felling – evt. med polymer-koagulering – aktivslam-anlegget basert på for- og etter-DN og med simultanfelling (evt. med anaerob selektor/bio-P)
- Slamseparasjonen vil vanligvis være basert på sedimentering (arealkrevende) – alternativt ultrafiltrering (MBR).
- Ved strenge P-krav (90% fjerning) kan det være nødvendig med sluttfiltrering (disk-filter, sandfilter eller membranfilter)

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Alt. 2c: Nytt biotrinns etter eksisterende kjemisk anlegg (Her: IFAS-anlegg med komb.-DN, bio-P og simultan-felling)



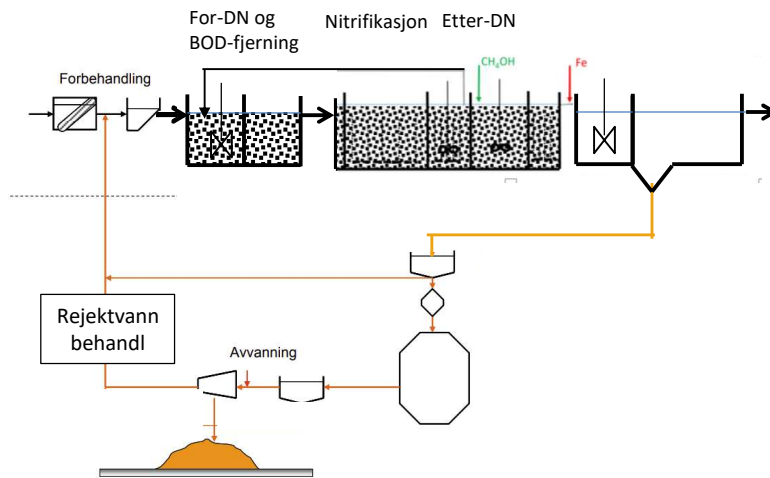
- Eksisterende fellingsanlegg drives uten felling – evt koagulering med polymer – aktivslam-anlegget basert på for- og etter-DN og med simultanfelling evt med anaerob selektor/bio-P
- Alternativ kan man benytte IFAS i den aerobe delen av AS-anlegget for å redusere volumet
- Slamseparasjonen vil vanligvis være basert på sedimentering (arealkrevende) – alternativt ultrafiltrering (MBR).
- Ved strenge P-krav (> 90% fjerning) kan det være nødvendig med sluttfiltrering (disk-filter, sandfilter eller membranfilter)

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Utgangspunkt: Biologisk/kjemisk sekundær-renseanlegg (Her: Utvidelse av MBBR-anlegg med for- og etterdenitrifikasjon)



Bygg om eksisterende aerobe reaktorer til én for-DN og én for BOD-fjerning

Bygg nye reaktorer for nitrifikasjon og etter-denitrifikasjon

Behold flokkulering og separasjon (sedimentering evt flotasjon) som det var - dersom den hydrauliske kapasiteten er OK

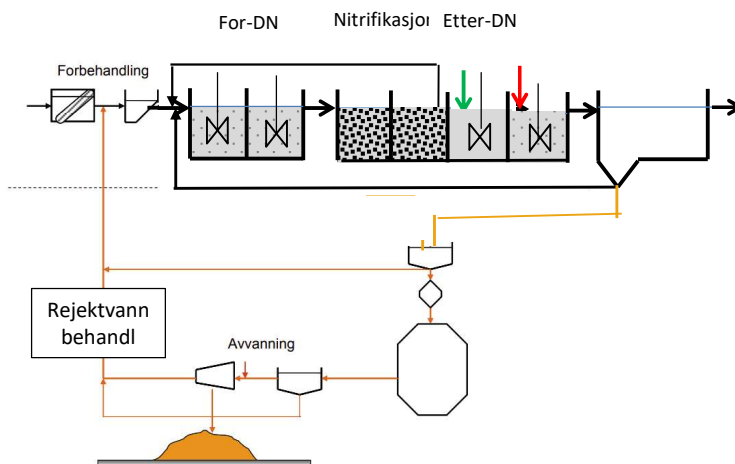
Sett evt. inn rejektivannbehandling

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Utgangspunkt: Biologisk (aktivslam) sekundær-anlegg (Her: Utvidelse av AS-anlegg til IFAS med for- og etterdenitrifik.)



Bygg om eksisterende aerobe reaktorer til for-DN-reaktorer

Bygg nye reaktorer for nitrifikasjon og etter-denitrifikasjon med C-kilde evt. ikke (endogen etter-denitrifikasjon)

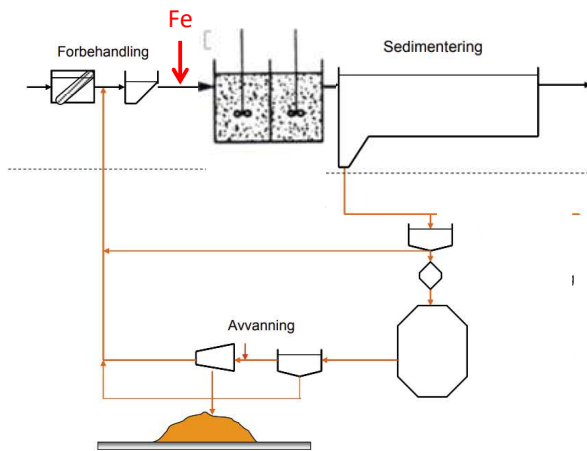
Bruk evt. bærere i nitrifikasjonen (IFAS)

Behold etter-sedimenteringsbassenget som det var - dersom den hydrauliske kapasiteten er OK

Sett evt. inn rejektivannbehandling

NTNU

Eksempel på trinnvis utbygging mot N-fjerning i eksisterende kjemisk anlegg (Søndre Follo Renseanlegg)



Alternativer:

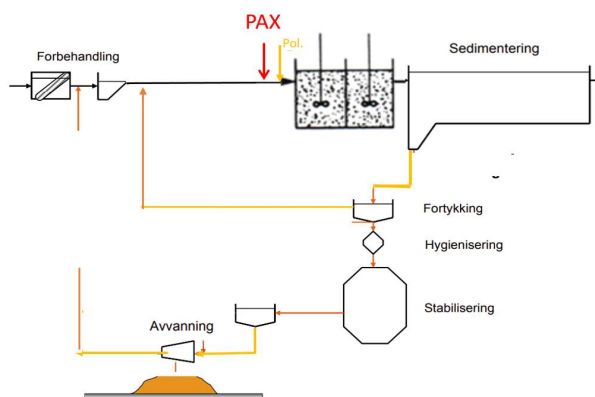
1. Bygg nytt biologisk N-fjerningsanlegg foran det kjemiske som benyttes for P-fjerning og slamseparasjon (etter-felling)
2. Behold kjemisk anlegg som det er, og bygg nytt N-fjerningsanlegg basert på etter-DN eller kombinert DN i serie etter kjemisk steg – evt. med sekundærrensing som første steg
3. Sett evt. inn rektvanns-behandling i begge alternativer

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Trinn 1. Biologisk trinn etter eksisterende anlegg – trinnvis utbygging **via** sekundærrensning



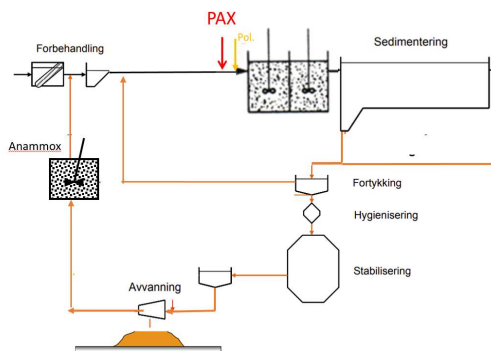
-
1. trinn (sekundærrensning):
 - a. Rensing av rektvann (Anammox)
 - b. Etablering av MBBR på utløpet (evt uten separasjonstrinn)

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Trinn 2. Biologisk trinn (for nitrifikasjon og denitrifikasjon) samt sluttseparasjon etter eksisterende anlegg



2. trinn:

- Omgjøring av MBBR fra trinn 1 til for-denitrifikasjon
- Etablering av MBBR for nitrifikasjon og etter-denitrifikasjon
- Etablering av filter eller DAF (evt. begge – avhengig av krav) på utløpet

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Mulige tiltak i anlegg med N-fjerning som ikke klarer 80 % N-fjerning ved dimensjonerende belastning i dag

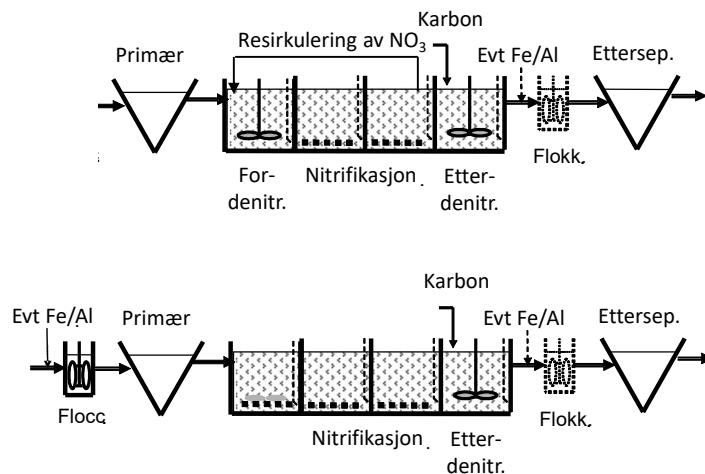
- Rensing av rejeckt vann (omtalt over)
- Endring av driftsstrategi
 - Fra for-sedimentering til forfelling
 - Fra for-denitrifikasjon/kombinert denitrifikasjon til ren til etter-denitrifikasjon
- Økning av biomasse
 - Økt fyllingsgrad i MBBR-anlegg
 - Økt slamkonsentrasjon i aktivslam-anlegg
 - Granulering/densifisering
 - Omlegging til MBR (membranseparasjon)
 - Omlegging til IFAS (evt. med membranseparasjon)

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Endring av driftsstrategi (fra for-DN til etter-DN)



1. Introduser for-felling
 - Gir større nitrifik.-kapasitet
 - Krever mer fellingsmiddel
 - Krever økning av C-kilde

2. Legg om til ren etter-denitrifikasjon
 - Gir større nitrifik.-kapasitet
 - Krever økning av C-kilde

Endring av driftsstrategi gir ofte høyere kapasitet men også høyere driftskostnad

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Økning av biomasse/kapasitet

MBBR-anlegg

1. Øk fyllingsgrad (avhengig av bærertype)
 - Maks 65 % i aerobe
 - Maks 60 % i anoksiske
2. Bygg om til CFIC i aerobe trinn
 - Maks 90 % fyll i aerobe trinn
 - Krever etablering av denitrifikasjons-trinn
 - Krever etablering av biomasse-separasjon fra vasking/spyling av bærere

Aktivslamanlegg

1. Øk slamkonsentrasjon (avh. av separ.)
 - Densifisering/granulering
 - Økning av X_{MLSS} fra 3 til 6 g/l
 - Bygg om til MBR (membransepar.)
 - Økning av X_{MLSS} fra 3 til 8 g/l
2. Bygg om til IFAS
 - Minst doubling av nitrifikasjonskapasitet
 - Krever introduksjon av bærere
 - Krever bygging av sil-arrangement
3. Bygg inn MABR i aerobt steg

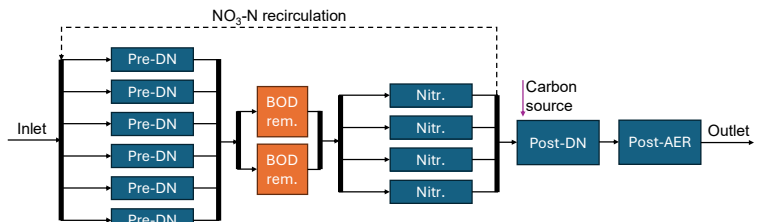
SET AS

COWI

aquateam | COWI

Prefabrikkerte og flyttbare løsninger

1. Konteiner-baserte løsninger (basert på MBBR eller MBR)
2. SBR-baserte løsninger (aktivslam eller MBBR) i glassfiberarmerte landbrukstanker



Anlegg for 10.000 pe krever 12 konteinere!

- Blir svært mange konteinere/GAP-tanker for N-fjernings-anlegg > 10.000 pe
- Aktuelt for trinnvis utbygging via sekundærrensing
- Kan være aktuelt om flere anleggseiere samarbeider over et tids-spenn (10 år)
- Aktuelt for påbygging av eksisterende anlegg

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Oppsummering

- Det finnes ingen **andre tilgjengelige løsninger for 70 % nitrogenfjerning** i anlegg > 10.000 pe - **midlertidige eller permanente** – enn de som er tilgjengelige for 80 % fjerning (ingen quick fix)
- Det synes ikke bærekraftig å bygge midlertidige anlegg for N-fjerning med utgangspunkt i sekundærrensianlegg (kjemiske eller biologiske) fremfor å bygge permanente anlegg med en gang – evt. basert på trinnvis utbygging
- I eksisterende, kjemiske anlegg med råtnetanker kan man øke N-rens-effekten ved N-fjerning i rektvannet – men ikke over ca. 50 %
- For eksisterende kjemiske anlegg er utbygging basert på nytt N-fjerningssteg foran eksisterende kjemisk steg ofte mest økonomisk, men ønsker man å gå via sekundærrensing, kan N-fjerningssteg etter kjemisk steg være hensiktsmessig
- For eksisterende biologisk/kjemiske anlegg (sekundær) kan eksisterende bioreaktor mest hensiktsmessig benyttes til for-dentrifikasjon og BOD-fjerning (alternativt til etter-dentrifikasjon og etterlufting)

SET AS

COWI

aquateam | COWI

Oppsummering forts.

- For eksisterende biologisk/kjemiske N-fjerningsanlegg som må øke renseseffekten fra 70 til 80 % kan aktuelle tiltak være:
 - Behandle rejeftvann separat
 - Endre driftsstrategi fra for – til etter-DN
 - Øke biomasse
 - Øke fyllingsgrad i MBBR,
 - Øke slamkonsentrasjon i aktivslamanlegg
 - granulering/densifisering,
 - ombygging til MBR
 - Bygge MABR inn i aerobt steg

Norsk Vann-kompetanseløftet for nitrogenfjerning

Delprosjekt 2: Vurdering av egnet teknologi for nitrogenfjerning ved sterkt varierende belastninger, både midlertidige og permanente løsninger

Delprosjekt 2.1: Egnede renseteknologier for nitrogenfjerning ved sterkt varierende belastninger

Delprosjekt 2.2: Midlertidige løsninger for nitrogenfjerning i eksisterende anlegg

REFERANSER

Arias A., Rama M., González-García S., Feijoo G., Moreira M.T. (2020). Environmental analysis of servicing centralised and decentralised wastewater treatment for population living in neighbourhoods, *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101469, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101469>

Arini D., Mardianta A.V. (2022). Waste Water Management in Supporting Sustainable Tourism in Girsang Sipangan Bolon District. *International Journal of Architecture and Urbanism*, 6(1), 9–14. <https://doi.org/10.32734/ijau.v6i1.8667>

Bogdanova M., Yotinov I., Topalova Y., Lyubomirova V. (2025). Wastewater Treatment Technology for Sustainable Tourism: Sunny Beach, Ravda WWTP Case Study, *Water*, 17, 7. <https://doi.org/10.3390/w17010007>

Comerio N, Strozzi F. (2019). Tourism and its economic impact: a literature review using bibliometric tools. *Tour Econ* 25(1):109–131. <https://doi.org/10.1177/1354816618793762>

David G., Rana M.S., Saxena S. et al. (2023). A review on design, operation, and maintenance of constructed wetlands for removal of nutrients and emerging contaminants. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 20, 9249–9270. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04442-y>

Di Nica V., Villa S., Lencioni V. (2021). Environmental Concerns about the Effects of Effluents from Wastewater Treatment Plants in Tourist Areas of the Alps: Toxicity in Aquatic Microorganisms. *Journal of Limnology* 80 (3). <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2021.2044>.

Di Trapani D., Christensson M., Torregrossa M., Viviani G., Ødegaard H. (2013). Performance of a hybrid activated sludge/biofilm process for wastewater treatment in a cold climate region: influence of operating conditions, *Biochem. Eng. J.* 77, 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.06.013>.

Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of The Council of 27 November 2024.

Fan W., Li Y., Wang C., Duan Y., Huo Y., Januszewski B., Sun M., Huo M., Elimelech M. (2021). Enhanced Photocatalytic Water Decontamination by Micro-Nano Bubbles: Measurements and Mechanisms. *Environ. Sci. Technol.*, 55, 7025–7033. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c08787>

Gholami-Shiri J., Azari M., Dehghani S., Denecke M. (2021). A technical review on the adaptability of mainstream partial nitrification and anammox: substrate management and aeration control in cold weather, *J. Environ. Chem. Eng.* 9, 106468. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106468>.

Gössling S., Peeters P. (2015). Assessing tourism's global environmental impact 1900–2050. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(5), 639–659. <https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1008500>

Jia M., Farid M.U., Kharraz J.A., Kumar N.M., Chopra S.S., Jang A., Chew J., Khanal S.K., Chen G., An A. (2023). Nanobubbles in water and wastewater treatment systems: Small bubbles making big difference, *Water Research*, 245, 120613.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120613>

Johannessen E., Rusten B., Ødegaard H., Bjørn E., Paulsrud. (2020). Veiledning for dimensjonering av avløpsrensning, Norsk Vann Rapport 256. ISBN 978-82-414-0450-4.

Kaczor G., Bergel T., Bugajski P., Pijanowski J. (2015). Aspects of Sewage Disposal from Tourist Facilities in National Parks and Other Protected Areas, *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 24, 1, 107-114. <https://doi.org/10.15244/pjoes/28355>

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2008). *Treatment Wetlands*. 2nd edition, CRC Press.

Kasinski S., Kowal P., Czerwionka, K. (2025). Advanced Technologies for Nitrogen Removal and Recovery from Municipal and Industrial Wastewater. *Materials*, 18, 1422.

<https://doi.org/10.3390/ma18071422>

Konkol I., Kuligowski K., Szafranowicz P., Vorne V., Reinikainen A., Effelsberg N., Christensen M.L., Svensson M., Zviedris J., Dvarioniene J., et al. (2024). Review of the Seasonal Wastewater Challenges in Baltic Coastal Tourist, *Sustainability*, 16,9890.

<https://doi.org/10.3390/su16229890>

Kuligowski K., Effelsberg N., (eds.). (2023). Technical preparation for wastewater treatment investments at BSR tourist destinations, *Coastline Web* 11, ISSN 2193-4177, ISBN 978-3-939206-31-6.

Lichtmannegger T., Hell M., Wehner M., Ebner C., Bockreis A. (2024). Seasonal tourism's impact on wastewater composition: Evaluating the potential of alternating activated adsorption in primary treatment. *Sci. Total Environ.*, 926, 171869.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171869>

NRK, (2022), Krever rådyre rensning over hele Østlandet for å stoppe algene,

<https://www.nrk.no/stor-oslo/ma-bygge-radyre-rensenlegg-for-a-redde-oslofjorden-1.16065568>

Pasciucco F., Pecorini I., Renato Iannelli R. (2023). Centralization of wastewater treatment in a tourist area: A comparative LCA considering the impact of seasonal changes, *Science of The Total Environment*, 897, 165390. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165390>

Pilz F., Svandal K., Kreuzinger N., Krampe J. (2024). Model-based dynamic simulation study to boost the WWTP performance in winter tourism regions, *Journal of Water Process Engineering*, Volume 61, 105266, ISSN 2214-7144.

<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105266>.

Pl'osz Gy B., Liltved H., Ratnaweera H. (2009), Climate change impacts on activated sludge wastewater treatment: a case study from Norway, *Water Sci. Technol.* 60, 533–541, <https://doi.org/10.2166/wst.2009.386>.

Proposal for a Revised Urban Wastewater Treatment Directive Available online: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-waste-water-treatment-directive_en (accessed on 25.11.2025).

Reinikainen A., Vorne, V. (eds.). (2024). Maps for the touristic seasonality areas and technology criteria for pilots, NURSECOAST-II Report.

- Rodríguez-Alcántara J.S., Cruz-Pérez N., Rodríguez-Martín. J. et al. (2024). Effect of tourist activity on wastewater quality in selected wastewater treatment plants in the Balearic Islands (Spain). *Environ Sci Pollut Res* 31, 15172–15185. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32173-9>
- Rusten B., Siljudalen J. G. and Bungum S. (1995) Moving Bed Biofilm Reactors for Nitrogen Removal: From Initial Pilot Testing to Start-Up of the Lillehammer WWTP. Paper presented at WEFTEC'95, Miami Beach, Florida, USA, October 21-25. Copyright: Water Environment Federation, Alexandria VA, USA.
- Rusten B., Ødegaard H. (2023). Nitrogen removal in moving-bed biofilm reactor plants at low temperatures: experiences from Norway, *Water Sci Technol* (2023) 87 (10): 2432–2440. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.154>
- Silva J., Arias-Torres L., Carlesi C., Aroca G. (2024). Use of Nanobubbles to Improve MassTransfer in Bioprocesses. *Processes*, 12, 1227. <https://doi.org/10.3390/pr12061227>
- Styles D., Schönberger H., Galvez Martos J.L. (2013). Best Environmental Management Practice in the Tourism Sector, JRC Scientific and Policy Report.
- SSB 2025, [Fakta om hytter og fritidsboliger – SSB](#)
- Tiwari, A., Valkama, K., Krolicka, A. et al. (2025). Coverage and treatment practices in Nordic wastewater treatment plants under the recast EU urban wastewater treatment directive. *Discov Water* 5, 105 (2025). <https://doi.org/10.1007/s43832-025-00297-9>
- Taarnhøj P., Heinicke G., Pedersen B.M. (2018). Minirenselanlæg til Sommerhuse, MUDP rapport.
- Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands, *Science of The Total Environment*, 380(1-3), 48-65. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>
- Wu Y., Tian W., Zhang Y., Fan W., Liu F., Zhao J., Wang M., Liu Y., Lyu T. (2022). Nanobubble Technology Enhanced Ozonation Process for Ammonia Removal. *Water*, 14, 1865. <https://doi.org/10.3390/w14121865>
- Ødegaard H. (1992). Norwegian Experiences with Chemical Treatment of Raw Wastewater. *Water Science and Technology*, 255-264.
- Ødegaard. H. (red) *Vann og avløpsteknikk*. 3.utg. (2021).
- Ødegaard H., Rusten B. (2021). Wastewater Treatment for N-Removal in MBBR-Based Plants Receiving Cold Wastewater. A Knowledge Compilation. Scandinavian Environmental Technology Report, Trondheim, Norway.
- Ødegaard H. (2025). Presentasjon på *Kompetanseløftet nitrogenfjerning 2025*, Norsk Vann Fagdagen 28.10.2025, Oslo.