

Rensning for nitrat og pesticider i små vandforsyningsanlæg

Anders G. Christensen, Erling V. Fischer og Tom Pedersen
NIRAS Rådgivende Ingeniører og Planlæggere A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING OG FORMÅL	11
1.1 BAGGRUND	11
1.2 PESTICIDER – EN KORT BESKRIVELSE	11
1.3 NITRAT – EN KORT BESKRIVELSE	12
1.4 KVALITETSKRAV TIL DRIKKEVAND	12
1.5 FORMÅLET MED DENNE RAPPORT	12
2 METODER GENERELT	14
2.1 RENSNING FOR PESTICIDER	14
2.1.1 <i>Aktivt kul</i>	14
2.1.2 <i>Membranfiltrering</i>	15
2.1.3 <i>Destillation</i>	15
2.2 RENSNING FOR NITRAT	15
2.2.1 <i>Ionbytning</i>	16
2.2.2 <i>Omvendt osmose</i>	17
2.2.3 <i>Denitrifikation</i>	18
2.3 SIMULTAN RENSNING FOR PESTICID OG NITRAT	18
3 METODER FOR ENKELT VANDFORSYNINGSSANLÆG	20
3.1 SÆRLIGE FORHOLD FOR ENKELT VANDFORSYNINGSSANLÆG	20
3.2 RENSNING FOR PESTICIDER	21
3.2.1 <i>Aktivt kul filtrering (GAC)</i>	21
3.2.2 <i>Membranfiltrering</i>	21
3.3 RENSNING FOR NITRAT	22
3.3.1 <i>Ionbytning</i>	22
3.3.2 <i>Omvendt osmose</i>	23
3.4 SIMULTAN RENSNING FOR PESTICID OG NITRAT	23
3.5 EKSEMPLER PÅ ANLÆG I DRIFT TIL PRODUKTION AF DRIKKEVAND	23
3.5.1 <i>POE anlæg på stor gård</i>	23
3.5.2 <i>POE anlæg på landcafé</i>	24
3.5.3 <i>POU anlæg i landsbyhus for én familie</i>	25
3.5.4 <i>Andre besøgte anlæg</i>	26
3.5.5 <i>Bemærkninger</i>	26
3.6 GENEREL ORIENTERING OM ANDRE ANLÆGSTYPER	27
4 MYNDIGHEDSGODKENDELSE	28
4.1 MYNDIGHEDSGODKENDELSE I USA	28
4.1.1 <i>Den centrale vejledning</i>	28
4.1.2 <i>Relevante ANSI/NSF standarder</i>	29
4.2 MYNDIGHEDSGODKENDELSE I TYSKLAND	29
5 DISKUSSION	30
5.1 OVERORDNET	30

5.2	BORTSKAFFELSE AF AFFALD	31
5.3	ØKONOMI OVERSLAG	31
6	ANBEFALINGER FOR TESTS I DANMARK	34
6.1	RÅVAND	36
6.2	BUDGETOVERSLAG	36
6.3	TIDSPLAN	37
7	REFERENCER	39

Forord

GEUS har for Miljøstyrelsen gennemført undersøgelser, som dokumenterer, at en stor del af de private brønde og borer er forurenet med pesticider. Hertil kommer, at en betydelig del af anlæggene også er forurenet med nitrat og/eller mikroorganismer.

Traditionelt har løsningen på vandforsyningsproblemerne i de private brønde og borer været tilslutning til vandværk, renovering af anlægget eller etablering af en ny boring. Rensning af drikkevandet for pesticider og nitrat på enkeltejendomme kan i nogle tilfælde være et relevant alternativ.

Formålet med denne rapport er, at vurdere de anlægstyper der er på markedet, som kan rense drikkevand for pesticider og/eller nitrat på enkelt vandforsyningsanlæg (private brønde og borer). Anlægstyperne vurderes med henblik på en eventuel fremtidig anvendelse i Danmark. Der er udarbejdet et forslag til en eventuel praktisk afprøvning af de mest relevante anlægstyper.

Der er erfaring med rensning for pesticider og nitrat på enkeltejendomme i lande som Tyskland, Holland, Storbritannien og især USA. Desuden vinder metoderne frem i store dele af Asien.

I dette projekt er der indsamlet data og erfaring i USA og Tyskland:

USA: Dataindsamling i USA er foregået ved planlægning og gennemførelse af møder med 3 kontorer under US EPA (United States Environmental Protection Agency) i Cincinnati:

- Water Supply & Water Resources. Small System Studies. Kontaktperson er Thomas F. Speth.
- NSF (National Sanitation Foundation), center: "Drinking Water Treatment Units Certification Program". Kontaktperson er Bruce Bartley.
- ETV Program (Environmental Technology Verification Program). Kontaktperson er Jeff Adams.

NSF er akkrediteret til at udarbejde standarder under ANSI (American National Standards Institute), mens der under ETV programmet afprøves kommercielt tilgængelige vandbehandlingsteknologier for enkelt vandsforsyningsanlæg.

Tyskland: Dataindsamling i Tyskland er foregået ved besøg hos, og samarbejde med IWW (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung), der har fungeret som underrådgiver på dette projekt. Kontaktperson er Dieter Stetter. Besøg på enkelt vandforsyningsanlæg i landdistrikt Kreis Kleve blev foretaget sammen med Dieter Stetter fra IWW og Hr. Mye fra Bundesamt Kreis Kleve. I Tyskland har man på enkelt vandforsyningsanlæg hidtil især koncentreret sig om nitratfjernelse.

Denne rapport præsenterer således viden, erfaringer og data med udgangspunkt i:

- Litteratursøgning på DTV, internet og hos samarbejdspartnere i USA og Tyskland
- Planlægning og gennemførelse af møder med relevante personer hos den amerikanske miljøstyrelse (US EPA)
- Fremskaffelse af amerikanske normer og standarder (som i øvrigt også benyttes ved myndighedsgodkendelse i Tyskland)
- Planlægning og gennemførelse af møder med Dieter Stetter m. fl. fra IWW i Nordrhein-Westfalen, Tyskland
- Besigtigelse af enkelt vandforsyningsanlæg på landejendomme ved byen Kevelaer (Kreis Kleve) i Tyskland
- Bearbejdning og sammenfatning af data.

Det skal bemærkes, at de amerikanske betegnelser POE og POU har vundet indpas i andre lande og også vil blive anvendt i denne rapport. POE står for Point Of Entry, som er små vandbehandlingsanlæg placeret ved indgang til en ejendom således, at al vand på ejendommen er blevet behandlet før brug. POU står for Point Of Use, som er meget små vandbehandlingsanlæg placeret ved den enkelte vandhane – for eksempel under køkkenvasken.

Rapporten er udarbejdet af Niras for Miljøstyrelsen.

Sammenfatning og konklusioner

GEUS har for Miljøstyrelsen gennemført undersøgelser, som dokumenterer, at en stor del af de private brønde og borer er forurenet med pesticider. Hertil kommer, at en betydelig del af anlæggene også er forurenet med nitrat og/eller mikroorganismer.

Rensning af drikkevandet for pesticider og nitrat på enkeltejendomme kan i nogle tilfælde være en mulighed.

Formålet med denne rapport er, at vurdere de anlægstyper der er på markedet, som kan rense drikkevand for pesticider og/eller nitrat på enkelt vandforsyningsanlæg (private brønde og borer). Anlægstyperne vurderes med henblik på en eventuel fremtidig anvendelse i Danmark.

De væsentligste erfaringer med rensning af drikkevand for pesticider og nitrat på enkeltejendomme foreligger hos myndigheder og forsknings-institutter i USA og Tyskland. Derfor er der indsamlet viden og data ved besøg hos myndigheder i USA og Tyskland samt besigtigelse af anlæg i Tyskland. Desuden er der foretaget litteratursøgning på DTV, m.v.

Rapporten beskriver, at der i USA er en central vejledning for implementering af enkelt vandforsyningsanlæg /Ref.7/ samt, at enkelt vandforsyningsanlæg testes og godkendes i henhold til standarderne /Ref.14,15,16,17,18,19/.

I Tyskland godkender de lokale myndigheder installation og drift af enkelt vandforsyningsanlæg. Det er også de lokale myndigheder, der fastlægger og følger monitoringen. Enkelt vandforsyningsanlæg testes og godkendes i henhold til de amerikanske standarder nævnt ovenfor.

Rapportens konklusion er, at POU anlæg (Point-Of-Use, dvs. anlæg placeret ved den enkelte taphane) byder på for mange ulemper og bør ikke anvendes i Danmark. De væsentligste ulemper er: POU anlæg kan ikke altid overholde kvalitetskravene til mikrobiologiske parametre. Man skal vide, hvilken vandhane man kan drikke af. Der er ikke tilstrækkelig beskyttelse mod indånding, hvis råvandet indeholder flygtige stoffer. Pasning og monitorering af anlægget kræver adgang til folks private hjem. Mange steder i USA og Tyskland vil man fremover ikke godkende brug af POU anlæg.

POE: Derimod kan POE anlæg (Point-Of-Entry, dvs. anlæg placeret ved indgangen til en ejendom således, at al vand i ejendommen er behandlet) formentlig være anvendelige i Danmark. Et POE anlæg bør placeres køligt (alternativt med en køler - især af en eventuel rentvandstank), frostfrit og let tilgængeligt af hensyn til vedligeholdelse, tilsyn og monitorering.

Oplysningerne fra USA og Tyskland har ikke gjort det muligt at få et entydigt overblik over prisen per m³ vand produceret på et POE anlæg til brug for danske forhold. Dette skyldes blandt andet, at forholdende ved bortskaffelse af rejeckt vand og regenereringsvand må vurderes fra sted til sted, men skyldes

også en generel mangel på oplysninger om økonomi (herunder udgifter til tilsyn og monitoring).

Det er i denne rapport (i kapitlet "Diskussion") forsøgt at give et foreløbigt økonomioverslag for danske forhold, som viser, at den samlede overslagspris for 1 m³ drikkevand kan svinge fra 22 til 92 kr. med 30-35 kr. som en sandsynlig pris under de beskrevne forudsætninger.

Med hensyn til vandkvalitet/krav kan det nævnes, at to centrale processer i enkelt vandforsyningsanlæg er ionbytning og nanofiltrering/omvendt osmose. For drift i Danmark med disse to processer kan der blive problemer med at overholde nogle få kravværdier for drikkevand. For ionbytning drejer det sig om pH værdien, som let kan komme under den danske kravværdi på 7. For nanofiltrering/omvendt osmose kan det behandlede vand, på grund af afsaltning, måske få problemer med at overholde en hårdhed på 5 °dH og et saltindhold, der medfører en ledningsevne på den danske kravværdi på mindst 30 mS/m.

Tests i Danmark: For tests i Danmark anbefales POE anlæg.

Et testanlæg til reduktion/fjernelse af pesticider kan opbygges med **følgende centrale processer:**

1. Aktiv kulfiltrering og UV behandling
2. Nanofiltrering

Et testanlæg til reduktion/fjernelse af nitratinhold kan opbygges med følgende centrale processer:

3. 2 parallelle ionbyttere
4. Omvendt osmose

Et testanlæg til simultan reduktion/fjernelse af pesticider og nitratinhold kan opbygges med følgende centrale processer:

5. Omvendt osmose

Ovennævnte processer bør afprøves på **følgende vandtyper:**

- Blødt vand med jern og mangan (som kræver forbehandling)
- Blødt vand uden jern og mangan
- Hårdt vand med jern og mangan (som kræver forbehandling)
- Hårdt vand uden jern og mangan

Det anbefales at udføre tests med et nitratinhold på for eksempel 100 mg/l. Pesticidindholdet kan for eksempel være 0,5 µg/l. Pesticiderne kan være enkeltstoffer eller blandinger af de stoffer der er nævnt i afsnit 1.2.

Der foreslås således at der gennemføres:

4 processer · 4 vandtyper · 1 nitratinhold · 1 pesticidindhold = 16 måleserier.

Der skal fastlægges et måleprogram, der blandt andet bør indeholde, at der udtages en vandprøve før og en vandprøve efter vandbehandlingen, som analyseres for "Udvidet kontrol" og pesticider.

Summary and conclusions

On behalf of the Danish Environmental Protection Agency, the Geological Survey of Denmark and Greenland, GEUS; has made investigations which show that a major part of the private wells are polluted with pesticides. Furthermore, a major part of the wells are polluted with nitrate and/or micro organisms. Drinking water purification in local homes and buildings may be an alternative.

The aim of this project is to evaluate novel plants for treatment of pesticides and/or nitrate at local water supplies (private wells). The plants are evaluated in terms of possible future application in Denmark.

The most detailed experience regarding local water treatment for pesticides and nitrate is from authorities and research institutes in the US and Germany. Therefore, know-how was collected by visiting authorities in the US and Germany as well as by visiting plants in Germany. Also a literature search was conducted at the DTV (Technical Knowledge Centre of Denmark), etc.

The report describes that important guidance for implementation of local water treatment plants is given in the US /Ref.7/, and that these local plants are being tested and approved according to the standards: /Ref.14,15,16,17,18 and 19/.

In Germany, the installation and operation of local plants is approved by the local authorities, who also plan and supervise the monitoring activities. Local plants are being tested and approved according to the American standards previously mentioned.

The conclusion of the report is that POU (Point-Of-Use) plants should not be applied in Denmark, whilst POE (Point-Of-Entry) plants may be useful in Denmark. A POE plant should be placed in cool premises (alternatively connected to a cooler – particularly the water storage tank), non-freezing, and with easy access for monitoring and maintenance.

It has not been possible to get a clear survey of production costs. This is partly due to various ways of presenting costs and partly due to various conditions relating to the disposal of wastes.

In the chapter “Diskussion” of this report, the possible costs of application in Denmark are estimated. The total estimated price is in the range from DKK 22 to 92/m³ (euro 3-12) and depend greatly on which solutions are selected for waste handling. A probable price is 30-35 kr/m³ (euro 4-5).

It is recommended only to test POE plants in Denmark.

Two important processes for local water supplies are ion exchange and nanofiltration/reverse osmosis. For ion exchange, the pH value may be lower than 7, which is the Danish requirement for drinking water. For nanofiltration/reverse osmosis, the hardness may be lower than 5°dH, and the

conductivity may be lower than 30 mS/m, both of which are the Danish requirements for drinking water.

A pilot plant to reduce/remove pesticides should include the following main processes:

1. Activated carbon (GAC) and UV treatment
2. Nanofiltration

A pilot plant to reduce/remove nitrate should include the following main processes:

3. 2 ion exchangers in parallel
4. Reverse osmosis

A pilot plant to simultaneous reduction/removal of pesticides and nitrate should include the following main processes:

5. Reverse osmosis

These processes should be tested with the following types of raw water:

- Soft water with iron and manganese (which requires pre-treatment)
- Soft water without iron and manganese
- Hard water with iron and manganese (which requires pre-treatment)
- Hard water without iron and manganese

The nitrate concentration could be for instance 100 mg/l. The pesticide concentration could be for instance 0.5 µg/l. The pesticides can be one compound or mixtures of the compounds mentioned in section 1.2.

Thus, it is suggested to conduct the following series of measurement:

4 processes · 4 water types · 1 nitrate concentration · 1 pesticide content = 16 series of measurement.

The monitoring program should, at least, be planned to comprise raw water analyses as well as treated water analyses for “Extended control” and “Pesticides”.

1 Indledning og formål

1.1 Baggrund

GEUS har for Miljøstyrelsen gennemført undersøgelser, som dokumenterer, at vandet fra en stor del af de private brønde og borerer er forurenet med pesticider. Der blev fundet pesticider i 58,3 % af borerne heraf 35,5 % med koncentrationer 0,1 µg/l og 10,8 % med koncentrationer 1 µg/l. Hertil kommer, at en betydelig del af anlæggene også er forurenet med nitrat og/eller mikroorganismer.

Traditionelt har løsningen på vandforsyningsproblemerne i de private brønde og borerer været tilslutning til vandværk, renovering af anlægget eller etablering af en ny boring.

I lyset af de udbredte problemer med vandkvaliteten i de private brønde og borerer samt de begrænsninger, som de traditionelle løsninger har, kan rensning af drikkevandet for pesticider og nitrat på enkeltejendomme i nogle tilfælde være et relevant alternativ.

1.2 Pesticider – en kort beskrivelse

Afgrøderne tilføres pesticider ved sprøjtning af markerne og sprøjteudstyret rengøres på vaskepladser. Der kan ske et tab af pesticider, der kan sive ned til det højest liggende grundvand. Pesticider forekommer derfor oftest i ungt højtliggende grundvand, og påvirker vandkvaliteten i korte brønde og borerer, hvilket i praksis ofte er tilfældet for små private vandforsyninger.

De pesticider der typisk forekommer i dansk grundvand fremgår af tabel 1:

Tabel 1: Pesticider der typisk forekommer i dansk grundvand:

Stof	C-A (Chemical Abstract) navn
Atrazin	6-chloro- <i>N</i> -ethyl- <i>N</i> '-(1-methylethyl)-1,3,5-triazine-2,4-diamine
Simazin	6-chloro- <i>N,N'</i> -diethyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine
Terbutylazin	6-chloro- <i>N</i> -(1,1-dimethylethyl)- <i>N'</i> -ethyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine
Glyphosat	<i>N</i> -(phosphonomethyl)glycine
Nedbrydningsprodukter	C-A navn
Desethylatrazin	2-chloro-4-amino-6-isopropylamino-S-triazine
Desisopropylatrazin	2-chloro-4-amino-6-ethylamino-S-triazine
Hydroxyatrazin	2-hydroxy-4-ethylamino-6-isopropylamino-S-triazine
Desethylterbutylazin	2-(tert-butylamino)-4-chloro-6-amino-S-triazine
BAM	2,6-dichlorobenzamide
AMPA	aminomethylphosphonic acid

Deethylatrazin er et nedbrydningsprodukt fra Atrazin.

Desisopropylatrazin er et nedbrydningsprodukt fra Atrazin og Simazin.

Hydroxyatrazin er et nedbrydningsprodukt fra Atrazin.

Deethylterbutylazin er et nedbrydningsprodukt fra Terbutylazin.

BAM er et nedbrydningsprodukt fra Dichlobenil (2,6-dichlorobenzonitril).

Dichlobenil er ikke på listen da det hurtigt nedbrydes til BAM.

AMPA er et nedbrydningsprodukt fra Glyphosate.

1.3 Nitrat – en kort beskrivelse

Ved aerob nedbrydning af organisk stof dannes iltholdige stoffer herunder næringssaltet nitrat (NO_3^-). Nitrat kan så ved biologisk omsætning indgå i opbygning af nyt organisk stof.

Afgrøderne tilføres nitrat ved gødning af markerne. Der kan ske et tab af nitrat, der kan sive ned til det højest liggende grundvand. Nitrat forekommer derfor oftest i ungt højtliggende grundvand, og påvirker vandkvaliteten i korte brønde og borer, hvilket i praksis ofte er tilfældet for små private vandforsyninger.

Ved iltfrie/anaerobe forhold reduceres nitrat ved biologisk omsætning til kvælstof (N_2) via mellemproduktet nitrit (NO_2^-).

Nitrat kan også stamme fra septiktanke, utætte kloakrør, mm.

Nitrat er en anion, der er meget let opløselig i vand.

1.4 Kvalitetskrav til drikkevand

Pesticider: I Danmark er kvalitetskravet til drikkevand: 0,5 µg/l for ”Sum af alle pesticider”, og: 0,03 µg/l for enkelt stofferne: ”Aldrin, dieldrin, heptachlor og heptachlorepoxyd”, samt: 0,1 µg/l for ”Andre pesticider” - både ved afgang fra vandværk og ved forbrugers taphane /Ref.1/.

Til orientering kan det nævnes, at kvalitetskravet til ”Sum af alle pesticider” pesticider i Tyskland også er 0,5 µg/l, og at det for enkeltstofferne er 0,1 µg/l /Ref.13/.

Det nationale kvalitetskrav i USA er specifikke kravværdier for hver enkelt pesticid /Ref.2/.

Nitrat: I Danmark er kvalitetskravet til drikkevand et nitrat-indhold på 50 mg/l både ved afgang fra vandværk og ved forbrugers taphane /Ref.1/. Kvalitetskravet til nitrit er 0,1 mg/l ved forbrugers taphane (se dog fodnoter i /Ref.1/).

Til orientering kan det nævnes, at kvalitetskravet til nitrat i Tyskland også er 50 mg/l.

Det nationale kvalitetskrav i USA er 10 mg/l nitrat-kvælstof, hvilket svarer til 44 mg/l nitrat /Ref.2/. I visse stater er kvalitetskravet for følsomme personer 8,5 mg/l nitrat-kvælstof, hvilket svarer til 38 mg/l nitrat /Ref.3/.

1.5 Formålet med denne rapport

Formålet med denne rapport er, at vurdere de anlægstyper der er på markedet, som kan rense drikkevand for pesticider og/eller nitrat på enkelt vandforsyningsanlæg (private brønde og borer).

Herunder vurderes, hvilke anlægstyper der er egnede under danske forhold med hensyn til blandt andet:

- Kvaliteten af det tilførte vand
- Kvaliteten af det rensede vand
- Drift og vedligeholdelse af anlæggene
- Økonomiske forhold (anskaffelse og drift)

Desuden stilles der forslag til afprøvning i felten af et passende antal anlæg.

2 Metoder generelt

I dette kapitel beskrives rensemetoderne generelt med udgangspunkt i pilotforsøg m.m. og især med henblik på større anlæg. Særlige forhold ved små enkelt vandforsyningsanlæg beskrives i kapitel 3.

Der omtales kun de aktuelle enhedsprocesser (enhedsoperationer) til brug for fjernelse af pesticider og/eller nitrat. Enhedsprocesser for forbehandling og efterbehandling omtales ikke.

2.1 Rensning for pesticider

I hovedsagen er der 3 metoder til at fjerne pesticider fra drikkevand: Aktivt kul, membranfiltrering og destillation. Aktivt kul filtrering må betragtes som den traditionelle proces.

2.1.1 Aktivt kul

Aktivt kul som filtermateriale (GAC filtre, GAC = granular activated carbon) er en kendt proces på nogle få vandværker i Danmark /Ref.8/. Aktivt kul filtre er effektive til at fjerne pestider. Opholdstiden er ca. 10-15 min., der skal sjældent returskylles (dog oftere ved overfladevand end ved grundvand) og driftsudgifterne er små. Kuludgifterne for Frederiksberg Vandværk (grundvand) er ca. 0,06 kr/m³ vand /Ref.8/. Aktivt kul filtre udgør som regel det næstsidste behandlingstrin kun efterfulgt af desinfektion. Der kan forekomme biovækst i kullene, især hvis vandet indeholder lidt organisk stof, som kan medføre afgivelse af kim. Problemet er mest aktuelt ved behandling af overfladevand, mens det ikke er så aktuelt ved behandling af grundvand. Alle de fire vandværker (tre for behandling af grundvand og et for behandling af overfladevand), der beskrives i /Ref.8/, er udstyret med desinfektion efter kulfiltrene. De tre anlæg har UV behandling, mens det fjerde anlæg har desinfektion ved tilsætning af monokloramin.

Aktivt kul kan også tilsættes vandet som pulver (PAC = powdered activated carbon). Dette skal nævnes fordi PAC muligvis snart vil blive anvendt i enkelt vandforsyningsanlæg. Med hensyn til store vandbehandlingsanlæg, skal det som et eksempel nævnes, at PAC er blevet anvendt på et overfladevandværk ved Münster i Tyskland /Ref.4/. Forsøg under drift viser, at nødvendige opholdstider for fuldstændig fjernelse af pesticider er af størrelsesordenen 24 timer, men allerede efter ca. 15 min. opnås ca. 60 % reduktion ved en dosering af 4-5 mg PAC per liter. Processen er, at PAC blandes i vandet i en koncentration på 2-10 mg/l. Efter god omrøring strømmer vandet til et upflow reaktions- og bundfældningsbassin med en opholdstid på 15-45 min. Dernæst filtreres resterende kul fra i dobbeltmedie filtre med hydroanthracit og sand. Processens fordel er, at den tilsatte mængde kul kan varieres efter årstidsvariationerne i råvandets indhold af pesticider, mens en væsentlig ulempe er, at kullene ikke udnyttes optimalt. Kulforbruget er således typisk højere end for GAC filtrering.

2.1.2 Membranfiltrering

Ved membranfiltrering pumpes vandet gennem en membran med små porer. Nanofiltrering har porer i størrelsesordenen 10^{-3} til 10^{-1} μm , mens omvendt osmose har porer i størrelsesordenen 10^{-4} til 10^{-2} μm . Der kræves derfor et større pumpetryk ved brug af omvendt osmose membraner, dels fordi de mindre porer medfører et større tryktab, og dels for at modvirke det osmotiske tryk. For nanofiltrering på store vandbehandlingsanlæg ligger pumpetrykket på 5-20 bar /Ref.6/, mens det er højere ved omvendt osmose.

Ved membranfiltrering dannes der opkoncentreret rejektvand, som skal bortledes. Rejektvandsmængden afhænger af, hvordan driften styres, men kan udgøre ca. 10-40 % af råvandsmængden. Rensegraden hænger sammen med rejektvandsmængden og pumpetrykket, idet højere rensegrad typisk medfører større mængde rejektvand og højere tryk, mens lavere rensegrad typisk medfører mindre mængde rejektvand og lavere tryk. Bortledning af rejektvand er en ulempe ved processen.

Pesticider har en molekylstørrelse, så der kan fjernes en del med nanofiltrering (/Ref. 5/ angiver en rensegrad på op til 95% for ét trin og stort set uanset tilløbskoncentrationen), mens de kan fjernes helt med omvendt osmose. Ved nanofiltrering fjernes alt der ikke er opløst, mens også en del af det opløste stof fjernes ved omvendt osmose. I dette ligger der en del fordele og ulemper:

For omvendt osmose er fordelene, at alle pesticider og andre uønskede stoffer kan fjernes helt. Ulemperne er, at membranerne lettere stopper til på primærsiden pga. udfældet kalk, mm., samt at der fjernes uønskede stoffer som noget af kalken, saltene, mm., idet vandet bliver afsaltet. I Danmark er der et kvalitetskrav til en ledningsevne for drikkevand på mindst 30 mS/m. Det betyder, at vand der behandles med omvendt osmose sandsynligvis afsaltes så meget, at det må opblandes med ikke afsaltet vand, der ledes udenom membranfiltreringen. Dermed vil vandet igen få et – om end mindre - indhold af pesticider. Det vurderes derfor, at omvendt osmose kun er interessant, hvis der skal fjernes pesticider og/eller nedbrydningsprodukter heraf med en lille molekylstørrelse.

For nanofiltrering er fordelene, at pumpetrykket er lavere, hvilket sænker driftsomkostningerne, og at saltene ikke fjernes. Dog kan hårdheden reduceres, hvilket både kan være en fordel og en ulempe for vandkvaliteten, mens det helt klart er en ulempe for driften af membranerne grundet afsætninger på primærsiden /Ref.5/. Ulemperne ved nanofiltrering er, at pesticiderne ikke fjernes helt.

Det vurderes dog, at en rensegrad for pesticider på op til 95% er tilstrækkelig til de fleste opgaver, hvorfor nanofiltrering er den mest sandsynlige membranfiltreringsproces for rensning af pesticider i Danmark.

2.1.3 Destillation

Det er teknisk muligt, at anvende destillation, men det er alt for dyrt og energikrævende /Ref.7/. Metoden omtales ikke yderligere i denne rapport.

2.2 Rensning for nitrat

Overordnet findes der 3 metoder til at fjerne nitrat fra drikkevand:

Ionbytning, omvendt osmose og destillation (som ikke omtales yderligere). Dertil skal nævnes denitrifikation.

2.2.1 Ionbytning

Ved ionbytning ledes vandet gennem en beholder med et fyldningsmateriale, der indeholder ioner som byttes med ioner i vandet. I dette tilfælde skal anionen (negativt ladet) nitrat NO_3^- byttes med en anden anion. Når ionbytteren er mættet med nitrat, skal den regenereres ved at bytte nitraten ud med den oprindelige anion.

Den generelle fordel ved ionbytning er, at det er en effektiv proces med høje rensegrader, mens en væsentlig ulempe er, at andre anioner også kan bindes i ionbytteren, og afhængig af ion affiniteten kan nitrat afgives til vandet igen – måske i for høje koncentrationer. En anden ulempe er bortskaffelse af regenereringsvæsken, som typisk udgør ca. 3 % af den behandlede vandmængde.

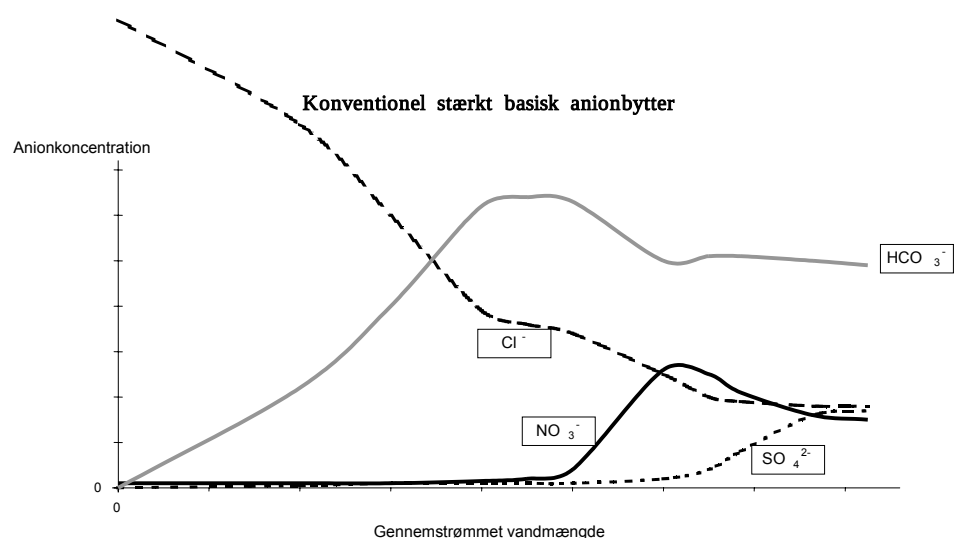
Ofte anvendes et fyldningsmateriale, hvor klorid (Cl^-) byttes med nitrat (klorid afgives til vandet, og nitrat bindes til fyldningsmaterialet) /Ref.10/.

Fyldningsmaterialet kan være polystyren der forberedes og regenereres med en stærk opløsning af natriumklorid (NaCl) /Ref.3/. Det skal da sikres, at klorid koncentrationen i vandet ikke kommer til at overstige drikkevandskvalitets kravet på maksimum 250 mg klorid per liter. Med normalt råvand og en god renskylning efter regenerering er klorid indholdet dog ikke noget problem.

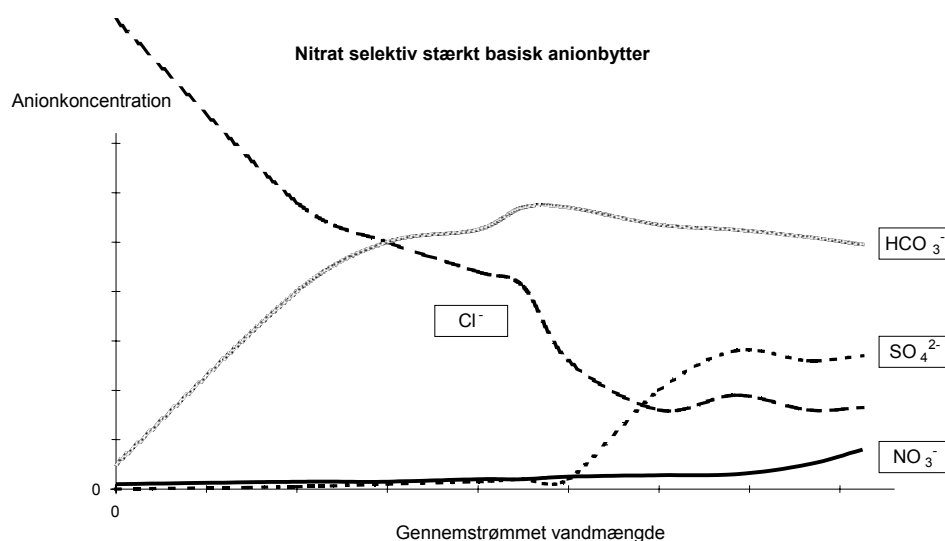
Ionbyttere til nitratfjernelse er:

- Konventionelle stærkt basiske anionbyttere
- Nitrat selektive stærkt basiske anionbyttere

De konventionelle ionbyttere optager helst divalente anioner som især sulfat (SO_4^{2-}). Det betyder, at ionbytteren på et tidspunkt (når kapaciteten er ved at være opbrugt) begynder at afgive nitrat for at kunne optage sulfat, - se figur 1. Denne nitratkoncentration kan let være over kravværdien på 50 mg nitrat per liter. Hvis der derfor er et relativt højt sulfatindhold i råvandet, kan det være en fordel at anvende en nitrat selektiv ionbytter. Da vil det være sulfat der først frigives og koncentrationen kan måske overskride kravværdien på 250 mg per liter, - se figur 2.



Figur 1. Diagram af IWW, der viser princippet for afgivelse af anioner fra en konventionel ionbytter. Ved 0 på førsteaksen er ionbytteren netop blevet regenereret.



Figur 2. Diagram af IWW, der viser princippet for afgivelse af anioner fra en nitrat selektiv ionbytter. Ved 0 på førsteaksen er ionbytteren netop blevet regenereret.

Det ses for begge typer ionbyttere, at hydrogencarbonat fjernes i starten af driftsperioden. Herved mindskes vandets bufferkapacitet og pH falder. Dermed vil pH svinge fra en lav til en højere værdi i driftsperioden mellem to regenereringer.

Det skal også nævnes, at der kan benyttes en tredje slags ionbytter, for eksempel type CARIX, som både bytter anioner og kationer. Nitrat og andre anioner vil da byttes til hydrogenkarbonat (HCO_3^-). Denne ionbytter kan måske benyttes, hvis den konventionelle eller den selektive ionbytter vil give for høje koncentrationer af nitrat, klorid eller sulfat, mm.

Der er ikke fundet oplysninger om prisen for ionbytning, men ud fra andre ionbytningsprocesser vurderes produktionsprisen ved nitratfjernelse at være ca. 0,25 kr/ m^3 .

2.2.2 Omvendt osmose

For at kunne fjerne nitrat fra vandet, skal porestørrelsen være $10^{-3} \mu\text{m}$ eller mindre /Ref.3/.

/Ref.9/ beskriver et italiensk pilotanlæg for behandling af $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ råvand. Heraf produceres der $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$ rentvand (permeat), mens $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$ må ledes bort som rejktvand. Pumpetrykket er 10 bar, og der indgår 6 membraner. Vandkvaliteten fremgår af tabel 1:

Tabel 2: Vandkvalitet for et omvendt osmose pilot anlæg til reduktion af nitrat.

	Råvand	Rejekt (koncentrat)	Rentvand (permeat)	Danske kvalitetskrav jf. /Ref.1/
Temperatur	14	15,3	15,2	Helst < 12
pH	7,2	7,5	5,4	7-8,5
Turbiditet (NTU)	0,32	0,32	0,32	1 FTU
Ledningsevne (mS/m)	56	101	1,2	> 30
Nitrat (mg/l)	29	55	2	< 50
Total Hårdhed (°dH)	19	38	0,1	Helst > 5 og < 30

Det ses, at permeatet er for surt (pH er for lav) og for blødt samt har for lav ledningsevne til at opfylde de danske kvalitetskrav til drikkevand (se /Ref.1/). Det behandlede vand vil derfor skulle blandes med noget råvand, hvorved noget nitrat tilføres igen.

I USA vil ovennævnte permeat kunne opfylde "National Primary Drinking Water Regulations" og kan altså i princippet drikkes, med mindre de enkelte stater også kræver overholdelse af parametrene for Korrosivitet og pH i "National Secondary Drinking Water Regulations".

Prisen for denne vandbehandling er estimeret til ca. 1,6 kr/m³ eksklusiv bortledning af rejeckt vand /Ref.9/.

2.2.3 Denitrifikation

Biologisk denitrifikation er en proces der har været anvendt i mange år til rensning af spildevand, mens den ikke har været benyttet til drikkevand. Dog er der de senere år udført forsøg med denne proces. For eksempel har University of Colorado udviklet en proces, hvor denitrificerende bakterier gror på polypropylen i fyldte kolonner med en højde på ca. 3 m og en diameter på ca. 1 m /Ref.3/. Som kulstofkilde benyttes majssirup. I de fyldte kolonner fjernes partikulært materiale, opløst organisk kulstof og ca. 85 % af nitraten fra vandet. Herefter strømmer vandet gennem et sandfilter for at fjerne resterende bakterier og partikler. Prisen for denne vandbehandling er estimeret til ca. 1 kr/m³ /Ref.3/.

Et andet eksempel er fra Torino i Italien, hvor myndighederne har udført forsøg med processen: Grundvand – biofilter – luftning – sandfilter – UV behandling /Ref.9/. Nitratholdet i vandet blev reduceret fra ca. 30 til ca. 2 mg/l. Ulempen var en stigning på grænsen af det acceptable for kimental, samt en acceptabel stigning for fosfor og turbiditet. Prisen for denne vandbehandling er estimeret til ca. 1,2 kr/m³ /Ref.9/.

Endelig er der for nylig udført forsøg med en kombination af biologisk denitrifikation og ionbytning /Ref.11/. Metoden må dog betegnes som værende på et meget tidligt stade og får næppe nogen betydning for enkelt vandforsyningsanlæg, hvorfor den ikke omtales yderligere.

2.3 Simultan rensning for pesticid og nitrat

Generelt for større anlæg kan pesticider og nitrat fjernes fra drikkevandet simultant ved omvendt osmose eller destillation.

For nylig er der udført forsøg med en særlig biofilm reaktor for simultan reduktion af nitrat og pesticid /Ref.12/. Metoden må betegnes som værende på et meget tidligt stade og får næppe nogen betydning for enkelt vandforsyningsanlæg, hvorfor den ikke omtales yderligere.

3 Metoder for enkelt vandforsyningsanlæg

I dette kapitel omtales de særlige forhold der er ved enkelt vandforsyningsanlæg, samt de behandlingsmetoder der kan anvendes. Der benyttes de amerikanske betegnelser POU (= Point Of Use) for behandling af drikkevandet ved den enkelte vandhane, og POE (= Point Of Entry) for behandling af drikkevandet ved indgangen til en ejendom.

I Danmark vil råvandet i mange tilfælde skulle forbehandles for at fjerne jern og mangan og øge iltindholdet, hvilket typisk vil ske ved luftning og dernæst filtrering i et sandfilter. Hvis råvandet indeholder bakterier, vil de typisk kunne reduceres tilstrækkeligt ved de nedenfor beskrevne processer i et POE anlæg. Der kan dog være tilfælde, hvor en forudgående desinfektion kan blive nødvendig. For POU anlæg vil bakterier i råvandet udgøre et større problem, hvilket beskrives nedenfor.

3.1 Særlige forhold for enkelt vandforsyningsanlæg

Sammenlignet med større anlæg er de særlige forhold:

1. Risiko for bakterier i råvandet.
2. Et mindre og ujævnt vandforbrug som betyder, at der ofte bruges gammelt vand. Ved POE er der en større sandsynlighed for et jævnt vandforbrug end ved POU, hvilket mindsker problemet.
3. For at undgå bakterievækst er det vigtigt, at der ikke er stillestående vand i områder af beholderne. Rentvandsbeholderen er særligt følsom.
4. Temperaturen er forhøjet de steder hvor POU er installeret, mens det ofte er lettere at installere POE i kølige omgivelser.
5. Ved POU skal man vide hvilke(n) vandhane(r) man kan drikke af.
6. Ved ionbytning skal der bortskaffes salt- (typisk natriumklorid) og nitratholdigt regenereringsvæske. Mængden kan for eksempel være 3 % af den producerede vandmængde svarende til for eksempel 500 l per måned for et POE anlæg hos en enkelt familie. Saltkoncentrationen kan for eksempel være 10 %.
7. Ved nanofiltrering/omvendt osmose skal der bortledes rejktvand, som typisk har et stofindhold på 2-3 gange indholdet i råvandet. For et POE anlæg hos en enkelt familie vil der blive tale om bortledning af for eksempel 250 liter per dag.
8. Monitering og overvågning af vandkvaliteten skal foretages decentralt hos forbrugeren. Herunder skal det bemærkes, at kontinuert måling af vandkvaliteten er teknisk vanskelig og at mange styringer (hvornår skal kullet skiftes og/eller hvornår skal ionbytteren regenereres, m.m.) baseres på den gennemstrømmede vandmængde. Disse forhold betyder, at hvis styringen, moniteringen og overvågningen ikke er god nok, kan vandkvaliteten pludseligt forringes.

Til ovennævnte kan der føjes følgende bemærkninger:

Ad. 2: For et POU anlæg kan vandvolumenet for eksempel være 5 liter, dvs. der skal bruges 5 liter vand før der kommer vand ud af hanen som ikke har stået i POU anlægget. Tilløbsrøret til POU anlægget har også et volumen, der

på en landejendom nemt kan være for eksempel 10 liter. Vandvolumenet for POU er da en mindre del, men temperaturen er højere ved et POU anlæg under en køkkenvask end i tilløbsrøret i jorden.

Ad.4: Forholdet kan eventuelt forbedres ved at køle anlægget eller kun rentvandstanken.

Ad.7: Angående monitorering for nitratudslip skal det som sidebemærkning nævnes, at det tidligere har været vanskeligt at måle nitratkoncentrationen i det behandlede vand. I dag findes der metoder, for eksempel beskriver /Ref.10/ en måler/sensor, der kan bestemme nitratkoncentrationen ved UV absorption med en bølgelængde på 220 nm fra en deuterium pære.

3.2 Rensning for pesticider

De aktuelle metoder for rensning af pesticider i drikkevand er Aktiv kul (GAC i filtre) og membranfiltrering.

3.2.1 Aktivt kul filtrering (GAC)

Fordelene er:

1. Gode rensgrader
2. Nem teknologi
3. Kan også fjerne farve-, lugt- og smagsstoffer
4. Kan som regel yde den ønskede vandmængde, - dvs. rentvandslager er ikke nødvendigt

Ulemperne er:

- A. Hvis råvandet indeholder organisk stof kan kulforbruget blive stort
- B. Risiko for biovækst i kullene og afgivelse af kim – især hvis vandet indeholder organisk stof
- C. Der skal gennemføres monitorering, så det registreres, hvornår kullets renskapacitet er opbrugt.

Til ovennævnte kan der føjes følgende bemærkninger:

Ad.B: Aktiv kulfiltrering efterfølges af UV behandling.

Ad.C: Hvis råvandskvaliteten er stabil vil vandforbruget være et udtryk for, hvornår kullene skal skiftes.

3.2.1.1 Aktivt kul filtrering (PAC)

Som en sidebemærkning skal det nævnes, at der for tiden arbejdes på udvikling af PAC (powder activated carbon) kulfiltre. Mens man (som omtalt i afsnit 2.1.1) på vandværket ved Münster i Tyskland, tilsætter PAC til vandet og udskiller det senere, er der her ved enkelt vandforsyningsanlæg i stedet tale om, at PAC indgår i en filterpatron. Disse PAC filtre vil måske vise sig at have længere gangtider og dermed være mere økonomiske end GAC filtre.

3.2.2 Membranfiltrering

Der benyttes oftest membraner med en tæthed i grænseområdet mellem nanofiltrering og omvendt osmose, der drives ved relativt lave tryk (4-8 bar). I Tyskland kaldes processen ofte nanofiltrering, mens den i USA mest kaldes omvendt osmose.

Fordelene er:

1. Gode rensgrader
2. Kontinuert proces uden et egentligt forbrug af materiale. Det betyder, at monitorering er mindre kritisk, da anlægget ikke lige pludselig holder

op med at rense (med mindre der er brud på membranerne), som det kan ske ved anvendelse af aktivt kul. Det betyder også, at anlægget ikke begynder at afgive stoffer (for eksempel nitrat), som det kan ske med en ionbytter.

3. Kan også fjerne farve-, lugt- og smagsstoffer
4. Variationer i råvandets indhold af pesticider betyder ikke så meget for kvaliteten af det rensede vand

Ulemperne er:

- A. Belægninger på membranen og dermed lavere effektivitet ved hårdt vand
- B. Langsom proces der derfor som regel kræver et rentvandslager
- C. Bortledning af rektvand (koncentrat)

Til ovennævnte kan der føjes følgende bemærkninger:

Ad. C: I rektvandet er koncentrationen af stoffer typisk 2-3 gange højere end for råvandet. Hvis vandet ledes til nedsivning vil der således ske en forhøjelse af saltindholdet i det højtliggende grundvand. Hvis der er kloak kan vandet ledes til renseanlæg – for en enkelt familie vil der blive tale om bortledning af for eksempel 250 liter per dag. I kystnære områder kan vandet muligvis ledes via drænledninger til havet.

Ved at vælge den rigtige membran kan indholdet af pesticider reduceres uden, at vandet afsaltes for meget, og uden at pH falder for meget.

Efter behandlingen er vandet trykløst, hvorfor der kræves en pumpe.

Nogle membraner kan ikke tåle klor.

3.3 Rensning for nitrat

De aktuelle metoder til rensning for nitrat i drikkevand er ionbytning og omvendt osmose.

3.3.1 Ionbytning

Fordelene er:

1. Fine rensegrader
2. Kan som regel yde den ønskede vandmængde, - dvs. rentvandslager er ikke nødvendigt

Ulemperne er:

- A. Hvis ionbytteren ikke regenereres rettidigt, kan den afgive uacceptable koncentrationer af nitrat, sulfat, m.m.
- B. Svingende pH værdier
- C. Bortskaffelse af regenereringsvæske

Til ovennævnte kan der føjes følgende bemærkninger:

Ad. A: Hvis råvandskvaliteten er stabil vil vandforbruget være et udtryk for, hvornår ionbytteren skal regenereres.

Ad. B: Lave pH værdier medfører korrosion af metaller. Problemet kan klares ved at skifte vandrørene i huset til plast og anvende vandhaner i specialstål.

Ad. C: Hvis der for eksempel er tale om et POE anlæg for en enkelt familie med et vandforbrug på 600 l/dag svarende til 18 m³/måned vil der måske skulle bortskaffes 500 liter væske per måned med et stort indhold af natriumklorid og nitrat, som er uegnet til nedsivning. Afhængig af de lokale forhold kan det måske ledes til kloak, genanvendes eller måske opsamles i en beholder for afhentning til Kommunekemi.

Ionbytteren kan også fjerne andre anioner, hvilket både kan være en fordel og en ulempe.

3.3.2 Omvendt osmose

Da nitratmolekylet er lille (mindre end pesticidmolekylerne) skal membranerne for nitratfjernelse fra drikkevandet være tættere end for fjernelse af pesticider. Den rigtige proces betegnelse er derfor omvendt osmose, mens ordet nanofiltrering dog også anvendes.

Fordele, ulemper og bemærkninger er de samme som for membranfiltrering af pesticider (afsnit 3.1.2), dog er disse tættere membraner mere følsomme for belægninger fra hårdt vand, jern og mangan, organisk stof, m.m.

3.4 Simultan rensning for pesticid og nitrat

Den eneste metode der simultant kan rense drikkevandet for pesticid og nitrat er omvendt osmose, som er beskrevet i afsnit 3.3.2.

3.5 Eksempler på anlæg i drift til produktion af drikkevand

Der er både POU og POE anlæg i drift i USA og Tyskland og andre steder i verden.

I forbindelse med dette projekt er der besøgt POU og POE anlæg i landområdet Kreis Kleve i delstaten Nordrhein Westfalen, Tyskland. De første enkelt vandforsyningsanlæg i det område blev sat i drift for ca. 15 år siden.

De data, der refereres nedenfor, stammer fra dokumentation modtaget fra Hr. Mye fra Bundesamt Kreis Kleve samt oplysninger indhentet på stedet. Grundvandet i området er karakteriseret ved at være blødt/middelhårdt, ret lavt jernindhold, svingende manganindhold, neutral pH og et vist iltindhold. Således er enkelt vandforsyningsanlæggene generelt uden forbehandling såsom luftning og sandfiltrering.

Anlæggene er beskrevet i de efterfølgende afsnit:

3.5.1 POE anlæg på stor gård

Overordnet: Egen boring 13 m dyb, ingen forbehandling, POE anlæg, 11 år gammelt, placeret i frostfrit let opvarmet bryggers, etableret aht. forhøjet nitrat, få driftsproblemer.

Råvand: Jern ca. 0,1 mg/l. Noget mangan ca. ? mg/l. Hårdhed 12 °dH. Nitrat ca. 115 mg/l. Nitrit ca. 1,9 mg/l.

Proces: Se figur 3. 2 parallelle anionbyttere type Judo JDN med saltbeholder til 40 kg og styring af returskyl og regenerering via flowtæller og indstilling af nitrat koncentration i råvandet. Saltet (NaCl) leveres som tabletter for opløsning i saltbeholderen. Kan behandle maks. 2 m³/h. Ionbytterkapacitet: 2 · 0,8 mol. Regenerering hver 4. dag. Driftstryk 3-6 bar. Tilsluttet 220 V el. Kører automatisk.

Rentvand: Kimtal ved 20° er typisk ca. 5 men værdier op til 25 har været målt. Kimtal ved 36° er typisk 30. pH = 5,5 til 7,3. Nitrat ca. 4 mg/l, men har ved for sen regenerering været højere, eksempelvis 16 mg/l.

Bemærkninger: Der foreligger kun få vandanalyser.

Mangan er opløst ved den lave pH og har ikke medført misfarvning eller udfældning.

Aht. den lave pH for det behandlede vand er alle vandrør i huset i plast og vandhanerne er i rustfast special stål.

Der var en logbog ved anlægget, men det er ikke oplyst, hvor ofte anlægget tilses af eksperter, eller hvor ofte der tages vandprøver for analyse.

Der er ca. 600 styk af denne slags ionbyttere i drift for nitratfjernelse i Tyskland.



Figur 3. Ionbyttere for nitratreduktion på stor gård. Bemærk at dækslet på toppen af ionbytterne er demonteret for at vise "flowtæller-styringen". Nederst ses saltlageret.

3.5.2 POE anlæg på landcafé

Landcaféen har gæster hele året, flest om sommeren. Der var ca. 30 siddepladser indendørs og ca. 30 siddepladser udendørs.

Overordnet: Egen boring 6 m dyb, boosterpumpe før forbehandling: Dosering af natriumhydroxid for at hæve pH før filter med greensand for fjernelse af mangan, POE anlæg, 13 år gammelt, ændret i 1998, placeret i frostfrit køligt kælderrum, etableret aht. nitrat, få driftsproblemer.

Råvand: Mangan ca. 1 mg/l. pH ca. 6,5. Nitrat indhold på ca. 80 mg/l (men op til 150 mg/l har været målt).

Proces: Se figur 4. Én anionbytter type Induwa KAZN med saltbeholder. Saltet (NaCl) leveres som tabletter for opløsning i saltbeholderen. Kan behandle maks. 1,2 m³/h. Driftstryk 2-6 bar. Tilsluttet 220 V el. Kører automatisk.

Rentvand: Kimtal ved 20° er typisk 10. Kimtal ved 36° er typisk 20. Nitrat ca. 1,5 mg/l. Nitrit ca. 0,03 mg/l. pH ca. 6,5.

Bemærkninger: Vandanalyser foretages 1 gang om året. Tilsyn derudover er ikke oplyst.

Saltforbrug ca. 25 kg/uge.

Interne rør og armaturer i behandlingsanlægget er i plast, mens rør i bygning er i galvaniseret stålør. Ingen/"almindelige" korrosionsforhold.



Figur 4. Ionbytter for nitratreduktion på landcafé. Forbehandling: Dunk med natriumhydroxid i midten og greensandfilter til højre. Til venstre skimtes toppen af ionbytteren som er placeret i saltlageret.

3.5.3 POU anlæg i landsbyhus for én familie

Overordnet: Egen boring (sammen med 5 andre familier) 16 m dyb, ingen forbehandling, POU 1 år gammelt (erstatte en ældre model der havde kørt i 12 år), placeret under vask i varmt køkken – derfor køling af vand i rentvandstank, etableret aht. nitrat, få driftsproblemer.

Råvand: Ingen jern og mangan af betydning. Middel hårdhed. Nitrat ca. 70 mg/l.

Proces: Se figur 5. Partikelfilter, aktiv kul filter og omvendt osmose i 3 ens små beholdere (type Culligan Aqua Cleer H8), rentvandsbeholder på 10 liter, køleanlæg for at holde rentvandet koldt. Der er kun forsyning med koldt vand fra dette anlæg - ikke varmt vand.

Rentvand: Kimtal ved 20° er typisk ca. 3, men op til 20 har været målt. Kimtal ved 36° er typisk ca. 3, men op til 50 har været målt. pH = 7 til 7,8. Nitrat = 8 til 25 mg/l. Nitrit 0,1 mg/l.

Bemærkninger: Vandanalyse foretages hver tredje måned.

Aktiv kulfilteret er ikke nødvendigt.

Driftstrykket er ikke oplyst, men det er grundvandspumpen, der pumper vandet igennem anlægget (der er ikke nogen boosterpumpe). Det vurderes, at pumpetrykket før anlægget er ca. 3 bar, hvilket er lavt og viser, at et lille omvendt osmose anlæg kan drives ved lave tryk.

Rejektvandet ledes til køkkenvaskens afløbsrør (på samme måde som for eksempel afløbet fra en opvaskemaskine). Rejektvandsmængden er ikke oplyst.

Anlæggets pris eksklusiv køler er ca. 12.000 kr.



Figur 5. POU omvendt osmose anlæg for nitratreduktion. Placeret under køkkenvask. Til højre ses 3 ens beholdere for partikelfiltrering, aktivt kul filtrering og omvendt osmose. I midten ses rentvandsbeholderen og til venstre ses køleanlægget for køling af vandet i rentvandsbeholderen.

3.5.4 Andre besøgte anlæg

Desuden er der besøgt 2 anlæg, hvor der ikke er taget fotos og kun er givet få oplysninger.

Det ene var et POE anlæg i et stort landhus der svarer til anlægget ”POE anlæg på stor gård” som er beskrevet ovenfor. Afvigende er ionbytterfabrikatet, som er Grünbeck, og at anlægget er opstillet i et kombineret bryggers og fyrrum.

Det andet var et POE anlæg svarende til ”POE anlæg i landcafé”. Afvigende er, at anlægget er nyt og har kostet ca. 25.000 kr., og at der er et saltlager til 3 måneders forbrug. Anlægget er opstillet i et isoleret og frostfrit udhus.

3.5.5 Bemærkninger

Rejektvandet fra omvendt osmose og regenerationsvandet fra ionbytning blev ledt til ejendommenes egne nedsivningsanlæg sammen med ejendommens øvrige spildevand (der er ikke kloak i området). Det betyder, at salte ledes ud i jorden – især ved ionbytning. IWW har foreslået, at regenerationsvandet fra ionbytning opsamles i en beholder, der afhentes for videre behandling/udnyttelse/udledning.

Der er ikke analyseret for pesticider.

På de ældste anlæg har der typisk været en indkøringsperiode med utilfredsstillende vandkvalitet, mens dette ikke har været tilfældet for det nye omvendt osmose anlæg beskrevet under ”POU anlæg i landsbyhus for én familie”.

Alle de besøgte anlæg er enkeltvis blevet godkendt for installering og idriftsætning af Bundesamt Kreis Kleve på baggrund af tests udført af - og rådgivning af - blandt andre IWW. Bundesamt Kreis Kleve har også fastlagt monitoringsprogrammet.

Til orientering skal det bemærkes, at Bundesamt Kreis Kleve fremover ikke vil godkende POU anlæg, men kun POE anlæg. Årsagen er de ulemper der er

ved POU i forhold til POE, og som er nævnt i afsnit 3.1, samt at servicering er nemmere på et POE anlæg.

3.6 Generel orientering om andre anlægstyper

Flere store firmaer har udviklet enkelt vandforsyningsanlæg af en anden type end de anlæg, der er fremherskende i USA og Tyskland. Eksempler er ”bordmodeller”, der ligner store kaffemaskiner, som kan stilles på et køkkenbord og tilsluttes vandhanen for produktion af drikkevand. Nogle kan indbygges i et køleskab for at mindske biovæksten. Disse POU anlæg er særligt tiltænkt det asiatiske og måske snart også det sydamerikanske marked. Producenterne får disse anlæg testet på uvildige institutter som for eksempel IWW. Testproceduren foretages ofte efter amerikansk standard (ANSI/NSF – se afsnit 4.1.2).

4 Myndighedsgodkendelser

4.1 Myndighedsgodkendelse i USA

USA er kommet længst med godkendelsesprocedurer for enkelt vandforsyningsanlæg samt regler for drift og monitorering.

4.1.1 Den centrale vejledning

Den centrale vejledning er: "EPA. Guidance for Implementing a Point-of-Use or Point-of-Entry Treatment Strategy for Compliance with the Safe Drinking Water Act", March 27th, 2002 /Ref.7/.

/Ref.7/ omhandler enkelt vandforsyningsanlæg generelt, dvs. for rensning af alle uønskede stoffer i drikkevandet, herunder nitrat og pesticider, med det formål, at drikkevandet skal opfylde "National Primary Drinking Water Regulations", /Ref.2/.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) kontrollerer ikke, og stiller ikke krav til råvandskvaliteten i, private borer. Derimod kan de enkelte stater godt stille krav.

Fra /Ref.7/ skal følgende fremhæves:

1. POU må ikke benyttes til behandling for mikrobiologiske parametre.
2. POU bør ikke benyttes ved forekomst af radon og flygtige stoffer i vandet, da der ikke er tilstrækkelig beskyttelse mod indånding. Dette har medført, at de fleste stater ikke længere godkender brug af POU.
3. Myndigheder skal have kontrol med alle enkelt vandforsyningsanlæg. Dvs. den offentlige vandforsyning ejer, driver, vedligeholder og monitorer alle POU og POE anlæg. Drift, vedligeholdelse og monitorering kan uddelegeres til en af myndighederne autoriseret entreprenør.
4. Enkelt vandforsyningsanlæg skal designes til at underrette/advare brugeren ved fejldrift.
5. Dele i enkelt vandforsyningsanlæg skal være godkendt og certificeret i henhold til ANSI/NSF standarder (se afsnit 4.1.2).

Andre forhold beskrevet i /Ref.2/, og som bør nævnes her, er:

1. Aktiv kulfiltre (GAC) skal efterfølges af UV behandling.
2. Nitrat er et stof, der kan give akut forgiftning, og enkelt vandforsyningsanlæg til rensning for nitrat kræver derfor særlig opmærksomhed.
3. /Ref.2/ indeholder en liste med praktisk erfaring fra drift af POU og POE anlæg (som ikke nødvendigvis skal rense for nitrat og pesticider).
4. Et omvendt osmose anlæg (POU) for fjernelse af flourid fik de første 2 år foretaget vandanalyse hver måned – derefter hver tredje måned.

4.1.2 Relevante ANSI/NSF standarder

Enkelt vandforsyningsanlæg (POU og POE) skal godkendes efter:

- Standard 42. Drinking Water Treatment Units – Aesthetic Effects /Ref.14/
- Standard 53. Drinking Water Units – Health Effects /Ref.15/
- Standard 55. Ultraviolet Microbiological Water Treatment Systems /Ref.16/
- Standard 58. Reverse Osmosis Drinking Water Treatment Systems /Ref.17/

som har særlig relevans for denne rapport. Desuden findes:

- Standard 44. Cation Exchange Water Softeners /Ref.18/
- Standard 62. Drinking Water Distillation Systems /Ref.19/

4.2 Myndighedsgodkendelse i Tyskland

Enkelt vandforsyningsanlæg godkendes for installering og idriftsætning af de lokale myndigheder som for eksempel Bundesamt Kreis Kleve. Det er også de lokale myndigheder, der fastlægger monitoreringen. Målet er, at overholde kvalitetskravene til drikkevand som beskrevet i /Ref.13/. Der dispenseres dog for visse parametre. For eksempel har drikkevandet for ”POE anlæg på stor gård”, som beskrevet i afsnit 3.5.1, ofte en pH værdi ned til 5,5 mens kravværdien i /Ref.13/ er 6,5 (og 9,5).

Den mest almindelige praksis er, at vandet monitoreres (herunder analyseres for de aktuelle nøgleparametre) én gang hver tredje måned. Ved stabil råvandskvalitet og stabil drift monitoreres der i nogle tilfælde kun én gang om året. Omvendt er der eksempler på anlæg, der i perioder med ustabil råvandskvalitet og/eller ustabil drift, er blevet monitoreret hver måned.

De lokale myndigheder beder uvildige institutter, som for eksempel IWW, om at teste enkelt vandforsyningsanlæg og at rådgive ved implementering.

Ved test af anlæg benyttes de amerikanske ANSI/NSF standarder som nævnt i afsnit 4.1.2.

5 Diskussion

5.1 Overordnet

POU: Med de erfaringer der er gjort i USA og Tyskland bør der ikke undersøges for anvendelse af POU anlæg i Danmark. De væsentligste ulemper er: POU anlæg kan ikke altid overholde kvalitetskravene til mikrobiologiske parametre. Man skal vide, hvilken vandhane man kan drikke af. Der er ikke tilstrækkelig beskyttelse mod indånding, hvis råvandet indeholder flygtige stoffer. Pasning og monitorering af anlægget kræver adgang til folks private hjem.

POE: Derimod kan POE anlæg være anvendelige i Danmark. Det bør placeres køligt (alternativt med en køler - især af en eventuel rentvandstank), frostfrit og let tilgængeligt af hensyn til pasning, tilsyn og monitorering.

Et anlæg til reduktion/fjernelse af pesticider kan opbygges med følgende centrale processer:

1. Aktiv kulfiltrering og UV behandling
2. Nanofiltrering

Et anlæg til reduktion/fjernelse af nitratinhold kan opbygges med følgende centrale processer:

3. 2 parallelle ionbyttere
4. Omvendt osmose

Et anlæg til simultan reduktion/fjernelse af pesticider og nitratinhold kan opbygges med følgende centrale processer:

5. Omvendt osmose

Teoretisk set kan man også kombinere aktivt kul for pesticidfjernelse og ionbytning for nitrattjernelse, men det er ikke omtalt i litteraturen – muligvis grundet for store problemer med biovækst. Denne mulighed lades således ude af betragtning.

De amerikanske og tyske erfaringer angår bløde og middelhårde vandtyper med et lille jernindhold. Enkelt vandforsyningsanlæg i Danmark vil ofte skulle behandle højtliggende grundvand også typisk med bløde og middelhårde vandtyper. Hårdt vand kan dog også skulle behandles. Det vurderes, at hårdt vand også kan behandles med ovenstående processer, såfremt vandet ikke først luftes kraftigt og bliver kalkfældende. For membranfiltrering skal processen styres så membranerne ikke stoppes til, og det vurderes, at en større andel (måske 40-50%) må ledes bort som rejektvand.

I Danmark vil råvandet i mange tilfælde skulle forbehandles for at fjerne jern og mangan og øge iltindholdet, hvilket typisk vil ske ved luftning og dernæst filtrering i et sandfilter. Hvis råvandet indeholder bakterier, vil de typisk kunne reduceres tilstrækkeligt i et POE anlæg. Der kan dog være tilfælde, hvor en forudgående desinfektion kan blive nødvendig.

Det skal bemærkes, at selvom ionbytning drives optimalt kan pH i perioder (især lige efter regenerering) let komme under den danske kravværdi på 7. Lave pH værdier medfører korrosion af metaller. Problemet kan klares ved at skifte vandrørene i huset til plast og anvende vandhaner i specialstål, hvilket er dyrt for forbrugeren.

Det skal også bemærkes, at for nanofiltrering/omvendt osmose kan det behandlede vand, på grund af afsaltning, måske få problemer med at overholde en hårdhed på 5 °dH og et saltindhold, der medfører en ledningsevne på den danske kravværdi på mindst 30 mS/m. Dette kan især være tilfældet ved et højt nitratinhold i råvandet, som gør at permeatet kun kan opblandes med en lille mængde råvand. Forsøg i Danmark med danske råvandstyper må kunne afgøre disse forhold.

5.2 Bortskaffelse af affald

Ved brug af aktivt kul til at fjerne pesticider er affaldsproduktet de brugte kul med indhold af pesticider. Kullene kan afleveres på en af landets 17 modtagestationer for videre behandling. Alternativt kan kullene i nogle tilfælde leveres tilbage til leverandøren for videre bortskaffelse/behandling.

Ved ionbytning til at fjerne nitrat består affaldet især af små mængder regenereringsvand indeholdende høje koncentrationer af salt (natriumklorid) og nitrat, som kan ledes til nedsivning, hvor det vil øge salt- og nitratinholdet i jorden, eller til kloak, hvor det inden fortyndingen vil være korrosivt overfor især metaller. Endelig kan regenereringsvandet opsamles i en beholder for aflevering til Kommunekemi.

Ved ionbytning kan der også være affald i form af skyllevand som vil indeholde mindre koncentrationer af salt og nitrat. Dette vil bedre kunne ledes til nedsivning eller kloak.

Man kan altså godt forestille sig en løsning, hvor det højt koncentrerede vand opsamles i en beholder, mens det lavt koncentrerede vand ledes til kloak eller nedsivning.

Ved nanofiltrering/omvendt osmose skal der løbende bortledes rejktvand med en stofkoncentration der typisk er 2-3 gange højere end for råvandet. Som hovedregel kan dette ledes til nedsivning. Den alternative og dyrere løsning er bortledning til kloak.

Det kan komme på tale at membranerne ind imellem skal rengøres med en rensesvæske der typisk også kan ledes til nedsivning. Bortledning til kloak kan dog også komme på tale, mens opsamling i en beholder for aflevering til kommunekemi næppe vil blive nødvendigt.

5.3 Økonomi overslag

Det har ikke været muligt at få klare tal for, hvad det koster at drive et enkelt vandforsyningsanlæg. Dette skyldes blandt andet, at grundlaget for prisudregningen ofte er meget forskellig.

Det er her forsøgt at opstille en grov økonomioversigt for at give en indikation på prisniveauet. Der deles op i en "Dyr løsning", "Middel løsning" og en "Billig løsning". Forskellene ligger især i hvilken løsning der vælges ved bortskaffelse af affald. Følgende forudsætninger er fælles for de tre løsninger:

- POE anlæg for en landbofamilie med et vandforbrug på 800 l/døgn
- Eksklusiv brønd/boring og indpumpning

- Anlæg afskrives lineært over 10 år
- Reservedelspris på 10 % af anlægsprisen afskrives lineært over 10 år
- Bortskaffelse af aktivt kul sættes til 25 kr/md.
- Elpris 1,45 kr/kWh.

Det skal bemærkes, at overslaget ikke indeholder udskiftning af vandrør i bolig. Denne ekstraudgift kan især komme på tale ved valg af ionbytningsanlæg.

Eksemplet ”Middel løsning” vurderes at være det mest repræsentative, idet forbehandling ofte vil være nødvendigt i Danmark. Ydermere vil det mange steder formentlig kunne accepteres, at rejktvand fra nanofiltrering/omvendt osmose kan ledes til nedsivning via et sivedræn på ejendommen, mens det næppe kan accepteres, at regenereringsvand fra ionbytningen ledes til nedsivning.

”Dyr løsning”: De specielle forudsætninger er:

- Inklusiv forbehandling
- Bortskaffelse af rejktvand fra membranfiltrering i en mængde på 400 l/døgn ledes til kloak for en pris på 25 kr/m³
- Bortskaffelse af regenereringsvand fra ionbytning i en mængde på 700 l/måned opsamles og køres af godkendt modtager til Kommunekemi for 2000 kr/m³
- For perioden efter opstart og indkøring er sat 1 vandanalyse og 1 tilsyn hver 3. måned for alle processerne. En forudsætning for dette er at anlæggene er udstyret med alarm for fejl drift

Tabel 3: Anslåede udgifter for POE anlæg ved ”Dyr løsning”. På nær anlægsprisen og vandprisen er alle priser vist i kroner per måned.

	Anlægspris i kr.	Afskrivning i kr/md.	El, kemikalier og reservedele i kr/md.	Analyser og tilsyn i kr/md.	Bortskaffelse i kr/md.	Samlet Udgift i kr/md.	Vandpris i kr/m ³
Aktiv kulfiltrering	30.000	250	48	350	25	673	28
Nanofiltrering	35.000	290	62	350	300	1002	42
Ionbyttere	35.000	290	156	350	1400	2196	92
Omvendt osmose*	35.000	290	68	350	300	1008	42
Omvendt osmose**	35.000	290	68	350	300	1008	42

*For fjernelse af nitrat

**For fjernelse af nitrat og pesticid

”Middel løsning”: De specielle forudsætninger er:

- Inklusiv forbehandling
- Bortskaffelse af rejktvand fra membranfiltrering i en mængde på 400 l/døgn ledes til et sivedræn med en anlægspris sat til 10.000 kr.
- Bortskaffelse af regenereringsvand fra ionbytning i en mængde på 700 l/måned opsamles og køres af godkendt modtager til Kommunekemi for 2000 kr/m³
- For perioden efter opstart og indkøring er sat 1 vandanalyse og 1 tilsyn hver 3. måned for alle processerne. En forudsætning for dette er at anlæggene er udstyret med alarm for fejl drift. Der analyseres kun for få parametre.

Tabel 4: Anslåede udgifter for POE anlæg ved ”Middel løsning”. På nær anlægsprisen og vandprisen er alle priser vist i kroner per måned.

	Anlægspris i kr.	Afskrivning i kr/md.	El, kemikalier og reservedele i kr/md.	Analyser og tilsyn i kr/md.	Bortskaffelse i kr/md.	Samlet Udgift i kr/md.	Vandpris i kr/m ³
Aktiv kulfiltrering	30.000	250	48	300	25	623	26
Nanofiltrering	45.000	370	70	300	0	749	31
Ionbyttere	35.000	290	156	300	1400	2.146	89
Omvendt osmose*	45.000	370	76	300	0	755	31
Omvendt osmose**	45.000	370	76	300	0	755	31

*For fjernelse af nitrat

**For fjernelse af nitrat og pesticid

”Billig løsning”: De specielle forudsætninger er:

- Ingen forbehandling
- Bortskaffelse af rejeckt vand fra membranfiltrering i en mængde på 400 l/døgn ledes til sivedræn med en anlægspris sat til 10.000 kr.
- Bortskaffelse af regenereringsvand fra ionbytning i en mængde på 700 l/måned ledes til sivedræn med en anlægspris sat til 10.000 kr.
- For perioden efter opstart og indkøring er sat 1 vandanalyse og 1 tilsyn hver 3. måned for alle processerne. En forudsætning for dette er at anlæggene er udstyret med alarm for fejldrift. Der analyseres kun for få parametre

Tabel 5: Anslåede udgifter for POE anlæg ved ”Billig løsning”. På nær anlægsprisen og vandprisen er alle priser vist i kroner per måned.

	Anlægspris i kr.	Afskrivning i kr/md.	El, kemikalier og reservedele i kr/md.	Analyser og tilsyn i kr/md.	Bortskaffelse i kr/md.	Samlet Udgift i kr/md.	Vandpris i kr/m ³
Aktiv kulfiltrering	20.000	167	42	300	25	534	22
Nanofiltrering	35.000	208	52	300	0	560	23
Ionbyttere	35.000	208	146	300	0	654	27
Omvendt osmose*	35.000	208	58	300	0	566	24
Omvendt osmose**	35.000	208	58	300	0	566	24

*For fjernelse af nitrat

**For fjernelse af nitrat og pesticid

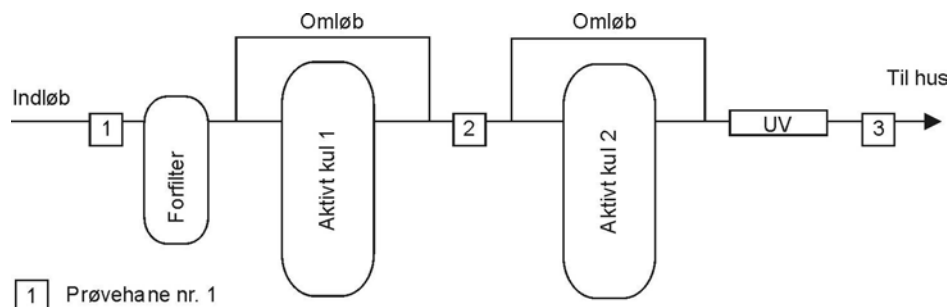
Det ses, at den samlede overslagspris for 1 m³ drikkevand kan svinge fra 22 til 92 kr. med 30-35 kr. som en sandsynlig pris under de beskrevne forudsætninger.

6 Anbefalinger for tests i Danmark

Det anbefales at udføre forsøg med POE anlæg med følgende processer

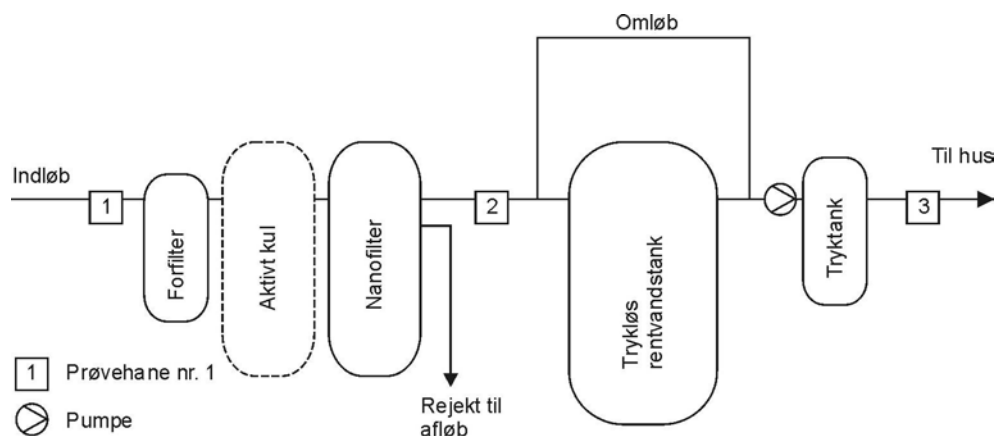
Anlæg til reduktion/fjernelse af pesticider:

1. Indløb - forfilter – Aktivt kulfilter 1 – Aktivt kulfilter 2 – UV – til forbrug i hus. Desuden prøvehaner. Se også figur 6.



Figur 6. POE anlæg baseret på aktivt kul og UV behandling.

2. Indløb - forfilter – evt. forfilter med aktivt kul – nanofiltrering – trykløs rentvandstank - tryktank under forbrugstryk – til forbrug i hus. Desuden prøvehaner. Se også figur 7.

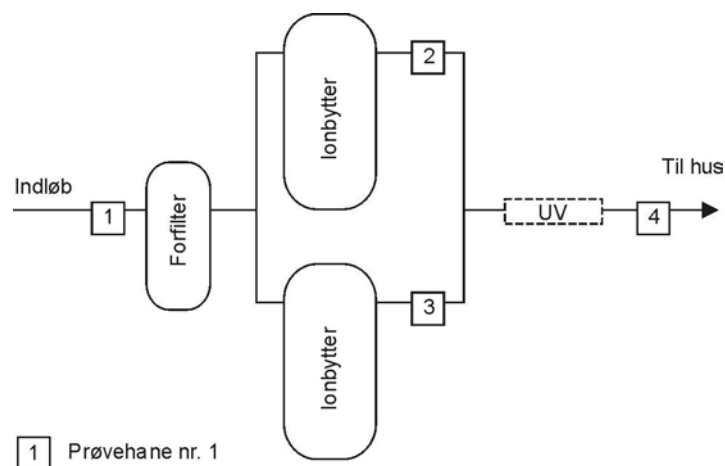


Figur 7: POE anlæg baseret på nanofiltrering.

Anlæg til reduktion/fjernelse af nitratinhold:

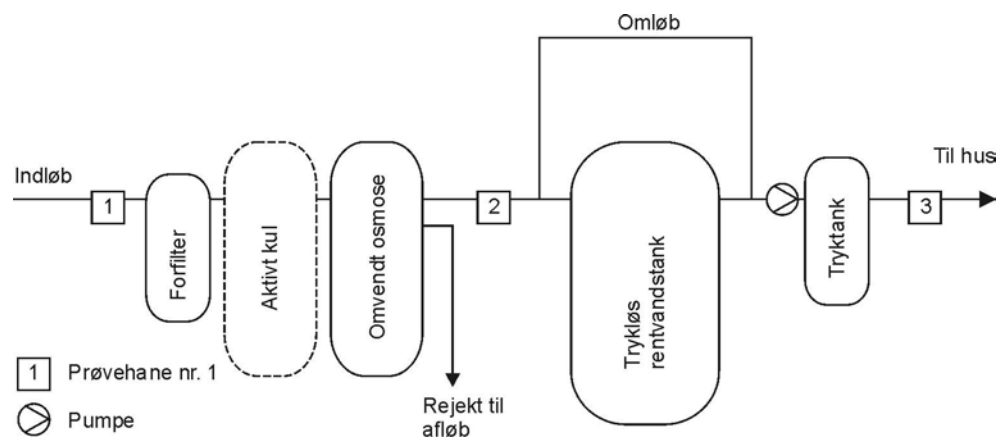
3. Indløb – forfilter – 2 parallelle anionbyttere – evt. UV – til forbrug i hus. Desuden prøvehaner. Se også figur 8.

Der bør testes både ”konventionelle stærkt basiske anionbyttere” og ”nitrat selektive stærkt basiske anionbyttere”, til behandling af både vand med et højt sulfatindhold (f.eks. 200 mg/l) og vand med et lavt sulfatindhold (f.eks. 30 mg/l).



Figur 8: POE anlæg baseret på 2 parallelle anionbyttere.

4. Indløb - forfilter – evt. aktivt kulfilter – omvendt osmose – trykløs rentvandstank - tryktank under forbrugstryk – til forbrug i hus.
Desuden prøvehaner. Se figur 9.



Figur 9: POE anlæg baseret på omvendt osmose.

Anlæg til simultan reduktion/fjernelse af pesticider og nitratindhold er i princippet magen til proces nummer 4:

5. Indløb - forfilter – evt. aktivt kulfilter – omvendt osmose – trykløs rentvandstank - tryktank under forbrugstryk – til forbrug i hus.
Desuden prøvehaner. Se figur 9.

Anlæg nummer 2, 4 og 5 er næsten ens, kun membranfiltreringen varierer, så der kan i princippet opbygges 3 testanlæg. I øvrigt er anlæg nummer 4 og 5 i princippet ens.

Det anbefales at udføre tests med:

- Blødt vand med jern og mangan (som kræver forbehandling)
- Blødt vand uden jern og mangan
- Hårdt vand med jern og mangan (som kræver forbehandling)
- Hårdt vand uden jern og mangan
- Nitratindholdet kan for eksempel være 100 mg/l

- Pesticidindholdet kan for eksempel være 0,5 µg/l
Pesticiderne kan være enkeltstoffer eller blandinger af de stoffer der er nævnt i afsnit 1.2.

Der foreslås således gennemført følgende måleserier:
4 processer · 4 vandtyper · 1 nitratinhold · 1 pesticidindhold = 16 måleserier.

Der skal fastlægges et måleprogram, der blandt andet bør indeholde, at der udtages en vandprøve før og en vandprøve efter vandbehandlingen, som analyseres for "Udvidet kontrol" og pesticider.

6.1 Råvand

Ud over variationerne i hårdhed og indhold af jern og mangan samt de tilsatte stoffer (nitrat og pesticid) er kravet til råvandet, at det er "typisk" dansk grundvand. Vandet bør ikke indeholde andre problem stoffer. pH og ledningsevne skal overholde kravene til drikkevand. Af hensyn til forsøgene med ionbytning bør sulfatinholdet for den hårde og den bløde vandtype være nogenlunde den samme.

Der er flere muligheder for tilberedning af råvandet til forsøgene. En mulighed er, at "Blødt vand uden jern og mangan" samt "Hårdt vand uden jern og mangan" er vandforsyningsvand fra to områder (et med blødt vand og et med hårdt vand) som tilsættes nitrat og pesticid. For "Blødt vand med jern og mangan" samt "Hårdt vand med jern og mangan" bliver det vanskeligere, idet utilsigtet luftning af vandet medfører utilsigtet okkerdannelse. Muligvis kan der benyttes ubehandlet vand fra de samme to vandforsyninger, som er nævnt ovenfor. En anden måde er at tilberede vandet ud fra vandforsyningsvand.

6.2 Budgetoverslag

Et budgetoverslag for de beskrevne forsøg ser således ud:

- | | |
|---|---------|
| • Projektering og planlægning
kr. | 170.000 |
| • 1 styk forbehandlingsanlæg inklusiv montage
kr. | 20.000 |
| • 3 styk forsøgsanlæg + ekstraudstyr til forsøg med i alt 5 processer -
inklusive montage
120.000 kr. | |
| • Tilberedning af råvand
kr. | 30.000 |
| • Driftstilsyn
kr. | 310.000 |
| • Forbrug af el og kemikalier
20.000 kr. | |
| • Monitering (vandanalyser)
180.000 kr. | |
| • Rapportering
kr. | 150.000 |
| • Uforudset og diverse
kr. | 100.000 |

**Samlet
kr.**

1.100.000

6.3 Tidsplan

En tidsplan for de beskrevne forsøg ser således ud:

- | | |
|------------------------------------|---------|
| • Projektering og planlægning | 8 uger |
| • Indkøb og montage | 8 uger |
| • Forsøgsperiode | 16 uger |
| • Rapportering til følgegruppe | 4 uger |
| • Arbejde i følgegruppe samt møder | 4 uger |
| • Endelig rapport | 2 uger |

Samlet

42 uger

7 Referencer

- /Ref. 1/ Bekendtgørelse nr. 871 af 21. september 2001: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- /Ref. 2/ US Environmental Protection Agency: Current Drinking Water Standards. EPA 816-F-02-013, July 2002.
- /Ref. 3/ Lamarre, Leslie: Getting the nitrate out. EPRI Journal, volume 23, issue 3, pages 18-23, 1998.
- /Ref. 4/ Haist-Gulde, B. and Baldauf, G: Removal of pesticides by powdered activated carbon – Practical Aspects. Water Supply, volume 14, no. 2, pages 201-208, 1996.
- /Ref. 5/ Van der Bruggen, B. og andre: Nanofiltration as a treatment method for the removal of pesticides from ground waters. Water Supply, volume 17, no. 1, pages 55-63, 1999.
- /Ref. 6/ Van der Bruggen, B og andre: The use of nanofiltration for the removal of pesticides from groundwater, an evaluation. Water Supply, volume 1, no. 2, pages 99-106, 2001.
- /Ref. 7/ US Environmental Protection Agency, Office of Water: Guidance for Implementing a Point-of-Use or Point-of-Entry Treatment Strategy for Compliance with the Safe Drinking Water Act. March 2002.
- /Ref. 8/ Miljøstyrelsen: Vandrensning ved hjælp af aktiv kulfiltre. Miljøprojekt nr. 391, 1998.
- /Ref. 9/ Roveri, C. og andre: Ground water nitrate removal; comparison between reverse osmosis and heterotrophic bacterial processes. Water Supply, volume 18, issue 1-2, pages 400-404, 2000.
- /Ref. 10/ Charles, J.: Water Supply purification by Nitrate Removal. Sensors, volume 11, issue 8, pages 31-33, 1994.
- /Ref. 11/ Velizarov, S. og andre: Removal of nitrate from water in a novel ion exchange membrane bioreactor. Water Supply, volume 2, issue 2, pages 161-168, 2002.
- /Ref. 12/ Sakakibara, Y. og andre: A hybrid biofilm reactor for nitrate and pesticide removal. Water Supply, volume 2, number 2, pages 35-42, 2002.
- /Ref. 13/ Bundesgesetzblatt: Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung. Teil 1 Nr. 24, 21. Mai 2001.
- /Ref. 14/ NSF/ANSI 42: Drinking Water Treatment Units – Aesthetic Effects. 2002.

- /Ref. 15/ NSF/ANSI 53: Drinking Water Treatment Units – Health Effects. 2002.
- /Ref. 16/ NSF/ANSI 55: Ultraviolet Microbiological Water Treatment Systems. 2002.
- /Ref. 17/ NSF/ANSI 58: Reverse Osmosis Drinking Water Treatment Systems. 2002
- /Ref. 18/ NSF/ANSI 44: Cation Exchange Water Softeners. 2002.
- /Ref. 19/ NSF/ANSI 62: Drinking Water Distillation Systems. 1999 and 2002.