

Forbedring af rensningsprocessen af antibiotika hos spildevandsanlæg

P0 Project

10 oktober 2025

Diplomingeniør i kemi og bioteknologi

1 semester

Af gruppe 112.2

Magnus Malthe Andsbjerg Kristensen, Isabel Theil

Erika Nørgaard Bertelsen, Caroline Vejsgaard Christensen



Titelblad

Projekt titel:

Forbedring af rensningsprocessen af
antibiotika hos spildevandsanlæg

Projekt period:

01.09.25 - 10.10.25.

Projekt Group:

112.2

Group Members:

Magnus Malthe Andsbjerg Kristensen

Isabel Theil

Erika Nørgaard Bertelsen

Caroline Vejsgaard Christensen

Supervisor:

Cejna Anna Quist-Jensen

Bachelor of Engineering in Chemical
Engineering and Biotechnology

Page count: 18

Finalized 10 October 2025.

Abstrakt

This report investigates the occurrence of medications found in sewage at Danish wastewater treatment plants with further emphasis on the occurrence of antibiotics.

The study demonstrates the detection of antibiotics in Danish sewage and investigates the methods used to remove antibiotics in sewage and the consequences antibiotics have when present in sewage. The occurrence of antibiotics in sewage leads to favorable conditions for bacteria to develop resistance against antibiotics. Bacterial resistance against antibiotics makes elimination of bacteria more difficult if infected by a pathogenic bacterium.

Identified treatment methods for removing antibiotics in sewage are membrane technology, membrane bioreactors, advanced oxidation processes, adsorption and biological aerated filters.

Indhold

Titelblad	1
Projekt titel:	1
Forbedring af rensningsprocessen af antibiotika hos spildevandsanlæg.....	1
Abstrakt	1
Indledning.....	3
Problemanalyse	4
Vandets kredsløb	4
Spildevandets vej fra husholdning til rensningsanlæg	5
Medicinrester i spildevand	6
Antibiotika som problem	10
Antibiotika belaster vandmiljøet og økosystemet.....	11
Det fjerde rensetrin	12
Fremtidens rensningsmetoder	13
Rensning af spildevand fra hospitaler	14
Problemformulering.....	15
Bibliografi	16

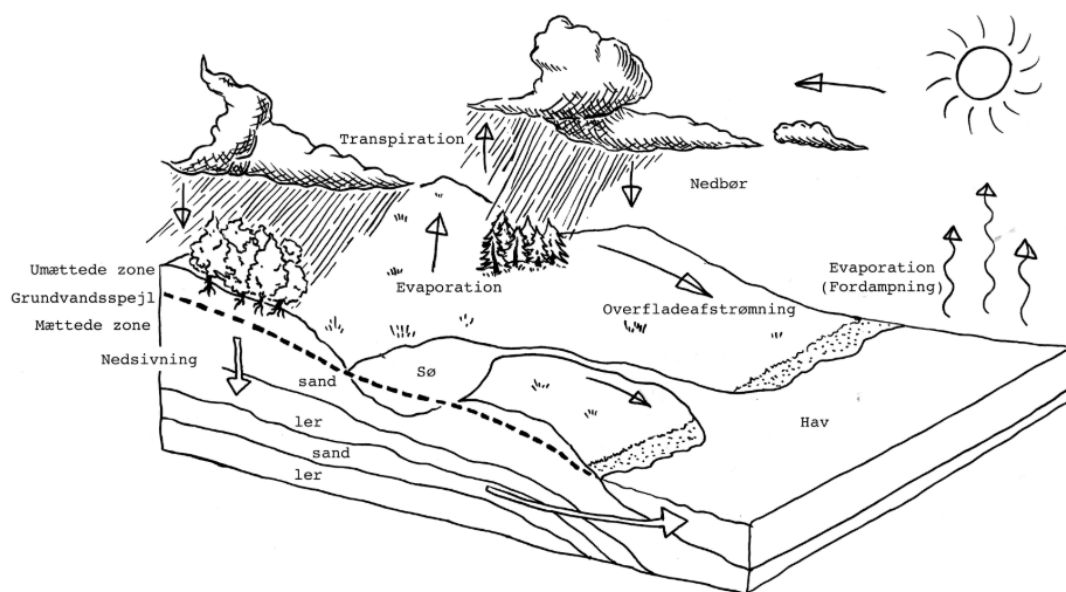
Indledning

Vand er fundamentalt for levende organismers overlevelse. Forurening af vand er blevet et stort problem, som forsat er voksende. FN har lavet 17 verdensmål, som har øget fokus på at mindske forurening [1] Målene forventes indfriet i 2030. Problemet er globalt og forurening er derfor et centralt problem, hvorpå det er essentielt at finde brugbare løsninger. Vand er en afgørende ressource, som indgår i biologiske, økologiske og samfundsmæssige processer. Forurening af spildevand udgør en betydelig udfordring, da det påvirker vandets kredsløb. Et særligt problemområde er tilstedeværelsen af medicinrester i spildevandet, herunder antibiotika. Tilstedeværelsen af antibiotika i spildevand kan fremme multiresistente bakterier og påvirke vandmiljøet og dets økosystem negativt. Det er derfor oplagt at undersøge, hvordan medicinrester i spildevand kan fjernes under rensningsprocessen, så det ikke videreføres ud vandets kredsløb.

Problemanalyse

Vandets kredsløb

Vand er en del af det hydrologiske kredsløb, dvs. at vand cirkulerer kontinuerligt mellem atmosfæren, litosfæren, hydrosfæren og biosfæren. 97 % af vandet på Jorden befinder sig i verdenshavene [2], mens resten kommer fra gletsjere, grundvand og overfladevand. Vandets kredsløb ses på figur 1.



Figur 1: Oversigt over vandets kredsløb [2].

Vandets kredsløb inddeles i fire stadier

Første stadie er fordampning af vand. Fordampningen kan ske fra store vandarealer som havet, fjorde og søer men også mindre vandarealer, såsom fordampning af vand fra plantens blade. Når vandet fordamper, stiger det op i atmosfæren. Dette kan ses på figuren ved de opadvendte pile.

Andet stadie er fortætningen af det fordampede vand. Denne proces foregår højere oppe i atmosfæren, hvor temperaturen falder, jo højere vanddampen stiger. Når vanddampen bliver tilstrækkeligt afkølet, dannes der skyer. Skyerne kan derefter udvikle sig til nedbør eller iskrystaller [2]. Dette illustreres på figuren med en vandret pil, hvor man kan se skyen, bevæger sig ind over landskabet, hvilket viser, hvordan vandpartiklerne gradvist bliver tungere.

Tredje stadie er nedbør i form af regn eller sne. Dette sker, når vanddråberne eller iskrystallerne bliver så tunge, at de falder ned mod jorden. På illustrationen vises dette med nedadgående pile, der viser, hvordan vandet vender tilbage til jorden fra atmosfæren.

Fjerde stadie i det hydrologiske kredsløb er nedsivning til grundvandet eller fordampning. Når nedbøren falder, siver vandet ned i jordlagene. En del af vandet optages af planternes rødder og fordamper derefter tilbage til atmosfæren gennem planternes blade. Når vandet fordamper, begynder kredsløbet forfra. På illustrationen vises dette med en nedadgående pil, der går gennem jordlagene [2].

Spildevandets kredsløb

Som en del af vandes kredsløb indgår Spildevand. Spildevand er vand, der kommer fra industri, erhverv, husholdninger, bygningstage og veje. Spildevand kan indeholde menneskelige affaldsstoffer, kemikalier, madrester mm. Spildevand er alt det vand, som er blevet brugt, og derfor er urent. Vandet skal renses før det bliver ledt tilbage til vandmiljøet via et rensesanlæg [3].

Spildevandets vej fra husholdning til rensningsanlæg

Spildevand, som sendes fra husholdninger, indeholder forskellige affaldsstoffer, som skal fjernes gennem rensningsprocesser, før vandet kan ledes videre til andre dele af vandkredsløbet [4].

Spildevand bliver transporteret fra husholdningerne til et rensningsanlæg gennem kloaksystemet. På et rensningsanlæg bliver spildevand rensset via flere trin. Ved første trin bliver vandet mekanisk rensset, hvor fast materiale bliver opsamlet via en rist. Ved andet trin bliver vandet biologisk rensset med mikroorganismer, som nedbryder størstedelen af forurenende stoffer [5]. Dette foregår typisk i en luftningstank, hvor organiske stoffer, som nitrogen og fosfat bliver fjernet. Disse stoffer kan være skadelige for vandmiljøet, hvis de ikke bliver rensset. Ved tredje og sidste trin bliver spildevandet kemisk rensset, hvor bl.a. fosfat bliver fjernet. Det materiale, der bliver fjernet under rensningen, bliver til slam, som har sin egen rensningsproces.

Da Danmark har en stor kystlinje, bliver størstedelen af det rensset spildevand udledt til havet. Resten bliver udledt til vandløb, såsom fjorde, søer og åer m.m. Kun hvis spildevandet lever op til kommunens krav, kan det udledes i vandmiljøet [6].

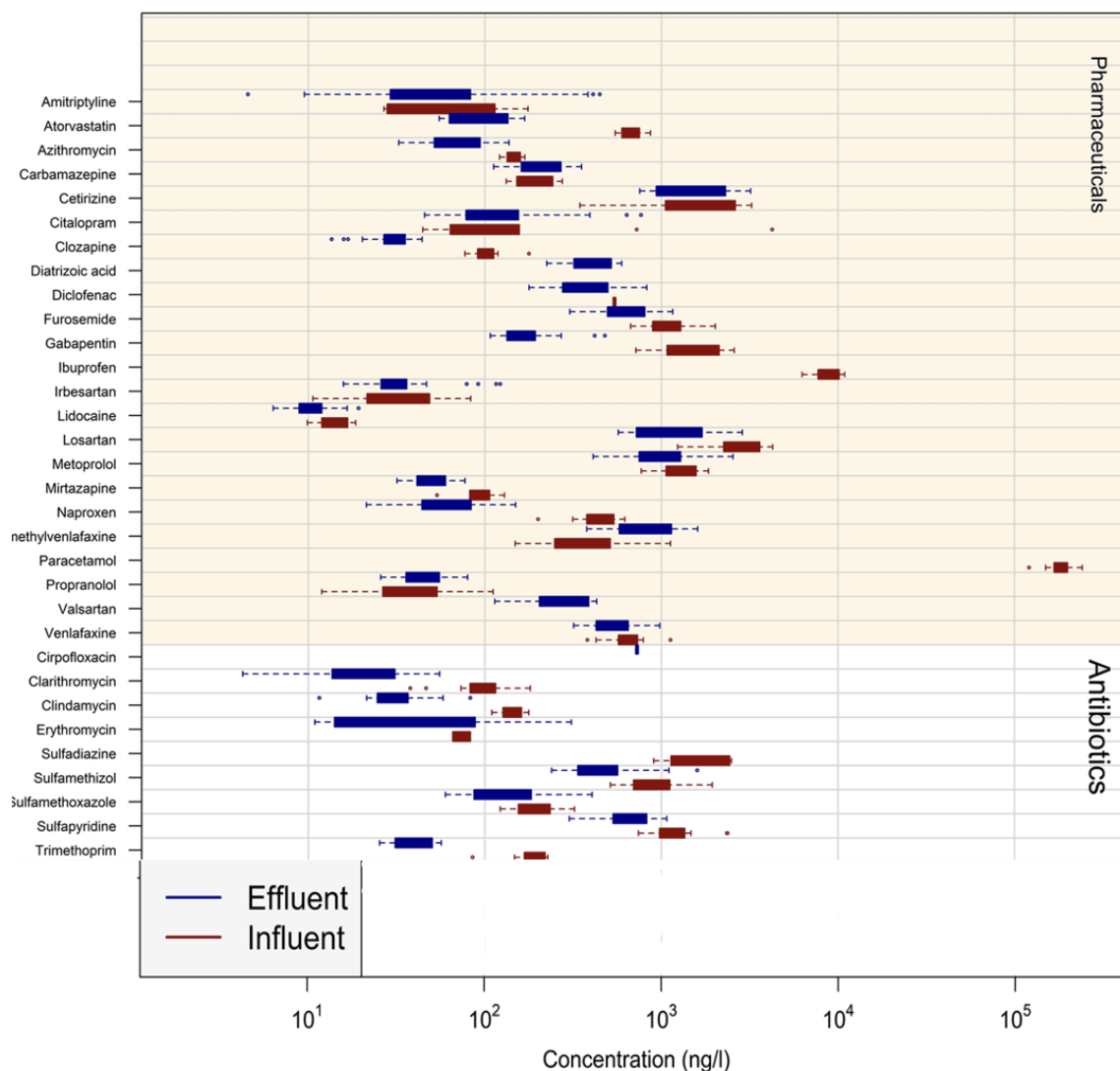
Medicinrester i spildevand

Medicin er en integreret del af menneskets hverdag og anvendes i mange husstande. Der forbruges alt fra diabetesmedicin, antidepressiva til hovedpine- og smertestillende midler. En betydelig del af denne medicin kan spores i spildevandet og ender i vandmiljøerne. Medikamenter, der ender i spildevand, kommer fra flere forskellige kilder: De kommer fra husstande, hospitaler og medicinalvirksomheder. Mennesker optager medicin, og udskiller efterfølgende rester heraf gennem bl.a. afføring, urin og sved. Disse affaldsstoffer ledes via bad og toiletbesøg ned i kloakken med spildevand. Hospitalers bidrag til medicinrester i spildevandet, skyldes primært behandling af patienter. [7]. Alle kilderne bidrager til den samlede ophobning af medicinrester, der forekommer i spildevandet og videre til rensningsanlæggene, hvor medikamenterne skal fjernes [8].

Medicinrester på rensningsanlæggene

Kilpinen et al. 2023 [8] undersøger hvilke stoffer, der findes i vandprøverne på danske spildevandsanlæg inden og efter rensning. Studiet har undersøgt 20 vandprøver fra 5 forskellige spildevandsanlæg, taget inden rensningsprocessen, og 26 vandprøver fra 8 forskellige spildevandsanlæg, taget efter rensningsprocessen. Studiet viser, at de 20 vandprøver, taget inden rensningsprocessen, indeholder forskellige forurenende elementer som lægemidler og antibiotika, samt koncentrationerne af de forurenende elementer [8]. Det ses på de 26 prøver, taget efter rensningen på rensningsanlægget, at vandprøverne stadig indeholder koncentrationer af antibiotika, selvom koncentrationerne er faldet.

Det samme gælder lægemidlerne, som er vist øverst på figur 2. Figuren viser koncentrationer af udvalgte lægemidler og antibiotika, taget fra vandprøver før og efter rensning på rensningsanlæg, markeret med henholdsvis røde (før) og blå (efter). Dette gælder lægemidler som Cetirizine, Citalopram, Ibuprofen og Paracetamol, samt flere forskellige typer af antibiotika. Figur 2 kan derfor bruges til at påpege og give et overblik over hvilke medicinrester og antibiotika, der findes i danske rensningsanlæg.



Figur 2: Viser koncentrationer af forskellige forurenende stoffer, som lægemidler og antibiotika, i form af boksplots. Figuren kan bruges til at få overblik over lægemidlerne, som findes i det danske spildevand før og efter vand har været i rensningsanlæg. Effluent er efter rensning, og influent er før rensning [8].

Mose Pedersen 2006 [9] har undersøgt, hvorvidt forskellige lægemidler fra husstande og hospitaler, fundet i spildevandet er miljøskadelige. Dette tydeliggøres i tabel 1 fra studiet, som viser lægemidlet, hvilken gruppe det tilhører, samt hvorvidt det er miljøskadeligt. Studiet har undersøgt dette ved udregninger, af hvor stor en mængde af de forskellige lægemidler, der bliver brugt af forbrugere og på hospitaler. Studiet antager, at 100% af lægemidlet udskilles efter indtag, samt at der ikke foretages fjernelse i kommunale rensesanlæg. Med disse antagelserne i betragtning vises det, at udledning af antibiotika til spildevand har en miljøskadelig effekt [9]. Derfor er det relevant at undersøge antibiotika nærmere.

Lægemiddelstof	Gruppe	PEC _{hospital} / PNEC >1	PEC _{indløb rensning} / PNEC >1	PEC _{vandområde} / PNEC >1
acetylsalicylsyre	Smertestillende	X	X	
paracetamol	Smertestillende	X	X	X
ibuprofen	Smertestillende	X	X	X
metoprolol	Blodtryksænkende	X		
valproinsyre	Antiepilepsi	X		
sulfamethizol	Antibiotikum	X		
carbamazepin	Antiepilepsi	X		
amoxicillin	Antibiotikum	X	X	
verapamil	Blodtryksænkende	X	X	
erythromycin	Antibiotikum	X	X	X
diclofenac	Smertestillende	X		
tetracyclin	Antibiotikum	X	X	X
citalopram	Antidepression	X	X	
østradiol (E2)	Hormon	X	X	X
ethinyløstradiol (EE2)	Hormon	X	X	X
østriol (E3)	Hormon	X	X	X

Tabel 1: Tabellen viser PEC/PNEC værdier som overstiger 1 for forskellige lægemiddelstoffer. Hvis PEC/PNEC overstiger 1 vurderes lægemidlet miljøskadeligt. PEC betyder Predicted environmental concentration og PNEC er Predicted No effect concentration. [9].

PEC i tabellen står for “Predicted Environmental Concentration” og PNEC betyder “Predicted No Effect Concentration”. Hvis værdien for PEC overstiger værdien for PNEC, vurderes det, at lægemiddelstoffet er miljøskadeligt, under antagelse af 100% udskillelse af lægemidlet, samt ingen rensning på kommunale rensningsanlæg. Altså hvis koncentrationen af et lægemiddel i spildevandet overstiger koncentrationen for ingen forudset effekt vurderes lægemidlet at være miljøskadeligt, PNEC-værdierne udregnes ved at finde den laveste EC50-værdi, og dividere den med 1000. EC50-værdi betyder Effective-concentration 50%, som er koncentrationen af et givet stof, der giver 50% af den maksimale effekt observeret i en levende organisme. Disse værdier er observeret i et laboratorium. Studiet fra 2006 har ikke selv udført målinger af EC50-værdierne, men henviser til eksisterende værdier i et andet studie [10].

Tabellen viser at PEC/PNEC overstiger 1, hvilket angiver, om lægemiddel eller antibiotikum vurderes miljøskadeligt. Dette er kun gældende, hvis antagelserne om 100% udskillelse og ingen kommunal rensning opfyldt. Niveauerne er udregnet for hospitalers spildevand, indløb til rensningsanlæg og niveauerne i vandområder. Niveauerne

viser flere steder, at antibiotika har en PEC-værdi, som overstiger PNEC og dermed vurderes miljøskadeligt. Tabellen kan derfor bruges til at vise, hvilke typer af antibiotika, der er miljøskadelige [9]. På baggrund af de viste resultater i tabel 1, samt figur 2 fokuserer denne rapport på antibiotika i spildevand, og hvordan det bliver rensset, da det anses for at være et miljøskadeligt og et voksende problem.

Antibiotika som problem

Kort om antibiotika

Fra 2000 til 2015 er verdens forbrug af antibiotika steget med 65 pct., fra 21,1 milliarder daglige doser til 34,8 mia. Hvert år dør mere end 700.000 mennesker som følge af antibiotikaresistens - et tal, der ventes at stige til 10 mio. i 2050. [11] Antibiotikaresistens er og bliver et problem, når infektioner, som tidligere kunne behandles med antibiotika, ikke længere kan behandles, fordi bakterierne som forårsager infektionen, ikke længere kan slås ihjel af antibiotika, fordi de har udviklet resistens [19].

Når bakterier udvikler multiresistens.

Bakterier udvikler resistens, hvis de ofte bliver udsat for samme type antibiotika. Bakterierne vil som et modsvar til antibiotika bruge deres overlevelsesmekanismer og dermed udvikle resistens [12]. Dette sker ved, at resistensgenerne mod antibiotika sidder i plasmider, som overføres mellem bakteriearterne. Det betyder, at bakterier som anses for at være harmløse miljøbakterier, kan dele deres gener med sygdomsfremkaldende bakterier. Når bakterierne bliver påvirket af flere typer antibiotika udvikler bakterierne multiresistens.

Multiresistente bakterier kan sprede sig i miljøer fx gennem spildevandet, hvilket kan udgøre en fare for miljøet. Antibiotikaresistens er derfor ikke kun et problem i kliniske omgivelser så som hospitaler og lignende, men også i miljøet. Miljøet kan være kilde til resistente bakterier, der kan overføres til mennesker [12]. Et andet eksempel er overførsel til fødevarer. Fødevarer kan indeholde resistente mikroorganismer, som kan

overføres til mennesker [12] Dette er ydermere relevant, da Statens Serum Institut nævner, at selvom forbruget af antibiotika er i tilbagegang efter de forhøjede niveauer i 2023, er risikoen for resistens i bakterier mod antibiotika stadig stigende [13]. Studier viser at 80% af al spildevand i verden ikke bliver rensset. Flere lande har ikke rensningsanlæg, der er udviklet til at fjerne medicinrester, såsom antibiotika, og dermed begrænse resistens. Antibiotika i spildevand er derfor et globalt problem [14]

Antibiotika belaster vandmiljøet og økosystemet

Der findes evidens for, at antibiotika påvirker vandmiljøet og akvatiske økosystemer [15]. Selvom antibiotikaenes halveringstid er relativt kort, slipper der store mængder ud i vores vand, og derfor anses antibiotika for at være en vedvarende kilde vandforurening [11].

Antibiotika kan påvirke organismer såsom eukaryoter og plankton, reducere vækst (bl.a. ved nedsat fotosyntese) og i sidste ende påvirke fødegrundlaget for økosystemet [16].

Langvarigt eksponering hos bl.a. fisk har vist nedsat vækst, ændret adfærd og svækket immunforsvar. Svennevig 2025 [11] viser at antibiotika kan have en negativ effekt på organismer og deres efterkommere [11]. I studiet blev zebrafisk eksponeret for koncentrationer af antibiotikummet Chlortetracyclin (CTC), CTC er et bredspektret antibiotikum i tetracyklin-gruppen, i samme koncentrationer som man ville kunne forvente at finde i naturen. Zebrafisken og dens afkom viste sig at have et svagere immunforsvar og nedsat evne til at bekæmpe bakterier. Et andet studie har vist, at en type af skorpioner fik nedsat sædkvalitet. [17]

Antibiotika kan også bioakkumuleres i fisk og andre organismer. Fisk og andre akvatiske dyr, udgør en stor del af menneskets føde, derfor vil mennesker blive eksponeret for antibiotika, hvis de indtager en fisk, der er blevet udsat for antibiotika. Herefter vil mennesket udlede rester af antibiotika i spildevandet gennem bl.a. urin. Selvom mængderne af antibiotika er betydeligt nedsat i forhold til den oprindelige antibiotika forurening, som fiskene er blevet udsat for, men bidrager stadig til den samlede belastning.

Antibiotika kan ændre sammensætningen af mikroorganismer og resultere i lavere biodiversitet. Antibiotika slår bakterier ihjel, uanset om de anses for gavnlige eller skadelige, hvilket betyder, at også de gavnlige bakterier, som opretholder strukturen i det pågældende miljø, kan forsvinde. Når bakteriesamfundets struktur ikke længere opretholdes, kan det resultere i en skæv artssammensætning.

Et eksempel er nedbrydningen af organisk stof. Hvis de bakterier, som nedbryder planter og dyr, dør, vil der ophobes organisk materiale. Antibiotikaforurening kan være med til at påvirke nitrogentransformationen, så kvælstof ophobes. Ændringer i karbon og fosfor kan føre til iltsvind i vandet og påvirke fotosyntesen [18].

Det fjerde rensetrin

For at rense spildevand, inden det udledes i vandmiljøet skal det igennem en større rensningsproces i et rensningsanlæg. I Danmark har rensningsanlæg tre trin: mekanisk, biologisk og kemisk rensning. Ingen af disse rensetrin fjerner antibiotika fra spildevand. Derfor har EU-kommissionen foreslået, at der skal være et fjerde rensetrin i 2035 på alle større rensningsanlæg. Det fjerde rensetrin skal fjerne miljøfarlige kemikalier, herunder antibiotika [19].

En undersøgelse fra Teknologisk Institut 2023 [20] har spurgt danske rensningsanlæg, om de har begyndt implementeringen af det fjerde rensetrin. 8 % af rensningsanlæggene i undersøgelsen svarer, at de allerede har implementeret det fjerde rensetrin. 61% af deltagerne svarer, at de ikke har påbegyndt nogen indsats på at implementere det fjerde rensetrin. De resterende 31 % er enten i gang med at undersøge mulighederne eller med at implementere det fjerde rensetrin [20]. Usikkerheden skyldes, at det stadig er uklart om en eventuel lovgivning vil træde i kraft, samt de økonomiske omkostninger ved at indføre et fjerde trin [20].

Det fjerde rensetrin kan bestå af biologisk behandling, ozonbehandling, aktiv kulfiltrering, membranteknologi og UV-desinfektion. Der er afprøvet to løsninger i Danmark. Den ene er en biologisk behandling, og den anden består af forskellige varianter af ozonering - ofte i kombination med aktivt kul [19]. Udfordringerne heraf kan være risiko for at danne biprodukter. Hertil kommer økonomiske og energimæssige problemer da indførelsen af det fjerde rensetrin vil øge omkostningerne for borgerne. Der kan også være behov for regulering og lovkrav, samt standardisering for at sikre, at løsninger og lovkrav bliver anvendt og overholdt.

Fremtidens rensningsmetoder

Samrot et al. 2023 [21], har undersøgt antibiotikas tilstedeværelse i Svensk og Finsk spildevand. Antibiotikas tilstedeværelse er blevet målt, samt en beskrivelse af hvordan det kan renses fra spildevandet. Der er blevet fundet tolv forskellige antibiotika i Sverige og Finland [21]. I studiet er der beskrevet fem forskellige metoder til rensning af spildevandet for antibiotika. De fem metoder der er i omtale, er membranteknologi, membran biologiske reaktorer (MBR), avanceret oxidationsprocesser (AOP), adsorption og biologiske beluftede filtre.

Der findes fire typer af membranteknologier, som nævnes i studiet: Omvendt osmose, nanofiltrering, ultrafiltrering og mikrofiltrering. Formålet med membranteknologierne er at fjerne store organiske materialer fra spildevandet. Det er ikke alle typer af antibiotika, membranteknologierne kan tilbageholde med deres membraner. Membranteknologierne har på trods af denne udfordring en rensningseffektivitet på 70-99%. Membranbiologiske reaktorer er en metode, der kombinerer membranseparationsteknologi (ultra-, nano- og mikrofiltrering) med biologisk rensning (aktivt slam) og kan med denne kombination opnå en fjernelseseffektivitet på 80-90%. Avancerede oxidationsprocesser fungerer ved at generere frie radikaler, oftest hydroxylradikaler, som er meget reaktive. Dermed vil de frie hydroxylradikaler angribe organiske stoffer, såsom antibiotika, og hermed oxidere dem.

Der findes fire specifikke AOP-metoder: ozonering, Fenton-oxidation, foto-Fenton og elektrokemisk oxidation [21]. Alle fire AOP-metoder handler om at oxidere de organiske stoffer og dermed nedbryde dem. Dette gør, at metoden har en fjernelseseffektivitet på 87-100%. Adsorption handler om at deponere organiske stoffer (antibiotika) på overfladen af et adsorptionsmiddel (adsorbent), et eksempel på et adsorptionsmiddel er aktivt kul, nanorør af kulstof og naturlig zeolit. I studiet nævnes der ikke, hvor høj en fjernelseseffektivitet metoden har, men fjernelseseffektiviteten kategoriseres som høj.

Den sidste metode der nævnes, er biologisk beluftede filtre. Metoden er en kombination af biologiske samt fysiske processer. Den fysiske proces består af et filtermedium, der fungerer som et substrat for de mikroorganismer, der vokser og hermed danner et biofilm. Mikroorganismene, der vokser på underlaget, øger og forbedrer slamadsorptionen ved at fastholde de organiske stoffer (antibiotika). Hermed fastholdes de organiske stoffer, hvor de hermed kan nedbrydes. Biologisk beluftede filtre har en meget varierende fjernelsesaktivitet, der afhænger af, hvilket stof der bindes til mikroorganismene. Derfor kategoriseres metoden til at have en høj fjernelsesaktivitet [21].

Rensning af spildevand fra hospitaler

Spildevand fra hospitaler indeholder ofte en kompleks blanding af uønskede lægemidler og mikroorganismer. For at undgå medicinrester i spildevand, har Hvidovre Hospital forsøgt med at bruge metoden urinseparation som eget forsøg på at indføre et fjerde rensetrin. Urinseparationsmetoden bruges eftersom langt de fleste lægemiddelstoffer udskilles med urin fra patienter. Metoden omfatter, at urinen bliver separeret fra fæces. Dette er gavnligt i henblik på rensning af antibiotika, da antibiotika udskilles fra kroppen gennem urin. Spildevand fra toilettet udgør en lille procentdel af alt det spildevand, der bliver udledt fra hospitalerne [22]. Hvis spildevandet forurenes med antibiotika, kan det separeres fra det resterende spildevand, så spildevandet er delt i to, antibiotika frit og antibiotika fyldt spildevand. Undersøgelser har vist, at denne metode vil blive økonomisk belastende, da omkostningerne hertil vil stige betydeligt [22]. Indførelsen af det fjerde rensetrin er derfor ikke en nem opgave, da den medfører mange komplikationer og mange omkostninger.

Der findes p.t. ikke nogen metode, der kan fjerne antibiotika 100% fra spildevand. Fjernelseseffektiviteten for de metoder, der bruges i dag til at fjerne antibiotika, er afhængig af hvilke typer antibiotika, som skal fjernes, men varierer fra 0-50%. Dvs. størstedelen af det antibiotika, som kommer til rensningsanlæggene, udskilles videre til miljøet og fjernes ikke under normale omstændigheder ved rensningsanlægget, hvilket er grunden til, at det fjerde rensningstrin bør indføres [23]. Det fjerde rensningstrin kan også indføres ved at bruge enzymer til nedbrydning af antibiotika, hvorved det ikke udledes til spildevandet. D. Becker et al. 2016 [23] skriver at laccase, et enzym, har en forbedret fjernelse af antibiotika, når det arbejder sammen med et hjælpestoffet syringaldehyd. Kombinationen af syringaldehyd og Laccase har en effektiv fjernelse af antibiotika, når de arbejder sammen i en EMR, som er enzymatiske membran reaktorer [23].

Problemformulering

Hvordan kan rensningsanlæg i Danmark optimeres til bedre fjernelse af antibiotika med enzymatiske membran reaktorer (EMR) som et 4. rensningstrin.

Bibliografi

- [1] Verdensmålene.dk, "FN's 17 Verdensmål," <https://www.verdensmaalene.dk/maal>.
- [2] KU, "Vandets kredsløb," <https://grundvandet.ku.dk/geografi/vandets-kredsloeb/#:~:text=En%20del%20af%20vandet%20vil%20udg%C3%A5%20af,eller%20at%20det%20udskilles%20fra%20menneskets%20krop>.
- [3] Miljø- og ligestillingsministeriet, "Spildevand," <https://mim.dk/miljoe/vandmiljoe/spildevand>.
- [4] "Spildevandstyper | Vandets Vej." Accessed: Oct. 02, 2025. [Online]. Available: <https://vandetsvej.dk/faglig-viden/renseanlaeg/grundviden/spildevandstyper>
- [5] HOFOR, "Biologisk rensning," <https://vandetsvej.dk/faglig-viden/renseanlaeg/noerdviden/biologisk-rensning>.
- [6] "Udledning | Vandets Vej." Accessed: Oct. 02, 2025. [Online]. Available: <https://vandetsvej.dk/faglig-viden/renseanlaeg/grundviden/udledning>
- [7] "Analyser for miljøfremmede stoffer og medicinrester." Accessed: Oct. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.eurofins.dk/miljoe/analyser-og-maalinger/spildevand-renseanlaeg/miljoefremmede-stoffer/>
- [8] K. Kilpinen *et al.*, "Catchment area, fate, and environmental risks investigation of micropollutants in Danish wastewater," *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 30, no. 57, pp. 121107–121123, Dec. 2023, doi: 10.1007/s11356-023-30331-z.
- [9] B. Mose Pedersen, U. Nielsen, and B. Halling-Sørensen Bent Halling-Sørensen ApS, "Begraensning af humane lægemiddelrester og antibiotikaresistens i spildevand med fokus på reduktion ved kilden," 2006.
- [10] B. Halling-Sørensen, S. N. Nielsen, P. F. Lanzky, F. Ingerslev, H. C. H. Liitzhofl, and S. E. Jorgensen, "Occurrence, Fate and Effects of Pharmaceutical Substances in the Environment-A Review," 1998.
- [11] B. Svennevig, "Antibiotika svækker immunforsvar i generationer - SDU." Accessed: Oct. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.sdu.dk/da/nyheder/antibiotika-svaekker-immunforsvar-i-generationer>
- [12] "Billig og miljøvenlig renseteknologi skal fjerne multiresistente bakterier fra hospitalsspildevand - Teknologisk Institut." Accessed: Oct. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.teknologisk.dk/projekter/billig-og->

miljoevenlig-renseteknologi-skal-fjerne-multiresistente-bakterier-fra-hospitalsspildevand/42101

- [13] Statens Serum Institut, "Antibiotikaforbruget i Danmark er stagneret - resistensen stiger dog fortsat," <https://www.ssi.dk/aktuelt/nyheder/2025/antibiotikaforbruget-i-danmark-er-stagneret-resistensen-stiger-dog-fortsat>.
- [14] Unric - FN, "Hvordan lægemiddelresistente patogener i vand kan udløse en ny pandemi," <https://unric.org/da/hvordan-laegemiddelresistente-patogener-i-vand-kan-udloese-en-ny-pandemi/>.
- [15] M. Cycoń, A. Mrozik, and Z. Piotrowska-Seget, "Antibiotics in the Soil Environment—Degradation and Their Impact on Microbial Activity and Diversity," *Front Microbiol*, vol. 10, no. MAR, p. 338, 2019, doi: 10.3389/FMICB.2019.00338.
- [16] P. Kovalakova, L. Cizmas, T. J. McDonald, B. Marsalek, M. Feng, and V. K. Sharma, "Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review," *Chemosphere*, vol. 251, p. 126351, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.126351.
- [17] "Antibiotika svækker immunforsvar i generationer - SDU." Accessed: Oct. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.sdu.dk/da/nyheder/antibiotika-svaekker-immunforsvar-i-generationer>
- [18] S. A. Kraemer, A. Ramachandran, and G. G. Perron, "Antibiotic Pollution in the Environment: From Microbial Ecology to Public Policy," *Microorganisms*, vol. 7, no. 6, p. 180, Jun. 2019, doi: 10.3390/MICROORGANISMS7060180.
- [19] J. With, "Det fjerde rensetrin: Miljøfarlige stoffer skal fjernes fra spildevandet," <https://www.danva.dk/nyheder/2023/det-fjerde-rensetrin-miljoefarlige-stoffer-skal-fjernes-fra-spildevandet/>.
- [20] *FREMTIDENS SPILDEVANDSBEHANDLING KORTLAEGNING AF DEN TEKNOLOGISKE UDVIKLING PÅ DANSKE RENSEANLAEG*.
- [21] A. V. Samrot et al., "Sources of Antibiotic Contamination in Wastewater and Approaches to Their Removal—An Overview," Aug. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su151612639.
- [22] *Hospitalsspildevand BAT og udvikling af renseteknologier*. 2011. [Online]. Available: www.nst.dk

- [23] D. Becker *et al.*, "Removal of antibiotics in wastewater by enzymatic treatment with fungal laccase – Degradation of compounds does not always eliminate toxicity," *Bioresour Technol*, vol. 219, pp. 500–509, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.08.004.