

Miljøprojekt Nr. 800 2003

Smitstoffer i spildevand

Kasper Mølgaard, Jesper Kjølholt og Per Nielsen
Cowi A/S

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

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

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

Indhold

INDHOLD	3
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING	17
1.1 BAGGRUND	17
1.2 FORMÅL	17
1.3 AKTIVITETER	18
1.4 DELTAGERE	18
2 SMITSTOFFER I SPILDEVAND	19
2.1 SPREDNING AF SMITSTOFFER I VANDMILJØET	19
2.1.1 <i>Overlevelsessevne i vandmiljøet</i>	19
2.1.2 <i>Infektøs dosis</i>	20
2.2 SMITSTOFFER I URENSET OG RENSET SPILDEVAND SAMT RENSEEFFEKT	21
2.3 SMITSTOFFER I RECIPIENTER/BADEVAND	23
3 ERFARINGER MED OZONBEHANDLING AF SMITSTOFFER I SPILDEVAND	25
3.1 DESINFEKTION AF SPILDEVAND MED OZON	25
3.2 PRAKTISKE ERFARINGER MED OZONBEHANDLING AF SPILDEVAND	27
3.3 ØKONOMI/OMKOSTNINGER VED OZONBEHANDLING	28
4 UNDERSØGELSESPROGRAM	29
4.1 OVERORDNEDE BETRAGTNINGER	29
4.1.1 <i>Valg af lokaliteter</i>	29
4.1.2 <i>Prøvetagnings- og analyseprogram</i>	30
4.2 PRØVEUDTAGNING	31
4.3 GENERELLE SPILDEVANDSPARAMETRE	32
4.4 MIKROBIOLOGISKE PARAMETRE	32
4.4.1 <i>Ozonbehandling</i>	34
5 BESKRIVELSE AF UNDERSØGELSENS LOKALITETER	35
5.1 USSERØD RENSEANLÆG	35
5.2 KALUNDBORG CENTRALRENSANLÆG	36
5.3 SPILDEVANDCENTER AVEDØRE	37
6 RESULTATER OG DISKUSSION	39
6.1 PRØVEUDTAGNING	39
6.2 GENERELLE SPILDEVANDSPARAMETRE	39
6.2.1 <i>Sammenfatning</i>	41
6.3 MIKROBIOLOGISKE PARAMETRE	41
6.3.1 <i>Kalundborg Centralrenseanlæg</i>	41
6.3.2 <i>Spildevandscenter Avedøre</i>	44
6.3.3 <i>Usserød Renseanlæg</i>	47
6.3.4 <i>Sammenfatning</i>	50

6.4	EFFEKT AF OZONBEHANDLING	52
7	KONKLUSIONER	57
7.1	UNDERSØGELSENS STRATEGI OG METODER	57
7.2	RESULTATER AF MIKROBIOLOGISK KARAKTERISERING OG UNDERSØGELSE AF EFFEKT AF OZONBEHANDLING	57
7.2.1	<i>Mikrobiologisk karakterisering</i>	57
7.2.2	<i>Effekt af ozonbehandling</i>	61
7.3	FØRTOLKNING AF RESULTATER	62
7.4	VIDERE ARBEJDE	62
8	REFERENCER	63

Sammenfatning og konklusioner

Nærværende rapport er et resultat af et mindre litteraturstudie og et undersøgelsesprogram vedrørende forekomsten af smitstoffer i spildevand og videregående behandling af spildevand i kommunale renseanlæg.

Rapporten skal bidrage til at få ajourført den eksisterende viden dels spektret af mikroorganismer i urensset og rensset spildevand i kommunale renseanlæg, og dels om effekten af videregående spildevandsbehandling i kommunale renseanlæg overfor smitstoffer, herunder mere hårdføre typer af mikroorganismer.

Undersøgelsen af effekten af videregående behandling af rensset spildevand er i dette projekt begrænset til en meget overordnet orienterende undersøgelse af effekten af ozondosering. Der er testet for tre ozon-doseringer på hhv. 21,5; 53,5 og 84,8 g ozon/m³.

Oprindeligt var det hensigten, at undersøgelsesprogrammet både skulle omfatte et renseanlæg med ozonbehandling og et med UV-behandling. Det blev imidlertid klart i løbet af projektets indledende fase, at der ikke fandtes et UV-anlæg i Danmark, der var tilstrækkeligt indkørt til at kunne anvendes.

Valget af mikroorganismer, som er undersøgt i urensset og rensset spildevand, er baseret på overordnet at måle et bredt spektrum af mikroorganismer, herunder indikatororganismer, og patogene mikroorganismer. Der er således valgt at undersøge følgende mikroorganismer: kimtal 22° C, kimtal 37° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, enterokokker, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, herunder sporer, enterovirus og *Giardia intestinalis* samt *Cryptosporidium parvum*. Mikroorganismene er blandt andet valgt ud fra følgende kriterier: 1) Lav infektiøs dosis, 2) Stor udskillelse fra mennesker og dyr og derfor forventet stort antal i spildevandet og 3) Smitte via vand.

Undersøgelsen har omfattet 3 renseanlæg med vidt forskellige oplande.

- Usserød Renseanlæg i Hørsholm kommune. Fortrinsvis belastet med husholdningsspildevand samt et sygehus.
- Kalundborg Centralrenseanlæg. Et middelstort renseanlæg med en betydelig industriel belastning.
- Spildevandscentret Avedøre. Danmarks næststørste renseanlæg med belastning af både husholdningsspildevand, industrielt spildevand samt spildevand fra to store sygehuse.

De tre anlæg er alle udbygget til at overholde Vandmiljøhandlingsplanens krav til næringssaltfjernelse. Anlæggene er valgt pga. deres opbygning og da de repræsenterer et meget bredt udsnit af moderne danske renseanlæg.

Der foreligger kun et lille datagrundlag for både den mikrobiologiske karakterisering og effekten af ozonbehandling, hvorfor resultater og vurderinger må betragtes som værende af orienterende karakter.

Nedenstående tabel viser resultaterne af det udførte undersøgelsesprogram. De viste værdier er det gennemsnitlige indhold (antal/100 ml) i urenset spildevand.

Parameter	Kalundborg, antal/100 ml	Avedøre, antal/100 ml	Usserød, antal/100 ml
Kimtal, 22° C	3,8×10 ⁸	5,1×10 ⁸	5,3×10 ⁸
Kimtal, 37° C	2,3×10 ⁸	4,4×10 ⁸	3,7×10 ⁸
Coliforme bakterier	3,3×10 ⁷	5,4×10 ⁷	6,6×10 ⁷
Termotol. coliforme bakterier	1,4×10 ⁶	3,5×10 ⁶	1,5×10 ⁷
Enterokokker	3,6×10 ⁴	1,8×10 ⁶	2,3×10 ⁶
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	<10	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i>	7.300	2,1×10 ⁴	6,8×10 ⁴
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	5.900	2,0×10 ⁴	5,8×10 ⁴
<i>Salmonella</i>	påvist	2.800	300
Enterovirus	påvist	påvist	ikke påvist
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	2,0 (<4)	2,0 (<4)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	2,0 (<4)	2,0 (<4)

Det gennemsnitlige indhold af mikroorganismer i det urensede spildevand ved Spildevandscenter Avedøre er påvist i et væsentlig større antal end i Kalundborg. Indløbsspildevandets indhold af mikroorganismer i Usserød Renseanlæg og Spildevandscenter Avedøre er i relativ samme niveau, bortset fra *Salmonella*, som er ca. 9 gange lavere i Usserød Renseanlæg. Samtidig er indholdet af hhv. termotolerante coliforme bakterier, *Clostridium perfringens*, herunder sporer dog hhv. ca. 4½, 3,2 og 3 gange højere i Usserød end i Avedøre.

Gennemsnitligt betraget for renseanlæggene svarer de målte indhold af kimtal 22° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, enterokokker, *Salmonella* og enterovirus i urenset spildevand til litteraturens gennemsnitsniveauer, mens kimtal 37° C vurderes at være i den høje ende og *Campylobacter*, *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfringens* i den lave ende heraf. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* er ikke påvist i indløbsspildevandet til de tre undersøgte renseanlæg.

Nedenstående tabel viser resultaterne af det udførte program. De viste værdier er det gennemsnitlige indhold (antal/100 ml) i rensset spildevand.

Parameter	Kalundborg, MBNKD, antal/100 ml	Avedøre, MBNKD, antal/100 ml	Usserød, MBNKDF, antal/100 ml
Kimtal, 22° C	2,0×10 ⁷	3,7×10 ⁶	2,5×10 ⁵
Kimtal, 37° C	2,0×10 ⁷	3,2×10 ⁶	1,5×10 ⁵
Coliforme bakterier	3,3×10 ⁶	1,6×10 ⁵	1,0×10 ⁴
Termotol. coliforme bakterier	4,9×10 ⁵	5,3×10 ⁴	3.000
Enterokokker	1,9×10 ⁴	3,5×10 ⁴	1.000
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	påvist	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i>	3.200	1.900	330
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	<500	1.800	330
<i>Salmonella</i>	påvist	38	5,0
Enterovirus	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	2,7	0,3
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	0,2	0,2

Usserød Renseanlæg har af de tre renselanlæg generelt den bedste udløbskvalitet for de undersøgte mikroorganismer. Dette skyldes, at Usserød Renseanlæg har et sandfilter som yderligere rensetrin.

Gennemsnitligt betraget for renselanlæggene svarer de målte indhold af termotolerante coliforme bakterier, enterokokker og enterovirus i rensset spildevand til litteraturens gennemsnitsniveauer, mens indholdet af coliforme bakterier vurderes at være i den høje ende og *Campylobacter*, *Salmonella*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* i den lave ende heraf.

Udløbsværdierne for coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier (fækale colibakterier) og enterokokker er for de tre undersøgte renselanlæg over de eksisterende badevandskrav og forslag til nye kvalitetskrav. Der vil dog i recipienten ske et henfald og en fortynding. Udløbsværdierne for Usserød Renseanlæg er tættest på at kunne overholde de eksisterende badevandskrav pga. sandfilteret.

Af nedenstående tabel fremgår de gennemsnitlige renseseffekter (%) for renselanlæggene, fundet ved undersøgelsesprogrammet.

Parameter	Kalundborg, MBNKD, %	Avedøre, MBNKD, %	Usserød, MBNKDF, %
Kimtal, 22° C	94,7	99,3	99,9
Kimtal, 37° C	91,3	99,2	100
Coliforme bakterier	90,0	98,5	100
Termotol. coliforme bakt.	65,0	98,6	100
Enterokokker	47,2	97,2	100
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	89,1	98,5
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	95,8	91,5	98,9
<i>Salmonella</i>	i.v.	99,0	95,0
Enterovirus	Til detek.	Til detek.	i.v.
<i>Giardia intestinalis</i>	i.v.	53,6	84,5
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.v.	86,2	97,5

i.v.: Ikke vurderet pga. at begge resultater er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

Det skal bemærkes, at renseeffekter på 100 % ikke er ensbetydende med, at der ikke findes mikroorganismer i det rensede spildevand (jvf. forrige tabel).

Usserød Renseanlæg har af de tre renseanlæg som forventet den bedste renseeffekt overfor de undersøgte mikroorganismer. Det skyldes, at dette renseanlæg har et sandfilter som yderligere rensetrin. Spildevandscenter Avedøre har generelt den næstbedste renseeffekt.

Renseniveauerne for Spildevandscenter Avedøre svarer generelt til de størrelsesordener, som er angivet i litteraturen for renseanlæg med MBNKD-opbygning. Renseeffekten overfor coliforme og termotolerante coliforme bakterier samt enterokokker for Kalundborg Centralrenseanlæg er lav set i forhold til litteraturens renseniveauer for en sådan anlægsopbygning. Usserød Renseanlæg udviser renseeffekter, som svarer til de størrelsesordener, som er angivet i litteraturen for renseanlæg med MBNKDF-opbygning.

Resultaterne indikerer, at indsættelse af et sandfilter reducerer indholdet af smitstoffer yderligere i forhold til renseanlæg uden sandfilter.

Ozon virker stærkt oxiderende på smitstofferne i spildevandet. Oxidationen medfører en nedbrydning af celler eller cellemateriale, hvilket medfører en desinfektion af spildevandet. Der findes en række referencer, hvor ozon har været anvendt til desinfektion af spildevand. Det gælder dog, at effekten er afhængig af dosering og kontakttid samt er artsspecifik. Effekten af ozon på specielt vira, sporer og cyster kan være begrænset, hvis der ikke opnås den rette dosering eller kontakttid.

Som det fremgår af nedenstående tabel, medfører viderebehandling af rensset spildevand med ozondosering en forbedret fjernelse af alle de undersøgte mikroorganismer.

Parameter	Indløb/Udløb, %	Indløb/Ozon- 21,5, %	Indløb/Ozon- 53,5, %	Indløb/Ozon- 84,8, %
Kimtal, 22° C	94,7	96,1	98,4	98,7
Kimtal, 37° C	91,3	95,7	97,3	97,0
Coliforme bakterier	90,0	99,3	99,97	100,00
Termotolerante coliforme bakterier	65,0	90,7	99,2	99,99
Enterokokker	47,2	97,2	(97,2)	(97,2)
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	80,8	93,2	87,7
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	(91,5)	(91,5)	(91,5)	(91,5)
Enterovirus	Til detek.	Til detek.	Til detek.	Til detek.

() : Modificeret beregnet renseeffekt.

Ozondoseringens effekt overfor *Salmonella*, *Campylobacter*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* kan ikke vurderes, da resultaterne er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

En efterbehandling af rensset spildevand fra renseanlæg med ozon-dosering medfører således en stor reduktion af antallet af indikatorbakterier. For enkelte indikatorer reduceres bakterierne ned til detektionsgrænsen.

Litteraturen angiver renseeffekter på ca. 99,8-100 % for ozonanlæg på renseanlæg for termotolerante coliforme bakterier. Dette renseniveau opnås i Kalundborg Centralrenseanlæg med en dosering på 84,8 g/m³.

Samtidig vurderes det generelt for alle mikroorganismene, at jo højere ozondosering er, jo højere bliver renseeffekten. Den specifikke renseeffekt af ozon-doseringen på hhv. 21,5; 53,5 og 84,8 g O₃/m³, dvs. udløb efter efterklaring set i forhold til udløb efter ozonanlæg, er hhv. 25-95, 69-99,7 og 66-100 %.

En forhøjet ozon-dosering på 53,5 og 84,8 g O₃/m³ i forhold til 21,5 g O₃/m³ bevirker en forøget reduktion af de undersøgte mikroorganismer, hvilket specielt er tydeligt for de coliforme bakteriegrupper. Antallet af coliforme bakterier og termotolerante coliforme bakterier reduceres hhv. ca. 300 og 1.300 gange ved en ozon-dosering på 84,8 g/m³ frem for en dosering på 21,5 g/m³.

Det vurderes på baggrund af niveauerne af mikroorganismer, at rensed og efterklaret spildevand kan udgøre en sundhedsmæssig risiko for badende, der dog afhænger af afstanden til badeområdet. Resultaterne indikerer endvidere, at indsættelse af et sandfilter reducerer indholdet af smitstoffer yderligere. En ozonbehandling af rensed spildevand fra renseanlæg medfører en stor reduktion af antallet af de undersøgte mikroorganismer. Enkelte bakterier reduceres ned til detektionsgrænsen. En forøget ozondosering medfører en forøget reduktion af mikroorganismene. Selv efter ozonbehandling er niveauerne dog stadig så høje, at en sundhedsmæssig risiko for badende ikke kan udelukkes.

På basis af nærværende undersøgelse foreslås det, at der arbejdes videre med:

- Karakterisering af smitstoffer i urensed og rensed spildevand fra forskellige offentlige renseanlæg for at få et bredere billede af niveauerne.
- Vurdering af eksisterende metoder/teknologier til videregående behandling af spildevand, f.eks. UV-bestråling og ozon-behandling samt effekten heraf på mikroorganismer.

Summary and conclusions

This report summarises the results of a small literature study and a monitoring programme on the incidence of pathogens in wastewater and advanced after-treatment of wastewater in public wastewater treatment plants (WWTPs).

The aim of the report is to contribute to the updating of the existing knowledge 1) on the incidence of a range of microorganisms in untreated and treated wastewater from public WWTPs, and 2) on the effect of advanced wastewater after-treatment in public WWTP towards pathogens, including highly infective types of microorganisms.

Originally, the aim was that the monitoring programme should involve a WWTP with ozone dosing and a WWTP with UV-desinfection. It became, however, clear during the initial phase of the project that there were no UV-desinfection plants in Denmark exhibiting a sufficiently stable and specification compliant performance to be used for the project.

Therefore, the investigation of the effect of advanced after-treatment of treated wastewater on various pathogens was reduced to an introductory study of the effect of ozone dosing. The effect was tested at ozone dosing at 21.5, 53.5 and 84.8 g ozone/m³.

The microorganisms selected for monitoring in untreated and treated wastewater represent a wide spectre of microorganisms including indicator-organisms, and pathogens. Thus, it was chosen to focus on plate count at 22° C, plate count at 37° C, total coliforms, thermotolerant coliforms, enterococci, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, spores of *Clostridium perfringens*, enterovirus, *Giardia intestinalis* and *Cryptosporidium parvum*. The microorganisms were chosen based on the following criteria: 1) Low infectious dose, 2) Large excretion from humans and animals and therefore expected in large numbers in the wastewater, and 3) Contagious through water.

In the autumn of 2002, the monitoring programme and effect study on microorganisms in untreated and treated wastewater was carried out at the following three WWTPs:

- Avedøre WWTP, which is a major Danish WWTP receiving wastewater from both industries, residential areas and a large hospital,
- Usserød WWTP, which is a somewhat smaller plant with a predominantly residential catchment, but also a hospital, and
- Kalundborg WWTP, which is a medium size WWTP with an atypical wastewater composition due to a single, major industry in the catchment. This plant is the only Danish urban WWTP to have installed a facility for after-treatment of the effluent with ozone.

Due to a number of technical difficulties and unforeseeable events during the project implementation, the originally planned sampling programme had to be modified, and resulting in the following final programme:

- Three sampling rounds at Avedøre and Usserød WWTPs (inlet + outlet).
- One sampling round at Kalundborg WWTP (inlet, outlet and ozone treatment at three dosage levels).

The table below shows the results of the monitoring of untreated wastewater (i.e. inlet samples). The results are stated in average number/100 ml.

Parameter	Kalundborg, number/100 ml	Avedøre, number/100 ml	Usserød, number/100 ml
Plate count, 22° C	3.8×10 ⁸	5.1×10 ⁸	5.3×10 ⁸
Plate count, 37° C	2.3×10 ⁸	4.4×10 ⁸	3.7×10 ⁸
Total coliforms	3.3×10 ⁷	5.4×10 ⁷	6.6×10 ⁷
Thermotol. coliforms	1.4×10 ⁶	3.5×10 ⁶	1.5×10 ⁷
Enterococci	3.6×10 ⁴	1.8×10 ⁶	2.3×10 ⁶
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	<10	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i>	7,300	2.1×10 ⁴	6.8×10 ⁴
<i>Clostridium perfr.</i> -spores	5,900	2.0×10 ⁴	5.8×10 ⁴
<i>Salmonella</i>	Detected	2,800	300
Enterovirus	Detected	Detected	Not detected
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	2.0 (<4)	2.0 (<4)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	2.0 (<4)	2.0 (<4)

The average content of the microorganisms in the untreated wastewater at Avedøre WWTP is significantly higher than at Kalundborg WWTP. The content of the microorganisms in the untreated wastewater at Usserød WWTP and Avedøre WWTP are approximately on the same level, except for *Salmonella*, which is about 9 times lower at Usserød WWTP. The contents of thermotolerant coliforms, *Clostridium perfringens* and spores of *Clostridium perfr.* are approx. 4.5, 3.2 and 3 times higher at Usserød than at Avedøre.

The average contents of plate count 22° C, total coliforms, thermotolerant coliforms, enterococcus, *Salmonella* and enterovirus determined at the three WWTPs correspond to average levels in the literature. The content of plate count 37° C is assessed to be high, whereas the content of *Campylobacter*, *Clostridium perfringens* and spores of *Clostridium perfr.* are assessed to be low compared to levels reported in the literature. *Giardia intestinalis* and *Cryptosporidium parvum* are not detected in the untreated wastewater to any of the WWTP.

The table below shows the results of the monitoring of treated wastewater (i.e. effluent samples). The results are stated in average number/100 ml.

Parameter	Kalundborg, MBNCD, number/100 ml	Avedøre, MBNCD, number/100 ml	Usserød, MBNCDF, number/100 ml
Plate count, 22° C	2.0×10 ⁷	3.7×10 ⁶	2.5×10 ⁵
Plate count, 37° C	2.0×10 ⁷	3.2×10 ⁶	1.5×10 ⁵
Total coliforms	3.3×10 ⁶	1.6×10 ⁵	1.0×10 ⁴
Thermotol. coliforms	4.9×10 ⁵	5.3×10 ⁴	3,000
Enterococci	1.9×10 ⁴	3.5×10 ⁴	1,000
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	Detected	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i>	3,200	1,900	330
<i>Clostridium perfr.</i> -spores	<500	1,800	330
<i>Salmonella</i>	Detected	38	5.0
Enterovirus	Not detected	Not detected	Not detected
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	2.7	0.3
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	0.2	0.2

Among the three WWTPs studied, Usserød WWTP has in general the best outlet quality for the selected microorganisms. This is due to the sand filter, which is installed as a last treatment step before discharge at Usserød WWTP.

For the three WWTPs on average, the contents of thermotolerant coliforms, enterococcus and enterovirus correspond to average levels given in the literature. The content of total coliforms is assessed to be high, whereas the content of *Campylobacter*, *Salmonella*, *Giardia intestinalis* and *Cryptosporidium parvum* are assessed to be low compared to levels reported in the literature.

The content of total coliforms, faecal coliforms and enterococcus in treated wastewater from the three WWTPs exceed the existing required levels in bathing water and proposed new requirements. However, decay and dilution will occur in the recipient. The outlet levels from Usserød WWTP come closest to obtain the required levels in bathing water due to the sand filter.

The table below presents the average reductions (%) from inlet to outlet at the three WWTPs.

Parameter	Kalundborg, MBNCD, %	Avedøre, MBNCD, %	Usserød, MBNCDF, %
Plate count, 22° C	94.7	99.3	99.9
Plate count, 37° C	91.3	99.2	100
Total coliforms	90.0	98.5	100
Thermotol. coliforms	65.0	98.6	100
Enterococci	47.2	97.2	100
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Clostridium perfringens</i>	56.2	89.1	98.5
<i>Clostridium perfr.</i> -spores	95.8	91.5	98.9
<i>Salmonella</i>	n.a.	99.0	95.0
Enterovirus	To detection limit	To detection limit	n.a.
<i>Giardia intestinalis</i>	n.a.	53.6	84.5
<i>Cryptosporidium parvum</i>	n.a.	86.2	97.5

n.a.: Not assessed because that both results is under the detection limit, or that the results is alike for the two monitoring stations.

It should be noticed that reductions at 100 % are not tantamount to that there are no microorganisms in the treated wastewater (ref. the previous table).

Due to its final sand filtrating step, Usserød WWTP shows, as expected, the highest reduction efficiencies of the three WWTPs while Avedøre WWTP generally has the second highest reduction efficiencies.

The reduction efficiencies for Avedøre WWTP correspond in general to the efficiencies given in the literature for WWTP's with MBNCD-structure while the reduction efficiency for total coliforms, termotolerant coliforms and enterococci for Kalundborg WWTP are low for WWTPs with this structure. Usserød WWTP shows reduction efficiencies, which correspond to the efficiencies for WWTPs with MBNCDF-structure.

The results indicate that a sand filter can further reduce the content of pathogens in the treated wastewater.

Ozone has a highly oxidising effect on pathogens in wastewater. The oxidation process degrades the cells or cell materials, which results in a disinfection of the wastewater. There are a number of references, in which ozone has been used to disinfect wastewater. Dosing, contact time and type of microorganism are important factors when trying to optimise reduction efficiency. In particular, the reduction of vira, spores and cysts can be limited if the right dose or contact time is not applied.

As shown in the table below, the after-treatment of the effluent at Kalundborg WWTP by ozone results in further removal of all the microorganisms.

Parameter	Inlet/Outlet, %	Inlet/Ozone-20, %	Inlet/Ozone-50, %	Inlet/Ozone-80, %
Plate count, 22° C	94.7	96.1	98.4	98.7
Plate count, 37° C	91.3	95.7	97.3	97.0
Total coliforms	90.0	99.3	99.97	100
Termotol. coliforms	65.0	90.7	99.2	99.99
Enterococci	47.2	97.2	(97.2)	(97.2)
<i>Clostridium perfringens</i>	56.2	80.8	93.2	87.7
<i>Clostridium perfr.</i> - spores	(91.5)	(91.5)	(91.5)	(91.5)
Enterovirus	To detec.	To detec.	To detec.	To detec.

()): Modified calculated reduction effect.

The effect of ozone on *Salmonella*, *Campylobacter*, *Giardia intestinalis* and *Cryptosporidium parvum* can not be assessed because the levels are at or below the detection limit already at the inlet to the ozone reactor.

Ozone treatment of treated wastewater from WWTPs results in a large reduction of the number of indicator bacteria. Some indicator bacteria are reduced to (below) the detection limit.

The literature reports reduction efficiencies for ozone plants at approx. 99.8-100 % for thermotolerant coliforms. This reduction effect is obtained at Kalundborg WWTP at the highest dose tested; 84.8 g O₃/m³. The specific reduction effects of the ozone dosing at 21.5, 53.5 and 84.8 g O₃/m³, i.e. in the outlet compared to the inlet to the ozone reactor, are 25-95, 69-99.7 and 66-100 %, respectively.

Increasing the ozone dosing from 21.5 g O₃/m³ to 53.5 and 84.8 g O₃/m³ results in increased pathogen reduction, which is particularly apparent for the coliforms bacteria. The numbers of total coliforms and thermotolerant coliforms are reduced approx. 300 and 1,300 times, respectively, at an ozone dose of 84.8 g O₃/m³ compared to one at 21.5 g O₃/m³.

In conclusion, based on the observed levels of microorganisms it is assessed that treated and even treated + sand filtered wastewater can constitute a health risk to bathers. However, installation of a sand filter improves the reducing effect of a WWTP further. After-treatment of wastewater with ozone results in a high reduction of indicator bacteria. Some of the indicators are even reduced to or below the detection limit. Even after after-treatment with ozone the levels of microorganisms is so high that a health risk to bathers cannot be dismissed.

It is suggested that possible further investigations should include:

- Characterisation of pathogens in untreated and treated wastewater from different public WWTP in order to obtain a wider knowledge of the incidence.
- Further assessments concerning the existing methods/technologies for advanced treatment of wastewater, for example UV and ozone, and the effect of microorganisms and pathogens.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Der har gennem de senere år været stigende opmærksomhed på mulige sundhedsskadelige effekter af udledninger fra kommunale renseanlæg. Forbedrede rensemetoder har nedsat udledningerne af næringsstoffer og organisk stof og som sidegevinst af den forbedrede spildevandsrensning er også udledninger af miljøfarlige stoffer til vandmiljøet reduceret væsentligt.

Forbedrede renseteknologier og driftsmetoder til organisk stof og næringsstoffer har også bevirket en øget fjernelse/tilbageholdelse af mikroorganismer. Der er dog på trods af den forbedrede rensning stadig bekymring omkring indholdet af smitstoffer i det rensede spildevand, ikke mindst i lyset af de stigende krav til badevands indhold af mikroorganismer.

Det har derfor været overvejet at introducere en egentlig efterbehandling for at opnå en desinfektion af det rensede spildevand. De mest anerkendte efterbehandlingsmetoder er ozon- og UV-behandling, men p.t. findes disse teknologier kun i yderst begrænset omfang i Danmark. Ved projektets start fandtes således kun installeret et enkelt pilotanlæg til ozonbehandling af kommunalt spildevand. Ozon- og UV-behandling er kendt for at kunne fjerne de mest almindeligt forekommende indikatororganismer, men rensegraden for mere hårdføre mikroorganismer er ikke velbeskrevet i Danmark. Der er dog i 2000-2002 gennemført en undersøgelse af smitstoffer i udledninger af rensede spildevand på to kommunale renseanlæg ved Århus.

Der er således behov for at få undersøgt efterbehandlingsmetodernes effekt på smitstoffer i rensede, kommunalt spildevand, herunder ikke mindst på de mere hårdføre og infektiøse typer, samt at få udbygget den eksisterende viden om danske renseanlægs formåen til at fjerne smitstoffer.

1.2 Formål

Formålet med projektet er derfor:

- At undersøge effekten af udvalgte efterbehandlingsmetoder til rensede spildevand på smitstoffer, især mere hårdføre typer af organismer.
- At undersøge spildevand fra udvalgte kommunale renseanlæg mht. indholdet af et spektrum af smitstoffer, herunder mulige alternative organismer, før og efter rensning.

I praksis har førstnævnte delformål måttet reduceres til kun at omfatte efterbehandling med ozon, idet der ikke ved projektets start fandtes UV-anlæg i Danmark, der havde tilstrækkeligt dokumenteret effekt til at kunne indgå i en undersøgelse.

1.3 Aktiviteter

Projektet har omfattet følgende hovedaktiviteter:

- 1) Begrænset litteraturgennemgang til beskrivelse af erfaringer med ozonbehandlings effekt på smitstoffer i spildevand samt vurdering af de hermed forbundne omkostninger.
- 2) Detailplanlægning af undersøgelsesprogram inkl. valg af laboratorier og lokaliteter samt strategi for prøveudtagning.
- 3) Gennemførelse af prøveudtagning og analyser.
- 4) Evaluering af resultater og afrapportering.

Af en række årsager måtte det oprindeligt planlagte undersøgelsesprogram modificeres flere gange undervejs i projektførelsen, hvilket der er redegjort nærmere for i rapportens kapitel 4.

Et projekt om karakterisering af hormoner, hormonlignende stoffer og udvalgte humane lægemidler i spildevand samt undersøgelse af deres fjernelse ved ozonbehandling er gennemført parallelt og koordineret med dette projekt, men afrapporteres særskilt.

1.4 Deltagere

Projektet er gennemført af en projektgruppe i COWI bestående af Jesper Kjølholt (projektansvarlig), Kasper Mølgaard og Per Henrik Nielsen.

Projektet har haft en følgegruppe med deltagelse af Line W. Hollesen (formand) og Linda Bagge, begge Miljøstyrelsen, Jes la Cour Jansen, eget konsulentfirma, Bo Neergaard Jacobsen, Spildevandscenter Avedøre, Sorin Lupan, Hørsholm Kommune og Torben Jørgensen, Kalundborg Kommune.

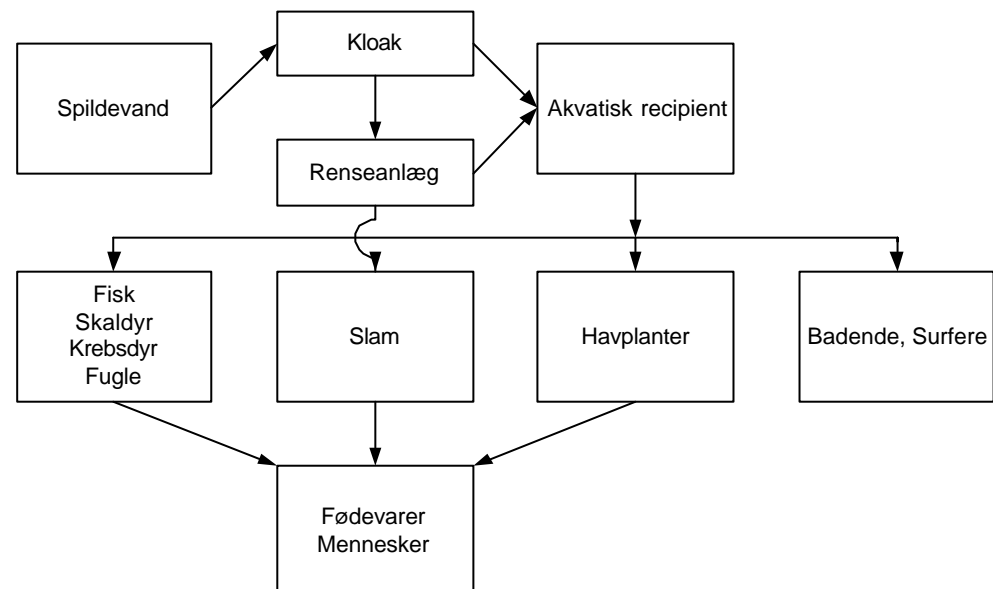
Prøveudtagning af urensset og rensset spildevand er foretaget akkrediteret af Rovesta Miljø I/S, der også har haft ansvaret for de bakteriologiske analyser samt bestemmelsen af generelle spildevandsparametre. COWI har bistået ved prøveudtagningen og den videre fordeling af prøver til andre laboratorier. Statens Serum Institut (SSI) har varetaget bestemmelserne af enterovirus, mens Smittskyddsinstitutet (SMI) i Stockholm har analyseret ind- og udløbsprøver for indhold af udvalgte protozoer. SMI har dog ikke analyseret for protozoer i sidste prøverunde i Avedøre og Usserød. Ved de sidste to prøveudtagninger i Avedøre og Usserød er udløbsprøverne blevet analyseret for de samme protozoer af Danmarks Veterinærinstitut (DVI).

2 Smitstoffer i spildevand

Nærværende afsnit beskriver den overordnede viden om smitstoffer i urensset og rensset spildevand. Det indeholder en beskrivelse af spredningen af smitstoffer i vandmiljøet, smitstoffers overlevelsessevne og tidligere målte indholdsniveauer af smitstoffer i både urensset og rensset spildevand samt rensegrader i offentlige renseanlæg. Samtidig omtales krav til kvaliteten af badevand.

2.1 Spredning af smitstoffer i vandmiljøet

Spildevand indeholder mange mikroorganismer, hvoraf mange er sygdomsfremkaldende. Vores vandige miljøer forurenes således dagligt med smitstoffer. Dermed kan der også være en risiko for, at der er en sundhedsmæssig risiko for mennesker ved badning og forurening af fødevarer. Spredningen af smitstoffer med spildevand illustreres i figur 2-1.



Figur 2-1 Akvatisk infektionskæde initieret af spildevand fra byområder. (Mølgaard et al., 2002).

Badende, fiskere og surfere kan blive eksponeret for både urensset og rensset spildevand, som udledes til badeområder og rekreative områder. Ophold ved og i disse vandområder kan udgøre en sundhedsmæssig risiko, da spildevandet, på trods af rensning, stadig indeholder en lang række mikroorganismer som i større eller mindre grad vil kunne medføre sygdom.

2.1.1 Overlevelsessevne i vandmiljøet

Visse patogener kan overleve uden for mennesket i meget lang tid, som f.eks. virus, men de kan ikke formere sig i vand. De behøver en værtscelle for vækst.

Overlevelse af smitstoffer afhænger bl.a. af de miljøfaktorer, som fremgår af tabel 2-1.

Tabel 2-1 Miljøfaktorer for overlevelse af smitstoffer.

Faktorer	Bemærkninger
Temperatur	Jo lavere temperatur desto længere overlevelse. Virus er generelt mindre temperaturfølsomt end bakterier.
Fugtighed	Udtørring medfører øget dødelighed for mange patogener.
UV-lys	Eksponering til UV-lys medfører øget dødelighed. Henfaldet for f. eks. <i>E. coli</i> i havvand er ca. 100 gange større i solskin end om natten.
Saltindhold	Saltvand medfører øget dødelighed.
pH	Sure væsker er gode betingelser for vira, mens neutrale og basiske forhold er gode for bakterier.
Ilt-forhold (aerobe, anaerobe)	Tarmbakterier har optimale vækstbetingelser under anaerobe forhold.
Partikler	Vedhæftning på partikler forlænger levetid af enterobakterier og vira.
Generelle betingelser	De øvrige forhold, herunder konkurrence, indhold af toksiske stoffer mv., græsning af andre organismer mv. har også betydning.

Smitstoffers overlevelsessevne i det akvatiske miljø er beskrevet i litteraturen. Nedenstående er en sammenfatning af de fundne artikler fra 1995-2000. "T90" betegner tiden, hvor 90 % af smitstofferne er døde.

I havvand varierer T90 for *E. coli* mellem ½ time og 3 døgn. Henfaldet er 100 gange større i solskin end om natten. *Cryptosporidium parvum* har en bedre overlevelsessevne i havvand i mørke end *Giardia muris*, *E. coli*, *Salmonella* og *Poliovirus*, angivet i faldende overlevelsessevne. I sollys er rækkefølgen: *Cryptosporidium parvum*, *Poliovirus*, *Giardia muris*, *Salmonella* og *E. coli* (Nielsen et al., 1996 og Johnson et al., 1997).

Overlevelsestiderne varierer fra 25 til 96 timer i mørke og ½ til 50 timer i sollys. *Cryptosporidium parvum* kan overleve i fersk flodvand i flere måneder, med størst evne i koldt vand. *E. coli* og fæk. enterokokker har lavere overlevelsestid end *Cryptosporidium parvum*, med op til 80 døgn. De to bakterier har samme temperaturafhængighed som *Cryptosporidium parvum*. *Salmonella Typhimurium* udviser større overlevelsessevne i ferskvand end *E. coli* (Medema (1) et al., 1997), (Rajala og Heinonen-Tanski, 1998).

2.1.2 Infektiøs dosis

Infektiøse doser angiver den dosis af et smitstof, som er nødvendig for at fremkalde sygdom hos en anden vært. Doserne varierer meget imellem de forskellige smitstoffer og for enkelte arter. Eksempelvis varierer dosen imellem forskellige *Salmonella* -arter og er mindre ved inhalation af aerosoler end når bakterierne optages peroralt (Stenström, 1996).

De teoretiske infektiøse doser fremgår af tabel 2-2. De infektiøse doser er angivet som ID₅₀, hvilket udtrykker den dosis, hvormed 50 % er blevet syge.

Tabel 2-2 Teoretiske infektiøse doser.

Mikroorganismer	Infektiøse Doser ID ₅₀	Reference
Bakterier: <i>E. coli</i> O157 <i>Salmonella</i> <i>Campylobacter</i>	< 100 1-10 ¹¹ (median: 10 ²) 500 org. 500-800 org. < 1.000 org.	Riemann and Cliver, 1998) (Blaser and Newman, 1982) (Stenström, 1996) (Robinson, 1981) (Kapperud, 1994)
Virus: Enterovirus	1-10 viruspartikler	(Stenström, 1996)
Protozoer: <i>Giardia intestinalis</i> <i>Cryptosporidium parvum</i>	25-100 cyster 10-100 oocyster	(Smith et al., 1995) (Meinhardt et al., 1996)

For *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum* og enterovirus er den teoretiske infektionsdosis meget lav.

2.2 Smitstoffer i urensset og rensset spildevand samt rensseeffekt

Indholdet af smitstoffer i urensset spildevand er afhængig af en række faktorer/kilder, som bl.a.:

- Den epidemiologiske situation i kloakoplandet.
- Årstiden
- Tilførsel af bl.a. sygehusspildevand, slagterispildevand og andet spildevand med et betydende indhold af smitstoffer.

Personer inficerede med smitstoffer udskiller med fæces et vist antal sygdomsfremkaldende mikroorganismer (bakterier, virus og protozoer). Mennesker udskiller også bakterier, selv om vi ikke er inficerede. Der vil dog ske en reduktion af mikroorganismene (evt. sygdomsfremkaldende) i fæces uden for mennesket - initialt henfald.

Årstiden, nedbørsmængden og den afledte grundvandsstand er væsentlig for indsivningsgraden og dermed fortynding af spildevandet. Fortyndingen af spildevandet vil også betyde en fortynding af indholdet af smitstoffer.

Denne fortynding vil dog i sundhedsmæssig sammenhæng ikke reducere indholdet af smitstoffer i urensset spildevand til under den infektiøse dosis.

Kloakoplandets karakteristik mht. virksomheds- og institutionstyper er også betydende for indholdet af smitstoffer i det urensede spildevand. De industrielle kilders bidrag kan være væsentlig. Specielt sygehuse, slagerier og lign. samt hoteller, plejehjem, banegårde m.v. er betydende.

I kloaksystemet som leder det urensede spildevand til rensanlægget vil der ske et henfald af mikroorganismene i forskellig grad. Henfaldets størrelse er en kombination af flere parametre, som død, hydrolyse, binding til biofilm, predation m.v. Omfanget er henfaldet i kloaksystemer er dog ukendt.

I rensanlæg forventes følgende mekanismer at være betydende for fjernelsen/reduktion af smitstoffer:

- Sedimentation
- Biologisk omsætning
- Hydrolyse
- Predation
- Filtrering
- UV-stråling.

I rensanlæggenes store bassiner er smitstofferne forholdsvis udsat for UV-stråling. Overordnet set vil virus og bakterier primært adhædere til spildevandets indhold af partikulært materiale. De vil derfor sedimentere sammen med partiklerne, men også omsættes biologisk og blive ædt (predation). Protozoer har ofte en vægtfylde, som bevirker, at sedimentationen foregår langsomt, hvorfor disse ofte kan genfindes i det rensede spildevand.

I tabel 2-3 vises indholdet af mikroorganismer i urensset og rensset spildevand samt renseeffekten i renseanlæg med fuld næringssaltfjernelse (MBNKD) og et yderligere rensetrin i form af et sandfilter (MBNKDF).

Tabel 2-3 Indhold af mikroorganismer i urensset og rensset spildevand samt renseeffekt.

Parameter	Indløb, antal/100 ml	Udløb, MBNKD, antal/100 ml	Udløb, MBNKDF, antal/100 ml	Renseeffekt, MBNKD, %	Renseeffekt, MBNKDF, %
Kimtal, 22° C, (1)	10 ⁸ (husspv.)	-	-	-	-
Kimtal, 37° C, (1)	10 ⁷ (husspv.)	-	-	-	-
Coliforme bakterier, (2)	10 ⁶ - 10 ⁹	10 ⁴ - 10 ⁶	10 ³ -10 ⁴	94 - 99,6	99,88
Termotol. coliforme bakterier, (2)	10 ⁵ - 10 ⁸	10 ³ - 10 ⁶	400-10 ⁴	92 - 99,8	99,8
Enterokokker, (2)	10 ⁴ - 10 ⁶	10 ² - 10 ⁶	100-500	95,8 - 99,9	99,9
<i>Campylobacter jejuni/coli</i> , (2)	i.p. - 10 ⁵	i.p. - 10 ⁴	i.p.-100	99 - 99,99	-
<i>Clostridium perfringens</i> , (1) og (3)	7,6×10 ⁴ - 9×10 ⁴ ; 10 ⁵ (husspv.)	-	-	-	-
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer, (1) og (3)	7,6×10 ⁴ - 9×10 ⁴ ; 10 ⁵ (husspv.)	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> , (2)	<1 - 10 ⁴	i.p. - 100	i.p.-10 ⁴	99,9	99,99
Enterovirus, (2)	i.p. - 10 ⁴	i.p. - 100	i.p.	75 - 98	-
<i>Giardia intestinalis</i> , (2)	1 - 10 ⁴	0,1 - 70	i.p.-0,6	83 - 99,3	99,99
<i>Cryptosporidium parvum</i> , (2)	0,1 - 10 ³	i.p. - 130	10 ⁻³ - 0,2	90,7 - 96,8	99-99,89

Kilde:

(1): (Albrechtsen, H.-J. 1998).

(2): (Mølgaard et al., 2002).

(3): (Nickelsen et al., 1995).

Det skal bemærkes, at høje rensegrader ikke er et udtryk for, at der ikke findes smitstoffer i det rensede spildevand.

Reduktionen af bakterier gennem et MBNKD-anlæg følger fjernelsen af organisk stof (COD). En lavere opholdstid i efterklaringstanke med slamflugt, som følge af betydelig nedbør, bevirker, at rensningen af både de kemiske parametre og mikroorganismene er dårligere, hvilket underbygger at bakterier adhæderer til suspenderet stof.

Indsættelse af et sandfilter efter den biologiske rensning vil, som tallene i tabel 2-3 viser, kunne medvirke til en yderligere reduktion af smitstoffer.

Litteraturen viser, at *Giardia intestinalis* fjernes nemmere end *Cryptosporidium parvum* over et sandfilter, hvilket kan skyldes at *Giardia* cysterne er større end *Cryptosporidie* oocysterne og derfor bedre tilbageholdes i filteret.

Samtidig kan et sandfilter medvirke til at reducere andelen af infektionsdygtige mikroorganismer i det rensede spildevand.

2.3 Smitstoffer i recipienter/badevand

Det rensede spildevand ledes til recipienter, som i nogle tilfælde også er udlagt som badeområder eller som leder til badeområder. I recipienten sker der også et henfald af mikroorganismene og en fortynding af vandets indhold. Der henvises i øvrigt til afsnit 2.1.1, hvor der er angivet overlevelsestider i vandmiljøet for en række af mikroorganismene.

Miljøstyrelsen har ikke fastsat krav til indhold af smitstoffer ved udledning fra renseanlæg. Men Miljøstyrelsen har for badeområder fastsat krav til indholdet af indikatorbakterier, som anvendes som indikator for sygdomsfremkaldende mikroorganismer, der kan udgøre en sundhedsmæssig risiko for de badende. De danske regler er en implementering af EU's badevandsdirektiv.

Det nuværende badevandsdirektiv omfatter indikatorbakterierne, total coliforme bakterier og fækale colibakterier, til kontrol af vandkvaliteten. Der er forslag til et nyt badevandsdirektiv fra EU på vej (et element i vandrammedirektivet) med forslag til nye kravværdier og indikatorer, hvilket er en skærpelse af det nuværende direktiv.

Kravværdier for badevand fremgår af tabel 2-4.

Tabel 2-4 Kravværdier til badevand. de danske regler, EU's nuværende badevandsdirektiv og forslag til nyt badevandsdirektiv. (MEM, 1999), (EF, 1975) og (EU, 2002)

Parameter	Nuværende DK-krav (overholde i mindst 95 % af tiden)	Nuværende EU- direktiv (Højest 5 % af prøver må overskride kravet)	Forslag til nyt EU- direktiv (Ud fra 3 års resultater, som indsættes i logaritmisk funktion, samt overholdelse i mindst 95 % af tiden)
Total coliforme bakterier, antal/100 ml	10.000	10.000 (500)	
Fækale colibakterier, antal/100 ml	1.000	2.000 (100)	
<i>E. coli</i> , antal/100 ml			500 (250)
Intestinale enterokokker, antal/100 ml			200 (100)

(): Vejledende værdier.

De nye parametre i forslaget til et nyt badevandsdirektiv begrundes med, at det giver den bedste angivelse af fækal forurening og sundhedsvirkning i vandområder. *E. coli* er et udtryk for en frisk forurening, mens intestinale enterokokker er mere robust end *E. coli*, og er en indikator for en fækal forurening af ældre dato.

3 Erfaringer med ozonbehandling af smitstoffer i spildevand

Dette afsnit beskriver opbygningen og funktionen af ozonanlæg samt erfaringer med ozonbehandling af smitstoffer i spildevand.

3.1 Desinfektion af spildevand med ozon

Ozon bliver produceret, når iltmolekyler ved hjælp af en energikilde bliver opsplittet i enkelte iltatomer, for efterfølgende at kolliderer med et iltmolekyle (O_2) og derved danne en ustabil gas; ozon (O_3). Denne kan benyttes til desinfektion af spildevand. Ozon til desinfektion af spildevand produceres oftest ved at påtrykke en højspændt vekselstrøm (6-20 kV) over et gnistgab i en iltrig gas. Ozon produceres på stedet, idet den er meget ustabil og henfalder til elementær ilt kort efter dannelsen. Ozon er meget stærkt oxiderende og er stærkt virucid i koncentreret form.

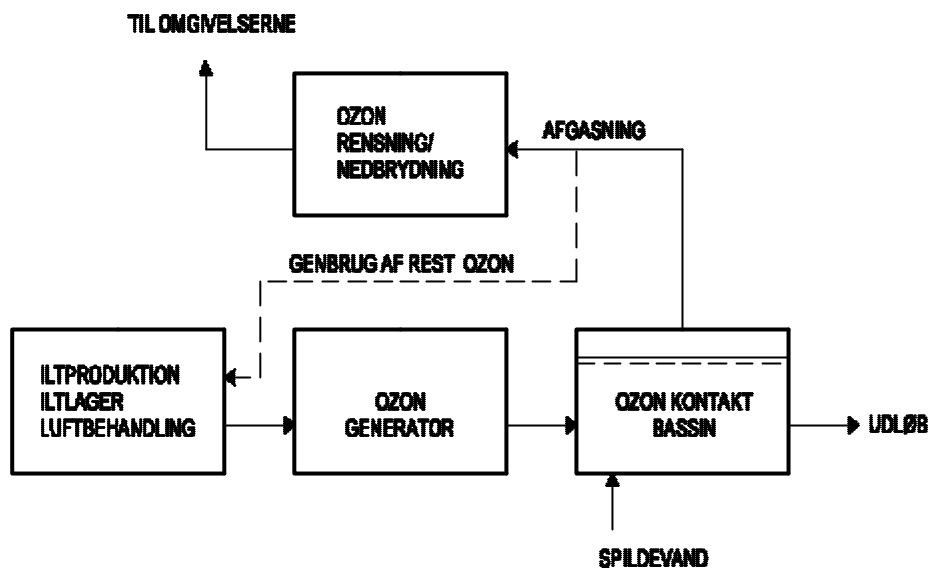
Ozon virker desinficerende på følgende måde:

- Direkte oxidation/destruktion af cellevæggene med efterfølgende udsivning af cellemateriale.
- Reaktioner med frie radikaler grundet ozon-nedbrydning.
- Skader på cellernes kernemateriale (puriner og pyrimidiner).
- Nedbrydning af kulstof-/kvælstofbindinger med efterfølgende depolymerisering.

Når ozon henfalder i vand, opstår der frie radikaler i form af hydrogenperoxid (H_2O_2) og hydroxid (OH). Disse radikaler har en stor oxiderende virkning og spiller en aktiv rolle i desinfektionsprocessen. Det er den generelle opfattelse, at bakterierne bliver nedbrudt hovedsagelig på grund af oxidation og dermed resulterende i nedbrydning af cellevæg.

Effektiviteten af desinfektionen er afhængig af de enkelte organismers modstandsdygtighed, kontakttiden og koncentrationen af ozon.

Figur 3-1 viser et skematisk diagram for den typiske ozon-produktionsproces.



Figur 3-1 Typisk ozon-produktionsproces.

De enkelte komponenter i et ozon-desinfektionsanlæg består af fødegasanlæg, ozon-generator, ozon-kontaktbassin og afgangssystem.

Luft eller ren ilt bliver oftest benyttet som fødegas og pumpet ind i ozon-generatoren ved et forudbestemt flow. Energikilden til produktionen af ozon sker ved elektrisk udladning i en gas, der indeholder ilt.

Ozon-generatoren kendetegnes typisk ved:

- Kontrolenhed (enten strømstyring eller frekvensregulering).
- Køleenhed (enten vand, luft eller vand/olie-system).
- Placering af selve ozon-generatoren (enten vertikalt eller horisontalt).
- Fabrikat.

Ozon-produktion ved elektrisk udladning er den mest benyttede metode.

Ekstrem tør luft eller ren ilt bliver eksponeret til en kontrolleret, ensartet højspændt udladning af enten høj- eller lavfrekvens. En gasstrøm produceret af luft vil normalt indeholde ½-3 % ozon (vægtprocent), hvor ren ilt vil kunne give en gasstrøm med 2-4 gange højere koncentration af ozon.

Den producerede ozon kommer i et kontaktbassin indeholdende det vand, som skal desinficeres. Hovedformålet med kontaktbassinet er at transportere ozonen fra glasboblerne til væsken og samtidig sikre tilstrækkelig kontakttid for gennemførelsen af desinfektionen.

Den mest almindelige form for kontaktbassiner er udstyret med finboblet belufningsudstyr. Kontaktbassinerne er ofte mekanisk omrørt. Idet ozon optages meget hurtigt må det sikres, at fordelingen sker så ensartet som muligt.

Afgasningen fra kontaktbassiner skal behandles, for at sikre at overskudsoszon er fjernet, før den udledes til omgivelserne. Det er derfor vigtigt, at styringen

af ozonanlægget effektiviseres mest muligt. Det er ofte muligt at genbruge afgangsgassen fra kontaktbassiner som fødegas i ozonproduktionsanlægget eller som ilttilskud i luftningstanke, når der bruges ren ilt som fødegas.

Processen styres typisk med følgende parametre:

- Ozon-dosering.
- Mixning.
- Kontakttid.

Ozon-desinfektionssystemer forsøges optimeret til maksimal opløselighed af ozonen i spildevandet, idet desinfektionen er afhængig af den specifikke overførelse af ozon. Den mængde ozon, der vil blive optaget i spildevandet ved en bestemt temperatur, er en funktion af partialtrykket af ozon over vandoverfladen eller i gasfødestrømmen (Solomon et al, 1998).

3.2 Praktiske erfaringer med ozonbehandling af spildevand

Ozon som desinfektionssystem for spildevand er ikke meget udbredt. De mest benyttede systemer i dag er UV-systemer eller mere traditionelle kloreringssystemer.

Ozonanlæg finder en del anvendelse ved industrielle anlæg samt specielt i svømmehaller, hvor en kombination af ozonering og klorering kan sikre en optimal desinfektion af vandet. Også i drikkevandssektoren finder ozonanlæg nogen udbredelse blandt andet i Sverige, USA m.fl.

Den begrænsede udbredelse af ozonanlæg skyldes dels de generelt relativt høje anlægs- og driftsomkostninger og dels de arbejdsmiljømæssige forhold, der er gældende ved brug af det stærkt korrosive og giftige ozon.

Ozon virker som nævnt stærkt oxiderende på spildevandet. Oxidation medfører en nedbrydning af celler eller cellemateriale, hvilket medfører en desinfektion af spildevandet. Der findes en række positive referencer, hvor ozon har været anvendt til desinfektion af spildevand. Det gælder dog, at effekten er afhængig af dosering og kontakttid. Effekten af ozon på specielt vira, sporer og cyster kan være begrænset, hvis der ikke opnås den rette dosering eller kontakttid.

Ved undersøgelse på renseanlæg med forsøgsanlæg er det eftervist, at ozonanlæg kan reducere indholdet af termotolerante coliforme bakterier fra typisk 4×10^5 - 4×10^6 pr. 100 ml til under 1.000 pr. 100 ml (Absi et al). Det vil sige renses effekter på ca. 99,8 – 100 % (eller log 2,6 - 3,6). Denne reduktion er dog meget afhængig af doseringsmængden. Der er nogen uklarhed om den nødvendige doseringsmængde. Dog synes en dosering i størrelsesordenen 20 g/m³ at give en betydelig reduktion (<5.000 CFU pr. 100 ml). Det skal bemærkes, at en lang række lokale faktorer har stor indflydelse på resultatet af ozonbehandlingen.

Idet ozon er stærkt oxiderende, kan ozonanlæg benyttes ved rensning af mere specielt spildevand. Der er gode erfaringer med rensning af spildevand, hvori indholdet af specielt COD er højt i forhold til indholdet af BOD. Der vil her typisk være tale om anlæg med en forholdsvis høj industriel belastning.

Der hersker dog nogen uklarhed om, hvorvidt et højt indhold af COD i spildevandet vil have en negativ effekt på desinficeringen. Analyserne gennemført i forbindelse med nærværende projekt indikerer, at der på trods af et højt indhold af COD kan opnås en betydelig grad af desinfektion.

Det må generelt konkluderes, at ozonbehandling grundet i pris og arbejdsmiljømæssige forhold finder størst udbredelse i forbindelse med industrielle anlæg, og her typisk som oxidationsmiddel (Wojtenko et al, 2001).

3.3 Økonomi/omkostninger ved ozonbehandling

Både etablerings- og driftsomkostningerne ved et ozonanlæg er betydelige. Det har været den generelle opfattelse, at ozonanlæg er dyrere end både UV-anlæg og specielt kloranlæg til desinfektion af spildevand. Det har dog vist sig, at der er meget store udsving i de aktuelle priser og det kan ikke umiddelbart konkluderes, at et ozonanlæg altid vil være mere omkostningstungt både med hensyn til anlæg og drift end specielt UV-anlæg.

Den nedenstående prissætning af et tænkt ozonanlæg kan kun opfattes som et meget overordnet overslag, jvf. tabel 3-1. Lokale betingelser og den aktuelle konkurrencesituation vil være meget betydelige faktorer.

Der er taget udgangspunkt i et renseanlæg på størrelse med anlæggene i Kalundborg og Usserød, det vil sige ca. 10.000 til 15.000 m³ behandlet spildevand pr. dag. Det forudsættes, at spildevandet inden ozonanlægget er rensat til gennemsnitlige udledninger fra danske renseanlæg. Det vil sige under Vandmiljøplanens krav med hensyn til næringssaltsfjernelse. Det forudsættes endvidere, at der ikke er tale om store mængder COD eller BOD i det rensede spildevand.

Tabel 3-1 Prisoverslag for et tænkt ozonanlæg.

Hovedkomponenter:	Pris, 1.000 DKK
Ozon generator	1.500
Installation og rørarbejder	800
Kontakt bassin	1.200
Bygning etc.	700
Projektering etc.	600
Diverse uforudsete udgifter 15 %	700
I alt	5.500

Driftsomkostningerne ved et tilsvarende anlæg vil også være meget varierende, men de anslås at være på 0,5-1,0 mio. DKK pr. år. En meget betydelig del af disse udgifter vil udgøres af el-udgifter. Der må desuden påregnes en betydelig udgift til ilt, hvis udstyret ikke bruger atmosfærisk luft. Der vil dog i dette tilfælde være en reduceret udgift til elforbrug.

På en række større ozonanlæg er der etableret on-site fabrikation af ren ilt i en særskilt enhed.

4 Undersøgellesprogram

4.1 Overordnede betragtninger

Dette projekt har fra starten været tænkt som værende af orienterende snarere end fuldt dokumenterende karakter. Opgavens budget har naturligvis afspejlet denne tilgang. Det har derfor været nødvendigt allerede på et meget tidligt tidspunkt i forløbet at træffe en række valg med hensyn til omfang og metoder, som der kort vil blive redegjort for i det følgende.

4.1.1 Valg af lokaliteter

Projektet har, som nævnt i indledningen, haft to hovedformål: At karakterisere et spektrum af mikroorganismer i rensed og urensed spildevand samt at undersøge effekten af udvalgte efterbehandlingsmetoder på disse stoffer.

Delformål 1 ville blive tjent bedst ved at udvælge anlæg, der med hensyn til teknologi, drift og oplandsforhold kunne siges at være repræsentative for hovedparten af renselanlæg i Danmark, mens der til delformål 2 især burde fokuseres på de mest realistiske udstyrstyper og driften af dem.

Imidlertid findes der næsten ingen renselanlæg for byspildevand i Danmark, der har etableret efterbehandlingsanlæg, og der har derfor reelt ikke været nogen valgmuligheder med hensyn til delformål 2. Da projektets samlede ressourcer ikke kunne række til en optimal dækning af begge delformål, måtte de anlæg, der kunne benyttes til delformål 2 nødvendigvis blive bestemmende for det samlede valg.

Det var fra starten hensigten, at undersøgelsesprogrammet både skulle omfatte et renselanlæg med ozonbehandling og et med UV-behandling. Det blev imidlertid klart i løbet af projektets indledende fase, at der ikke fandtes et UV-anlæg i Danmark, der var tilstrækkeligt indkørt til at kunne anvendes.

Undersøgelsen af effekten af efterbehandling har derfor måttet begrænses til effekten af ozonbehandling på Kalundborg Centralrenseanlæg, der p.t. er det eneste kommunale anlæg i Danmark, der råder over et sådant anlæg (pilotanlæg, fuldskala anlæg er under opførelse). Oplandet til renselanlægget er noget atypisk idet omkring halvdelen af den samlede spildevandsmængde, der tilføres, stammer fra en enkelt industrivirksomhed.

Usserød Renseanlæg (Hørsholm) var angiveligt undervejs med et anlæg til UV-behandling af det rensede spildevand og blev derfor valgt som det andet anlæg til undersøgelsen. Oplandet er relativt lille og det samlede spildevand er domineret af bidrag fra private boliger, mens andelen af industrielt spildevand er meget begrænset. Oplandet omfatter desuden et sygehus.

Det viste sig efterfølgende, at UV-anlægget på Usserød ikke kunne nå at blive etableret inden projektperiodens udløb. Et nyt UV-anlæg på Bov renselanlæg (sensommeren 2002) levede ikke op til de lovede specifikationer, mens den praktiske del af projektet blev afviklet, og kunne derfor ikke indgå som

alternativ til Usserød. I konsekvens heraf blev Usserød fastholdt som anlæg i undersøgelsen på grund af oplandets karakter og med henblik på eventuelle senere muligheder for at studere UV-anlæggets funktion.

På grund af ombygningsarbejder måtte Kalundborg Centralrenseanlæg udgå af undersøgelsen efter første prøvetagningsrunde, og blev erstattet af Spildevandscenter Avedøre. Dette store renseanlæg, der betjener de vestlige og sydlige omegnskommuner til København, har et stort, blandet opland omfattende både boliger, industri og andet erhverv samt Københavns Amts sygehuse i Herlev og Glostrup.

Undersøgelsen har således omfattet nedenstående tre renseanlæg, som alle er beliggende på Sjælland, men har vidt forskellige oplande.

- Usserød Renseanlæg i Hørsholm kommune. Fortrinsvis belastet med husholdningsspildevand.
- Kalundborg Centralrenseanlæg. Et middelstort renseanlæg med en betydelig industriel belastning.
- Spildevandscenter Avedøre. Danmarks næststørste renseanlæg med belastning af både husholdninger, industrier og to store sygehuse.

Der henvises til afsnit 5 for en nærmere beskrivelse af renseanlæggene.

4.1.2 Prøvetagnings- og analyseprogram

Det blev fra starten valgt at prioritere prøvetagnings- og analyseindsatsen inden for projektets ressourcer i retning af flere prøvetagninger på få anlæg snarere end én prøvetagning på et større antal anlæg. I realiteten indebar dette valg, at der kunne gennemføres tre prøvetagningsrunder af spildevand i indløb og udløb på to anlæg med henblik på karakterisering af mikroorganismer.

Effekten af ozonbehandling skulle efter den oprindelige plan undersøges når resultaterne af den første karakterisering forelå, sådan at analyseprogrammet kunne optimeres til formålet. Der var planlagt undersøgelse først ved tre forskellige doseringsniveauer og derefter ved to forskellige kontakttider. På grund af nedlukning af ozonanlægget i forbindelse med de nævnte ombygninger i Kalundborg måtte afprøvningen af effektiviteten af ozonbehandling imidlertid afvikles i forbindelse med første prøvetagning og kom kun til at omfatte doseringsniveauer.

Det realiserede prøvetagningsprogram kom derfor til at omfatte følgende: Een prøvetagningsrunde på Kalundborg Centralrenseanlæg og tre prøvetagninger på såvel Avedøre som Usserød renseanlæg.

Valget af mikroorganismer, som er undersøgt i urensset og rensset spildevand, er baseret på overordnet at måle et bredt spektrum af indikatororganismer og mere robuste/patogene mikroorganismer.

Mikroorganismene er bl.a. valgt ud fra følgende kriterier: 1) Lav infektiøs dosis, 2) Stor udskillelse fra mennesker og dyr og derfor forventet stort antal i spildevandet og 3) Smitte via vand.

Kravene til mikroorganismer i Usserød Renseanlægs udledningstilladelse i forbindelse med etablering af UV-anlæg har ligeledes været udgangspunkt for

valget af de mikrobiologiske parametre. Der henvises til tabel 4-2 for præcisering af de undersøgte mikroorganismer.

Der er udtaget stikprøver, som metoderne foreskriver (jvf. afsnit 4.4). Der er således sigtet mod, at de udtagne stikprøver er repræsentative for spildevandet og dermed for indholdet af smitstoffer heri.

Det forventes, at det i enkelte tilfælde kan forekomme, at udløbsprøverne viser en større koncentration af bakterier, end indløbsprøverne. Det kan skyldes, at bakterier forekommer i flokke og sætter sig på spildevandets suspenderede stof. Derved er der risiko for, at en flok går med i analysen for udløbsprøven og ikke ved indløbsprøven.

4.2 Prøveudtagning

Prøverne til karakterisering af mikroorganismer, herunder smitstoffer og generelle spildevandsparametre i indløbet blev på alle tre anlæg udtaget efter rist og sand- og fedtfang. Dette skyldtes dels praktiske forhold (især i Kalundborg), men giver også et bedre indtryk af de biologiske renseprocessers evne til at fjerne eller reducere de undersøgte mikroorganismer. Omvendt er en vis, mindre del af råspildevandets totalindhold af mikroorganismer altså blevet fjernet før analyse.

Indløbsprøverne blev udtaget ved såkaldt "kvalificeret stikprøvetagning" efter en tysk standard: "Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer und zur Anpassung der Anlage des Abwasserabgabengesetzes" (Bundesgesetzblatt Jahrgang 1997 Teil I Nr. 19, Bonn, 25. März 1997). I denne standard foreskrives udtagning af en samleprøve bestående af fem lige store delprøver udtaget med mindst 2 minutters intervaller inden for et samlet tidsrum af maksimalt 2 timer.

Prøvetagningen til dette projekt er gennemført samtidig med prøvetagningen til et parallelt projekt om hormoner og udvalgte stoffer med lignende effekter på menneskets reproduktion samt af udvalgte typer af medicin i spildevand. Ovennævnte fremgangsmåde sikrer i et vist omfang mod de variationer i sammensætningen af det indkommende spildevand, der optræder som følge af pulsudledninger til kloaksystemet eller lignende. Der er således tale om et kompromis mellem den danske standard (DS 2250:1983) for udtagning af prøver til mikrobiologi og det optimale for de kemiske analyser, nemlig flowproportionale døgnprøver.

Prøveudtagning med hensyn til de mikrobiologiske parametre i udløbsprøverne er dog udført efter DS 2250:1983 "Vandundersøgelse. Prøvetagning, transport og opbevaring af prøver til mikrobiologiske undersøgelser".

I Usserød er udløbsprøverne udtaget efter iltningstrappen, dvs. efter sandfiltreringen. I Avedøre er udløbsprøverne udtaget efter efterklaringstankene. For Kalundborg Centralrenseanlæg blev der udtaget udløbsprøver hhv. efter efterklaringstankene og efter ozon-anlægget ved undersøgelse af ozonbehandlingens effekt.

4.3 Generelle spildevandsparametre

For at kunne sammenligne de udtagne prøver med hinanden og med spildevand fra andre danske renselanlæg er der for alle prøver blevet bestemt et antal almindelige kemiske spildevandsparametre, der fremgår af tabel 4-1.

Tabel 4-1 Oversigt over analysemetoder for generelle spildevandsparametre.

Parameter	Analysemetode	Detektionsgrænse, mg/l
pH	DS 287	-
Suspenderet stof	DS 207	1
COD	DS 217, 1991.	5
Total N	DS 221 + FIA	0,05
Total P	DS 292	0,01

Samtidig anvendes renselanlæggenes egne data til vurdering af driften på de pågældende prøveudtagningsdage.

4.4 Mikrobiologiske parametre

Til karakterisering og vurdering af forekomsten af smitstofferne i spildevandet er der analyseret for de mikrobiologiske parametre, som fremgår af tabel 4-2.

Detektionsgrænserne, som også er angivet i tabellen, er oplyst af de deltagende laboratorier. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at detektionsgrænserne ikke for alle mikroorganismer er ens med påvisningsgrænserne angivet i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger udført af akkrediterede laboratorier, certificerede personer m.v. (MEM, 1997). I bekendtgørelsen er opstillet krav til detektionsgrænser for forskellige vandtyper, blandt andet salt- og ferskvandsområder (badevand), urensset og rensset spildevand. Der er eksempelvis en afvigelse for enterokokker.

Tabel 4-2 Oversigt over analysemetoder for mikroorganismer.

Parameter	Analysemetode	Detektionsgrænse
Bakterier:		
Kimtal, 22° C	DS/EN ISO 6222:2000	10 pr. ml
Kimtal, 37° C	DS/EN ISO 6222:2000	10 pr. ml
Coliforme bakterier	DS 2255/2	2 pr. 100 ml
Termotolerante coliforme bakterier	DS 2255/2	2 pr. 100 ml
Enterokokker	ISO 7899/2	10 pr. ml
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	DS forslag 19.7.2000	10 pr. 100 ml
<i>Clostridium perfringens</i>	DS 2256/1	5 pr. ml
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	DS 2256/1	5 pr. ml
<i>Salmonella</i>	DS 266/Ret.1/1	10 pr. 100 ml
Virus:		
Enterovirus	PCR, enterovirus RNA	Varyerer lidt for de forskellige virus i enterovirusgruppen: Echovirus 1: 125-250 infek. viruspart. pr ml; Coxsackie A9: 0,4-4 infek. viruspart. pr. ml; Coxsackie B5: >300 infek. viruspartikler pr ml og Enterovirus 71: >50 infektiøse viruspartikler pr ml.

Tabel 4-2 Fortsat.

Parameter	Analysemetode	Detektionsgrænse
Protozoer:		
<i>Giardia intestinalis</i>	SMI: EPA 1623 DVI: Opkonc. vha. membranfilter (2 mm porestørrelse); oprens. fra sediment vha. IMS og visualisering vha. antistofbaseret fluorescensmærkning af (oo)cyster	Variere pga. vandprøvens sammensætning, specielt mht. partikulært materiale. Blandt andet: Indløb: <10 og <40 pr. liter Udløb: <10; <2 og <1 pr. liter
<i>Cryptosporidium parvum</i>	SMI: EPA 1623 DVI: Opkonc. vha. membranfilter (2 mm porestørrelse); oprens. fra sediment vha. IMS og visualisering vha. antistofbaseret fluorescensmærkning af (oo)cyster	Variere pga. vandprøvens sammensætning, specielt mht. partikulært materiale. Blandt andet: Indløb: <10 og <40 pr. liter Udløb: <10; <2 og <1 pr. liter

Statens Serum Institut (SSI) har forestået analysen for enterovirus ved enterovirus RNA ved PCR. Der er undersøgt 40µl vandprøve. SSI har ved deltagelse i eksterne prøvningssammenligninger (Quality Control for Molecular Diagnosis) beregnet sensitiviteten af enterovirus PCR til følgende værdier, som varierer lidt for de forskellige virus i enterovirusgruppen. SSI har oplyst, at sensitiviteten i denne projektsammenhæng kan betragtes som detektionsgrænsen. Detektionsgrænsen er beregnet til at være mellem 25 og 250 infektiøse viruspartikler per ml for Echovirus 11 og mellem 0,4 og 4 infektiøse viruspartikler for Coxsackie A9. For Coxsackie B5 kan mere end 300 infektiøse partikler per ml påvises og for Enterovirus 71 mere end 50 infektiøse viruspartikler per ml.

Smittskyddsinstitutet (SMI) har til analyse af protozoerne *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* anvendt EPA-metoden - EPA 1623, "Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/IFA".

- Koncentrering med centrifugering - for afløbsprøver (renere vand) anvendes membranfiltrering.
- Rensning af koncentrat med IMS (immunomagnetisk separering, fabrikat Dynal).
- Indfarvning med fluorescerende antistoffer, IFA (fabrikat Waterborne).
- Nuklear indfarvning med DAPI.
- Mikroskopering.

Hver analysemetode har sin begrænsning. For *Giardia* og *Cryptosporidium* metoden er mikroskoperingen afgørende. De koncentrerede objekter farves med fluorescerende antistoffer og indfarver nukleart materiale med DAPI. Herefter kan man med hjælp af forskellige filtre på mikroskopet, dels se objektet grønfarvet, og ved skifte af filter påvise op til 4 kerneækvivalenter hos både *Giardia* og *Cryptosporidium* med DAPI indfarvning. Form og størrelse har også betydning. Stemmer alle kriterier bedømmes objekterne som konfirmerede. SMI's svarpolitik er at give antallet af konfirmerede (oo)cyster.

Danmarks Veterinærinstitut (DVI) bruger overordnet samme analysemetode som SMI, men der er dog forskelle. SMI analyserer for protozoer på både urensset og rensset spildevand, mens DVI kun analyserer på rensset spildevand, da den anvendte metode ikke er afprøvet på urensset spildevand. SMI bruger en prøvemængde på 1 L, mens DVI bruger 10 L. SMI kræver desuden, at prøveflaskerne præpareres med natriumthiosulfat. DVI kræver ikke, at prøveflaskerne er præpareret med et specielt stof, men de skal være sterile.

For de to første prøverunder er *Salmonella* kun angivet kvalitativt (påvist/ikke påvist), mens der for *Salmonella* i de to sidste prøverunder er angivet semikvantitativt resultat. For *Campylobacter* er der kun angivet et kvalitativt resultat.

4.4.1 Ozonbehandling

Der er endvidere foretaget en test af ozonbehandlings effekt på den hygiejniske kvalitet af det rensede spildevand på Kalundborg Centralrenseanlæg. Der er testet på tre forskellige ozondoseringsniveauer hhv. 21,5; 53,5 og 84,8 g/m³. Yderligere planlagte test har måttet aflyses pga. ozonanlæggets nedlukning midt i undersøgelsesperioden.

5 Beskrivelse af undersøgelsens lokaliteter

Undersøgelsen har som nævnt omfattet tre renseanlæg, som alle findes på Sjælland, men med vidt forskellige oplande. De tre renseanlæg er:

- Usserød Renseanlæg i Hørsholm kommune. Fortrinsvis belastet med husholdningsspildevand.
- Kalundborg Centralrenseanlæg. Et middelstort renseanlæg med en betydelig industriel belastning.
- Spildevandscentret Avedøre. Danmarks næststørste renseanlæg med belastning fra både husholdninger, industrier og to store sygehuse.

De tre anlæg er alle udbygget til at overholde Vandmiljøhandlingsplanens krav med hensyn til fjernelse af næringssalte. Anlæggene er valgt pga. deres opbygning og da de repræsenterer et meget bredt udsnit af moderne danske renseanlæg.

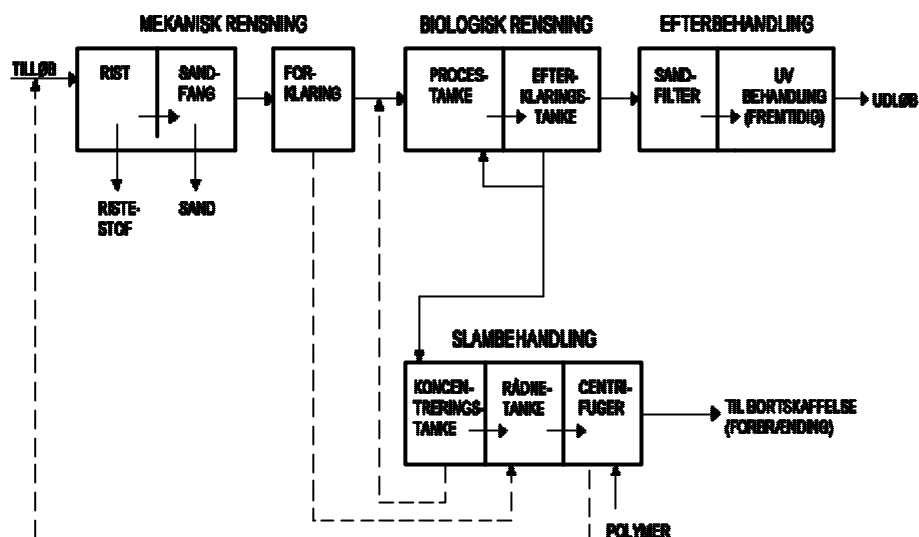
5.1 Usserød renseanlæg

Anlægget er placeret i Hørsholm kommune og behandler spildevand fra Hørsholm kommune samt dele af Karlebo kommune og Birkerød kommune. Kloakoplandet er på ca. 1.150 ha, hvoraf de 792 ha er fælleskloakeret. Anlægget er fortrinsvis belastet med husholdningsspildevand samt let industri, herunder et sygehus. Kloaksystemet er opbygget med henblik på minimering af aflastning af spildevand til recipienten.

Anlægget leder det rensede spildevand til Nive å-systemet. Det er opbygget som et fuldt biologisk aktivt slamanlæg for fjernelse af organisk materiale, kvælstof og fosfor. En mindre mængde fosfor fjernes ved kemisk fældning.

Anlægget har en nominel kapacitet på 50.000 PE og er belastet med 25.000 – 30.000 PE. Anlægget er opbygget med en mekanisk rensning bestående af rist, sandfang og forklaringsstanke til fjernelse af større partikler samt fedt, grus og bundfældeligt slam. Den mekaniske rensning efterfølges af den biologiske rensning som ovenfor nævnt.

Spildevandet renses yderligere i et sandfiltreringsanlæg inden udledning til recipienten. Det er endvidere planlagt at installere et UV-desinfektionsanlæg. Opbygningen af renseanlægget fremgår af figur 5-1.



Figur 5-1 Opbygning af Usseørd Renseanlæg.

Anlægget er et typisk mellemstort renseanlæg med en sikker overholdelse af alle gældende udløbskrav. Typiske ind- og udløbsdata for anlægget (MBNKDF) fremgår af tabel 5-1.

Tabel 5-1 Typiske ind- og udløbsdata for Usseørd Renseanlæg.

	Indløb	Udløb
Hydraulisk belastning		11.000 m ³ /d
Organisk belastning BOD	145 mg/l	1 mg/l
COD	350-400 mg/l	22 mg/l
Total N	35 mg/l	4,5 mg/l
Total P	8 mg/l	0,3 mg/l
Suspenderet stof		1 mg/l

Talmateriale fra 2001

5.2 Kalundborg Centralrenseanlæg

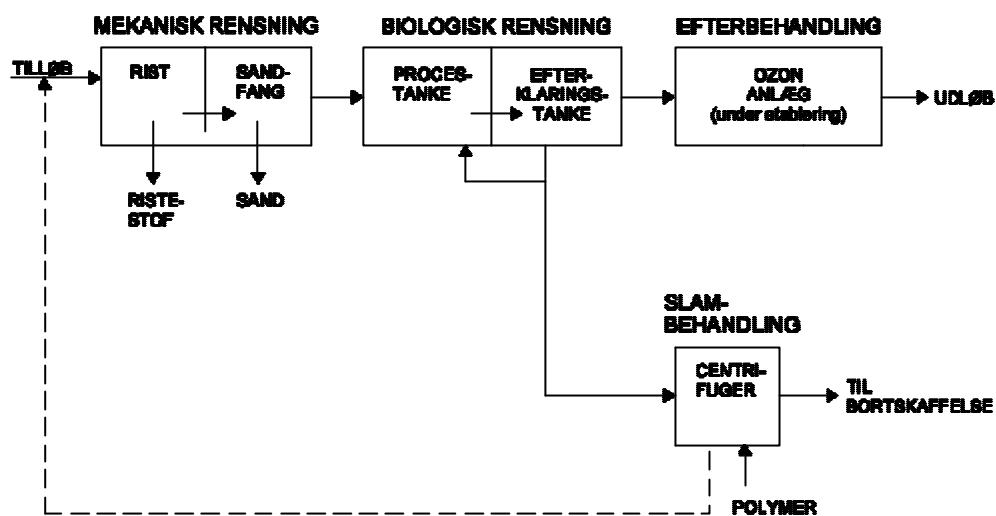
Anlægget behandler spildevand fra Kalundborg samt en betydelig mængde industrielt spildevand. Kloaksystemet er opbygget med henblik på minimering af aflastning af spildevand til recipienten. Anlægget leder det rensede spildevand til Kalundborg Fjord.

Renseanlægget er opbygget som et fuldt biologisk aktivt slamanlæg for fjernelse af organisk materiale og kvælstof. Fosfor fjernes ved kemisk fældning.

Anlægget har en nominel kapacitet på 50.000 PE og er belastet med ca. 25.000 PE. Det er opbygget med en mekanisk rensning bestående af rist og sandfang til fjernelse af større partikler samt fedt, grus og bundfældeligt slam. Den mekaniske rensning efterfølges af den biologiske rensning som ovenfor nævnt.

Spildevandet skal i fremtiden renses yderligere i et ozonanlæg inden udledning til recipienten. Ozonanlægget vil blive etableret med henblik på reduktion af COD-indholdet i det rensede spildevand. Der er for tiden etableret et ozon pilotanlæg på anlægget. Det høje COD-indhold skyldes den industrielle

belastning af anlægget, specielt en enkelt industri. Opbygningen fremgår af figur 5-2.



Figur 5-2 Opbygning af Kalundborg Centralrenseanlæg.

Anlægget er atypisk ved den relativ store industrielle belastning, både kvælstof og COD udledningen er meget høj og der sker til tider overskridelser af udlederkravene. Typiske ind- og udløbsparametre for anlægget (MBNKD+ozon) fremgår af tabel 5-2.

Tabel 5-2 Typiske ind- og udløbsdata for Kalundborg Centralrenseanlæg.

	Indløb	Udløb
Hydraulisk belastning		12.600 m ³ /d
Organisk belastning BOD	113 mg/l	3.5 mg/l
COD	400-500 mg/l	159 mg/l*
Total N	38 mg/l	10 mg/l
Total P	6 mg/l	0.5 mg/l
Suspenderet stof		1 mg/l

Talmateriale fra 2001

* Talmateriale fra 2000

5.3 Spildevandcenter Avedøre

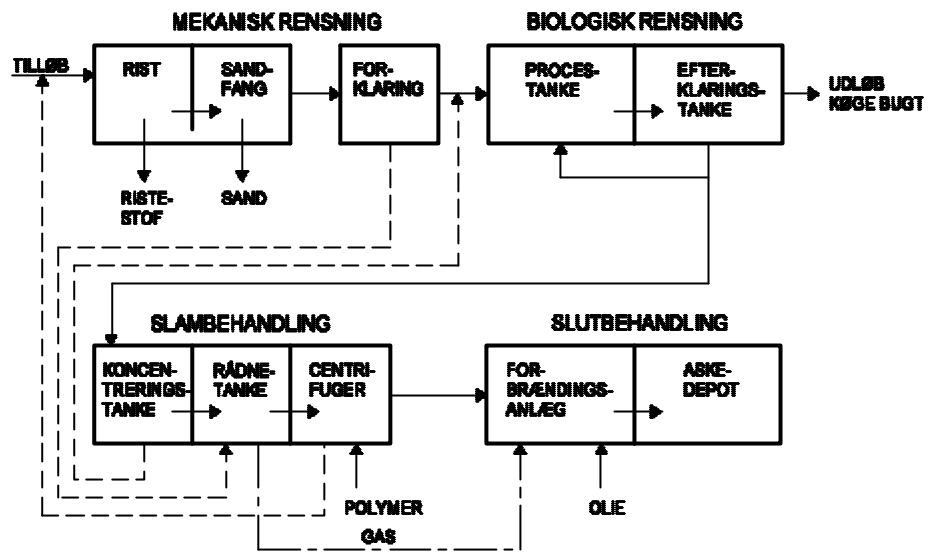
Spildevandscentret er belastet med ca. 345.000 personækvivalenter. Omkring 70% af belastningen er fra husholdninger, mens resten af belastningen stammer fra industrier og de to store sygehuse i Herlev og Glostrup.

Spildevandet renses mekanisk, biologisk og kemisk. Sideløbende med disse renseprocesser sker der en omfattende slambehandling med afsluttende forbrænding. Det mekaniske rensetrin fjerner større synlige partikler (klude, plastikposer, vatpinde mv.) samt renser for fedt, grus og bundfældeligt slam.

Det biologiske/kemiske rensetrin fjerner organisk stof og næringssalte (kvælstof og fosfor). Det rensede vand pumpes via en 1 km lang rørledning ud i Køge Bugt og udledes 6 m under havoverfladen.

Slambehandlingen består dels af et traditionelt anlæg bestående af rådnetanke og slamafvanding, dels af et slamforbrændingsanlæg hvor slammet forbrændes. Askeresten fra forbrændingen deponeres på anlægget.

Opbygningen af renselanlægget på Spildevandscenter Avedøre fremgår af figur 5-3.



Figur 5-3 Opbygning af renselanlægget på Avedøre Spildevandscenter.

Anlægget er et typisk stort renselanlæg med en sikker overholdelse af alle gældende udløbskrav.

Typiske ind- og udløbsparametre for anlægget (MBNKD) fremgår af tabel 5-3.

Tabel 5-3 Typiske ind- og udløbsdata for Spildevandscenter Avedøre.

	Indløb	Udløb
Hydraulisk belastning		73.000 m ³ /d
Organisk belastning BOD	285 mg/l	4,5 mg/l
COD	500 mg/l	46 mg/l
Total N	45 mg/l	5,5 mg/l
Total P	9 mg/l	1 mg/l
Suspenderet stof		13 mg/l

Talmaterialet er fra 2001

6 Resultater og diskussion

6.1 Prøveudtagning

En oversigt over de gennemførte prøveudtagninger på de tre anlæg fremgår af tabel 6-1. Ved alle prøveudtagninger havde vejret i dagene op til prøveudtagningstidspunktet været tørt, og prøverne repræsenterer derfor spildevand uden påvirkning af overfladeafstrømning. Dog var det begyndt at regne kort inden sidste prøvetagning på Usserød Renseanlæg (12-11-2002), og visuelt bedømt var den deraf følgende overfladeafstrømning begyndt at påvirke flowet i indløbet.

Tabel 6-1 Oversigt over prøveudtagningstidspunkter på Kalundborg, Avedøre og Usserød renseanlæg samt vejrforhold

	04-09-2002	09-10-2002	06-11-2002	12-11-2002*
Kalundborg	Tid: 10-12.30 25 grader, sol, tørvejrperiode	ingen prøver	ingen prøver	ingen prøver
Avedøre	ingen prøver	Tid: 9.30-10.30 5 grader, sol tørvejrperiode	Tid: 9.30-10.30 3 grader, letskyet tørvejrperiode	Tid: 10-10.45 5 grader, skyet begyndende regn
Usserød	ingen prøver	Tid: 11.15-12 7 grader, sol tørvejrperiode	Tid: 11.15-12 4 grader, letskyet tørvejrperiode	Tid: 11.30-12.15 6 grader, skyet let regn

* Ingen regn de sidste par dage op til prøveudtagningen

Ved alle prøveudtagninger blev prøverne afleveret til de respektive laboratorier mindre end 2 timer efter udtagningen af den sidste prøve på renseanlægget, bortset fra protozo-analyser hos SMI i Stockholm, Sverige. Disse blev afsendt med kurer samme eftermiddag og modtaget i Stockholm næste formiddag.

6.2 Generelle spildevandsparametre

Resultater af analyser for de almindelige kemiske spildevandsparametre i indløb og udløb fremgår af tabel 6-2, tabel 6-3 og tabel 6-4 for hhv. Kalundborg, Avedøre og Usserød renseanlæg. Tillige er der for Kalundborg angivet niveauerne efter ozonbehandling ved 21,5; 53,5 og 88,4 g/m³. Kontakttiden var 15 minutter.

Det skal bemærkes, at der kun er udtaget få prøver, specielt for Kalundborg Centralrenseanlæg (kun 1 prøve), hvorfor resultaterne og vurderingerne skal betragtes som orienterende.

Tabel 6-2 Generelle spildevandsparametre på Kalundborg Centralrenseanlæg (indløb og udløb - efter efterklaringsstankene - samt efter ozonbehandlingsanlæg ved tre doseringsniveauer).

Parameter	Enhed	Indløb	Udløb	Ozon-21,5*	Ozon-53,5*	Ozon-88,4*
pH		7,99	7,97	8,06	7,91	7,81
Susp. stof	mg/l	280	18	11	9,7	13
COD	mg O ₂ /l	310	170	150	140	120
Total N	mg N/l	33	13	13	13	13
Total P	mg P/l	4,02	0,58	0,94	0,91	0,93

* Ozondosering i g/m³.

Det skal bemærkes vedr. bestemmelsen af COD, at den benyttede standardanalysemetode (DS 217) ikke er optimal til analyse af spildevandet på Kalundborg da dette spildevand har et meget højt indhold af chlorid. Dette er først blevet oplyst, efter at undersøgelsesprogrammet var iværksat. Imidlertid har data for COD fra anlæggets prøvetagning til egenkontrol, udtaget i samme døgn som prøverne til dette projekt, vist sig at stemme rimeligt overens med COD-værdierne i tabel 6-2 (hhv. 350 mg/l og 130 mg/l for indløb og udløb bestemt efter DIN38409).

De målte niveauer af de kemiske spildevandsparametre for Kalundborg Centralrenseanlæg svarer generelt set til tyndt husspildevand. Det stemmer overens med, at ca. halvdelen af belastningen stammer fra en storindustri, hvorfra spildevandet måske ikke indeholder de normale spildevandsparametre som største andel.

Tabel 6-3 Generelle spildevandsparametre på Spildevandscenter Avedøre. Indløbsprøven er udtaget efter sandfang.

Parameter	Enhed	9/10-02		6/11-02		12/11-02	
		indløb	udløb	indløb	udløb	indløb	udløb
pH		7,63	7,31	7,67	7,56	7,78	7,99
Susp. stof	mg/l	490	5,7	400	6,1	410	4,7
COD	mg O ₂ /l	890	41	710	44	580	33
Total N	mg N/l	71	4,6	64	6,4	62	3,7
Total P	mg P/l	11,1	1,34	9,73	0,76	9,07	0,52

De gennemsnitlige indløbskoncentrationer for SS, COD, Total N og Total P er opgjort til hhv. 433, 727, 66 og 10 mg/l. De målte indløbskoncentrationer på Spildevandscenter Avedøre kan betragtes som moderat/tykt husspildevand.

De gennemsnitlige udløbskoncentrationer for SS, COD, Total N og Total P er opgjort til hhv. 5,5; 39; 4,9 og 0,9 mg/l hvorudfra de gennemsnitlige renses effekter for SS, COD, Total N og Total P kan beregnes til hhv. 98,7; 94,5; 92,5 og 91,5 %.

Tabel 6-4 Generelle spildevandsparametre på Usserød renseanlæg. Indløbsprøven er udtaget efter sandfang.

Parameter	Enhed	9/10-02		6/11-02		12/11-02	
		indløb	udløb	indløb	udløb	indløb	udløb
pH		7,71	7,34	7,69	7,53	7,50	7,90
Susp. stof	mg/l	440	1,7	520	1,9	880	1,2
COD	mg O ₂ /l	750	25	880	24	1480	24
Total N	mg N/l	69	3,3	62	3,7	46	3,3
Total P	mg P/l	12,9	0,19	12,5	0,12	17,7	0,12

De gennemsnitlige indløbskoncentrationer for SS, COD, Total N og Total P er opgjort til hhv. 613, 1.037, 59 og 14 mg/l. De målte indløbsniveauer på Usserød renseanlæg kan således betegnes som tykt husspildevand. Der skal dog bemærkes, at der er en stor forskel i de målte niveauer for prøveudtagningen den 12/11-02 i forhold til de to øvrige dage.

De gennemsnitlige renses effekter for SS, COD, Total N og Total P er beregnet til hhv. 99,7; 97,4; 94 og 99 %.

De gennemsnitlige udløbskoncentrationer for SS, COD, Total N og Total P er opgjort til hhv. 1,6; 24,3; 3,4 og 0,14 mg/l. Der er som følge af sandfiltreringen en meget god fjernelse af specielt SS og Total P.

6.2.1 Sammenfatning

Man bemærker, at der er nogen forskel mellem niveauerne på de tre anlæg, især adskiller Kalundborgs spildevand sig ved kun at have omkring halvt så meget suspenderet stof, COD, N og P i indløbet som de to andre anlæg.

Dette skyldes formentlig den store mængde spildevand fra en enkelt industriel kilde i oplandet. Samtidig er det målte indhold af COD i udløbet væsentligt større for Kalundborg Centralrenseanlæg end ved de to øvrige renseanlæg, selv efter ozon-behandlingen. Det skyldes svært omsætteligt COD fra enkeltindustrien.

Generelt for alle renseanlæggene er indholdet af total P i indløbsprøverne lavt i forhold til sammensætningen af husspildevand.

Driften af de undersøgte renseanlæg har i prøveudtagningsperioderne fungeret tilfredsstillende med normale renseeffekter af de traditionelle spildevandsparametre.

6.3 Mikrobiologiske parametre

De målte resultater sammenholdes dels renseanlæggene indbyrdes og dels med niveauerne angivet i litteraturen (jvf. tabel 2.3).

6.3.1 Kalundborg Centralrenseanlæg

Kalundborg Centralrenseanlæg er opbygget som et MBNKDozon-anlæg.

Analyseresultater for de mikrobiologiske parametre i indløb og udløb for Kalundborg Centralrenseanlæg fremgår af tabel 6-5. Der er samtidig angivet udløbsniveauerne efter ozonbehandling ved 21,5; 53,5 og 84,8 gram ozon/m³. Det skal bemærkes, at der kun er udtaget en prøve, hvorfor resultaterne og vurderingerne skal betragtes som orienterende.

Tabel 6-5 Mikrobiologiske parametre på Kalundborg Centralrenseanlæg (indløb og udløb - efter efterklaringstankene - samt efter ozonbehandlingsanlæg ved tre doseringsniveauer).

Parameter	Enhed	Indløb	Udløb	Ozon-21,5	Ozon-53,5	Ozon-84,8
Kimtal, 22° C	/100 ml	$3,8 \times 10^8$	$2,0 \times 10^7$	$1,5 \times 10^7$	$6,2 \times 10^6$	$5,1 \times 10^6$
Kimtal, 37° C	/100 ml	$2,3 \times 10^8$	$2,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$	$6,3 \times 10^6$	$6,8 \times 10^6$
Coliforme bakterier	/100 ml	$3,3 \times 10^7$	$3,3 \times 10^6$	$2,4 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$	800
Termotol. coliforme bakterier	/100 ml	$1,4 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$	100
Enterokokker	/100 ml	$3,6 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$	$<10^3$ *	$<10^3$ *
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	/100 ml	<10 *	påvist	påvist	<10 *	<10 *
<i>Clostridium perfringens</i>	/100 ml	$7,3 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	500	900
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	/100 ml	$5,9 \times 10^3$	<500 *	<500 *	<500 *	<500 *
<i>Salmonella</i>	/100 ml	påvist	påvist	<10 *	<10 *	<10 *
Enterovirus**	/100 ml	påvist	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
<i>Giardia intestinalis</i>	/100 ml	<1 *	<1 *	<1 *	<1 *	<1 *
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/100 ml	<1 *	<1 *	<1 *	<1 *	<1 *

* Detektionsgrænse.

** Jf. tabel 4-2 for oplysninger om detektionsgrænse for enterovirus.

Indholdet af kimtal 22° C, kimtal 37° C og coliforme bakterier i indløbet svarer stort set til litteraturens gennemsnitsniveauer.

Indholdet af bakterierne termotolerante coliforme bakterier, enterokokker, og *Clostridium perfringens*, sporer af *Clostridium perfringens* i det urensede spildevand svarer til den lave ende af litteraturens indløbsniveauer (jvf. afsnit 2.2). Det kan hænge sammen med, at ca. halvdelen af det tilledte spildevand til Kalundborg Centralrenseanlæg stammer fra en enkelt industri.

Campylobacter er ikke påvist i indløbet, men påvist i to af udløbsprøverne. *Salmonella* er påvist i det urensede og rensede spildevand (målt efter efterklaringstankene), men kun som kvalitativt resultat. Indholdet er dog større end 10 *Salmonella*-bakt. pr. 100 ml.

Niveauet af coliforme bakterier i det rensede spildevand efter klaringstankene vurderes at være i den høje ende af litteraturens niveauer.

Indholdet af termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i det rensede spildevand efter klaringstankene svarer til de gennemsnitlige niveauer fra litteraturen.

Enterovirus er, som forventet i henhold til litteraturen, påvist i indløbet, men ikke i udløbsvandet.

Samtidig bemærkes, at der ikke er påvist protozoer (*Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum*) i hverken urensset eller rensset spildevand, hvilket givetvis skyldes det specielle spildevand fra enkeltindustrien og oplandet.

SMI har oplyst, at man i prøverne med ozondosering på 53,5 og 84,8 g/m³ dog påviste et antal objekter, som rent metodemæssigt skulle bedømmes som forventede/presumtative cryptosporidier. Der findes dog ingen yderligere metoder til at verificere resultatet, og det skal derfor tages som en observation ved opfølgende prøveudtagning. Antallet af objekter er således ikke oplyst.

Både total coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier (fækale colibakterier) og enterokokker er i udløbet målt over de eksisterende badevandskrav og forslag til nye kvalitetskrav (jvf. tabel 4-2). Det skal dog bemærkes, at der i recipienten vil ske et henfald samt fortynding af mikroorganismene.

Af tabel 6-6 fremgår renseseffekten for Kalundborg Centralrenseanlæg uden ozon-anlægget, dvs. med anlægsopbygningen MBNKD. Der henvises til afsnit 6.4 for vurderinger af effekten af ozonbehandlingen.

Tabel 6-6 Renseeffekt for mikrobiologiske parametre på Kalundborg Centralrenseanlæg (indløb og udløb - efter efterklaringstankene).

Parameter	Indløb/Udløb, %	Indløb/Udløb, Log10
Kimtal, 22° C	94,7	1,3
Kimtal, 37° C	91,3	1,1
Coliforme bakterier	90,0	1,0
Termotol. coliforme bakterier	65,0	0,5
Enterokokker	47,2	0,3
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	i.v.	i.v.
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	0,4
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	<500	<500
<i>Salmonella</i>	i.v.	i.v.
Enterovirus	Til detektionsgrænse	Til detektionsgrænse
<i>Giardia intestinalis</i>	i.v.	i.v.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.v.	i.v.

i.v.: Ikke vurderet pga. at begge resultater er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

Kalundborg Centralrenseanlægs renseseffekt overfor coliforme bakterier og termotolerante coliforme bakterier samt enterokokker er lav set i forhold til de normal kendte reduktioner i renseanlæg med MBNKD-opbygning.

Renseanlæggets effekt på *Salmonella* er uvist, da *Salmonella* er påvist i både det urensede og rensede spildevand, men kun som et kvalitativt resultat. Effekten overfor *Campylobacter*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* kan heller ikke vurderes.

Enterovirus er reduceret til detektionsgrænsen og sporer af *Clostridium perfringens* til <500 pr. 100 ml gennem renseanlægget, inden det efterklarede spildevand behandles yderligere i ozon-anlægget.

Hvis udløbskoncentrationen for sporer af *Clostridium perfringens* regnes som halvdelen af <500 pr. 100 ml, dvs. 250 pr. 100 ml, vil en orienterende renseseffekt være på ca. 95,8 %.

6.3.2 Spildevandscenter Avedøre

Spildevandscenter Avedøre er opbygget som et MBNKD-anlæg.

Analyseresultater for de mikrobiologiske parametre i indløb og udløb for Spildevandscenter Avedøre fremgår af tabel 6-7.

Tabel 6-7 Mikrobiologiske parametre på Spildevandscenter Avedøre.

Parameter	Enhed	9/10-02		6/11-02		12/11-02	
		indløb	udløb	indløb	udløb	indløb	udløb
Kimtal, 22° C	/100 ml	5,0×10 ⁸	4,5×10 ⁶	5,5×10 ⁸	4,5×10 ⁶	4,7×10 ⁸	2,2×10 ⁶
Kimtal, 37° C	/100 ml	3,9×10 ⁸	5,4×10 ⁶	5,7×10 ⁸	2,6×10 ⁶	3,6×10 ⁸	1,6×10 ⁶
Coliforme bakterier	/100 ml	1,1×10 ⁸	2,3×10 ⁵	4,9×10 ⁷	1,1×10 ⁵	3,3×10 ⁶	1,3×10 ⁵
Termotol. coliforme bakterier	/100 ml	4,9×10 ⁶	9,2×10 ⁴	3,3×10 ⁶	3,3×10 ⁴	2,3×10 ⁶	3,3×10 ⁴
Enterokokker	/100 ml	1,3×10 ⁶	7,8×10 ⁴	3,6×10 ⁶	1,5×10 ⁴	6,1×10 ⁵	1,2×10 ⁴
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	/100 ml	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	påvist
<i>Clostridium perfringens</i>	/100 ml	1,8×10 ⁴	5,0×10 ³	1,6×10 ⁴	500	3,0×10 ⁴	<500
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	/100 ml	2,6×10 ⁴	5,0×10 ³	2,0×10 ⁴	<500	1,3×10 ⁴	<500
<i>Salmonella</i>	/100 ml	påvist	<10*	10-100	10-100	10 ³ -10 ⁴	10-100
Enterovirus	/100 ml	påvist	i.p.**	påvist	i.p.**	påvist	i.p.**
<i>Giardia intestinalis</i>	/100 ml	<4*	<1*	<4*	<0,2*; 5,32	i.a.	5,03
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/100 ml	<4*	<1*	<4*	<0,2*; 0,11	i.a.	0,11

* Detektionsgrænse.

** Jævnfør tabel 4-2 for oplysninger om detektionsgrænse for enterovirus.

i.p. Ikke påvist.

i.a. Ikke analyseret.

Indholdet af kimtal 22° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, *Salmonella* samt enterokokker i indløbet svarer til de gennemsnitlige erfaringsniveauer i litteraturen.

Niveauet af kimtal 37° C i indløbsvandet er relativt højt i forhold til de typiske niveauer i litteraturen.

Campylobacter er ikke påvist i det urensede spildevand. Indløbsvandets indhold af *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfringens* er lavt i forhold til normalniveauer fra litteraturen. Hverken *Giardia intestinalis* eller *Cryptosporidium parvum* er påvist i indløbsspildevandet.

Alle de udtagne prøver i indløbet har for hver mikrobiologisk parameter været forholdsvis ens (i samme niveau).

Indholdet af coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, enterokokker og *Salmonella* i det rensede spildevand svarer til litteraturens niveauer.

Campylobacter er ikke påvist i indløbsspildevandet, og kun ved en enkelt prøvedag i udløbet.

Niveauet af *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* i det rensede spildevand er i den lave nede af normalniveauet fra litteraturen.

Både total coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier (fækale colibakterier) og enterokokker er i udløbet målt over de eksisterende

badevandskrav og forslag til nye kvalitetskrav (jvf. tabel 4-2). Det skal dog bemærkes, at der i recipienten vil ske et henfald samt fortynding af mikroorganismene.

Af tabel 6-8 fremgår de gennemsnitlige koncentrationer og beregnede reduktioner i % og logaritmisk for de undersøgte mikroorganismer.

Der er dog til tabellen beregningsmæssigt foretaget en modifikation for at få en indikation af indholdsniveauer for visse parametre, hvor resultaterne er målt i intervaller, f.eks. 10-100 pr. 100 ml, eller hvor antallet er angivet som "under detektionsgrænsen", som f.eks. <10 pr. 100 ml eller "ikke påvist". Modifikationen er ikke udført, hvor alle analyseresultater for en parameter er under den i projektet anvendte detektionsgrænse, men kun i de tilfælde hvor der både er resultater over og under detektionsgrænsen anvendt i projektet.

Et resultat (indhold) for en sådan prøve er anslået ved at tage gennemsnitsværdien (halvdelen) af hvert målt indholdsinterval eller hver angivet detektionsgrænse. Ved et resultat på eksempelvis <10 pr. 100 ml bliver det beregningsmodificerede resultat til 5 pr. 100 ml, hvilket må betragtes som et bedre skøn end 0 eller 10 pr. 100 ml.

De gennemsnitlige indhold i spildevandet er så beregnet ved at tage gennemsnittet af disse modificerede resultater og de faktiske målte indholdsniveauer.

For at få en indikation af renseeffekten er der også foretaget en modifikation af de resultater, hvor en parameter er blevet reduceret til den i projektet anvendte detektionsgrænse fra indløb til udløb, som f.eks. *Clostridium perfringens* på prøvetidspunktet den 12/11-02. Her er detektionsgrænsen dog anvendt til beregningen.

Den gennemsnitlige reduktion er bestemt ved at beregne middelværdien af reduktionen for hvert sæt af de modificerede ind- og udløbsresultater og af de faktisk målte reduktioner.

Beregningsmodifikationerne er udført for *Salmonella*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* i indløbet og udløbet samt for *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfringens* i indløbet.

Tabel 6-8 Gennemsnitlige målte/modificerede koncentrationer og reduktioner (% og logaritmisk) for de mikrobiologiske parametre på Spildevandscenter Avedøre.

Parameter	Indløb	Udløb	Reduktion	Reduktion
	Gns., /100 ml	Gns., /100 ml	Gns., %	Gns., Log10
Kimtal, 22° C	5,1×10 ⁸	3,7×10 ⁶	99,3	2,2
Kimtal, 37° C	4,4×10 ⁸	3,2×10 ⁶	99,2	2,2
Coliforme bakterier	5,4×10 ⁷	1,6×10 ⁵	98,5	2,2
Termotol. coliforme bakterier	3,5×10 ⁶	5,3×10 ⁴	98,6	1,9
Enterokokker	1,8×10 ⁶	3,5×10 ⁴	97,2	1,8
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	<10*	<10*	i.v.	i.v.
<i>Clostridium perfringens</i>	2,1×10 ⁴	1.900	89,1	1,3
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	2,0×10 ⁴	1.800	91,5	1,2
<i>Salmonella</i>	2.800	38	99,0	2,0
Enterovirus	påvist	ikke påvist**	Til detek.**	Til detek.**
<i>Giardia intestinalis</i>	2,0 (<4*)	2,7	53,6	0,4
<i>Cryptosporidium parvum</i>	2,0 (<4*)	0,2	86,2	1,1

* Detektionsgrænse.

** Jævnfør tabel 4-2 for oplysninger om detektionsgrænse for enterovirus.

i.v. Ikke vurderet pga. at begge resultater er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

Indholdsniveauet af *Giardia intestinalis* er angivet større i udløbet i forhold til indløbet, hvilket skyldes modifikationsberegningen og den store forskel i analyseresultaterne (henholdsvis <0,2 og 5,32 pr. 100 ml, jf. tabel 6-7). Reduktionen af protozoerne er forholdsvis lille i forhold til litteraturens niveauer, hvilket kan hænge sammen med ovenstående. Hvis der kun regnes på indløbsdetectionsgrænse (<4) i forhold til udløbsdetectionsgrænse (<0,2 og <1) fra samme laboratorium for *Giardia intestinalis* vil den gennemsnitlige reduktion være på 85%, hvilket er inden for litteraturens normalområde.

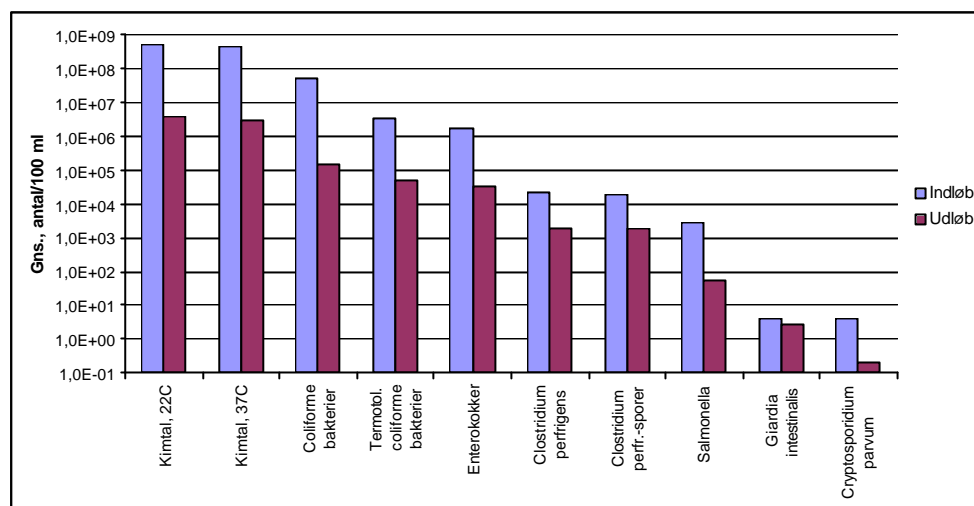
Renseanlægget udviser generelt renseeffekter, som svarer til de gennemsnitlige størrelsesordener, som er angivet i litteraturen for renseanlæg med MBNKD-opbygning.

Renseanlægget har reelt set gennemsnitlig reduceret sporer af *Clostridium perfringens* ned til <500 pr. 100 ml, og renseeffekten er større end 91,5 %.

Der skal dog bemærkes, at de høje renseeffekter ikke er ensbetydende med, at der ikke findes smitstoffer i udløbsvandet (jvf. kolonne 2 og figur 6-1).

Enterovirus er reduceret ned til detektionsgrænsen gennem renseanlægget. Litteraturen angiver dog, at enterovirus kan findes i rensede spildevand.

De gennemsnitlige indløbs- og udløbskoncentrationer er præsenteret grafisk på figur 6-1. *Campylobacter* og enterovirus er ikke præsenteret på figuren. Det skyldes, at *Campylobacter* ikke er målt over den i projektet anvendte detektionsgrænse hverken i indløbet eller udløbet, mens enterovirus ikke er kvantificeret (jf. tabel 6-7).



Figur 6-1 Gennemsnitlige indløbs- og udløbskoncentrationer af mikroorganismer ved Spildevandscenter Avedøre.

6.3.3 Usserød Renseanlæg

Usserød Renseanlæg er opbygget som et MBNKDF-anlæg.

Analyseresultater for de mikrobiologiske parametre i indløb og udløb for Usserød Renseanlæg fremgår af tabel 6-9.

Tabel 6-9 Mikrobiologiske parametre på Usserød renselanlæg.

Parameter	Enhed	9/10-02		6/11-02		12/11-02	
		indløb	udløb	indløb	udløb	indløb	udløb
Kimtal, 22° C	/100 ml	5,7×10 ⁸	1,6×10 ⁵	2,4×10 ⁸	2,3×10 ⁵	7,7×10 ⁸	3,7×10 ⁵
Kimtal, 37° C	/100 ml	4,2×10 ⁸	1.100	2,0×10 ⁸	1,3×10 ⁵	4,9×10 ⁸	2,1×10 ⁵
Coliforme bakterier	/100 ml	4,9×10 ⁷	1,1×10 ⁴	7,9×10 ⁷	7.900	7,0×10 ⁷	1,1×10 ⁴
Termotol. coliforme bakterier	/100 ml	3,3×10 ⁷	2.200	4,9×10 ⁶	3.500	7,9×10 ⁶	3.300
Enterokokker	/100 ml	2,4×10 ⁶	<1.000 *	1,4×10 ⁶	<1.000 *	3,1×10 ⁶	2.000
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	/100 ml	<10 *	<10 *	<10 *	påvist	<10 *	<10 *
<i>Clostridium perfringens</i>	/100 ml	3,5×10 ⁴	<1.000 *	4,0×10 ⁴	<500 *	1.300	<500 *
<i>Clostridium perfr.-sporer</i>	/100 ml	7,0×10 ⁴	<10 ³ *	5,5×10 ⁴	<500 *	5,0×10 ⁴	<500 *
<i>Salmonella</i>	/100 ml	påvist	påvist	10-100	<10 *	100-10 ³	<10 *
Enterovirus	/100 ml	påvist	i.p. **	i.p. **	i.p. **	i.p. **	i.p. **
<i>Giardia intestinalis</i>	/100 ml	i.a.	<1 *	<4 *	<0,1*; 0,57	i.a.	0,25
<i>Cryptosporidium parvum</i>	/100 ml	i.a.	<1 *	<4 *	<0,1*; i.p.	i.a.	0,01

* Detektionsgrænse.

** Jævnfør tabel 4-2 for oplysninger om detektionsgrænse for enterovirus.

i.p. Ikke påvist.

i.a. Ikke analyseret.

Alle parametrene er målt forholdsvis ens ved alle de tre prøvetidspunkter for både indløb og udløb. For *Giardia intestinalis* i udløbet er der dog forskel i det målte indhold for de to udførende laboratorier, jf. afsnit 4.4. Enterovirus er kun påvist i én af indløbsprøverne.

Salmonella er påvist i både indløb og udløb i anden prøverunde (d. 9/10-02), men er ikke kvantificeret, hvorfor det er uvist om *Salmonella* er reduceret i den prøverunde.

De målte indhold af kimtal 22° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og *Salmonella* i indløbsvandet svarer til litteraturens gennemsnitsniveauer.

Niveauet af kimtal 37° C og enterokokker i urensset spildevand er højt set i forhold til litteraturen, mens *Clostridium perfringens*, sporer af *Clostridium perfringens* og *Campylobacter* samt protozoerne er i den lave ende af litteraturens niveauangivelser.

Indholdet af coliforme bakterier, enterokokker og *Cryptosporidium parvum* i det efterklarede og sandfiltrede spildevand er højt set i forhold til udløbsniveauerne fra litteraturen.

Niveauet af *Salmonella* og *Campylobacter* ligger i den lave ende af litteraturens angivelser for rensset og sandfiltreret spildevand.

Indholdet i det rensede spildevand fra MBNKDF-anlægget med hensyn til termotolerante coliforme bakterier og *Giardia intestinalis* svarer til de gennemsnitsniveauer, som findes i litteraturen.

Af tabel 6-10 fremgår de gennemsnitlige koncentrationer og beregnede reduktioner i % og logaritmisk for de undersøgte mikroorganismer.

Der er dog til tabellen beregningsmæssigt foretaget en modifikation for at få en indikation af indholdsniveauer for visse parametre, hvor resultaterne er målt i intervaller, f.eks. 10-100 pr. 100 ml, eller hvor antallet er angivet som "under detektionsgrænsen", som f.eks. <10 pr. 100 ml eller "ikke påvist". Modifikationen er ikke udført, hvor alle analyseresultater for en parameter er under detektionsgrænsen anvendt i projektet, men kun i de tilfælde hvor der både er resultater over og under detektionsgrænsen anvendt i projektet.

Et resultat (indhold) for en sådan prøve er anslået ved at tage gennemsnitsværdien (halvdelen) af hvert målt indholdsinterval eller hver angivet detektionsgrænse. Ved et resultat på eksempelvis <10 pr. 100 ml bliver det beregningsmodificerede resultat til 5 pr. 100 ml, hvilket må betragtes som et bedre skøn end 0 eller 10 pr. 100 ml.

De gennemsnitlige indhold i spildevandet er så beregnet ved at tage gennemsnittet af disse modificerede resultater og de faktiske målte indholdsniveauer.

For at få en indikation af renseeffekten er der også foretaget en modifikation, hvor en parameter er blevet reduceret ned til den i projektet anvendte reduktionsgrænse fra indløb til udløb, som f.eks. *Clostridium perfringens* på prøvetidspunktet den 12/11-02. Her er detektionsgrænsen dog anvendt til beregningen.

Den gennemsnitlige reduktion er bestemt ved at beregne middelværdien af reduktionen for hvert sæt af de modificerede ind- og udløbsresultater og af de faktisk målte reduktioner.

Beregningsmodifikationerne er udført for enterokokker, *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfringens* i udløbet samt for *Salmonella* og *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* i både indløbet og udløbet.

Tabel 6-10 Gennemsnitlige målte/modificerede koncentrationer og reduktioner (% og logaritmisk) for de mikrobiologiske parametre på Usserød renseanlæg.

Parameter	Indløb	Udløb	Reduktion	Reduktion
	Gns., /100 ml	Gns., /100 ml	Gns., %	Gns., Log10
Kimtal, 22° C	5,3×10 ⁸	2,5×10 ⁵	99,9	3,3
Kimtal, 37° C	3,7×10 ⁸	1,5×10 ⁵	100	3,4
Coliforme bakterier	6,6×10 ⁷	1,0×10 ⁴	100	3,8
Termotol. coliforme bakterier	1,5×10 ⁷	3.000	100	3,6
Enterokokker	2,3×10 ⁶	1.000	100	3,4
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	<10*	<10*	i.v.	i.v.
<i>Clostridium perfringens</i>	6,8×10 ⁴	330	98,5	2,0
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	5,8×10 ⁴	330	98,9	2,0
<i>Salmonella</i>	300	5,0	95,0	1,5
Enterovirus	ikke påvist**	ikke påvist**	i.v.	i.v.
<i>Giardia intestinalis</i>	2,0	0,34	84,5	0,8
<i>Cryptosporidium parvum</i>	2,0	0,19	97,5	1,6

* Detektionsgrænse.

** Jævnfør tabel 4-2 for oplysninger om detektionsgrænse for enterovirus.

i.v. Ikke vurderet pga. at begge resultater er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

Renseanlægget udviser generelt renses effekter, som svarer til de størrelsesordener, som er angivet i litteraturen for renseanlæg med MBNKDF-opbygning. For coliforme og termotolerante coliforme bakterier samt enterokokker har Usserød Renseanlæg dog lidt højere renses grader end angivet i litteraturen. Samtidig er effekten overfor *Salmonella*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* lidt lavere end litteraturens niveauer.

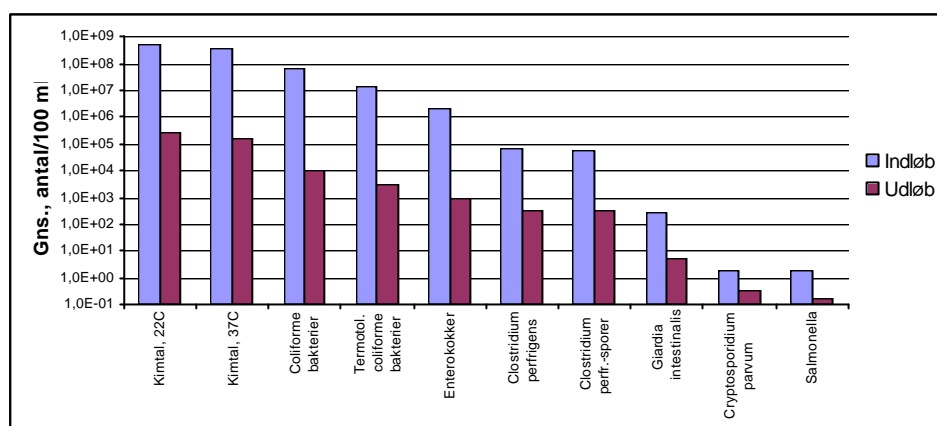
Renseanlægget har gennemsnitlig reduceret enterokokker, *Clostridium perfringens*, sporer af *Clostridium perfringens* og *Salmonella* ned til detektionsgrænsen anvendt i projektet.

Der skal dog bemærkes, at de høje renses effekter ikke er ensbetydende med, at der ikke findes smitstoffer i udløbsvandet (jf. talkolonne 2).

De gennemsnitlige udløbsværdier for både total coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier (fækale colibakterier) og enterokokker er målt over de eksisterende badevandskrav og forslag til nye kvalitetskrav (jvf. tabel 4-2). Det skal dog bemærkes, at der i recipienten vil ske et henfald samt fortynding af mikroorganismene.

De gennemsnitlige målte indløb- og udløbskoncentrationer er vist grafisk på figur 6-2. Det bemærkes, at *Campylobacter* og enterovirus ikke er præsenteret på figuren. Det skyldes, at disse mikroorganismer gennemsnitligt ikke er målt over detektionsgrænserne hverken i indløbet eller udløbet (jf. tabel 6-9).

Figur 6-2 viser samtidig, at renses effekter på 100 % for hhv. kimtal 37° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker ikke betyder, at disse mikroorganismer ikke findes i det rensede spildevand.



Figur 6-2 Gennemsnitlige indløbs- og udløbskoncentrationer af mikroorganismer ved Usserød Renseanlæg.

6.3.4 Sammenfatning

Som udgangspunkt bør det lave datagrundlag medtages i betragtningerne, hvorfor størrelsesordener og vurderinger er af orienterende karakter.

Det gennemsnitlige indhold af mikroorganismer i det urensede spildevand for de tre renselanlæg fremgår af tabel 6-11 til sammenligning.

Tabel 6-11 Gennemsnitlige målte/modificerede indløbskoncentrationer for de mikrobiologiske parametre til Kalundborg Centralrenseanlæg, Spildevandscenter Avedøre og Usserød renselanlæg.

Parameter	Kalundborg, antal/100 ml	Avedøre, antal/100 ml	Usserød, antal/100 ml
Kimtal, 22° C	$3,8 \times 10^8$	$5,1 \times 10^8$	$5,3 \times 10^8$
Kimtal, 37° C	$2,3 \times 10^8$	$4,4 \times 10^8$	$3,7 \times 10^8$
Coliforme bakterier	$3,3 \times 10^7$	$5,4 \times 10^7$	$6,6 \times 10^7$
Termotol. coliforme bakterier	$1,4 \times 10^6$	$3,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^7$
Enterokokker	$3,6 \times 10^4$	$1,8 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	<10	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i>	7.300	$2,1 \times 10^4$	$6,8 \times 10^4$
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	5.900	$2,0 \times 10^4$	$5,8 \times 10^4$
<i>Salmonella</i>	påvist	2.800	300
Enterovirus	påvist	påvist	ikke påvist
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	2,0 (<4)	2,0 (<4)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	2,0 (<4)	2,0 (<4)

Det gennemsnitlige indhold af mikroorganismer i det urensede spildevand ved Spildevandscenter Avedøre er konstateret i et væsentlig større antal end i Kalundborg Centralrenseanlæg. Det er specielt termotolerante coliforme bakterier (ca. 2,5 gange højere forekomst), enterokokker (ca. 50 gange større antal), *Clostridium perfringens* (ca. 3 gange) og sporer af *Clostridium perfr.* (ca. 3,3 gange), som er ekstra belastende. Indholdet af protozoer kan være ca. 4 gange så stort som i Kalundborg. De øvrige mikrobiologiske parametre er i forholdsvis samme niveau som i Kalundborg Centralrenseanlæg.

I Usserød Renseanlæg er den gennemsnitlige mikrobielle belastning fra termotolerante coliforme bakterier (ca. 11 gange), enterokokker (ca. 64 gange), *Clostridium perfringens* (ca. 9 gange), sporer af *Clostridium perfr.* (ca. 9

gange) væsentlig større end i Kalundborg Centralrenseanlæg. De øvrige parametre er forholdsvis i samme niveau.

Indløbsspildevandets indhold af mikroorganismer i Usserød og Avedøre er i relativt samme niveau, bortset fra *Salmonella*, som er ca. 9 gange lavere i Usserød. Samtidig er indholdet af hhv. termotolerante coliforme bakterier, *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfr.* dog hhv. ca. 4½, 3,2 og 3 gange højere i Usserød end i Avedøre.

Det gennemsnitlige indhold af mikroorganismer i det rensede spildevand for de tre renseanlæg fremgår af tabel 6-12 til sammenligning.

Tabel 6-12 Gennemsnitlige målte/modificerede udløbskoncentrationer for de mikrobiologiske parametre fra Kalundborg Centralrenseanlæg, Spildevandscenter Avedøre og Usserød renseanlæg.

Parameter	Kalundborg, MBNKD, antal/100 ml	Avedøre, MBNKD, antal/100 ml	Usserød, MBNKDF, antal/100 ml
Kimtal, 22° C	2,0×10 ⁷	3,7×10 ⁶	2,5×10 ⁵
Kimtal, 37° C	2,0×10 ⁷	3,2×10 ⁶	1,5×10 ⁵
Coliforme bakterier	3,3×10 ⁶	1,6×10 ⁵	1,0×10 ⁴
Termotol. coliforme bakterier	4,9×10 ⁵	5,3×10 ⁴	3.000
Enterokokker	1,9×10 ⁴	3,5×10 ⁴	1.000
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	påvist	<10	<10
<i>Clostridium perfringens</i>	3.200	1.900	330
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	<500	1.800	330
<i>Salmonella</i>	påvist	38	5,0
Enterovirus	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	2,7	0,3
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	0,2	0,2

Spildevandscenter Avedøre har væsentlig bedre udløbsresultater for alle mikroorganismerne, bortset fra *Giardia intestinalis* og sporer af *Clostridium perfr.*, end Kalundborg Centralrenseanlæg.

Usserød Renseanlæg udviser som forventet væsentligt bedre udløbsresultater end Kalundborg Centralrenseanlæg, dels pga. sandfilteret som sidste rensetrin og dels pga. spildevandssammensætningen. Kalundborg Centralrenseanlæg modtager en del svært biologisk omsætteligt organisk stof, og reduktionen af bakterier følger generelt reduktionen af organisk stof.

Usserød Renseanlæg har som forventet væsentligt bedre udløbsresultater end Spildevandscenter Avedøre, hvilket skyldes sandfilteret. For alle bakterierne er udløbskoncentrationerne gennemsnitligt ca. 15 gange lavere, mens det kun for kimtalsbestemmelserne og indikatorbakterierne (coliforme bakterier og termotolerante coliforme bakterier samt enterokokker) er gennemsnitligt ca. 20 gange lavere udløbsniveauer.

Usserød Renseanlæg har af de tre renseanlæg generelt den bedste udløbskvalitet for de undersøgte mikroorganismer.

Udløbsværdierne for coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier (fækale colibakterier) og enterokokker er for de tre undersøgte renseanlæg over de eksisterende badevandskrav og forslag til nye kvalitetskrav. Der vil dog i recipienten ske et henfald og en fortynding. Udløbsværdierne for Usserød Renseanlæg er tættest på at kunne overholde de nuværende badevandskrav,

hvilket skyldes den bedre fjernelse af mikroorganismene forårsaget af sandfilteret.

Den gennemsnitlige renseeffekt for renseanlæggene fremgår af tabel 6-13. Kalundborg og Avedøre har samme procesmæssige opbygning (MBNKD), mens Usserød har et sandfilter som sidste rensetrin (MBNDKF).

Tabel 6-13 Gennemsnitlige målte/modificerede renseeffekter for de mikrobiologiske parametre for Kalundborg Centralrenseanlæg, Spildevandscenter Avedøre og Usserød renseanlæg.

Parameter	Kalundborg, MBNKD, %	Avedøre, MBNKD, %	Usserød, MBNKDF, %
Kimtal, 22° C	94,7	99,3	99,9
Kimtal, 37° C	91,3	99,2	100
Coliforme bakterier	90,0	98,5	100
Termotol. coliforme bakterier	65,0	98,6	100
Enterokokker	47,2	97,2	100
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	89,1	98,5
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	95,8	91,5	98,9
<i>Salmonella</i>	i.v.	99,0	95,0
Enterovirus	Til detek.	Til detek.	i.v.
<i>Giardia intestinalis</i>	i.v.	53,6	84,5
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.v.	86,2	97,5

Renseeffekter på 100 % for hhv. kimtal 37° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker betyder ikke, at disse mikroorganismer ikke findes i det rensede spildevand.

Spildevandscenter Avedøre har generelt både større indløbskoncentrationer og lavere udløbskoncentrationer end Kalundborg Centralrenseanlæg. Spildevandscenter Avedøre har derfor en bedre renseeffekt end Kalundborg.

Sammenfattende har disse få undersøgelser vist, at MBNKD-anlæg kan reducere sporer af *Clostridium perfringens* ned til <500 pr. 100 ml og enterovirus ned til detektionsgrænsen.

Usserød Renseanlæg har som forventet en væsentlig bedre renseeffekt end Kalundborg Centralrenseanlæg overfor alle de undersøgte mikroorganismer. Samtidig har Usserød Renseanlæg som forventet en bedre renseeffekt end Spildevandscenter Avedøre overfor mikroorganismene.

Usserød Renseanlæg har af de tre renseanlæg således som forventet generelt den bedste renseeffekt overfor de undersøgte mikroorganismer. Dette skyldes at dette renseanlæg har et sandfilter som yderligere rensetrin. Spildevandscenter Avedøre har generelt den næstbedste renseeffekt. Kalundborg Centralrenseanlæg udviser den dårligste effekt overfor coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker. Renseeffekten er lav set i forhold til litteraturens renseniveauer for en sådan anlægsopbygning.

6.4 Effekt af ozonbehandling

Der vurderes på ozonbehandlingens effekt i forhold til MBNKD-anlægget ved forskellige ozon-doseringer. Samtidig vurderes på de testede ozon-doseringernes effekt indbyrdes.

Det pointeres, at der kun foreligger et meget lille datagrundlag, hvorfor resultaterne og vurderingerne skal betragtes som værende af orienterende karakter.

Litteraturen angiver, at ozonanlæg kan reducere indholdet af termotolerante coliforme bakterier fra typisk 4×10^5 - 4×10^6 pr. 100 ml til under 1.000 pr. 100 ml (Absi et al). Det vil sige renses effekter på ca. 99,8 – 100 % (eller log 2,6 - 3,6). Reduktionen er dog meget afhængig af doseringsmængden. Der er nogen uklarhed om den nødvendige doseringsmængde. Dog synes en dosering i størrelsesordenen 20 g/m^3 at give en betydelig reduktion (<5.000 CFU pr. 100 ml). Det skal anføres, at en lang række lokale faktorer har stor indflydelse på resultatet af ozonbehandlingen.

Af tabel 6-14 fremgår renses effekten af ozon-anlægget med hensyn til mikroorganismene ved de forskellige testede ozon-doseringer. Reduktionen er angivet i % og logaritmisk.

Tabel 6-14 Effekt af Ozon-anlæg (tre doseringsniveauer) på Kalundborg Centralrenseanlæg for mikroorganismer.

Parameter	Indløb/ Udløb	Indløb/ Udløb	Indløb/ Ozon- 22,5	Indløb/ Ozon- 21,5	Indløb/ Ozon- 53,5	Indløb/ Ozon- 53,5	Indløb/ Ozon- 84,8	Indløb/ Ozon- 84,8
	%	Log	%	Log	%	Log	%	Log
Kimtal, 22°C	94,7	1,3	96,1	1,4	98,4	1,8	98,7	1,9
Kimtal, 37°C	91,3	1,1	95,7	1,4	97,3	1,6	97,0	1,5
Coliforme bakterier	90,0	1,0	99,3	2,1	99,97	3,5	100	4,6
Termotol. coliforme bakterier	65,0	0,5	90,7	1,0	99,2	2,1	99,99	4,1
Enterokokker	47,2	0,3	97,2	1,6	(97,2)	(1,6)	(97,2)	(1,6)
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	0,4	80,8	0,7	93,2	1,2	87,7	0,9
<i>Clostridium</i> perfir.-sporer	(91,5)	(1,1)	(91,5)	(1,1)	(91,5)	(1,1)	(91,5)	(1,1)
<i>Salmonella</i>	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.
Enterovirus	Til detek.*	Til detek.*	Til detek.*	Til detek.*	Til detek.*	Til detek.*	Til detek.*	Til detek.*
<i>Giardia intestinalis</i>	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.	i.v.

i.v.: Ikke vurderet pga. at begge resultater er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

* Jævnfør tabel 4-2 for oplysninger om detektionsgrænse for enterovirus.

() Modificerede renses effekter.

Viderebehandling af rensset spildevand med ozondosering medfører en forbedret rensning af alle de undersøgte mikroorganismer. Det ses generelt for alle mikroorganismene, at jo højere ozon-doseringen er, jo større er renses effekten.

Ozon-behandling med en dosering på $84,8 \text{ g/m}^3$ fjerner indikatorbakterierne, total coliforme bakterier (udløbskoncentration, 800 pr. 100 ml vand) og termotolerante coliforme bakterier (udløbskoncentration, 100 pr. 100 ml

vand), næsten fuldstændigt. Til sammenligning er det danske badevandskrav på 1.000 termotol. colibakt. pr. 100 ml, dvs. ca. 10 gange højere end det målte udløbsniveau. EU's forslag til nyt badevandsdirektiv opererer til sammenligning med en kravværdi for *E. coli* på 500 pr. 100 ml. Litteraturen angiver renseseffekter på ca. 99,8-100 % for ozonanlæg på renseanlæg for termotolerante coliforme bakterier (Absi et al.). Det renseniveau opnås i Kalundborg Centralrenseanlæg med en dosering på 84,8 g/m³.

Enterokokker blev ved udløbet efter ozondosering på 21,5 g O₃/m³ målt til 1.000 pr. 100 ml (10 pr. ml), mens der ved en forøget dosering til både 53,5 og 84,8 g O₃/m³ blev konstateret <1.000 pr. 100 ml (<10 pr. ml). Enterokokker blev således reduceret yderligere ved en forøgelse af ozon-doseringen fra 21,5 til 53,5 og 84,8 g O₃/m³. Hvis man anvender <1.000 pr. 100 ml i et skøn over renseseffekten for ozon-doseringen på 53,5 og 84,8 g O₃/m³, opnås en renseseffekt på minimum 97,2 %. Til sammenligning angiver EU's forslag til nyt badevandsdirektiv med en kravværdi for intestinale enterokokker på 200 pr. 100 ml.

Clostridium perfringens blev ved ozon-behandlingen reduceret til 500 pr. 100 ml ved en dosering på 53,5 g O₃/m³ og til 900 pr. 100 ml ved dosering på 84,8 g O₃/m³. Den tilsyneladende stigning i antallet med stigende ozondosis antages ikke at være reel, men snarere et udtryk for usikkerheden på et niveau, der er tæt på metodens påvisningsgrænse.

Hvorvidt sporer af *Clostridium perfr.* reduceres yderligere ved ozon-behandlingen kan ikke vurderes, da de er reduceret til <500 pr. 100 ml allerede i udløbet efter efterklaringstankene. Hvis man anvender dette niveau i et skøn over renseseffekten, opnås en renseseffekt på minimum 91,5 % for alle de testede ozon-doseringer.

En efterbehandling af rensed spildevand fra renseanlæg med ozon-dosering medfører en reduktion af antallet af indikatorbakterier.

Ozon-behandlingen ved alle tre doseringsniveauer bevirker, at *Salmonella* bliver fjernet til detektionsgrænsen, da *Salmonella* er påvist i udløbet efter efterklaringstankene, men ikke efter ozon-anlægget.

Reduktionen af de kemiske spildevandsparametre gennem renseanlægget og ozon-anlægget ved de forskellige ozon-doseringsniveauer fremgår af tabel 6-15. Dette anvendes til at sammenholde reduktionen af de kemiske parametre med reduktionen af mikroorganismer, idet det normalt forventes, at reduktionen af organisk stof (COD) følger reduktionen af bakterier, hvilket også er vist tidligere i nærværende undersøgelse.

Tabel 6-15 Reduktion af generelle spildevandsparametre på Kalundborg Centralrenseanlæg (Ozon-anlæg).

Parameter	MBNKD	MBNKD+Ozon	MBNKD+Ozon	MBNKD+Ozon
	Indløb/Udløb	Indløb/Ozon-20	Indløb/Ozon-50	Indløb/Ozon-80
	%	%	%	%
Susp. stof	93,6	96,1	96,5	95,4
COD	45,2	51,6	54,8	61,3
Total N	60,6	60,6	60,6	60,6
Total P	85,6	76,6	77,4	76,9

Videregående behandling af rensede spildevand med ozon bevirker generelt en forbedret effekt mht. suspenderet stof og COD.

En forøgelse af ozon-doseringen har ligeledes kun en forbedret effekt på suspenderet stof og COD. For COD har den højeste ozon-dosering på 84,8 g O₃/m³ den bedste renseseffekt, mens den bedste effekt for suspenderet stof og fosfor er opnået med mellem-doseringen på 53,5 g O₃/m³. Ozonbehandlingen har ingen effekt på indholdet af Total N i det rensede spildevand.

Af tabel 6-16 fremgår renseseffekter for udløb til de tre testede doseringer på hhv. 21,5; 53,5 og 84,8 g O₃/m³. Dette anvendes til en orienterende vurdering af de forskellige ozon-doseringernes effekt i forhold til niveauerne i udløbet efter efterklaringstankene (specifik renseseffekt).

Tabel 6-16 Renseseffekt for forskellige ozon-doseringer i forhold til det rensede spildevand på Kalundborg Central rensesanlæg (Ozon-anlæg).

Parameter	Udløb/Ozon-20	Udløb/Ozon-50	Udløb/Ozon-80
	%	%	%
Kimtal, 22° C	25,0	69,0	74,5
Kimtal, 37° C	50,0	68,5	66,0
Coliforme bakterier	92,7	99,7	100
Termotol. coliforme bakterier	73,5	97,8	100
Enterokokker	94,7	<1.000	<1.000
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	i.v. (påvist/påvist)	Til detek. (påvist/<10)	Til detek. (påvist/<10)
<i>Clostridium perfringens</i>	56,3	84,4	71,9
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Salmonella</i>	Til detek. (påvist/<10)	Til detek. (påvist/<10)	Til detek. (påvist/<10)
Enterovirus	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Giardia intestinalis</i>	i.v.	i.v.	i.v.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.v.	i.v.	i.v.
Suspenderet stof	38,9	46,1	27,8
COD	11,8	17,6	29,4
Total N	0,0	0,0	0,0
Total P	-62,1	-56,9	-60,3

En forhøjet dosering af ozon medfører en forøget reduktion af de undersøgte mikroorganismer.

En dosering på 21,5 g O₃/m³ reducerer antallet af mikroorganismer i det rensede efterklarede spildevand med 25-95 %.

En dosering på 53,5 g O₃/m³ reducerer antallet af mikroorganismer i det rensede efterklarede spildevand med 69-99,7 %.

En dosering på 84,8 g O₃/m³ reducerer antallet af mikroorganismer i det rensede efterklarede spildevand med 66-100 %.

En forhøjet ozon-dosering i forhold til 21,5 g O₃/m³ bevirker således en forøget reduktion af de undersøgte mikroorganismer. Eksempelvis medfører en ozon-dosering på 53,5 g O₃/m³ frem for 21,5 g O₃/m³ en reduktion af hhv. coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og *Clostridium perfringens* på hhv. ca. 22, 12 og 3 gange, jvf. tabel 6-17.

Tabel 6-17 Indbyrdes forskel på ozon-doseringernes effekt på Kalundborg Centralrenseanlæg (Ozon-anlæg).

Parameter	Ozon-21,5/Ozon-53,5	Ozon-21,5/Ozon-84,8	Ozon-53,5/Ozon-84,8
Kimtal, 22° C	2,4	2,9	1,22
Kimtal, 37° C	1,6	1,5	0,93
Coliforme bakterier	21,8	300	13,75
Termotol. coliforme bakterier	11,8	1300	110,00
<i>Clostridium perfringens</i>	2,8	1,6	0,56

På trods af ozonbehandlingen af det rensede spildevand indikerer niveauet af mikroorganismer, at en sundhedsmæssig risiko for badende ikke kan afvises.

Der er anvendt den samme kontakttid på ca. 15 minutter for hver af de testede ozon-doseringer, hvorfor betydningen heraf ikke kan vurderes.

7 Konklusioner

7.1 Undersøgelsens strategi og metoder

De udtagne stikprøver og analyser af de mikrobiologiske parametre kan vurderes som repræsentative, da analyseresultaterne for de kemiske parametre svarer til renseanlæggenes egne driftsdata (egenkontrol).

Kalundborg Centralrenseanlæg er et atypisk kommunalt renseanlæg med hensyn til opland og belastning, idet en enkelt industri står for halvdelen af belastningen, mens både Spildevandscenter Avedøre og Usserød Renseanlæg er mere normale i den sammenhæng.

7.2 Resultater af mikrobiologisk karakterisering og undersøgelse af effekt af ozonbehandling

Det skal bemærkes, at der kun foreligger et meget lille datagrundlag, hvorfor størrelsesordener og vurderinger skal betragtes som værende af orienterende karakter.

7.2.1 Mikrobiologisk karakterisering

Delformålet med projektet er at undersøge spildevand fra udvalgte kommunale renseanlæg mht. indholdet af et spektrum af smitstoffer, herunder mulige alternative organismer, før og efter rensning.

Af tabel 7-1 fremgår således de målte koncentrationsintervaller af de mikrobiologiske parametre i urensset spildevand for de tre undersøgte renseanlæg. Endvidere er indløbsniveauerne fra litteraturen vist.

Tabel 7-1 Indløbsresultater for mikrobiologiske parametre. Målte intervaller (antal/100 ml). Litteraturens niveauer.

Parameter	Kalundborg	Avedøre	Usserød	Litteraturen
Kimtal, 22° C	3,8×10 ⁸	4,7×10 ⁸ - 5,5×10 ⁸	2,4×10 ⁸ - 7,7×10 ⁸	10 ⁸ (husspv.)
Kimtal, 37° C	2,3×10 ⁸	3,6×10 ⁸ - 5,7×10 ⁸	2,0×10 ⁸ - 4,9×10 ⁸	10 ⁷ (husspv.)
Coliforme bakterier	3,3×10 ⁷	3,3×10 ⁶ - 1,1×10 ⁸	4,9×10 ⁷ - 7,9×10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁹
Termotol. coliforme bakterier	1,4×10 ⁶	2,3×10 ⁶ - 4,9×10 ⁶	4,9×10 ⁶ - 3,3×10 ⁷	10 ⁵ - 10 ⁸
Enterokokker	3,6×10 ⁴	6,1×10 ⁵ - 3,6×10 ⁶	1,4×10 ⁶ - 3,1×10 ⁶	10 ⁴ - 10 ⁶
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	<10	<10	<10 - påvist	i.p. - 10 ⁵
<i>Clostridium perfringens</i>	7,3×10 ³	1,6×10 ⁴ - 3,0×10 ⁴	3,5×10 ⁴ - 1,3×10 ⁵	7,6×10 ⁴ - 9×10 ⁴ ; 10 ⁵ (husspv.)
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	5,9×10 ³	1,3×10 ⁴ - 2,6×10 ⁴	5,0×10 ⁴ - 7,0×10 ⁴	7,6×10 ⁴ - 9×10 ⁴ ; 10 ⁵ (husspv.)
<i>Salmonella</i>	påvist	10-100 - 10 ³ -10 ⁴	10-100 - 100-10 ³	<1 - 10 ⁴
Enterovirus	påvist	påvist	i.p. - påvist	i.p. - 10 ⁴
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	<4	<4	1 - 10 ⁴
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	<4	<4	0,1 - 10 ³

i.p. Ikke påvist.

Indholdet af kimtal 22° C, kimtal 37° C og coliforme bakterier i indløbet til Kalundborg Centralrenseanlæg svarer stort set til litteraturens gennemsnitsniveauer, mens indholdet af termotolerante coliforme bakterier, enterokokker, *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfringens* svarer til den lave ende af litteraturens indløbsniveauer. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* er ikke påvist i det urensede spildevand til Kalundborg Centralrenseanlæg.

Indholdet af kimtal 22° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og *Salmonella* samt enterokokker i indløbet til Spildevandscenter Avedøre svarer til de gennemsnitlige erfaringsniveauer i litteraturen, mens niveauet af kimtal 37° C i indløbsvandet er relativt højt i forhold til de typiske niveauer i litteraturen. *Campylobacter* er ikke påvist i det urensede spildevand. Indløbsvandets indhold af *Clostridium perfringens* og sporer af *Clostridium perfringens* til Spildevandscenter Avedøre er lavt i forhold til normalniveauer fra litteraturen. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* er ikke påvist i indløbsspildevandet til Spildevandscenter Avedøre.

De målte indhold af kimtal 22° C, coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier samt *Salmonella* i indløbsvandet til Usserød Renseanlæg svarer til litteraturens gennemsnitsniveauer, mens niveauet af kimtal 37° C og enterokokker i det urensede spildevand er højt set i forhold til litteraturen, mens *Clostridium perfringens*, sporer af *Clostridium perfringens* og *Campylobacter* er i den lave ende af litteraturens niveauangivelser. *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* er ikke påvist i det urensede spildevand til Usserød Renseanlæg.

Det gennemsnitlige indhold af mikroorganismer i det urensede spildevand ved Spildevandscenter Avedøre er konstateret i et væsentlig større antal end i Kalundborg. Indløbsspildevandets indhold af mikroorganismer i Usserød Renseanlæg og Spildevandscenter Avedøre er i relativ samme niveau, bortset fra *Salmonella*, som er ca. 9 gange lavere i Usserød Renseanlæg. Samtidig er indholdet af hhv. termotolerante coliforme bakterier, *Clostridium perfringens* og

sporer af *Clostridium perfringens*, dog hhv. ca. 4½, 3,2 og 3 gange højere i Usserød end i Avedøre.

Af tabel 7-2 fremgår således de målte koncentrationsintervaller af de mikrobiologiske parametre i rensed spildevand for de tre undersøgte renselanlæg. Endvidere fremgår udløbsniveauerne fra litteraturen.

Tabel 7-2 Udløbsresultater for mikrobiologiske parametre. Målte intervaller (antal/100 ml). Litteraturens niveauer.

Parameter	Kalundborg, MBNKD	Avedøre, MBNKD	Usserød, MBNKDF	Litteraturen, MBNKD/MBNKDF
Kimtal, 22° C	2,0×10 ⁷	2,2×10 ⁶ - 4,5×10 ⁶	1,6×10 ⁵ - 3,7×10 ⁵	-/-
Kimtal, 37° C	2,0×10 ⁷	1,6×10 ⁶ - 5,4×10 ⁶	1,1×10 ⁵ - 2,1×10 ⁵	-/-
Coliforme bakterier	3,3×10 ⁶	1,1×10 ⁵ - 2,3×10 ⁵	7,9×10 ³ - 1,1×10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁶ / 10 ³ -10 ⁴
Termotol. coliforme bakterier	4,9×10 ⁵	3,3×10 ⁴ - 9,2×10 ⁴	2,2×10 ³ - 3,5×10 ³	10 ³ -10 ⁶ / 400-10 ⁴
Enterokokker	1,9×10 ⁴	1,2×10 ⁴ - 7,8×10 ⁴	<10 ³ - 2,0×10 ³	10 ² -10 ⁶ / 100-500
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	påvist	i.p. - påvist	i.p. - påvist	i.p.-10 ⁴ / i.p.-100
<i>Clostridium perfringens</i>	3,2×10 ³	<500 - 5,0×10 ³	<500 - <10 ³	-/-
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	<500	<500 - 5,0×10 ³	<500 - <10 ³	-/-
<i>Salmonella</i>	påvist	<10 - 10-100	<10 - påvist	i.p.-100 / i.p.-10 ⁴
Enterovirus	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.-100 / i.p.
<i>Giardia intestinalis</i>	<1	<0,2 - 5,32	<0,1 - <1; 0,57	0,1-70 / i.p.-0,6
<i>Cryptosporidium parvum</i>	<1	<0,2 - <1	0,01 - <1	i.p.-130 / 10 ⁻³ -0,2

i.p. Ikke påvist.

Niveauet af coliforme bakterier i det rensede spildevand efter klaringsstankene i Kalundborg Centralrenseanlæg vurderes at være i den høje ende af litteraturens niveauer, mens indholdet af termotolerante coliforme bakterier og enterokokker svarer til de gennemsnitlige niveauer fra litteraturen. Enterovirus er ikke påvist i udløbsvandet.

Indholdet af coliforme og termotolerante coliforme bakterier, enterokokker og *Salmonella* i det rensede spildevand fra Spildevandscenter Avedøre svarer til litteraturens gennemsnitsniveauer, mens niveauet af *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* er i den lave nede af normalniveauet fra litteraturen. *Campylobacter* er som gennemsnit fjernet til detektionsgrænsen gennem renselanlægget (ikke påvist).

Indholdet af coliforme bakterier, enterokokker og *Cryptosporidium parvum* i det efterklarede og sandfiltrede spildevand fra Usserød Renseanlæg er højt set i forhold til udløbsniveauerne fra litteraturen. Niveauet af *Salmonella* og *Campylobacter* ligger i den lave ende af litteraturens angivelser for rensed og sandfiltreret spildevand, mens indholdet i det rensede spildevand fra MBNKDF-anlægget med hensyn til termotolerante coliforme bakterier og *Giardia intestinalis* svarer til de gennemsnitsniveauer, som findes i litteraturen.

Usserød Renseanlæg har af de tre renselanlæg generelt den bedste udløbskvalitet for de undersøgte mikroorganismer. Dette skyldes, at Usserød Renseanlæg har et sandfilter som yderligere rensetrin.

Udløbsværdierne for coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier (fækale colibakterier) og enterokokker er for de tre undersøgte renselanlæg over de eksisterende badevandskrav og forslag til nye kvalitetskrav. Der vil dog

i recipienten ske et henfald og en fortynding. Udløbsværdierne for Usserød Renseanlæg er tættest på at kunne overholde de nuværende badevandskrav, pga. sandfiltret.

Af tabel 7-3 fremgår renseanlæggenes renses effekter i % med hensyn til de mikrobiologiske parametre. Renses effekter fra litteraturen fremgår endvidere af tabellen.

Tabel 7-3 Renses effekter for de mikrobiologiske parametre. Intervaller i %. Litteraturens niveauer.

Parameter	Kalundborg, MBNKD	Avedøre, MBNKD	Usserød, MBNKDF	Litteraturen, MBNKD/MBNKDF
Kimtal, 22° C	94,7	99,1 - 99,5	99,90 - 100	-/-
Kimtal, 37° C	91,3	98,6 - 99,6	99,9 - 100	-/-
Coliforme bakterier	90,0	96,1 - 99,8	100	94-99,6 / 99,88
Termotol. coliforme bakterier	65,0	98,1 - 99,0	99,9 - 100	92-99,8 / 99,8
Enterokokker	47,2	94,0 - 99,6	99,9 - 100	95,8-99,9 / 99,9
<i>Campylobacter, jejuni/coli</i>	i.v.	i.v.	i.v.	99-99,99 / -
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	72,2 - 99,2	97,4 - 99,6	-/-
<i>Clostridium perfr.</i> - sporer	95,8	80,8 - 98,8	98,6 - 99,1	-/-
<i>Salmonella</i>	i.v.	0 - 99,0	90,9 - 99,1	99,9 / 99,99
Enterovirus	Til detek.	Til detek.	påvist/i.p.	75-98 / -
<i>Giardia intestinalis</i>	i.v.	32,3 - 75,0	84,5	83-99,9 / 99,99
<i>Cryptosporidium parvum</i>	i.v.	75,0 - 97,4	97,5	90,7-96,8/99-99,89

i.p. Ikke påvist.

Usserød Renseanlæg har af de tre renseanlæg som forventet generelt den bedste renses effekt overfor de undersøgte mikroorganismer. Det skyldes, at dette renseanlæg har et sandfilter som yderligere renses trin. Spildevandscenter Avedøre har generelt den næstbedste renses effekt, mens Kalundborg Centralrenseanlæg udviser den dårligste effekt, specielt overfor de coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker. Renses effekten for disse mikroorganismer er lav set i forhold til litteraturens renses niveauer for en sådan anlægsopbygning.

Renses niveauerne for Spildevandscenter Avedøre svarer generelt til de størrelsesordener, som er angivet i litteraturen for renseanlæg med MBNKD-opbygning.

Sammenfattende har de få undersøgelser vist, at MBNKD-anlæg kan reducere sporer af *Clostridium perfringens* ned til <500 pr. 100 ml og enterovirus ned til detektionsgrænsen.

Usserød Renseanlæg udviser generelt renses effekter, som svarer til de størrelsesordener, som er angivet i litteraturen for renseanlæg med MBNKDF-opbygning.

Forekomsten af mikroorganismer i det rensede og sandfiltrerede spildevand, som udledes til recipienterne, vurderes dog stadig at ville kunne udgøre en sundhedsmæssig risiko for badende, afhængigt af afstanden til udledningspunktet pga. henfald og fortynding af indholdet af mikroorganismer.

7.2.2 Effekt af ozonbehandling

Delformålet med projektet er at undersøge effekten af udvalgte efterbehandlingsmetoder til rensede spildevand på smitstoffer, især mere hårdføre typer af organismer. I praksis har dette måttet reduceres til kun at omfatte efterbehandling med ozon, idet der ikke ved projektets start fandtes UV-anlæg i Danmark, der havde tilstrækkeligt dokumenteret effekt til at kunne indgå i en undersøgelse.

Af tabel 7-4 fremgår ozonanlæggets renseseffekt i % med hensyn til de mikrobiologiske parametre. Ozondoseringens effekt overfor *Salmonella*, *Campylobacter*, *Giardia intestinalis* og *Cryptosporidium parvum* kan ikke vurderes, da resultaterne er under detektionsgrænsen, og/eller at resultaterne ("påvist" eller "under detektionsgrænse") er ens for de to prøveudtagningssteder.

Tabel 7-4 renseseffekter for ozonbehandlingen i %.

Parameter	Indløb/Udløb, %	Indløb/Ozon-21,5, %	Indløb/Ozon-53,5, %	Indløb/Ozon-84,8, %
Kimtal, 22° C	94,7	96,1	98,4	98,7
Kimtal, 37° C	91,3	95,7	97,3	97,0
Coliforme bakterier	90,0	99,3	99,97	100,00
Termotolerante coliforme bakterier	65,0	90,7	99,2	99,99
Enterokokker	47,2	97,2	(97,2)	(97,2)
<i>Clostridium perfringens</i>	56,2	80,8	93,2	87,7
<i>Clostridium perfr.</i> -sporer	(91,5)	(91,5)	(91,5)	(91,5)
Enterovirus	Til detek.	Til detek.	Til detek.	Til detek.

() : Modificeret renseseffekt.

Efterbehandling af rensede spildevand fra rensenanlæg med ozon medfører en reduktion af antallet af indikatorbakterier. Coliforme bakterier og termotolerante coliforme bakterier samt enterokokker er reduceret til hhv. $2,4 \times 10^5$ og $1,3 \times 10^5$ samt 10^3 pr. 100 ml ved en ozondosering på $21,5 \text{ g O}_3/\text{m}^3$.

Samtidig vurderes det generelt for alle mikroorganismene, at jo højere ozondosering er, jo højere bliver renseseffekten. Den specifikke renseseffekt af ozon-doseringen på hhv. $21,5$; $53,5$ og $84,8 \text{ g O}_3/\text{m}^3$, dvs. udløb efter efterklaring set i forhold til udløb efter ozonanlæg, er hhv. 25-95, 69-99,7 og 66-100 %.

En forhøjet ozondosering på $53,5$ og $84,8 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ i forhold til $21,5 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ bevirker en forøget reduktion af de undersøgte mikroorganismer. Eksempelvis medfører en ozon-dosering på $53,5 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ frem for $21,5 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ en reduktion af hhv. coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og *Clostridium perfringens* på hhv. ca. 22, 12 og 3 gange.

På trods af ozonbehandlingens reducerende effekt indikerer niveauet af mikroorganismer i det ozonbehandlede spildevand, at det vil kunne udgøre en sundhedsmæssig risiko for badende, der dog er lavere end for almindeligt rensede spildevand og vil aftage yderligere med afstanden til udledningspunktet.

7.3 Fortolkning af resultater

Det vurderes på baggrund af de påviste niveauer af mikroorganismer i traditionelt rensede spildevand, at det vil kunne udgøre en sundhedsmæssig risiko for de badende, afhængigt af afstanden til udledningspunktet pga. henfald og fortynding.

Resultaterne indikerer desuden, at indsættelse af et sandfilter reducerer indholdet af mikroorganismer og smitstoffer yderligere. Forekomsten af mikroorganismer i det efterklarede sandfiltrerede spildevand, som udledes til recipienterne vurderes dog stadig at kunne udgøre en sundhedsmæssig risiko for de badende, om end lavere end for ikke-sandfiltreret, rensede spildevand.

Efterbehandling af rensede spildevand fra renseanlæg med ozon medfører en reduktion af antallet af de undersøgte mikroorganismer. En forøget ozondosering medfører en forøget reduktion af mikroorganismene. Selv efter ozonbehandling er niveauerne dog stadig så høje, at en sundhedsmæssig risiko for badende ikke kan udelukkes.

7.4 videre arbejde

På basis af nærværende undersøgelse foreslås det, at der arbejdes videre med:

- Karakterisering af smitstoffer i urensede og rensede spildevand fra forskellige offentlige renseanlæg for at få et bredere billede af niveauerne.
- Vurdering af eksisterende metoder/teknologier til videregående behandling af spildevand, f.eks. UV-bestråling og ozonbehandling, samt effekten på mikroorganismer.

8 Referencer

Absi, F., Gamache, F., Gehr, R., Liechti, P., Nicell, J.. Pilot Plant Investigation of Ozone Disinfection of Physico-Chemically Treated Municipal Wastewater.

Albrechtsen, H.-J. (1998). Boligernes vandforbrug - Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og grävandsanlæg. Rapport. By- og Boligministeriet.

Blaser, M.J., Newman, L.S. (1982). A review of human salmonellosis: I. Infective dose. Rev. Infect. Dis., Nov-Dec., 4(6), 1096-106.

Casey, P., Mackne, C., Lake, A. (1998). Ozone Disinfection. Fact Sheet by the National Small Flows Clearinghouse.

EF (1975). Rådets direktiv af 8. december 1975 om kvaliteten af badevand. 76/160/EOF.

EU (2002). Forslag til Europa-parlamentets og rådets direktiv om kvaliteten af badevand. KOM(2002)581, 2002/0254 (COD). Kommissionen for de europæiske fællesskaber.

Johnson, D.C.; Enriquez, C.E.; Pepper, I.L.; Davis, T.L.; Gerba, C.P.; Rose, J.B. (1997). Survival of Giardia, Cryptosporidium, Poliovirus and Salmonella in marine waters. Water Science & Technology, 35, 11-12, 261-268.

Kapperud, G. (1994). Campylobacter infection. Epidemiology, risk factors and preventive measures. Tidsskrift for den Norske Lægeforening. 1994. Marts 10, 114(7), 795-9.

Medema, G.J., Bahar, M., Schets, F.M. (1997). Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia Coli*, faecal enterococci and *Clostridium Perfringens* in river water: Influence of temperature and autochthonous microorganisms. Water Science & Technology, 35, 11-12, 249-252.

Meinhardt et al., Meinhardt, P.L.; Casemore, D.P.; Miller, K.B. (1996). Epidemiologic aspects of human cryptosporiosis and the role of waterborne transmission. Epidem. Rev. 2, 118-134.

MEM (1997). Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 637 af 30/06/1997. Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger udført af akkrediterede laboratorier, certificerede personer m.v.

MEM (1999). Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 99 af 15. februar 1999 om ændring af bekendtgørelse om badevand og badestrande.

Mølgaard, K., Nickelsen, C., la Cour Jansen, J. (2002). Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra offentlige renselanlæg. Miljøprojekt nr. 684. Miljøstyrelsen.

- Nickelsen, C.; Ernø, H.; Møller-Larsen, A.; Andersen, H.M.K. (1995). Bathing Water – Microbiological Control. Miljøprojekt nr. 314. Miljøstyrelsen.
- Nielsen, L.; Høgdall, E.; Vang, T. (1996). E. coli i marint sediment. Vand & Jord, 3, 108-112.
- Rajala, R.L. and Heinonen-Tanski, H. (1998). Survival and transfer of faecal indicator organisms of wastewater effluents in receiving lake waters. Water Science & Technology, 38, 12, 191-194.
- Riemann, H.P. and Cliver, D.O. (1998). Escherichia coli 01257:H7. The Veterinary clinics of North America. Food animal practice. 14, 41-8.
- Robinson, D.A. (1981). Infective Dose of Campylobacter jejuni in milk. British medical journal (Clinical research ed.), 282. 1584.
- Smith, H.V.; Robertson, L.J.; Campbell, A.T.; Girdwood, R.W.A. (1995). Giardia and giardiasis: What's in the name? Microbiol Europe 3.
- Stenström, T.A. (1996). Sjukdomsfremkallande mikroorganismer i avloppssystem – riskvärdering av traditionella och alternativa avloppslösningar. Rapport. Naturvårdsverket, Sverige.
- Wojtenko, I., Stinson, M.K., Field, R. (2001). Performance of Ozone as a Disinfectant for Combined Sewer Overflow. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 31(4): 295-309 (2001).