

Renseteknik – oversigt over ny miljøteknologi indenfor spildevandshåndtering

Gert Holm Kristensen, Per Elberg Jørgensen, DHI

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 BAGGRUND OG FORMÅL	19
1.1 GENERELT	19
1.2 FORMÅL	20
1.3 MÅLGRUPPE	20
1.4 OMFANG OG AFGRÆNSNING	21
1.5 OPBYGNING AF RAPPORTEN	21
2 REGN- OG OVERLØBSVAND I KLOAKOPLAND	23
2.1 LOKAL UDLEDNING TIL RECIPIENT	24
2.2 LOKAL NEDSIVNING ELLER GENANVENDELSE	28
3 SPILDEVAND I KLOAKOPLAND	31
3.1 BYØKOLOGI	31
3.2 FORRENSNING AF INDUSTRISPILDEVAND	31
3.3 LOKAL BORTSKAFFELSE I STØRRE BYSAMFUND	32
3.4 LOKAL GENANVENDELSE	33
4 DET ÅBNE LAND	35
4.1 MINIRENSEANLÆG	35
4.2 TRYKSAT KLOAKERING	35
5 RENSEANLÆG	37
5.1 FORRENSNING	37
5.2 BIOLOGISK RENSNING	38
5.3 EFTERKLARING	40
5.4 POLERING/EFTERBEHANDLING	41
6 SLAM	45
6.1 FYSISK/KEMISK FORBEHANDLING	45
6.2 SLAMSTABILISERING OG HYGIEJNISERING	47
6.3 SLUTAFVANDING	49
6.4 TØRRING, FORBRÆNDING, VÅDOXIDATION OG TERMISK FORGASNING	49
6.5 SLUTDISPONERING	50
7 ØVRIGE ANVENDELSER AF RENSETEKNOLOGI	53
7.1 DRIKKEVAND	53
7.2 FORURENET GRUNDEVAND	53
7.3 INDUSTRIELT PROCESVAND	53

8	ØVRIGE FORHOLD OMKRING RENSLETEKNOLOGI	55
8.1	MILJØVURDERINGER	55
8.2	TESTORDNINGER OG VERIFIKATION	55
8.3	FORVALTNING OG RAMMEBETINGELSER	56
9	REFERENCER	59

BILAG A

OVERSIGT OVER TEKNOLOGIER TIL RENSNING AF OVERLØBSVAND

BILAG B

OVERSIGT OVER TEKNOLOGIER TIL RENSNING AF SPILDEVAND TIL
KLOAKOPLAND

BILAG C

OVERSIGT OVER TEKNOLOGIER TIL RENSNING AF SPILDEVAND I DET ÅBNE
LAND

BILAG D

OVERSIGT OVER TEKNOLOGIER TIL RENSEANLÆG

BILAG E

OVERSIGT OVER TEKNOLOGIER TIL SLAMBEHANDLING

Forord

Denne rapport beskriver resultatet af et udredningsprojekt, hvis primære formål har været at udarbejde en oversigt over ny teknologi indenfor spildevandsrensning. Oversigten er baseret på videnindsamling fra nationale og internationale kilder, herunder personlig kommunikation med en række leverandører, forsyningselskaber og videninstitutioner.

Projektet er iværksat og finansieret af Miljøministeriet (Vandområdet i Miljøstyrelsen frem til 1. oktober 2008 og herefter Vandområdet i By- og Landskabsstyrelsen) og udført af DHI gennem en projektgruppe bestående af Gert Holm Kristensen (projektleder) og Per Elberg Jørgensen.

Projektet har været fulgt af en følgegruppe bestående af:

Mogens Kaasgaard (Formand), Miljøstyrelsen/fra. 1.10.07 By- og Landskabsstyrelsen
Jes la Cour Jansen, Lunds universitet
Carl-Emil Larsen, DANVA
Kim Rindel, Lynettefællesskabet I/S
Otto Andersen, Odense Vandselskab as
Niels Bent Johansen, Københavns Energi
Klaus Rosendal, Carl Bro Gruppen
Erik Bundgaard, Krüger A/S
Gert Petersen, Envidan A/S
Nils Thorup, GRUNDFOS DK A/S
Henrik Forslund, HOH Water Technology A/S
Claus Nickelsen, Århus Kommune
Anna Ledin, DTU

Målgruppen for oversigten er primært Miljøstyrelsen/By- og Landskabsstyrelsen og andre beslutningstagere i relation til F&U indenfor spildevandsområdet. Det er endvidere håbet, at oversigten kan være til inspiration for alle andre interessenter indenfor spildevandssektoren, herunder kommuner, forsyningselskaber, leverandører og videninstitutioner og endelig, at den vil kunne bruges som indspil til igangværende forsknings- og udviklingsinitiativer på området.

Sammenfatning og konklusioner

Kommuner, vand- og kloakforsyninger samt virksomheder står i de kommende år over for en række nye udfordringer i relation til implementering af Vandrammedirektivet og Badevandsdirektivet samt nye miljømål knyttet til lokal planlægning for rekreative områder i by og på land. Også de forventede følger af klimaændringer vil bidrage til disse nye udfordringer, hvor det især er den øgede hyppighed af ekstremregn, der er på dagsordenen med stigende krav til infrastrukturen for håndtering af regn- og spildevand under sådanne begivenheder med ekstrem nedbør.

Den teknologiske udvikling og stigende energipriser samt lovmæssige krav om effektivisering i vandsektoren medfører, at der er behov og muligheder for at optimere eksisterende spildevandsløsninger i retning af mere cost-effektiv drift gennem udvikling og forbedring af eksisterende teknologi og implementering af nye ressourcebesparende teknologiske løsninger.

Danske virksomheder står traditionelt stærkt internationalt inden for området miljøteknologi, og der forventes i de kommende år et betydeligt træk fra internationale markeder relateret til spildevandteknologi. Der ligger derfor en vigtig udfordring i at fastholde og om muligt udbygge den eksisterende styrkeposition med henblik på en udnyttelse af de forventede markante eksportmuligheder til gavn for dansk industri.

Der er således behov for en forsknings- og udviklingsindsats, som kan medvirke til at løfte disse udfordringer og muligheder på spildevandsområdet. Formålet med nærværende rapport er at give en oversigt over behov, muligheder og nye teknologier inden for spildevandshåndtering set i lyset af de forskellige økonomiske, miljømæssige, teknologiske og lovgivningsmæssige drivkræfter på området. Oversigten omfatter teknologier, der vurderes at kunne implementeres i tilknytning til den eksisterende spildevandshåndtering inden for en kortere tidshorisont med en overskuelig forsknings- og udviklingsindsats. Oversigten indeholder således ikke nye teknologiske løsninger, der vurderes at være på et meget tidligt udviklingsstade med en forventet langvarig udviklingsfase, inden teknologien vil være moden til bred anvendelse i markedet.

Rapporten er opbygget i fire hovedafsnit, der relaterer sig til teknologier i henholdsvis: kloakoplandet, vandbehandling på renseanlæg, slambehandling samt en række øvrige forhold knyttet til spildevandsområdet. Endvidere er peget på teknologier, der vil kunne finde bredere anvendelse inden for andre områder end spildevand.

Opland

Den øgede hyppighed af ekstremregn har medført, at den primære fokus relateret til oplandet må rettes mod at sikre, at den tilstrækkelige hydrauliske kapacitet i kloakoplandet er til stede, at den eksisterende kapacitet i ledningsnettet udnyttes maksimalt, og at det sikres, at oversvømmelser af beboelsesområder kan minimeres, samt at de uundgåeligt berørte oversvømmelsesområder prioriteres. Teknologier til integreret styring af opland og renseanlæg baseret på online-data giver mulighed for en forbedret

udnyttelse af opmagasinerings- og rensekapa­citet i oplandet og på rens­eanlæg­get. Der er behov for videreudvikling af disse teknologier, herunder forbedret forudsigelse af nedbørsmængder såvel mængdemæssigt som geografisk beskrevet, samt sensorer til på­lidelig real­tid­smo­nitering og modeller, plan­læg­nings­red­skaber og nye teknologiske løsninger i oplandet, der omsætter online-data til praktisk styring med henblik på en minimeret skadevirkning under hensyntagen til de mange komplekse sammenhænge, der indgår i det urbane hydrologiske kredsløb.

Ud over sikringen af den hydrauliske kapacitet til håndtering af ekstremregn skal belastningen på miljøet som følge af de hyppigere og voldsommere overløbs­hændelser mindskes gennem forbedring af magasiner­ing og rensning af overløbsvand. En forbedring af stoffjernelsen før udledning til recipient kan ske gennem etablering af forbedret rensning i magasineringsvolumener som eksempelvis installation af udstyr til sedimentationsfremmende hydraulik – eksempelvis flerkammersystemer, lamelseparatorer, mv. Ligeledes kan en kombination af våde regnvandsbassiner og sorptionsteknologi vise sig at være cost-effektive rensemetoder, der samtidig kan have en betydelig rekreativ værdi. Flere af disse metoder er allerede under afprøvning, men der er behov for yderligere teknologisk udvikling samt indhentning af flere erfaringer vedrørende effektiviteten af metoderne, herunder effekten over for miljøfremmede stoffer, der fremover vil være i fokus i stigende grad, samt desinfektion.

Endvidere er der behov for teknologiske løsninger, som muliggør kompakt, decentral rensning af foruren­et overløbsvand efterfulgt af lokal nedsivning eller genanvendelse af det rensede vand til bynære rekreative vandområder eller anden nyttiggørelse. Sådanne teknologier kan omfatte mikrosiningsanlæg med kemisk fældning, kompaktfiltrering, desinfektion med nye desinfektanter, avanceret kemisk oxidation, mv., og udviklingsarbejdet vil her ofte have form af teknologitilpasning og -afprøvning af effektiviteten i relation til nye forureningsparametre. I forbindelse med behandling af overløbsvand vil der være særlig interesse for teknologier, hvor lav investeringsøkonomi kan gøre en lidt højere driftsøkonomi acceptabel, eftersom der vil være tale om anlæg med begrænset driftstid.

Renseanlæg

Den teknologiske udvikling kombineret med stigende priser på energi og kemikalier samt lovmæssige krav om effektivisering i vandsektoren medfører øget fokus på cost-effektiv drift af renseanlæg.

Stabile og på­lidelige online-sensorer til løbende måling af centrale proces- og forureningsparametre i renseanlæg gør det muligt at drive renseanlæg mere cost-effektivt gennem udvikling og implementering af avanceret integreret styring af renseanlæggets forskellige proceselementer. Den forbedrede indsigt i anlæggets øjeblikkelige tilstand muliggør en forbedret udnyttelse af den installerede kapacitet såvel stofmæssigt i procestankene som hydraulisk i efterklarings­tankene. Der er derfor et markant behov for at styrke udviklingen af den viden, som skal sikre det fulde udbytte af sådanne online-baserede styringer, og der er behov for test og afprøvning af nye og billigere sensorer, som kan accelerere implementeringen af disse løsninger og sprede anvendelsen til også at omfatte automatiseret drift af mindre renseanlæg.

Et andet betydeligt fokusområde for tiltag, der forbedrer cost-effektiviteten ved drift af renseanlæg, er energieffektiv beluftning. Online-målerne giver

mulighed for at fastholde eller forbedre afløbskvaliteten med formindsket energiforbrug til beluftning samt andre energikrævende operationer som pumpning og omrøring. Beluftning er den største enkeltpost på energiforbruget på renseanlæg, og forbedringer på dette område er derfor betydelige i det samlede regnskab. Ud over forbedringer opnået gennem mere præcis styring af beluftningen kan forbedringer opnås gennem udvikling af ny beluftningsteknologi med øget effektivitet eller gennem forbedret systemforståelse ved kobling af viden om teknologi og proceshydraulik.

Efterklaringstanke er ofte afgørende flaskehalse, der begrænser udnyttelsen af det samlede renseanlægs kapacitet, og som dermed er begrænsende for den fulde udnyttelse af den investering, der er foretaget i infrastrukturen. Teknologiske løsninger, der forbedrer kapaciteten i efterklaringstanke gennem forbedret hydraulik eller styring under regn, vil derfor ofte være særdeles cost-effektive i det samlede billede, og dette område bør derfor have høj prioritet. Sådanne løsninger kan eksempelvis omfatte specielle styringstiltag i processtankene under regn, teknologi til forbedret hydraulik ved tilløb og afløb fra klaringstanke, online-baseret styring af klaringstankenes belastning ud fra realtidsmonitoring af slamspejl eller andre centrale parametre.

I forbindelse med implementering af Vandrammedirektivet er der kommet fokus på nye forureningskomponenter, som ikke var relevante, da de eksisterende renseanlæg blev designet og bygget. De nye forureningskomponenter, som anlæggene ikke er designet til at håndtere, er især organiske miljøfremmede stoffer, der kan være svært-nedbrydelige eller ikke-nedbrydelige i et traditionelt designet renseanlæg. Fjernelse af disse organiske mikroforureninger vil mest fordelagtigt ske ved forbedret kildekontrol – eventuelt i form af forrensning ved betydende punktkilder i kloakoplandet. En del af de problematiske forureningskomponenter hidrører dog fra diffus udledning fra husholdninger i kloakoplandet, og der kan således identificeres et behov for teknologier til polering af det rensede spildevand for sådanne mikroforureninger.

Afhængigt af de aktuelle forureningskomponenter og de fastsatte miljømål kan peges på en række poleringsteknologier; spændende fra biologisk polering i tertiære biologiske filtre over adsorption på aktivt kul til kemisk oxidation med stærke kemiske oxidanter som ozon og avancerede oxidationsteknologi (AOT). Et fællestræk er, at der kun findes begrænset viden om effektiviteten af disse teknologier i relation til de problematiske mikroforureninger, og der er således et stort behov for forsøgsarbejde i relativ stor skala med afprøvninger af poleringsteknologierne. Ud over disse forureningskomponenter er der – specielt i relation til badevandskvalitet – kommet øget fokus på patogene mikroorganismer, som udledes med det rensede spildevand. Nogle teknologier som kemisk oxidation og avanceret oxidation er effektive desinfektanter og vil således være særlig relevante, hvor der er fokus på både organiske mikroforureninger og badevandskvalitet.

I forbindelse med biologisk rensning er der i en del år arbejdet med den såkaldte membran bioreaktor-teknologi (MBR), hvor efterklaringsfunktionen er erstattet af membranfiltrering – typisk mikrofiltrering eller ultrafiltrering. Denne teknologi, der udgør et egentligt teknologispring i forhold til den konventionelle biologiske rensningsteknologi, vil kunne levere rensede spildevand af en betydelig højere kvalitet – med hensyn til såvel de traditionelle parametre som en række organiske mikroforureninger og mikrobiel forurening. Der arbejdes både i udlandet og i Danmark med at

eliminere de barrierer, der står i vejen for en hurtig spredning af denne meget lovende teknologi, og det anses for vigtigt at understøtte dette udviklingsarbejde med danske løsninger og dansk specialviden på dette forventede centrale teknologiområde.

Som følge af stigende vandpriser og lokalt pressede vandressourcer eller i forbindelse med decentral rensning og bortskaffelse af rensset spildevand til rekreative anvendelser er teknologier, der muliggør genanvendelse af vand, i stigende grad blevet interessant i Danmark. I den sammenhæng kan fremhæves membranfiltreringsteknologier – enten direkte, som det ofte ses i industrien ved opgradering til genbrug, eller i kombination med biologisk rensning i form af membran bioreaktor-teknologi. Genanvendelse til rekreative anvendelser i bynære områder vil ofte kræve rensning til meget lave indhold af næringsstoffer – især fosfor – samt desinfektion. Teknologier, der kan polere rensset spildevand til disse formål, er derfor af særlig interesse.

Spildevandsslam

Slutdisponering af spildevandsslam udgør i dag en meget betydelig driftsudgift på kommunale såvel som på industrielle renseanlæg. Teknologier, der kan reducere mængden af slam til slutdisponering, er derfor et vigtigt fokusområde. Endvidere repræsenterer spildevandsslam en betydelig energiressource, og teknologier, der kan forbedre udnyttelsen af denne ressource, er derfor af stor interesse. Der afprøves og videreudvikles for tiden i betydelig grad på fysiske/kemiske forbehandlingsteknologier til desintegration af slam, som kan bidrage til såvel reduktion af slammængde som til forbedret udnyttelse af energiressourcen.

Blandt de senest fremkomne kan peges på brug af ultralydbaseret og kavitationsbaseret mekanisk desintegration af slam før udrådning – metoder som begge synes at kunne udgøre lovende teknologier til cost-effektiv forbehandling af slam. Også teknologier til kemisk forbehandling og konditionering af slam før slutaftvanding er af interesse – eksempelvis en metode, hvor slammet tilsættes syre og brintperoxid. Teknologierne til forbehandling af slam er under afprøvning på danske renseanlæg, men der er brug for indhentning af flere driftserfaringer og solid dokumentation for at kunne vurdere, hvorvidt og hvornår teknologierne kan betragtes som cost-effektive.

Specielt på området vedrørende vidtgående udnyttelse af slammets energiindhold forekommer det sandsynligt, at der på noget længere sigt kan komme et teknologispring via videreudvikling af bl.a. forgasnings- og olieproduktionsteknologi. Sådanne teknologier er dog, på grund af det formodede relativt lange sigt, kun sporadisk nævnt i nærværende oversigt.

Andre relevante forhold

Virkemidlerne til at opnå nye mål, fx miljømål efter vandrammedirektivet eller mål om effektivisering af spildevandssektoren, kan almindeligvis have form af enten regulering (tilladelser/godkendelser, generelle regler) og/eller økonomiske styringsmidler/incitament. Økonomiske incitament kunne være fremme af bæredygtige rammebetingelser for vandsektoren. Et eksempel kunne være, at der som supplement til kravene i anlæggets udledningstilladelse blev sikret driftsherren en økonomisk fordel af at behandle maksimale spildevandsmængder på renseanlæg – op til de aktuelle kapaciteter for anlæggenes formåen i perioder med betydelig regn for herved at reducere belastning af miljøet gennem overløbshændelser fra overløb placeret i

oplandet til renseanlægget. Af andre eksempler kan nævnes udvikling af systemer til benchmarking til støtte for effektiviseringsarbejdet, udvikling af udlederkontrol baseret på online-målere, revurdering af grundlag for spildevandsafgifter, slamforbrændingsafgifter og særbidragsregler, mv.

I relation til evaluering af nye teknologiske løsninger er der behov for yderligere udvikling af metoder til støtte for gennemførelse af simple bæredygtighedsvurderinger.

Der er endvidere behov for udvikling og afprøvning af testprotokoller for transparent, godkendt og sammenlignelig verifikation af dansk nøgleteknologi med stort eksportpotentiale med henblik på at understøtte såvel teknologileverandører som teknologibrugere.

Forsknings- og udviklingsprojekter

Projekterne, der skal fremskaffe ny viden og teknologi til belysning af de identificerede udviklingsområder, vil kunne være af vidt forskellig karakter. Projekterne vil række fra udredningsopgaver over konkrete teknologiudviklingsprojekter til demonstrationsaktiviteter med fokus på dokumentation af nye teknologiske løsninger med særlige potentialer og efterfølgende videnformidling. I forbindelse med videnformidling er det endvidere vigtigt at sikre en forankring af den etablerede nye viden i undervisning på universitetsniveau.

Udviklings- og forskningsaktiviteterne skal spille sammen med en række andre initiativer på området. I Danmark drejer det sig bl.a. om det ***Strategiske Forskningsråds*** aktiviteter inden for Vand og Miljø samt ***Vandpartnerskabet***, der er en erhvervsdrevet innovationsplatform, hvis sigte er at identificere og udvikle nye forretningsmuligheder til det globale marked, at bidrage til etablering af udviklings- og forretningspartnerskaber samt at opnå miljømæssige fordele ved anvendelse de udviklede konceptløsninger. Også ***Globaliseringspuljen***, der omfatter strategisk forskning i miljøteknologi generelt, og som både har et forsknings- og et forretningsorienteret element, er relevant i denne sammenhæng. Endelig kan af danske initiativer peges på ***Teknologiudviklingsfonden***, der er foreslået af DANVA som en del af initiativet "Serviceeftersyn af vand- og spildevandssektoren". Fonden forventes at blive etableret i 2008 og antages at rette sig imod både administrative og teknologiske problemstillinger. Fra den europæiske scene kan peges på initiativet ***The Water Supply and Sanitation Technology Platform (WSSTP)***, hvis primære formål har været at beskrive en fælles vision for den europæiske vandindustri og at udarbejde strategiske forskningsagendaer. Implementeringsplaner for disse forskningsbehov er for tiden under forberedelse, og det anses for vigtigt, at også danske kommuner, virksomheder, vandselskaber og forskningsinstitutioner sikrer sig en plads i dette internationale udviklings samarbejde.

Summary and conclusions

In the years to come, municipalities, water and sewage companies and industries, are facing a number of challenges in relation to implementation of the Water Framework Directive and the Bathing Water Directive as well as new environmental goals related to local planning for urban and country side recreational areas. The expected consequences of climatic changes will also contribute to these new challenges, and especially the increased frequency of extreme rain is on the agenda, with increasing demands to the infrastructure for handling of rain and wastewater during such events with extreme rain fall.

The technological development and increasing energy prices as well as legislative requirements regarding increased efficiency in the water sector have as a consequence, that new needs and possibilities arise for optimisation of existing wastewater solutions, along the lines of more cost-effective operation, through development and improvement of existing technology and implementation of new resource saving technologies.

Traditionally, Danish industries have a strong position within the area of environmental technology, and a considerable demand from international markets related to wastewater technology is expected in the coming years. Thus it will be an important challenge to keep, and if possible further develop, the existing strong hold with an aim of utilization of the expected pronounced opportunities to the benefit of Danish industry.

Thus, research and development efforts, that can contribute to meet these challenges and possibilities in the wastewater sector, are needed. The purpose of the present report is to provide an overview of needs, possibilities and new technologies within the wastewater field, as seen in the light of the various economical, environmental, technological and legislative drivers of the sector.

The survey includes technologies which are assessed to be ready, or close to ready, for implementation in connection with the existing wastewater infrastructure and facilities, within a relatively short time horizon with a foreseeable research and development effort. The survey does not include new technological solutions, which are assessed to be at a very early development stage, with an expected long development phase before the technology is ready to a wide use in the market.

The report is made of four main sections relating to technologies in respectively: the sewer catchment area, water treatment at wastewater treatment plants, sludge treatment as well as a number of other issues connected to the wastewater sector. In addition to this, technologies with a wider application area than wastewater are pointed out.

Sewer catchment area

The increased frequency of extreme rain has caused a tremendous focus on ensuring that the sufficient hydraulic capacity is present in the collection system and is utilised at its optimum, that flooding of domestic areas can be minimized, and that unavoidable affected flooding areas are prioritized.

Technologies for integrated control of the catchment area and the wastewater treatment plant based on online data provide possibility for improved utilisation of storing and treatment capacity in the catchment area and wastewater treatment plant. There is a need for further development of these technologies, including improved predictions of precipitation, quantitative as well as geographically described. Furthermore there is a need for sensors for reliable real time monitoring and models, planning tools and new technological solutions in the sewer catchment area, which transforms online data to practical control with the aim of a minimized damage, taking into account the many complex contexts within the urban hydrological cycle.

In addition to ensuring the hydraulic capacity for handling of extreme rain, the impact on the environment as a result of the more frequent and intense overflow events must be reduced through improvement of storing and treatment of overflow water. An improvement of the removal of pollutants prior to discharge to the recipient can take place through improved treatment in the storing tanks, e.g. by installation of equipment for sedimentation improving hydraulics, such as multi chamber systems and lamella separators. A combination of wet rain water reservoirs and sorption technologies can also prove to be cost effective treatment methods, which at the same time can have considerable recreational value. A number of these methods are already being tested, but there is a need for further technological development, and for obtaining more experience regarding the effectiveness of these methods, including the effect in relation to heavy metals and organic micro pollutants, which henceforward will be increasingly in focus, and disinfection.

Further to this there is a need for technological solutions enabling compact decentralized treatment of polluted overflow water, followed by local infiltration or reuse of the treated water for urban recreational water bodies or other useful applications.

Such technologies can include micro sieve plants with chemical precipitation, compact filtering, disinfection with new disinfectants, advanced chemical oxidation, etc., and the development activities will in these cases often be in the form of technology accommodation and testing of the effectiveness in relation to new pollution parameters. In relation to treatment of overflow water, there will be special interest for technologies where a low investment economy can justify a somewhat higher operation economy, as it will be plants with a limited time of operation.

Wastewater treatment plants

The technological development combined with increasing costs for energy and chemicals, as well as legislative requirements as to higher efficiency in the wastewater sector, results in an increased focus on cost-effective operation of wastewater treatment plants.

Stable and reliable online-sensors for continuous recording of key process and pollutants parameters in wastewater treatment plants make it possible to operate treatment plants more cost-effective through development and implementation of advanced integrated control of the various process elements. The improved knowledge of the immediate conditions enables an improved utilization of the installed capacity, both as regards the pollutant substances in the process tanks and the hydraulics in the secondary sedimentation tanks. Therefore there is a pronounced need for strengthening the development of the knowledge that can ensure full enjoyment of profits of

such online based controls, and there is a need for test and try-outs of new and cheaper sensors, that can accelerate the implementation of these solutions, and disseminate the application to also include automatized operation of smaller wastewater treatment plants.

Another considerable focus area for measures, that improves cost-effectiveness of operation of wastewater treatment plants, is energy effective aeration.

Online-sensors makes it possible to keep or improve the effluent quality with less energy consumption for aeration and other energy demanding operations such as pumping and mixing. Aeration is the largest single entry of the energy budget for wastewater treatment plants, and improvements in this area are consequently considerable in the total account. In addition to improvements obtained through more precise control of aeration, it is also possible to obtain improvements through development of new aeration technology with increased effectiveness or through improved understanding of the system by coupling of knowledge on technology and process hydraulics.

Secondary sedimentation tanks are often decisive bottle necks, which limit the utilization of the capacity of the treatment plant as a whole, and thereby pose a limit for the full utilization of the infrastructure investment. Technological solutions, which improve the capacity of the sedimentation tank through improved hydraulics or control during rain, are therefore often particularly cost-effective in the overall picture, and this area should then have high priority. Such solutions could for instance include: Special control measures in the process tanks during rain, technology for improved hydraulics in the influent and effluent parts of the sedimentation tank, and online based control of the load of the sedimentation tanks through real time monitoring of the sludge carpet or other key parameters.

In relation to the Water Framework Directive new pollutants, not relevant when the existing wastewater treatment plants were designed and constructed, have come into focus. The new pollutants that the plants are not designed to handle are especially organic micro pollutants, which are slowly or not degradable in a conventionally designed wastewater treatment plant. The most advantageous way to remove these organic micro pollutants is often by improved source control - possibly in terms of pre-treatment at important point sources in the sewer catchment area. A part of the problematic pollutants originate however from diffuse discharge from households in the sewer catchment area, and for that reason a need for technologies for tertiary treatment of such organic micro pollutants can be identified.

Depending on the pollutants in question and the given environmental goals, a number of tertiary treatment technologies can be pointed out, reaching from tertiary biological filters over adsorption on activated carbon to chemical oxidation with strong chemical oxidants, such as ozone and advanced oxidation technology (AOT). A common characteristic is that there is only limited knowledge as to the effectiveness of these technologies in relation to the problematic organic micro pollutants, and there is therefore an urgent need for research work, in relatively large scale, as regards testing of the tertiary treatment technologies. Further to these pollutants there is, especially in relation to bathing water quality, an increased focus on pathogenic micro organisms, discharged with the treated wastewater. Some technologies, such as chemical oxidation and advanced oxidation are effective in terms of

disinfection and will thus be particularly relevant in cases where there is focus on both organic micro pollutants and bathing water quality.

In relation to biological treatment, work has been done for a number of years on the so called Membrane Bioreactor-Technology (MBR), where the sedimentation process is substituted by membrane filtration – typically micro filtration or ultra filtration. This technology, which constitutes an actual technology leap compared to conventional biological treatment technology, is able to deliver treated wastewater of a considerable higher quality with respect to traditional parameters as well as a number of organic micro pollutants and pathogens. Intensive work is carried out, internationally as well as in Denmark, aiming at the elimination of those barriers standing in the way for a fast dissemination of this very promising technology, and it is considered to be important to support this research and development work with Danish solutions and Danish specialist knowledge on this expected key technology area.

As a consequence of increasing water tariffs and locally pressed water resources, or in relation to decentralized treatment and disposal of treated wastewater for re-recreational purposes, technologies that makes water reuse possible, are gaining increased interest in Denmark. In this connection attention is called to membrane filtration technologies – either directly as is often seen in industries in upgrading for reuse – or in combination with biological treatment in the form of membrane bioreactor-technology. Reuse for recreational purposes in urban areas will often require treatment to very low concentrations of nutrients – especially phosphor – as well as disinfection. Technologies that are able to polish treated wastewater for these purposes, are therefore of special interest.

Sewage sludge

Final disposal of sewage sludge constitutes to day a very considerable operating cost at municipal as well as industrial wastewater treatment plants. Technologies able to reduce the quantity of sludge for final disposal are therefore an important focus area. Further to this, sewage sludge represents a considerable energy resource, and technologies that can improve the utilization of this resource are of great interest. Considerable testing and development are taking place in these years with regard to physical/chemical pre-treatment technologies for disintegration of sludge that can contribute to reduction of the quantity of sludge as well as to an improved utilization of the energy resource.

Among the latest methods, attention can be drawn to the use of ultrasound based and cavitation based mechanical disintegration of sludge prior to digestion and both methods seem to comprise promising technologies for cost-effective pre-treatment of sludge. Also technologies for chemical pre-treatment and conditioning of sludge prior to final dewatering are of interest – as an example a method were acid and hydrogen peroxide are added to the sludge can be mentioned. The technologies for pre-treatment of sludge are under testing on Danish wastewater treatment plants, but there is a need for obtaining more operation experience as well as solid documentation, in order to be able to assess if and when, the technologies can be regarded as cost-effective.

Especially in the area regarding extensive utilization of the energy content of the sludge it seems likely that a technology leap could take place on a

somewhat longer term through further development of, among others, gasification and oil production technology. Such technologies are however, due to the assumed long term, only sporadically mentioned in the present survey.

Other relevant issues

Measures for obtaining new goals, e.g. environmental goals in relation to the Water Framework Directive, or goals regarding increased effectiveness in the wastewater sector, usually are in the form of either regulations (permits/approvals, general rules) and/or economical control measures/incentives. Economical incentives could be improvement of sustainable framework conditions for the water sector. An example could be that the operator, as a supplement to the demands of the effluent permit, was ensured an economical advantage for treating maximal wastewater quantities at the wastewater treatment plant – up to the actual capacities for the plants ability, in periods with considerable rain, hereby reducing the load of the environment through overflow events from combined sewage overflows located in the catchment area of the wastewater treatment plant. Other examples could be the development of systems for benchmarking to support the work regarding effective performing, development of discharge control based on online-sensors, reassessment of the foundation for wastewater fees, sludge incineration fees, rules for fees for extraordinary discharges, etc.

In relation to the evaluation of new technological solutions, there is a need for further development of methods for supporting the conduction of simple sustainability assessments.

Finally, there is a need for development and testing of protocols for transparent, approved and comparable verification of Danish key environmental technology with large potential for export. Such activities will support technology providers as well as technology users.

Research and development projects

Projects aiming at the generation of new knowledge and technology within the identified development areas can be of widely different character. The projects will reach from elucidation tasks over practical technology development projects to demonstration activities focusing on documentation of new technological solutions, with particular potential and subsequent knowledge dissemination. In relation to knowledge dissemination, it is furthermore important to ensure a solid anchorage of the established new knowledge in the teaching at university level.

The research and development activities must play together with a number of other initiatives in the area. In Denmark such key initiatives are the activities within the water and environment area of ***The Strategic Research Council***, as well as ***The Water Partnership***, which is an industry driven innovation platform aiming at identifying and developing new business opportunities to the global market, and to obtain environmental advantages by application of the developed conceptual solutions. Also ***The Globalisation Fund***, which includes strategic research in environmental technology in general, and which has a research as well as a business oriented element, is relevant in this context. Finally with reference to Danish initiatives, ***The Technological Development Fund***, proposed by DANVA, as part of the initiative “Service inspection of the water and wastewater sector”, could be pointed out. This fund is expected to be established in 2008, and is assumed to be aimed at administrative as well

as technological issues. From the European scene attention is called to ***The Water Supply and Sanitation Technology Platform (WSSTP)***, which has had as a primary purpose to describe a common vision for the European water industry, and to work out strategic research agendas. Implementation plans for these research needs are now under preparation, and it is seen as important that also Danish municipalities, industries, water companies and research organisations ensure a position in this international development cooperation.

1 Baggrund og formål

1.1 Generelt

I forbindelse med Vandmiljøplan I fra 1987 blev der i Miljøstyrelsen etableret en forsknings- og udredningsindsats (Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, 1988). Puljen havde bl.a. til formål at understøtte og give overblik over spildevandssektoren først i 1990'erne i forbindelse med udbygningen af de kommunale renseanlæg til næringsstoffjernelse. Siden har der ikke været lavet en status over behov for udvikling af teknologi inden for spildevandssektoren generelt.

I de kommende år står kommuner og virksomheder over for nye udfordringer, særligt Vandrammedirektivet og Badevandsdirektivet. Derudover kan der være lokale ønsker om beskyttelse af bynære vandområder f.eks. badevand i Københavns Havn, frilægning og rekreativ benyttelse af Århus Å i midten af Århus by. Anvendelse af drænvand og regnvand som fødevand i bynære rekreative kanaler kræver ligeledes renseteknik, hvis der skal opretholdes en tilfredsstillende vandkvalitet. Endelig kan nævnes indsats over for udledninger af miljøfremmede stoffer til vandmiljøet, hvor der med Vandrammedirektivets generelle krav om god kemisk tilstand kan forventes større fokus på rensning for miljøfremmede stoffer.

Hidtil har der kun været en meget begrænset genanvendelse af rensed spildevand i Danmark, primært fordi Danmark kan forsynes alene med grundvand og sekundært, fordi rensning af spildevand til drikkevandskvalitet har været for dyrt. Hvis der skal opnås mere vand i de danske vandløb, skal vandindvindingen i visse områder reduceres, hvilket på sigt kan gøre genanvendelse af rensed spildevand mere interessant.

Nye spildevandsplaner fra bl.a. København, Århus og Odense peger på behov for betydelige investeringer i forbedret spildevandsrensning af hensyn til opfyldelse af miljømål for vandløb, søer og kystvande og af hensyn til forbedret badevandskvalitet. På landsplan kan det over en årrække dreje som om et tocifret milliardbeløb i anlægsomkostninger.

Endelig er der behov for reduktion af udledninger af tungmetaller og miljøfremmede stoffer til vandmiljøet som følge af Vandrammedirektivet.

Den teknologiske udvikling medfører, at der kan være behov for at optimere eksisterende spildevandsløsninger for til stadighed at sikre en cost-effektiv spildevandshåndtering, idet udvikling/forbedring og reducerede omkostninger ved nye renseteknologier kan gøre disse cost-effektive. Der er i de senere år sket en betydelig udvikling rundt om i verden på dette område, og der er behov for, at man i Danmark ajourføres med dette samtidig med, at en egen dansk udvikling fortsætter.

Som grundlag for kommende arbejder om behov for en forsknings- og udviklingsindsats på spildevandsområdet er der brug for en oversigt over behov, muligheder og nye teknologier indenfor spildevandshåndtering.

Forsknings- og udviklingsaktiviteterne skal ses i sammenhæng med en række andre initiativer på området. I Danmark drejer det sig bl.a. om **Innovations accelererende forskningsplatforme – forskningsplatformen vand**, der er et initiativ fra det Strategiske Forskningsråd med det formål at fremme innovation indenfor vandsektoren med et internationalt kommercialiseringssigte som det primære (IAFP-Vand, 2005). Endvidere kan nævnes **Vandpartnerskabet**, der er en erhvervsdrevet innovationsplatform initieret af Innovationsrådet. Sigtet med Vandpartnerskabet er at identificere og udvikle nye forretningsmuligheder inden for vandsektoren, at bidrage til etablering af udviklings- og forretningspartnerskaber mellem danske aktører på vandområdet samt at opnå miljømæssige fordele ved de udviklede konceptløsninger (Vandpartnerskabet, 2006). Også **Globaliseringspuljen**, der er et regeringsinitiativ til generel styrkelse af offentlige investeringer i forskning, er relevant i denne sammenhæng. Globaliseringspuljen omfatter strategisk forskning i miljøteknologi generelt og har både et forsknings- og et forretningsorienteret element (Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, 2006). Endelig kan af danske initiativer peges på **Teknologiudviklingsfonden**, der er en pulje, som DANVA har foreslået som en del af initiativet ”Serviceeftersyn af vand- og spildevandssektoren”, der indeholder nye reguleringer af vandsektoren. Det forventes, at fonden vil blive etableret i 2008, og at den vil få samme formål som DANVA’s nuværende forskningspulje, dvs. at den vil støtte både administrative og tekniske problemstillinger.

Fra EU siden kan peges på initiativet **The Water Supply and Sanitation Technology Platform (WSSTP)**. WSSTP er et EU initiativ, som er åbent for alle, der er involveret i europæisk vandforsyning og spildevandshåndtering samt større forbrugergrupper. Det primære formål er at beskrive en fælles vision for hele den europæiske vandindustri og følge denne op med udarbejdelse af et strategisk forskningsprogram og en implementeringsplan for kort-, mellemlangt- og langt sigt. WSSTP vil bidrage til den europæiske vandindustri’s konkurrencedygtighed til løsning af Europas vandproblemer samt til at nå ”the Millennium Development Goals” fastlagt på verdens-topmødet om bæredygtig udvikling i Johannesburg 2002 (WSSTP, 2006).

På denne baggrund har Miljøstyrelsen, fra 1. oktober 2008 By- og Landsskabsstyrelsen, iværksat nærværende projekt, der skal ses såvel i relation til behov for en øget cost-effektiv miljøindsats, som til mulighederne for udvikling af et nyt dansk eksportpotentiale indenfor spildevandsområdet.

1.2 Formål

Det primære formålet med projektet er at udarbejde en oversigt over behov, muligheder og nye teknologier indenfor primært spildevandshåndtering. Der skal være tale om teknologi, som umiddelbart kan anvendes i tilknytning til den eksisterende spildevandshåndtering.

Mange renseteknologier kan anvendes både i spildevandssektoren og i forbindelse med fremstilling af rent drikkevand samt i industrierne. Som et sekundært formål skal det beskrives, hvor renseteknologier har en sådan bredere anvendelse.

1.3 Målgruppe

Målgruppen er primært Miljøstyrelsen/By- og Landskabsstyrelsen og andre beslutningstagere i relation til F&U indenfor området. Sekundært bør andre

interessenter, såsom kommuner, også holdes i mente som målgruppe. Endelig vil rapporten kunne bruges som indspil til igangværende initiativer på området såsom "Vandpartnerskabet".

1.4 Omfang og afgrænsning

Oversigten dækker følgende områder:

- Regnbetingede overløb: tungmetaller, miljøfremmede stoffer, næringsstoffer
- Spildevandsoverløb og badevand: organisk stof, næringsstoffer, tungmetaller, miljøfremmede stoffer, mikroorganismer
- Miljøfremmede stoffer – kildekontrol og central rensning
- Forbedringer af gængs renseteknologi på kommunale renseanlæg
- Optimering af drift af renseanlæg
- Renseanlæg og badevandskvalitet

Rapporten er afgrænset til at omfatte følgende temaer:

- Renseteknologi/Miljøteknologi
- Spildevandsområdet
- Eksisterende og nye miljømål
- Optimering og cost-effektiv drift
- Dansk eksportpotentiale på området

1.5 Opbygning af rapporten

Rapporten indeholder fem kapitler (kapitel 2-6), hvor renseteknologi behandles efter vandtyper:

2. Regn- og overløbsvand i kloakopland
3. Spildevand i kloakopland
4. Det åbne land
5. Renseanlæg
6. Slam

Hvert af de fem kapitler indledes med en generel gennemgang af behov og muligheder for renseteknologi indenfor det pågældende område og efterfølges af en kort oversigt over relevante renseteknologier med en kort vurdering af stade, potentiale og forsknings- og udviklingsbehov.

For hver af de fem sektorer findes i henholdsvis Bilag A-E oversigter, der på stikordsform og i flere detaljer beskriver de behandlede renseteknologier.

I kapitel 7 er endvidere beskrevet øvrige anvendelser for renseteknologi.

I kapitel 8 er en række forhold, der er fælles for alle teknologier, taget op. Det drejer sig om behov og tiltag indenfor miljøvurderinger, testordninger samt forvaltning og rammebetingelser.

I rapportens referenceliste er medtaget referencer til en række af de mest betydelige danske og internationale udredningsprojekter samt udviklingsprojekter og demonstrationsprojekter vedrørende ny renseteknologi.

2 Regn- og overløbsvand i kloakopland

Udledninger fra renseanlæg er siden iværksættelse af Vandmiljøplan I nedbragt meget betydeligt, hvorimod der i den tilsvarende periode kun er sket en mindre reduktion af de regnbetingede udledninger, som finder sted i kloakoplandet før renseanlægget. Hertil kommer, at ekstremregnhændelser – som følge af klimaforandringer – må antages at forekomme hyppigere i fremtiden. Den andel af de samlede udledninger, der udgøres af regnbetingede udledninger, er derfor steget betydeligt, og regnbetingede udledninger er kommet i fokus som et område, hvor rensning kan være nødvendig, hvis de samlede udledninger skal nedbringes yderligere. Generelt er der således stigende fokus på nytænkning og integreret planlægning af vandinfrastruktur i bysamfund. For danske projekter indenfor dette område kan bl.a. peges på ATV (2004), DTU (2006) og Black Blue Green (2007).

I mange kloakoplande er der etableret opsamlingsbassiner, hvor regnbetinget overløbsvand opmagasineres, indtil regnhændelsen er overstået, og der igen er kapacitet på renseanlægget til at behandle det opsamlede vand. Optimal udnyttelse af kapacitet i kloakker og regnvandsbassiner kræver særlig overvågnings- og styringsteknologi. Denne teknologi har været tilgængelig i de sidste 10-15 år og er under løbende udvikling senest med "forecast"-teknologier, der kan give tidlige informationer om nedbørsområder og nedbørsmængder.

Regnvandsbassiner reducerer således udledningerne ved regnbetingede overløb, men samtidig forlænges den periode, hvor renseanlægget hydraulisk set er maksimalt belastet. Dette kan give driftsproblemer og vanskeligheder med at overholde afløbskravene for renseanlægget. En mulig afhjælpning af problemet kunne være decentral rensning med efterfølgende lokal infiltrering af det rensede vand.

For store byer, hvor de befæstede arealer typisk hele tiden øges, ses stigende problemer med for lille hydraulisk kapacitet i kloakhovednettet til de store centrale renseanlæg, og det er som oftest meget vanskeligt og ekstremt dyrt at udbygge hovedkloaknettet i tæt bebyggede storbyer. Igen kunne decentral rensning med efterfølgende lokal infiltrering af det rensede vand udgøre en mulig teknologi til afhjælpning af problemet.

Vand er et vigtigt element for et godt bymiljø, og nye bydele planlægges ofte med rekreative områder, hvori indgår mere eller mindre kunstigt anlagte søer og kanaler. Vandet, der anvendes, er ofte regnvand, men da kvaliteten af regnvand opsamlet fra byområder ikke altid er den bedste, og da mennesker og dyr kan komme i tæt kontakt med vandet, kan det være relevant at rense vandet, før det anvendes til sådanne æstetiske formål.

Regnvand eller blandinger af regnvand og spildevand kan også tænkes opsamlet og brugt til vanding af f.eks. parker og golfbaner. Også her kan det være relevant at rense vandet før udvanding for at sikre en stabil og

tilstrækkelig høj vandkvalitet, således at risikoen for f.eks. smitteoverførelse til mennesker og dyr er meget lille.

Vand fra separatkloakerede systemer betragtes ofte umiddelbart som næsten rent, mens overløbsvand traditionelt betragtes som stærkt forurenet vand. Analyser af de to vandtyper synes imidlertid at vise, at forskellen i forureningsgrad – som gennemsnit betragtet – ofte ikke er så stor. I tabel 2.1 er vist et eksempel på niveauer for koncentration af udvalgte forureningskomponenter i henholdsvis vand fra regnvandskloak og overløbsvand fra fælleskloak (Miljøstyrelsen, 2000).

Tabel 2.1

Typiske hændelsesmiddelkoncentrationer i vand fra regnvandskloak og overløbsvand fra fælleskloak i Danmark. Efter Miljøstyrelsen (2000).

Stof	Regnvandskloak	Overløbsvand
SS (mg/l)	130±160	120-200
COD (mg/l)	140±160	120-160
TN (mg/l)	5,5±2,5	10
TP (mg/l)	0,64±0,54	2,5
<i>E. Coli</i> (antal pr. 100 ml)	10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁷

Note: Når variationsintervallet i nogle tilfælde for regnvandskloak er større end middelkoncentrationen, skyldes det, at sandsynlighedsfordelingen for målingerne ikke er symmetrisk.

Som det fremgår af tabel 2.1, kan vand fra regnvandskloak også indeholde betydelige mængder af indikatorbakterien *E. Coli*. Det må dog antages, at indholdet af patogene mikroorganismer generelt er langt højere i overløbsvand, og dette er en væsentlig forskel på de to vandtyper i forhold til renseteknologi.

At vand fra regnvandskloak kan være forurenet i betydelig grad, fremgår også af IDA Spildevandskomiteen (2006), der viser, at regnvandskloakken i en kommune modtager tungmetaller i samme mængder som spildevandskloakken.

For både regnvand og overløbsvand vil det på grund af det relativt store sammenfald i forureningskarakteristika i nogen udstrækning være de samme renseteknologier, der skal bringes i anvendelse, hvis vandet efterfølgende skal udledes til recipient, henholdsvis nedsives eller genanvendes.

I de følgende afsnit er beskrevet teknologier, der kan tænkes anvendt til rensning af regnvand fra separatkloakerede oplande og til rensning af regnbetingede overløb fra fælleskloakerede oplande, med baggrund i behovene som nævnt ovenfor. Beskrivelsen er opdelt efter disponering af vandet efter rensning, da teknologierne i højere grad grupperer sig efter slutdisponering end efter vandtype. For flere detaljer vedrørende de enkelte teknologier henvises til oversigten givet i Bilag A.

2.1 Lokal udledning til recipient

Regnvandet fra separatkloakerede systemer ledes i dag enten direkte til recipienten, eller det passerer en facilitet (bygværk og/eller separator og/eller regnvandsbassin), der dels bevirker, at den hydrauliske belastning af

recipienten udjævnes, og dels at der sker en vis reduktion af suspenderet stof via sedimentation.

Regnbetinget overløbsvand fra fællessystemer ledes i betydelig udstrækning til magasineringsbassiner. Først når disse er fyldt, ledes yderligere overløbsvand direkte til recipient. Når regnhændelsen er forbi, og der igen er tilstrækkelig hydraulisk kapacitet på renseanlægget, ledes vandet fra magasineringsbassinet tilbage til kloaksystemet og til rensning på det centrale renseanlæg. I de senere år er der sket en betydelig udbygning af magasineringskapaciteten i mange kommuner for at begrænse de hydrauliske og stofmæssige belastninger af recipienterne.

For både vand fra regnvandskloak og overløbsvand er der specielt fokus på forbedret rensning for næringsstoffer, tungmetaller og miljøfremmede stoffer.

På kort sigt må det antages, at der vil være fokus på udbygning af magasineringskapaciteten i form af etablering af nye regnvandsbassiner. Ved design af nye bassiner vil opmærksomheden primært være henledt på fjernelse af suspenderet stof, fordi dette vil fjerne hovedparten af det organiske stof og de miljøfremmede stoffer. For eksisterende regnvandsbassiner kan der være tale om at optimere indretningen i forhold til fjernelse af suspenderet stof. Endvidere sker der en betydelig udvikling af teknologi indenfor separatorer, som også kan tænkes at få en betydelig udbredelse.

Målinger af flow og eventuelt forureningskomponenter i kloaksystemet, udligningsbassiner og renseanlægget anvendes i dag typisk kun i driften af de enkelte faciliteter, hvor målingerne er foretaget. Ved en integreret behandling af data fra alle faciliteter er det i princippet muligt at optimere udnyttelsen af det samlede system og derved reducere behovet for yderligere udbygning af udligningsbassiner og renseanlæg. I de senere år er der sket en betydelig udvikling af såvel software-værktøjer til integreret styring af kloaksystem som online-måleudstyr til måling af nøgleparametre på centrale steder i kloaksystemet.

Nedenfor er angivet en række teknologier, der vurderes relevante i denne sammenhæng. Stort set alle teknologier har været kendt og anvendt i en længere årrække, men ofte i andre sammenhænge og kun i begrænset omfang. De medtagne teknologier er derfor primært valgt ud fra en vurdering af, at de i den aktuelle sammenhæng har et betydeligt potentiale, og/eller fordi en teknisk videreudvikling har resulteret i forbedrede afløbskvaliteter og/eller gjort dem mere cost-effektive i anskaffelse og drift. Det er endvidere antaget, at den nødvendige rensning vil være mindre vidtgående ved udledning til recipient end ved genanvendelse. Nedenfor er derfor kun medtaget mindre intensive renseteknologier, idet de mere intensive teknologier er angivet i afsnit 2.2 i forbindelse med genanvendelsesaspektet. I princippet kan man dog meget vel forestille sig, at de mere intensive metoder også kunne finde anvendelse ved udledning til recipient. For en generel oversigt over eksisterende teknologier til reduktion af effekter i miljøet ved regnbetingede udledninger henvises til DANVA (2006b).

Våde regnvandsbassiner

Anvendes til fjernelse af suspenderede forureningskomponenter ved bundfældning i åbne jordbassiner med permanent vandspejl og etableres ofte som et rekreativt landskabselement med delvis beplantning. Våde regnvandsbassiner er ganske udbredt i Danmark og vurderes at have et

betydeligt potentiale specielt i kraft af det rekreative element. Der er behov for optimering af driftspraksis herunder slamhåndtering samt dokumentation for effekt over for miljøfremmede stoffer (IDA Spildevandskomiteen, 2006). Ved kombination af våde regnvandsbassiner og teknologier som tilsætning af fældningskemikalier, afløb gennem sandlag, *sorption* til fastmediefilter og sorption til jernberiget bundsediment kan våde regnbassiner også tænkes at finde anvendelse i forbindelse med rensning af overløbsvand. Erfaringer fra Danmark begrænser sig til et par igangværende demonstrationsprojekter, der afvikles som led i et EU projekt (LIFE-TREASURE, 2006). Der er behov for afprøvning og dokumentation af konceptet og et betydeligt potentiale, hvis tekniske udfordringer – som forhindring af tilstopning og opretholdelse af sorptionskapacitet – viser sig overkommelige.

Kunstige vådområder

Anvendes til fjernelse af suspenderede- og i nogen grad opløste forureningskomponenter. Vådområder er store vandområder med vegetation på lille vanddybde, hvori der foregår en lang række fysiske, kemiske og biologiske processer. Effekterne af vådområder, hvad angår traditionelle parametre som suspenderet stof og fosfor, kendes fra en række målinger (Skov- og Naturstyrelsen, 1998). Der er etableret en del vådområder i Danmark. Det vurderes, at vådområder har et betydeligt potentiale til rensning af vand fra regnvandskloak, i områder med god plads og passende højdeforhold og jordbundsforhold. Dertil kommer, at kunstige vådområder er attraktive på grund af det rekreative element.

Forbedret bundfældning under magasinering

Anvendes til fjernelse af suspenderede forureningskomponenter ved installation af udrustning som: lameludskillere, hvirvelseparatorer og vandfordelingsindsatser. Fra Danmark kendes kun enkelte installationer. Som eksempel kan nævnes Københavns Energi's tiltag med henblik på etablering af badevandskvalitet i havneområder, i hvilken forbindelse der er opstillet præfabrikerede regnvandsseparatorer på Holmen, Sluseholmen og Teglnholmen. Et andet eksempel – her med overløbsvand fra fælleskloak – er ombygning af en eksisterende magasineringstank på Ejby Mølle Renseanlæg (Dansk Vand, 2006), hvor alle de tre ovennævnte typer udrustning har været afprøvet som led i LOTWATER projektet (LOTWATER, 2004). Konceptet med forbedret bundfældning under magasinering vurderes at have et betydeligt potentiale under forudsætning af, at de specifikke teknologier viser sig effektive. Erfaringerne fra LOTWATER projektet viste, at forbedringer i de hydrauliske forhold, ved introduktion af prelleplader i regnvandstanke i sig selv gav en væsentlig forbedring i stoftilbageholdelsen. Udrustning som lamelseparator gav en mindre ekstraeffekt, mens en turbofloc-indsats gav meget lille eller ingen effekt. Der er generelt behov for yderligere afprøvning og dokumentation af bundfældningsaccelererende processer og endvidere for undersøgelse af effektivitet over for fjernelse af tungmetaller og mikroorganiske forurenninger.

Forbedret separation ved overløbsbygværk

Anvendes til fjernelse af suspenderede forureningskomponenter ved installation af udrustning som lamelseparatorer eller hvirvelseparatorer. Fra Danmark kendes kun enkelte installationer. Som eksempel kan nævnes etablering af lamelseparator ved et eksisterende bygværk i Århus (LOTWATER, 2004). Erfaringerne fra Århus-projektet viste, at hydraulisk optimering af bygværket ved forøgelse af volumen, i sig selv havde en god effekt på stoftilbageholdelsen, mens effekten af lamelseparatoren var af mindre

betydning. På den baggrund vurderes konceptet med etablering af lamelseparator umiddelbart at have et begrænset potentiale, mens optimering af de generelle hydrauliske forhold bør være et fokuspunkt ved optimering af stoffjernelse ved overløbsbygværker. Der er behov for yderligere afprøvning og dokumentation af processen, herunder effekten over for fjernelse af tungmetaller og organiske mikroforureninger.

Mikrosiftrering

Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter ved filtrering gennem en filterdug. Kan drives med eller uden forstærket effekt gennem kemisk fældning. Velkendt teknologi fra andre sammenhænge. I Danmark kendes kun ét eksempel på anvendelse af denne teknologi i den aktuelle sammenhæng, nemlig rensning af overløbsvand før udledning til Svanemøllebugten ved anvendelse af mikrosier efterfulgt af UV-desinfektion. Det er specielt hensynet til badevandskvaliteten i Københavns Havn, der ligger bag implementering af anlægget (Dansk Vand, 2006). Det vurderes, at mikrosier – i kraft af kompakt og modulopbygget teknologi med et relativt lavt energiforbrug – har et betydeligt potentiale til rensning af overløbsvand i situationer, hvor en høj afløbskvalitet er påkrævet, og hvor pladsforholdene umuliggør konventionelle bassin-løsninger. I LOTWATER (2007) rapporteres resultaterne af en cost-effektivitetsanalyse af de forskellige teknologier der har været afprøvet i LOTWATER-projektet. Det konkluderes her generelt, at det for typiske oplandsstørrelser (op til 25 ha) vil være cost-effektivt at udbygge med bassinløsninger, mens det for meget store oplande kan være cost-effektivt at etablere mikrosier og UV-desinfektion.

UV-desinfektion

Anvendes til inaktivering af mikroorganismer – og i nogen grad til fjernelse af organiske mikroforureninger – ved bestråling med ultraviolet lys. Relevant i tilfælde, hvor mennesker er i tæt kontakt med vandet (badevand, rekreative søer og kanaler). UV-desinfektion er velkendt teknologi i anden sammenhæng. Fra Danmark kendes kun ét eksempel på den aktuelle anvendelse, nemlig rensning af overløbsvand før udledning til Svanemøllebugten ved anvendelse af mikrosier efterfulgt af UV-desinfektion. Det er specielt hensynet til badevandskvaliteten i Københavns Havn, der ligger bag implementering af anlægget (Dansk Vand, 2006).

Kemisk desinfektion

Anvendes til inaktivering af mikroorganismer – og i nogen grad til fjernelse af organiske mikroforureninger – ved tilsætning af stærke oxidationsmidler, som f.eks. ozon, brintperoxid, pereddikesyre, og permyresyre. Relevant i tilfælde hvor mennesker er i tæt kontakt med vandet (badevand, rekreative søer og kanaler). Der er ringe erfaringer nationalt så vel som internationalt, og der er p.t. ingen installationer i Danmark. Det vurderes, at teknologien har et begrænset potentiale ved brug af de p.t. kendte kemikalietyper. Kemisk desinfektion er mindre følsom over for suspenderet stof end UV-desinfektion, og endvidere er teknologien mindre investeringstung. Til gengæld er der risiko for videreførelse af overskudskemikalie ved genanvendelse af det behandlede vand. Forsknings- og udviklingsaktiviteter går i retning mod opnåelse af praktiske erfaringer med relevante kemikalier samt effekt i recipient ved udledning af overskudskemikalie.

Online-målere og integreret styring i opland/renseanlæg

Styring af samspil mellem drift af **fælles kloaksystem** med henblik på at isolere "first flush", minimere overløb, optimere magasinering/tilledning til

renseanlæg og drift af **renseanlæg** med henblik på at behandle så meget vand som muligt og reducere belastning på klaringstanke/undgå slamflugt. Styringen er baseret på online-målinger i kloaksystem og rensesanlæg, samt central databehandling og aktivering af kontrolhåndtag i kloaksystem (spjæld, overløbskanter, pumpestationer og bassiner) og på rensesanlæg (returslamstyring, udkobling af aktiv slam tanke og bypass). Senest er også radarudstyr taget i brug til online-forudsigelse af nedbør. Der er solide erfaringer med opsætning og drift af online-målere, men erfaringer med omsætning til praktisk integrering og styring er begrænsede. For en uddybende beskrivelse af status og udviklingstendenser indenfor integreret styring af kloak og rensesanlæg henvises til DHI (2007). Der vurderes at være et betydeligt potentiale for forbedret udnyttelse af kapaciteten i kloak og på rensesanlæg, og Danmark vurderes at være blandt de lande, der er længst fremme på området. F&U-behov retter sig specielt imod integreret modelbeskrivelse, definition af optimeringsrutiner og demoprojekter.

Energieffektiv pumpning

Energiforbruget til pumpning af spildevand udgør typisk den væsentligste post på energiregnskabet for drift af et kloakopland. Det er derfor interessant at indføre besparelser på dette område. Energoptimering af pumpning kan enten ske ved optimering af driften af eksisterende udstyr eller ved installation af ny og mere energieffektiv teknologi på området. Udviklingselementer kan være: udvikling af ny pumpeteknologi og demonstrationsaktiviteter til dokumentation af sparepotentialet.

2.2 Lokal nedsivning eller genanvendelse

I stedet for udledning til recipient af vand fra regnvandskloak og overløbsvand fra fællessystemer kan det tænkes, at vandet håndteres lokalt enten ved nedsivning eller ved genanvendelse.

Nedsivning vil fortrinsvist have til formål at reducere belastningen af recipienten – såvel den hydrauliske som den stofmæssige belastning – mens genanvendelse både reducerer belastningen af recipienten og reducerer forbruget af vandforsyningsvand.

Der kan også være tale om vand fra tage og befæstede arealer, der opsamles og genanvendes til f.eks. toiletskyl, vask og vanding. Der kræves typisk rensning i større eller mindre grad før genanvendelse, f.eks. bundfældning og/eller filtrering. Det kan også være en mulighed at bortskaffe overløbsvand ved lokal nedsivning, og dette kan også tænkes at kræve en forudgående rensning af overløbsvandet. Hertil kommer, at videregående rensning kan tænkes at kunne dække en række behov og åbne en række muligheder i relation til lokal genanvendelse. Sådanne behov/muligheder er listet nedenfor med angivelse af egnede spildevandsteknologier.

- Forbedret afløbskvalitet ved lokal bortskaffelse (nedsivning) som følge af skærpede krav i forhold til grundvandskvalitet, specielt ved nedsivning af overløbsvand
- Forbedret afløbskvalitet i forbindelse med genanvendelse til rekreative formål (kanaler, bassiner, kunstige søer, søer i parker)
- Direkte genanvendelse herunder vanding af haver, plæner, parker, sportsanlæg og golfbaner, brandslukning, toiletskyl, maskinvask af tøj, vask af biler og vinduer samt anvendelse som procesvand i industrien

Direkte genanvendelse af specielt overløbsvand kræver særlig opmærksomhed på det hygiejniske aspekt, både fra en renseteknisk- som en adfærdsmæssig synsvinkel.

Nedenfor er angivet en række teknologier, der vurderes relevante i denne sammenhæng. Stort set alle teknologier har været kendt og anvendt i en længere årrække, men ofte i andre sammenhænge, og kun i begrænset omfang. Kriterierne for udvælgelse af teknologier er derfor, om der er et **potentiale indenfor nye anvendelsesområder** samt et **teknisk udviklingsperspektiv**, som kan, eller allerede har, resulteret i forbedrede afløbskvaliteter og/eller gjort dem mere cost-effektive i anskaffelse og drift.

Sandfiltrering

Anvendes til fjernelse af suspenderede forureningskomponenter ved filtrering gennem et eller flere lag sand og kan drives med eller uden forstærket effekt gennem kemisk fældning. Sandfiltrering er i anden sammenhæng en velkendt og udbredt teknologi såvel internationalt som i Danmark. Der findes så vidt vides ingen danske eksempler, hvor sandfiltre anvendes til rensning af vand fra regnvandskloak. Det vurderes, at sandfiltre har et betydeligt potentiale til rensning af vand fra regnvandskloak i kraft af, at der er tale om en kompakt og modulopbygget teknologi. Der er behov for afprøvninger, hvor der kan indhentes erfaringer vedrørende indretning og drift af filtre samt dokumentation vedrørende rensningsgrader for nøgleparametre herunder tungmetaller og organiske mikroforureninger.

Mikrosifiltrering

Se afsnit 2.1.

Forceret sedimentation

Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter samt opløst COD og fosfor ved kemisk bundfældningsproces, hvor bundfældningshastigheden er stærkt forøget via tilsætning af mikrosand. I anden sammenhæng er teknologien ganske udbredt internationalt, og der findes et par installationer i Danmark, herunder et anlæg i Ørestaden, hvor teknologien er anvendt til rensning af vand i rekreative kanaler og søer (RAMBØLL, 2001). Der er ingen danske eksempler på anvendelse af forceret sedimentation til behandling af overløbsvand. Teknologien vurderes at have et stort potentiale i kraft af den ekstremt kompakte opbygning. Der er behov for driftserfaringer ved anvendelse til rensning af vand fra regnvandskloak herunder specielt for effektivitet til fjernelse af tungmetaller og organiske mikroforureninger.

Kemisk fældning med bundfældning

Fjernelse af suspenderet og opløst COD og fosfor ved tilsætning af fældningskemikalier i tilløb til bundfældningstank. Fra Danmark kendes ingen eksempler på anvendelse af kemisk fældningsanlæg til rensning af overløbsvand. Potentialet synes begrænset, da kemisk fældning med bundfældning er pladskrævende og endvidere kræver meget udrustning til slamhåndtering.

UV-desinfektion

Se afsnit 2.1.

Kemisk desinfektion

Se afsnit 2.1.

Nedsivning og reinjektion

Bortskaffelse af vand ved tilledning til grundvandsmagasin via passive faskineanlæg eller aktive nedpumpningsanlæg. Nedsivning og reinjektion er velkendte teknologier (se f.eks. DANVA, 2004). Mens mindre faskineanlæg er almindelige, er faskiner til store vandmængder samt reinjektionsanlæg ikke udbredt i Danmark. Det vurderes, at teknologien umiddelbart har et stort potentiale, men at restriktioner begrundet i hensynet til grundvandsbeskyttelse kan være en betydelig barriere for dens udbredelse, specielt hvad angår aktive nedpumpningsanlæg.

3 Spildevand i kloakopland

I tørvejrssituationer ledes alt spildevand fra kloaksystemerne i dag til renseanlæg. Imidlertid kan presset på kloaksystemet og renseanlæg i byer fremover tænkes at blive øget via yderligere byudvikling, således at det kan vise sig fordelagtigt/nødvendigt at gennemføre tiltag, som enten reducerer den mængde spildevand, der genereres, og/eller lokalt udtager og renser en del af spildevandet fra kloakken. Sidstnævnte vil specielt være interessant i lande, hvor vandressourcerne er meget sparsomme, og hvor rensede spildevand vil have betydelig værdi i forbindelse med genanvendelse.

I de følgende afsnit (3.1-3.4) er der beskrevet en række områder og behov indenfor rensning af spildevand i kloakopland, og der er peget på en række renseteknologier til disse anvendelser. For flere detaljer vedrørende de enkelte teknologier henvises til oversigten givet i Bilag B.

3.1 Byøkologi

Ved teknologi i forbindelse med byøkologi forstås i denne sammenhæng teknologi, der har til formål at håndtere vand fra bygninger og befæstede arealer i byer på en måde, således at der bruges mindre vand fra vandforsyningen, og dermed udledes mindre vand til kloaksystemet, og således at den negative miljøpåvirkning ved afledning af vand mindskes.

Et typisk eksempel på en "byøkologisk teknologi" er regnvandsanlæg, hvor regnvand fra tagflader opsamles i en buffertank og anvendes til toiletskyl og vaskemaskine.

I regnvandsanlæg kan indgå avanceret renseteknologi afhængig af, hvad vandet skal genbruges til. I Japan er det således ikke ualmindeligt at anvende membran bioreaktor-teknologi (MBR-teknologi) i forbindelse med genanvendelse af gråt spildevand fra boligblokke.

Relevante renseteknologier i forbindelse med byøkologi er i høj grad sammenfaldende med de teknologier, der er nævnt i dette afsnit. Rensekoncepter i sammenhæng med byøkologi er derimod ikke er nærmere behandlet i denne rapport. I stedet henvises til serien af rapporter, der afrapporterer resultaterne af Miljøstyrelsens "Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning", jf. Miljøstyrelsen (2006).

3.2 Forrensning af industrispildevand

Spildevand, der udledes fra virksomheder til det offentlige kloaknet, skal overholde en række krav til mængder og kvalitet af spildevandet. Kravene skal sikre, at personale, der arbejder med kloaksystem og renseanlæg, ikke udsættes for høje koncentrationer af sundhedsskadelige stoffer, at de fysiske konstruktioner ikke korroderes eller stopper til og endelig, at renseanlægget skal overholde afløbskrav og slamkvalitetskrav uden, at der skal ofres urimeligt mange ressourcer på særlige rensprocesser på det kommunale renseanlæg. Da kravene i forhold til personalesundhed, vedligeholdelse af de fysiske systemer samt afløbskvalitet ved udledning til recipient løbende skærpes, er

der i mange tilfælde behov for øget forrensning af industrispildevand, som er tilsluttet kloak. Hertil kommer, at øget forrensning kan være en cost-effektiv mulighed for at aflaste kommunale renseanlæg med ringe kapacitet i forhold til eksisterende belastning, eller i forhold til fremtidige tilslutninger af yderligere husholdningsspildevand. Ud over de nævnte forhold kan der i relation til særbidragsbetaling være betydelige økonomiske incitamenter for industrier til etablering af forrenseanlæg.

Konkret kan der peges på behov for forrensning i forhold til:

- Svært nedbrydeligt organisk materiale på såvel suspenderet som opløst form
- Miljøfremmede komponenter som østrogene stoffer, LAS, NPE og DEHP
- Tungmetaller
- Nedbrydelige organiske stoffer i særligt høje koncentrationer
- Næringssalt i særligt høje koncentrationer

Afhængig af spildevandstype og krav til forrensning anvendes en lang række forskellige teknologier fra simpel fjernelse af grove partikler til avancerede fysisk/kemiske processer som f.eks. fældning af tungmetaller. I den aktuelle sammenhæng vil relevante renseteknologier i vid udstrækning være sammenfaldende med de teknologier, der er nævnt i afsnit 3.3 og 3.4.

3.3 Lokal bortskaffelse i større bysamfund

Lokal rensning og lokal bortskaffelse kan være interessante som muligheder til at reducere den generelle belastning af kloaksystem og centrale renseanlæg i større bysamfund, hvor udvidelse af de eksisterende kloaksystemer og renseanlæg er vanskelige og uforholdsmæssig dyre. Overskudsslammet fra små decentrale anlæg kan med stor fordel ledes tilbage til kloak eller transporteres med tankvogn til et centralt renseanlæg, hvorved investerings- og driftsomkostningerne for det lokale anlæg reduceres meget betydeligt. Bortskaffelse af det rensede spildevand antages typisk at foregå via nedsivning eller reinjektion, men kan også tænkes at ske ved direkte udledning til lokal recipient.

I den aktuelle sammenhæng synes relevante renseteknologier at være:

Mikrosiftrering

Anvendes til fjernelse af suspenderede forureningskomponenter ved filtrering gennem en filterdug. Kan drives med eller uden forstærket effekt gennem kemisk behandling, dvs. ved koagulerings- og flokkuleringsprocesser. Ved rensning af spildevand kan mikrosier tænkes anvendt både som et forbehandlingstrin og som et efterpoleringstrin. Der findes p.t. ingen installationer i Danmark med den aktuelle anvendelse. Potentialt vurderes at kunne blive betydeligt, specielt internationalt, hvor konceptet om decentral spildevandsrensning synes at vinde frem. Der er generelt behov for indhentning af driftserfaringer for mikrosiers anvendelse i små lokale renseanlæg i kloakoplandet til store centrale renseanlæg.

Biofilterteknologi

Anvendes til fjernelse af partikulære og opløste forureningskomponenter. Kan tænkes anvendt i mindre decentrale renseanlæg, hvor der kræves vidtgående fjernelse af organisk stof. Teknologien er velkendt fra andre områder, men der findes ingen eksempler i Danmark på anvendelse af biologiske filtre i denne sammenhæng. Det vurderes, at teknologien har et vist potentiale specielt i

kraft af relativt lave investerings- og driftsomkostninger. Der er generelt behov for demonstrationsprojekter til indhentning af driftserfaringer for biologiske filters anvendelse i små lokale renselanlæg beliggende i kloakoplandet til store centrale renselanlæg.

Membran bioreaktor-teknologi (MBR)

Anvendes til vidtgående fjernelse af såvel suspenderede som opløste forureningskomponenter. Aktiv slam teknologi, hvor separationen af det rensede spildevand fra aktiv slammet foretages ved membranfiltrering i stedet for ved sedimentation som i et konventionelt aktiv slam anlæg. MBR er en kompakt teknologi sammenlignet med konventionel aktiv slam og giver langt bedre kontrol med separationsprocessen. Internationalt og specielt i Tyskland ses mindre, decentrale renselanlæg baseret på MBR-teknologi ud til at vinde frem. Som et eksempel på et lille, decentralt renselanlæg kan nævnes Margaretenhöhe MBR-anlægget i Berlin, der behandler husholdningsspildevand fra 250 PE med udledning til lokal overfladereipient (ENREM, 2004). Der er ingen installationer i Danmark. Det vurderes, at teknologien har et stort potentiale i kraft af en kompakt opbygning. Der er behov for demonstrationsprojekter, herunder indhentning af erfaringer vedrørende effektivitet over for tungmetaller og organiske mikroforureninger.

Nedsivning og reinjektion

Anvendes til bortskaffelse af regnvand ved tilledning til grundvandsmagasin via passive faskineanlæg eller aktive nedpumpningsanlæg. Nedsivnings- og reinjektionsteknologi er velkendt både internationalt og i Danmark. Internationalt er der betydelige erfaringer med anvendelse af nedsivningsanlæg til bortskaffelse af spildevand, men i Danmark kendes ingen eksempler på denne anvendelse, bortset fra i helt lille skala i forbindelse med håndtering af spildevand i det åbne land. Nedsivning vurderes at kunne have et betydeligt potentiale, men reguleringer begrundet i hensynet til grundvandsbeskyttelse kan være en barriere i praksis.

3.4 Lokal genanvendelse

I tilfælde, hvor vandressourcerne er sparsomme, kan der være incitament til at genbruge råspildevand. Spildevandet kan tænkes udtaget fra det lokale kloaksystem, renses og anvendes lokalt. Samtidig reduceres den hydrauliske belastning af det centrale renselanlæg. Princippet er specielt kendt fra Australien, hvor "sewer mining" f.eks. i Sydney er ved at blive en vigtig del af myndighedernes strategi for at udnytte de sparsomme vandressourser i denne del af Australien.

Typiske genanvendelser for decentralt rensset spildevand er:

- Rekreative vandelementer (kunstige søer, bassiner og kanaler)
- Vanding af haver, plæner, parker, sportsanlæg og golfbaner
- Brandslukning
- Toiletskyl
- Vask af f.eks. biler og vinduer

Relevante teknologier i forbindelse med decentral rensning og genanvendelse vil typisk være de samme som nævnt i afsnit 3.3, dvs.:

- ***Mikrosifiltrering***
- ***Biofilterteknologi***
- ***Membran bioreaktor***

Da mange genanvendelsesformål vil bringe vandet tæt på mennesker og dyr, vil der ofte være specielt fokus på vandets hygiejniske kvalitet. Relevante teknologier til fjernelse af mikroorganismer vurderes i denne sammenhæng at være:

UV-desinfektion

Anvendes til inaktivering af mikroorganismer – og i nogen grad til fjernelse af organiske mikroforureninger – ved bestråling med ultraviolet lys. UV-desinfektion kræver forudgående polering for suspenderede forureningskomponenter og vil generelt indgå som sidste trin i et flertrinsrensaneanlæg. Teknologien er relevant i tilfælde, hvor mennesker er i tæt kontakt med vandet (badevand, rekreative søer og kanaler). UV-desinfektion er en velkendt teknologi i anden sammenhæng, men der kendes ingen eksempler fra Danmark på den aktuelle anvendelse. F&U-behov retter sig mod indretning af gennemløbskanaler for opnåelse af jævn bestråling af hele vandtværnsnittet samt udvikling af mere energieffektive lamper med længere levetid.

Kemisk desinfektion

Anvendes til inaktivering af mikroorganismer – og i nogen grad til fjernelse af organiske mikroforureninger – ved tilsætning af stærke oxidationsmidler. Relevant i tilfælde, hvor mennesker er i tæt kontakt med vandet (badevand, rekreative søer og kanaler). Kemisk desinfektion vil generelt indgå som sidste trin i et flertrinsrensaneanlæg. Generelt ringe erfaringer nationalt såvel som internationalt. Der er p.t. ingen installationer i Danmark. Det vurderes, at teknologien kun har begrænset potentiale ved brug af de p.t. kendte kemikalietyper. Kemisk desinfektion er mindre følsom over for SS end UV-desinfektion, og endvidere er teknologien mindre investeringstung. Til gengæld er der risiko for udledning af overskudskemikalie til recipient. F&U-behov går i retning mod opnåelse af praktiske erfaringer med relevante kemikalier samt effekt i recipient ved udledning af overskudskemikalie.

Der findes i Danmark anlæg med opsamling af regnvand/gråt spildevand, med rensning og efterfølgende genanvendelse. Der er almindeligvis tale om ganske simpel rensning og anlæg i helt lokal skala.

Der kendes generelt ingen eksempler fra Danmark på decentral spildevandsrensning og genanvendelse af det rensede vand fra kommunale rensaneanlæg. Som et eksempel fra udlandet kan nævnes et anlæg i Southwell Park, Canberra, opført, ejet og drevet af forsyningsselskabet ActewAGL (ActewAGL, 2007). Anlægget består af en si til fjernelse af større partikler, kalkfældning til fjernelse af mindre partikler, et to-trins biologisk filter til fjernelse af opløst COD og ammonium, samt et membranfiltreringsanlæg (mikrofiltrering) til fjernelse af partikler inklusive mikroorganismer. Som en ekstra barriere mod bakterier tilsættes hypoklorit til afløbsvandet. Anlæggets normale kapacitet er på 300 m³/d. Alt slam produceret under rensprocessen returneres til kloakken. Det rensede vand ledes til en lagertank, hvorfra det bruges til parkvanding. Vandet må i princippet også anvendes til bilvask.

4 Det åbne land

I de senere år er der sket en betydelig stramning af kravene til rensning af spildevand fra enkeltejendomme beliggende i det åbne land. Afhængig af recipientens følsomhed kan der stilles krav om ganske vidtgående biologisk rensning, som kræver etablering af minirensanlæg eller tilslutning til centrale kommunale rensanlæg. For flere detaljer vedrørende de teknologier, der nævnes nedenfor i forbindelse med rensning i det åbne land, henvises til oversigten givet i Bilag C.

4.1 Minirensanlæg

I Danmark såvel som i en række andre vestlige lande er der indført en godkendelsesordning for minirensanlæg. I Danmark er de relativt få anlæg, som i dag er godkendt, alle baseret på konventionel biofilterteknologi. Internationalt, specielt i Tyskland, synes der at ske en udvikling i retning af mere udbredt anvendelse af MBR-baseret teknologi, dvs. små aktiv slam anlæg, hvor klaringsfunktionen er erstattet af et membranfilter. Herved opnås en vidtgående fjernelse af suspenderet stof inklusive bakterier. Potentialet for minirensanlæg er betydeligt, ikke mindst på internationalt niveau, hvor specielt MBR-baserede minirensanlæg synes at vinde frem. Der er behov for afprøvning af MBR-baserede minirensanlæg under danske forhold. I Danmark skal minirensanlæg være omfattet af en serviceordning der som minimum skal omfatte ét servicebesøg pr. år. Overvågning via internettet åbner mulighed for en langt tættere overvågning og mindsker risikoen for udledning af dårligt rensset vand som følge af driftsproblemer. Der er behov for demonstration af en sådan serviceovervågning via internettet.

4.2 Tryksat kloakering

En anden tendens indenfor håndtering af spildevand i det åbne land synes at være etablering af tryksat kloakering også kaldet minipumpeanlæg. Et tryksat kloakeringsanlæg udgøres af præfabrikerede pumpebrønde med skærepumper, der er tilsluttet et ledningsnet af små trykledninger. Ledningsdiameteren kan f.eks. være 50 mm, og ledningerne kan nedlægges i en smal nedgravning, der følger landskabet og/eller som no-dig nedlægning. Tryksat kloakering er ofte billigere at etablere end konventionel kloakering og kan i nogle tilfælde være et økonomisk realistisk alternativ til etablering af separate minirensanlæg. Der findes i Danmark en del installationer med tryksat kloakering af ejendomme i det åbne land og af sommerhusområder, og konceptet anvendes efterhånden også ganske hyppigt i områder med dårlige jordbundsforhold og/eller højt grundvandsspejl. Teknologiens potentiale synes at være betydeligt.

5 Renseanlæg

I det følgende er peget på en række teknologier/områder, hvor der vurderes at være potentiale for besparelser i driften af renseanlæg samt forbedring af driftseffektiviteten knyttet til såvel de traditionelle forureningsparametre som nye forureningsparametre, for hvilke der kan forventes at komme krav til kvaliteten af det rensede spildevand som følge af implementering af Vandrammedirektivet og/eller Badevandsdirektivet, eller som følge af lokale ønsker om genanvendelse af det rensede spildevand eksempelvis til rekreative formål. Der har været gennemført en række udrednings- og forskningsprojekter vedrørende teknologi til renseanlæg i forbindelse med en forventet indførelse af skærpede afløbskrav indenfor EU. Eksempelvis kan nævnes STOWA (2005), DANVA (2006), NEPTUNE (2006) og INNOWATECH (2006). For flere detaljer vedrørende de teknologier, der er nævnt i dette kapitel, henvises til oversigten givet i Bilag D.

5.1 Forrensning

Sandfangsoptimering

Fjernelse af sand fra spildevand sker helt overvejende i beluftede sandfang, hvor sand bundfældes, og hvor det tilstræbes, at det bundfældede sand har et ringe indhold af organisk suspenderet stof. Sandfanget er undertiden suppleret med et sandvaskerarrangement, hvor der foretages en efterfølgende vask af det bundfældede sand for fjernelse af eventuelt organisk slam fra sandet. Manglende effektivitet over for fint sand (eller sand i almindelighed) fører til efterfølgende sedimentation i procestanke og rådnetanke med senere bekostelig fjernelse til følge foruden forøget slitage i slamtransport- og slamafvandingsudstyr. Optimering af eksisterende sandfang i retning af forbedret fjernelse af fint sand – ofte kombineret med energibesparelse til reduceret beluftning – vil således resultere i betydelige besparelser i udgifter til drift og vedligehold. Udviklingsbehov vil inkludere: karakteriseringsmetoder og hydrauliske modeller til evaluering af effektiviteten af sandfang, nye og mere effektive sandvaskere til adskillelse af organisk slam og fint sand samt demonstrationsprojekter til kvantificeret dokumentation af besparelser ved optimering af sandfang.

Mikrosiftrering

Mikrosiftrering, hvor råspildevand filtreres gennem en filterdug inden videre behandling i de biologiske procestanke, er en interessant teknologi som kompakt alternativ eller supplement til primær bundfældning ved kapacitetsudvidelser eller nyanlæg. Renseeffektiviteten over for suspenderet stof ved mikrosiftrering er sammenlignelig med primær bundfældning, og forøget effektivitet over for suspenderet stof og fosfor kan opnås ved tilsætning af kemikalier til fældning og flokkulering, Ljunggren (2006). Der findes en enkelt fuldskala-installation – på et lille kommunalt renseanlæg – til dette formål i Danmark. En lang række anlæg er i drift med forfiltrering af industrielt spildevand. Videnbehov retter sig mod langtidserfaringer med drift til filtrering af råspildevand med fokus på valg af filterdug samt tilstopning/tilvoksning og cost-effektiv renholdelse af filterdugen. Også mulighederne for kombination af teknologien med kemisk behandling har været forsøgt og er et fremtidigt udviklingsområde.

5.2 Biologisk rensning

Online-målere og integreret processtyring

Der eksisterer i dag velfungerende sensorer til online-måling af procesparametre som: ilt, ammonium, nitrat, nitrit, fosfat, organisk stof, suspenderet stof, mv. Løbende kendskab til centrale procesparametre baseret på online-målinger kan i kraft af avancerede automatiske styringsrutiner anvendes til dynamisk optimering af renseanlægs biologiske processer. Herved er der betydeligt potentiale for opnåelse af: forbedret afløbskvalitet, reduceret energiforbrug, reduceret kemikalieforbrug, forøget kapacitet og forbedret dokumentation af driften.

Udbredelsen af online-målere på danske renseanlæg er ganske stor, idet 100-150 danske anlæg er udstyret med ammonium/nitrat/fosfat online-målere, hvoraf 50-100 anlæg udnytter målingerne til mere eller mindre avanceret styring af de biologiske processer. Der er dog stadig et stort potentiale for yderligere anvendelse af online-målere og specielt for udnyttelse af målingerne i mere avancerede og stabile styringsrutiner. På grund af det betydelige økonomiske incitament forventes det, at der vil ske en ganske betydelig udvikling på danske renseanlæg i de kommende år, og samme udvikling kan forudses internationalt. Udviklingsbehov vil bl.a. omfatte: dokumentation og undersøgelse af sensorer på markedet i overensstemmelse med internationale standarder, demonstrationsaktiviteter til dokumentation af behov for løbende kalibrering og verifikation samt driftsøkonomisk vedligeholdelse, demonstrationsaktiviteter til dokumentation af besparelser og forbedringer i drift af renseanlæg, demonstration af automatisering af små renseanlæg med anvendelse af billige sensorer og udvikling af avancerede og stabile styringsrutiner herunder optimering af Bio-P i kombination med simultanfældning.

Energieffektiv beluftning

Beluftning af procestanke er nødvendig for at sikre iltrige forhold til nitrifikation og vidtgående fjernelse af organisk stof. Energiforbruget til beluftning udgør den største enkeltpost på et renseanlægs energiregnskab. Besparelser på denne post vil derfor ofte være markante i det totale regnskab. Energibesparelser kan opnås gennem implementering af strategier og rutiner for mere energieffektiv udnyttelse af eksisterende beluftning – eksempelvis med brug af online-målere – eller gennem anvendelse af ny og mere energieffektiv beluftningsteknologi. Blandt udviklingsbehov kan fremhæves: energieffektive strategier for kontinuerlig regulering og direkte styring af beluftere på basis af kontrolparametre fra online-målere, udstyr og metoder til on-site måling af beluftereffektivitet på eksisterende installationer, demonstrationsprojekter til dokumentation af opnåelige besparelser i drift, beluftningsteknologi og monitoringsteknologi til støtte for energieffektiv beluftning.

Energieffektiv pumpning og omrøring

Energiforbruget til pumpning af spildevand og slam samt til omrøring kan udgøre en ikke ubetydelig post på et renseanlægs energiregnskab. Der kan derfor være god grund til at indføre besparelser på dette område. Energiopptimering af pumpning og omrøring kan ske ved optimering af driften af eksisterende udstyr – eventuelt med støtte fra online-sensorer – eller ved installation af ny og mere energieffektiv teknologi på området. Udviklingsselementer kan være: udvikling af ny pumpe- og omrørerteknologi,

demonstrationsaktiviteter med integrering af energi- og procesaspekter i automatiseret styring af pumper og omrørere.

Hydrolyseprocesser

Når primærslam eller aktivt slam henstår ubeluftet, omsættes de nedbrydningsprodukter, der fremkommer ved hydrolyse af det suspenderede organiske stof, ikke, og det dannede opløste organisk stof, hvoraf en betydelig del er letomsætteligt, kan udnyttes ved biologiske processer. Dette princip anvendes på biologiske renseanlæg til at accelerere og forstærke biologiske processer, der er afhængige af sådant letomsætteligt stof – nemlig biologisk denitrifikation og biologisk fosforfjernelse. Forstærket biologisk fosforfjernelse fører til et reduceret forbrug af fældningskemikalier. Der er et betydeligt potentiale for anvendelse af dette princip til forbedring af afløbskvaliteten fra danske renseanlæg. Udviklingsbehov omfatter bl.a.: mekanismestudier til forbedret forståelse for optimering af design og styringsmuligheder samt optimeret anvendelse af hydrolyseprodukter, udvikling og demonstration af strategi og rutiner for integrering med online-styring.

Membran bioreaktor-teknologi (MBR)

Et MBR-anlæg er et aktivt slam renseanlæg, hvor separationen af det rensede spildevand fra aktivt slam foretages ved membranfiltrering i stedet for ved sedimentation som i et konventionelt aktivt slam anlæg. De biologiske processer i det aktive slam i et MBR anlæg er i princippet de samme som i et konventionelt anlæg. MBR-teknologien vurderes at have et stort potentiale, da MBR-anlæg – ud over at give fuldstændig kontrol med separationsprocessen – også resulterer i en betydelig grad af desinfektion af afløbsvandet, hvilket øger potentialet for genbrug af det rensede vand til en lang række formål. Herudover åbner teknologien mulighed for at øge koncentrationen af slam i processtankene betydeligt i forhold til konventionelle aktivt slam anlæg, hvorved der kan opnås en tilsvarende kapacitetsforøgelse for stoffjernelse. Der arbejdes internationalt massivt med videreudvikling og afprøvning af teknologien (AMEDEUS, 2005; EUROMBRA, 2005; MBR-Network, 2005; MBR-TRAIN, 2006; PURATREAT, 2006). I Danmark er der endnu kun få erfaringer med teknologien, og blot et enkelt fuldskalaanlæg er etableret til rensning af industrielt spildevand. Der er behov for: etablering af danske erfaringer med MBR-teknologien - eksempelvis kombineret med optimeret fjernelse af organiske miljøfremmede stoffer, udvikling inden for de erkendte barrierer for teknologien som fouling, energieffektiv beluftning ved højt slamtørstof, hydraulisk kapacitet under regn, krav til forbehandling osv., test og demonstration af teknologien til rensning af koncentratstrømme som f. eks. rejektivand, demonstration af rensning og genbrug af industrielle procesvandstrømme.

Nye processer

To nye processer til kvælstoffjernelse med betydeligt potentiale for driftsbesparelser kunne komme på tale. Ved Sharonprocessen drives kvælstoffjernelsen med oxidation af ammonium til nitrit og ikke nitrat. Dette giver en betydelig besparelse i iltforbruget til nitrifikation. Ved Anammox-processen udnyttes det princip, at en særlig gruppe af bakterier er i stand til at bruge nitrit som oxidationsmiddel til oxidation af ammonium direkte til frit kvælstof. Der spares således energi til beluftning, idet blot halvdelen af det kvælstof, der skal fjernes, skal oxideres, og dette skal kun oxideres til nitrit. Internationalt set, og specielt i Holland, er der etableret en række kommercielle Sharon anlæg, samt enkelte Anammox-anlæg. Fra Danmark kendes ingen kommercielle installationer, men princippet i Sharonprocessen har dog været almindeligt kendt i mange år og bruges i nogen udstrækning –

typisk periodevist – specielt på industrianlæg. Brug af online-sensorer øger de praktiske muligheder for styring af såvel Sharon- som Anammox-processen betydeligt. Udviklingsaktiviteter kunne inkludere demonstrationsprojekter med eksempelvis Sharon-processen til rejektivandsbehandling eller industrispildevandsbehandling og brug af online-sensorer til styring af processen.

5.3 Efterklaring

Efterklaringsprocessen er ofte en ”flaskehalsproces” på renseanlæg, idet dårlig adskillelse af slam og rensat spildevand giver anledning til en række problemer herunder forringet afløbskvalitet, nedsat hydraulisk kapacitet samt behov for drift ved lav slamkoncentration i procestanke med deraf følgende nedsat kapacitet til stoffjernelse. Der er derfor et stort behov for teknologi, som resulterer i effektiv og sikker adskillelse af aktivt slam og rensat spildevand. I det følgende er beskrevet teknologier til forbedret separation i efterklaringstanke.

Optimering af hydraulik

Udformning af efterklaringstankenes ind- og udløbsarrangementer samt hydraulikken som helhed er af stor vigtighed for klaringsprocessens effektivitet. Kapaciteten og effektiviteten af efterklaringstanke kan øges – ofte betydeligt – gennem optimering af tilløbs- og afløbsarrangement, der sigter mod at styre og forbedre hydraulikken, så hele klaringstankens volumen udnyttes maksimalt. Tilløbsarrangementer, der fremmer flokkulering af slammet ved indløbet til tanken, kan forbedre slammets bundfældningsegenskaber og dermed tankens kapacitet. Blandt udviklingsbehov kan nævnes: modeller som værktøj for optimering af hydraulik, metoder til afdækning af, hvor klaringstanken har sin begrænsende delfunktion, styringsstrategier for optimal styring og drift af slampumpning, udformning og afprøvning af optimerede tilløb og afløb.

Online-styring

Kapaciteten af en klaringstank kan variere på det enkelte anlæg, idet den afhænger af slammets koncentration, slammets egenskaber, hydraulik, osv. Løbende information om slamspejlets position og bevægelse i klaringstanken, koncentrationer af slam i slamtæppet, koncentration af suspenderet stof i den klare fase, mv. vil give viden om, hvor hårdt en klaringstank er belastet i forhold til sin kapacitet. Online-sensorer til dynamisk overvågning af driftstilstanden af efterklaringstanke og tilhørende styringsrutiner vil således give mulighed for at drive tankene mere optimalt og udnytte tankenes kapacitet fuldt ud – ikke mindst i perioder med regn. Online-styring af efterklaringstanke er i nogen grad etableret på enkelte danske renseanlæg og vurderes at have et stort potentiale. Der er specielt behov for udvikling af styringsrutiner, der integrerer driften af efterklaringstanken med den øvrige online-styring af renseanlægget.

Regnstyring

Problemer med tilbageholdelse af slam i efterklaringstanke er størst under regn. Der er derfor udviklet særlige styringsstrategier, som har til formål at mindske slambelastningen af klaringstankene under regn. Princippet i styringsstrategierne er, at det aktive slam så vidt muligt tilbageholdes i procestankene under regn, hvorved den hydrauliske kapacitet øges samtidigt med, at stoffjernelseskapaciteten bevares i kortere eller længere perioder. Forskellige former for regnstyring er etableret på en række danske anlæg, og det vurderes, at der fortsat er et betydeligt potentiale for reduktion af

udledninger via overløb gennem etablering af sådanne styringsteknologier. Forsknings- og udviklingsbehov retter sig mod videreudvikling og anvendelse af online-målere til bestemmelse af slamspejlsposition og styring af returslamspumpe. Der er endvidere behov for demonstrationsprojekter til dokumentation af opnåede reduktioner af forurening via overløb.

5.4 Polering/efterbehandling

Skærpede krav til afløbskvaliteten har medført, at kommunale såvel som industrielle renselanlæg i større omfang end tidligere etablerer forskellige former for efterpoleringstrin. Traditionelt har efterpoleringstrin haft til formål at fjerne suspenderet stof for dermed at opnå en bedre afløbskvalitet – ofte rettet specielt mod fosfor. I de seneste år er der imidlertid i stigende grad kommet fokus på desinfektion og fjernelse af miljøfremmede stoffer som f.eks. tungmetaller, nonylphenol, hormonlignende stoffer, mv. Nedenfor er kort omtalt en række teknologier, der kan være relevante i sammenhæng med fjernelse af én eller flere af disse stofgrupper.

Sandfiltrering

Ved sandfiltrering ledes spildevandet gennem et lag af sand. Ved passage gennem sandlaget opfanges større partikler i hulrummene mellem sandkornene, mens mindre partikler tilbageholdes ved binding. Ved sandfiltrering fjernes primært rester af suspenderet stof, hvorved der opnås en fjernelse af suspenderet COD, fosfor og kvælstof. Andre stoffer som f.eks. bakterier og tungmetaller fjernes også ved sandfiltrering i det omfang, de er bundet til det suspenderede stof. Sandfiltrering kan kombineres med tilsætning af kemikalier, hvilket specielt gøres med henblik på fjernelse af opløst fosfor (tilsætning af metalsalte) og fjernelse af restnitrat (tilsætning af kulstof). Sandfiltrering er en velkendt teknologi med mange anlæg etableret både internationalt og i Danmark. Der er behov for minimering af vandspild og energiforbrug gennem optimering af rutiner for returskyl samt for dokumentation af effekt over for miljøfremmede stoffer.

Mikrosifiltrering

Ved mikrosifiltrering ledes spildevandet gennem en filterdug, hvorved suspenderet stof tilbageholdes på dugen og kan fjernes ved skylning af dugen. Dugens porestørrelse ligger typisk i området 10-20 µm. Ved mikrosifiltrering fjernes primært rester af suspenderet stof, hvorved der opnås en fjernelse af suspenderet COD, fosfor og kvælstof. Andre stoffer som f.eks. bakterier og tungmetaller fjernes også i det omfang, de er bundet til det suspenderede stof. Ved anvendelse af meget tætte filterdug kan der opnås en bedre afløbskvalitet end ved sandfiltrering, men til gengæld skal der typisk bruges flere ressourcer på at undgå tilstopning af dugen.

På internationalt niveau er der mange anlæg i drift, mens der i Danmark kun er etableret enkelte anlæg. På forsknings- og udviklingssiden kan der peges på behov for indhentning af langtidserfaringer med tilstopning/tilvoksning og cost-effektiv renholdelse af filterdug. Endvidere er der behov for udvikling af forbedret effektivitet af mikrosifiltrering ved kombination med kemisk koagulering/flokkulering, samt dokumentation af effekt over for miljøfremmede stoffer.

Aktiv kulfiltrering

En række organiske mikroforureninger, der ikke kan nedbrydes biologisk i traditionelle anlæg, vil kunne fjernes i et aktivt kul poleringsfilter, hvor der vil ske en adsorption af en del af de mikroforureninger, som passerer det

biologiske rensetrin. Internationalt set har teknologien fundet vid udbredelse til polering af biologisk rensede spildevand, mens der i Danmark kun findes få aktive kulfiltre med denne anvendelse. Det er vanskeligt at vurdere potentialet på kommunale renseanlæg i Danmark, men internationalt kan det være betydeligt, hvor det udledte spildevand umiddelbart kan påvirke kvaliteten af overfladevand, som anvendes til fremstilling af drikkevand. Der mangler viden om effektivitet og investeringsomkostninger samt driftsøkonomi for aktive kulfiltre sammenlignet med andre teknologier til polering af biologisk rensede spildevand. Endvidere er der behov for dokumentation af effektiviteten over for miljøfremmede stoffer.

Tertiære biologiske filtre

En række organiske miljøfremmede stoffer fjernes i utilstrækkelig grad i biologiske renseanlæg, fordi de specifikke mikroorganismer, der kan nedbryde de miljøfremmede stoffer, ikke har tilstrækkeligt gunstige vækstvilkår i det aktive slam. Det er muligt, at en efterfølgende biologisk rensning i biologiske filtre – baseret på fastsiddende kulturer – vil kunne sikre tilstrækkelig gunstige vækstvilkår til, at sådanne mikroorganismer vil kunne trives og sikre en forbedret afløbskvalitet i kraft af en vidtgående fjernelse af sådanne organiske mikroforureninger. Et Biostyringsanlæg etableret på Farum Renseanlæg er det eneste kendte eksempel på fuldskala anvendelse i Danmark af tertiære biologiske filtre. Det er vanskeligt at vurdere potentialet for teknologien, da der mangler erfaringer vedrørende procesmæssige muligheder og effektiviteter – hvilke komponenter fjernes og hvor effektivt? Endvidere mangler der information om teknologiens cost-effektivitet. Der er behov for undersøgelser i teknisk skala til belysning af disse forhold.

Forceret sedimentation

Ved forceret sedimentation kan det rensede spildevand poleres gennem en binding af suspenderet stof og eventuelt fosfor til mikrosand gennem tilsætning af fældningskemikalier til spildevandet. Processen kan således anvendes til forbedring af afløbskvaliteten for suspenderet stof og fosfor, hvor dette er ønskeligt af recipientens syn eller i forbindelse med genanvendelse af vandet f.eks. til rekreative formål. Teknologien er veletableret i udlandet i mange sammenhænge. I Danmark findes et enkelt fuldskala anlæg til polering af biologisk rensede spildevand. Teknologiens potentiale afhænger af cost-effektiviteten ved den aktuelle anvendelse sammenlignet med andre poleringsteknologier. Der er behov for demonstrationsaktiviteter til opnåelse af langtidserfaringer med praktisk drift med fokus på driftsresultater og driftsøkonomi, herunder især energi- og kemikalieforbrug samt behov for pasning/overvågning. Der er endvidere behov for dokumentation af effektiviteten over for miljøfremmede stoffer.

UV-desinfektion

I Danmark har der ikke været tradition for at desinficere hverken afløbsvand fra renseanlæg eller vandværksvand. For vandværksvand er der dog enkelte eksempler på desinfektion af overfladevand ved kloring. Ønsket om at opnå badevandskvalitet i recipienten tæt på udledningen af rensede spildevand har imidlertid ført til stigende interesse for efterpolering med desinfektion for øje. Hvis formålet udelukkende er desinfektion, er UV-behandling og kemisk desinfektion oplagte teknologier. Spildevandet desinficeres ved bestråling med ultraviolet lys via UV-lamper neddykket i et gennemløbskammer. UV-desinfektion kræver forudgående polering for suspenderede forureningskomponenter. Der er tale om en velkendt og robust teknologi, der er vidt udbredt i udlandet. I Danmark findes der p.t. kun enkelte fuldskala anlæg til den aktuelle anvendelse. Det vurderes, at teknologien har et

betydeligt potentiale i forbindelse med opnåelse af badevandskvalitet for recipienten og genanvendelse af rensed spildevand til rekreative formål. Der er behov for demonstrationsaktiviteter, som opsamler erfaringer vedrørende indretning/design af gennemløbskamre i relation til driftsparametre som energieffektivitet, stoffjernelseeffektivitet, lampelevetid og renholdelse.

Kemisk desinfektion

Det klassiske kemikalie ved kemisk desinfektion af afløbsvand og drikkevand er internationalt set klor. Ved tilsætning af klor er der imidlertid en risiko for dannelse af klorerede organiske forbindelser, som har uheldige miljømæssige og sundhedsmæssige egenskaber. Klor er derfor ikke relevant som desinfektionsmiddel på danske renseanlæg. Af andre oxidationsmidler, der umiddelbart kunne komme på tale, kan nævnes: ozon, pereddikesyre, hydrogenperoxid og permyresyre. For alle disse gælder det, at der er behov for at opbygge erfaringer med anvendelse af sådanne desinfektanter under danske forhold – herunder krav til forbehandling, dosis/respons, reaktionstid, fjernelse af overskudskemikalie inden udløb til recipient, økonomi, osv. Potentialet synes betydeligt i kraft af fokus på badevandskvalitet, specielt hvis nye og mere effektive kemikalier kommer på markedet.

Kemisk oxidation

Stærkt oxiderende kemikalie – eksempelvis ozon – tilsættes det rensede spildevand, hvorefter der i en reaktionstank sker en hel eller delvis nedbrydning af opløst organisk stof. Nogle kemiske oxidationsmidler er selektive på den måde, at de fortrinsvis angriber bestemte kemiske bindinger. Den delvise nedbrydning medfører, at der kan blive behov for efterfølgende biologisk polering for organisk stof og kvælstof. Dette er dog næppe relevant ved fjernelse af organiske mikroforureninger. Internationalt er der en række eksempler på anvendelse af kemisk oxidation til f.eks. fjernelse af specifikke miljøfremmede stoffer, generel fjernelse af opløst organisk stof og farvefjernelse. Det eneste eksempel fra Danmark, hvor kemisk oxidation anvendes til polering af biologisk rensed spildevand, er et kommunalt renseanlæg, hvor der tilsættes ozon for at nedbryde opløst organisk stof tilledt med industrispildevand. Der er behov for demonstrationsaktiviteter under danske forhold til optimering af design og undersøgelse af effektivitet over for specifikke mikroorganiske forureninger og samtidig effektivitet over for mikroorganismer.

Avanceret oxidationsteknologi (AOT)

Der eksisterer et antal avancerede oxidationsprocesser til behandling af spildevand. Fællestrækket er, at der gennem processen genereres hydroxylradikaler, som er ekstremt stærkt oxiderende. Herved sker der en delvis eller fuldstændig kemisk oxidation af organisk stof – herunder mikroorganismer. Ved oxidationen frigives eksempelvis kvælstof, der har været bundet i det organiske stof. Ofte er nedbrydningen af organisk stof delvis, og der kan dannes biologisk nedbrydelige mellemprodukter. Der opstår således ofte behov for efterfølgende biologisk rensning for organisk stof og kvælstof. Anvendelse af UV-baseret AOT, der vurderes at være processerne med størst potentiale til den aktuelle anvendelse, stiller krav til forudgående polering for suspenderet stof af hensyn til processens effektivitet. Eksempler på UV-baserede AOT er: UV-H₂O₂, UV-ozon og UV-TiO₂. Såvel internationalt som i Danmark er erfaringer med fuldskala installationer beskedne. Der er etableret et enkelt anlæg i Danmark (APOP, 2004) og yderligere ét anlæg er under etablering på Kalundborg Centralrenseanlæg. En række igangværende EU projekter omfatter bl.a. undersøgelse af AOT-teknologi (POSEIDON, 2001; NEPTUNE, 2006; INNOWATECH, 2006).

Forsknings- og udviklingsbehov er rettet mod sammenlignende studier i storskala af kemisk oxidation – med f.eks. ozon – med de mindre specifikke AOT-teknologier. Endvidere er der forsknings- og udviklingsbehov for fastlæggelse af cost-effektivt design og anvendelse samt inddragelse af desinfektionsaspektet.

Membranfiltrering

Ved membranfiltrering af det rensede spildevand er det muligt at gennemføre en polering af vandet til genanvendelse til en lang række formål. Som et eksempel kan fremhæves den dobbelte membranfiltrering i form af ultrafiltrering efterfulgt af omvendt osmose og UV-behandling, der er implementeret i storskala som demonstrationsprojekt i Singapore, hvor vandet i princippet kan bruges til drikkevand. Konceptet – NEWater – planlægges at blive en del af Singapores fremtidige vandkredsløb, hvor vandet dog recirkuleres via reservoir med tilførsel af friske ressourcer (NEWater Singapore, 2007). Produktion af teknisk vand til forbedring af regionale vandbalancer gennem vandbesparelser i storbyområder ved hjælp af passende membranfiltrering af rensat spildevand eller industrielt procesvand til forskellige genanvendelsesformål er således et område, hvor potentialet vurderes at være betydeligt. I mange tilfælde vil konceptet ved nyanlæg blive en kombination af MBR-teknologi med ultrafiltreringen integreret i det biologiske anlæg efterfulgt af polering af afløbet ved omvendt osmose. Der er ikke implementeret fuldskala anlæg med membranfiltrering af biologisk rensat spildevand i Danmark. Også internationalt er erfaringerne beskedne, bortset fra ovennævnte eksempel fra Singapore. Der er behov for gennemførelse af demonstrationsaktiviteter til belysning af optimalt design af løsninger for energieffektiv membranfiltrering af rensat spildevand med henblik på genanvendelse. Endvidere er der behov for at udvikle teknologi/driftskoncept til minimering af fouling (tilstopning) samt teknologi til løbende overvågning og renholdelse af membraner. For membranfiltrering, som for efterpoleringsteknologier generelt, er det endvidere vigtigt at undersøge processens robusthed og driftssikkerhed specielt, hvor der er tale om mere eller mindre direkte genanvendelsesformål.

6 Slam

Slutdisponering af spildevandsslam udgør i dag en meget betydelig driftsudgift på kommunale såvel som på industrielle renseanlæg. Udgifterne kan opdeles i omkostninger til håndtering af slam samt omkostninger til betaling af afgifter. I begge tilfælde er der et stærkt incitament til at reducere mængden af slam til slutdisponering så meget som muligt. Reduktion af den slammængde, der skal slutdisponeres, er derfor et primært fokusområde, når det gælder teknologier til slambehandling. Reduktion af slammængden har to aspekter – reduktion af slammets tørstofindhold og forbedring af afvandingsegenskaberne.

Et andet fokusområde er at udnytte slammets energiindhold optimalt. En forbedret energiudnyttelse vil i øvrigt typisk som en sidegevinst føre til en reduktion af den slammængde, der skal slutdisponeres. Tidligere udrådnede man på danske renseanlæg stort set kun primær slam, men tendensen er nu, at det biologiske slam i så stor udstrækning som muligt også behandles på rådnetank for derved at reducere slammængden til slutdisponering så meget som muligt, og endvidere for at udnytte slammets gaspotentiale bedre.

Herudover er der også fokus på genanvendelse af slammet, ikke blot til traditionelle jordbrugsformål men også til fremstilling af forskellige nyttige produkter.

Endelig er der en interesse i at optimere håndterbarheden af slammet, hvorved skal forstås, at slammet skal have en passende konsistens i forbindelse med f.eks. opbevaring og transport, og at der ikke må være uacceptable lugt- og eller hygiejniske gener forbundet med slutdisponeringen.

For flere detaljer vedrørende teknologier til slambehandling nævnt i dette kapitel, henvises til oversigten givet i Bilag E.

6.1 Fysisk/kemisk forbehandling

Der er udviklet en række metoder til fysisk/kemisk forbehandling af biologisk slam, hvor det primære formål er minimering af slamtørstof og optimering af energiudbyttet ved en efterfølgende udrådningsproces. Fælles for processerne er, at de i en vis udstrækning nedbryder slammets struktur, hvorved tilgængeligheden af det organiske materiale for videre anaerob nedbrydning forøges. Fra leverandør-/udvikler-side angives typisk forøgelser i gasudbytte på 20-50% sammenlignet med en situation uden forbehandling. Tilsvarende angives typiske reduktioner i TS-indhold på 10-40% i forhold til ingen behandling. Generelt må det siges, at effekten af behandlingerne er stærkt afhængig af den anlægsspecifikke udgangssituation, og at dokumentationen af effekten i praksis ofte har vist sig mangelfuld.

I den aktuelle sammenhæng synes følgende processer at være relevante:

Termisk behandling i kombination med tryksætning

Anvendes til forbehandling af biologisk overskudsslam inden udrådning. Slammet opvarmes under tryk, hvorved der sker en disintegration af

slampartiklerne, som gør det organiske materiale lettere tilgængelig for anaerob nedbrydning. Behandlingen resulterer endvidere i en hygiejnisering af slammet. Der er tale om en relativ ny teknologi, men der findes solide driftserfaringer fra 10-15 anlæg på verdensplan heraf to i Danmark. Der er behov for dokumentation af teknologiens cost-effektivitet sammenlignet med alternative forbehandlingsmetoder.

Kemisk behandling i kombination med tryksætning

Anvendes til forbehandling af biologisk overskudsslam inden udrådning. Slammet tilsættes lud og pumpes under højt tryk til et særligt ventilsystem, hvor trykket falder på meget kort tid. Det pludselige trykfald i kombination med effekten af kemikalietilsætningen resulterer i en mekanisk disintegration af det suspenderede stof i slammet. Herved øges nedbrydeligheden af det organiske materiale i den efterfølgende udrådningsproces. Der er behov for demonstrationsaktiviteter til dokumentation af processens effektivitet ved pilotskala/fuldskala drift.

Ultralyd

Anvendes til forbehandling af biologisk overskudsslam inden udrådning. Slammet passerer en ultralydsgiver, hvorved der sker en mekanisk disintegration af det suspenderede stof i slammet. Herved øges nedbrydeligheden af det organiske materiale i den efterfølgende udrådningsproces. Der er tale om en relativ ny teknologi, men der findes allerede i dag et halvt hundrede fuldskala installationer, heraf én i Danmark. Det vurderes, at teknologien har et stort potentiale i kraft af, at der er tale om en meget kompakt teknologi, som nemt kan integreres i eksisterende slambehandlingsfaciliteter. Der pågår fortsat en udvikling af teknologien mod forbedring af energieffektivitet ved ultralydsdoseringen. Der synes at være behov for udvikling af en mere detaljeret forståelsesmodel for mekanismen bag forøgelsen af gasudbyttet.

Mekanisk disintegration

Anvendes til forbehandling af biologisk overskudsslam inden udrådning. Slammet pumpes under højt tryk gennem en dyse, hvor trykket momentant sænkes til atmosfæretryk. Herved opstår der hydrodynamisk kavitation, når de lokalt dannede bobler af vanddamp imploderer. Det resulterer i mekanisk disintegration af det suspenderede stof. Når slammet sønderdeles, bliver der foruden organisk stof også frigivet enzymer fra bakteriecellerne. Den forøgede omsætning i rådnetanken opnås på baggrund af en bedre tilgængelighed af organisk stof og en forøget enzymaktivitet. Der findes driftserfaringer fra 15-20 anlæg i Europa, heraf ét i Danmark.

Tilsætning af enzymer

Anvendes til forbehandling af biologisk overskudsslam (eller blanding af primærslam og overskudsslam). Ved behandlingen opvarmes slammet typisk til 45°C, og enzymer tilsættes i en reaktor, der drives med nogle få timers opholdstid. Herefter ledes det behandlede slam til rådnetank. Enzymerne kan også tilsættes direkte til rådnetanken – eventuelt i varmevekslerkredsen. Enzymbehandling er på forsøgsstadiet i fuldskala. Potentialet forekommer stort i kraft af en simpel teknologi, hvis enzymernes oplukningseffekt kan gøres tilstrækkelig cost-effektiv. Forsknings- og udviklingsbehovet går i retning af afprøvning af nye enzymtyper med henblik på at finde frem til typer med større effekt. Endvidere går forsknings- og udviklingsbehovet i retning af at gennemføre demonstrationsaktiviteter for at dokumentere effekten af enzymatisk behandling i fuldskala.

Forbehandlingsprocesserne kan i forskellig grad påvirke slammets afvandingsegenskaber efter udrådning. Opvarmning samt enzymatisk behandling synes således at forbedre afvandingsegenskaberne markant, mens ultralydsbehandling kun i mindre grad synes at føre til en forbedring af afvandingsegenskaberne – i nogle tilfælde er der endda rapporteret om forringede afvandingsegenskaber. For en mere uddybende gennemgang af status vedrørende metoder til fysisk/kemisk slambehandling henvises til Svenskt Vatten (2007).

6.2 Slamstabilisering og hygiejnisering

Ubehandlet biologisk slam og specielt ubehandlet primær slam har høje indhold af relativt letnedbrydeligt organisk materiale, hvilket betyder, at der ved henstand vil være høj biologisk aktivitet, som hurtigt vil resultere i kraftige lugtgener og generelt uæstetiske forhold. Primærslam viderebehandles altid i en eller anden form for stabiliseringsproces, og dette er i stigende grad også tilfældet for sekundær slam. Ved stabiliseringen reduceres de ovennævnte gener, og endvidere opnås en reduktion af slammets TS-indhold samt en vis hygiejniseringseffekt. Afhængig af typen af slamstabiliseringsproces kan der endvidere være en eller flere sidegevinster herunder udnyttelse af slammets energiindhold og opkoncentrering af slammets TS-indhold. Nedenfor er angivet udviklingstendenser indenfor de traditionelle stabiliseringsteknologier:

Termofil udrådning

Stabilisering under iltfrie forhold (udrådning) med produktion af biogas til følge. Samtidig reduceres slammets tørstofindhold, og der opnås en vis hygiejniseringseffekt. Tidligere anvendtes udelukkende mesofile rådnetanke, hvor rådneprocessen forløb ved 30-35°C. I de senere år har der været en tendens til at etablere **termofile udrådningsprocesser**, dvs. processer hvor udrådningen foregår ved 50-55°C. Fordelen ved termofil udrådning sammenlignet med mesofil udrådning er, at processen forløber betydeligt hurtigt (10-15 dage sammenlignet med 25-30 dage), hvorfor omlægning til termofil udrådning alt andet lige giver en meget betydelig forøgelse af tankens kapacitet, typisk af størrelsen 40-50%. Termofil udrådning er en velkendt teknologi med mange anlæg på verdensplan herunder en hel del i Danmark. Potentialet synes betydeligt ikke mindst ved ombygning af eksisterende mesofile rådnetanke til termofil drift, hvorved der åbnes mulighed for også at udrådne biologisk overskudsslam. Hittidige erfaringer indikerer, at termofil drift kan være mindre robust end mesofil, bl.a. kan der være forøget risiko for hævning ved højt N-indhold, skumproblemer og struvitudfældninger. Der er behov for en systematisk opsamling af driftserfaringer fra de eksisterende danske anlæg, herunder behovet for procesovervågning samt data for forbedring af kapacitet og forøgelse af gasudbytte.

Ønsket om generelt at udnytte energiindholdet i organisk affald har medført interesse for også at udrådne andet organisk affald end slam, herunder den organiske fraktion af husholdningsaffald, hvilket har resulteret i, at der i enkelte tilfælde er blevet etableret anlæg til **samudrådning af slam og andet organisk affald**. Samudrådning giver stordriftsfordele sammenlignet med separatudrådning, men byder også på udfordringer, hvoraf tilstrækkelig god kildesortering af husholdningsaffald er et væsentligt problem.

Slamkompostering

Slamkompostering er en aerob stabiliseringsproces, ved hvilken der opnås en reduktion af slammets TS-indhold samt en vis hygiejniseringseffekt. Der opnås ingen ekstern udnyttelse af slammets energiindhold. Motivationen for

etablering af slamkompostering er typisk et ønske om at fremstille et materiale med gode egenskaber i forbindelse med jordbrugsanvendelser. Der sker en løbende udvikling inden for komposteringsteknik. For tiden synes særligt milekompostering og reaktorkompostering at have betydelige potentialer. Ved ***milekompostering*** oplægges slutaftvandet slam og strukturmateriale i aflange miler på åbne komposteringspladser. Beluftningen er typisk "naturlig", dvs. luften diffunderer ind gennem milens sider, forårsaget af en opadgående luftstrøm inde i milen, der er et resultat af de biologiske processer i kompostmassen. Beluftningen kan dog også ske "passivt" via luftkanaler i det underlag, hvorpå milen oplægges, eller "aktivt", hvor der suges luft gennem milen. Ved kompostering i åbne miler kan der forekomme lugtgener for anlæggets naboer. Lugtbekæmpelse er derfor ofte i fokus på komposteringsanlæg, og en række teknologier til lugtbekæmpelse er under udvikling. Ved ***reaktorkompostering*** holdes kompostmassen i reaktorer, som er udstyret med automatiske kompostmikser, og typisk også med aktiv beluftning. Ved reaktorkompostering forløber processen betydeligt hurtigere, sikrere og mere ensartet end for åbne systemer. I de lukkede systemer er mulighederne for effektiv lugtbekæmpelse langt bedre end i de åbne systemer. Det skal dog nævnes at der er eksempler på etablering af milekompostering i lukkede haller, hvorved lugtgener kan begrænses kraftigt. Både milekompostering og reaktorkompostering er internationalt set veletablerede teknologier. I Danmark findes for tiden en håndfuld slamkomposteringsanlæg, alle baseret på mileprincippet. Der er behov for en opsamling af driftserfaringer fra eksisterende danske slamkomposteringsanlæg samt for udvikling og afprøvning af metoder til lugtbekæmpelse.

Slammineralisering

Slammineralisering er en aerob proces, der på mange måder minder om slamkompostering. Ved slammineralisering ledes slammet til et bassin, der er tilplantet med tagrør eller pil. Ved mineralisering i bassiner med ***tagrør*** tilledes slammet enten direkte fra luftningstanken eller fra bunden af klaringstanken. Bunden af bassinet er forsynet med et drænsystem, der leder drænvandet tilbage til rensesanlæggets tilløb. Beplantningens funktion er at skabe struktur i slammet, lede luft ned i slammassen og øge fordampningen af slamvand. En meget væsentlig fordel ved slammineralisering baseret på tagrør er, at etablering af mekanisk afvanding helt undgås. Ved anlæg baseret på pileskov afvandes slammet mekanisk til 20-25% TS og nedfældes derefter i jorden mellem rækker af pilebede. Piletræs-bassiner har intet drænsystem men baserer sig på fordampning af såvel slamvand som regnvand. Piletræerne har endvidere en evne til at optage tungmetaller, hvorved koncentrationen af tungmetaller i slammet alt andet lige reduceres sammenlignet med tagrørsanlæg. Der findes i Danmark omkring 100 slammineraliseringsanlæg, stort set alle baseret på tagrør. Der er behov for opsamling af driftserfaringer og fastlæggelse af retningslinier for optimal drift herunder specifik belastning, effekt af slamtype, celleantal og hviletider.

Hygiejnisering

Alle de nævnte metoder til slamstabilisering indeholder et element af hygiejnisering. I forbindelse med genanvendelse af slam via udbringning på landbrugsjord kan varmebehandling i separat hygiejniseringsstank, enten alene eller i kombination med en udrådningsproces, være en cost-effektiv metode til opnåelse af en slamkvalitet, som betyder, at slammet kan udbringes uden hygiejnisk begrundede restriktioner. Der er behov for driftserfaringer i forhold til varmeveksling og dokumentation af energieffektivitet.

6.3 Slutafvanding

På grund af de høje omkostninger til slutdisponering af slam, og da disse omkostninger er relateret til vægt, er der et stort fokus på at afvande slammet til så højt tørstofindhold som muligt. Udviklingen sker her på to fronter; dels udvikles der mere effektive maskiner til mekanisk afvanding, og dels udvikles der metoder til forbehandling (konditionering) af slammet, der har til formål at forbedre afvandingsegenskaberne under den efterfølgende mekaniske afvanding.

Mekanisk afvanding

Her er der specielt sket en udvikling inden for centrifugeteknologien, idet der er udviklet såkaldte højtrykscentrifuger, hvor man – sammenlignet med den tidligere generation af centrifuger – kan øge tørstofindholdet i det afvandede slam betydeligt. Fra leverandørside foregår der en løbende udvikling af centrifugeteknologi.

Konditionering

Inden for de sidste 2-3 år er der markedsført en ny konditioneringsproces, den såkaldte Kemicond-proces. Ved Kemicond-processen ledes opkoncentreret slam (5-10% TS) først til en tank, hvor der tilsættes syre, og dernæst til en anden tank, hvor der tilsættes brintperoxid. Ved den efterfølgende slutafvanding har der været rapporteret om meget betydelige forbedringer i slammets afvandingsegenskaber, hvor der i nogle tilfælde er opnået et tørstofindhold i det afvandede slam på helt op til 40%. Der er behov for demonstrationsaktiviteter i pilot/fuldskala til belysning af effekten på afvandingsegenskaber som funktion af driftsparametre som kemikaliedosering, typen af afvandingsudstyr og slamtype.

6.4 Tørring, forbrænding, vådoxidation og termisk forgasning

Tørring

Slamtørring er processer, hvor afvandet slam med et tørstofindhold på 20-30% tørres til et tørstofindhold på op til 90%. Slamtørring anvendes enten som en forberedelse af slammet til forbrænding eller som slutbehandling, hvor det tørrede slam slutdisponeres til jordbrugsformål. I det sidste tilfælde omfatter tørreprocessen typisk en pelleteringsproces, der gør håndteringen af det tørrede slam meget bekvem, ikke mindst i forhold til doseringen af slam til jordarealer. Energiforbruget ved denne anvendelse er imidlertid stort, og teknologien vurderes derfor først og fremmest at have et potentiale som forbehandling til forbrænding. Det skal dog nævnes at der løbende foregår en udvikling hen i mod forbedring af energiudnyttelsen under tørreprocessen, f.eks. ved udnyttelse af kondensationsenergien fra den vanddamp der genereres ved tørring af slammet, til opvarmning af rådnetank, bygninger, brugsvand mv.

Forbrænding

I takt med, at restriktionerne i forbindelse med anvendelse af slam til jordbrugsformål er strammet, er det blevet mere attraktivt at slutdisponere slammet ved forbrænding med efterfølgende deponering af asken. Der er i de senere år etableret en hel del dedikerede slamforbrændingsanlæg på større renseanlæg såvel internationalt som i Danmark. Der har også været betydelig interesse for forbrænding af slam på affaldsforbrændingsanlæg sammen med øvrigt affald. Potentialet for slamforbrænding er stort i kraft af høj forsyningsikkerhed. I Danmark er etableringen af nye anlæg i høj grad styret af afgiftspolitik.

Vådoxidation

Vådoxidation er et alternativ til konventionel forbrænding. Processen, som er beregnet til behandling af koncentreret slam, foregår ved en kontinuert proces i en reaktor ved en temperatur på ca. 230°C og et tryk på 40-50 bar. Som iltningmiddel bruges ren ilt. Herved sker en oxidation/omsætning af det organiske materiale. Restproduktet (det afvandede tørstof) indeholder normalt < 10% organisk materiale og er helt inert. Processen adskiller sig fra den tidligere brugte Zimpro proces ved at foregå ved lavere temperatur og tryk, hvilket stiller mindre krav til materialevalg og giver et bedre behandleligt rejekt. Der er stadig behov for driftserfaringer under alle forhold.

Termisk forgasning

Termisk forgasning er en metode til slutbehandling af tørret slam. Efter tørringen opvarmes slammet yderligere, hvorved der sker en pyrolyse, hvor biomassen nedbrydes til koks, som hovedsagelig består af grundstoffet C og asken, samt en gas bestående af forskellige større og mindre molekyler indeholdende C, H og O. Pyrolysen kan ske ved ekstern opvarmning eller ved tilførsel af en lille mængde luft. Denne proces forløber ved temperaturer fra 100°C og op til 700°C.

Ved yderligere opvarmning forgasses slammet, hvorved der sker en konvertering af koksen til en syntesegas bestående af bl.a. CO og H₂. Derved opnås, at alt kulstofholdigt materiale kommer på gasform. Denne konvertering opnås ved tilsætning af en mindre mængde luft og vanddamp ved temperaturer over 700°C. Gassen kan bruges til varmeproduktion og el-produktion, eller syntesegassen kan videreforarbejdes til bilbrændstof. Der er udviklet en række forskellige processer, som involverer forskellige opvarmningstrin og forskellig udnyttelsesgrad af slammets kulstof. Fælles for alle processerne er, at de endnu er på forsøgsstadiet, og der er ikke rapporteret mange data fra fuldskala anlæg til forgasning af spildevandsslam. Potentialet for teknologien forekommer stort, hvis de tekniske udfordringer omkring processen kan overkommes. Der er behov for videreudvikling af teknologien og for indhentning af driftserfaringer fra demonstrationsanlæg i pilot/fuldskala.

6.5 Slutdisponering

Slutdisponering af spildevandsslam kan opdeles i fire grupper:

1. Jordbrugsanvendelse
2. Deponering af aske efter forbrænding
3. Direkte deponering på losseplads
4. Genanvendelse i nyttige produkter

Anvendelse til jordbrugsformål har traditionelt været meget udbredt både i Danmark og internationalt. Den øgede opmærksomhed gennem de seneste 10-15 år på risikoen for negative effekter ved tilførsel af miljøfremmede stoffer i slam til markarealer har imidlertid sat denne praksis under pres. Da deponering på losseplads så vidt muligt søges undgået, har forbrænding med efterfølgende deponering af asken vundet stor udbredelse.

De positive effekter ved anvendelse af slam til jordbrugsformål, nemlig recirkulering af næringsalte, forbedring af jordstruktur og formindsket behov for deponier er imidlertid så betydelige, at tiltag/teknologier, der kan reducere slammets indhold af miljøfremmede stoffer og dermed muliggøre fortsat anvendelse til jordbrugsformål, er interessante. Sådanne tiltag bør starte allerede ved generering af spildevandet, dvs. der skal gøres en indsats for at

undgå eller reducere brugen af kritiske stoffer ved kilden, eller der skal iværksættes rens tiltag ved kilden. Aerobe stabiliseringsmetoder som efterbeluftning, kompostering og mineralisering kan i mange tilfælde fjerne indholdet af mikroorganiske forureninger til acceptable niveauer i forhold til myndighedernes reguleringer.

I de senere år har specielt genanvendelse af fosfor været i fokus, idet fosfor globalt set er en knap ressource. I relation til slutdisponering, hvor fosfor ikke genanvendes via anvendelse til jordbrugsformål, kan metoder til udvinding af fosfor fra slam derfor være interessante. Udvidingen kan ske fra afvandet slam eller fra slammaske efter forbrænding. Det grundlæggende princip er i begge tilfælde, at fosfor bringes på opløst form ved tilsætning af syre, og at fosforen efterfølgende udfældes under kontrollerede omstændigheder. For **udvinding og genanvendelse af fosfor fra slammaske** kan processen typisk bestå i opslæmning af asken ved pH 1,5-2, efterfølgende separering af ikke opløst stof ved centrifugering, samt udfældning af fosfor ved forøgelse af pH til 3-4. Et kritisk forhold ved processen er, at også tungmetaller opløses i første trin, hvorfor det er afgørende, at udfældningsprocessen optimeres med henblik på at medtage så lidt tungmetal som muligt.

Der har gennem tiderne været udvist stor opfindsomhed angående anvendelse af spildevandsslam til fremstilling af nyttige produkter. Blandt disse synes anvendelse af slam i cementproduktion at være en af de mest lovende p.t. Endvidere kan peges på anvendelse af slam til fremstilling af sandblæsningsmiddel, såkaldt Carbogrit. I Danmark er etableret et fuldskala anlæg, der dog p.t. ikke er i drift – til dette formål.

7 Øvrige anvendelser af renseteknologi

Blandt de renseteknologier, der er nævnt i kapitel 2-6 i forbindelse med spildevandssektoren, vil en række teknologier også være relevante i forbindelse med behandling af drikkevand, forurenede grundvand og industrielt procesvand. Nedenfor er givet en kort oversigt over sådanne renseteknologier, grupperet efter vandtype.

7.1 Drikkevand

Ved rensning af drikkevand vil der fortrinsvist være behov for fjernelse af mikroorganiske forureninger, humusstoffer og mikroorganismer.

Hvad angår de to førstnævnte grupper af forureningskomponenter vil Avanceret Oxidationsteknologi (AOT), membranfiltrering og aktiv kulfiltrering være relevante. Ved rensning af drikkevand med aktivt kul er der en øget risiko for mikrobiologisk forurening af drikkevandet via mikrobiologisk vækst i filteret. Afløbsvandet fra filteret skal derfor desinficeres, hvilket typisk vil ske med UV-bestråling.

Internationalt set er alle de nævnte teknologier velkendte i forbindelse med rensning af drikkevand. I Danmark er der enkelte eksempler på rensning af drikkevand i fuldskala – specielt filtrering med aktivt kul efterfulgt af UV-bestråling.

7.2 Forurenede grundvand

Ved rensning af forurenede grundvand forstås i denne sammenhæng rensning af grundvand, der oppumpes i forbindelse med afværgeforanstaltninger. De forureningskomponenter, der skal fjernes, vil typisk være organiske mikroforureninger som f.eks. pesticider.

Relevante teknologier er her aktivt kul, kemisk oxidation og Avanceret Oxidationsteknologi (AOT). Membranfiltrering kan eventuelt tænkes anvendt til opkoncentrering af de givne forureningskomponenter, hvorefter koncentrationen viderebehandles med ovennævnte metoder.

I Danmark har aktiv kulfiltrering været anvendt i ganske mange tilfælde til rensning af oppumpet grundvand i forbindelse med afværgeprojekter. Reinjicering af det rensede vand i grundvandsmagasinet har stigende udbredelse med henblik på at undgå store omkostninger til udledning.

7.3 Industrielt procesvand

I forbindelse med forøget fokus på reduktion af vandforbruget i industrien vil der være et stigende incitament til at etablere renseteknologi i forbindelse med opgradering af procesvand, således at det rensede vand kan genanvendes til samme eller andre formål.

Da der her er tale om en meget bred vifte af potentielle forureningskomponenter, der skal fjernes, og da der kan være vidt forskellige krav til kvaliteten af det rensede vand, kan der tilsvarende tænkes anvendt en meget bred vifte af renseteknologier.

Med udgangspunkt i de teknologier, der er nævnt i denne rapport i forbindelse med rensning af spildevand, vil det i sammenhæng med industrielt procesvand være relevant at nævne: membranfiltrering, kemisk oxidation, aktivt kul, membran bioreaktor-teknologi og UV-desinficering.

Såvel internationalt som i Danmark er de nævnte teknologier, på nær membran bioreaktor-teknologi, velkendte og etablerede til rensning af industrielt procesvand. Fra udlandet kendes en række eksempler på anvendelse af membran bioreaktor-teknologi i forbindelse med industrielt procesvand.

8 Øvrige forhold omkring renseteknologi

Ud over de "hårde" teknologier, der er gennemgået i kapitel 2-7, er der også behov for "bløde" værktøjer i bestræbelserne for at udvikle cost-effektive og bæredygtige koncepter for håndtering af spildevand. Sådanne bløde områder er kort behandlet nedenfor.

8.1 Miljøvurderinger

Ved valg af renseteknologi vil man umiddelbart kigge på, hvilke afløbskvaliteter for de aktuelle forureningskomponenter der vil kunne opnås med forskellige teknologier, samt hvilke omkostninger der er forbundet med etablering og drift af de enkelte teknologier. Der er imidlertid i stigende grad fokus på anlæggelse af helhedsvurderinger af renseteknologi, dvs. en vurdering, hvor de opnåelige miljøfordele afvejes mod de medfølgende ulemper i form af ressourceforbrug og miljøpåvirkning ved etablering, drift og bortskaffelse af renseanlæg.

Der er indenfor de seneste årti udviklet standardiserede metoder til støtte ved udførelse af sådanne livscyklusvurderinger. Som eksempel på livscyklusvurderinger for renseteknologi kan nævnes DANVA (2006a), hvor livscyklusvurderinger for udvalgte efterpoleringsteknologier for danske kommunale renseanlæg er beskrevet. Endvidere kan nævnes Stads- og havneingeniøren (2003), i hvilken der rapporteres om livscyklusvurderinger i forbindelse med fosforfjernelse på to store danske kommunale renseanlæg. På internationalt plan kan der henvises til EU projekterne NEPTUNE (NEPTUNE, 2006) og INNOWATECH (INNOWATECH, 2006), der for henholdsvis kommunale og industrielle renseanlæg arbejder med sammenligning af renseteknologier, bl.a. ud fra et livscyklusperspektiv.

Der er i dansk sammenhæng behov for videre arbejde med livscyklusvurderinger for renseteknologier, herunder en udvidelse af de vurderede teknologityper og anvendelsesområder, løbende koordinering med internationale LCA-studier samt løbende opdatering af metoder og nøgledata.

8.2 Testordninger og verifikation

Dansk miljøteknologi har en stærk position internationalt i kraft af effektive og konkurrencedygtige produkter, der i mange tilfælde er udviklet på baggrund af en progressiv miljølovgivning. Det kommercielle potentiale er dog langt fra udnyttet til fulde, hverken på hjemmemarkedet eller i Europa eller det globale marked.

En mulighed for at støtte såvel teknologiudviklere som teknologibrugere er gennem etablering af transparente, godkendte, sammenlignelige og tilgængelige data for teknologiprestande. Sådanne systemer til miljøteknologiverifikation (ETVs – Environmental Technology Verification systems) eksisterer eller er under udvikling i en lang række lande – herunder USA, Canada, Japan, Singapore, Sydkorea, Indien, Kina.

Også i Europa er et system under udvikling, hvor der i EU projektet TESTNET (2005) arbejdes på pilotplan med at designe, udvikle og teste et sådant system for europæiske forhold. I det fællesnordiske samarbejdsprojekt, NOWATECH (2006) sigtes mod at etablere sådanne egentlige testcentre for udvalgte miljøteknologiske løsninger.

Etablering af danske testcentre for miljøteknologiverifikation gennem udvikling og afprøvning af testprotokoller for dansk nøgleteknologi med stort eksportpotentiale samt potentiale for forbedringer i cost-effektiv drift af danske spildevandsanlæg vil således kunne være til betydelig gavn for såvel brugere som leverandører af disse teknologier.

8.3 Forvaltning og rammebetingelser

Innovation og udvikling inden for forvaltning af og rammebetingelser for drift af spildevandsanlæg kan ligeledes bidrage til opnåelse af forbedringer inden for cost-effektiv drift og teknologiudvikling gennem påvirkning af ikke-tekniske barrierer for forbedringer inden for miljøpåvirkning og driftsøkonomi.

Eksempler på projekter inden for dette område kunne være:

Benchmarking

Udvikling af relevante nøgletal til benchmarking af renseanlæg og forsyningsselskaber for styrkelse af en meningsfuld sammenlignelighed og forbedrede muligheder for intern optimering.

Online-udlederkontrol

Systemudvikling og demonstration af online-målere med henblik på godkendelse af disse til kontrol af udlederkrav for renseanlæg.

Spildevandsafgifter

Revurdering af spildevandsafgifter med henblik på et system, hvor der ud fra et miljøhensyn er fokus på incitamenter til at tage så meget spildevand gennem renseanlæg som muligt i stedet for den nuværende situation, hvor incitamentet – objektivt set – går i retning af at belaste renseanlæggene til den foreskrevne grænse og på den måde sandsynligvis aflaste mere end nødvendigt. Med de eksisterende muligheder for anvendelse af online-teknologi i driften er det i dag muligt for renseanlægsoperatører at drive anlæggene betydeligt tættere på kapacitetsgrænsen end tidligere, hvor denne dynamiske viden om tilstanden i de forskellige anlægsdele ikke var tilgængelig. Også administrerbare metodikker til opgørelse af stoffbelastninger fra regnbetingede overløb er et relevant udviklingsområde i denne sammenhæng.

Forbrændingsafgifter

Afgifter på forbrænding af slam i Danmark har tilskyndet til udbringning af slam på landbrugsjord, til løsninger, der kan nedbringe afgiftsbetalingen (Carbogrit), og i nogle tilfælde til eksport af slam. Set i forhold til slam, der ikke egner sig til landbrugsanvendelse, eller hvor mulighederne for anvendelse i landbruget geografisk er vanskelige er der ikke økonomisk incitament til udvikling af metoder til tørring og forbrænding af slam, der udnytter slammets energiindhold bedst muligt.

Særbidrag for industrielle udledninger

De modeller for særbidrag (NPO) der i dag ofte anvendes i kommunerne giver ikke økonomisk incitament til reduktion af de nye miljøparametre, der indgår via Vandrammedirektiv, Badevandsdirektiv, Miljøplaner mv.

9 Referencer

ActewAGL (2007), **Southwell Park Watermining project**. Hjemmeside: www.actewagl.com.au/wastewater/reuse/southwellwatermining.aspx

AMEDEUS (2005). **Accelerate Membrane Development for Urban Sewage Purification**. EU project under 6. RP, 2005-2008. Projekthjemmeside: www.mbr-network.eu.

APOP (2004). **Advanced Photochemical Oxidation Process project entitled "Removal of endocrine disrupters in the outlet water from wastewater treatment plants in combination with inactivation of pathogenic microorganism"**. EU LIFE project, 2004-2007. Projekthjemmeside: www.apop.dk.

ATV (2004). **Regn- og spildevand i byer – på vej mod fremtidens afløbssystemer**. Udgivet af Akademiet for de tekniske videnskaber i forbindelse med forprojektet "håndtering af regn og spildevand i byer"

Black Blue Green (2007). **Integrated Infrastructure Planning as Key to Sustainable Urban Water Systems - Water as a Resource and Recycling Element in Nature**. Dansk forskningsprojekt, 2007-2011 finansieret af det strategiske forskningsråd. Projekthjemmeside: www.2BG.dk

Dansk Vand (2006). **Test af nye metoder til rensning af overløbsvand**. Nr. 7, 2006.

DANVA (2004), **Afklaringsprojekt om nedsivning af husspildevand**. Forsknings- og udredningsprojekt nr. 1.

DANVA (2006a), **Videregående renseteknologier for kommunalt spildevand**. Forsknings- og udredningsprojekt nr. 2.

DANVA (2006b), **Regnbetingede udledninger. Katalog over teknologier til reduktion af effekter i miljøet**. Vejledning nr. 71.

DHI (2007), **Status og udviklingstendenser for styring, regulering og instrumentering af afløbssystemer og disses samspil med renselanlæg**. Notat til Lynettefællesskabet og Spildevandscenter Avedøre.

DTU (2006), **Integreret håndtering af vand og spildevand i København. Delprojekt A1.: Overordnet kortlægning af nuværende ressourcer og forbrug, samt eksisterende renseteknologier indenfor vand og spildevand**. Rapport til Københavns Energi. Endeligt udkast.

ENREM (2004), **Enhanced Nutrients Removal in Membrane Bioreactor**. EU LIFE project (2004-2007). Projekthjemmeside: www.kompetenz-wasser.de.
EUROMBRA (2005), **Membrane bioreactor technology for advanced municipal wastewater treatment strategies**. EU project under 6. RP, 2005-2008. Projekthjemmeside: www.mbr-network.eu/

IAFP-Vand (2005), *Innovations accelererende forskningsplatforme - forskningsplatformen vand*. Hjemmeside: www.forskningsplatformen-vand.dk.

IDA Spildevandskomiteen (2006), *Miljø og regnvandssystemer – erfaringer og anbefalinger*. Rapport fra udvalget vedrørende reduktion af miljøbelastning fra afledning af separatkloakeret regnvand.

INNOWATECH (2006), *Innovative and integrated technologies for the treatment of industrial wastewater*. EU project under 6. RP, 2006-2009. Projekthjemmeside: www.innowatech.org.

Ljunggren, M. (2006), *Dissolved air flotation and microscreening for particle separation in wastewater treatment*. Dept. of Chem. Eng., Lund University.

LOTWATER (2004), *Enhanced local treatment of combined sewer overflows enabling the implementation of the Water Framework Directive*. EU LIFE-project, 2004-2007. Projekthjemmeside: www.cowiprojects.dk/lotwater.

LOTWATER (2007), *Vurdering af omkostningseffektivitet for demonstrationsprojekterne*. EU LIFE-project, 2004-2007. Rapport marts 2007.

LIFE-TREASURE (2006), *Treatment and re-use of urban stormwater runoff by innovative technologies for removal of pollutants*. EU LIFE-project, 2006-2009. Projekthjemmeside: www.life-treasure.dk.

MBR-Network (2005), *The cluster of EU projects dedicated to the MBR technology*. EU project under 6. RP 2005-2009. Projektet samler og koordinerer 4 EU MBR-projekter (AMEDEUS, EUROMBRA, MBR-TRAIN og PURATREAT), 2005-2009. Projekthjemmeside: www.mbr-network.eu

MBR-TRAIN (2006), *Process optimisation and fouling control in membrane bioreactors for wastewater and drinking water treatment*. EU project under 6. RP 2006-2009. Projektet fokuserer på træning af unge forskere. Projekthjemmeside: www.mbr-network.eu.

Miljøstyrelsen (2000), *Regnbetingede udløb fra kloaksystemer. Et litteraturstudium over danske og udenlandske erfaringer*. Miljøprojekt Nr. 547.

Miljøstyrelsen (2004), *Muligheder for begrænsning af N og P udledninger fra kommunale renseanlæg, industrielle udledninger og regnbetingede udledninger*. VMP III-arbejdsgruppen.

Miljøstyrelsen (2006), *Demonstrationsprojekt i fuldskala for rensning af gråt spildevand*. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. 59, 2006

Ministeriet for videnskab teknologi og udvikling (2006), *Globaliseringspuljen*. Information om regeringens globaliseringspulje. Hjemmeside: <http://videnskabsministeriet.dk/site/forside/nyheder/Aktuelle-temaer/globaliseringspuljen>

NEPTUNE (2006), *New Sustainable Concepts and Processes for Optimization and upgrading Municipal Wastewater and Sludge Treatment*. EU project under 6. RP 2006-2009. Projekthjemmeside: www.eu-neptune.org.

NEWater Singapore (2007), *Spildevand til drikkevand*.

www.pub.gov.sg/NEWater_files.

NOWATECH (2006), *Nordic Water Technology Verification Network*. Project under Nordic Innovations Centre 2006-2008. Projekthjemmeside:

www.etvnord.org.

POSEIDON (2001), *Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse*. EU LIFE-project, 2001-2004. Projekthjemmeside: www.poseidon.bafg.de.

PURATREAT (2006), *New Energy Efficient Approach to the Operation of Membrane Bioreactors for Decentralised Wastewater Treatment*. EU project under 6. RP 2006-2008. Projekthjemmeside: www.puratreat.com

RAMBØLL (2001), *Ørestad – Kanaler og vandflader*. Publikation fra RAMBØLL A/S.

Skov- og Naturstyrelsen (1998). *Vandmiljøplan II. Genopretning af vådområder - 2. Hydrologi, stofomsætning og opmåling*. Publikation fra Skov- og Naturstyrelsen.

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen (1988), *Vandrensningsrådets forskningsprogram afrapporteret i serien "Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen nr. 1-51 i perioden 1988-91*.

Stads- og havneingeniøren (2003), *Økonomisk og miljømæssig optimering af fosforjernelse*. Nr. 1, 2003.

STOWA (2005), *Exploratory Study for wastewater treatment techniques and the European Water Framework Directive*. Report no. 34.

Svenskt Vatten AB (2007), *Metoder för slamhydrolys*. VA Forsk projekt nr. 23-122.

TESTNET (2005), *Towards European Sectorial Testing Networks for Environmentally Sound Technologies*. EU-projekt 2005-2007.

Projekthjemmeside: www.est-testnet.net.

Vandpartnerskabet (2006), *Erhvervsdrevet innovationsplatform initieret af Innovationsrådet*. Hjemmeside: www.fremtidensmilliardindustrier.dk/vandpartnerskabet

WSSTP (2006), *Strategic Research Agenda, Water Research – A necessary investment in our common future*. Udgivet af WSSTP sekretariatet.

Projekthjemmeside: <http://www.wsstp.org/default.aspx>

Oversigt over teknologier til rensning af overløbsvand

REGN- OG OVERLØBSVAND I KLOAKOPLAND

1. Lokal udledning til recipient

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, potentiale og F&U-behov
<p>Våde regnvandsbassiner Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til recipient.</p>	<p>Åbent regnvandsbassin med permanent vandspejl. Under tørvejrforhold er dybden typisk 1-1,5 m, og under regn typisk 2-2,5 m. Våde regnvandsbassiner etableres ofte som et rekreativt landskabselement med delvis beplantning.</p> <p>I regnvandsbassiner sker der fortrinsvis en sedimentation af partikulære stoffer. I beplantede bassiner kan der endvidere fjernes stof ved adsorption til planter samt omsætning ved komplekse fysiske, kemiske og biologiske processer.</p>	<p>Våde regnvandsbassiner tilbageholder fortrinsvist suspenderet stof og dertil knyttede forureningskomponenter.</p>	<p>Vidt udbredt såvel internationalt som i Danmark.</p> <p>Stort potentiale i kraft af det rekreative element.</p> <p>F&U: Etablering af driftspraksis herunder slamhåndtering. Belysning af effekt over for miljøfremmede stoffer.</p>
<p>Kunstige vådområder Fjernelse af suspenderede-, og i nogen grad opløste-forureningskomponenter.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til recipient.</p>	<p>Vådområde med vegetation på lille vanddybde (15-30 cm). I vådområder foregår et komplekst samspil mellem sediment, vegetation og fauna, der resulterer i en lang række fysiske, kemiske og biologiske processer, herunder sedimentation og biologisk nedbrydning.</p> <p>Vådområder er pladskrævende. Der dimensioneres typisk med et areal på > 2% af oplandsarealet.</p>	<p>Vådområder kan i princippet fange og nedbryde en meget bred vifte af forureningskomponenter såvel partikulære som opløste.</p>	<p>Vådområder er relativt billige at anlægge sammenlignet med egentlige bassiner, såfremt der allerede i landskabet er højdeforhold og jordbund til det.</p> <p>Stort potentiale i kraft af det rekreative element.</p> <p>F&U: Belysning af effekt over for miljøfremmede stoffer.</p>
<p>Sorption Fjernelse af fosfor, tungmetaller og organiske mikroforureninger.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til recipient.</p> <p>I kombination med våde regnvandsbassiner.</p>	<p>Filtrering gennem et fastmediefilter indeholdende et sorptionsmateriale som f.eks.: aktivt kul, bark, spåner, tørv, granuleret jernhydroxid, zeolit og bauxsol (blandingsmineral). Sorptionsmaterialerne har en evne til i større eller mindre grad at binde fosfor, tungmetaller og organiske mikroforureninger.</p> <p>Sorptionsfiltre er sårbare over for tilstopning og anbringes derfor på et sted i renseprocessen hvor vandets indhold af suspenderet stof er reduceret mest muligt.</p>	<p>Forskellige sorptionsmaterialer kan binde fosfor, tungmetaller og organiske mikroforureninger i varierende grad.</p>	<p>Kendt teknologi fra andre sammenhænge. Stærkt begrænsede erfaringer fra Danmark. Erfaringer vedrørende reduktionsgrader over for forskellige stofgrupper er begrænsede.</p> <p>Betydeligt potentiale, hvis tekniske udfordringer som f.eks. forhindring af tilstopning og opretholdelse af sorptionskapacitet viser sig overkommelige.</p> <p>F&U: Afprøvning af forskellige sorptionsmaterialer i fuldskala.</p>

<p>Forbedret bundfældning under magasinerings Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til recipient.</p>	<p>Magasineringsbassiner kan udrustes med udstyr, der forbedrer bundfældningsprocessen. Der kan være tale om:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lamelseparatorer (skråstillede plader, der resulterer i kort bundfældningsvej) • Hvirvelseparatorer (bygværk, der sætter vandet i en hurtig roterende bevægelse, hvorved partikulært stof opkoncentreres i en delstrøm) • Vandfordelingsindsats (indsats der placeres i tilløbet til bassinet). Sætter vandet i en langsom roterende bevægelse og bevirker en jævn og rolig strømning ud i bassinet med deraf følgende gode sedimentationsforhold) <p>Slamhåndteringen vil typisk være vanskelig.</p>	<p>Forbedrer fjernelsen af suspenderet stof og dertil knyttede forureningskomponenter.</p>	<p>Ringe erfaringer nationalt og internationalt. Fra Danmark kendes et par forsøgsinstallationer med installation af bl.a. lamelseparatorer i regnvandstanke.</p> <p>Betydeligt potentiale, hvis specifikke teknologier viser sig effektive.</p> <p>F&U: Afprøvning og dokumentation af bundfældningsaccelererende processer.</p>
<p>Forbedret sedimentation ved overløbsbygværk Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til recipient.</p>	<p>Overløbsbygværker kan udrustes med udstyr, der forbedrer bundfældningsprocessen. Der kan være tale om:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lamelseparatorer (skråstillede plader, der resulterer i kort bundfældningsvej) • Hvirvelseparatorer (bygværk, der sætter vandet i en hurtig roterende bevægelse, hvorved partikulært stof opkoncentreres i en delstrøm) <p>Slamhåndteringen vil typisk være vanskelig.</p>	<p>Forbedrer fjernelsen af suspenderet stof og dertil knyttede forureningskomponenter.</p>	<p>Kun enkelte installationer i Danmark, hvor erfaringer med lamelseparator har vist ringe effekt på stofudskillelsen.</p> <p>Lamelseparatorer vurderes at have et begrænset potentiale. Mere effektive processer vil have et betydeligt potentiale</p> <p>F&U: Identifikation og afprøvning af bundfældningsaccelererende processer.</p>
<p>Mikrosifiltrering Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til lokal recipient.</p> <p>Genanvendelse (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).</p>	<p>Filtrering gennem filterdug. Tilbageholdt suspenderet stof tilbageføres typisk til kloak.</p> <p>Kan drives med og uden forstærket effekt gennem kemiskfældning.</p> <p>Mikrosifiltrering er en kompakt proces sammenlignet med sandfiltrering.</p> <p>Ved anvendelse af meget tætte filterduge opnås god afløbskvalitet men også forøget pasningsbehov for at imødegå tilstopning af filterdugen.</p>	<p>Mikrosining reducerer primært tilløbsvandets indhold af stoffer på suspenderet form. Ved kemisk forbehandling med metallsalte og/eller polymer kan fjernelsesgraderne for SS, COD og P typisk øges betydeligt.</p> <p>I forbindelse med rensning af overløbsvand kan der erfaringsmæssigt opnås stabile afløbskvaliteter med SS koncentrationer i området 2-10 mg SS/l.</p> <p>Mikrosining har ikke egentlig desinficerende effekt. Reduktion af indikatorbakterier ligger typisk omkring 1 log-enhed.</p>	<p>Mikrosier er en velkendt og etableret teknologi både internationalt og i Danmark i mange sammenhænge. I Danmark kendes kun én fuldskalainstallation, hvor mikrosier anvendes til rensning af overløbsvand.</p> <p>Det vurderes, at mikrosier har et betydeligt potentiale til rensning af overløbsvand i kraft af, at det er en kompakt, modulopbygget og relativt energieffektiv teknologi.</p> <p>F&U: Der er generelt behov for indhentning af driftserfaringer samt erfaringer vedrørende reduktionsgrader ved rensning af overløbsvand.</p>

Mikrosiftrering (fortsat)	Stærkt begrænset kendskab til effektivitet over for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.	Kun tungmetaller og organiske mikroforureninger i form af, eller adsorberet til suspenderet stof vil blive fjernet. Kemisk fældning vil typisk øge mængden af disse komponenter på suspenderet form.	Herunder tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.
UV-desinfektion Desinfektion.	Bestråling med ultraviolet lys via lamper neddykket i et gennemløbskammer.	Inaktivering af bakterier og i nogen grad fjernelse af mikroorganiske forureninger.	Velkendt, robust, i Danmark kun enkelte anlæg på overløbsvand.
Desinfektion før udledning til recipient med badevandsinteresser.	UV-desinfektion kræver forudgående polering for suspenderede forureningskomponenter.	Typisk opnås en fjernelse af bakteriekim på 2-3 log-enheder.	Stort potentiale i kraft af kompakt teknologi samt stigende fokus på badevandskvalitet og rekreativt vand.
Genanvendelse til formål, hvor vandet er i tæt kontakt med mennesker (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).			F&U: Indretning i relation til effektivitet og renholdelse samt lampe-levetid.
Kemisk desinfektion Desinfektion.	Tilsætning af kemikalier med stærk oxiderende virkning. Typisk anvendte kemikalier er ozon, brintperoxid og pereddikesyre.	Inaktivering af bakterier og i nogen grad fjernelse af mikroorganiske forureninger.	Ringe erfaring nationalt og internationalt. En række leverandører arbejder på området men ingen installationer i Danmark.
Desinfektion før udledning til recipient med badevandsinteresser.	Dosering af kemikalierne er i sig selv simpel, men eliminering af risiko for udledning af overskudskemikalie til recipient kan være en teknisk udfordring.	Typisk opnås en fjernelse af bakteriekim på 2-3 log-enheder.	Begrænset potentiale med de kendte kemikalier. Mindre følsom over for SS end UV-bestråling, og mindre investeringstung. Risiko for tilledning af overskudskemikalie til recipient.
Genanvendelse til formål, hvor mennesker er i tæt kontakt med vandet (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).	Kemisk desinfektion er mindre følsom for indhold af suspenderede forureningskomponenter end UV-desinfektion.		F&U: Praktiske driftserfaringer med relevante kemikalier. Recipienteffekt af overskudskemikalie.
Online-målere og integreret styring opland/reanseanlæg Styring af samspil mellem drift af kloaksystem mhb. på: <ul style="list-style-type: none"> • Isolering af "first flush" • Minimering af overløb • Optimering af magasinering/tilledning til reanseanlæg 	Målinger i kloaksystemet af parametre som: <ul style="list-style-type: none"> • Regnmængder, flow, niveau i overløb og bassiner samt status for pumpestationer, justerbare overløbskanter og spjæld opsamles løbende og sammenholdes med målinger på reanseanlægget af parametre som: <ul style="list-style-type: none"> • Tilløbsflow, returslamsflow, slamvolumen, SS i aktiv slam og returslam samt slamspejl i efterklaringsstanke og turbiditet i udløb 	Ved integreret styring er formålet at reducere den generelle stofbelastning af recipienten via reduceret stofudledning fra overløb og via maksimal udnyttelse af reanseanlæggets kapacitet.	Betydelige erfaringer med målere og sensorer, men mere begrænsede erfaringer med omsætning i praktisk integrering og styring.
		Leverandører af systemer til integreret styring taler om potentialer for reduktion af overløbsvandmængde på op til 90% (stærkt afhængig af udformning og drift af det eksisterende kloaksystem), og forøgelse af hydraulisk kapacitet ved regnstyring på reanseanlæg med mere end 50%.	Betydeligt potentiale for bedre udnyttelse af kapacitet i kloak og reanseanlæg.
			F&U: <ul style="list-style-type: none"> • Sensorer i opland • Integreret modelbeskrivelse • Definition af optimeringsrutiner • Demo-projekter

<p>Online-målere (fortsat) og drift af renseanlæg mhb. på:</p> <ul style="list-style-type: none"> Behandle så meget vand som muligt Reducere belastning på klaringsstanke/undgå slamflugt 	<p>Via en central beregningsrutine/model vælges en kontrolstrategi, og set-punkter for kontrollhåndtag beregnes og udmeldes. Kontrollhåndtagene for afløbssystemet er:</p> <ul style="list-style-type: none"> Justerbare overløbskanter og spjæld, justerbare pumpestationer og bassiner <p>og for reseauanlægget:</p> <ul style="list-style-type: none"> Returslamstyring/slamspejlskontrol i efterklaringsstanke, bundfældning i aktiv slam tanke, flytte tilløb i biologiske del/udkoble aktiv slam tanke, bypass af biologisk del eller hele anlægget 	
<p>Energieffektiv pumpning Besparelse i driftsomkostninger gennem minimering af energibehov til pumpning.</p> <p>Strategi og rutiner for mere energieffektiv drift af eksisterende pumper.</p> <p>Udvikling af mere energieffektive pumper.</p>	<p>Energiptimering af pumpning kan ske ved optimering af driften af eksisterende udstyr - eventuelt med støtte fra online-sensorer.</p> <p>Energiptimering af pumpedel, motordel og anlægsdel, ved optimalt design samt dimensionering og styring.</p>	<p>Teknologileverandører er opmærksomme på udfordringen og udvikling finder sted.</p> <p>Betydeligt potentiale.</p> <p>F&U: Aktiviteter til demonstration af pumpe- og monitorings teknologi til mere energieffektiv pumpning.</p>

2. Lokal nedsivning eller genanvendelse

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, potentiale og F&U-behov
<p>Sandfiltrering Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter.</p> <p>Stoffjernelse før udledning til lokal recipient.</p> <p>Genanvendelse (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).</p>	<p>Filtrering gennem et eller flere lag af sand. Kan enten drives diskontinuerligt dvs. med periodevis returskylning af sandmassen, eller kontinuerligt dvs. med løbende "vask" af sandmassen (dynamiske filtre).</p> <p>Kan drives med og uden forstærket effekt gennem kemisk fældning.</p> <p>Stærkt begrænset kendskab til effektivitet over for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.</p>	<p>Sandfiltrering reducerer primært tilløbsvandets indhold af stoffer på suspenderet form. Ved kemisk forbehandling med metalsalte og/eller polymer kan fjernelsesgraderne for SS, COD og P typisk øges betydeligt.</p> <p>Sandfiltrering har ikke egentlig desinficerende effekt. Reduktion af indikatorbakterier ligger typisk omkring 1 log-enhed.</p> <p>Kun tungmetaller og organiske mikroforureninger i form af, eller adsorberet til suspenderet stof vil blive fjernet. Kemisk fældning vil typisk øge mængden af disse komponenter på suspenderet form.</p>	<p>Sandfiltrering er en velkendt og etableret teknologi internationalt så vel som i Danmark i mange sammenhænge. I Danmark kendes kun få fuldskalainstallationer, hvor sandfiltre anvendes til rensning af overløbsvand.</p> <p>Det vurderes, at sandfiltre har et betydeligt potentiale til rensning af overløbsvand i kraft af, at det er en kompakt, modulopbygget og relativt energieffektiv teknologi. Energiforbruget er dog betydeligt højere end for mikrosier.</p>

Sandfiltrering (fortsat)		F&U: Der er generelt behov for indhentning af erfaringer med indretning og drift af sandfiltre samt erfaringer vedrørende reduktionsgrader ved rensning af overløbsvand. Herunder tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.
Mikrosifiltrering: Se under: 1. Lokal udledning til recipient		
Forceret sedimentation Ofte kaldet Actiflo- eller DensaDeg-proces efter kendte handelsnavne. Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter samt opløst COD og P. Stoffjernelse før udledning til lokal recipient. Genanvendelse (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).	Kemisk bundfældningsproces, hvor bundfældningshastigheden er stærkt forøget via tilsætning af mikrosand. Forceret sedimentation er en særdeles kompakt proces sammenlignet med sandfiltrering. Stort energi/kemikalie-forbrug? Mere kompliceret – behov for mere pasning/overvågning?	Ved forceret sedimentation fjernes suspenderet stof og dertil bundet COD, N og P. Den kemiske fældningsproces er endvidere effektiv over for opløst fosfor. Typiske intervaller for reduktionsgrader er 80-95% for SS, 65-90% for COD og 50-95% for total fosfor. Forceret sedimentation må antages at være mere effektiv end sandfiltrering og mikrosifiltrering over for tungmetaller og organiske mikroforureninger, specielt hvis disse processer ikke kombineres med kemisk fældning.
		Relativ ny proces, idet de første anlæg blev etableret i starten af 90'erne. Internationalt er teknologien gennemprøvet og veletableret. I Danmark er kun etableret nogle få anlæg, og så vidt vides ingen til rensning af overløbsvand. Stort potentiale i kraft af den særdeles kompakte opbygning og hurtige opstart. F&U: Driftserfaringer på overløbsvand – effektivitet for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer. Sammenligning af cost-effektivitet med tilsvarende processer.
Kemisk fældning med bundfældning Fjernelse af suspenderet og kolloid COD og P. Stoffjernelse før udledning til recipient. I kombination med våde regnvandsbassiner.	Tilsætning af fældningskemikalier, typisk metalsalte og polymerer, hvorved der dannes større slamflokke, som kan sedimenteres ud af vandfasen i en bundfældningstank. Kemisk fældning med bundfældning er pladskrævende og kræver endvidere meget udrustning til slamhåndtering.	Ved kemisk fældning fanges – i større eller mindre omfang – partikler helt ned til kolloidstørrelse. Herved fjernes partikulært COD, N og P, og i nogen grad også kolloid stof, hvorved der kan ske en mindre reduktion af det stof, som indgår i en bestemmelse af de respektive opløste fraktioner. Ved kemisk fældning med metalsalte kan der opnås en vidtgående reduktion af opløst fosfor.
		Kendt teknologi fra andre sammenhænge. Stærkt begrænsede erfaringer fra Danmark. Måske potentiale på eksisterende regnvejrstanke – men problemer med slamhåndtering pga. store overflader. F&U: Effektivitet samt tekniske løsninger på slamhåndtering.
UV-desinfektion: Se under: 1. Lokal udledning til recipient.		
Kemisk desinfektion: Se under: 1. Lokal udledning til recipient.		

<p>Nedsivning og reinjektion Bortskaffelse af regnvand/renset vand ved tilledning til grundvandsmagasin.</p>	<p>Et nedsivningsanlæg består typisk af et bassin, hvorfra vandet bortledes ved passiv nedsivning til den omgivende jord. Ved reinjektion foregår der en aktiv nedpumning af vandet i reinjektionsboringer.</p> <p>Nedsivning og reinjektion reducerer den hydrauliske belastning af kloakker og vandløb og øger tilledningen af vand til grundvandsressourcen.</p> <p>Ved nedsivning og reinjektion er der en potentiel risiko for negative effekter på grundvandsressourcen via tilførsel af forureningskomponenter.</p>	<p>Nedsivning har en god renseseffekt over for suspenderet stof og i nogen grad opløste stoffer i kraft af jordens filtreringseffekt og biologiske aktivitet.</p> <p>Ved injektion er renseseffekten mindre, da en del af filtreringsprocessen udelades.</p>	<p>Nedsivnings- og reinjektionsteknologi velkendt men få erfaringer med overfladevand.</p> <p>Betydeligt potentiale, men lovgivning mod nedsivning og reinjektion begrundet i hensynet til grundvandsbeskyttelse kan være en ikke teknisk barriere.</p>
---	--	--	---

Oversigt over teknologier til rensning af spildevand i kloakopland

SPILDEVAND I KLOAKOPLAND

1. Byøkologi

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Rensning/genanvendelse i husholdninger/ejendomme Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter og flydestoffer.	Vand fra tage og befæstede arealer opsamles og genanvendes til f.eks. toiletskyl, vask og vanding. Der kræves typisk rensning i større eller mindre grad før genanvendelse, f.eks. bundfældning og/eller filtrering.	Typisk fjernes kun organiske eller uorganiske partikler, der ellers kunne føre til tilstopninger eller uacceptabelt slid på pumper o.l.	Betydelige erfaringer med genanvendelse af regnvand fra tage og veldefinerede befæstede arealer. Ellers få erfaringer fra Danmark. Mange erfaringer fra udlandet f.eks. Japan med gråt spildevand I bygninger. Betydeligt potentiale (meget vand og stort behov). F&U: Psykologiske og tekniske udfordringer. Sundhed, vandkvalitetskriterier.

2. Forrensning af industrispildevand

Industriel forrensning Fjernelse af forureningskomponenter, der på grund af mængde eller karakter er problematiske i forhold til central rensning.	Afhængig af spildevandstype og krav til forrensning anvendes en lang række forskellige teknologier fra simpel fjernelse af grove partikler til avancerede fysisk/kemiske processer som f.eks. fældning af tungmetaller.	Afhængig af spildevandstype og krav til forrensning fokuseres typisk på pH, fedt, olie, SS, tungmetaller og organiske mikroforurenninger.	Relevante teknologier er på markedet. Stort potentiale for genanvendelse af industrielt vand. Stort potentiale for fjernelse af punktkildebaserede tungmetaller og visse organiske miljøfremmede stoffer. F&U: Behov for vandkvalitetskriterier for genbrug af vand i industrien. Demo-projekter i relation til punktkilder herunder hospitaler.
--	---	---	--

3. Lokal bortskaffelse i større bysamfund

Mikrosiftrering Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter. Stoffjernelse før udledning til lokal recipient.	Filtrering gennem filterdug. Tilbageholdt suspenderet stof tilbageføres typisk til kloak. Kan drives med og uden forstærket effekt gennem kemiskfældning.	Mikrosining reducerer primært tilløbsvandets indhold af stoffer på suspenderet form. Ved kemisk forbehandling med metalsalte og/eller polymer kan fjernelsesgraderne for SS, COD og P typisk øges betydeligt.	Mikrosier er en velkendt og etableret teknologi både internationalt og i Danmark i mange sammenhænge. I Danmark kendes kun én fuldskalainstallation, hvor mikrosier anvendes til rensning af overløbsvand. Det vurderes, at mikrosier har et betydeligt potentiale til rensning af overløbsvand i kraft af, at det er en kompakt, modulopbygget og relativt energieffektiv teknologi.
Genanvendelse (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).	Mikrosiftrering er en kompakt proces sammenlignet med sandfiltrering. Ved anvendelse af meget tætte filterduge opnås god afløbskvalitet men også forøget pasningsbehov for at imødegå tilstopning af filterdugen.	I forbindelse med rensning af overløbsvand kan der erfaringsmæssigt opnås stabile afløbskvaliteter med SS-koncentrationer i området 2-10 mg SS/l.	F&U: Der er generelt behov for indhentning af driftserfaringer samt erfaringer vedrørende reduktionsgrader for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.

Mikrosiftrering (fortsat)	Stærkt begrænset kendskab til effektivitet over for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.	Mikrosining har ikke egentlig desinficerende effekt. Reduktion af indikatorbakterier ligger typisk omkring 1 log-enhed.	
Biofilterteknologi Fjernelse af partikulære og opløste forureningskomponenter.	Biologisk rensning, hvor biomassen sidder på et bæremateriale. Der findes en lang række reaktorudformninger og typer af bærematerialer.	Kun tungmetaller og organiske mikroforureninger i form af, eller adsorberet til suspenderet stof vil blive fjernet. Kemisk fældning vil typisk øge mængden af disse komponenter på suspenderet form.	Velkendt teknologi i anden sammenhæng internationalt såvel som i Danmark.
Vil i denne sammenhæng typisk skulle kombineres med forbehandlings- og poleringsteknologi.	Kompakt teknologi i kraft af mulighed for høj biomassekoncentration.	Biologisk fjernelse af fortrinsvist COD. Kan også designes til vidtgående kvælstoffjernelse.	Kan have et vist potentiale til decentral rensning af spildevand i kraft af relativt lave investerings- og driftsomkostninger. F&U: Demo-projekter til opnåelse af driftserfaringer ved den aktuelle anvendelse samt cost-effektive studier.
Membran bioreaktor-teknologi (MBR) Vidtgående fjernelse af såvel suspenderede som opløste forureningskomponenter.	Aktiv slam teknologi, hvor separationen af det rensede spildevand fra aktiv slammet foretages ved membranfiltrering i stedet for ved sedimentation som i et konventionelt aktiv slam anlæg. De biologiske processer i aktiv slammet i et MBR-anlæg er i princippet de samme som i et konventionelt aktiv slam anlæg.	Vidtgående biologisk fjernelse af COD, N og P. Ved rensning i MBR-anlæg fjernes stort set alt suspenderet stof, herunder bakterier, hvorfor MBR-behandling har en vidtgående desinficerende effekt.	Teknologien er i nogen grad implementeret globalt set. Stadig teknologiske barrierer for bred cost-effektiv anvendelse. Danske teknologileverandører langt fremme med udvikling og tæt på markedet. I Danmark er der dog indtil videre kun etableret ét fuldskala anlæg.
Rensning før direkte udledning til recipient eller før genanvendelse til f.eks. vanding, bilvask og rekreativt brug.	MBR er en kompakt teknologi sammenlignet med konventionel aktiv slam og giver langt bedre kontrol med separationsprocessen.	Der er endvidere rapporteret om fjernelse af miljøfremmede stoffer, herunder tungmetaller og mikroorganiske forureninger i varierende grad, men erfaringsmateriale er spinkelt.	Stort potentiale på grund af kompakt produktion af fuldrenset spildevand af høj kvalitet velegnet til genbrug. Betydeligt F&U-behov bl.a. inden for områderne: Fouling, energieffektiv beluftning, effektivitet over for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer, mulighed for vidtgående reduktion af opløst fosfor, vandkvalitetskrav i forbindelse med genanvendelse.
Nedsivning og reinjektion Bortskaffelse af rensat spildevand ved tilledning til grundvandsmagasin.	Et nedsivningsanlæg består typisk af et bassin, hvorfra vandet bortledes ved passiv nedsivning til den omgivende jord. Ved reinjektion foregår der en aktiv nedpumning af vandet i reinjektionsboringer.	Nedsivning har en god renseseffekt over for suspenderet stof og i nogen grad opløste stoffer i kraft af jordens filtreringseffekt og biologiske aktivitet.	Nedsivnings- og reinjektionsteknologi velkendt. Betydelige erfaringer globalt med nedsivning og reinjektion af spildevand.
		Ved injektion er renseseffekten mindre, da en del af filtreringsprocessen udelades.	Betydeligt potentiale, men lovgivning mod nedsivning og reinjektion begrundet i hensynet til grundvandsbeskyttelse kan være en ikke teknisk barriere.

Nedsivning og reinjektion (fortsat)	<p>Nedsivning og reinjektion reducerer den hydrauliske belastning af kloakker og vandløb og øger tilledningen af vand til grundvandsressourcen.</p> <p>Ved nedsivning og reinjektion er der en potentiel risiko for negative effekter på grundvandsressourcen via tilførsel af forureningskomponenter. Det må antages, at der kræves vidtgående rensning af spildevand, før nedsivning eller reinjektion er acceptabelt ud fra hensynet til beskyttelse af grundvandskvaliteten.</p>
--	--

4. Lokal genanvendelse

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
<p>UV-desinfektion Desinfektion.</p> <p>Desinfektion før udledning til recipient med badevandsinteresser.</p> <p>Genanvendelse til formål, hvor vandet er i tæt kontakt med mennesker (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).</p>	<p>Bestråling med ultraviolet lys via lamper neddykket i et gennemløbskammer.</p> <p>UV-desinfektion kræver forudgående polering for suspenderede forureningskomponenter.</p>	<p>Inaktivering af bakterier og i nogen grad fjernelse af organiske mikroforureninger.</p> <p>Typisk opnås en fjernelse af bakteriekim på 2-3 log-enheder.</p>	<p>Velkendt, robust, i Danmark kun enkelte anlæg på overløbsvand.</p> <p>Stort potentiale i kraft af kompakt teknologi og stigende fokus på badevandskvalitet samt rekreativt vand og anden genanvendelse.</p> <p>F&U: Indretning i relation til effektivitet og renholdelse samt lampe-levetid.</p>
<p>Kemisk desinfektion Desinfektion.</p> <p>Desinfektion før udledning til recipient med badevandsinteresser.</p> <p>Genanvendelse til formål, hvor mennesker er i tæt kontakt med vandet (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industri).</p>	<p>Tilsætning af kemikalier med stærk oxiderende virkning. Typisk anvendte kemikalier er ozon, brintperoxid og pereddikesyre.</p> <p>Dosering af kemikalierne er i sig selv simpel, men eliminering af risiko for udledning af overskudskemikalie til recipient eller til genanvendelsesvand kan være en teknisk udfordring.</p> <p>Kemisk desinfektion er mindre følsom for indhold af suspenderede forureningskomponenter end UV-desinfektion.</p>	<p>Inaktivering af bakterier og i nogen grad fjernelse af organiske mikroforureninger.</p> <p>Typisk opnås en fjernelse af bakteriekim på 2-3 log-enheder.</p>	<p>Ringe erfaring nationalt og internationalt. En række leverandører arbejder på området men ingen installationer i Danmark.</p> <p>Begrænset potentiale med de kendte kemikalier. Mindre følsom over for SS end UV-bestråling og mindre investeringstung. Risiko for tilledning af overskudskemikalie til recipient samt i vand til genanvendelse.</p> <p>F&U: Praktiske driftserfaringer med relevante kemikalier. Recipienteffekt af overskudskemikalie.</p>

Oversigt over teknologier til rensning af spildevand i det åbne land

DET ÅBNE LAND

1. Minirenselanlæg

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, potentiale og F&U-behov
Minirenselanlæg Rensning af husspildevand fra afsidesliggende enkeltejendomme, campingpladser o.l. i små separate renselanlæg.	Minirenselanlæg er kompakte, præfabrikerede enheder med et typisk volumen på nogle ganske få m ³ . Et minirenselanlæg indeholder typisk et forklaringskammer, et beluftet biologisk proceskammer og et efterklaringskammer. Den biologiske proces er ofte baseret på biofilmteknologi. I visse nyere fabrikater er det biologiske trin baseret på aktiv slam teknologi, og separationen af aktiv slam og rensat vand er baseret på membranfiltrering.	Minirenselanlæg fjerner typisk SS og BOD/COD samt omdanner ammonium til nitrat. I visse tilfælde fjernes endvidere fosfor via kemisk fældning. Danske minirenselanlæg er typisk designet til overholdelse af krav på: 10 mg/l BOD, 5 mg/l NH ₄ -N og 1,5 mg/l P, jf. den danske typegodkendelsesordning for minirenselanlæg, hvor ovennævnte værdier repræsenterer de strengeste krav.	I Danmark er et lille antal minirenselanlæg godkendt. Specielt i Tyskland har MBR minirenselanlæg vundet betydelig udbredelse med mere end 1.000 installerede enheder. MBR minirenselanlæg har blandt andre den fordel, at afløbsvandet kan betragtes som desinficeret. På globalt plan forekommer potentialet at være meget stort. Det er dog vanskeligt umiddelbart at vurdere potentialet for Danmark. F&U-eksempler: Langtidsdokumentation af driftseffektivitet, herunder MBR-baserede anlæg. Serviceovervågning via internet.

2. Tryksat kloakering

Tryksat kloakering Pumpning af spildevand fra enkeltejendomme, campingpladser o.l. i små trykledninger til centralt renselanlæg. Alternativ til separat rensning i det åbne land.	Minipumpeanlæg udgøres af præfabrikerede pumpebrønde med skærepumper, der er tilsluttet et ledningsnet af små trykledninger. Ledningsdiametere kan f.eks. være 50 mm, og ledningerne kan nedlægges i en smal nedgravning, der følger landskabet og/eller som no-dig nedlægning.	Ved tilledning til centralt renselanlæg sker der en videregående rensning for de traditionelle spildevandsparametre (COD, N og P) i forhold til rensning i septiktanke eller små separate renselanlæg. Endvidere undgås belastninger af meget små og sårbare recipienter.	Kun relativt få installationer i Danmark, men p.t. er det en teknologi i fremdrift. Der synes at være et betydeligt potentiale i Danmark. F&U: Demo-projekt til påvisning af økonomisk bæredygtighed.
---	---	---	--

Oversigt over teknologier til renseanlæg

RENSEANLÆG

1. Forrensning

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
<p>Sandfangsoptimering Optimering af eksisterende sandfang i retning af forbedret fjernelse af fint sand – ofte kombineret med energibesparelse til reduceret beluftning.</p>	<p>Fjernelse af sand fra spildevand sker helt overvejende i beluftede sandfang, hvor sand bundfældes, og hvor det tilstræbes, at det bundfældede slam har et ringe indhold af organisk suspenderet stof.</p> <p>Sandfanget er undertiden suppleret med et sandvaskerarrangement, hvor der foretages en efterfølgende vask af det bundfældede slam for fjernelse af eventuelt organisk slam fra sandet.</p> <p>Manglende effektivitet over for fint sand (eller sand i almindelighed) fører til efterfølgende sedimentation i procestanke og rådnetanke med senere bekostelig fjernelse til følge samt til forøget slitage i slamtransport- og slamafvandingsudstyr.</p>	<p>Sandfang har til formål at fjerne tunge, uorganiske partikler fra spildevandet, der ellers vil kunne give anledning til gener i den øvrige renseproces.</p>	<p>Sand i procestanke og overskudsslam med tilhørende tilstopninger, bekostelig sandfjernelse, slitage på afvandingsudstyr, mv. er kendte fænomener, der forventeligt kan reduceres betydeligt ved forbedret effektivitet af sandfang ofte med reduceret energiforbrug til følge i kraft af reduceret beluftning.</p> <p>Det vurderes, at der er potentiale for betydelige besparelser i sektoren ved forøget effektivitet af sandfang i kombination med sandvasker.</p> <p>F&U-behov inkluderer: Metoder og hydrauliske modeller til vurdering af effektivitet af eksisterende sandfang, måling af fint sand i afløb fra sandfang, nye mere effektive sandvaskere, der kan adskille organisk slam og fint sand, demo-aktiviteter med kvantificering af opnåede effekter med sandfjernelse og energibesparelse ved reduceret beluftning.</p>
<p>Mikrosiftrering Kompakt forrensning til supplerende/erstatning af primære bundfældningstanke ved kapacitetsudvidelser og nyanlæg.</p> <p>Teknologien er også anvendelig i forbindelse med en række industrispildevandstyper, hvor nyttestoffer kan hentes ud af spildevandet inden rensning.</p>	<p>Filtrering gennem filterdug med varierende porestørrelse afhængig af den ønskede funktion.</p> <p>Kan drives uden og med forstærket effekt gennem kemisk fældning.</p> <p>Filterdugen renholdes gennem løbende returspuling.</p>	<p>Mikrosiftrering reducerer primært tilløbsvandets indhold af stoffer på suspenderet form. Ved kemisk forbehandling med metalsalte og/eller polymer kan fjernelsesgraderne for SS, COD og P typisk øges betydeligt.</p> <p>Har omtrent samme effektivitet som primære bundfældningstanke over for råspildevand.</p>	<p>Mikrosiftrering til forrensning af råspildevand er ikke implementeret i fuldskala i Danmark. Teknologien anvendes en del steder til forrensning af industrispildevand.</p> <p>Det vurderes, at teknologien kan have et stort fremtidigt potentiale som kompakt forbehandling af råspildevand, hvor kravene til arealbehov er afgørende.</p> <p>F&U: Videnbehov retter sig mod valg af filterdug samt langtidserfaringer med tilstopning/tilvoksning af filterdug og cost-effektiv rensning af filterdugen. Også mulighederne for forbedring af teknologiens effektivitet ved anvendelse af fældning/flokkulering er et fremtidigt udviklingsområde.</p>

2. Biologisk rensning

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Online-målere og integreret processtyring Løbende kendskab til centrale procesparametre baseret på online-måling af disse kan anvendes til dynamisk optimering af renseanlægs processer. Herved kan opnås forbedret afløbskvalitet, reduceret energiforbrug, reduceret kemikalieforbrug, forøget kapacitet og forbedret dokumentation af driften.	<p>Der eksisterer pålidelige sensorer til online-måling af kvælstof, fosfor, ilt, suspenderet stof, organisk stof, mv. Sådanne online-signaler, der viser driftstilstanden for centrale driftsparametre, kan ved kombination med determiniske mekanisme-beskrivelser for renseanlæggets funktioner medvirke til, at anlæggets processer optimeres, og at der ikke anvendes mere energi end nødvendigt til de energikrævende renseprocesser.</p> <p>Et vigtigt element er, at styringer, der traditionelt har været erfaringsbaserede på grundlag af gennemsnitsbetragtninger, nu kan tilpasses de løbende variationer i spildevandssammensætning og spildevandsmængde.</p>	Implementering af avanceret styring baseret på online-sensorer vil kunne forbedre rensningen for de fleste forureningsparametre. Fokus vil dog forventeligt overvejende ligge på kvælstofkomponenter og fosfor.	<p>Der pågår i disse år en udtalt modernisering af styringen af renseanlæg ved anvendelse af online-sensorer og avancerede styringsrutiner.</p> <p>Det vurderes, at der er et stort potentiale for forbedret afløbskvalitet, energi- og kemikaliebesparelse, kapacitetsforøgelser og forbedret dokumentation af driften ved implementering af online-baserede styringssystemer.</p> <p>F&U-eksempler: Dokumentation herunder undersøgelse af sensorer i overensstemmelse med internationale standarder (ISO), driftsstabilitet, driftsudgifter, kalibrering, osv.</p> <p>Demo-aktiviteter – behov og procedurer for løbende kalibrering, verifikation og driftsøkonomisk vedligeholdelse.</p> <p>Demo-aktiviteter, hvor der genereres og formidles dokumentation for forbedret drift, driftsbesparelser, kapacitetsforøgelser mv.</p> <p>Projekter relateret til anvendelse i driften, så denne i højere grad dokumenteres via online-målinger (til afløsning og supplement af prøvetagning og analyse). Dynamik. Dette vil understøtte sensorudviklingen.</p> <p>Demo af automatisering af små renseanlæg – herunder erfaringer med anvendelse af billige sensorer.</p> <p>Mekanisme-afklaring og rutiner for optimering af Bio-P-styring i kombination med simultanfældning.</p>
Energieffektiv beluftning Energibesparelse gennem minimering af energibehovet til beluftning af procestanke. Strategi og rutiner for mere energieffektiv udnyttelse af eksisterende beluftning - eksempelvis med brug af online-sensorer.	<p>Beluftning af procestanke er nødvendig for at sikre iltrige forhold til nitrifikation og vidtgående fjernelse af organisk stof.</p> <p>Energiforbruget til beluftning udgør den største enkeltpost på et renseanlægs energiregnskab. Besparelser på energiforbruget vil derfor ofte være markante i det totale regnskab.</p>	Uændret afløbskvalitet under samtidig energibesparelse.	<p>Internationalt og nationalt er der fokus på nedbringelse af energiforbruget til rensning af spildevand. Området er således et oplagt område for benchmarking af renseanlæg.</p> <p>Det vurderes, at der er et stort behov og et stort internationalt marked for rådgivningsydelser og teknologi på dette område.</p> <p>F&U-eksempler: Udvikling af energieffektive strategier for kontinuert regulering og direkte styring af beluftere på basis af kontrolparametre fra online-målere.</p>

<p>Energieffektiv beluftning (fortsat) Udvikling af ny/forbedret teknologi til energieffektiv beluftning/drift.</p>	<p>Optimeret beluftning kan handle om optimeret drift og udnyttelse af eksisterende beluftningsudstyr. Optimeret beluftning kan også handle om udvikling af nyt og mere energieffektivt udstyr og systemer til beluftning.</p>		<p>Udvikling af udstyr og metoder til on-site måling af eksisterende beluftereffektivitet.</p> <p>Udvikling af beluftningsteknologi og monitoreringsteknologi til mere effektiv styring af beluftning.</p>
<p>Energieffektiv pumpning og omrøring Energibesparelse gennem minimering af energibehovet til pumpning og omrøring på renseanlæg.</p> <p>Strategi og rutiner for mere energieffektiv drift af eksisterende udstyr.</p> <p>Udvikling af mere energieffektive pumper og omrøringsudstyr/drift.</p>	<p>Energiforbruget til pumpning af spildevand og slam samt til omrøring kan udgøre en ikke ubetydelig post på et renseanlægs energiregnskab. Der kan derfor være god grund til at indføre besparelser på dette område.</p> <p>Energioptimering af pumpning og omrøring kan ske ved optimering af driften af eksisterende udstyr - eventuelt med støtte fra online-sensorer.</p> <p>Området kan også inkludere udvikling af ny energieffektiv teknologi på området.</p>	<p>Uændret afløbskvalitet under samtidig energibesparelse.</p>	<p>Energispareprojekter er gennemført på en række danske anlæg. Udstyrsleverandører arbejder løbende på udvikling af mere energieffektivt udstyr.</p> <p>Det vurderes, at der er et betydeligt behov, ikke mindst internationalt, for rådgivningsydelse og teknologi på dette område.</p> <p>F&U-eksempler: Pumpe- og monitoreringsteknologi til mere energieffektiv styring af (integrering af energi og procesaspekter i pumpestyring).</p>
<p>Hydrolyseprocesser Procesoptimering gennem primær slams eller aktiv slams egenproduktion af letnedbrydeligt organisk stof, der støtter denitrifikation og biologisk fosforfjernelse samt medfører reduceret behov for dosering af fældningskemikalie til fosforfjernelse.</p>	<p>Når aktivt slam henstår ubeluftet hydrolyseres suspenderet organisk stof og der dannes opløst organisk stof hvoraf en betydelig del er letomsætteligt ved biologiske processer.</p> <p>Dette kan udnyttes på biologiske renseanlæg til at accelerere og forstærke biologiske processer, der er afhængige af sådant letomsætteligt stof – nemlig biologisk denitrifikation og biologisk fosforfjernelse. Forstærket biologisk fosforfjernelse fører ofte til et reduceret forbrug af fældningskemikalier.</p> <p>I praksis etableres slamhydrolysetanke ofte i en form, hvor returslam fra klaringsstanke henstår en tid, inden det returneres til processtankene.</p>	<p>Slamhydrolyse vil ofte føre til forbedret afløbskvalitet for fosfor og kvælstof (nitrat).</p>	<p>Der eksisterer i Danmark et større antal anlæg (30-40) med forskellige varianter af slamhydrolyse. Der er behov for yderligere mekanismeafklaring med henblik på optimalt design og drift af disse anlæg.</p> <p>Det vurderes, at der stadig er et betydeligt potentiale for udnyttelse af denne teknologi til forbedring af afløbskvaliteten på danske renseanlæg.</p> <p>F&U-eksempler: Der er behov for dokumentation af drift samt mekanismeafklaringsstudier som baggrund for optimalt design og styring af slamhydrolysen – eksempelvis i forbindelse med regn.</p> <p>Udvikling af strategi og rutiner for integrering med online-styring.</p>

<p>Membran bioreaktor-teknologi (MBR) Rensning af spildevand ved kompakt renseteknologi, hvor afløbet filtreres gennem en membran i stedet for at passere en efterklaringstank.</p> <p>Foruden rensning for sædvanlige forureningsparametre opnås også en særdeles betydelig desinfektion, og der er mulighed for fjernelse af organiske miljøfremmede stoffer.</p> <p>Teknologien har naturlige fortrin i forbindelse med genanvendelse af rensset spildevand.</p> <p>Teknologien kan desuden anvendes til betydelig kapacitetsforøgelse uden krav til øget areal – herunder også rensning af koncentrerede strømme som rejektvand.</p>	<p>Ved MBR-teknologi er et aktiv slam renseanlægs efterklaringstank erstattet med et membranfilter, der tilbageholder alt suspenderet stof og sender dette retur til procestankene.</p> <p>Membranfiltreringen kan være mikrofiltrering eller ultrafiltrering. I tilfælde af ultrafiltrering tilbageholdes foruden det suspenderede stof også makromolekyler større end membranfilterets cut-off.</p> <p>Denne teknologi gør det muligt at drive aktiv slam anlæg med betydeligt højere indhold af suspenderet stof, hvorved procestankenes kan være betydeligt mere kompakte end for traditionelle anlæg.</p>	<p>Renseanlæg baseret på MBR-teknologi fjerner de samme forureningskomponenter som tilsvarende renseanlæg baseret på traditionel teknologi. Herudover sikrer membranfiltreringen af afløbet, at det rensede spildevand er helt fri for suspenderet stof. Membranfiltreringen sikrer således en betydelig desinfektion – med ultrafiltreringen som den mest effektive.</p> <p>MBR-teknologi er endvidere i stand til at øge fjernelsen af visse langsomt-nedbrydelige miljøfremmede stoffer.</p> <p>Generelt set er afløbskvaliteten særdeles velegnet til en række genanvendelsesformål.</p>	<p>På internationalt plan er der etableret et betydeligt antal MBR-anlæg – såvel industrianlæg som anlæg til byspildevand. Der eksisterer et enkelt anlæg til industrispildevand i Danmark.</p> <p>Der arbejdes internationalt set massivt med udvikling og afprøvning af teknologien, og det vurderes, at der globalt set er et meget betydeligt marked for teknologien.</p> <p>F&U-eksempler: Demo-anlæg til etablering af danske erfaringer med MBR-teknologi evt. i kombination med undersøgelse af effekt på udvalgte organiske mikroforureninger.</p> <p>Udvikling inden for de erkendte barrierer: Fouling, energieffektiv beluftning ved høje slamkoncentrationer, hydraulisk kapacitet (herunder regn), krav til forbehandling, osv.</p> <p>Udvikling af ny dansk teknologi på området. Rejektvandsanlæg.</p> <p>Industrianlæg med genanvendelse af rensset vand.</p>
<p>Nye processer Sharon og Anammox Fjernelse af kvælstof under reduceret energiforbrug ved særlige bakterier eller ved styret, ubalanceret drift af konventionel kvælstoffjernelse.</p>	<p>Ved Sharon-processen drives den biologiske kvælstoffjernelse på næsten konventionel vis, men med nitrit som mellemprodukt i stedet for nitrat. Herved spares betydelige mængder ilt og kravet til organisk stof til denitrifikation er reduceret. Driftsformen har været kendt i praksis i DK i en årrække, idet en række industrianlæg utilsigtet har kørt med denne proces. Online-sensorer giver stærkt forbedrede muligheder for at styre og udnytte processen til besparelser i driften.</p>	<p>Processerne fjerner kvælstof fra spildevandet.</p>	<p>Der er ikke etableret kommercielle Sharon- eller Anammox-processer i Danmark. Internationalt er begge processer etableret i fuldskala på industrispildevand og rejektvandsstrømme. Specielt i Holland er udbredelsen betydelig.</p> <p>Det vurderes, at potentialet for anvendelse af Anammox er begrænset, mens potentialet for opnåelse af driftsbesparelser ved anvendelse af Sharonprocessen er til stede – ikke mindst i forbindelse med rensning af industrispildevand og rejektvandsstrømme.</p> <p>F&U-eksempler: Demo-aktiviteter med anvendelse af online-sensorer til styring, idet online-målingerne giver mulighed for at drive processerne tættere på det procesmæssigt mulige.</p>

Nye processer Sharon og Anammox (fortsat)	Ved Anammox-processen drives den biologiske kvælstoffjernelse med særlige mikroorganismer, der er i stand til at oxidere ammonium med nitrit direkte til frit kvælstof. Processen bruger langt mindre ilt end den konventionelle kvælstoffjernelse og den bruger ikke organisk stof til denitrifikation. Processen er imidlertid ikke let at balancere og har mest potentiale på særligt industrispildevand og separate strømme som rejeckt vand.	Demo-aktiviteter til rejeckt vandsbehandling og industrielt spildevand.
--	---	---

3. Efterklaring

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, potentiale og F&U-behov
Optimering af hydraulik Kapacitetsforøgelse ved forbedret udnyttelse af efterklaringstank. Forbedret afløbskvalitet for suspenderet stof.	Kapaciteten og effektiviteten af efterklaringstanke kan ofte øges gennem optimering af tilløbs- og afløbsarrangement, der sigter mod at styre og forbedre hydraulikken, så hele klaringstankens volumen udnyttes maksimalt. Tilløbsarrangementer, der fremmer flokkulering af slammet ved indløbet til tanken, kan forbedre slammets bundfældningsegenskaber.	Optimeret hydraulik i efterklaringstanke sigter mod en forbedret funktion og dermed en reduceret udledning af suspenderet stof – samt tilhørende indhold af organisk stof og næringsstoffer. I det omfang den forbedrede kapacitet i efterklaringstankene anvendes til at behandle mere spildevand under regn, vil der være tale om en aflastning af recipienten for alle relevante forureningskomponenter, der ellers ville løbe til recipient via overløb.	Tiltag til optimering af hydraulik i danske efterklaringstanke er kun implementeret i beskedent omfang. Det vurderes, at der er et betydeligt potentiale for forøget kapacitet i eksisterende efterklaringstanke. F&U-eksempler: Strategier for optimal drift eksempelvis slampumpning. 3D-modellering af klaringstanke som værktøj for forbedret design af tilløb, afløb, dybde mv. Metoder til identifikation af og skelnen mellem forskellige flaskehalse i klaringstanke (hydraulik, slamegenskaber osv.). Optimeret udformning og placering af tilløb og afløb.
Online-styring Forøget kapacitet og forbedret afløbskvalitet gennem styring på basis af online-målere i klaringstanke.	Online-sensorer til dynamisk overvågning af driftstilstand af efterklaringstanke og tilhørende styringsrutiner vil give mulighed for at drive tankene mere optimalt og udnytte tankenes kapacitet fuldt ud – ikke mindst i perioder med regn.	I det omfang, den forbedrede kapacitet i efterklaringstankene anvendes til at behandle mere spildevand under regn, vil der være tale om en aflastning af recipienten for alle relevante forureningskomponenter, der ellers ville løbe til recipient via overløb.	F&U-eksempler: Sensorer til online-overvågning for maksimering af eksisterende kapacitet. Integrering af efterklaringsdrift i online-styring af renseanlæg, der i dag oftest fokuserer på procestanke.
Regnstyring Kapacitetsforøgelse af renseanlæg under regn.	Særlige tiltag kan igangsættes for at sikre maksimal udnyttelse af eksisterende renseanlæg i perioder med langvarig regnvejrsbelastning.	Regnstyring af renseanlæg sigter mod maksimal udnyttelse af de eksisterende anlæg under regn og sikrer dermed en minimering af belastningen af recipienter gennem overløb for alle relevante forureningskomponenter.	Regnstyring er implementeret i forskellige udgaver på et antal danske renseanlæg. Det vurderes, at der fortsat er et stort potentiale for nedbringning af forurening via overløb ved yderligere udvikling og udbredelse af sådanne styringer.

Regnstyring (fortsat)	Det kan være styringsstrategier, hvor visse procestanke omstilles til bundfældningstanke, og det aktive slam på den måde tilbageholdes i anlægget uden at belaste efterklaringstankene. Andre styringsstrategier kan sigte mod at anvende online-målere i klaringsstanken til sikring af maksimal belastning uden slamflugt.	F&U eksempler: Udvikling og anvendelse af online-målere af slamspejl og slamreturstyring. Rutiner for styring. Udvikling/demo. Demo-aktiviteter for erfaringsopbygning mhb. på kvantificering af opnået besparelse i udledte mængder til recipient - spredning af viden.
------------------------------	--	--

4. Polering/efterbehandling Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Sandfiltrering Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter. Forbedring af afløbskvalitet ved vidtgående fjernelse af suspenderet stof. Genanvendelse (rekreative søer og kanaler, vanding, bilvask, industrielt vand).	Filtrering gennem et eller flere lag af sand. Kan enten drives diskontinuerligt dvs. med periodevis returskylning af sandmassen, eller kontinuerligt dvs. med løbende "vask" af sandmassen (dynamiske filtre). Kan drives med og uden forstærket effekt gennem kemisk fældning. Stærkt begrænset kendskab til effektivitet over for tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer.	Sandfiltrering reducerer primært afløbsvandets indhold af stoffer på suspenderet form. Ved kemisk forbehandling med metalsalte og/eller polymer kan fjernelsesgraderne for SS, COD og P typisk øges betydeligt. Sandfiltrering har ikke egentlig desinficerende effekt. Reduktion af indikatorbakterier ligger dog typisk omkring 1 log-enheds. Kun tungmetaller og mikroorganiske forureninger i form af, eller adsorberet til suspenderet stof vil blive fjernet. Kemisk fældning vil typisk øge mængden af disse komponenter på suspenderet form.	Mange anlæg etableret internationalt og nationalt. F&U eksempler: Udvikling af optimering af behov for returskyl - minimering af vandspild samt energiforbrug. Demo-aktiviteter til belysning af fjernelse af miljøfremmede stoffer.
Mikrosifiltrering Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter. Forbedring af afløbskvalitet ved vidtgående fjernelse af suspenderet stof.	Filtrering gennem filterdug. Tilbageholdt suspenderet stof tilbageføres med skyllevand til renseanlæggets tilløb. Kan drives med og uden forstærket effekt gennem kemisk fældning. Mikrosifiltrering er en kompakt proces sammenlignet med sandfiltrering. Ved anvendelse af meget tætte filterdug opnås god afløbskvalitet men også forøget pasningsbehov for at imødegå tilstopning af filterdugen.	Mikrosifiltrering reducerer primært afløbsvandets indhold af stoffer på suspenderet form. Ved kemisk forbehandling med metalsalte og/eller polymer kan effektiviteten over for SS, COD og P typisk øges betydeligt. Mikrosifiltrering har ikke egentlig desinficerende effekt. Reduktion af indikatorbakterier ligger dog typisk omkring 1 log-enheds. Tungmetaller og organiske mikroforureninger i form af - eller adsorberet til - suspenderet stof vil blive fjernet. Kemisk fældning vil typisk øge mængden af disse komponenter på suspenderet form.	Enkelte fuldskalainstallationer er i drift i Danmark til dette formål. Internationalt set er mange anlæg i drift. Det vurderes, at der nationalt og internationalt er et stort potentiale for teknologien i forbindelse med polering af rensset spildevand. F&U-eksempler: Demo-aktiviteter til belysning af langtidserfaringer med tilstopning/tilvoksning og cost-effektiv renholdelse af filterdug. Udviklingsaktiviteter knyttet til forbedret effektivitet af teknologien ved kombination med kemisk fældning/flokkulering.

Mikrosifiltrering (fortsat)			Demo-aktiviteter til undersøgelse af teknologiens effektivitet over for mikroforureninger i relation til implementering af Vandrammedirektiv.
<p>Aktiv kulfiltrering Fjernelse af organiske og uorganiske mikroforureninger, der har tendens til adsorption på aktivt kul.</p> <p>Forbedring af afløbskvaliteten med hensyn til mikroforureninger, der ikke er fjernet i det biologiske renselanlæg.</p> <p>Er muligvis mest relevant for industrielle renselanlæg med separat udledning. Det kan dog ikke udelukkes, at teknologien vil kunne være interessant for kommunale renselanlæg med udledning til særlig følsom recipient.</p>	<p>Det rensede spildevand tilledes aktiv kulfiltre efter passage af efterklaringsstank. I aktiv kulfiltrene adsorberes en række forureningskomponenter til overfladen på granuleret aktivt kul. Det aktive kul mættes, efterhånden som de aktive sites på overfladen inaktiveres af de adsorberede forureningskomponenter, og efter en tid erstattes de mættede aktive kul af nyt aktivt kul. Det brugte aktive kul regenereres på centrale anlæg eller bortskaffes ved forbrænding.</p>	<p>Aktiv kulfiltre fjerner hovedsagelig organiske stoffer eller tungmetaller med affinitet over for de aktuelt anvendte kul. Der findes en lang række typer af aktivt kul, hvor valget af kulstype således vil afhænge af den/de relevante forureningsparametre. Der opstår ofte mikrobiel vækst i aktiv kulfiltre, der eventuelt kan understøtte fjernelsen af organiske, nedbrydelige mikroforureninger.</p>	<p>Aktiv kulfiltre benyttes i begrænset omfang til rensning af industrispildevand i Danmark i dag, men benyttes i vidt omfang internationalt til dette formål.</p> <p>Det er vanskeligt at vurdere potentialet for anvendelse af aktivt kul til polering af rensede spildevand fra kommunale renselanlæg. Internationalt kan potentialet være betydeligt for både industrielt og kommunalt spildevand på markeder, hvor det udledte spildevand umiddelbart kan påvirke kvaliteten af overfladevand, der anvendes til drikkevandsfremstilling.</p> <p>F&U-eksempler: Øget viden om, hvilke mikroforureninger der kan fjernes med aktivt kul.</p> <p>Information om cost-effektiviteten af teknologien sammenlignet med alternative poleringsmuligheder til de samme forureningskomponenter.</p>
<p>Tertiære biologiske rislefiltre Fjernelse af organiske mikroforureninger, der ikke reduceres tilstrækkeligt ved den biologiske traditionelle rensning.</p> <p>Forbedring af afløbskvalitet med hensyn til biologisk omsættelige men svært-nedbrydelige mikroforureninger, der kræver særlige - ofte langsomtvoksende - mikroorganismer.</p>	<p>Det rensede spildevand ledes over biologiske rislefiltre indrettet til polering af rensede spildevand for yderligere fjernelse af organiske mikroforureninger ved omsætning forårsaget af fastsiddende mikrobiologiske kulturer.</p> <p>Der findes en lang række forskellige fysiske udformninger af biologiske filtre, hvoraf de hyppigst anvendte er traditionelle rislefiltre baseret på plastikfyldlegemer.</p>	<p>Ved tertiære biologiske rislefiltre kan fjernes organiske, nedbrydelige mikroforureninger, der ikke har kunnet omsættes fuldstændigt i det traditionelle biologiske renselanlæg. Teknologien vil også omdanne restindhold af ammonium-kvælstof til nitrat-kvælstof.</p>	<p>Der foreligger ikke undersøgelser af tertiære biologiske rislefiltre i stor skala i Danmark.</p> <p>Det er vanskeligt at vurdere potentialet for teknologien – både nationalt og internationalt.</p> <p>F&U-eksempler: Der mangler information om procesmæssige muligheder og effektiviteter – hvilke komponenter kan fjernes og hvor effektivt. Endvidere mangler der information om cost-effektiviteten af teknologien.</p> <p>Pilotskalaundersøgelser til belysning af ovenstående.</p>
<p>Forceret sedimentation Fjernelse af suspenderede forureningskomponenter.</p> <p>Forbedring af afløbskvalitet ved vidtgående fjernelse af suspenderet stof og opløst fosfor.</p>	<p>Kemisk bundfældningsproces, hvor bundfældningshastigheden er stærkt forøget via tilsætning af mikrosand.</p> <p>Forceret sedimentation er en særdeles kompakt proces sammenlignet med sandfiltrering.</p>	<p>Ved forceret sedimentation fjernes suspenderet stof og dertil bundet COD, N og P. Den kemiske fældningsproces er endvidere effektiv over for opløst fosfor.</p>	<p>Et enkelt fuldskala anlæg er etableret i Danmark til denne anvendelse.</p> <p>Renseteknologien er relevant, og potentialet afhænger af cost-effektiviteten til den aktuelle applikation sammenlignet med alternativerne.</p>

Forceret sedimentation (fortsat)		Forceret sedimentation må antages at være mere effektiv end sandfiltrering og mikrosining over for tungmetaller og mikroorganiske forureninger, især hvis disse processer ikke kombineres med kemisk fældning.	F&U-eksempler: Demo-aktiviteter for langtidserfaringer med praktisk drift med fokus på driftsresultater og driftsøkonomi – herunder især energi- og kemikalieforbrug samt behov for pasning og overvågning.
UV-desinfektion Inaktivering af mikroorganismer ved belysning med UV-stråler.	Spildevandet desinficeres ved bestråling med ultraviolet lys via UV-lamper neddykket i et gennemløbskammer.	Inaktivering af mikroorganismer og eventuelt i nogen grad fjernelse af mikroorganiske forureninger.	Effektivitet til fjernelse af miljøfremmede stoffer og mikroorganismer. Velkendt og robust teknologi med udbredt anvendelse internationalt. I Danmark endnu kun enkelte fuldskala anlæg implementeret.
Forbedring af afløbets hygiejniske kvalitet - typisk af hensyn til badevandskvalitet.	UV-desinfektion kræver forudgående polering for suspenderede forureningskomponenter.	Typisk opnås en fjernelse af bakteriekim på 2-3 log-enheder.	Stort potentiale i kraft af kompakt teknologi. Fokus på badevandskvalitet og genanvendelse af rensed spildevand til rekreative formål. Demo-projekter for struktureret erfaringsopsamling – indretning/design af gennemløbskammer i relation til effektivitet, levetid, renholdelse osv.
Kemisk desinfektion Inaktivering af mikroorganismer ved tilsætning af kemisk desinfektant.	Kemiske desinfektanter tilsættes til det rensede spildevand. Kræver oftest en vis opholdstid for at sikre tilstrækkelig effektivitet.	Inaktivering af mikroorganismer gennem kemisk oxidation.	Nyt område i Danmark men med forventeligt stort potentiale i kraft af den store interesse for badevandskvalitet.
Forbedring af afløbets hygiejniske kvalitet - typisk af hensyn til badevandskvalitet.	I store dele af verden bruges klor som desinfektant, men der arbejdes i stigende grad på at udvikle nye mere miljøvenlige og bionedbrydelige desinfektanter.		F&U eksempler: Udvikling af nye desinfektanter. Test og demonstration af muligheder med nye desinfektanter. Neutralisering af desinfektionseffekt og eventuelle sekundæreffekter (f.eks. iltforbrug ved nedbrydning) inden udløb til recipient.
Kemisk oxidation Nedbrydning af organisk stof ved kemisk oxidation – ofte ozon. Samtidig desinfektion.	Stærkt oxiderende kemikalie – eksempelvis ozon – tilsættes det rensede spildevand, hvorefter der i en reaktionstank sker en hel eller delvis nedbrydning af opløst organisk stof.	Selektiv fjernelse af mikroforureninger gennem tilsætning af kemisk oxidant.	Et antal ozon-anlæg internationalt med forskellige formål: Fjernelse af bestemte miljøfremmede stoffer, generel fjernelse af opløst organisk stof, farvefjernelse, desinfektion mv.
Forbedring af spildevandets kvalitet med henblik på reduceret indhold af opløst organisk stof og kvælstof. Forbedret rensning ved reinjektion til grundvandet (ground water recharge). Affarvning af det rensede spildevand med henblik på rekreativ anvendelse.	Nogle kemiske oxidationsmidler er selektive på den måde, at de fortrinsvis angriber bestemte kemiske bindinger.	Generel nedbringelse af opløst organisk stof og opløst kvælstof, der ikke fjernes ved biologisk behandling.	I Danmark et enkelt kommunalt anlæg til nedbringelse af opløst organisk stof og kvælstof.
	Den delvise nedbrydning medfører, at der kan blive behov for efterfølgende biologisk polering for organisk stof og kvælstof. Dette dog næppe relevant ved fjernelse af mikroforureninger.	Der sker samtidig desinfektion gennem kemisk oxidation af mikroorganismer.	F&U: Demo-aktiviteter med design og effektivitet under danske forhold. Fjernelse af specifikke organiske mikroforureninger med ozon. Samtidig monitoring af desinfektionseffektivitet bør indgå.

<p>Avanceret oxidationsteknologi (AOT) Fjernelse af sværtnedbrydelige organiske forureninger ved kraftig kemisk oxidation.</p> <p>Forbedring af afløbskvalitet ved fjernelse af miljøfremmede stoffer eller sværtnedbrydeligt COD med samtidig desinfektion til følge.</p>	<p>Der eksisterer et antal avancerede oxidationsprocesser til behandling af spildevand. Fællestrækket er, at der gennem processen genereres hydroxylradikaler, der er ekstremt stærkt oxiderende. Herved sker der en delvis eller fuldstændig kemisk oxidation af organisk stof – herunder mikroorganismer. Ved oxidationen frigives eksempelvis kvælstof, der har været bundet i det organiske stof. Ofte er nedbrydningen af organisk stof delvis, og der kan dannes biologisk nedbrydelige mellemprodukter. Der opstår således ofte behov for efterfølgende biologisk rensning for organisk stof og kvælstof.</p> <p>Anvendelse af UV-baseret AOT stiller krav til forudgående polering for suspenderet stof af hensyn til processens effektivitet.</p>	<p>Ved AOT reduceres indholdet af opløst rest-organisk stof og opløst rest-kvælstof efter biologisk rensning.</p> <p>AOT kan også reducere organiske miljøfremmede stoffer, der ikke eller kun delvist nedbrydes biologisk.</p> <p>Gennem AOT finder der en effektiv desinfektion sted.</p>	<p>Et enkelt anlæg er implementeret i Danmark.. Erfaringerne med drift af anlægget er endnu beskedne. Også internationalt set er der tale om beskeden fuldskala implementering.</p> <p>F&U-eksempler: Sammenlignende studier i stor skala af kemisk oxidation f.eks. ozon med de mindre specifikke AOT.</p> <p>Udviklingsaktiviteter til fastlæggelse af cost-effektivt design og anvendelse.</p> <p>Inddragelse af desinfektionselementet i diverse undersøgelser.</p>
<p>Membranfiltrering Fjernelse af suspenderet stof og eventuelt makromolekylært organisk stof samt opløste salte – afhængigt af membrantype.</p> <p>Forbedring af afløbskvalitet ved fjernelse af miljøfremmede stoffer med samtidig desinfektion til følge.</p> <p>Afløbskvalitet, der er særdeles anvendelig til en lang række genanvendelsesformål.</p>	<p>Det rensede spildevand tvinges gennem en membran ved etablering af en trykgradient over membranen.</p> <p>Herved sker en fjernelse af suspenderede og opløste forureningskomponenter afhængigt af tætheden af den anvendte membran.</p> <p>Samtidig sker der en desinfektion gennem tilbageholdelse af mikroorganismer.</p> <p>Problemerne knyttet til denne teknologi er ofte relateret til tilsætning af membranen med deraf følgende stigende energiforbrug og forbrug af renskemikalier og nye membraner.</p>	<p>Ved membranfiltrering kan med stigende tæthed og energiforbrug fjernes forureningskomponenter dækkende fra suspenderet stof (mikrofiltrering) over makromolekyler (ultrafiltrering) til små molekyler som opløste salte (omvendt osmose).</p>	<p>Der er ikke implementeret fuldskala anlæg med membranfiltrering af efterklaret afløb fra kommunale anlæg i Danmark. Også internationalt er erfaringerne beskedne - bortset fra NEWater-projektet i Singapore, NEWater (2007).</p> <p>Potentialet vurderes på sigt at være stort til produktion af vand til forskellige genanvendelsesformål – såvel for kommunale renselanlæg som industrirenselanlæg.</p> <p>F&U-eksempler: Demo-aktiviteter med genanvendelse af rensset spildvand til belysning af optimalt design af løsninger for energieffektiv membranfiltrering af rensset spildevand.</p> <p>Undersøgelser til minimering af fouling (tilstopning) og teknologi til løbende overvågning af og renholdelse af membraner.</p>

Oversigt over teknologier til slambehandling

SLAM

1. Fysisk/kemisk forbehandling

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
<p>Termisk behandling i kombination med tryksætning Forbehandling af biologisk slam inden udrådning.</p> <p>Minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.</p>	<p>Slammet opvarmes til omkring 180°C. Den høje temperatur holdes i ca. 20 minutter, hvorefter slammet nedkøles og ledes til rådnetank. Opvarmningen resulterer i en forøgelse af det organiske materiales nedbrydelighed i den efterfølgende udrådningsproces. Udrådningsprocessen kan drives enten mesofilt eller termofilt.</p> <p>Opvarmningen resulterer endvidere i en hygiejnisering af slammet.</p> <p>Metoden kræver et relativt omfattende procesudstyr og er investeringstung.</p>		<p>Relativ ny teknologi, udviklet i starten af 1990'erne under navnet "Cambi". Globalt er der til dato etableret 10-12 anlæg, heraf to i Danmark.</p> <p>Der er generelt et stort potentiale for slambehandlingsprocesser, der minimerer slammængden og maksimerer energiudbyttet. Den medfølgende hygiejnisering af slammet er en betydelig fordel ved termisk-/trykbehandling.</p> <p>F&U: Der er behov for dokumentation af teknologiens cost-effektivitet sammenlignet med andre alternative forbehandlingsmetoder.</p>
<p>Kemisk behandling i kombination med tryksætning Forbehandling af biologisk slam inden udrådning.</p> <p>Minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.</p>	<p>Slammet tilsættes lud og pumpe under højt tryk til et særligt ventilsystem, hvor trykket falder på meget kort tid. Det pludselige trykfald i kombination med effekten af kemikalietilsætningen resulterer i en mekanisk disintegration af det suspendede stof i slammet. Herved øges nedbrydeligheden af det organiske materiale i den efterfølgende udrådningsproces.</p>		<p>Processen er udviklet i slutningen af 1990'erne under navnet "MicroSludge". Der er så vidt vides endnu kun etableret et enkelt fuldskala demonstrationsanlæg (Canada).</p> <p>Der er generelt et stort potentiale for slambehandlingsprocesser, der minimerer slammængden og maksimerer energiudbyttet.</p> <p>F&U: Der er behov for dokumentation af processen via etablering og drift af fuldskala anlæg.</p>
<p>Ultralud Forbehandling af biologisk slam inden udrådning.</p> <p>Minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.</p>	<p>Slammet passerer en ultraludsgiver, hvorved der sker en mekanisk disintegration af det suspendede stof i slammet. Herved øges nedbrydeligheden af det organiske materiale i den efterfølgende udrådningsproces.</p>		<p>Relativ ny teknologi, udviklet og markedsført parallelt af en række firmaer i slutningen af 1990'erne. Der er etableret et halvt hundrede anlæg globalt, heraf ét i Danmark.</p> <p>Der er generelt et stort potentiale for slambehandlingsprocesser, der minimerer slammængden og maksimerer energiudbyttet. Investeringsomkostningerne ved etablering af ultraludsbehandling er relativt lave, og metoden er teknisk ukompliceret.</p> <p>Der pågår en stadig udvikling mod forbedring af energieffektiviteten ved ultraludsbehandling.</p>

Ultralyd (fortsat)	<p>Ultralydsbehandling er kun rentabel for biologisk slam. Typisk behandles kun omkring en tredjedel af det biologiske slam med ultralyd, da behandling af en større del resulterer i forringede afvandingsegenskaber.</p> <p>Ultralyd kan sekundært bruges til bekæmpelse af trådformende bakterier i aktivt slam med deraf følgende forbedring i slammets bundfældningsegenskaber.</p>	<p>F&U: Der synes at være et behov for udvikling af en bedre forståelsesmodel for mekanismen bag forbedringen af gasproduktionen (større partikeloverflade, aktivering af enzymer).</p>
<p>Mekanisk disintegration Forbehandling af biologisk slam inden udrådning.</p> <p>Minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.</p>	<p>Slammet pumpes under højt tryk gennem en dyse, hvor trykket momentant sænkes til atmosfære tryk. Herved opstår der hydrodynamisk kavitation, hvilket resulterer i disintegration af det suspenderede stof og dermed en øget tilgængelighed af det organiske stof under den efterfølgende nedbrydning i rådnetanken.</p>	<p>Teknologien er ganske veletableret. I Europa er etableret 15-20 anlæg heraf ét i Danmark.</p> <p>Der er generelt et stort potentiale for slambehandlingsprocesser, der minimerer slammængden og maksimerer energiudbyttet.</p> <p>F&U: Der er behov for dokumentation af teknologiens cost-effektivitet sammenlignet med andre alternative forbehandlingsmetoder.</p>
<p>Tilsætning af enzymer Forbehandling af biologisk slam inden udrådning.</p> <p>Minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.</p>	<p>Enzymer med hydrolytisk virkning indblandes i slammet, hvorved nedbrydeligheden af det organiske materiale i slammet øges i den efterfølgende udrådningsproces.</p>	<p>Teknologien er endnu på forsøgsstadiet. Der pågår forsøg i fuldskala i Danmark.</p> <p>Der er generelt et stort potentiale for slambehandlingsprocesser, der minimerer slammængden og maksimerer energiudbyttet. Investeringsomkostningerne ved etablering af enzymatisk behandling er lave, og metoden er teknisk ukompliceret. Potentialet er derfor stort, hvis oplukningseffekten kan gøres tilstrækkelig cost-effektiv.</p> <p>F&U: Der er behov for at finde frem til mere effektive typer af enzymer.</p> <p>Der er behov for dokumentation af processen via etablering og drift af enzymatisk behandling i fuldskala.</p>

2. Slamstabilisering og hygiejnisering

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Termofil udrådning Drift af rådnetanke ved forhøjet temperatur. Forøgelse af rådnetankskapacitet via forøget proceshastighed. Minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.	<p>Termofil udrådning er i princippet samme proces som konventionel udrådning ved 30-35°C, idet driftstemperaturen blot er hævet til 50-55°C. Herved øges proceshastigheden således at den nødvendige opholdstid sænkes fra 25-30 dage til 10-15 dage.</p> <p>Omstilling af eksisterende mesofile rådnetanke til termofil drift vil typisk kræve ændringer/udskiftning af varmevekslere og andet udstyr.</p> <p>Den forhøjede temperatur kræver ekstra opmærksomhed i forhold til generel driftsovervågning, og specielt hvad angår risiko for påbrændinger af slam i varmevekslerne.</p>		<p>Termofil udrådning er internationalt set en velkendt og etableret teknologi. I Danmark findes indtil videre kun 5-10 fuldskala installationer.</p> <p>Det vurderes, at termofil udrådning har et betydeligt potentiale, såvel ved nybygning som ved ombygning af eksisterende mesofile rådnetanke til termofil drift.</p> <p>F&U-behov: Der er behov for systematisk opsamling af driftserfaringer fra de eksisterende danske anlæg.</p>
Slamkompostering Aerob slamstabilisering af slutfavandet slam efter blanding med strukturmateriale. Minimering af slammængde, forbedret hygiejniseringseffekt samt slutprodukt med gode jordbrugsegenskaber.	<p>Slutfavandet slam blandes med et strukturmateriale, f.eks. have/parkaffald. Herved opnås en kompostblanding med tilstrækkelig porøsitet til, at luft kan trænge ind i blandingen og starte en aerob nedbrydningsproces af det organiske materiale. Nedbrydningsprocessen udvikler varme, som bevirker, at temperaturen i perioder under komposteringsprocessen kan nå 60-70°C. Herved opnås en god hygiejniseringseffekt. Komposteringsprocessen kan udformes som en lavteknologisk proces med åbne kompostmiler og passiv beluftning, eller som en højteknologisk proces med lukkede reaktorer og mekanisk beluftning.</p> <p>Kompostering er specielt attraktiv i kraft af, at slutproduktet – den færdige kompost – er et lugtfrit, lethåndterbart og æstetisk fremtrædende jordforbedringsprodukt med god gødningsværdi.</p>		<p>Slamkompostering er en velkendt og etableret teknologi både internationalt og i Danmark. Der findes for tiden en håndfuld fuldskala anlæg i Danmark – alle baseret på mileteknologi.</p> <p>Det vurderes, at der er et betydeligt potentiale for slamkompostering, specielt i kraft af genanvendelsesaspektet.</p> <p>F&U-behov: Der er behov for opsamling af driftserfaringer fra eksisterende danske slamkomposteringsanlæg samt for udvikling og afprøvning af metoder til lugtbekæmpelse.</p>

<p>Slammineralisering Slutafvanding og aerob slamstabilisering ved langtidsopbevaring i jordbassiner beplantet med tagrør.</p> <p>Minimering af slammængde.</p>	<p>Aktiv slam, direkte fra luftningstank, eller som returslam, pumpes til et bassin opdelt i celler, der hver er tilplantet med tagrør og forsynet med et drænarrangement. Det våde slam afdrænes, og der efterlades et slamlag i bunden af bassinet. I slamlaget sker en aerob nedbrydningsproces fremmet af tagrørene, som har en evne til at transportere luft ned til rødderne og i øvrigt bevirker, at slamlaget holdes porøst.</p> <p>Slamlaget i cellerne udgraves typisk efter omkring 10 år, og TS-indholdet er typisk omkring 40% TS.</p> <p>Driftserfaringer viser, at belastningssekvensen af de enkelte celler er af stor betydning for procesforløbet.</p> <p>Driftserfaringer viser, at udrådnet slam afdræner dårligt i slammineraliseringsbassiner.</p>	<p>Slammineralisering er en relativ ny teknologi udviklet i slutningen af 1980'erne. Slammineralisering har vundet ganske vid udbredelse både internationalt og i Danmark. I Danmark findes der for tiden omkring 100 slammineraliseringsanlæg.</p> <p>Det vurderes, at der er et betydeligt potentiale for slammineralisering, specielt i kraft af overflødiggørelse af den mekaniske slutafvanding og den relativt ukomplicerede teknologi.</p> <p>F&U: Der er behov for opsamling af driftserfaringer fra eksisterende danske anlæg samt fastlæggelse/dokumentation af retningslinier for optimal drift (specifik belastning, slamtyper, celleantal, hviletider, etc.)</p>
<p>Slamhygiejnisering Reduktion af smittekim i slam med henblik på muliggørelse af udbringning på landbrugsjord uden hygiejnisk begrundede restriktioner.</p>	<p>Slammet varmebehandles i separat hygiejniseringsstank, enten alene eller i kombination med en udrådningsproces. Ved anvendelse af hygiejniseringsstank alene er der i Danmark krav om en minimumstemperatur på 70°C ved en opholdstid på 1 time, for at anvendelse til jordbrugsformål kan ske uden hygiejnisk begrundede restriktioner.</p>	<p>Slamhygiejnisering i separat hygiejniseringsstank er en veletableret teknologi. Fra Danmark kendes dog kun få installationer.</p> <p>I situationer, hvor slammet er egnet til slutdisponering i forbindelse med jordbrugsformål, vurderes hygiejnisering i separat tank – specielt i kombination med udrådning – at være en interessant mulighed for mange renseanlæg.</p> <p>F&U: Der er behov for driftserfaringer i forhold til varmeveksling og dokumentation af energieffektivitet.</p>

3. Slutafvandning

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Konditionering Forbedring af afvandingssegenskaber med deraf følgende minimering af slammængder.	<p>Mekaniske afvandingsprocesser kræver en forudgående konditionering af slammet i form af tilsætning af polymer.</p> <p>Ud over denne konventionelle og meget vidt udbredte konditioneringsproces har andre behandlinger af slammet været undersøgt med henblik på at effektivisere afvandingsprocessen.</p>		<p>Bortset fra konventionel konditionering (hovedsagelig tilsætning af polymer) synes KemiCond-processen p.t. at være den eneste teknologi, der direkte sigter mod forbedring af afvandingssegenskaber. KemiCond-processen er udviklet inden for de seneste 4-5 år, og der arbejdes stadig på optimering af processen. Der findes p.t. kun én fuldskala installation (Sverige).</p> <p>Det vurderes, at der er et betydeligt potentiale for KemiCond-processen i kraft af de store besparelser, som følger med en formindskelse af det volumen af slam, der skal slutdisponeres.</p> <p>F&U: Der er behov for demonstrationsaktiviteter til belysning af effekten på afvandingssegenskaber som funktion af driftsparametre som kemikaliedosering, typen af afvandingsudstyr og slamtype. Der synes at være behov for en bedre forståelse af sammenhængen mellem slamtype, kemikaliedosering, afvandingsmetode og opnåeligt TS-indhold.</p>

4. Tørring, forbrænding, vådoxidation og termisk forgasning

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Tørring Vidtgående nedbringelse af vandindholdet i slam med deraf følgende stor volumenreduktion. Forproces til forbrænding, eller slutproces før anvendelse til jordbrugsformål.	<p>Slammet ledes til en reaktor, hvor tørreprocessen kan være enten direkte eller indirekte. Ved direkte tørring er slammet i direkte kontakt med varm luft (400-650°C). Ved indirekte tørring er slammet i kontakt med varme overflader, der opvarmes med indvending cirkulation af f.eks. varm olie.</p> <p>Ved tørreprocesser opnås typisk et TS-indhold på over 90%.</p> <p>Ved brug af pelleteringsteknologi kan der ved tørring fremstilles et let håndterbart gødningsprodukt.</p>		<p>Tørring er en velkendt og veletableret teknologi i mange sammenhænge, herunder som forproces til slamforbrænding, eller slutproces før anvendelse af slam til jordbrugsformål. I Danmark findes en håndfuld installationer på renseanlæg – fortrinsvist som forproces til forbrænding.</p> <p>Det vurderes, at der er et betydeligt potentiale for tørring, specielt som forproces for forbrænding.</p>

<p>Forbrænding Vidtgående volumenreduktion før slutdisponering.</p>	<p>Slammet forbrændes fuldstændigt ved tilførsel af tilstrækkelige luftmængder ved en temperatur på 800-900°C. Asken fra forbrændingsprocessen deponeres eller genanvendes, f.eks. i cementproduktion. Røggassen indeholder en række forureningskomponenter, herunder støv, tungmetaller og kvælstofforbindelser, der må fjernes i særlige røggasrensprocesser.</p> <p>Forbrænding repræsenterer den videst mulige volumenreduktion og giver endvidere en høj forsyningssikkerhed sammenlignet med anvendelse til jordbrugsformål.</p>	<p>Slamforbrænding er en velkendt og veletableret teknologi såvel internationalt som i Danmark. Der findes p.t. omkring 10 egentlige slamforbrændingsanlæg i Danmark.</p> <p>Det vurderes, at der er et stort potentiale for slamforbrænding, specielt i kraft af høj forsyningssikkerhed.</p> <p>F&U: Der er behov for forskning og udvikling omkring metoder til genanvendelse af aske, herunder som tilsætningsmateriale ved cementproduktion.</p>
<p>Vådoxidation Vidtgående volumenreduktion før slutdisponering</p>	<p>Vådt slam (typisk 5-10% TS) opvarmes under tryk, og der tilsættes et oxidationsmiddel. Herved sker der en vidtgående oxidation af slammets indhold af organisk materiale. Vådoxidationsprocesser drives ved forskellige niveauer for temperatur og tryk. Processer, der opererer med relativt lave temperaturer og tryk, har betydelige fordele ved, at der ikke stilles så høje krav til materialevalg og ved, at rejektivandet fra den efterfølgende afvanding er lettere at behandle. For en sådan proces ligger temperaturen på omkring 230°C og trykket på 40-50 bar.</p>	<p>Vådoxidation er en velkendt og veletableret proces til behandling af koncentrerede industrispildevandsstrømme med højt indhold af svært nedbrydeligt organisk materiale. I forbindelse med behandling af slam har metoden indtil videre kun haft lille udbredelse. Der er ingen anlæg i drift i Danmark.</p> <p>Vådoxidation er et alternativ til konventionel forbrænding, hvorfra processen adskiller sig ved, at tørringstrinet undgås, og at der produceres et rejektivand, der kan være vanskeligere at behandle end rejektivand fra konventionel slutfafvanding.</p> <p>Potentialet afhænger i høj grad af cost-effektiviteten.</p> <p>Der er behov for indhentning af driftserfaringer og dokumentation af investerings- og driftsomkostninger.</p>
<p>Termisk forgasning Udvinding af brandbare gasser fra organisk materiale i slam ved opvarmning.</p> <p>Vidtgående minimering af slammængde og maksimering af energiudbytte.</p>	<p>Slammet forbrændes delvist, idet der tilføres en mindre luftmængde end nødvendigt ved fuldstændig forbrænding. Procestemperaturen ligger i området 800-1.000°C. Processen generer brandbare gasser samt et energiholdigt kulprodukt eller et inert slaggeprodukt.</p> <p>Teknisk kompliceret anlæg.</p>	<p>Termisk forgasning af slam er velkendt som princip, men stadig på udviklingsstadiet i forhold til praktisk anvendelse i fuldskala.</p> <p>Der er generelt et stort potentiale for slambehandlingsprocesser, der mindsker slammængden og øger energiudbyttet. Umiddelbart synes potentialet at være begrænset på grund af høje investeringsomkostninger.</p> <p>Der er behov for afklaring af tungmetallers skæbne i processen samt muligheder for genanvendelse af slaggeresten.</p> <p>Der er behov for udvikling af kommercielle cost-effektive koncept-/demonstrationsanlæg.</p>

4. Slutdisponering

Teknologi	Teknisk beskrivelse	Forureningskomponenter	Stade, økonomi, potentiale og F&U-behov
Udvinding og genanvendelse af fosfor fra slamaske Udvinding af fosfor med henblik på genanvendelse produkter som f.eks. gødning	Asken fra slamforbrænding opslemmes i en reaktor ved lavt pH (1,5). Herved bringes fosfor på opløst form. Suspenderet stof i opslemningen separeres fra ved centrifugering. Det opløste fosfor fældes ud i et efterfølgende trin, der indebærer forøgelse af pH og eventuelt tilsætning af fældningskemikalier. Et kritisk forhold ved fældningsprocessen er at undgå samtidig udfældning af tungmetaller, der i vid udstrækning bringes på opløst form i det indledende syretrin.		Relativt simpel proces, som har været demonstreret i forsøgsanlæg. Der er ikke etableret anlæg i Danmark til udvinding af fosfor fra aske fra slamforbrænding. Da fosfor globalt set er en knap ressource, kan processen tænkes at få betydelig udbredelse i takt med stigende fosformangel og med indførelse af nye lovmæssige reguleringer. Der er behov for afprøvning af teknologien i stor skala og for dokumentation af investerings- og driftsøkonomi. Endvidere er der behov for optimering af fældnings- og separationsprocesserne.
