

# Nitrogenfjerning ved norske kloakkrensingsanlegg

Av Øistein Sirum og Odin Nygaard.

Øistein Sirum er driftssjef og Odin Nygaard er overingeniør ved Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS).

*Referat fra seminar.*

NORVARs tradisjonelle Juleseminar ble holdt torsdag 19. desember på Vetre Hotel- og konferansesenter. Temaet var «Nitrogenrensing ved norske avløpsrensingsanlegg». Det var ca. 210 deltagere. Seminaret ble arrangert i samarbeid med SFTs FAN-program, VEAS og Norsk Vannforening.

## NITROGENFJERNING

### 1.0 Krav fra våre myndigheter

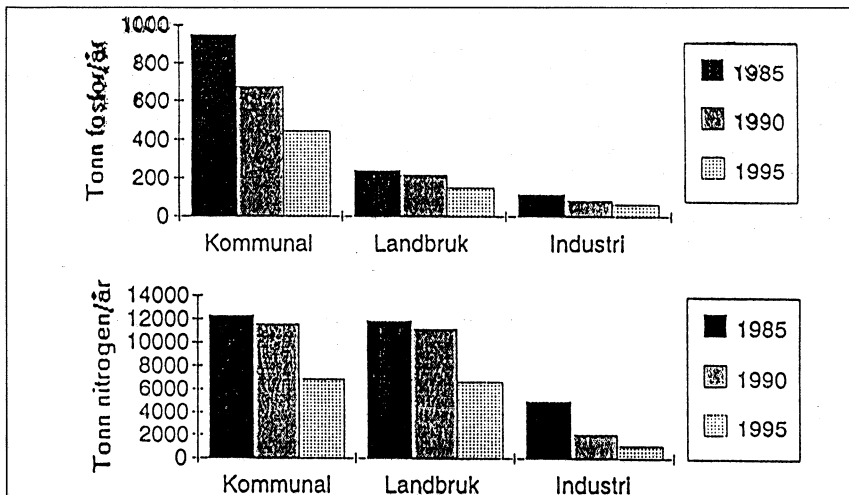
#### 1.1 Nytt fra tiltaksanalysen. Hvilke anlegg får krav?

v/Morten Svelle, SFT.

SFT er ferdig med rapport TA-781/1991 — «Nordsjødeklarasjonen. Tiltak

for å redusere næringssalttilførslene» som kan fåes ved henvendelse til SFT.

Tilførsel av fosfor og nitrogen fra forskjellige hovedsektorer i 1985 og 1990 samt forventede tilførsler i 1995 ved gjennomføring av anbefalte tiltak er vist i fig. 1.



Figur 1. Tilførsler av fosfor og nitrogen fra forskjellige hovedsektorer i 1985 og 1990, forventede tilførsler i 1995 ved gjennomføring av anbefalte tiltak.

Foreslåtte tiltak for kommunal sektor 1991—95 gir følgende andel av totalt 50% iht. Nordsjøavtalen:

<i>Sektor og tiltakstype</i>	<i>Red. N%</i>	<i>Red. P%</i>
Nye renseanlegg P-red.	0,8	12,0
Utbedring av eks. P-anlegg	0,1	3,3
N-red. VEAS, Bekkelaget	8,7	0,0
N-red. anlegg >30.000 pe	4,2	0,0
N-red. anlegg >10.000 pe	1,7	0,0
Ledningsnett klasse 1	0,2	1,6
Sum kommunalt	15,7	16,9

For å oppnå kravene er de kommunale investeringene beregnet til 2,9 mrd. kr. i 1985—90. Forslaget til investeringer i perioden 1991—95 er 2,7 mrd. kr.

Kostnadene for prosentvis reduksjon av kostnadene til drift og investeringer viser en sterk stigning ved ca. 50% reduksjon av fosfor og nitrogen.

Det er bygget ca. 50 nye renseanlegg

siden 1985 til en kostnad av ca. 8 mrd. kr.

For perioden 1991—1995 er det planlagt 54 kjemiske renseanlegg med til sammen ca. 545.000 p.e. hvorav 8 er større enn ca. 30.000 p.e.

29 renseanlegg skal bygges ut med nitrogenfjerning. Anleggene er følgende:

Østfold	> 30.000 p.e.	FOA — Fredrikstad Fuglevik — Moss
	10.000—30.000 p.e.	SIA — Sarpsborg ASHA — Askim Kambo — Moss Remmedalen r.a. — Halden
Akershus	> 30.000 p.e.	Nordre Follo Kloakkverk — Ås RA-2 — Skedsmo
	10.000—30.000 p.e.	VEAS — Asker Søndre Follo r.a. — Vestby
Oslo	> 30.000 p.e.	Bekkelaget r.a. — Oslo
Hedmark	> 30.000 p.e.	HIAS — Hamar
Oppland	> 30.000 p.e.	Rambekk — Gjøvik R-2 — Lillehammer

Buskerud	> 30.000 p.e. 10.000—30.000 p.e.	Solumstrand — Drammen Hokksund r.a. — Øvre Eiker Linnes r.a. — Lier Mjøndalen r.a. — Nedre Eiker Muusøya r.a. — Drammen
Vestfold	> 30.000 p.e.  10.000—30.000 p.e.	Enga — Sandefjord Larvik — Larvik TAU — Tønsberg Falkensten r.a. — Borre Holmestrand — Holmestrand
Telemark	> 30.000 p.e.	Knardalstrand — Posrgrunn Elstrøm — Skien Heistad — Porsgrunn Kragerø — Kragerø Salen — Bamble

#### Utbyggingstakt:

VEAS og Bekkelaget	innen 1995/96
> 30.000 p.e.	innen 1996
> 10.000 p.e.	innen 1998

#### Hovedkonklusjon:

- Norge kan oppfylle Nordsjødeklarasjonen
- Kostnadene blir mindre enn tidligere anslått
- Alle tiltak bidrar til bedre lokal vannkvalitet
- Det blir betydelig forbedring av vannkvalitet i vassdrag og fjorder.

#### 1.2 Nordsjøkonvensjonen — hva har Norge bundet seg til? Regjeringens ambisjonsnivå for gjennomføring, tidsrammer, finansiering.

v/Jan Lasse Hansen, MD.

Departementet holder på å skrive en egen stortingsmelding om Nordsjøarbeidet.

MD går inn for den fremdrift som SFT har foreslått.

Videre kommenterte han klagen fra VEAS og Oslo kommune om nitrogenfjerningen ved VEAS og Bekkelaget. Klagerne fikk medhold på ett punkt og det gjaldt tidspunktet for ferdigstillelse av 1. linje på VEAS.

Om ny tilskuddspolitik ble det lagt vekt på følgende:

- Nordsjøavtalen med N-rensing — egen st.melding
- EF/EØS
- Målrettet og effektivt system.
- Ikke evig opprydding.
- Stort volum — økt fokus.
- Høye kloakkavgifter, kommuneøkonomien.

Mål, og tildelingsgraden av tilskuddene:

- Stimulere til opprydding
- Opprette forurensningsklasser
- Tiltak må være del av plan for større områder

- Avgiftsnivået i kommunene det skal beregnes ett gjennomsnitt og bestemme for hvilket nivå som gir tilskudd.
- Beskyttelse av nasjonale eller regionale verdier og utjevne for pålegg i denne forbindelse.
- Dokumentert kobling til verneplaner.
- Tilskuddsordninger skal kunne fremme ny teknologi.

Videreføring av arbeidet:

- To-delning av landet.  
20% tilskudd utenfor Nordsjøområdet.  
25% tilskudd i Nordsjøområdet.
- Tillegg for nitrogenfjerning.
- Tillegg for kommuner med svært høyt avgiftsnivå.

## 2.0 AKTUELLE TEKNISKE LØSNINGER FOR NITROGENFJERNING

### 2.1 Erfaringer fra det svenske kväveprosjektet. Stataus og videre arbeid, v/Bengt Andersson, Malmø gatukontor.

Bak kväveprosjektet står: Svenske vatten og avlopsverksforeningen (VAV), Naturvårdsverket (SNV) og styrelsen för teknisk utvekling (STU).

Bakgrunnen for nitrogenprosjektet i Syd-Sverige er Nordsjøavtalen.

Nitrogenprosjektets målsetning var:

- Initiere og samordne prosjekter for nitrogenrensing ved kommunale rensesanlegg gjennom rådgivning og gjennom å samle, bearbeide og spre informasjon fra fullskalaforsøk,
- ta fram underlag for fortsatt teknisk utvikling,
- drive prosjektet fra 01.01.88 til 31.03.91.

Forsøk er gjort på 45 aktivslamanlegg over hele landet. Dokumentasjon og resultatene fra disse forsøkene foreligger i en sluttrapport fra oktober 1991. Denne rapporten omhandler bl.a.:

dimensjonering av nitrifikasjon, denitrifikasjon og langtgående fosforfjerning, belastningsvariasjoner, oppfølging og kontroll.

I de forsøk som er gjennomført er det ikke medtatt følgende forhold:

- systemvalg med hensyn til avløpsvannets kvalitet
- forholdet BOD7/Tot N i innløpet.

Hva pågår idag?

Svenske kommuners situasjon er idag at forsøksresultater skal omsettes i kriterier for dimensjonering, valg av prosess og utstyr, bestilling og utbygging. Flere arbeidsgrupper er nedsatt.

Det er igangsatt en ny aksjonsplan fra SNV som regner:

50% reduksjon = 15 mg N/L

70% reduksjon = 8 mg N/L

Prøvetid fram til 1995 for alle berørte rensaanlegg.

Det er videre nedsatt et prosjekt med navnet SKARV (Strategi for Kväverening i Avlopps- ReningsVerk) som er bygd opp etter samem mønster som Kväveprosjektet og skal være i virksomhet fram til 1994. Hovedoppgavene skal være:

- Informere om dimensjoneringskriterier og andre beslutningskriterier for anlegg som prosjekteres iht. miljølovens fastsatte krav til nitrogenfjerning.
- Informere om særskilte verdifulle forsøk.

- Benytte erfaringer fra anlegg som tas i drift i perioden.
- Foreslå utredninger/forsøk.

## 2.2 Norske erfaringer gjennom FAN-programmet. Status og videre arbeid. v/Halvard Ødegaard, NTH.

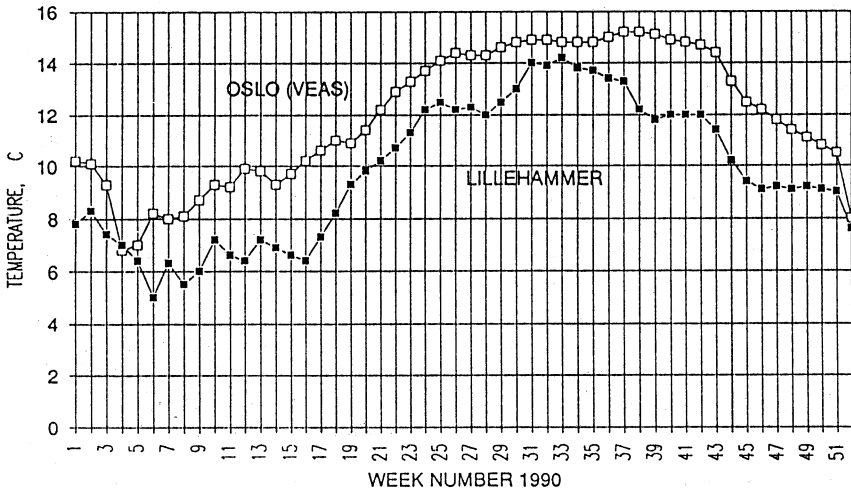
Forskning (NTNF) og forvaltning (SFT) samarbeider om Fjerning av Næringsstoffer (FAN) som er et forskningsprogram. Prosjektledelsen er i form av en styringsgruppe som definerer delprosjekter og setter disse ut til miljøer som ansees spesielt kompetente. Representanter fra brukere og konsulenter er nå trukket inn i prosjektledelsen.

Målene er:

- \* å komme fram til prosessløsninger som kan anbefales for norske forhold
  - Norsk vann og norsk klima
  - Norsk kompetansenivå
  - Økonomiske forhold i Norge.
- \* Presentere kostnadsdata
- For å ta beslutning om hvor vi skal legge den største forskningsinnsatsen
- For å gjøre det mulig å sammenlikne ulike tiltak.
- For å redusere de totale utslipp til Nordsjøen.
- \* Bidra til utvikling av norsk miljøteknologi
  - Danne grunnlag for industrialisering av prosesser, utstyr osv.
- \* Bidra til kompetanseheving i Norge mht. N-fjerning.

Ved planlegging av norske anlegg må det tas i betraktning:

- \* Sammensetning av norsk avløpsvann
  - Tynt
  - Lavt innh. av løst org. stoff.
- \* Norske krav til N og P fjerning
  - >70% N-fjerning (6 mg Tot N/l ved 20 mg/l inn er meget strengt)
- \* Den norske erfaringsbakgrunn
  - Lang og god erfaring med kjemisk rensing



Figur 2.

De biologiske prosesser kan være aktiv slam eller biofilter.

Ved biofilmreaktorer er det tre viktige element som har innvirkning på nitrifikasjonen:

- Tilgangen på biologisk nedbrytbart stoff
- O<sub>2</sub>-konsentrasjonen
- ammoniumkonsentrasjonen

Temperaturen i avløpsvannet fra to norske renseanlegg er vist på fig. 2.

FAN valgte Kaldnesprosessen til hovedprosess.

Ved valg av fordenitrifikasjon eller etterdenitrifikasjon må man ta hensyn til følgende:

Forndenitrifikasjon:

- C/N forholdet
- Resirkulering av O<sub>2</sub>
- Type kjemisk felling
- Utnytte karbonkilden i råvannet
- Volumiøse anlegg
- Betydelig internasjonal erfaring med aktiv slam, liten erfaring med biofilm.

Etterdenitrifikasjon:

- Ønsket renseseffekt kan styres
- Oksygen tilbakeføres ikke
- Kombinasjon med kjemisk felling
- Ekstern C-kilde — økologisk sett negativt
- Kompakte anlegg
- Liten internasjonal erfaring

### 3.0 FORSØK MED NITROGENRENSING I NORGE

#### 3.1 Karakterisering av norsk avløpsvann med tanke på N-fjerning v/Stein Østerhus, SINTEF-NHL.

Valg av renseprosess blir påvirket av ønsket renseseffekt og sammensetningen av nitrogenkomponentene:

Partikulært — N  
Ammonium — N  
Løst organisk — N  
NO<sub>x</sub>

Norske avløpsvann karakteriseres som

- relativt ferskt
- stor andel av organisk N
- svært lite NO<sub>x</sub>
- lave konsentrasjoner.

Dette har sin årsak i:

- relativt kort ledningsnett
- lav temperatur
- mye innlekkings- og overflatevann

Det er foretatt undersøkelse av 9 mekaniske anlegg med belastning >10.000 pe.

Resultatene gjengis av tabellene på neste side.

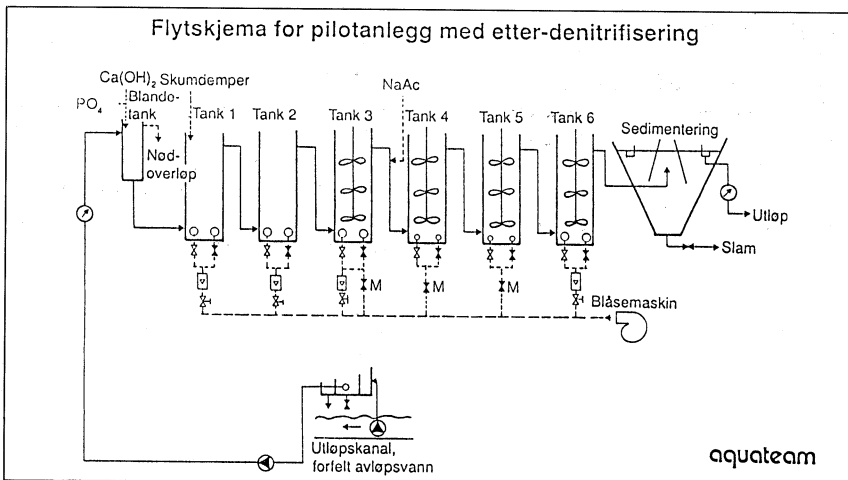
(Det er viktig å være oppmerksom på at det her ikke er årsmiddelverdier, men et begrenset antall prøver tatt i tørrværsperioder. Ref.anm.)

Typisk nitrogensammensetning av innløpet og utløpet fra renseanleggene (kjemiske anlegg)

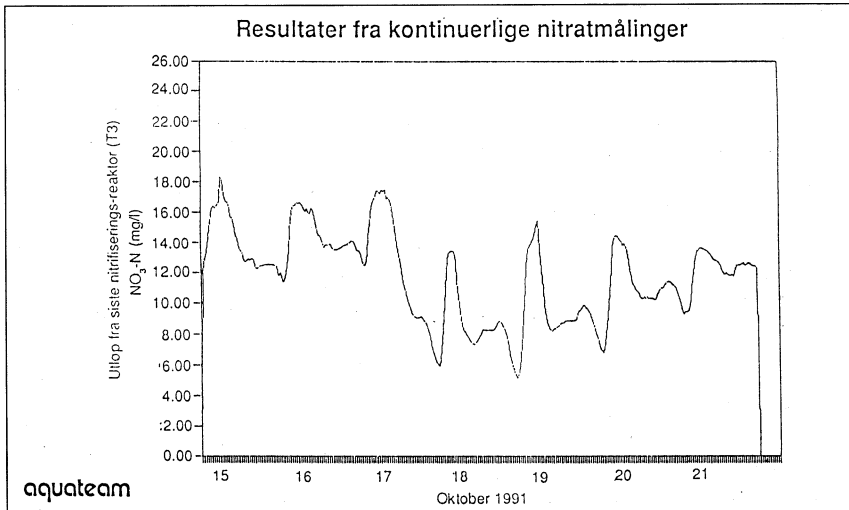
	Innløp (u/septik) mg N/l	Innløp (korrigert for septik- mottak) mg N/l	Utløp (m/septik) mg N/l
Total nitrogen	25	32	20
Partikulært nitrogen	7	13	1
Løst nitrogen	18	19	19
Ammonium	15	16	17.5
Nitritt + nitrat	0.15	0.15	0.5
Løst organisk nitrogen	3	3	1
Urea	1	1	0
KOF/Tot-N (ufiltrert prøve)	ca 10	-	-
KOF/Tot-N (filtrert prøve)	" 4,5	-	-

3.2 Etterdenitrifisering av forfelt avløpsvann med dykkede biologiske filtre — pilotforsøk ved Nordre Follo Kloakkverk v/Bjarne Paulsrud, Aquateam A/S.

Etterdenitrifikasjon med dykkede filtre ble utført i 1991 i et pilotanlegg, se tegning.



Kontinuerlige nitratmålinger på utløpet av pilotanlegget ble utført i oktober 91 og viser følgende døgnvariasjon:



Føreløpige konklusjoner fra pilotforsøkene med dykkete biofiltre ved Nordre Follo kloakkverk er følgende:

<i>Fordenitrifisering + etterfelling</i>	<i>Forfelling + etterdenitrifikasjon</i>
<b>Nitrifikasjon</b> * Hastighet opptil 0.9—1.0 g NH <sub>4</sub> — N/m <sup>2</sup> d ved 8°C	<b>Nitrifikasjon</b> * Hastighet opptil 1.6 g NH <sub>4</sub> — N/m <sup>2</sup> d ved 14°C i 2. og 3. reaktor * Liten el. ingen nitrifikasjon i 1. reaktor ved >10 g COD/m <sup>2</sup> d
<b>Denitrifikasjon</b> * Hastighet: <0.4 g NO <sub>3</sub> — N/m <sup>2</sup> d ved 8°C * C/N-forholdet begrensende for nitrogenfjerningen * Optimalt resirkuleringsforhold: ≤ 2.0	<b>Denitrifikasjon:</b> * Hastighet: 1.9—2.4 g NO <sub>3</sub> — N/m <sup>2</sup> d ved C/N = 3.5—6.5 g COD/g NO <sub>3</sub> -N
<b>Renseeffekt m.h.p. total nitrogen:</b> 50—70%	<b>Renseeffekt m.h.p. total nitrogen:</b> —90%
<b>Nødvendig hydraulisk oppholdstid i bioreaktorer:</b> — 6 timer Anoksisk sone 1/2—2/3 av totalt bioreaktorvolum	<b>Nødvendig hydraulisk oppholdstid i bioreaktorer:</b> ≤ 3 timer Anoksisk sone 1/4 av totalt bioreaktorvolum



### 3.3 Pilotforsøk ved NTH

v/Lars Hem, NTH.

Det er utført forsøk ved NTH etter modellen forfelling med etterdenitrifikasjon. Det ble laget et syntetisk avløpsvann.

Forsøkene viste for:

- nitrifikasjonen at oksygenivået må holdes høyt
- denitrifikasjon at det er nødvendig med 30 mg COD/l for å få igang prosessen.

Når det gjelder fosfor, greide bakteriene å spalte totalfosfor til ortofosfat.

### 3.4 Forsøk med membranfiltrering

v/Torleiv Bilstad, Høgskolesenteret i Rogaland.

Det er gjort forsøk med membranfiltrering på Oltedal renseanlegg.

Fjerning av nitrogen ved hjelp av slikt filter vil alltid ligge mellom 90—98%.

Membranfiltre for rensing mhp. nitrogen er slik at vannet trykkes gjennom filtret mens nitrogenet (som finnes i slammet) holdes igjen. Desto høyere trykk som settes på filtre, desto større blir kapasiteten.

For beregning av membranfiltrering brukes følgende data:

Kapasitet: 20 l/m<sup>2</sup>/time

Trykk: 30 bar

(Kostnadene til nåværende membranfiltrering er høy. Hva fremtiden vil fremskaffe av nye/billige filtre blir spennende å se. Ref.anm.)

### 3.5 Forsøk med ammoniakkstripping

v/Lasse Vråle, Carl H. Knudsen A/S

Siv.ing. Carl H. Knudsen AS har gjennomført en forprosjektskisse og

undersøkelser i pilotanlegg med nitrogenreduksjon ved kombinert kalkfelling og ammoniakkstripping i lukket anlegg ved Solumstrand renseanlegg i Drammen.

Resultatene har vist at nitrogenreduksjonen er betydelig større enn tidligere antatt. Årsaken er at selve kalkfellingstrinnet fjerner partikulært organisk nitrogen som var med på å redusere forholdet mellom ammonium og totalnitrogen i råkloakken. I et strippinganlegg for hovedstrømmen må anlegget kombineres med et kalkfellinganlegg for å få tilstrekkelig høy pH. Andelen strippbart nitrogen i utløpsvannet fra det kjemiske anlegget som er innløpet til strippinganlegget, vil derfor være betydelig høyere, nærmere 90%.

Resultatene fra Drammen har vist at det bør være enkelt å oppnå 70% nitrogenrensing ved en slik kombinasjon i et lukket strippinganlegg. Siden energibehovet ved strippingprosessen og energiprisene er vesentlig lavere enn tidligere antatt, er de totale spesifikke renseskostnadene vesentlig lavere enn angitt tidligere og er beregnet til 70 øre pr m<sup>3</sup> for Solumstrand r.a.

Stripping av rejeaktvannet fra slamavvanningen viste seg å være uinteressant fordi kalkfellingsprosessen, som heller ikke anvender anaerob utråtning, unngår å løse opp fjernet organisk nitrogen i slammet til løst fri ammonium, slik at filtratvannet fra kammerfilterpressen bare inneholdt små nitrogenkonsentrasjoner. Returstrømmen av nitrogen tilbake til innløpet utgjorde mindre enn 1 prosent.

#### 4.0 KRAV TIL TILTAK, PLANER FOR FORSØK, VEAS OG OVA

v/Svein E. Moen, NORVAR

OVA/BRA (Bekkelaget renseanlegg) og VEAS har begge fått krav om 70% nitrogenfjerning innen 01.01.96.

MD har gitt tilsagn om tilskudd på 35% av investeringene.

I tillegg er det gitt tilsagn om et tilskudd til nødvendig FOU-virksomhet, da disse to anleggene blir pionerlegg med hensyn til nitrogenfjerning i Norge.

Stipulerte anleggskostnader for nitrogenfjerning:

- OVA ca. 100 mill. kr. (1991-verdi)
- VEAS ca. 430 mill. kr. (1991-verdi)

Tilskudd fra MD til FOU-virksomheten:

- OVA: ca. 15 mill. kr.
- VEAS: ca. 35 mill. kr.

MD har oppnevnt en faglig styringsgruppe (NOVE-gruppen) for oppfølgingen av FOU-virksomheten vedrørende nitrogenreanseanlegg ved VEAS og BRA.

Styringsgruppens mandat:

1. Koordinere den FOU-virksomheten ved OVA og VEAS som skal skje innenfor MDs tilskuddsramme til FOU.
2. På faglig grunnlag vurdere hvilke prosjekter som bør gjennomføres.
3. Gi MD en anbefaling om hvilke prosjekter som bør finansieres over statsbudsjettet.
4. Sørge for at endringer av generell interesse er tilgjengelig for andre anleggseiere.

Viktig for styringsgruppen:

- Skal være rådgivende når det gjelder FOU ved VEAS og OVA.

- Ansvaret for disponering av tilskuddsmidlene tilligger henholdsvis OVA og VEAS.
- Ved uenighet mellom styringsgruppen og OVA/VEAS, skal det rapporteres til MD.
- FOU-virksomheten blir lagt opp helt forskjellig ved VEAS og BRA.

Nitrogenfjerning ved VEAS.

Basert på tidligere forsøksvirksomhet i pilotskala er løsning skissert i VEAS-konseptet.

- Linje 1 i fullskala blir pilotlinje for valgt prosess.
- Skal være fullført i løpet av 1992.
- Utstrakt FOU-virksomhet knyttet til pilotlinjen.
- Suksessiv fullføring av renselinje 2 til 8.
- Hele anlegget skal være i full drift fra 01.01.96.

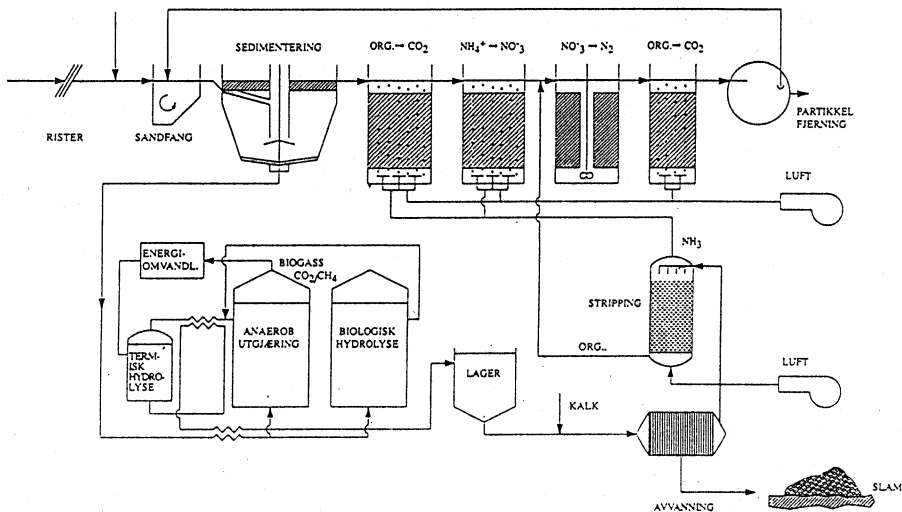
En rekke FOU-prosjekter vil bli gjennomført, dels før utbyggingen og dels på pilotlinjen.

I det store antall delprosjekter som vil bli gjennomført, vil VEAS forsøke å engasjere en stor del av det norske fagmiljøet, for på denne måten å kunne spre kompetansen. VEAS-konseptet er vist på figur på neste side.

Nitrogenfjerning ved OVA/BRA:

Det vil her bli gjennomført 3 (evt. 4) delprosjekter som skal gi dimensjoneringsgrunnlag for valg av endelig utbygging ved BRA.

Etter at disse prosjektene er gjennomført, vil OVA velge prosess og planlegge utbygging, slik at anlegget står ferdig med komplett nitrogenfjerning innen 01.01.96.



Det vil evt. også bli gjennomført prosjekter vedrørende:

- Døgnvariasjoner
- Industriutslipp
- Temperaturavhengighet
- Behov for alkalisering
- Optimal forbehandling med tanke på restinnhold fosfat

- Behov for forsedimentering
- Karbonkilde
- Instrumentering og styring.

Samordning med tilsvarende prosjekter på VEAS.