
RAPPORT

NORDVÄSTRA SKÅNES VATTEN OCH AVLOPP AB

Läkemedelsrening Lundåkraverket

UPPDRAGSNUMMER 13008018

UTREDNING OCH FÖRPROJEKTERING LÄKEMEDELSRENING



GRANSKNINGSHANDLING

2019-09-27

SWECO ENVIRONEMENT AB
VA-PROCESS SYD

ESBJÖRN ÖHRSTRÖM, NAIMA FORSÅ, ANDERS
KRONVALL, LINUS KARLSSON, FRED JOHANSSON,
JOAKIM NILSSON, CARL DAHLBERG

Sammanfattning

Sweco har på uppdrag av Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB (NSVA) genomfört en utredning för ett kompletterande reningssteg på Lundåkraverket i Landskrona för avskiljning av läkemedelsrester från avloppsvattnet. De grundläggande förutsättningarna för uppdraget har varit att förprojektera en anläggning med ozonering och ett efterföljande biologiskt reningssteg. Syftet med förprojekteringen har varit att hitta en lämplig lokalisering och dimensionering av en anläggning, samt ta fram preliminära bygghandlingar och flödesscheman för att kunna kostnadsuppskatta läkemedelsreningen. Kostnadsuppskattningen kommer ligga till grund för ett framtida investeringsbeslut.

För att avskilja läkemedelsrester på Lundåkraverket rekommenderar Sweco att ett ozoneringssteg placeras efter befintligt kemsteg. Ozon rekommenderas att produceras från syre som lagras i tankar på Lundåkraverkets fastighet. Ozonet tillsätts med diffusorer till avloppsvattnet i en kontakttank. Det ozonbehandlade vattnet genomgår sedan en biologisk rening för avskiljning av nedbrytningsprodukter i en MBBR som ligger i anslutning till kontakttanken. Utgående vatten passerar befintlig provtagare för renat avloppsvatten innan det släpps till recipienten. Dimensioneringen av den föreslagna reningsprocessen presenteras i tabellen nedan. Eftersom det finns relativt lite erfarenhet från etablering och drift av denna typ av rening i Sverige har den föreslagna anläggningen dimensionerats utifrån referensanläggningar i Tyskland och Schweiz.

Processdel	Antal	Volym/Kapacitet	Total Volym/Kapacitet	Enhet
Inloppspumpar	2	0,5	1	m ³ /s
Ozongeneratorer	1	11	11	kg O ₃ /h
Kontakttank	1	250	250	m ³
MBBR*	1	125	125	m ³

* Föreslagen fyllnadsgrad 30 % med bärare med en specifik yta på 800 m²/m³. En fyllnadsgrad upp till 60 % är möjligt varpå MBBRens kapacitet är flexibel.

Kostnaderna för anläggningen har beräknats till 45 MSEK. Driftkostnaderna per år för anläggningen har uppskattats till 1,2 MSEK med dagens belastning på reningsverket och 1,7 MSEK för den prognostiserade belastningen 2035. Anläggningen förväntas förbruka 380 MWh/år med den nuvarande belastningen och 520 MWh/år 2035. Syreförbrukningen har beräknats till 330 ton/år i dagsläget och 520 ton/år 2035.

Under utredningen har flera frågeställningar dykt upp och lösts med en iterativ design-approach. Detta har resulterat i att lokaliseringen har setts över och ändrats ett flertal gånger. Det finns kvarstående frågeställningar som fortfarande inte är helt utredda och dessa behöver hanteras innan en anläggning handlas upp. De viktigaste frågeställningarna som återstår att lösa behandlar risken för bromatbildning vid ozonering, vilken typ av styrning som är mest kostnadseffektiv, och huruvida en efterföljande MBBR-process är tillräcklig för att bryta ner eventuella transformationsprodukter. Då svenska krav och riktlinjer på läkemedelsrening saknas idag går det inte att garantera att den föreslagna anläggningen kommer uppfylla framtida sådana. Det är dock troligt att svenska krav baseras på erfarenheter från Schweiz och Tyskland, såsom denna dimensionering.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1	Arbetsgång och milstolpar	1
1.2	Krav- och målbild	2
2.	Underlag och dimensionerande förutsättningar	3
2.1	Anläggningsbeskrivning	3
2.2	Layout befintlig anläggning	4
2.3	Flödesschema	5
2.4	Geoteknik	5
2.5	Hydraulik	5
2.6	El	5
2.7	Automation och styrning	6
2.8	Dimensionerande förutsättningar	6
2.8.1	Flöde	6
2.8.2	DOC-halter och nitrit	7
2.8.3	Suspenderat material	8
2.8.4	Bromid	9
2.8.5	Krom	13
2.9	Övrigt	13
3.	Processbeskrivning och dimensionering	14
3.1	Ozonproduktion och kontakttank	14
3.1.1	Referenser	14
3.1.2	Styrning	16
3.2	Biologisk efterbehandling	17
3.2.1	Dimensionering	17
3.2.2	Osäkerheter	18
3.3	Årsflöde som genomgår läkemedelsrening	18
3.4	Provtagning	20
4.	Flödesschema och hydraulik	21
4.1	Anslutning till befintlig verksamhet	21
4.2	Hydraulik	21
5.	Maskinutformning	21
5.1	Tillkommande bassänger	21
5.2	Syrgaslagring	21
5.2.1	Syrgasbehov	21

5.2.2	Syrgastank	22
5.3	Ozongenerator	22
5.4	Styrning	22
5.4.1	Intagspumpning	22
5.4.2	Ozondosering	22
5.4.3	Anpassning till befintligt styrsystem	22
5.5	Kylning	23
5.6	Ozoninblandning	23
5.7	Kontakttank	23
5.8	Ozondestruktor	23
5.9	Säkerhetssystem	24
5.10	Provtagningsutrustning	24
5.11	Biologisk efterbehandling	25
5.12	Kemikaliebehov	25
6.	Maskinbyggnad	25
6.1	Beskrivning	25
6.2	Dimensionering	25
6.3	Lokalisering och påverkan på kringliggande infrastruktur	25
6.4	Erforderligt byggnadsarbete	26
6.4.1	Grundläggning och förberedande arbeten	26
6.4.2	Betongarbeten, bottenplatta	26
6.4.3	Betongarbeten, bassäng och rörkällare	27
6.4.4	Betongarbeten, bjälklag över bassäng	27
6.4.5	Betongarbeten, teknikbyggnad	27
6.4.6	Byggnation av väggar och tak, teknikbyggnad	27
6.4.7	Stomkomplettering	27
7.	EI	28
7.1	Behov och anslutning	28
7.2	Installation	28
8.	Risikanalys	29
9.	Sammanställning kostnadskalkyl	29
9.1	Investeringskostnader	29
9.2	Driftkostnader	30
10.	Vidare utredningsfrågor	31
10.1	Vidare provtagning	31
10.2	Ozondosering vid höga flöden	31
10.3	CFD-modellering	31

Bilagor

Bilaga 1: Beskrivning av funktionen – Lundåkraverket (2019-09-27)

Bilaga 2: Flödesschema – Läkemedelsrening Lundåkraverket (2019-09-27)

Bilaga 3: Motor- och apparatlista - Läkemedelsrening Lundåkraverket (2019-09-27)

Bilaga 4: Layoutritning – Lundåkraverket (2019-09-27)

Bilaga 5: Resultat riskworkshop Öresundsverket och Lundåkraverket
(2019-09-27)

Förkortningar

ARV	Avloppsreningsverk
ATEX	ATmosphères EXplosibles, används som benämning på EUs regelverk för explosiv miljö
BOD ₇	Biological Oxygen Demand – ett mått på hur mängden biologiskt nedbrytbart organiskt material.
CIP	Clean In Place, refererar till en portabel utrustning för rengöring
DOC	Dissolved Organic Carbon
EBCT	Empty Bed Contact Time
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
NSVA	Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB
pe	Personekvivalenter, ett mått på hur ett reningsverk belastas
SS	Suspenderad substans

1. Inledning

Sweco har fått i uppdrag av NSVA att genomföra en utredning och förprojektering av läkemedelsrening på Lundåkraverket i Landskrona. I uppdraget ingår dimensionering av ett ozoneringssteg med efterföljande biologisk behandling. Syftet med utredningen är att ta fram en kostnadsbedömning för ett framtida investeringsbeslut för föreslagen läkemedelsrening.

I uppdragets inledande skede utreddes och kostnadsbedömdes tre alternativ för biologisk efterbehandling. Utredningen har också kompletterats med en utredning av hur framtida skärpta fosforkrav kan nås på Lundåkraverket. Detta delmoment var nödvändigt att utreda parallellt med läkemedelsutredningen då åtgärder för att reducera utgående fosforhalt kommer påverka åtgärder för att reducera läkemedelsrester, och vice versa. Fosforutredningen presenteras i ett kompletterande PM.

Utifrån underlaget från den initiala utredningsfasen tog NSVA ett inriktningsbeslut att gå vidare med ett alternativ för biologisk efterbehandling samt att utöka fosforutredningen med tester för att bedöma om ytterligare dosering av fällningskemikalier kan sänka utsläppen av fosfor. Parallellt med dessa tester har Sweco gått vidare med kapacitetsbedömningen av det befintliga kemfällningssteget för att bedöma om detta kan hantera större flöden än det gör idag. Resultaten från denna analys har presenterats i ett kompletterande PM (se, PM fosforreduktion Leverensversion 190612).

I denna rapport ingår ett förslag på läkemedelsrening på Lundåkraverket och den levereras tillsammans med bilagor innehållande en beskrivning av funktionen, ett flödesschema, en komponentlista, layoutritningar och en riskmatris. Dessa dokument syftar till att ge läsaren en god förståelse för hur de olika komponenterna fungerar tillsammans samt ge underlag till kostnadsbedömningen. Rapporten redovisar förutsättningarna för läkemedelsrening på Lundåkraverket samt ger den bakgrundsinformation som ligger till grund för teknikval och vidare utredningsfrågor.

Rapporten syftar även till att presentera arbetsgången under förprojekteringen så att teknikalternativ som har valts bort under utredningen inte behöver utredas på nytt i framtiden.

1.1 Arbetsgång och milstolpar

- Projektstart: Förutsättningarna klarläggs att Sweco ska utreda och dimensionera en anläggning med ozonering och efterföljande biologisk behandling.
- Sweco kostnads- och lämplighetsbedömer tre alternativ för efterbehandling. Alternativen för efterbehandling är följande en av de befintliga biobäddarna, ett nytt sandfilter eller en ny MBBR.
- Sweco går vidare med den befintliga biobädden som alternativ för kostnadsbedömningen.
- SWECO och NSVA beslutar i samråd att istället förprojektera en MBBR som biologisk efterbehandling. Detta eftersom rördragnings blir mycket mer komplex om befintlig biobädd används och driftkostnader ökar då biologisk behandling i biobädden kräver större

tryckstegring av vattnet. Detta innebär att hela anläggningen kan placeras efter Lundåkraverkets kemsteg vilket har fördelen att slamhalten i vattnet är låg vilket troligtvis reducerar syrekonsumtionen och energikostnaderna för ozonproduktion.

- Sweco färdigställer förprojekteringen med ozoneringen placerad efter kemsteget.

1.2 Krav- och målbild

Det finns i dagsläget inga krav på rening av läkemedelsrester i kommunala avloppsreningsverk i Sverige men Naturvårdsverket har identifierat ett behov av läkemedelsrening för att minska belastningen på känsliga recipienter (Naturvårdsverket, 2017). För att öka kunskapen om hur läkemedelsrening kan implementeras i svenska förhållanden har regeringen därför fördelat pengar till förstudier och investeringar för avancerad rening.

Eftersom det inte finns några krav i svensk lagstiftning har dimensioneringen och funktionsbeskrivningen i detta projekt utgått från tyska och schweiziska erfarenheter där läkemedelsrening har byggts ut på flera kommunala avloppsreningsverk. I Schweiz finns lagstiftning som ställer krav på minst 80 % avskiljning av läkemedelsrester och mikroföroreningar på vissa verk. I Tyskland finns ingen lagstiftning men regionala rekommendationer är 80 % avskiljning. Uppföljning görs på vissa utvalda indikatorsubstanser (Cimbritz m fl, 2016).

Även om erfarenheterna från läkemedelsrening är större i Tyskland och Schweiz än i Sverige finns det fortfarande många osäkerheter kring teknikval, dimensionering och drift för att uppnå en viss reningseffekt. Att definiera en reningseffekt är också komplicerat eftersom en del reningstekniker inte avskiljer läkemedelsrester utan transformerar dem till okända substanser med okända effekter på människa och miljö. Transformationssubstanser är just nu ett högaktuellt forskningsfält vilket kan resultera i mer underbyggda riktlinjer på hur dessa kan avskiljas och reningen ska utvärderas. I dagsläget är det dock osäkert hur ambitiösa svenska krav kommer bli och hur uppföljningen av reningsverkens effektivitet kommer genomföras.

2. Underlag och dimensionerande förutsättningar

2.1 Anläggningsbeskrivning befintligt

Lundåkraverket ligger i södra Landskrona och upptagningsområdet omfattar bland annat orterna Landskrona, Glumslöv och Ven. Belastningen är i dagsläget strax under 40 000 pe¹. Den största källan till organiskt material är livsmedelsproducenten Oatly som belastar verket med över 600 kg BOD₇/dag. Oatly planerar dock för ett eget reningsverk som ska stå klart senast 2022. Dimensionerande och inkommande belastning presenteras i Tabell 1.

Lundåkraverket är uppbyggt med ett mekaniskt, biologiskt och ett kemiskt reningssteg. Det biologiska steget avskiljer utöver organiskt material och kväve även fosfor genom en så kallad Bio-P-process. Efter den biologiska reningen passerar vattnet en kemisk rening där fällningskemikalier tillsätts och bildade flockar avskiljs i en lamelledimentering innan vattnet leds ut i Öresund.

Verket har även två biobäddar varav den ena används för att behandla avloppsvatten då utgående flöde från försedimenteringen överstiger 1 000 m³/h. När detta sker förbileds flödet som överstiger 1000 m³/h den primära biologiska reningen via biobädden eftersom biosedimenteringen inte klarar högre flöden utan att ge upphov till slamflykt. Biobädden i drift underhålls även under lägre flöden genom att ett visst flöde intermittert pumpas in till den. Bräddning av avloppsvatten som endast behandlats mekaniskt är ovanligt på verket och uppgick under 2017 endast till 36 m³. Motsvarande siffra för 2018 var 4 908 m³. Bräddningen på ledningsnätet uppskattades under motsvarande år till 2 230 m³ respektive 1 820 m³. Den sammanlagda mängden obehandlat avloppsvatten som bräddas på avloppsreningsverket eller ledningsnätet motsvarar ca 0,05 % av årsflödet under 2017 och 2018. I Tabell 1 presenteras dimensioneringen av relevanta reningssteg på Lundåkraverket. I avsnitt 3.3 presenteras prognostiserade framtida flöden och hur dessa kan påverka den föreslagna läkemedelsreningen.

Tabell 1. Dimensionerande och inkommande belastning vad gäller BOD₇ och flöde på Lundåkraverket. Uppgifter kommer från Lundåkraverkets årliga miljörapporter.

	Värde	Enhet	Utfall 2018	Utfall 2017	Utfall 2016
Dimensionerande belastning, medeldygn	38 600	pe ¹	40 686	39 211	36 556
Dimensionerande medelflöde	24 000	m ³ /dygn	13 287	12 278	13 096

¹ Räknat på 70 g BOD₇/dag per pe

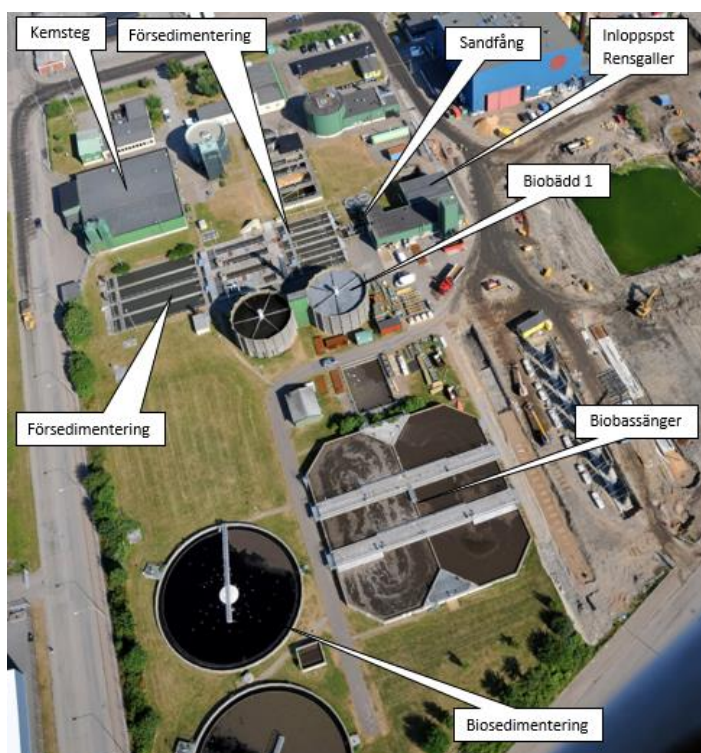
Tabell 2. Dimensionering och belastning vid Q_{max} av de olika reningsstegen på Lundåkraverket.

Utformning reningssteg	Värde	Enhet	Ytbelastning Q_{max}	Enhet
Biologisk rening, Q_{max}	2 500	m^3/h	-	-
Totalyta biosedimentering	1 714	m^2	1,5	m/h
Efterfällning, Q_{max}	2 500	m^3/h	-	-
Flockningsbassänger (3 linjer med vardera 3 bassänger)	625	m^3		
Projicerad yta lamellsedimentering	3 125	m^2	0,8	m/h
Biobädd, volym/st**	890	m^3	-	-
Biobädd, tvärsnittarea/st**	220	m^2	6,8*	m/h
Totalyta fyllmaterial**	89 000	m^2		

* Q_{max} till biobädden blir $2\,500 - 1\,000 = 1\,500\, m^3/h$.
 ** Volym, tvärsnittsarea och fyllmaterial syftar på en biobädd.

2.2 Layout befintlig anläggning

Översiktlig visualisering av befintlig layout syns i Figur 1.

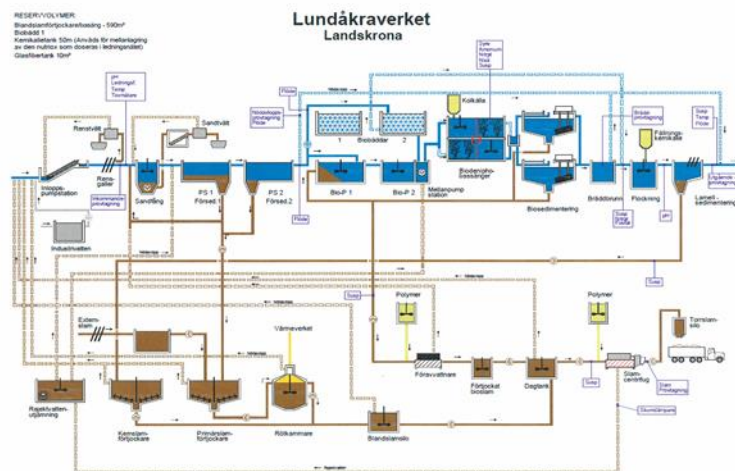


Figur 1. Layout över befintlig verksamhet på Lundåkraverket.

4(32)

2.3 Flödesschema

I Figur 2 syns ett översiktligt flödesschema för Lundåkraverket.



Figur 2. Flödesschema för Lundåkraverket.

2.4 Geoteknik

Pålning bedöms behövas för nya anläggningsdelar, se befintlig geoteknisk undersökning *Landskrona ställverk – Geoteknik* daterad 2018-08-24.

2.5 Hydraulik

Detta avsnitt behandlar hydrauliken i anslutning till befintligt kemsteg. Trycknivån uppskattas vara någonstans i spannet ca +2,0 mvp - +3,5 mvp i ledning efter biosedimentering baserat på tillhandahållen hydraulisk profil. Det saknas info om trycknivån efter kemsteget och den har därför uppskattas till något lägre än i ledningen från biosedimenteringen.

2.6 EI

Lundåkraverket försörjs idag med lågspänning 400V från en närliggande av Landskrona Energis nätstationer, belägen mellan rötgasbyggnad och carport utmed förrådsgatan. Servisställverk på 1 600A med mätning finns i rötgasbyggnaden. I samma byggnad är också reservkraften på 1 000 A installerad. Strömbehovet varierar idag mellan 200 – 1 200A, beroende på inflöden till verket. Förväntad transformatorstorlek i Landskrona energis nätstation är 800 kVA, och därmed används hela nätstationens kapacitet.

2.7 Automation och styrning

Lundåkraverket har idag ett befintligt Scada-system som bedöms kunna integreras med framtida PLC för läkemedelsreningen.

Följande online-mätare finns på verket som är av intresse och påverkar en framtida läkemedelsrening:

- En mätare för suspenderat material/turbiditet efter biosedimenteringen (ID: LA-RV-LUN-MSED-SST6411) och en efter lamellsedimenteringen (LA-RV-LUN-SSED-G)
- En flödesmätare som mäter utgående flöde från försedimenteringen (ID: LA-RV-LUN-BIO-FT6607)

2.8 Dimensionerande förutsättningar

Detta kapitel innehåller de förutsättningar som finns på Öresundsverket samt förslag på ytterligare informationsinhämtning för att underlätta en framtida detaljprojektering.

2.8.1 Flöde

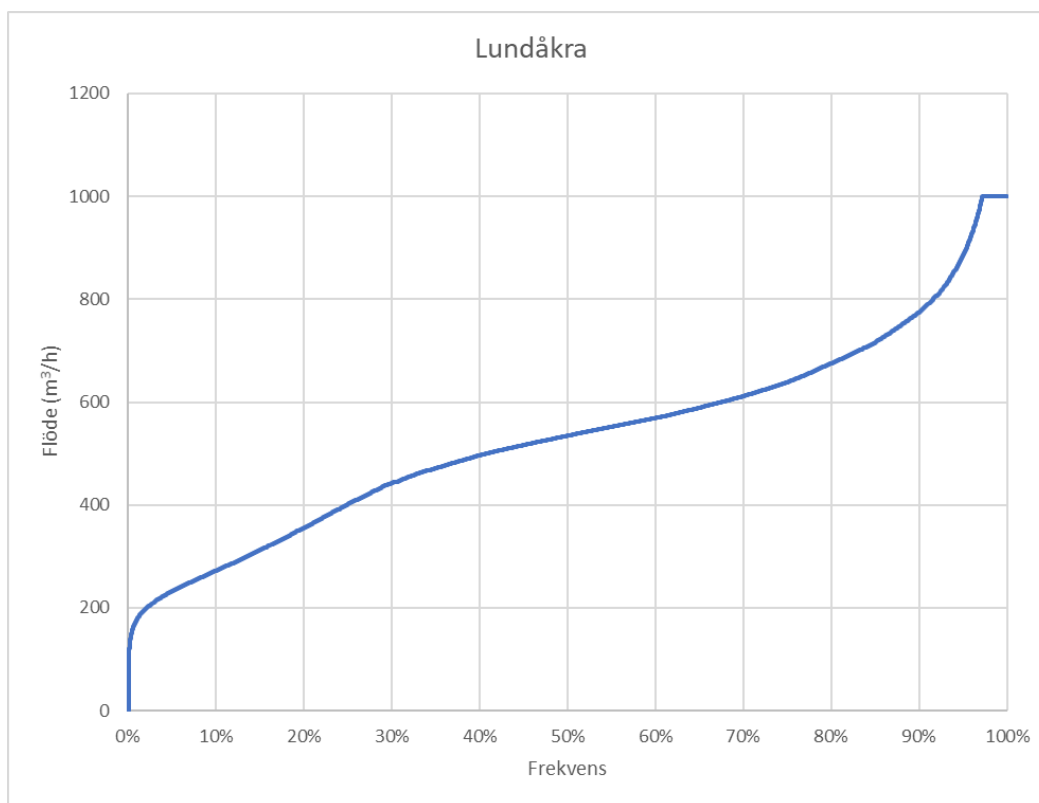
Ozonbehandlingen dimensionerades ursprungligen efter det största flöde biosedimenteringen kan hantera utan att slamflykt sker. Detta är i dagsläget **1 000 m³/h, vilket sattes till Q_{max} för ozoneringssteget**. Det överstigande flödet över 1000 m³/h behandlas i en biobädd och inte i den ordinarie aktivslamprocessen med tillhörande biosedimentering. I den ursprungliga dimensioneringen detta överstigande flöde som olämpligt att behandla i ett ozoneringssteg p g a höga slamhalter. Höga slamhalter kan öka ozonkonsumtionen och orsaka skumbildning.

Lokaliseringen av läkemedelsreningen har under projektet ändrats efter den ursprungliga dimensioneringen vilket innebär att det finns möjlighet även behandla vatten som har förbiletts det ordinarie biologiska reningssteget via biobädden. Att öka kapaciteten på läkemedelsreningen skulle dock leda till höga marginalkostnader för det ytterligare flöde som skulle kunna behandlas.

Allt avloppsvatten som behandlas med ozon kommer också behandlas i ett efterföljande biologiskt reningssteg.

Ett frekvensdiagram över flödena som kommer behandlas i läkemedelsreningen presenteras i Figur 3. Flödet in till verket överstiger sällan 1 000 m³/h vilket innebär att en stor del av årsflödet kommer behandlas i läkemedelsreningen, se avsnitt 3.3. Frekvensdiagrammet i Figur 3 utgår från att det biologiska reningssteget drivs utan slamflykt. Om slamflykt sker kommer detta flöde förbiledas läkemedelsreningen förutsatt att kemsteget inte kan reducera slamhalterna till en acceptabel nivå. En förbiledning av hela flödet under slamflykt minskar andelen av årsinflödet som kan behandlas.

Även om läkemedelsreningen dimensioneras efter 1 000 m³/h kan den hantera större flöden om ozondosen sänks för att kompensera för den kortare reaktionstiden i kontakttanken. En sådan drift är vanlig i Tyskland och Schweiz på anläggningar där hela huvudströmmen behandlas (Miehe m fl, 2017).



Figur 3. Frekvensdiagram över de flöden som kommer behandlas i läkemedelsreningen.

2.8.2 DOC-halter och nitrit

Kapaciteten på ozongeneratoren dimensioneras efter halten DOC och nitrit i vattnet som ska behandlas. Halten DOC ut från biosedimenteringen ligger relativt stabilt på 9–11 mg DOC/l och halten nitrit är låg och har uppmätts till runt 0,1 - 0,2 mg/l. DOC- och nitrihalten baseras på analyser från de pilotförsök som har gjorts för ozonbehandling på Lundåkraverket. Nitrit har även mätts i utgående vatten på Lundåkraverket i den ordinarie provtagningen. Medelvärdet för 2018 var 0,14 mg/l och den högsta uppmätta halten var 0,37 mg/l. Halterna före kemsteget kan förväntas motsvara halterna efter kemsteget.

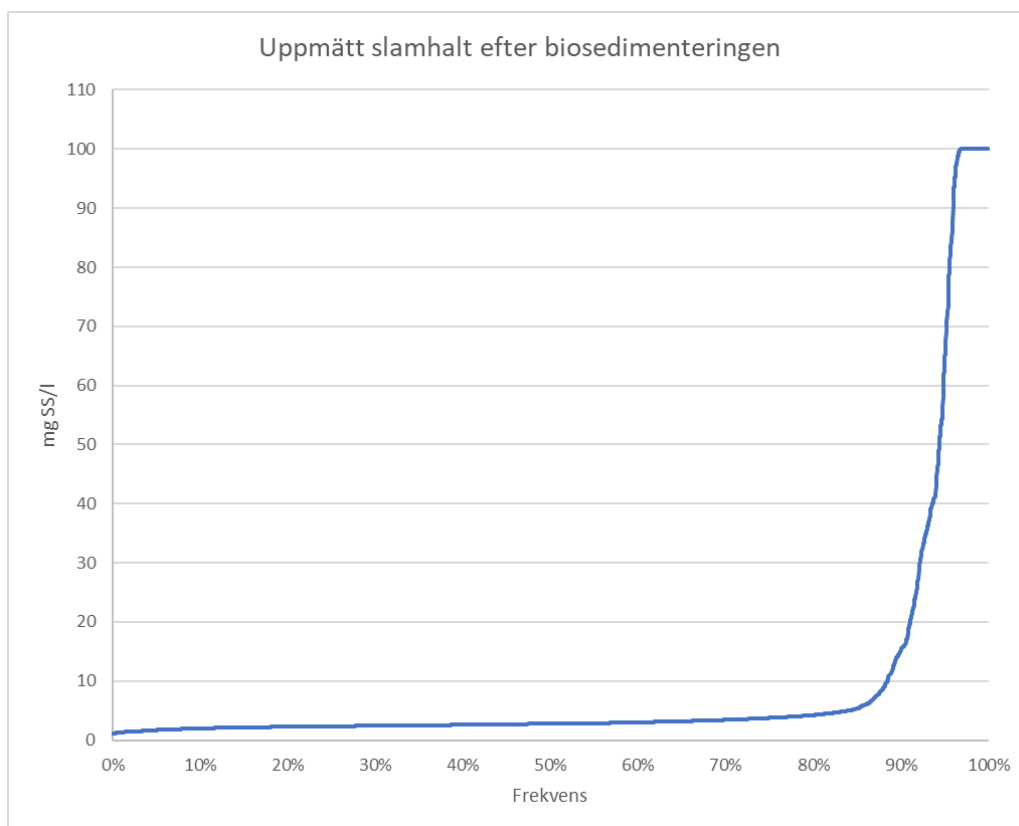
Sweco rekommenderar NSVA att ta dygnsprover en gång per vecka på DOC och nitrit tillsammans. Dessa analyser kan kombineras med de dygnsprover som tas en gång per vecka på Lundåkraverket i den ordinarie provtagningen. Resultatet från denna provtagning kommer inte påverka lokaliseringen eller utformningen av läkemedelsreningen utan enbart dimensioneringen av ozoneringsutrustningen, styrningen, inblandning och eventuellt kontakttanken. Notera att provtagningen bör ske efter kemsteget för att resultaten ska bli representativa för den föreslagna lokaliseringen.

2.8.3 Suspenderat material

Suspenderat material har ingen påverkan på ozoneringssteget då slamhalten ligger under 10 mg SS/l (Miehe m fl, 2017). Påverkan vid högre slamhalter är osäker. Vid vissa anläggningar har problem med att skumbildning uppstått vid höga slamhalter (Linköping och Zürich), vid andra anläggningar har skumbildning inte uppstått trots höga slamhalter (Aachen). Studier har visat att läkemedelsreducering är mer effektiv då ozoneringssteget förbigås av ett reningssteg som reducerar slamhalten i vattnet. Detta förklaras av att TOC-halten reduceras då slamhalten minskar vilket gör att mer ozon blir tillgängligt för att oxidera läkemedelsrester (Nilsson, 2017). I Linköping förbileds ozoneringssteget då slamhalten i vattnet överstiger 10 mg/l. Huruvida detta är p g a process- eller upphandlingstekniska skäl är dock inte klarlagt.

Utan att göra pilotförsök eller en mer ingående optimering av läkemedelsreningen på Lundåkraverket bedömer Sweco att man ska sträva efter att ingående slamhalt till ozoneringssteget understiger 10 mg/l. Detta innebär dock inte att vatten med högre slamhalter behöver förbiledas läkemedelsreningen, utan detta kan provas ut under drift av en framtida anläggning.

I Figur 4 presenteras ett frekvensdiagram över slamhalterna ut från biosedimenteringen. Värdena kommer från en online-mätare som mäter slamhalten optiskt efter biosedimenteringen. Denna mätare var fram till november 2018 inställd på att mäta turbiditeten i enheten FNU. I november 2018 ställdes mätaren om för att istället mäta slamhalten i enheten mg SS/l. Det finns inget trivialt samband mellan turbiditet och slamhalt varpå datan före november 2018 är svår att använda för att bedöma slamhalten i vattnet.



Figur 4. Slamhalt efter biosedimenteringen uppmätt med en online-mätare (optisk mätprincip). Frekvensdiagrammet är skapat från data från 21 nov 2018 – april 2019.

Medelvärdet på slamhalten mellan den 21 november 2018 och den 31 mars 2019 var 8,4 mg SS/l. Under denna tid har dock alg tillväxt på mätaren påverkat resultat, det verkliga värdet antas därför ligga under det uppmätta medelvärdet. Slamhalten understiger 10 mg/l under 89 % av tiden. Ovan resonemang om alg tillväxt kan också appliceras här. Dock finns det vissa osäkerheter i datan då någon kalibrering av slamhaltsvärdena i relation till den optiska mätningen troligtvis inte har gjorts för den aktuella vattenmatrisen. Notera att ovan diskussion baseras på slamhaltsmätningar före kemsteget. Av andra anledningar har NSVA och Sweco bedömt att den mest lämpliga lokaliseringen på Lundåkraverket är efter kemsteget. Detta innebär att ingående slamhalter bör ligga långt under de ovan angivna halterna.

Sweco rekommenderar NSVA att ta prov på slamhalten efter slutsedimenteringen för att bekräfta låga utgående slamhalter från kemsteget.

2.8.4 Bromid

Bromid kan reagera med ozon och bilda bromat vilket är cancerframkallande. Om bromid förekommer i höga koncentrationer i avloppsvattnet ska ozondosen anpassas för att minska uppkomsten av bromat. Bromid i avloppsvatten härstammar vanligtvis från kemiska industrier, avfallsförbränningsanläggningar med rökgasrening, eller från deponier. I Sverige har inte

bromidhalter i avloppsvattnen undersökts i stor skala vilket har gjorts i Schweiz. Där fann man att bromidkoncentrationen varierade mellan under 0,01 till över 10 mg Br/l. Bromidkoncentrationen låg dock under 0,1 mg/l i avloppsvattnet på mer än tre fjärdedelar av de undersökta anläggningarna (Miehe m fl, 2017).

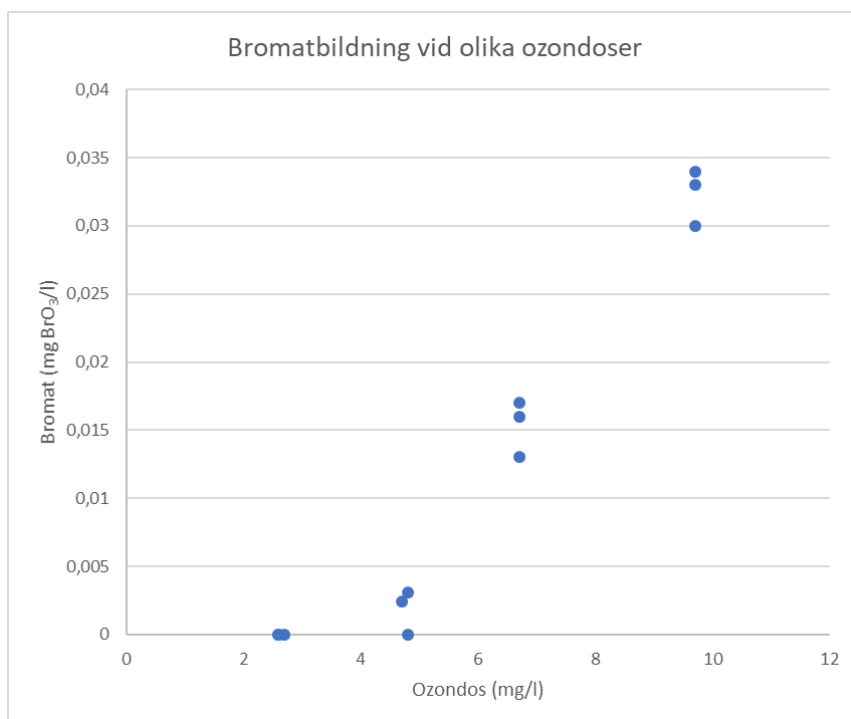
Kompetenscentret för mikroföroreningar i Nordrhein-Westfalen (KOM-M NRW) riskbedömer ingående bromidkoncentration enligt nedan kriterier:

- Bromidkoncentration <100 µg/l: ingen begränsning vid ozondoser under 0,7 mg O₃/mg DOC;
- Bromidkoncentration 100 – 150 µg/l: ingen begränsning vid ozondoser under 0,5 mg O₃/mg DOC. Vid högre dosering bör bromatbildningen utvärderas för den aktuella vattenmatrisen;
- Bromidkoncentration >150 µg/l: en bedömning behöver göras för bromatbildningen i den aktuella vattenmatrisen.

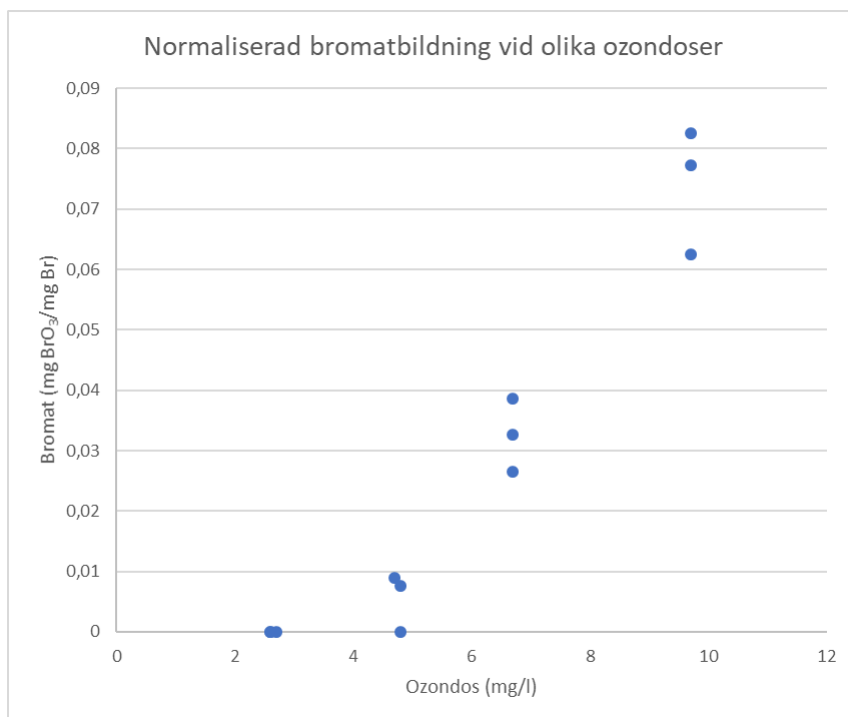
Hur höga halter av bromat som kan tolereras i utgående vatten är inte fastställt och borde rimligen bero på recipientens känslighet. Den generella gränsen för bromat i dricksvatten är 10 µg/l. Det ekotoxikologiska centret i Schweiz (Das Oekotoxzentrum der Schweiz) har definierat ett kroniskt kvalitetskriterie i akvatiska miljöer på 50 µg/l (KOM-M NRW, 2016). Detta värde kan jämföras med en välciterad studie av Hutchinson (1997) där de föreslår att akvatiska organismer inte ska utsättas för högre halter än 3 mg/l under långtidsexponering för att undvika kroniska skador. Denna studie baseras dock på en extrapolering från uppmätta akuta toxicitetsvärden.

Halten bromid i utgående vatten från Lundåkraverket hade i juni 2019 mätts vid 6 tillfällen med veckosamlingsprov under denna utredning samt under 12 tillfällen i samband med den pilotstudie för läkemedelsrening som körs på Lundåkraverket. Medelhalten under dessa mätilfällen var 0,47 respektive 0,39 mg/l. De lägst uppmätta halterna var 0,29 respektive 0,27 mg/l och de högsta halterna var 0,59 mg/l respektive 0,49 mg/l. Dessa halter ligger över den nivå då KOM-M NRW rekommenderar att en bedömning av bromatbildningen för den aktuella vattenmatrisen genomförs.

Under pilotstudien har även bromathalten uppmätts vid olika ozondoser. Data från dessa analyser redovisas i Figur 5 och Figur 6.



Figur 5. Bromatbildning vid olika ozondoser på Lundåkraverket.



Figur 6. Normaliserad bromatbildning (bromat/bromid) vid olika ozondoser. Ingen data för DOC har funnits att tillgå så ozondosen har inte kunnat normaliseras mot DOC-koncentrationen.

Bromidhalterna på Lundåkraverket indikerar att försiktighet måste iaktas och mer studier görs för att bedöma bromatbildningen. Data i Figur 5 och Figur 6 visar att ozondoseringen bör hållas nere för att undvika att bromat bildas. Dock ligger bromathalterna vid samtliga ozondoser under det rekommenderade kvalitetskriteriet för akvatiska miljöer i Schweiz. Motsvarande riktlinjer saknas i Sverige.

Sweco har dock ingen data på DOC-halterna i vattnet när försöken har gjorts och har därför inte kunnat normalisera ozondosen mot DOC. Inbladningen har skett med en statisk mixer vilket också påverkar bromatbildningen, se avsnitt 5.6.

För att få ytterligare en bedömning rekommenderar SWECO NSVA att göra ett dos-respons-test på bromatbildning vid olika ozondoser. Ett sådant test är obligatoriskt i Schweiz innan en ozoneringsanläggningen byggs och kan ge ytterligare förståelse för hur bromatbildning kan undvikas². Envilab i Schweiz genomför dos-respons-test på bromatbildning enligt följande procedur:

- Vattnet karakteriseras.
- Ozon tillsätts i doser från 0,2 - 1,2 mg O₃/mg DOC.
- Bromid och bromat analyseras på vattenprover före och efter ozondosering.

² Källa: Mailkonversation med Johanna Otto, Envilab AG, 2019-06-03

Denna analys kostar ungefär 1 800 Euro. Om två test görs blir kostnaden rabatterad. För testet behövs 2 l vatten. Envilab rekommenderar att testet genomförs på samlingsprov från fem dagar och provet skickas express med en internationell kurir för att inte fastna i tullen. Då Envilab har genomfört ett stort antal ozontester för schweiziska och tyska reningsverk, kan de också bidra med värdefull information huruvida värdena som erhålls är avvikande. Provet filtreras (0,7 µm) normalt innan dos-respons-testet genomförs. Detta innebär att en del ozonförbrukande ämnen kommer avskiljas och testet blir därför ett värsta scenario för bromatbildning. Den verkliga bromatbildningen på reningsverket kan antas vara lägre än testet visar. Testet kan även genomföras utan filtrering och då kommer slamhalten i vattnet påverka och minska bromatbildningen, vilket mer liknar de verkliga förhållandena. Om testet genomförs utan filtrering blir det dock svårare jämföra värdena med de värden som har uppmätts under projekteringen av ozoneringssteg i Tyskland och Schweiz.

Mer information om Envilab kan hittas på hemsidan: <https://envilab.ch/fr/>.

2.8.5 Krom

Även krom kan vara ett problem då ozon kan oxidera 3-värdigt krom till 6-värdigt. Krom (VI+) är potentiellt cancerframkallande och den Schweiziska branchorganisationen för vatten och avlopp har tagit fram rekommendationer vilka halter krom i avloppsvattnet som kan accepteras vid ozonering. Koncentrationerna som anges är totalhalten krom.

- Kromkoncentration <1 µg/l: inget problem med ozonering
- Kromkoncentration >1 µg/l: Oklara effekter av ozonering. Övervakningen av recipienten kan behövas.
- Kromkoncentration >>1 µg/l: Oroväckande halter. Försiktighet ska iakttas och övervakning av recipienten kan behövas.

Sweco rekommenderar NSVA att provta krom i samband med att provtagningen för bromid görs. Då ska totalhalten krom analyseras.

2.9 Övrigt

Ingen syreproduktion kommer att ske på plats utan ozongeneratoren kommer försörjas med syre från en syrgastank som fylls på av extern aktör. Denna hantering av syrgasförsörjning är den absolut vanligaste eftersom extern syrgasproduktion är billigare än att producera syret på plats, förutom i vissa undantagsfall då avståndet till en syrgasleverantör är stort (Miehe, 2017).

Lundåkraverket dimensioneras för en ozonbehandlingslinje med en kontakttank.

Läkemedelsreningen utformas med biologisk rening efter ozonbehandlingen för att minska risken för att potentiellt skadliga transformationsprodukter når recipienten.

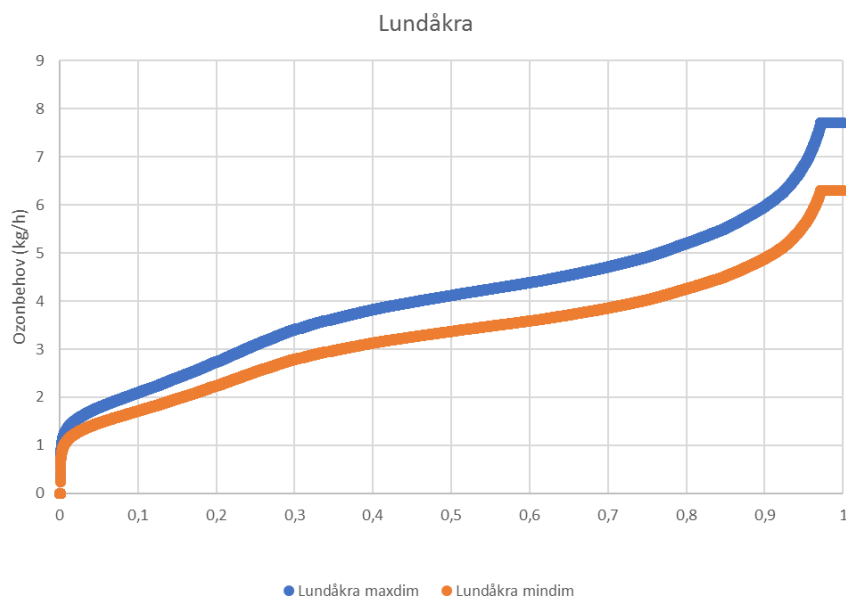
3. Processbeskrivning och dimensionering

3.1 Ozonproduktion och kontakttank

Ozonbehovet dimensioneras utifrån uppskattad halt av DOC och nitrit i utgående vatten från kemsteget. Lab-tester och erfarenheter från andra verk visar att ozondosen bör vara runt 0,6 – 1,1 mg O₃/mg DOC (Baresel m fl, 2017; Miehe m fl, 2017; Nilsson, 2017). Dimensioneringen av läkemedelsreningen på Lundåkraverket föreslås ske utifrån en ozondosering på 0,7 mg O₃/mg DOC och en uppehållstid i kontakttanken på minst 15 minuter vid Q_{max}.

Observera att styrningen inte föreslås ske på ingående DOC-halter utan på flöde. Se avsnitt 3.2 för vidare diskussion och information om olika styrningsalternativ.

Ovan föreslagna dimensionering ger ett ozonbehov på 6,3 - 7,7 kg O₃/h vid Q_{max} och en medelkonsumtion på 3,4 – 4,1 kg O₃/h. Den totala årskonsumtionen blir då runt 33 ton ozon. Ett frekvensdiagram över beräknad ozondosering ses i Figur 7.



Figur 7. Frekvensdiagram över uppskattad ozondosering på Lundåkra reningsverk.

Kontakttankens volym har beräknats till 250 m³, motsvarande 15 minuters kontakttid vid Q_{max}. Tankens utformning görs för att maximera ozoninblandningen och få ett så jämnt flöde över tankens tvärsnitt som möjligt. Detta innebär att ett flertal vertikala bafflar kommer alternera flödesriktningen i tanken. För mer info se Bilaga 1.

3.1.1 Referenser

Kontakttanken bör dimensioneras för en uppehållstid på 5 - 20 minuter. Den lägre uppehållstiden i detta intervall gäller för verk som har stor påverkan av tillskottsvatten och som tar in en stor del av årsinflödet till läkemedelsreningen. Den högre uppehållstiden gäller för max torrvädersflöde (Mulder m fl, 2015; Miehe m fl, 2017). Då Lundåkraverket till viss del försörjs av

kombinerade system, men också förbiledar de värsta topparna, sätts kontakttiden för verket till 15 minuter vid Q_{max} . Denna dimensionering kan vara i överkant och mindre kontakttankar kan möjligtvis väljas under en detaljprojektering om nedbrytningstest för ozon görs för den aktuella vattenmatrisen. Reaktionstiden för ozon varierar nämligen med vattenmatrisen och är därför unik på varje reningsverk. Högre ozondos förlänger reaktionstiden för ozonet medan högre temperaturer samt ett högre pH reducerar den nödvändiga kontakttiden på grund av snabbare reaktioner mellan ozonet och det organiska materialet (Stapf & Miehe, 2019).

Kontakttanken utformas i regel med bafflar och ozondosering kan då delas upp i olika kammare (Miehe m fl, 2017). I Tabell 3 presenteras ett par anläggningar där den befintliga reningsprocessen har kompletterats med ett ozoneringssteg. Data kommer från Miehe m fl (2017). I tabellen presenteras dimensionerande flöde, ozondos, uppehållstid i kontakttank, typ av ozondosering, styrning av ozonproduktionen, samt teknik för efterbehandling.

Tabell 3. Tyska och schweiziska referensanläggningar. Fler anläggningar är beskrivna i Miehe m fl (2017).

Namn	Ozondos (mg O_3 /mg DOC)	Max torrväders- flöde/Max regnvädersflöde (m^3/h)*	HRT Kon- takttank (min) / typ	Dosering**	Styrning***	Efterbehandling
Achen So- ers	0,5 - 0,7	6 480 / 10 757	12 – 30 min / seriekopplade CSTR-tankar	D	Q-prop	MBBR + Sandfil- ter
Schloß Holte-Stuk- enbrock	0,7	-	30 min / tank med bafflar	D	SAC-prop / DOC-prop	Polerdamm
Espelkamp	0,4 - 0,6	-	- / -	-	SAC-prop	Polerdamm
Warburg	0,7	662 / 1 648	> 20 min / tank med bafflar	D	Q-prop	MBBR
Lemgo	0,3 - 0,8	-	> 19 min / tank med bafflar	I	Q-prop / SAC-prop	Sandfilter
Werdhölzli, Zürich	0,7 - 0,9	-	>12 min (26 min medel- flöde) / tank med bafflar	I	SAC-?	Sandfilter
* Gäller den tyska definitionen av maxflöde. De olika verken är dimensionerade för att hantera olika mycket av årsflödet. I regel dimensioneras verk som har mycket tillskottsvatten för att hantera en mindre del av årsinflödet än verk som förses med enbart separerade ledningsnät. Flera av de kontakttankar som presenteras i tabellen tar in en						

mindre del av årsflödet än vad som är beräknat för Lundåkra och Öresundsverket. Då kan också tanken dimensioneras för en längre uppehållstid vid maxflöden utan att volymen drar iväg i storlek.

** D - Diffusorer, I – Injektorer.

*** SAC ger en uppskattning av halten organiskt material genom absorption av ljus med en våglängd på 254 nm. Det finns även andra typer av styrning som testas på olika anläggningar.

3.1.2 Styrning

I detta projekteringskede har den enklaste styrningen föreslagits, nämligen att ozonproduktionen styrs flödesproportionerligt utifrån en satt ozondos. Denna styrning har varit standard på små verk under 100 000 pe med små variationer i DOC, men förekommer också på större verk med som tar emot avloppsvatten från många hundra tusen personer. Ett exempel är reningsverket i Neugut som tar emot avloppsvatten från 150 000 pe. På detta reningsverk jämfördes en mer avancerad styrning med en flödesproportionerlig styrning med slutsatsen att även om den mer sofistikerade styrningen reducerade ozonkonsumtionen så resulterade den i högre kostnader för utrustning och underhåll (Miehe m fl, 2017). Sweco har inte varit i kontakt med reningsverket i Neugut för att få tillgång till denna kostnadsanalys.

För att undvika att ozon följer med vattnet ut ur kontakttanken bör dock ytterligare reglering implementeras (Miehe m fl, 2017). I detta fall föreslås att ozonhalten i off-gasen, den gas som finns kvar då ozonet har reagerat med avloppsvattnet, övervakas och används som vakt för att minska ozonproduktionen om allt ozon inte hinner reagera i kontakttanken.

Det finns mer avancerade sätt att styra en ozoneringsanläggning som tar hänsyn till halten organiskt material i ingående avloppsvatten. En mer avancerad styrning kan reducera driftkostnaderna om halten av organiskt material varierar mycket i vattnet (variationen av organiskt material bedöms av NSVA utifrån analyser på DOC som rekommenderats av SWECO i denna rapport). Dock kräver en mer avancerad styrning högre investeringskostnader och framförallt högre driftskostnader i form av underhåll och tillsyn av mätare (Miehe m fl, 2017). Nedan är de vanligaste metoderna för att styra en ozoneringsanläggning presenterade. Notera att det händer mycket inom detta område och därför kan information som presenteras nedan vara inaktuell vid ett framtida byggskede. Vid en framtida projektering bör valet av styrning ses över tillsammans med expertis från Tyskland och Schweiz med erfarenhet av driftsättning av nya anläggningar.

DOC-proportionell styrning:

Ozonproduktionen styrs i detta fall utifrån en DOC-proportionerlig ozondos. DOC mäts i ingående vatten till ozoneringssteget. Det finns flera mätare som med olika mätprinciper återger DOC-halten i vatten. De vanligaste är:

Mätning med DOC-analysator. I denna typ av mätare tas en liten mängd provvatten ut från huvudströmmen och filtreras. Organiskt material oxideras i provvattnet med någon form av oxidationsmedel eller via förbränning med eller utan katalysator. Mängden bildad koldioxid mäts sedan med en infraröd detektor. Denna typ av mätare kräver kontinuerligt underhåll och resultaten är relativt osäkra (Miehe, m fl, 2017).

DOC-halten kan också mätas optiskt då organiska molekyler absorberar ljus. Relationen mellan absorption och DOC beror dock på den aktuella vattenmatrisen och behöver därför kalibreras med platsspecifika lab-analyser. Optiska mätningar av DOC-halten kan också göras med enbart våglängden 254 nm men en nackdel med denna mätprincip är att påverkan av partiklar blir större än om fler våglängder används. UV_{254} är dock en någorlunda robust metod som kräver relativt lite underhåll även om kontinuerlig kvalitetssäkring samt rengöring av utrustningen är nödvändigt. Optisk onlinemätning av DOC kräver att vattenmatrisen håller sig relativt konstant vad gäller förhållandet mellan organiskt material och absorbans.

Styrning med nitritmätning

Om nitrithalten varierar i ingående vatten till ozoneringssteget bör även en nitritmätare installeras som möjliggör att ozondosen kan justeras då ozon förbrukas när nitrit oxideras till nitrat.

Styrning på ΔUV_{254} -absorption

Med denna typ av reglering mäts absorbansen före och efter ozonbehandlingen, alternativt före ozoneringen och efter den biologiska efterbehandlingen. Denna typ av styrning har enbart används för att reglera ozondosen utifrån en annan bakgrundsstyrning. Ozondosen anpassas för att ge en konstant reduktion av UV_{254} -absorption. Kvarvarande ozon kan dock påverka absorbansmätningen efter kontakttanken och öka absorbansen. UV_{254} -sonden efter ozoneringen är också mycket känslig för påväxt av biofilm då ozoneringen skapar lättnedbrytbara organiska föreningar. Denna typ av styrning är inte lika väl testad som de ovan beskrivna metoderna, även om tester har visat bra resultat, förutsatt att intensivt underhåll av sondaerna sker (Miehe m fl, 2017).

3.2 Biologisk efterbehandling

Det ozonbehandlade avloppsvattnet leds till en MBBR där det sker en biologisk behandling för att avskilja eventuella nedbrytningsprodukter. Se avsnitt 1.1 för en beskrivning av arbetsgången som ledde fram till valet av efterbehandling. Anledningen till att de befintliga biobäddarna inte har föreslagits för efterbehandlingen är att rördragningen blir väldigt komplicerad för denna lösning. Att använda biobäddarna skulle också öka energikostnaderna för reningssteget då det ozonerade vattnet i så fall behöver lyftas efter kontakttanken.

3.2.1 Dimensionering

Den vetenskapliga grunden för hur ett efterbehandlingssteg ska dimensioneras är svag och ett aktuellt forskningsområde. Vanligtvis används därför befintlig infrastruktur såsom sandfilter, poleringsdamm, eller MBBR för efterdenitrifikation (Baresel m fl, 2017). En MBBR är billigare att bygga än ett sandfilter och föreslås därför i detta fall då ozoneringsanläggningen i detta projekteringskedje har föreslagits att placeras efter befintligt kemsteg. Dimensioneringen av MBBRen i detta projekt har baserats på liknande anläggningar i framförallt Tyskland. I dessa fall har uppehållstiden i MBBRen satts till hälften av uppehållstiden i kontakttanken

Referensanläggningar finns i Warburg och Duisberg-Vierlinden. Värt att notera är att den hydrauliska uppehållstiden vid Q_{max} i dessa anläggningar är något längre än uppehållstiden vid $Q_{max,ozonering}$ på Lundåkraverket. Dessa anläggningar är dock dimensionerade för att ta in en

något mindre andel av maxflödet på reningsverket. Då anläggningen på Lundåkraverket har dimensionerats för att ta en större andel av årsflödet blir uppehållstiden något lägre vid Q_{max} .

3.2.2 Osäkerheter

Sweco har dimensionerat det biologiska reningssteget utifrån erfarenheter och de verk som har byggts i Tyskland och Schweiz. Om krav kommer på en mer ambitiös efterbehandling kan reningen kompletteras med ett kolfilter. Ett kolfilter drar dock upp framförallt driftskostnader eftersom kolet måste bytas ut eller regenereras med jämna mellanrum för att behålla sin adoptiva förmåga.

Ett kolfilter bör placeras sist i reningskedjan och möjligheten att ett sådant reningssteg kan krävas i framtida lagstiftning bör tas i beaktning vid lokalisering av läkemedelsreningen.

3.3 Årsflöde som genomgår läkemedelsrening

Ett frekvensdiagram över inkommande flöde till Lundåkraverket presenteras i Figur 8. I figuren visas också det prognostiserade inkommande flödet år 2035. Flödesprognosen har baserats på den data som NSVA har delat vad gäller framtida flöden på Lundåkraverket, se Tabell 4. Datan kommer från Lundåkraverkets tekniska beskrivning, daterad 2013-02-22.

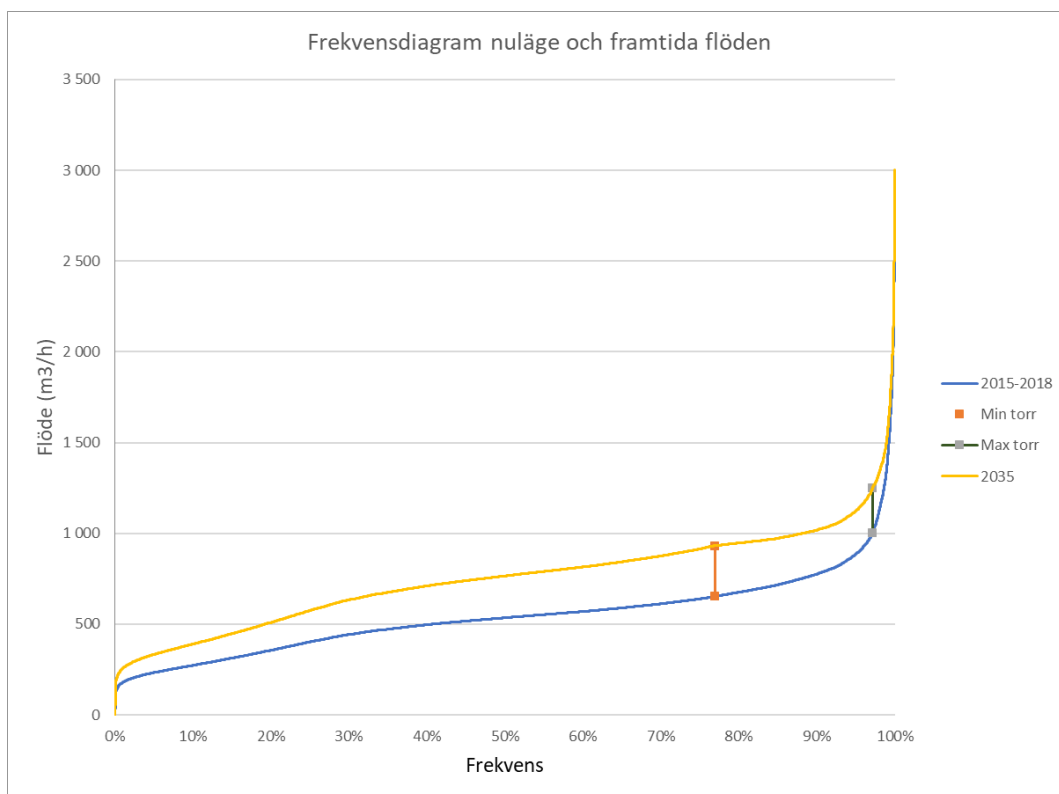
Notera att det endast är tillrinningen från anslutna bostäder och industrier som förväntas öka då nybyggda områden har separerade ledningssystem för dagvatten. Maxflödet förväntas inte öka eftersom dagvattenanslutningar kontinuerligt kopplas bort från avloppsledningsnätet, vilket kommer kompensera det ökade basflödet.

Följande metodik och antagande har använts för att beräkna det framtida flödet:

- Volymen bräddvatten på Lundåkraverket är marginell och förväntas inte öka i framtiden. Antagandet baseras på att den maximala tillrinningen inte förväntas öka.
- Prognostiserade flöden har uppskattats med en faktorförskjutning baserat på data i Tabell 4. De percentiler som flödena vid 'Min torrväderstillrinning', 'Max torrväderstillrinning', och 'Max tillrinning vid regn' motsvarar har identifierats och sedan faktorjusterats enligt prognosen. Flöden under $650 \text{ m}^3/\text{h}$, dvs under min torrväderstillrinning, har faktorjusterats med 1,4. För flöden över $650 \text{ m}^3/\text{h}$ har faktorjusteringen anpassats linjärt till punkterna presenterade i Tabell 4 för att följa formen på det gällande frekvensdiagrammet över flödet. Den maximala tillrinningen har inte justerats.
- Den hydrauliska internbelastningen antas öka med samma faktor som inkommande flöde.

Tabell 4. Prognostiserade flöden på Lundåkraverket.

	Nuläge	Ca 2035	Enhet
Min torrväderstillrinning	650	930	m^3/h
Max torrvädertillrinning	1 000	1 250	m^3/h
Max tillrinning vid regn	3 000	3 000	m^3/h



Figur 8. Frekvensdiagram över uppmätta flöden ut från försedimenteringen på Lundåkraverket 2015 - 2018. I figuren ses också det prognostiserade flödet för 2035.

Tabell 5. Analys av nutida och framtida flöde ut från försedimenteringen på Lundåkraverket samt hur mycket vatten som kommer genomgå läkemedelsreningsteget.

	2015 - 2018	2035
Totalflöde/år (inkl. rejektivatten)	4,8 Mm ³ *	6,6 Mm ³ *
Flöde som överstiger 1 000 m ³ /h	0,09 Mm ³	0,20 Mm ³
Procent av årsflödet som överstiger 1 000 m ³ /h och inte kommer renas från läkemedel	1,9 %	3,0 %
* Har angivits till 5,1 Mm ³ /år i NSVAs prognos för nuläget och 6,5 Mm ³ för 2035. Detta är totalflöde är utan rejektivatten.		

Enligt Tabell 5 kommer läkemedelsreningen rena 98 % av inkommande flöde i dagsläget och cirka 97 % av inkommande flöde 2035. Denna analys utgår från att verket fungerar som tänkt och att vatten förbileds det ordinarie biosteget när det finns risk för slamflykt.

3.4 Provtagning

Det kan finnas flera syften med en provtagning, t ex följa upp anläggningens effektivitet, skapa ett kunskapsunderlag, trimma in drift eller för rapportering till tillsynsmyndigheten. Vilket syfte ett provtagningsprogram har påverkar provtagningsfrekvensen och vilka prover som tas. Nedan presenterade provtagningskrav från Schweiz som syftar till att följa upp reningsverkens effektivitet och hur denna står sig jämfört med lagstadgade krav.

I Schweiz ställs krav på att avskiljningen av mikroföroreningar ska vara 80 % beräknat utifrån verkens in- och utgående värden. Utvärderingen görs på 6 substanser som väljs från en lista med totalt 12 indikatorsubstanser. Indikatorsubstanserna är uppdelade i två grupper. Substanser som är "mycket lätt reducerbara" ingår i grupp 1 medan substanser som är "lätt reducerbara" ingår i grupp 2. Man måste välja minst 6 substanser som analyseras varav 1/3 ska finnas i grupp 2. Notera att listan med indikatorsubstanser även innehåller mikroförorening som inte klassas som läkemedel, t ex rostskyddsmedel.

Provtagningen ska göras under 48 timmar så in- och utgående vatten överlappar varandra. Medelvärde för reduktionsgraden av de valda substanserna beräknas och det är detta medelvärde som ska överstiga 80 %. Reduktionsgraden ska uppfyllas i samtliga provtagningar. Antalet provtagningar per år beror på reningsverkets storlek. För reningsverk som tar emot avloppsvatten från mindre än 2 000 pe bestäms antalet provtagningstillfällen av den regionala myndigheten. För reningsverk mellan 2 000 och 10 000 pe tas minst 8 prov det första året och sedan minst 4 prov årligen om villkoren uppfylls det första året. Om reningsvillkoret inte uppfylls under ett år tas återigen 8 prov nästkommande år. För reningsverk på mellan 10 000 och 50 000 pe tas minst 12 prov det första året och därefter minst 6 prov om anläggningen uppfyller kraven. Motsvarande provtagningsfrekvens för reningsverk över 50 000 pe är 24 respektive 12 prov per år (GSchV 814.201, 2018).

I Bilaga 1: Beskrivning av funktionen – Lundåkraverket (2019-09-27) presenteras ett förslag på hur anläggningens funktion kan följas upp. Notera att detta förslag syftar till att utvärdera reningssteget effektivitet.

4. Flödesschema och hydraulik

Översiktliga flödesscheman för ozonproduktionen, inblandningen och den biologiska efterbehandlingen ses i Bilaga 2: Flödesschema – Läkemedelsrening Lundåkraverket (2019-09-27).

4.1 Anslutning till befintlig verksamhet

En ny 1000-ledning ansluts till befintlig ledning efter kemsteget och leder till en ny pumpsump som förser läkemedelsreningen med vatten. Från MBBR:n bräddar vatten till en utloppskanal. Till utloppskanalen ansluts en ledning som leder vattnet till befintlig klorbassäng och utgående ledning.

4.2 Hydraulik

Centrifugalpumpar i den nya pumpsumpen lyfter inkommande vatten till ca +5,7 m. Tryckfallen genom läkemedelsreningen härstammar i huvudsak från skibord i inlopp respektive utlopp från ozonkontaktbassängen, samt silplåt och utlopp efter MBBR. Vattennivån i kontaktbassäng för ozon är satt till +5,5 m och ca +5,3 m i MBBR-bassängen. Utloppet från MBBR-bassängen leds till befintlig klorbassäng och vidare till utloppsledning enligt befintlig hydraulik.

5. Maskinutformning

För en mer detaljerad genomgång av den preliminära maskinutformningen, hänvisas till Bilaga 1: Beskrivning av funktionen – Lundåkraverket (2019-09-27), och Bilaga 3: Motor- och apparatlista – Läkemedelsrening Lundåkraverket (2019-09-27).

5.1 Tillkommande bassänger

På Lundåkraverket föreslås nya bassänger för intagspumpning till ozoneringssteget, en kontakt-tank och en MBBR. Dessa tre volymer ligger i anslutning till varandra och deras dimensioner ses i Bilaga 4: Layoutritning – Lundåkraverket (2019-09-27).

5.2 Syrgaslagring

5.2.1 Syrgasbehov

Det maximala syrgasbehovet har beräknats till ca 70 kg/h vid Q_{max} vid en ozonkoncentration ut från ozongeneratorerna på 10 wt% (ozondos 0,7 mg O_3 /mg DOC, DOC-koncentration 10 mg/l). Detta motsvarar ca 50 Nm³/h.

Syrgasbehovet vid medelflöde har beräknats till ca 37 kg/h vid en ozonkoncentration ut från ozonreaktorerna på 10 wt%. Denna mängd motsvarar 26 Nm³/h.

Notera att en ozongenerator kan producera gas med högre ozonhalt än 10 wt%. Detta kostar dock oftast mer energi och drar upp den totala energiförbrukningen. Dock så innebär den högre ozonhalten en lägre syrekonsumtion. En platsspecifik avvägning över den optimala ozonhalten behöver därför göras i en detaljprojektering. Valet av inblandning styr också ozonhalten eftersom ett visst gasflöde behöver ske genom diffusorer för att inte risker bakflöde. Vid låga ozondoser kan detta innebära att ozonkoncentrationen sänks.

5.2.2 Syrgastank

Syrgastanken hyrs av leverantören av syrgas. Storleken på syrgastanken på Lundåkraverket har initialt bedömts till ca 20 m³, men volymen beror på vilken tank som leverantören har tillgänglig.

5.3 Ozongenerator

På Lundåkraverket föreslås en ozongenerator med en maxkapacitet på 10,5 kg O₃/h.

För att ozongeneratoren ska fungera optimalt behövs en liten andel kväve, runt 0,1 – 1 volymprocent (Miehe m fl, 2017). För att nå denna kvävehalt i gasen som försers ozongeneratorerna kommer tryckluft tillsättas till ingående gasflöde.

5.4 Styrning

5.4.1 Intagspumpning

Pumpningen till ozoneringsanläggningen behöver styras utifrån ett börvärde. Börvärdet fås från de två flödesmätarna som är placerade efter försedimenteringen. Vid högre flöden än 1 000 m³/h förbileds läkemedelsreningen genom att intagspumparna ställs för att max pumpa totalt 1 000 m³/h.

5.4.2 Ozondosering

I detta projekteringskede har den enklaste styrningen föreslagits, nämligen att ozonproduktionen styrs flödesproportionerligt utifrån en satt ozondos. Denna styrning har varit standard på små verk under 100 000 pe med små variationer i DOC (Miehe m fl, 2017). Mer avancerad styrning kan också väljas och det finns relativt driftsäkra tekniker för detta, se avsnitt 3.1.2 för en mer ingående diskussion om styrning.

Det finns också möjlighet att sänka ozondosen vid höga flöden för att vara säker på att allt ozon reagerar under den kortare kontakttid som högre flöden resulterar i. Med denna typ av drift kan man spara energi och syrgas samt ta in högre flöden i kontakttanken. Detta är vanligt på många anläggningar i Tyskland och Schweiz där en stor del av årsflödet behandlas i läkemedelsreningen (Miehe m fl, 2017).

5.4.3 Anpassning till befintligt styrsystem

Ny PLC med operatörspanel programmeras för att autonomt hantera processtyrningen inom ozonanläggningen, samt tillhörande syrgastankar. PLC ansluts till befintligt SCADA system via fiber till närmaste befintlig anslutningspunkt. Anslutningskabeln samförläggs i högspänningschakt i lämplig sträckning.

Antalet styrda och styrande objekt är ett 40-tal, vilket bedöms ge ett signalomfång av ca 200 signaler.

5.5 Kylning

Ozongeneratorerna kräver kylning för att fungera då ozon snabbt bryts ner till syrgas vid höga temperaturer. Det går ungefär åt 10 kWh el/kg producerad O₃ (Cimbritz m fl, 2016). Denna siffra kan man använda för att grovt uppskatta kylbehovet i ett tidigt projekteringsstadium (Löfgren, personlig kommunikation 2019-04-24). Behovet av kylvatten har uppskattats till 13 m³/h på Lundåkraverket. Detta flöde gäller för max ozonproduktion med en temperatur på ingående kylvatten till ozongeneratorerna på 22°C. Kylvattnet föreslås cirkuleras i en sluten krets för att kunna garantera att kylvattnet som kommer i kontakt med ozongeneratorerna håller en hög kvalitet. Kylvatten kyles i sin tur med renat avloppsvatten från pumpsumpen som ligger i anslutning till kontakttanken. För att nå en önskvärd temperatur på kylvattnet i den slutna kretsen kommer således ett större flöde av renat avloppsvatten behövas. Detta flöde har uppskattats till 18 m³/h.

5.6 Ozoninblandning

I beskrivningen av funktionen och i flödesschemorna har Sweco utgått från att inblandning sker via diffusorer. Det finns andra tekniker för inblandning, t ex med av injektion följt av omblandning, t ex med statisk mixer. Inblandning med diffusorer är den vanligaste metoden då den inte ger någon tryckförlust och därmed inte kräver extra pumpar (Nilsson, 2017). Injektorer används inte på så många reningsverk. På reningsverket i Bad Sassendorf testades dock både injektorer och diffusorer. I testet kunde ingen skillnad i reningsgrad ses mellan de två systemen men injektorerna ökade energiförbrukningen jämfört med diffusorerna (Mulder m fl, 2017). Nilsson (2017) menar dock att injektorer har bättre förmåga att lösa ozonet i vattnet och därför bör den ökade energikostnaden som dessa system kräver jämföras med en potentiell minskning av ozonkonsumtionen som den bättre inblandningen leder till. Risken för bromatbildning bör också tas i beaktning när man väljer inblandningssystem då det finns indikationer på att injektorinblandning ökar bromatbildningen då den momentana koncentrationen av ozon blir högre än med diffusorer (Miehe m fl, 2017).

I Tabell 3, avsnitt 3.1.1, har ett par referensanläggningar med ozoneringssteg och olika typer av inblandning listats. Keramiska diffusorer är den vanligaste diffusortypen. Diffusorer av polyuretan och silikon har också testats, men utan att någon skillnad har observerats (Miehe m fl, 2017).

5.7 Kontakttank

Se avsnitt 3.1 för storlek och uppehållstid. Föreslagna dimensioner kan utläsas i Bilaga 4 – Layoutritningar – Lundåkraverket (2019-09-27).

5.8 Ozondestrukturer och syrgashantering

Ozonhaltsmätare installeras före och efter ozondestrukturen. Mätaren före destruktoren syftar till att reglera doseringen av ozon då ozon i off-gasen tyder på att allt tillsatt ozon inte har reagerat. Ozonhaltsmätaren efter destruktoren har som funktion att säkerställa att inget ozon släpps ut till omgivningen.

Gasen som släpps ut från ozondestrukturen är praktiskt taget ren syrgas. Denna kan antingen ledas till något av de syreförbrukande biostegen alternativt ledas ut i omgivningen.

kommer behöva genomföras för att minimera riskerna med att släppa ut ren syrgas till omgivningen. Avledning av syrgas efter ozondestruktör kan ske i en liten skorsten av syrafast stål på taket av anläggningen, så att utsläppspunkten har avstånd till brännbart material och syrgasen snabbt kan spridas ut i luften genom diffusion.

Syrgas är en oxiderande och brandunderhållande gas. Det är väsentligt att syrgas inte kommer i kontakt med brännbart material. Därför är det viktigt att material i kontakt med syrgas väljs med omsorg. Rörledningar och utrustning i syrafast stål är lämpligt material. Koppar är också ett lämpligt material för syrgas.

I lagertank hålls flytande syrgas som är mycket kall och det finns risk för köldskador. Ingen obehörig ska vara nära lagertank som ska hållas inhägnad. Gasleverantör gör en riskgenomgång på platsen före en installation av en lagertank.

I kontaktbassängerna kommer det att finnas material i rostfritt stål och betong i kontakt med syrgas vilket inte bedöms utgöra något problem.

Enligt AGA Gas (telefonkontakt) finns det inga föreskrifter gällande utsläpp av syrgas till omgivningen.

Föreskrifterna i AFS 1997:7, "Gaser - Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om gaser samt styrelsens allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna", anger att:

- I lokal, där syrgas hanteras, skall ventilationen vara sådan, att syrgaskoncentrationen i luften normalt inte överstiger 22 volymprocent.
- Brandunderhållande gas skall hanteras så att risken för antändning av kläder eller brandfarliga ämnen och föremål i närheten motverkas.

5.9 Säkerhetssystem

I byggnaden med ozonreaktorerna rekommenderas minst två av varandra oberoende ozonhaltsmätare som varnar när halten ozon överstiger en viss nivå, samt stänger ner ozonproduktionen då ozonhalten överstiger en farlig nivå. En mer ingående riskanalys behöver göras för att bedöma placering och antal ozonhaltsmätare.

I kontakttanken kan även sprinklers installeras för att reducera överblivet ozon i luften då tanken behöver tömmas för underhåll. Sprinklers har inte tagits med i detta projekteringskedje och behovet föreslås utredas vidare i en detaljprojektering.

För hantering av risker kopplade till syrgashantering, se avsnitt 5.8 **Fel! Hittar inte referens-källa..**

5.10 Provtagningsutrustning

Portabel eller fast provtagningsutrustning som kan styras på flöde föreslås för att kunna följa upp anläggningen. Kontaktbassängen och den efterföljande MBBRen är lufttät och håll för provtagnings slangar bör därför planeras för under detaljprojekteringen, om något av de lufttäta utrymmena väljs för uttag av provtagningsvatten.

5.11 Biologisk efterbehandling

Den biologiska efterbehandlingen rekommenderas ske i en MBBR som är placerad i anslutning till kontakttanken. Intaget sker via ett överfall där silar förhindrar att bärarna tar sig in i kontaktbassängen. Vidare förhindrar ett gaslås att ozonhaltig luft tar sig in i MBBRen. Bärarna hålls i rörelse med en omrörare som drivs av en motor placerad på taket till anläggningen. Utflödet sker genom en silplåt som spänner över delar av sidoväggarna och hela kortsidan. Silplåten håller bärarna kvar i MBBRen vid utflödet.

Lämplig bärare för ändamålet är t ex Anox Kalndess K5. Denna bärare är tillverkad i High-Density Polythylene (HDPE) som är ett material som klarar låga ozonhalter i vattnet. Bärarmaterialet bedöms lämpligt för detta ändamål. Lämplig fyllnadsgrad är <60 %. Och den specifika ytan är 800 m²/m³.

5.12 Kemikaliebehov

För tvätt av värmeväxlaren föreslås att en CIP-modul används. Vid behov kopplas CIPen in till värmeväxlaren och cirkulerar kemikalier (lut och syra) som tar bort avlagringar och påväxt. Utrustningen som behövs i detta fall är liten. Uppskattningsvis räcker det med en CIP med en lagringsvolym på 100 l. Denna volym avser CIPens blandningstank.

6. Maskinbyggnad och bassänger

6.1 Beskrivning

Den nya ledningen från kemsteget dras till en pumpsump i den föreslagna byggnaden. I pumpsumpen installeras centrifugalpumpar. Pumpsumpen är en del av en byggnad som innefattar en bassängdel och intilliggande enplansbyggnad med maskinell utrustning.

Efter pumpsumpen utförs en inloppskanal och därefter ozonbassäng med zoner för ozoninlösning-kontaktzon-ozoninlösning-kontaktzon. Efter sista kontaktzonen leds vattnet till en MBBR-bassäng innan det bräddar till en utloppskanal.

Bredvid bassängdelen uppförs ovan nämnda enplansbyggnad som inhyser ozonaggregat, elrum, utrustning för kylvatten, ventilation samt ozondestruktion.

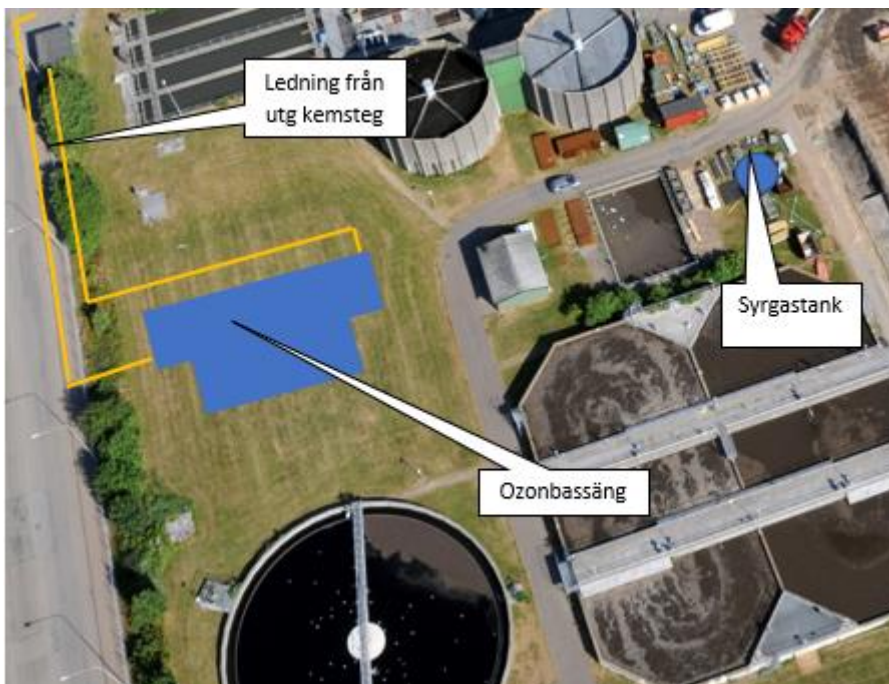
För en mer utförlig beskrivning av grundläggning, armering, och hållfastighet, se avsnitt 6.4.

6.2 Dimensionering

För dimensioner av byggnaden se Bilaga 4: Layoutritning – Lundåkraverket.

6.3 Lokalisering och påverkan på kringliggande infrastruktur

Lokaliseringen av läkemedelsreningen syns i Figur 9. I figuren syns även lagertanken för flytande syre med tillhörande förångare som placeras bredvid biobassänger. Ledning/slang från förångare vid lagertanken och till ozonanläggning placeras i mark i skyddsror.



Figur 9. Lokalisering av läkemedelsreningen på Lundåkraverket med tillhörande syrgastank för flytande syre.

6.4 Erforderliga byggnadsarbeten

6.4.1 Grundläggning och förberedande arbeten

Första arbetet blir etablering av byggarbetsplatsen och omläggning av alla befintliga rör och kablar inom området för de nya bassängerna vars föreslagna lokalisering i Figur 9.

Pålning bedöms behövas för nya anläggningsdelar, se befintlig geoteknisk undersökning. Grundläggning utförs med pålning med betongpålar. Pålantalet bedöms till 20 + 9 st SP3 pålar med en dimensionerande last av 600 kN.

Schakt skall utföras innanför tät stålspont och att grundvattenytan avsänks med pumpning i brunnar eller med Wellpoint metoden.

6.4.2 Betongarbeten, bottenplatta

Direkt efter schaktning utlägges en skyddsbetong på schaktbotten. En hel vattentät bottenplatta armeras och gjuts, preliminär tjocklek 400 mm. Bottenplattan förankras i pålarna för vattenupptryck orsakat av grundvatten. Armeringsmängden i bottenplattan bedöms till 40 kg/m².

6.4.3 Betongarbeten, bassäng och rörkällare

Bassängväggar med ensidigt vattentryck och eller jordtryck utföres med en preliminär tjocklek av 300 mm. Bassängväggar med vattentryck på båda sidorna kan utföras 250 mm. Armeringsmängden i betongväggar bedöms till 30 kg/m².

Gjutfogar mellan bottenplatta och bassängväggar förses med förtagning och fogband för kraftöverföring och vattentätning.

Bassängväggar som inte går ner till bottenplattan ställs på intermitteranta betongklackar, dvs väggar med ursparingar i underkanten.

6.4.4 Betongarbeten, bjälklag över bassäng

Bjälklag över bassänger och bjälklag över källare utföres preliminärt med 300 mm tjocklek. Över bassängerna utvändigt görs ytan med fall utåt sidorna för vattenavrinning. Armeringsmängden i betongbjälklagen bedöms till 30 kg/m².

6.4.5 Betongarbeten, teknikbyggnad

Byggnad intill bassäng med teknikrum utföres med grundläggning med kantförstyvad platta på mark och med uppåtvända sockelbalkar av platsgjuten betong.

Armeringsmängden i bottenplattan bedöms till 15 kg/m².

6.4.6 Byggnation av väggar och tak, teknikbyggnad

Ovanpå sockelbalkarna av betong ställs stålstomme enligt följande beskrivning: Stålstomme bestående av VKR-pelare, takbalkar av VKR-profiler.

Telferbalkar av HEA-profiler skall monteras för lyftning av pumpar.

Ytterväggar utföres av isolerade plåtelement typ Paroc eller likvärdiga som skruvas fast i bakomliggande VKR-profiler. Yttertak utföres med bärande TRP-plåt på takbalkarna och ovanpå det hård mineralullsisolering och tätskikt.

Stål utföres varmförzinkat i rostskyddsklass C4, detta gäller både inomhus och utomhus.

6.4.7 Stomkomplettering

Följande stomkompletteringar blir aktuella:

- Ingjutningsgods för processutrustning och rör etc.
- Skyddsräcke på bassängtak mm.
- Telferbalkar
- Dörrar inkl. låsning och trycke
- Gallerdurksplan
- Gallerdurkstrappor inkl. räcken

- Fönster
- Taksäkerhetsanordningar
- Golvbeläggningar utförs med epoxi massabeläggning, halksäkert och städbart.
- Innerväggar som inte är av betong skall ställas på betongsockel, h=150 mm
- Plåtarbeten, huvar, hängrännor, stuprör, gavelbeslag, hängskivor, dörr- och fönsteranslutningar, mm.
- Målningsarbeten invändigt

Återfyllning, uppdragning av spont, återställning, markarbete.

7. EI

7.1 Behov och anslutning

Preliminära effektuppgifter enligt denna rapport med bilagor pekar på ett effektbehov av ca 270 kW för processen. Ozontillverkning är effektkrävande och ganska stora flöden behöver pumpas. Med fastighetsystem inräknat (30 kW kyla, vent o bel), samt osäkerhetsfaktor är det inräknat i denna rapport en installerad effekt av nära 330 kW, vilket skulle tillgodoses med transformator 400 kVA och ställverk med märkström av 630 A.

För att klara ozonanläggningen relativt stora effektbehov måste elförsörjningen utökas. Förslagsvis så bytes Landskrona energis nätstation till en abonnentstation med högspänning med två utgående transformatorfack samt egen transformator, alldeles i bredvid befintlig nätstation. Befintliga lågspänningsseviser flyttas (backas alt. längdskarvas) till ny LSP ställverk i abonnentstationen, Befintligt servisställverk med reservkraftsinkoppling bibehålls. Ny HSP-matning förläggs i marschakt till ozonanläggningen och kopplas till ny transformator där. Ozonanläggningen ligger utanför reservkraftsystemet, om ozonanläggningen bedöms behöva reservkraft i framtiden måste lågspänningsställverket i ozonanläggningen förses med ett alternativinmatningsfack 630 A, och reservkraften på lämplig yta utanför byggnaden.

Landskrona Energis nätstationen ligger i slinga, vilket medför att driftsättning kan ske med kortare avbrott om man använder reservkraften vid omläggning av lågspänningsseviser.

7.2 Installation

Ett separat elrum anordnas inom byggnaden, se avsnitt 6.1, med lågspänningsställverk, apparatskåp med PLC, fastighetscentral, nätverk och frekvensomriktare. Rummet bör vara minst 15 m², och ha plats med god åtkomlighet och kylning. Uppställning sker på respektive långsida i rummet (elrum är redovisad på planritning LA-RV-LU-1001). Rummet förses med kyla för frekvensomriktarnas förlusteffekt. Ventilation till det fria för att undvika att aggressiva svavelväten förstör kopparledare. Skenor i ställverk, apparatskåp och potentialutjämningskenor utförs förtennade. Kretskort i frekvensomriktare utförs lackerade av samma anledning.

Ställverk utföres med inkommande fack typ ACB 630 A. Utgående effektbrytare MCCB till huvudledning till fastighetscentral och styrskåp, samt gruppledningar till frekvensomriktare över

15 kW. Mindre motordrifter installeras i styrskåp. Ställverk utförs med kassetmonterade funktionsenheter, förses med ljusbågsvakter och jordningskopplare. In- och utgående fack förses med multiinstrument som förutom vanliga el-storheter loggar energiförbrukning.

Styr signaler från syrgastankar ansluts till styrskåp, en klassningsplan för EX installationer behöver göras.

Anläggningen åskskyddas till minst nivå 3 enligt SS-EN 60355-2, och potentialutjämnas rigo-röst.

8. Riskanalys

I samband med förprojekteringen genomfördes en riskworkshop med syfte att identifiera möjliga risker under ett framtida byggprojekt. Under workshopen identifierades potentiella faror i samband med samtliga faser under ett projekt: projektering, upphandling, genomförande och drift. Riskerna med dessa faror bedömdes sedan genom att workshopdeltagarna fick bedöma konsekvenserna av de identifierade farorna och sannolikheten att de inträffar. Efter denna riskanalys gick samtliga faror igenom och de mest betydande vad gäller risk kompletterades med åtgärder för hur risken kan minimeras. En del risker bedömdes för små för att behöva hanteras och kunde istället accepteras.

Resultatet från riskworkshopen med tillhörande åtgärder ses i Bilaga 5: Resultat riskworkshop Öresundsverket och Lundåkra reningsverk (2019-09-27).

9. Sammanställning kostnads kalkyl

9.1 Investeringskostnader

Kostnader för tillbyggnad av läkemedelsrening på befintligt reningsverk uppskattas till ca **45 MSEK** och presenteras i Tabell 6.

Investeringskostnaderna omfattar kostnader för mark-, ledningar-, bygg-, vent-, VS-, maskin, el & automationsarbeten. I markarbeten ingår bl a pålning, spontning och grundvattensänkning.

Kostnadsbedömningarna inkluderar kostnader för frakt, montage och entreprenörsarvode. I entreprenörsarvodet ingår kostnader för etablering, städning, bodar, ställningar, bygg-el, försäkringar och bankgaranti. Vidare ingår installationsentreprenörens arbeten med konstruktion och monteritningar, relationsritningar och driftinstruktioner. I entreprenörsarvodena ingår även projektledning, tester, provningar, besiktningar, garantier, centraladministration och vinst.

Kostnader för maskinell utrustning är detaljkalkylerad och prisuppgifter finns inhämtade från leverantörer. Även kostnader för bygg och el är detaljkalkylerad.

Tjugo procent påslag för oförutsedda utgifter finns med i entreprenadkostnaden.

Byggherrekostnader för projektledning, projektering, upphandling, byggledning, kontroll, CE märkning, slutdokumentation och igångkörning ingår. Byggherrekostnaderna har beräknats som ett schablonpåslag på entreprenadkostnaderna.

Kostnadsnivån är september 2019. Investeringskostnaden påverkas direkt av det allmänna konjunkturläget för bygg- och anläggningsarbeten. I ett läge med en överhettad marknad och få anbudsgivare kan investeringskostnaderna öka. Likaså kan investeringskostnaderna bli lägre om konjunkturen går ner och det blir en hårdare konkurrens.

Moms är inte medräknat.

Tabell 6. Investeringskostnad läkemedelsrening på Lundåkraverket.

Kostnadsdel	Summa (MSEK)
Mark	4,9
Bygg	6,6
VVS	1,1
Maskininstallationer	14
El och automation	4,0
Oförutsett (20 %)	6,0
Summa entreprenader – Entreprenadkostnad	36
Byggherrekostnad	9,0
ANLÄGGNINGSKOSTNAD	45

9.2 Driftkostnader

Följande poster har inkluderats i driftkostnads kalkylen:

- Personalkostnader för provtagning, tillsyn och underhåll. Provtagningsfrekvensen är uppskattad till 8 gånger/år med ett tidsanspråk på 4 arbetstimmar/tillfälle. Behovet av tillsyn och underhåll har uppskattats till 4 timmar/vecka.
- Energikostnader för pumpning och ozonproduktion. Nödvändig lyfthöjd för intagspumparna (effektivitet 60 %) har antagits som 3,5 mvp. Den specifika energikonsumtion för ozonproduktion har satts till 8,6 kWh/kg O₃. Utöver dessa stora förbrukare finns det mätare, automatventiler, kylvattenpumpar, luftkompressorer, ozondestruktorn, omrörare till MBBRen som förbrukar energi. Samtliga av dessa förbrukare är små med en nominell effekt på ett par kW. Den totala effekten för dessa förbrukare har uppskattats till 5 kW med en 50 % drifttid. Energikostnaden har antagits öka linjärt med belastningen på reningsverket beräknat i personekvivalenter. Elkostnaden har satts till 1 kr/kWh.
- Kostnader för syre är uppskattat till 1,25 kr/kg O₂. Konsumtionen är beräknad utifrån en ozonhalt på 10 wt% ozoneringssteget.
- Kostnader för hyra av syrgastank och tillhörande utrustning.
- Kostnader för energi och syre har antagits bero linjärt på belastningen på reningsverket uttryckt i personekvivalenter. Belastningen har då antagits vara 39 000 pe och 62 000 pe 2019 respektive 2035.
- Den årliga underhållskostnaden är beräknade utifrån schabloner på investeringen: 0,2 % av bygg, 0,1 % av mark- och ledning, 1 % av maskin, 1 % av el och automation, 1 % a VVS.

Samtliga driftkostnader presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. Driftkostnader för läkemedelsreningen på Lundåkraverket.

Kostnads-post	Enhet	Förbrukning		Specifik kostnad	Enhet	Årskostnad	
		Nuläge	2035			Nuläge	2035
Energi	kWh/år	380 000	600 000	1	kr/kWh	380 000	600 000
Syre	ton/år	330	500	1 250	kr/ton	410 000	630 000
Personal	h/år	240	240	600	kr/h	140 000	140 000
Hyra	-	-	-	-	kr/år	80 000	80 000
Underhåll	Schablon på investering					210 000	210 000
Totalt						1 200 000	1 700 000

10. Vidare utredningsfrågor

10.1 Vidare provtagning

Mätningar på DOC och nitrit föreslås för att få ett bättre underlag till en framtida upphandling, se avsnitt 2.8.2.

Ett dos-respons-test föreslås för att minimera risken för att bromat bildas i en framtida anläggning, se avsnitt 2.8.4. Även provtagning av krom (totalhalt) föreslås för att ge underlag till en bedömning över riskerna att krom (VI+) bildas under ozoneringen.

Provtagning på slamhalten efter slutsedimenteringen föreslås för att bekräfta data från online-mätarna, se avsnitt 2.8.3.

Ett reaktionstest kan också göras för att beräkna reaktionstiden för ozon i den aktuella vattenmatrisen. Ett sådant test kan ge värdefull information om uppehållstiden i kontakttanken är tillräcklig.

10.2 Ozondosering vid höga flöden

I en framtida detaljprojektering kan ozondoseringen ses över vid höga flöden. På många anläggningar reduceras halten vid höga flöden med stort tillskott av regnvatten för att reducera syre- och energikonsumtionen. Denna typ av styrning möjliggör också att ett större flöde än det föreslagna kan behandlas i ozoneringssteget alternativt att en något mindre ozonreaktor kan projekteras.

10.3 CFD-modellering

I en så kallad CFD-modellering simuleras flödet i en föreslagen tankutformning för att se om utformningen kan leda till ett ojämnt flöde över tankens tvärsnitt. I detaljprojekteringen kan en sådan simulering utföras för att kvalitetssäkra utformningen av kontakttanken.

11. Slutsats

I detta projekt har en anläggning för läkemedelsrening på Lundåkraverket dimensionerats och förprojekterats. Den föreslagna lösningen bedöms påverka reningsverkets befintliga processer minimalt och kunna avlägsna läkemedel från avloppsvattnet i enlighet med de riktlinjer som finns i Tyskland och Schweiz då det är erfarenheter från dessa länder som har legat till grund för dimensioneringen.

12. Referenser

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K. & Olshammar. 2017. *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapportnummer: C 234.

Hutchinson, T.H., Hutchings, M.J. & Moore, K.W. 1997. A Review of the Effects of Bromate on Aquatic Organisms and Toxicity of Bromate to Oyster (*Crassostrea gigas*) Embryos. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 38:238-243.

GSchV, 2018. Gewässerschutzverordnung 814.201, vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Juni 2018).

KOM-M.NRW. 2016. *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage.

Miehe, U., Stapf, M. & Schuman, P. 2017. *Studie über Effekte und Nebeneffekte bei der Behandlung von kommunalem Abwasser mit Ozon*. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.

Mulder, M., Antakyali, D., Ante, S. 2015. *Costs of Removal of Micropollutants from Effluents of Municipal Wastewater Treatment Plants - General Cost Estimates for the Netherlands based on Implemented Full Scale Post Treatments of Effluents of Wastewater Treatment Plants in Germany and Switzerland*. STOWA and Waterboard the Dommel, The Netherlands.

Nilsson, F. 2017. *Application of ozone in wastewater treatment: Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge*. Dissertation. Lund: Department of Chemical Engineering, Lund University.

Stapf, M. & Miehe, U. 2019. Aspects to be considered for design of ozonation. Joint Technical Workshop "Ozonation for advanced wastewater treatment". Presented at Tekniska verken March 14th, 2019. Online Access: [http://www.cwpharma.fi/en-US/News_and_events/Technical_Workshop_on_Ozonation_1432019\(49825\)](http://www.cwpharma.fi/en-US/News_and_events/Technical_Workshop_on_Ozonation_1432019(49825))