

Renat avloppsvatten för bevattning i jordbruk

Vilka ämnen begränsar användningen av Skånes avloppsvatten i jordbruket?

WILLIAM LÖVDAHL 2019
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



LUNDS
UNIVERSITET





LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund

William Lövdahl

MVEK02 Examensarbete för Kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Georg K.S. Andersson, Centrum för miljö- och klimatforskning (CEC), Lunds universitet

Extern handledare: Johan Lejonklev, Länsstyrelsen Skåne

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2019

Abstract

Water scarcity is becoming more and more of a global challenge due to, among other things, climate change and global population growth. Seventy percent of freshwater resources globally are used for agricultural purposes and new strategies are needed to meet the increasing water demand.

The use of wastewater for agricultural irrigation is an efficient way to save freshwater.

In 2015, 48 million cubic metres of water were used for agricultural irrigation in Sweden, equivalent to 2% of all water usage in the country. Sixty percent of this water was used in one county – Skåne. Therefore, it is of considerable interest to study whether 27 wastewater treatment plants in Skåne could be used for agricultural irrigation.

This study provides a literature compilation of the minimum quality requirements proposed by EU based on WHO recommendations and Swedish regulations for reuse of wastewater in agricultural irrigation. It also analyses data from the 27 mentioned wastewater treatment plants in Skåne to determine if the current water quality is suitable for agricultural irrigation.

The study shows that 19 of the Skåne plants fulfil the minimum quality requirements. Eight of the plants are disqualified. No recommendations for heavy metal-levels in wastewater for agriculture irrigation could be found. By applying the maximum acceptable concentrations for heavy metals present in wastewater sludge for agriculture purposes as an equivalent to treated wastewater, this study concludes that zinc is the most limiting heavy metal for irrigation purposes.

Innehållsförteckning

Abstract	3
1. Inledning	7
1.1 Näringsämnen.....	9
1.2 Tungmetaller	10
1.3 Andra vanligt förekommande mätningar i avloppsreningsverk	11
1.4 Syfte	12
1.5 Frågeställningar	13
2. Metod	15
2.1 Litteratursammanställning	15
2.2 Tjugosju reningsverk i Skåne län	16
2.3 Avgränsningar	18
3. Etisk reflektion	19
4. Resultat	21
4.1 Förslag till gränsvärden från EU samt satta gränsvärden enligt svensk lagstiftning	21
4.1.1 Sverige	21
4.1.2 EU	21
4.1.3 World Health Organisation	23
4.2 Satta eller föreslagna riktlinjer och gränsvärden	24
4.2.1 Sverige	24
4.2.2 EU	25
4.2.3 WHO.....	28
4.2.4 Gränsvärden för tungmetaller i slam.....	29
4.3 Zink - den mest begränsande tungmetallen	40
5. Diskussion	41
6. Slutsats	45
7. Tack	47

8. Referenser	49
9. Appendix.....	55

1. Inledning

Vartefter den globala befolkningmängden över tid ökat och människor har blivit mer bofasta, har även behovet av uppodlade ytor för grödor som föda för människor och djur ökat, vilket lett till ett ökat tryck på vatten som en naturresurs för bevattning (Lyu et al., 2015).

När befolkningmängden fortsätter att öka, påverkar olika faktorer ett ökat behov av vatten, till exempel, högre levnadsstandard i utvecklingsländer, urbanisering, ekonomisk utveckling och industrialisering (Quist-Jensen et al., 2015). Andra faktorer är torka och vattenbrist som en följd av klimatförändringar, vilket kan orsaka förlust av biodiversitet och ökade hälsorisker för oss människor (Hanjra et al., 2012). Återanvändning av avloppsvatten för bevattningsändamål anses därför som ett viktigt alternativ för att hushålla med vatten som resurs (Balkhair, and Ashraf, 2016), då det beräknas att hela 50 % av världens population kommer leva i regioner där vatten kommer anses som en bristvara redan år 2025 (Quist-Jensen et al., 2015). Därför krävs det nya strategier och innovationer (Hanjra et al., 2012).

Den absolut största vattenanvändningen globalt, hela 70%, går till jordbrukssektorn (Jaramillo et al., 2017; Al-Jassim et al., 2015). Jordbruket utgör därför ett område som kommer att möta flera av de ovan nämnda utmaningarna. Återanvändning av renat avloppsvatten för bevattning i jordbruket anses vara ett effektivt alternativ för att minska användningen av färskvatten och anses öka produktionen av grödor i regioner där vatten är en bristvara (Mohammad Rusan et al., 2007; Jaramillo et al., 2017).

Idag används avloppsvatten i många utvecklingsländer som ett alternativ för att öka effektiviseringen och utvecklingen av jordbruket. Men bevattning med avloppsvatten blir också allt vanligare i mer utvecklade länder, där medvetenheten kring vatten som en värdefull naturresurs ökar och intresset för återanvändning blir allt större (Mohammad Rusan et al., 2007; Ternes, T et al., 2007; Kalavrouziotis et al. 2008).

Många av de ämnen som finns i avloppsvatten finns naturligt i vår miljö, men om dessa finns i för höga koncentrationer kan de medföra negativa effekter på hälsa och miljö. Ett exempel är organiska material som kan orsaka övergödning och syrebrist i sjöar och vattendrag (Cronholm, 2017).

Tungmetaller är ytterligare exempel på ämnen som kan förekommer i höga halter i jordar som ett resultat av bevattning med avloppsvatten (Balkhair, and

Ashraf, 2016). Ökade koncentrationer av tungmetaller i avloppsvatten för bevattningsändamål kan vara en bidragande källa till ökade upptag av koncentrationer av tungmetaller i grödor som odlas på marker som bevattnas med avloppsvatten (Khan et al., 2008; Balkhair, and Ashraf, 2016). Den totala koncentrationen av tungmetaller i jordar kan användas för att avgöra tillståndet i jorden med hjälp av satta riktlinjer och rekommenderade gränsvärden (Li et al., 2009).

Salter är ett annat exempel där återvinning av renat avloppsvatten kan skapa problem för jordmån, flora och fauna om salter förekommer i för höga halter.

Det vatten som innehåller för höga halter av salter (NaCl) och organiska ämnen genereras och släpps framförallt ut från industrier som en restprodukt, bland annat från matproduktion, läderindustrier och industrier som använder sig av petroleum (Lefebvre, and Moletta, 2006). Salter kan orsaka stora skador på olika typer av jordtyper, jordar och grundvatten. Detta har lett till att borttagning av saltsubstanser är en viktig del i reningsprocessen och striktare metoder har tillsatts för att motverka negativ påverkan på miljön (Windey et al., 2005). Studier visar att jordar bevattnade med avloppsvatten har ökade halter av salter, organiska ämnen och tungmetaller och det är därför viktigt att ta hänsyn till tidsperspektivet om bevattningen skall ske med renat eller orenat avloppsvatten (Kiziloglu et al., 2008). Ytterligare ämnen som kan förekomma trots att vattnet genomgått reningsprocess kan även vara olika substanser som till exempel läkemedelsrestprodukter och hygienrestprodukter (Ternes, T et al., 2007).

Trots att avloppsvatten kan innehålla substanser som kan ha en negativ påverkan på både människor, djur och växter, innehåller vattnet också livsviktiga näringsämnen för grödor och sädeslag (Toze, 2006; Khan et al., 2008). En annan positiv aspekt är själva återanvändningen av vattnet och därmed den resurshushållning som uppnås. Återanvändning av avloppsvatten är ett miljövänligt alternativ till besparing av vatten som resurskälla. Istället för att kontinuerligt ta vatten från sjöar, vattendrag och grundvatten så undviker man att vattenresurser minskar och att vattenvägar blir förorenade (Hanjra, M et al., 2012).

En studie gjord av Wang et al., från 2007, visade att organiska näringsämnen är vanligt förekommande i höga halter i avloppsvatten. I studien visades att den organiska koncentrationen i jordmån ökade naturligt med en ökad användning av avloppsvatten och bidrog då som en positiv faktor till en rikare jordmån, genom både ökade fysikaliska samt kemiska förmågor, vilket gav en ökad växtkraft (WANG et al., 2007). Resultaten visade även att pH-värdet under studien sjönk från 8.39 till 8.05 för de jordar som bevattnades under en tidsperiod på 2,5, 5 och 10 år. Minskningen i pH-värdet enligt studien visade sig vara obetydlig. Samtidigt konstaterades att återanvändning av avloppsvatten för bevattning av grödor och spannmål under en längre tidsperiod, kan komma att påverka pH-värdet i jordar (WANG et al., 2007). Forskning i Sverige visar också att ett lågt pH i jordar kan begränsa rotutvecklingen hos vissa grödor (Malm and Berglund, 2006).

År 2015 beräknades den totala vattenanvändningen för bevattning i Sverige till 48 miljoner kubikmeter, vilket motsvarar 2% av landets totala vattenanvändning. Av den totala mängden vatten för bevattning 2015, beräknades Skåne län stå för hela 60 % (Jordbruksverket, 2018b). Detta medför att det finns ett allmänintresse på nationell, regional och lokal nivå, men även ett intresse från näringslivet och privata aktörer som jordbrukare för återanvändning av avloppsvatten för bevattningsändamål inom jordbruket.

Under torrår ökar bevattningsbehovet väsentligt. Enligt en undersökning gjord av Greppa från 2006, beräknades ungefär 100 000 hektar mark i Sverige bevattnas under torrår. Bevattningen beräknas motsvara ett bevattningsuttag på minst 100 miljoner kubikmeter per torrperiod. För att under dessa torrår kunna minska konflikter mellan diverse intressenter krävs det en förbättrad vattenhantering av vatten (Malm and Berglund, 2006). Jordbruksverkets sammanställning från 2006 ger en bra inblick i hur man på bästa sätt kan utnyttja och maximera vatten för bevattningsändamål.

Återanvändning av renat avloppsvatten kan relateras till de klimatmål som Riksdagen i Sverige satt upp. Ett av dessa mål som kan påverka återanvändning av avloppsvatten, är miljömålet ”**Ingen Övergödning**”: ”*Halterna av gödande ämnen i mark och vatten ska inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten* (Ek, 2018b). Enligt Naturvårdsverket pågår det övergödning i hela landet, men den största övergödningen sker i södra delen av Sverige och då särskilt i Skåne.

Ett annat miljömål som kan ha betydelse för återanvändning av renat avloppsvatten för jordbruksändamål är målet om ”**Ett rikt odlingslandskap**”: ”*Odlingslandskapet och jordbruksmarkens värde för biologisk produktion och livsmedelsproduktion ska skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden och kulturmiljövärdena bevaras och stärks*”. Naturvårdsverket säger att det måste vara möjligt att driva jordbruk på ett rationellt och konkurrenskraftigt sätt för att tillgodose människors kommande behov och hälsa, samt att tillgodose en gynnsam och hållbar biologisk mångfald (Ek, 2018a).

1.1 Näringsämnen

Fosfor och kväve är fundamentala gödningsmedel vid produktion av grödor för jordbruksändamål. Dessa ämnen bidrar till en ökad tillväxt på den jordbruksmark där näringsämnena tillförs (Cordell et al., 2009). Kväve är ett av de mest spridda och vanligaste gödningsmedlen vi känner till och finns i stora mängder från diverse utsläppskällor (Mengel et al., 2001).

Fosfor är en begränsad och icke förnybar resurs som blir allt ovanligare och klassas som ett kritiskt råmaterial enligt EU (Cordell et al., 2009; Egle et al., 2016). Jordbruket är i stort behov av tillgängliga fosforresurser, samtidigt som fosfor beräknas brukas klart inom de närmaste 50–100 åren. Det globala uttaget av fosfor förutspås nå sitt maximum runt 2030 (Cordell et al., 2009). Återanvändning av avloppsvatten anses därför som ett positivt och lovande alternativ för tillförsel av fosfor till jordbruksmark (Egle et al., 2016).

Enligt Jordbruksverket fick haven runt om i Sverige år 2014 ta emot cirka 114 600 ton kväve och 3 340 ton fosfor från framför allt mark och mänskliga aktiviteter, där mindre än hälften av de totala utsläppen har naturligt ursprung. Hela 42 procent av det kväve och 35 procent av det fosfor som släpps ut som resultat av mänsklig aktivitet, härstammar från jordbrukssektorn. Resterande procent utsläpp från mänskliga aktiviteter kommer från punktkällor som till exempel reningsverk (Jordbruksverket.se, 2018a). Omrörningar i jordbruksmarken och en ökad tillsättning av gödsel ökar utsläppen av näringsämnen. Om inte näringsämnena tas upp av de grödor som odlas kommer till slut kväve och fosfor hamna i haven och bidra till övergödning (Jordbruksverket.se, 2018a).

För att minska utsläpp av kväve och fosfor i Sverige har Naturvårdsverket satt upp gränsvärden för hur mycket totalkväve som får vara närvarande i avloppsvatten från avloppsreningsverk. Naturvårdsverket baserar dessa gränsvärden på reningsverkens belastning i antal personekvivalenter (pe) mellan 10 000 – 100 000 pe, samt reningsverk över 100 000 pe (Naturvårdsverket, 2019). För rekommenderade gränsvärden för utsläpp av totalt kväve (tot-K) och total fosfor (tot-P), se tabell 2.

1.2 Tungmetaller

Tungmetaller är vanligt förekommande ämnen i avloppsvatten. Många tungmetaller är i små mängder livsviktiga näringsämnen för oss människor, samtidigt som de vid exponering eller intag i för höga halter kan göra stor skada (Alcalde-Sanz and Gawlik, 2017; Balkhair, and Ashraf, 2016).

Bevattning med avloppsvatten är känt för att bidra till en ökad ackumulation av tungmetaller till jordar (Arora et al., 2008; Balkhair, and Ashraf, 2016). Stora ackumulationer i jord leder inte enbart till toxicitet av själva jorden utan kan också öka ackumulationen av tungmetaller i de växter som odlas med hjälp av avloppsvatten innehållande tungmetaller (Arora et al., 2008). Redan gjorda studier visar på att upptag, transformation och ackumulation av tungmetaller sker i diverse växtarter (Arora et al., 2008) och därmed exponeras även människor och djur som livnär sig på de produkter som kommer från växter i den belastade jorden (Arora et al., 2008). Studier indikerar att renat avloppsvatten är ett bättre alternativ vid

bevattning för jordbruksändamål då detta vatten inte innehåller lika mycket tungmetaller som orenat avloppsvatten (Kiziloglu et al., 2008).

Enligt Kemikalieinspektionen är kadmium klassat som en av de farligaste förekommande tungmetallerna, vilken kan påverka människors hälsa i extremt låga doser eftersom det är ett grundämne och därmed inte bryts ner naturligt i miljön (Kemikalieinspektionen, 2011). Upptaget av tungmetaller är väldigt beroende på jordarten och dess egenskaper (Alcalde-Sanz and Gawlik. 2017). Det ingår i svenska miljömål om en giftfri miljö, att nyproducerade produkter skall vara helt fria från kadmium (emi.se. n.d.). Enligt Livsmedelsverket är det bland annat potatis, spannmål och grönsaker som är de grödor som står för den största tillförseln av kadmium i för höga halter till människor (Styrning, 2018). Även Europeiska Unionen (EU) framhåller att kadmium är den tungmetall som orsakar de största riskerna för både växter, djur och människor. Växternas upptag av kadmium ökar med tiden vid regelbunden bevattning med avloppsvatten. (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017).

En studie utförd av Kiziloglu et al., från 2008 visade att pH för jordar och grödor bevattnade med renat avloppsvatten innehåller betydligt större halter av tungmetaller jämförelsevis med jordar och grödor bevattnade med grundvatten. Rekommendationer ges att man använder orenat avloppsvatten för kortsiktiga ändamål och renat avloppsvatten för en mer långsiktig bevattning av grödor (Kiziloglu et al., 2008) då tungmetaller kan ackumuleras i jordar vid långvarig exponering vid bevattning av renat avloppsvatten (Kumar et al., 2007).

1.3 Andra vanligt förekommande mätningar i avloppsreningsverk

Andra vanligt förekommande mätningar i avloppsreningsverk avser bland annat E.coli, BOD, TSS och Turbiditet. E.coli är tarmbakterier och om inte bakterierna behandlas kan dessa medföra negativa hälsoeffekter då E.coli kan vara sjukdomsframkallande. Enligt Livsmedelsverket skall det ske en löpande kvalitetsövervakning av förekomster av E.colibakterier i reningsverk (Statens Veterinärmedicinska Anstalt, 2013).

BOD (Biochemical Oxygen Demand) är ett sätt att mäta organiskt material och ett mått på hur mycket lösligt syre som behövs för att mikroorganismer skall kunna bryta ned organiskt material under en tidsperiod. Tidsperioden för BOD7 avser alltså nedbrytning under en sjudagarsperiod. (Utslappisiffror.naturvardsverket.se, 2019). Halter av förekommande BOD i avloppsvatten regleras bland annat enligt EU:s direktiv om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse (91/271/EEG), (Europeiska gemenskapernas råd, 1991).

Även TSS (Toxic shock syndrome) mäts. Detta orsakas av toxin som under för bakterien gynnsamma förhållanden orsakas av bakterien *Staphylococcus aureus* (Folkhälsomyndigheten.se, 2013).

Turbiditet mäts som ett mått på hur grumligt vattnet är. För höga nivåer av turbiditet kan bero på närvarandet av organiska och oorganiska material. Järn, mangan och hummus är exempel på material som kan påverka vattnet. Indikationer av turbiditet i vattnet är bland annat att vattnet luktar illa, har en gul eller brunliknande färg eller att vattnet innehåller svarta flagor (Aquaexpert.se, i.d.).

Det finns därför ett intresse från Länsstyrelsen i Skåne för en studie om i vilken utsträckning vatten från reningsverk i länet kan användas för bevattningsändamål i jordbruket inom Skåne län, beroende på vilka halter av olika ämnen som representeras i det renade avloppsvattnet, samt hur dessa halter nivåer förhåller sig i jämförelse med de riktvärden som fastställts i lagar i både Sverige, EU, internationella organisationer.

1.4 Syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att ge en översikt över vad Skånes renade avloppsvatten kan användas till med avseende på bevattning i jordbruket, givet de ämnen som återfinns i det renade avloppsvattnet från 27 avloppsreningsverk i Skåne län och dessa ämnens koncentration i förhållande till från Europeiska Unionens (EU) föreslagna gränsvärden, rekommenderade gränsvärden från World Health Organisation (WHO) och gränsvärden i svensk lagstiftning för utsläpp av renat avloppsvatten. Studien tillhandahåller en sammanställning över befintlig information från litteratur och vetenskapliga studier om gränsvärden och effekter av bevattning med avloppsvatten.

Studien syftar också till att i en sammanställning visa i vilken omfattning avloppsvattnet kan användas för bevattningsändamål i jordbruket, med hänsyn till tungmetaller i vattnet baserat på förekommande koncentrationer.

1.5 Frågeställningar

- Hur ser EU:s och WHO:s rekommendationer ut för gränsvärden för olika ämnen för återanvändning av renat avloppsvatten för jordbruksändamål och vilka gränsvärden anges i svensk lagstiftning?
- Vad är den maximala bevattningsvolymen som kan användas i jordbruket från olika reningsverk i Skåne?
- Vilka ämnen finns i för höga koncentrationer i avloppsvattnet för att kunna användas i jordbruket?

2. Metod

Studien består av två delar. Dels en litteratursammanställning av befintlig information om gränsvärden och effekter av bevattning med avloppsvatten. Dels en sammanställning av data på koncentrationer av olika ämnen i avloppsvattnet från 27 reningsverk i Skåne.

2.1 Litteratursammanställning

För litteratursammanställning används i huvudsak sökmotorn Web of Science. Utöver detta används Google Scholar som ett komplement. Ett urval av relevanta sökord används i kombination med den booleanska operationen AND, OR och NOT. Sökningarna har resulterat vetenskapliga artiklar utifrån valda sökord.

Studien gör urval av källor baserat på ett antal enkla men högst viktiga aspekter. Bland annat baseras urvalet på antalet citeringar, det vill säga hur många gånger artikeln eller tidskriften har använts som källa för forskningsändamål. Detta ger en generell uppfattning om hur trovärdig källan är. Ytterligare urval görs kring vetenskapliga artiklar där sökorden måste finnas med i antingen rubriken eller abstractet. Läsning av abstract är en del av urvalsprocessen innan relevanta artiklar väljs ut för ytterligare fördjupning genom läsning av inledning. Ett mer detaljerat utförande av sökningar och kombinationer av sökfraser kan ses i tabell 1.

Studier och undersökningar utförda av olika internationella och nationella organ, myndigheter och institut, till exempel EU, Naturvårdsverket, Jordbruksverket med flera har även använts som underlag i denna studie.

Tabell 1.

Sökstrategi för informationssökning på Web Of Science.

Databas: Web Of Science	Sökord	Avgränsningar	Antal träffar	Urval 1	Urval 2
#1 190417	((("wastewater*" OR "sewage water*" AND "irrigation*")))	Filter: Vetenskapliga artiklar, rubrik, abstract och inledning av artikeln samt antal citeringar.	3853	9	4
#2 190421	((("wastewater*" AND ("irrigation"* AND "agriculture*"))))	Filter: Vetenskapliga artiklar, rubrik, abstract och inledning av artikeln samt antal citeringar.	616	12	2
#3 190513	((("wastewater*" AND ("irrigation"* AND "agriculture*" AND "Heavy metals*"))))	Filter: Vetenskapliga artiklar, rubrik, abstract och inledning av artikeln samt antal citeringar.	96	6	3

2.2 Tjugosju reningsverk i Skåne län

Studien begränsas till ett urval av 27 avloppsreningsverksanläggningar i Skåne för att undersöka och redovisa vilka ämnen som förekommer i det renade avloppsvattnet. Urvalet av avloppsreningsverksanläggningar sker tillsammans med Länsstyrelsen utifrån vad Länsstyrelsen anser vara relevant med hänsyn till frågeställningar och syfte. Data från avloppsreningsverken sammanställs av reningsverken själva för att sedan rapporteras in till länsstyrelsen eftersom det är dessa 27 reningsverk som länsstyrelsen i Skåne har tillsyn på.

Bedömning av ämnen som finns närvarande i avloppsvattnet redovisas med avseende på koncentration. Ämnen som inte finns representerade i satta

gränsvärden och riktlinjer enligt EU, Sverige, WHO eller andra internationella lagstiftningar kommer således uteslutas. Koncentrationerna av de ämnen som finns representerade i det renade avloppsvattnet från urvalet av avloppsreningsanläggningarna, ställs mot de riktvärden som är föreslagna från EU (baserade på rekommendationer från WHO) samt satta gränsvärden enligt svenska myndigheter och i svensk lagstiftning gällande gränsvärden för utsläpp av renat avloppsvatten.

Då gränsvärden för tungmetaller i avloppsvatten inte går att hitta i källor, vare sig i förslaget från EU eller i svensk lagstiftning, använder sig studien av Jordbruksverkets satta gränsvärden för tungmetaller i slamrestprodukter för jordbruksändamål.

Ekvationerna nedan används för att räkna ut den maximalt acceptabla tillåtna bevattningsvolymen i l/ha och år för de 27 reningsverken med avseende på representerad koncentration av tungmetall i avloppsvattnet.

Ekvation 1:

$$\frac{\frac{mg}{ha}}{\frac{mg}{l}} = mg/ha \times l/mg = l/ha$$

Exempel på uträkning: Borgeby avloppsreningsverk och förekommande koncentration av Pb i avloppsvattnet (se tabell 7, del 1). Gränsvärde för slam: 25 g/ha och år $\times 1000 \rightarrow 25\,000$ mg/ha och år.

Ekvation 2:

$$\frac{25\,000 \frac{mg}{ha}}{0.00075 \frac{mg}{l}} = 33333 \times 10^3 \text{ l/ha}$$

2.3 Avgränsningar

Studien tar inte till hänsyn till avloppsvatten från industrisektorn eftersom detta kräver en ytterligare fördjupad informationssökning och bedömning, då industriellt vatten kan variera kraftigt i dess kemiska uppsättning. Studien avgränsas till 27 reningsverk i Skåne eftersom det är dessa Länsstyrelsen har tillsyn på. Data från övriga reningsverk analyseras inte då dessa faller under kommunernas tillsyn.

Följande ämnen analyseras inte för en bedömning då dessa inte finns representerade i de gränsvärden och riktlinjer som finns från EU, WHO och svensk lagstiftning. Därför har NO₂+NO₃, NH₄-N, Ag och As uteslutits för riskbedömning. Gränsvärden för Total Organic Carbon (TOC) bedöms vara desamma som Chemical Oxygen Demand (COD) enligt Naturvårdsverket (se tabell 2 och 3) (Cederlöf and Janson, 2016) och därför används i denna studie gränsvärdet för COD också för bedömning av tillåtna halter av TOC.

I redovisningen i tabellerna indikeras ämnen som bedöms överskrida satta gränsvärden eller som bedöms generera en liten vattenvolym för bevattning indikeras i **rött**. Reningsverk vars alla värden ligger under gränsvärdena markeras med **grönt**.

Ämnen som markeras med 0 betyder att det mätta ämnet ligger under detektionsgränsen och att ämnet inte förekommer i avloppsvattnet. Ämnen som markeras med streck indikerar att reningsverken inte behöver utföra mätningar relaterat till ämnet baserat på reningsverkets storlek. Streck kan även betyda samma sak som 0.

3. Etisk reflektion

Återanvändning av vatten kan antas uppfattas som generellt positivt och ett miljövänligt alternativ för att bidra till ett mer långsiktigt hållbart utnyttjande av den viktiga naturresursen vatten. Samtidigt kan det finnas negativa associationer till användning av just avloppsvatten till bevattning av grödor som är tänkta att bli människo- eller djurföda. Man kan också anta att det efter många års fokus på olika ämnens negativa effekt på människor, djur och natur, finns en skepsis eller till och med oro att de gränsvärden som idag är fastställda, i framtida studier visar sig behöva omprövas.

Denna studie belyser både negativa och positiva aspekter av återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål. Studien kan medföra att bönder och intressenter blir medvetna om vad vattnet hos reningsverken innehåller, vilket i sin tur kan påverka intresset av att använda återanvänt avloppsvatten.

Flera faktorer, såsom mätmetoder, teknik och redovisning av olika ämnens halter kan komma att påverka konsumenters syn på produkter bevattnade med avloppsvatten. Därmed kan konsumentmönstret påverkas vilket kan få en direkt påverkan på bönders ekonomiska intressen.

I denna studie har det inte förekommit någon slags diskriminering mellan kön av författare vid urval av relevanta artiklar för informationsinhämtning till denna litteraturstudie. Även personliga data har inte förekommit.

4. Resultat

4.1 Förslag till gränsvärden från EU samt satta gränsvärden enligt svensk lagstiftning

4.1.1 Sverige

Sverige har ställt sig positiva till förslaget från EU-kommissionen om gemensamma minimikrav på kvalitet, kontroller och riskhantering för återanvändning av renat avloppsvatten för jordbruksändamål (European Commission, 2018; Regeringskansliet, 2018). Sverige refererar till EU:s rekommenderade riktlinjer för användning av vatten för bevattningsändamål. Vatten som används till växtprodukter för produktion skall enligt EU:s definition vara ”rent vatten” eller ”dricksvatten” och skall inte medföra någon hälsorisk för konsumenten (Regeringskansliet, 2018). Om EU beslutar att införa riktlinjerna, innebär det en direkt tillämpning i svensk lagstiftning. Förslaget skulle medföra att ett tillstånd krävs för att bevattna med återvunnet avloppsvatten. De reningsverk som blir påverkade av lagförslaget är idag direkt tillståndspliktiga enligt miljöbalken (Regeringskansliet, 2018).

Bevattning av jordbruk definieras i Sverige som (Regeringskansliet, 2018):
Producerade grödor som konsumeras av människor råa eller utan behandling, grödor som konsumeras av människor efter någon slags behandling, grödor som inte är lämpliga att konsumeras av människor men som kan användas för andra ändamål.

4.1.2 EU

Behovet av att ta fram riktlinjer för återanvändning av vatten för bevattningsändamål presenterades redan 2012 i kommissionens meddelande, ”*Strategi för att skydda Europas vattenresurser*” (COM (2012) 673). I policyn framhävs följande, ”*alternativa vattenförsörjningsalternativ med låg miljöpåverkan måste utnyttjas i högre grad för att komma till rätta med vattenbristen*” (European Commission, 2018).

EU förespråkar att länder inom EU skall utvärdera riskhanteringar för att säkerställa att potentiella faror identifieras innan system som är baserade på deras riktlinjer implementeras. Detta för att undgå oförutsedda risker och problem. Eftersom EU:s riktlinjer är baserade på bland annat rekommendationer från WHO:s ramverk, rekommenderar även EU att vattenkvaliteten för det återanvända avloppsvattnet bedöms utifrån ändamål, det vill säga vilken gröda och vilken del av grödan som direkt exponeras och utsätts för det återvunna avloppsvattnet (European Commission, 2018).

EU:s förslag till riktlinjer för återanvändning av avloppsvatten delas in i fyra klasser utifrån kvaliteten på vattnet, beroende på vattnets innehåll av E.coli, BOD₅, TSS och Turbiditet (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018). Gränsvärdena för både BOD₅ och TSS är baserade på tidigare satta gränsvärden från direktivet 91/271/EEC från 1991 där detta direktiv framhölls som ett verktyg för kommande satta gränsvärden (Europeiska gemenskapernas råd, 1991).

2016 publicerade EU "Inception impact assignment on "minimum quality requirement for reused water in the EU". Här läggs förslag fram till kvalitetskrav för återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål. EU menar att vatten som resurs måste bli en prioritet och att alla möjliga alternativ för att spara vatten måste utforskas (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017).

Trots att återanvändning av avloppsvatten är accepterat i många EU länder är det bara en liten del av länderna som utnyttjar möjligheten (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017).

I maj 2018 lade EU så fram förslag på riktlinjer för återanvändning av renat avloppsvatten för jordbruksändamål. Syftet är detsamma som när man 2016 lade fram intentionerna med återanvändning av avloppsvatten, det vill säga att minska vattenbristen inom EU till följd av bland annat klimatförändringarna. I första hand framhålls utnyttjande och återanvändning av vatten för jordbruksändamål, då detta anses både erbjuda ett effektivt utnyttjande och vara kostnadseffektivt. Samtidigt uttalas det att en så hög hälso- och miljömässig nivå som möjligt skall säkerställas (European Commission, 2018).

Jordbruksverket svarade i en remiss att de var positivt inställda till att införa gemensamma minimikrav för återanvändning av avloppsvatten. Samtidigt menade Jordbruksverket att det inte finns något intresse för att användning av renat avloppsvatten i en nationell skala inom den närmaste tiden, men att det kan vara ett viktigt och intressant initiativ för lokala bevattningsändamål (Jordbruksverket, 2018c).

Länsstyrelsen i Skåne lade i augusti 2018 fram ett yttrande över EU:s remiss. Länsstyrelsen ställer sig positivt till förslaget kring att minska vattenbristen, bidra till en cirkulär ekonomi samt fortsätta uppnå en hållbar mark och vattenanvändning genom återanvändning av vatten (Miljö -och energidepartementet, 2018).

Den 19 februari 2019, lade utskottet för Miljö, Hälsa och Livsmedelssäkerhet fram ett betänkande till förslag på ändringsförslag till EU-förslaget till förordning om minimikrav för återanvändning av avloppsvatten. Betänkandet innehåller 132 ändringsförslag. Ännu har det inte kommit något motförslag från EU (Rådets generalsekretariat 2019). Ett av förslagen var att ytterligare riktlinjer bör tas fram för bland annat tungmetaller, läkemedelsrester och bekämpningsmedel för att kunna säkerställa ett tillräckligt skydd av miljö och människors hälsa (Rådets generalsekretariat, 2019).

4.1.3 World Health Organisation

Enligt World Health Organisation (WHO) konsumerar över 10% av världens population matprodukter som har producerats med hjälp av både behandlat och obehandlat avloppsvatten. WHO tog år 2006 fram ett ramverk, "Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater", där riktlinjer och satta gränsvärden kring återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål anges (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

Dessa gränsvärden är baserade på tidigare undersökningar och forskning WHO gjort under tidigt 1970- till sent 1980-tal. Ramverket är designat för att skydda hälsan hos jordbrukare, samhället, miljön och de konsumenter som använder de produkter som framställs av odlade grödor. WHO:s riktlinjer och ramverk är baserade på sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter och sammanfogas med policies, regleringar och institutionella regelverk (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

WHO menar att återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål är en policy av relevans då det bidrar till faktorer som kan minska fattigdom, ge ett ökat skydd för allmänhetens hälsa och miljö, samt ge en ökad säkerhet kring matproduktion (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006). Varje land skall enligt WHO granska det egna landets behov och kapacitet för att tillgodose ett ramverk som passar landets behov mot en förbättrad hållbarhet. WHO:s riktlinjer är tänkta att tillämpas på så vis att de tillgodoser progressiv implementation som skall uppnås över tid i ett systematiskt, passande och utökande perspektiv, beroende på länders individuella förutsättningar (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

WHO:s riktlinjer om återanvändning av renat avloppsvatten ger en generell positiv bild ur ett miljöperspektiv. Vattnet som återanvänds ger ytterligare tillskott av bland annat kväve (N) och fosfor (P) till jordbruksmarken. Bönder får möjlighet till ett utnyttjande av energirikt vatten som kan vara en lämplig ersättning för gödsel (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006). Processen kring avloppsvatten för bevattningsändamål fungerar också som ytterligare en reningsprocess. Skadliga ämnen som annars skulle hamna orenat i

önskade naturmiljöer, fångas istället upp av jorden och bryts ner i en naturlig reningsprocess (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006). WHO belyser framför allt patogener, salter och tungmetaller som de huvudsakliga miljöriskerna för återanvändning av avloppsvatten.

Utifrån konsumentens perspektiv för de riktlinjer som rekommenderas, menar WHO att patogener utgör den största hälsoriskerna vid användning av återvunnet vatten. WHO rekommenderar ett hälsobaserat värde på $\leq 10^{-6}$ dagligt intag/person/år av patogener (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

De huvudsakliga farorna för jordmån är ackumulation av salter (Toze, 2006) där dessa kan påverka grödornas förmåga att ta upp vatten och därigenom leda till minskad skörd, ackumulation av tungmetaller som sedan kan förekomma i för höga koncentrationer i grödor och sädeslag (Khan et al., 2008), samt patogener.

4.2 Satta eller föreslagna riktlinjer och gränsvärden

4.2.1 Sverige

De rekommenderade gränsvärdena som presenteras i tabell 2 nedan avser reningskrav för avloppsvatten från reningsverk av olika storlekar från tätbebyggelse (Cederlöf and Janson, 2016; Naturvårdsverket, 2019). Halterna av utsläpp är baserade på antalet personekvivalenter (pe). Baserat på vilket näringsämne, ökar eller minskar den tillåtna koncentrationen beroende på antalet pe kopplade till reningsverken (Cederlöf and Janson, 2016; Naturvårdsverket, 2019). Enligt Naturvårdsverket kan COD_{cr} ersättas med parametrarna totalt organiskt kol (TOC) eller total syreförbrukning (TOD), men enbart om ett påvisat förhållande kan bevisas mellan COD_{cr} och ersättningsparametern (Cederlöf and Janson, 2016). Naturvårdsverkets avloppsföreskrifter (NFS 2016:6) innehåller inga gränsvärden för utsläpp av totalfosfor, eftersom begränsningsvärden för totalfosfor är betydligt generösare (Naturvårdsverket, 2019).

Tabell 2.

Redovisning av satta gränsvärden enligt med Naturvårdsverket (Cederlöf and Janson, 2016; Naturvårdsverket, 2019).

Ämne	Belastning	Begränsningsvärde
BOD ₇	≥ 2 000 pe	15 mg/l (högsta koncentration som årsmedelvärde) vid utsläpp till sötvatten eller flodmyning
	≥ 10 000 pe	30 mg/l (högsta koncentration per mätillfälle) där 70% är minsta procentuella reduktion vid utsläpp till havs och kustvattenområde
COD _{cr}	≥ 2 000 pe	70 mg/l (högsta koncentration som årsmedelvärde)
	≥ 10 000 pe	125 mg/l (högsta koncentration per mätillfälle) där 75% är minsta procentuella reduktion
Tot-kväve	10 000 – 100 000 pe	15 mg/l (högsta koncentration som årsmedelvärde)
	≥ 100 000 pe	10 mg/l (högsta koncentration som årsmedelvärde)
Tot-fosfor	≥ 10 000 pe	1 mg/l eller 2 mg/l som årsmedelvärde beroende på storlek på tätbebyggelse

4.2.2 EU

Tabell 3 redovisar förslag till rekommenderade riktlinjer och kvalitetskriterier från EU för återanvändning av avloppsvatten. Klasser definieras mellan A till D, där klass A anses som det vatten som är av bäst kvalitet. Enligt EU kan klass A-vatten som genomgått en avancerad vattenbehandling enligt sekundär behandling, filtration och desinfektion, användas inom alla användningsområden. EU framhåller framförallt *E.coli* bakterier, BOD₅, TSS och turbiditet som de substanser som utgör största fokus för rening av avloppsvatten. För att vattnet skall få klassas som klass A-vatten behöver samtliga substanser vara lika med eller under de rekommenderade gränsvärdena. EU ger även rekommendationer för gränsvärden för *Legionella spp* när det finns risk för aerosolbildning i växthus, hur mycket

inälvsmaskägget får lov att finnas vid bevattning av gräsmattor samt foder för kreatur (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

Tabell 3.

EU:s förslag till rekommenderade riktlinjer och kriterier för återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

Återvunnet vatten enligt klassificering	Indikativ reningsteknologiska mål	Kvalitetskriterier				Ytterligare kriterier
		E.coli (cfu/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	TSS (mg/l)	Turbiditet (NTU)	
Klass A	Sekundär behandling, filtration och desinfektion (avancerade vattenbehandlingar)	≤10 Eller under detektionsgränsen	≤10	≤10	≤5	² <i>Legionella spp.</i> : ≤1,000 cfu/l när det finns risk för aerosolbildning i växthus. Intestinala nematoder (Inälvsmask ägg): ≤ 1 ägg/l vid bevattning av gräsmattor eller foder för kreatur
Klass B	Sekundär behandling, filtration och desinfektion	≤100	25 mg/l ¹	35 mg/l ¹	-	
Klass C	Sekundär behandling, filtration och desinfektion	≤1,000	25 mg/l ¹	35 mg/l ¹	-	
Klass D	Sekundär behandling, filtration och desinfektion	≤10,000	25 mg/l ¹	35 mg/l ¹	-	

¹Enligt direktiv 91/271/EEC kan reningsverk välja att applicera total koncentration eller procent av reduktion vid mätning. De rekommenderade gränsvärdena för BOD₅ och TSS är 25mg/l och 35 mg/l respektive (Europeiska gemenskapernas råd, 1991).

² *Legionella spp.* är en typ av bakterie som tillhör en gamma 2 grupp inom familjen Proteobacteria (Diederer, 2008).

Utefter klassificeringen av vattnet gör EU rekommendationer för bevattningsmetoder (se tabell 4) för att säkerställa en god hälsa för människor som både livnär sig på och konsumerar de odlade produkterna som förekommer på jordbruksmarken (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

EU har också lagt fram förslag till krav på minimifrekvens för kontroll av återanvänt avloppsvatten för bevattning i jordbruket (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018). Dessa krav är ett komplement till de rekommenderade kraven som beskrivs i tabell 4, så länge dessa följer de satta kriterierna som finns beskrivna. EU:s krav på minimifrekvens för kontrollerna delas in och bedöms utifrån de satta klasser som representeras i tabell 3. För att

tillgodose att vattnet är av bästa kvalitet skall återanvändning av vatten enligt klass A kontinuerligt kontrolleras med mätningar minst en gång i veckan för E.coli, BOD₅ och TSS. Turbiditet skall enligt klass A kontrolleras kontinuerligt. Mätningar av Legionella spp skall utföras en gång i veckan och mätningar av intestinala nematoder skall mätas två gånger i månaden eller efter kontinuerlig bedömning utefter antalet ägg i avloppsvattnet. Krav på rening av resterande klasser kan hittas i appendix (se appendix 1) (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017).

Tabell 4.

EU:s förslag till rekommenderade bevattningsmetoder för bevattning av grödor med avloppsvatten av olika klasser (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

Kategorisering av grödor	Minimal klassificering av Återvunnet vatten	Bevattningsmetod
Alla typer av grödor, inkluderat rotgrödor som konsumeras råa och grödor där den del av grödan som är ätbar är i direkt kontakt med det återanvända avloppsvattnet.	Klass A	Alla bevattningsmetoder är tillåtna
Grödor som konsumeras råa där den ätbara delen är producerad ovan jord och inte har direkt kontakt med det återanvända avloppsvattnet	Klass B	Alla bevattningsmetoder är tillåtna
	Klass C	Enbart droppbevattning tillåten
Processade grödor	Klass B	Alla bevattningsmetoder tillåtna
	Klass C	Enbart droppbevattning tillåten
Icke matgrödor, inkluderat producerade grödor för att mata mjölk eller kött producerande djur	Klass B	Alla bevattningsmetoder tillåtna
	Klass C	Enbart droppbevattning tillåten
Industriella, energi och sådda grödor	Klass D	Alla bevattningsmetoder tillåtna

4.2.3 WHO

I tabell 5 redovisas gränsvärden från WHO för patogener och antal inälvsmaskäggs per liter. WHO ger även rekommendationer för hur mycket koncentrationen av patogener bör minska för högsta tillåtna maximala acceptans av patogener i avloppsvatten för bevattning för jordbruksändamål (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

Tabell 5.

Hälsobaserade riktvärden för återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål enligt WHO (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

Exponerings scenarios	Hälsobaserade mål (¹ DALY per person per år)	Log ₁₀ minskning av patogener som behövs	Antal inälvsmaskäggs per liter
Oreglerad bevattning Sallad Lök	≤10 ⁻⁶	6 7	≤1 ≤1
Reglerad bevattning Automatiserat Arbetskraftsintensivt	≤10 ⁻⁶	3 4	≤1 ≤1
Lokal droppbevattning Högt växande grödor Lågt växande grödor	≤10 ⁻⁶	2 4	Inga rekommendationer ≤1

¹Där DALY definieras som Disability-Adjusted Life Years (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006).

4.2.4 Gränsvärden för tungmetaller i slam

Tabell 6.

Högsta tillåtna tillförsel av metaller till jordbruksmark vid spridning av avloppsslam enligt Jordbruksverkets satta gränsvärden (Jordbruksverket, 2017).

Metall	g/ha och år (genomsnitt för en 7 års period)
Bly (Pb)	25
Kadmium (Cd)	0.75
Koppar (Cu)	300
Krom (Cr)	40
Kvicksilver (Hg)	1.5
Nickel (Ni)	25
Zink (Zn)	25

Genom att omvandla den maximalt acceptabla koncentrationen för hur många liter slam som enligt gränsvärdena får användas per hektar och år till antal liter vatten per hektar och år, kan en bedömning göras av mängden avloppsvatten som kan användas från varje avloppsreningsverk för att bevattna jordbruksmark.

Resultaten visar sambandet mellan antalet liter tillåten bevattning med avloppsvatten och förekommande koncentrationer av tungmetaller (se tabeller 7.1, 7.2, och 7.3). Ju mindre koncentration av tungmetaller i avloppsvattnet, desto fler liter vatten per hektar och år kan användas och tvärtom - höga koncentrationer ger en minskad bevattning per hektar och år.

Tabell 7 representerar Skånes 27 reningsverk och förekommande tungmetaller i avloppsvattnet. Tabellen är av utrymmesskäl uppdelad i tre olika delar.

Figurerna a–g som visas under respektive tabell (se tabell 7.1 och 7.2), redovisar Skånes 27 reningsverks potentiella bevattning med avloppsvatten i antal

miljoner liter per hektar och år (milj. l/ha/år), baserat på förekomsten av tungmetaller och dess koncentration i avloppsvattnet.

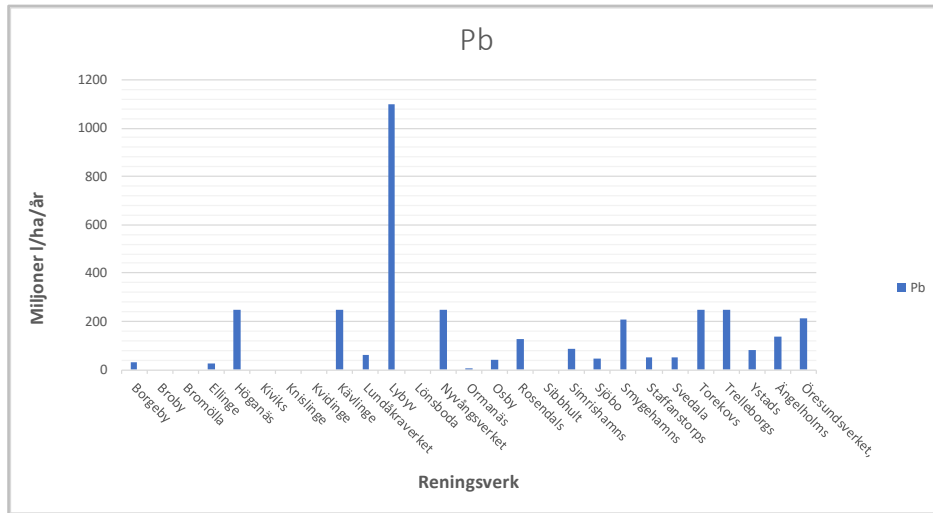
Ormanäs reningsverk avviker tydligt med avseende på beräknad tillåten maximal bevattning med avloppsvatten i l/ha/år på grund av den höga koncentrationen av respektive representerad tungmetall. Ormanäs avloppsreningsverk har därmed också valts att markeras som rött.

Tabell 7, del 1.

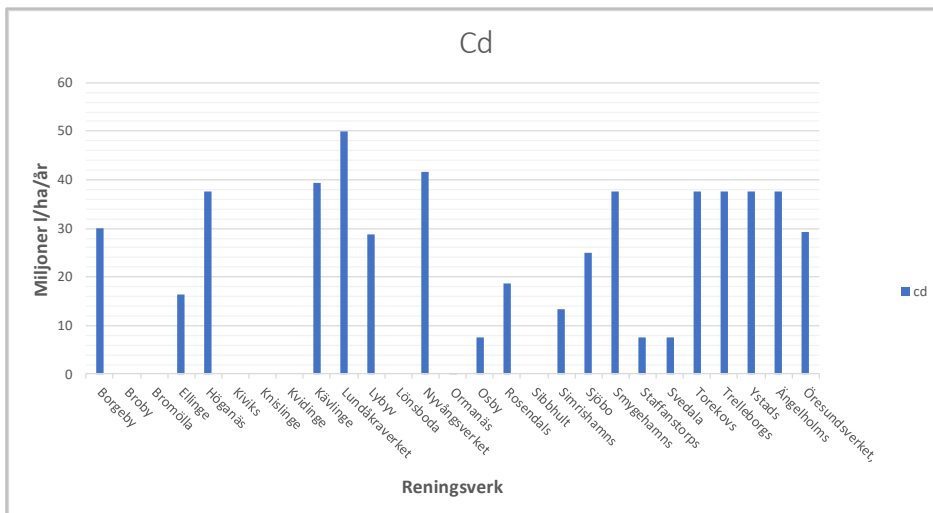
Representerade koncentrationer av tungmetaller i renat avloppsvatten från 27 reningsverk i Skåne län, samt den maximalt tillåtna bevattningsvolymen i liter per hektar och år (l/ha/år).

Maximala acceptabla bevattning av jordbruksmark med avloppsvatten innehållande tungmetaller i antal liter per hektar och år (l/ha/år)								
Reningsverk	Ansluten till industri pe	Ansluten till personer pe	Pb		Cd		Cu	
			mg/l	l/ha 10 ³	mg/l	l/ha 10 ³	mg/l	l/ha 10 ³
Borgeby	0	10953	0.00075	33333	0.000025	30000	0.0050	60000
Broby	200	4500	-	-	-	-	-	-
Bromölla	300	9400	-	-	-	-	-	-
Ellinge	68692	22205	0.00092	27174	0.000046	16304	0.0160	18750
Höganäs	200	24019	0.0001	250000	0.00002	37500	0.0119	25210
Kiviks	0	2933	-	-	-	-	-	-
Knislinge	150	4500	-	-	-	-	-	-
Kvidinge	0	1914	-	-	-	-	-	-
Kävlinge	320	30500	0.0001	250000	0.000019	39474	0.0048	62500
Lundåkraverket	10000	46013	0.000396	63131	0.000015	50000	0.0050	60606
Lybyv	3439	9884	0.0000228	1096491	0.000026	28846	0.0104	28846
Lönsboda	200	2000	-	-	-	-	-	-
Nyvångsverket	0	12834	0.0001	250000	0.000018	41667	0.004	75000
Ormanäs	0	11870	0.15	167	0.02	38	14.38	21
Osby	200	7750	0.0006	41667	0.0001	7500	0.011	27273
Rosendals	514	7800	0.0002	125000	0.00004	18750	0.0167	17964
Sibbhult	150	1400	-	-	-	-	-	-
Simrishamns	9500	17073	0.000292896	85355	0.000056	13393	0.006262881	47901
Sjöbo	0	10864	0.00056	44643	0.00003	25000	0.01	30000
Smygehamns	0	7843	0.00012	208333	0.00002	37500	0.0095	31579
Staffanstorps	0	12000	0.0005	50000	0.0001	7500	0.03	10000
Svedala	1457	13416	0.0005	50000	0.0001	7500	0.0041	73171
Torekovs	0	13000	0.0001	250000	0.00002	37500	0.00909	33003
Trelleborgs	0	32361	0.0001	250000	0.00002	37500	0.002	150000
Ystads	0	37375	0.0003	83333	0.00002	37500	0.02	15000
Ängelholms	2000	35500	0.00018	138889	0.00002	37500	0.019	15789
Öresundsverket	25000	138000	0.000118	211864	0.0000257	29183	0.014	21429

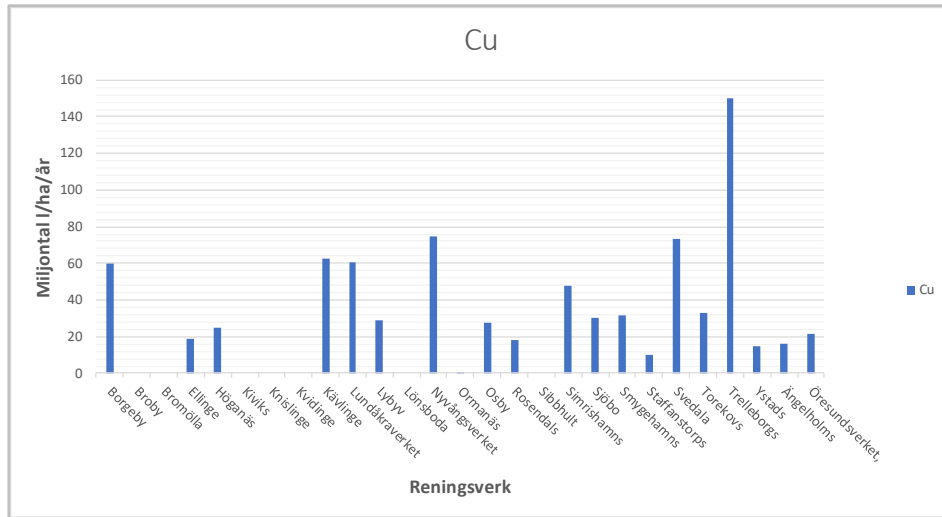
a



b



c



Figur 1a: a-c Tungmetaller.

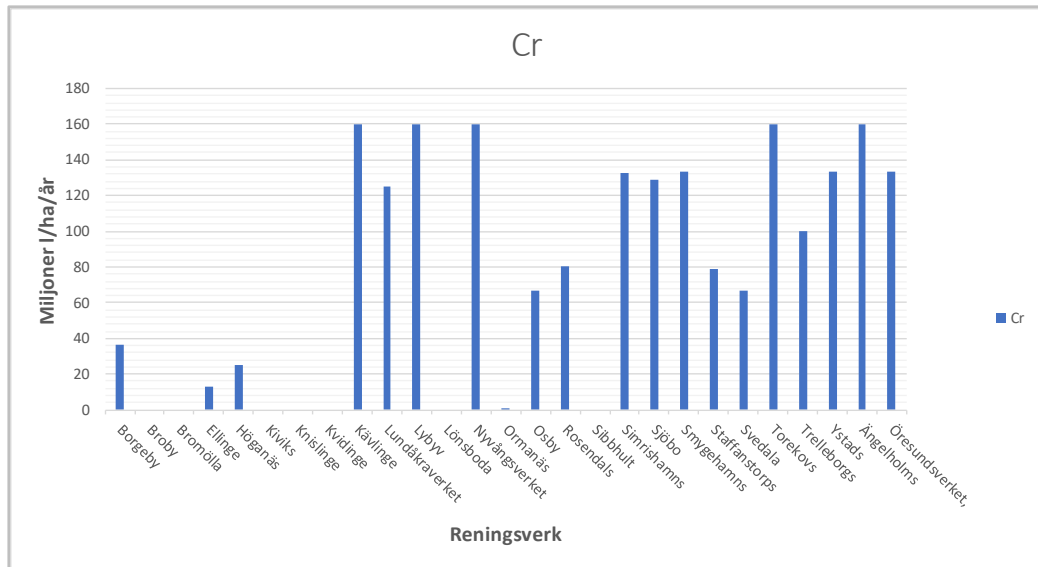
Relationen mellan förekommande koncentration av tungmetallerna Pb, Cd och Cu i mg/l och den potentiellt maximala bevattningsvolymen i l/ha/år, för bevattning med avloppsvatten från 27 reningsverk i Skåne.

Tabell 7, del 2.

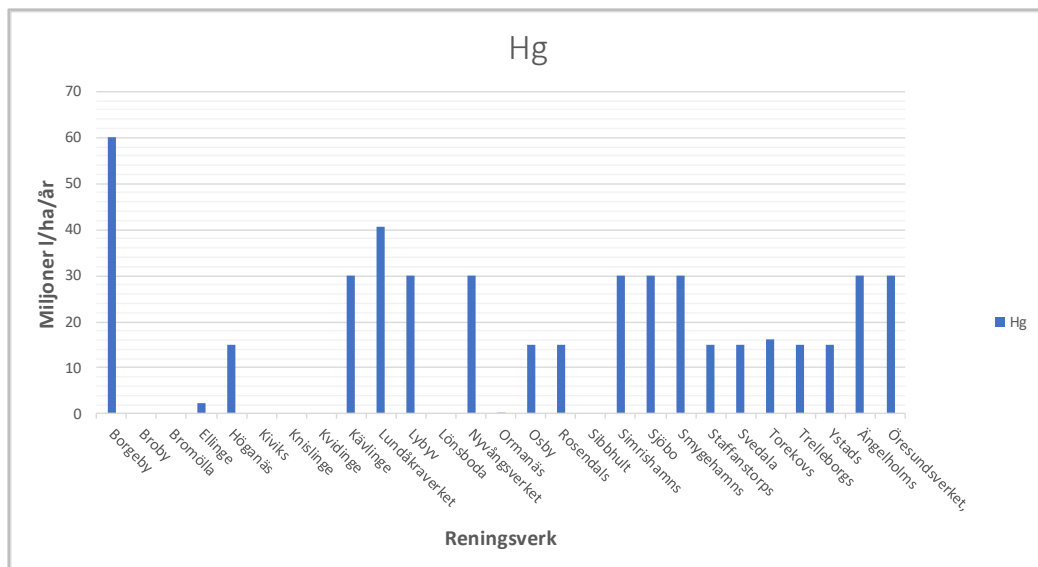
Reprecenterade koncentrationer av tungmetaller i renat avloppsvatten från 27 reningsverk i Skåne län, samt den maximalt tillåtna bevattningsvolymen i liter per hektar och år (l/ha/år).

Maximala acceptabla bevattning av jordbruksmark med avloppsvatten innehållande tungmetaller i antal liter per hektar och år (l/ha/år)										
	Ansluten till industri pe	Ansluten till personer pe	Cr		Hg		Ni		Zn	
			mg/l	l/ha	mg/l	l/ha	mg/l	l/ha	mg/l	l/ha
Reningsverk				10 ³		10 ³		10 ³		10 ³
Borgeby	0	10953	0.0011	36364	0.000025	60000	0.0045	5556	0.085	294
Broby	200	4500	-	-	-	-	-	-	-	-
Bromölla	300	9400	-	-	-	-	-	-	-	-
Ellinge	68692	22205	0.0030	13333	0.00067	2239	0.0044	5682	0.049	510
Höganäs	200	24019	0.0016	25000	0.0001	15000	0.00309	8091	0.0137	1825
Kiviks	0	2933	-	-	-	-	-	-	-	-
Knislinge	150	4500	-	-	-	-	-	-	-	-
Kvidinge	0	1914	-	-	-	-	-	-	-	-
Kävlinge	320	30500	0.00025	160000	0.00005	30000	0.0021	11905	0.0113	2212
Lundåkraverket	10000	46013	0.00032	125000	0.000037	40541	0.0014	17857	0.022	1136
Lybyv	3439	9884	0.00025	160000	0.00005	30000	0.0013	19231	0.013	1923
Lönsboda	200	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
Nyvångsverket	0	12834	0.00025	160000	0.00005	30000	0.0028	8929	0.023	1087
Ormanäs	0	11870	0.32	125	0.05	30	1.76	14	15.6	2
Osby	200	7750	0.0006	66667	0.0001	15000	0.003	8333	0.013	1923
Rosendals	514	7800	0.0005	80000	0.0001	15000	0.0024	10417	0.026	962
Sibbhult	150	1400	-	-	-	-	-	-	-	-
Simrishamns	9500	17073	0.000301227	132790	0.00005	30000	0.001784213	14012	0.02922694	855
Sjöbo	0	10864	0.00031	129032	0.00005	30000	0.00277	9025	0.0163	1534
Smygehamns	0	7843	0.0003	133333	0.00005	30000	0.0018	13889	0.013	1923
Staffanstorps	0	12000	0.000505	79208	0.0001	15000	0.0015	16667	0.011	2273
Svedala	1457	13416	0.0006	66667	0.0001	15000	0.002	12500	0.012	2083
Torekovs	0	13000	0.00025	160000	0.000093	16129	0.00125	20000	0.0143	1748
Trelleborgs	0	32361	0.0004	100000	0.0001	15000	0.005	5000	0.015	1667
Ystads	0	37375	0.0003	133333	0.0001	15000	0.002	12500	0.02	1250
Ängelholms	2000	35500	0.00025	160000	0.00005	30000	0.0019	13158	0.02	1250
Öresundsverket	25000	138000	0.0003	133333	0.00005	30000	0.00213	11737	0.0136	1838

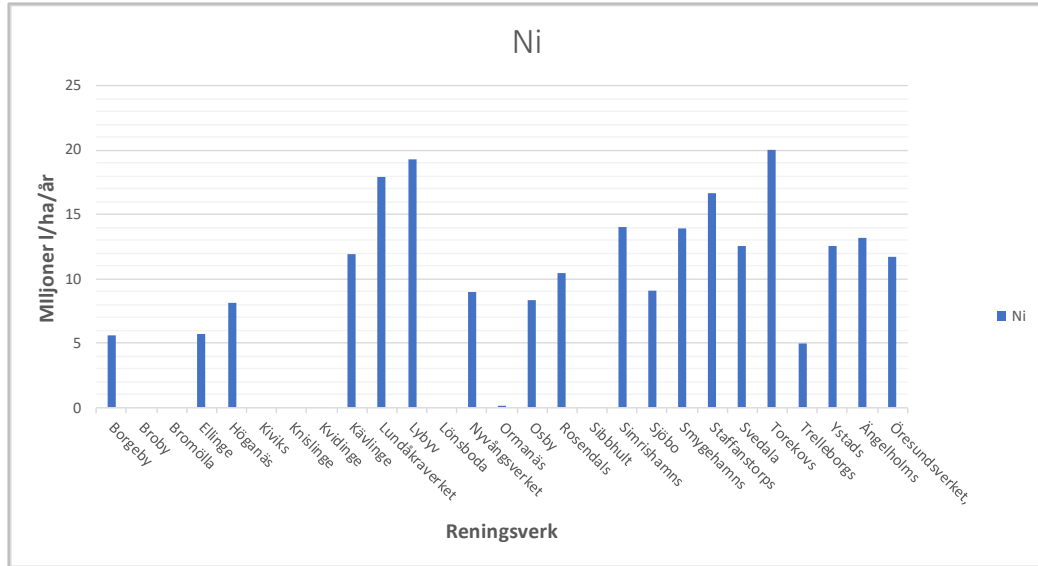
d



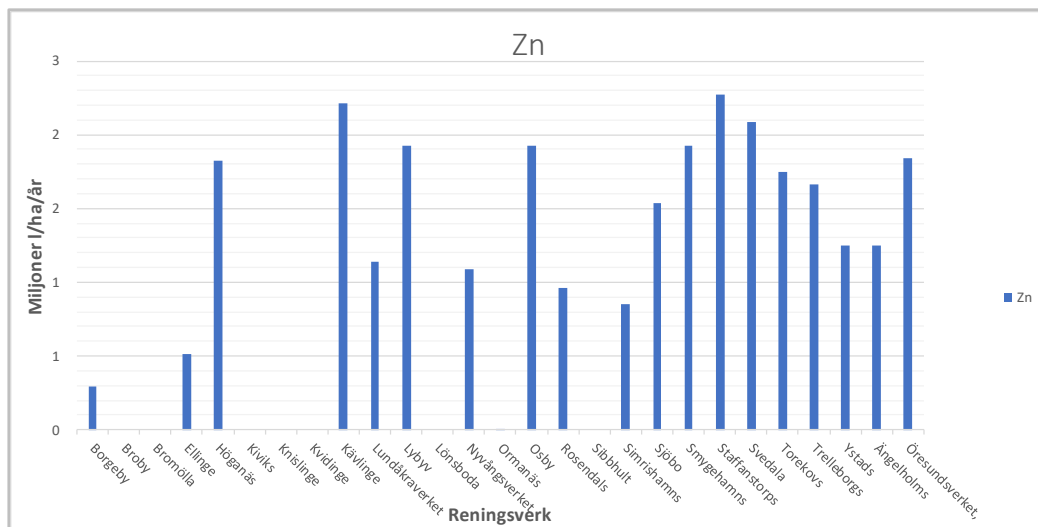
e



f



g



Figur 1b: d-g Tungmetaller.

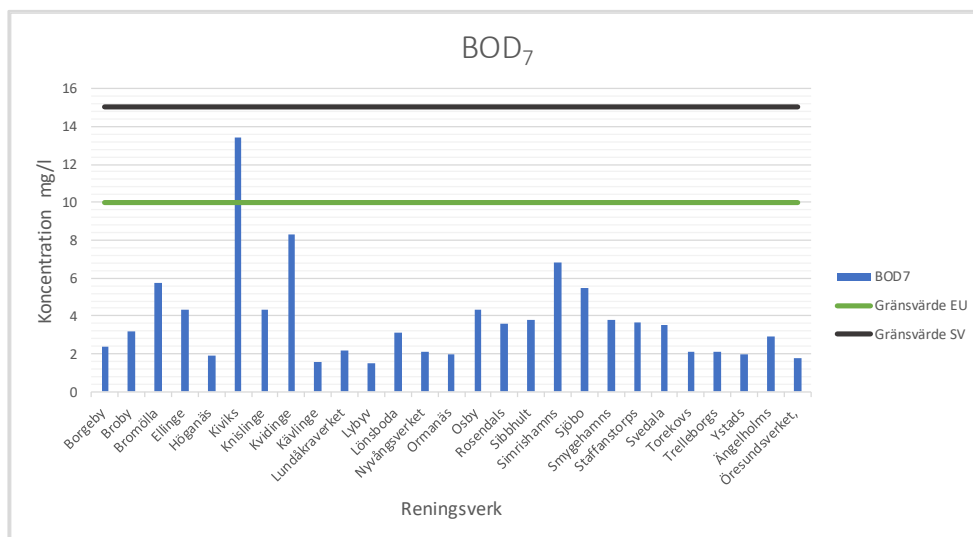
Relationen mellan förekommande koncentrationen av tungmetallerna Cr, Hg, Ni och Zn i mg/l och den potentiellt maximala bevattningsvolymen l/ha/år, för bevattning av alla 27 reningsverk i Skåne.

Nedan redovisas förekommande och uppmätta näringsämnen i Skånes avloppsvatten för alla de 27 undersökta reningsverken samt hur koncentrationen förhåller sig till de från EU föreslagna gränsvärdena samt de gränsvärden som finns i svensk lagstiftning för näringsämnen i avloppsvatten. Av de åtta reningsverk som överskrider gränsvärdet på 15 mg/l tot-N (Naturvårdsverket, 2019), är det två reningsverk som redovisar en koncentration på nästan det dubbla, och ett som har mer än dubbelt så hög koncentration mot vad som är godkänt. Kiviks reningsverk överskrider också gränsvärdet för BOD enligt EU:s rekommenderade gränsvärde på 10 mg/l (Alcalde-Sanz, and Gawlik, 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

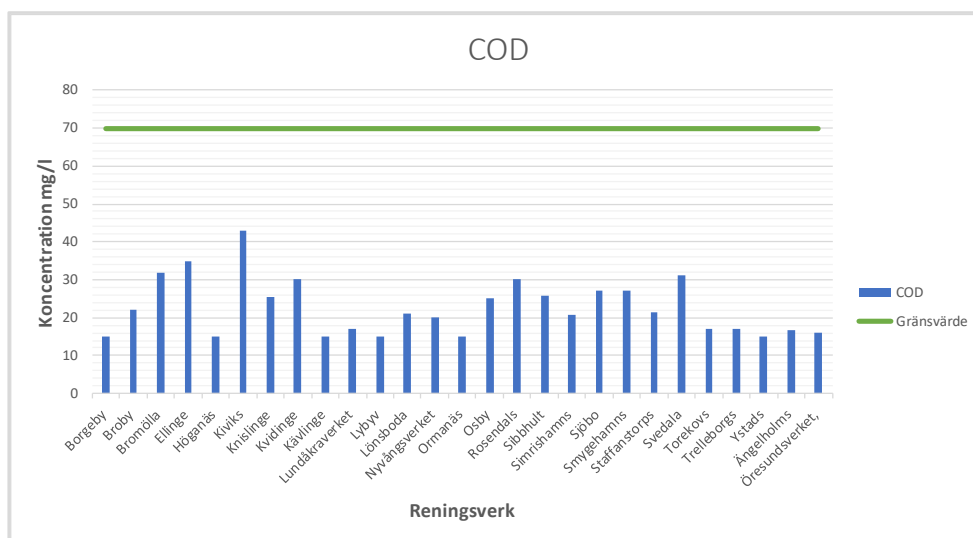
Tabell 7, del 3.

Reprenterade koncentrationer av förekommande ämnen i renat avloppsvatten från 27 reningsverk i Skåne län med gränsvärden enligt förslag från EU samt satta gränsvärden enligt svensk lagstiftning.

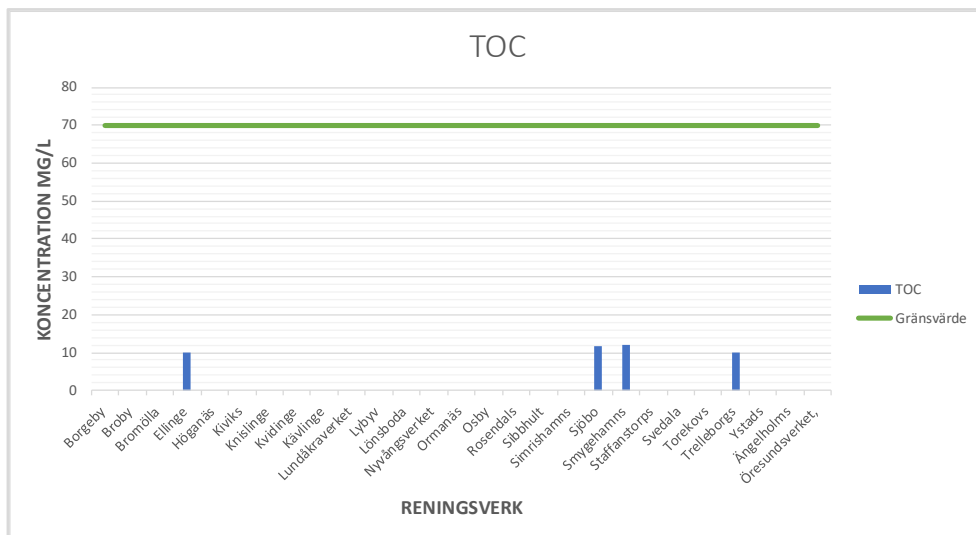
Gränsvärden satta från EU och Sverige								
	Ansluten till industri pe	Ansluten till personer pe	BOD7		COD Sv	TOC Sv	tot-N Sv	tot-P Sv
			EU 10 mg/l	Sv 15 mg/l				
Reningsverk			10 mg/l	15 mg/l	70 mg/l	70 mg/l	15 mg/l	1 mg/l
Borgeby	0	10953	2.4	2.4	15	0	6	0.27
Broby	200	4500	3.2	3.2	22.2	0	16.8	0.1
Bromölla	300	9400	5.77	5.77	31.8	0	30.2	0.15
Ellinge	68692	22205	4.3	4.3	35	10	6.3	0.19
Höganäs	200	24019	1.9	1.9	15	0	6.2	0.11
Kiviks	0	2933	13.4	13.4	43	0	15.5	0.7
Knislinge	150	4500	4.3	4.3	25.5	0	23.2	0.2
Kvidinge	0	1914	8.32	8.32	30.1	-	26.4	0.24
Kävlinge	320	30500	1.6	1.6	15	-	5.8	0.26
Lundåkraverket	10000	46013	2.15	2.15	16.99	-	5.63	0.33
Lybyv	3439	9884	1.5	1.5	15	-	8.84	0.1
Lönsboda	200	2000	3.1	3.1	21	0	10.9	0.1
Nyvångsverket	0	12834	2.1	2.1	19.9	-	9.7	0.25
Ormanäs	0	11870	1.99	1.99	15	-	7.05	0.078
Osby	200	7750	4.3	4.3	25.2	-	20.9	0.11
Rosendals	514	7800	3.6	3.6	30	0	6.1	0.1
Sibbhult	150	1400	3.82	3.82	25.8	0	17.7	0.12
Simrishamns	9500	17073	6.79	6.79	20.9	0	9.78	0.23
Sjöbo	0	10864	5.5	5.5	27	11.6	27	0.15
Smygehamns	0	7843	3.8	3.8	27	12	14.7	0.23
Staffanstorps	0	12000	3.63	3.63	21.4	-	7.13	0.19
Svedala	1457	13416	3.5	3.5	31	-	6.4	0.2
Torekovs	0	13000	2.1	2.1	16.9	-	9.2	0.17
Trelleborgs	0	32361	2.1	2.1	17	10	9.4	0.17
Ystads	0	37375	2	2	15	-	7	0.2
Ängelholm	2000	35500	2.9	2.9	16.8	-	10.5	0.19
Öresundsverket	25000	138000	1.8	1.8	16.1	-	7.7	0.484



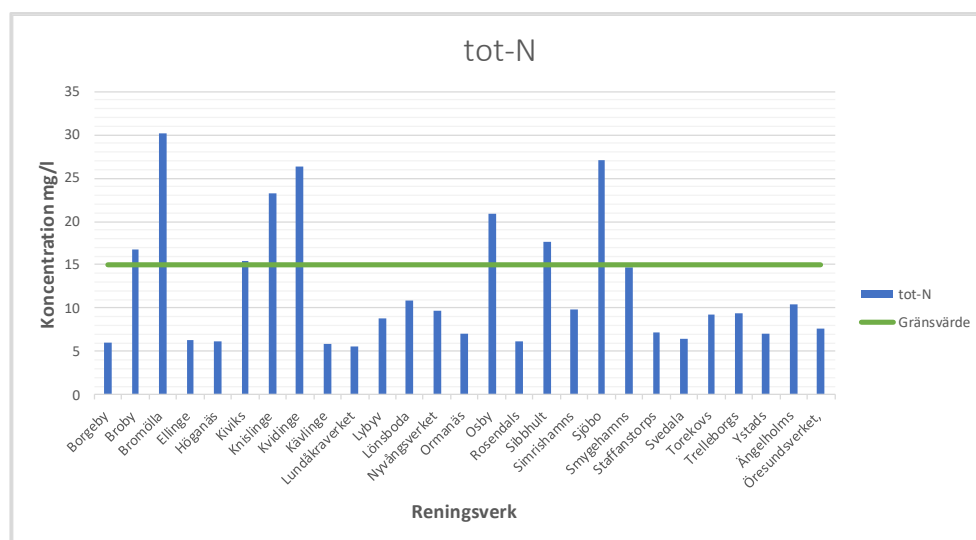
Figur 2. Förekommande koncentration av BOD₇ i mg/l för 27 reningsverk, samt satta gränsvärden på 10 mg/l från EU och 15 mg/l från Sverige.



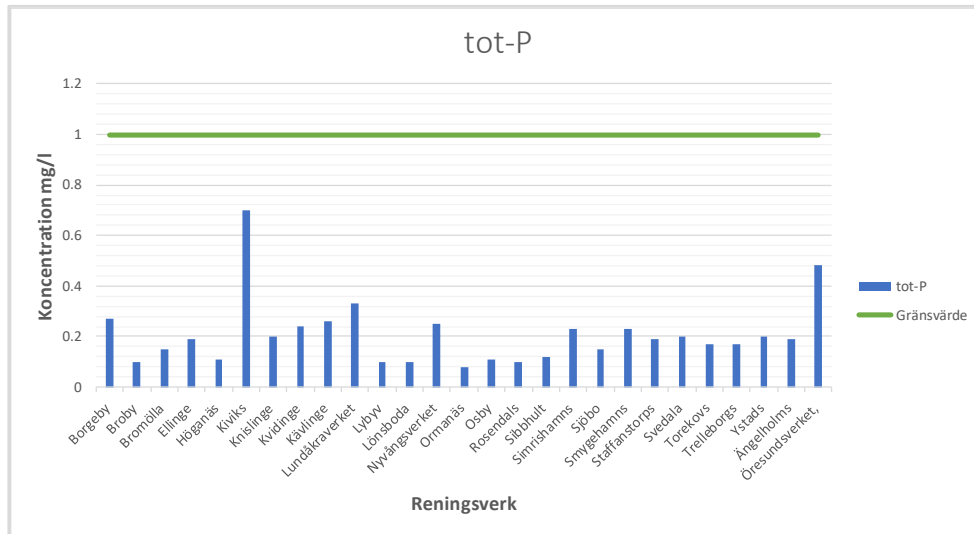
Figur 3. Förekommande koncentration av COD i mg/l för 27 reningsverk, samt det satta gränsvärdet på 70 mg/l från Sverige.



Figur 4. Diagrammet visar förekommande koncentration av TOC i mg/l för 27 reningsverk, samt det satta gränsvärdet på 70 mg/l från Sverige.



Figur 5: a-b Näringsämnen. Diagrammet visar förekommande koncentration av tot-N i mg/l för 27 reningsverk, samt det satta gränsvärdet på 15 mg/l från Sverige.



Figur 5b.

Diagrammet visar förekommande koncentration av tot-P i mg/l för 27 reningsverk, samt det satta gränsvärdet på 1 mg/l från Sverige.

4.3 Zink - den mest begränsande tungmetallen

Genom att sortera ut minsta tillåtna bevattningsmängd för bevattning från respektive reningsverk, kan det fastställas att zink är den tungmetall som är den största begränsande faktorn för bevattning med avloppsvatten för jordbruksändamål hos alla 27 representerade Skånska reningsverken, utifrån de analyserade parametrarna.

Den totala medelbevattningsmängden för Skånes 27 reningsverk kan öka med 725% om zink renas till den grad att tungmetallen inte är det största begränsande faktorn. Om zink inte skulle vara den största begränsande faktorn, visar resultatet att nickel är det ämne som till stor del blir nästa begränsande tungmetallen. För fullständiga uträkningar se appendix 2.

Tabell 8.

Tabellen redovisar som exempel, vilken procentuell ökning av bevattningen som kan uppnås om zink inte är den begränsande faktorn, samt vilken tungmetall som blir nästa största begränsande faktor.

Begränsande faktorer för möjlighet till ökad bevattning i l/ha/år							
	Max bevattning l/ha/år	Begränsande Ämne	Max bevattning utan zink l/ha/år	Förbättring utan zink l/ha/år	Förbättring i procent %	Obegränsande Zn-halt mg/l	Nästa begränsande ämne
Borgeby	294118	Zn	5555556	5261438	1789%	#NAMN?	Ni
Broby	0		0	0			
Bromölla	0		0	0			
Ellinge	510204	Zn	2238806	1728602	339%	0.01117	Hg
Höganäs	1824818	Zn	8090615	6265797	343%	0.00309	Ni
Kiviks	0		0	0			
Knislinge	0		0	0			
Kvidinge	0		0	0			
Kävlinge	2212389	Zn	11904762	9692373	438%	0.00210	Ni
Lundåkraverket	1136364	Zn	17857143	16720779	1471%	0.00140	Ni
Lybyv reningsverk	1923077	Zn	19230769	17307692	900%	0.00130	Ni
Lönsboda	0		0	0			
Nyvängsverket	1086957	Zn	8928571	7841615	721%	0.00280	Ni
Ormanäs	1603	Zn	14205	12602	786%	1.76000	Ni
Osby	1923077	Zn	7500000	5576923	290%	0.00333	Cd
Rosendals	961538	Zn	10416667	9455128	983%	0.00240	Ni
Sibbhult	0		0	0			
Simrishamns	855375	Zn	13392857	12537482	1466%	0.00019	Cr
Sjöbo	1533742	Zn	9025271	7491528	488%	0.00277	Ni
Smygehamns	1923077	Zn	13888889	11965812	622%	0.00180	Ni
Staffanstorps	2272727	Zn	7500000	5227273	230%	0.00333	Cd
Svedala	2083333	Zn	7500000	5416667	260%	0.00333	Cd
Torekøvs	1748252	Zn	16129032	14380781	823%	0.00155	Hg
Trelleborgs	1666667	Zn	5000000	3333333	200%	0.00500	Ni
Ystads	1250000	Zn	12500000	11250000	900%	0.00200	Ni
Ängelholms	1250000	Zn	13157895	11907895	953%	0.00190	Ni
Öresundsverket	1838235	Zn	11737089	9898854	538%	0.00213	Ni
	1414778	Zn	11225051	9810274	693%	0.00223	Ni
				Medel 27 reningsverk	725%		

5. Diskussion

Denna studie visar att 19 av 27 avloppsreningsverk i Skåne län kan återanvända sitt avloppsvatten för bevattning i jordbruket, utifrån föreslagna gränsvärden från EU samt satta gränsvärden i svensk lagstiftning för utsläpp av avloppsvatten (Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1, 2006; Cederlöf and Janson, 2016; Alcalde-Sanz, and Gawlik, 2017; Europeiska Kommissionen, 2018; Naturvårdsverket, 2019). Föreslagna regelverk innehåller dock inte gränsvärden för tungmetaller.

Resultatet i studien visar också att kväve är det näringsämne som är den största bidragande faktorn till att vattnet blir otjänligt för bevattning i jordbruket. Cirka 30% av de 27 reningsverken överskrider gränsvärdet för kväve. Trots att majoriteten av reningsverken ligger under det satta svenska gränsvärdet på 15 mg/l tillåten kvävehalt, finns det reningsverk som redovisar nästan dubbelt så högt värde jämfört med högst tillåtna halten. Kvidinge och Sjöbos avloppsreningsverk redovisar kvävekoncentrationer på 26.4 mg/l och 27 mg/l respektive. Bromölla avloppsreningsverk visar till och med en koncentration på hela 30.2 mg/l. (Alcalde-Sanz, and Gawlik, 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

De åtta reningsverk som diskvalificeras uppvisar även de högsta värdena av tot-N. Varför tot-N överskrider satta gränsvärden kan med hjälp av underlaget i denna studie inte fastställas. Förklaringarna kan vara flera, till exempel att dessa avloppsreningsverk ligger i närheten av jordbruksmark, som normalt är en av de vanligaste källorna till kväveutsläpp (Jordbruksverket.se, 2018a).

Kiviks avloppsreningsverk är det enda reningsverk där gränsvärdet för BOD överskrider, enligt EU:s föreslagna gränsvärde på 10 mg/l. Kiviks reningsverk har ett BOD-värde på 13.4 mg/l (Alcalde-Sanz, and Gawlik, 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

Studien kommer också fram till att zink är den tungmetall som i störst utsträckning begränsar hur mycket renat avloppsvatten som kan användas per hektar. Detta resultat gäller för alla undersökta reningsverk.

Enligt resultatet har Ormanäs avloppsreningsverk betydligt sämre bevattningsmöjligheter jämfört med övriga avloppsreningsverk, på grund av mycket högre koncentrationer av förekommande tungmetaller.

En källa som med sannolikhet kan uteslutas som orsak till de överskridna koncentrationerna för tot-N, är utsläpp från närliggande industrier. Det framgår av underlaget från Länsstyrelsen Skåne att antalet pe kopplade till industri för de åtta reningsverken är så pass låga i jämförelse med antalet pe kopplade till personer och industrier för andra godkända reningsverk, att det sannolikt inte finns någon relation mellan antalet pe-industri och den förekommande koncentrationen tot-N.

Denna studie kartlägger inte vare sig skillnader eller likheter mellan de undersökta avloppsreningsverken med avseende på reningsteknik. Dock framgår av resultatet att de avloppsreningsverk som har större belastning har lägre värden av tot-N medan den gemensamma faktorn för de avloppsreningsverk som överstiger gränsvärdet har ett lägre antal personekvivalenter kopplade till anläggningen.

Kväve är uppenbarligen det näringsämne som bidrar mest till att gränsvärdena i de undersökta avloppsreningsverken överskrids. Detta skulle kunna utgöra ett problem i en framtida återanvändning av avloppsvatten för bevattning i jordbruket. Frågan är alltså om kvävehalterna i de undersökta anläggningarna ytterligare skulle behöva reduceras för att inte öka belastningen av kväve i jordbruksmarken?

De avloppsreningsverk som har representerade halter av ämnen som ligger precis under gränsen och därmed ligger i riskzonen för att överskrida gränsvärdena, måste vara extra noga med mätningarna för att säkerställa att gränsvärdena inte överskrids om man planerar att återanvända vattnet för bevattningsändamål inom jordbruket, när väl regelverket från EU godkänts (Regeringskansliet, 2018). Ett sådant exempel är Smygehamns avloppsreningsverk där koncentrationen av tot-N ligger precis under Sveriges satta gränsvärde (Naturvårdsverket, 2019).

Det faktum att det saknas rikt- eller gränsvärden för tungmetaller, trots att mätningar sker av totalt nio tungmetaller, väcker frågan hur avloppsreningsverkens mätningar av koncentrationer för tungmetaller bör ställas mot en maximalt accepterad koncentration i vattnet, beroende på användning, belastning och slutligen det utsläpp som genereras från avloppsreningsverket. Avloppsreningsverken har inte några maximalt acceptabla koncentrationer eller riktlinjer att förhålla sig till, trots att det är känt att avloppsvatten innehåller höga halter av tungmetaller (Balkhair, and Ashraf, 2016), vilket kan resultera i att för höga halter av tungmetaller i avloppsvattnet kan förekomma utan att anläggningarna behöver utföra några åtgärder för att se till att koncentrationerna minskar.

Enligt den data som redovisas från Länsstyrelsen Skåne framgår att vissa av avloppsreningsverken på grund av storlek på belastning inte mäter tungmetaller. Man kan utifrån data anta att dessa avloppsreningsverk har en relativt låg belastning, då avloppsreningsverk i studien med en större belastning redovisar tungmetaller. Skall det kunna säkerställas att tungmetaller inte förekommer i för höga koncentrationer i avloppsvatten för bevattningsändamål, bör dock även de mindre avloppsreningsverken övervaka tungmetaller.

Ormanäs avloppsreningsverk är i jämförelse med alla de övriga anläggningarna hårt belastat av tungmetaller, samtidigt som de ligger under gränsvärden för näringsämnen och andra mätbara värden. Med vetskap om hur mycket Ormanäs avviker jämfört med övriga anläggningar, rekommenderas att man går vidare och undersöker varför Ormanäs uppvisar dessa höga värden och vad källan kan vara.

Om även gränsvärden för slam appliceras, framgår tydligt att zink är den enskilt största begränsande tungmetallen och att en reduktion av zink i avloppsvattnet så att zink inte blir den begränsande tungmetallen skulle innebära en potentiell ökad medelbevattning för alla 27 avloppsreningsverken sammanlagt med 725% vilket torde få anses vara en betydande effektivisering av återanvändning av avloppsvattnet.

Att många EU-länder avstår från att återanvända avloppsvatten för bevattning i jordbruket kan möjligtvis förklaras med att länderna inte ser vatten som en bristvara. Återanvändning av renat avloppsvatten för jordbruksändamål är betydligt vanligare för de länder där man ser vatten som en mer sällsynt resurs. Ett större användande av återvunnet avloppsvatten för bevattning kan till exempel ses hos länder i Mellanöstern (Lefebvre, and Moletta, 2006).

Om vi utgår från att man i Sverige vill börja använda avloppsvatten för bevattning i jordbruket rekommenderas det att alla de i denna studie redovisade ämnen ligger på eller under de av EU föreslagna gränsvärdena, samt de angivna gränsvärdena enligt svensk lagstiftning, med tanke på det vi idag vet om bland annat näringsämnens och tungmetallers påverkan på människor, djur och natur (Arora et al., 2008; Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Balkhair, and Ashraf, 2016).

Utöver de i denna studie redovisade ämnena, bör även analyser av patogener och andra förekommande ämnen som idag inte omfattas av svenska regelverk, måste i framtiden säkerställas att dessa ligger under kommande gränsvärden så att inte patogener kan påverka människors och djurs hälsa negativt (Al-Jassim et al., 2015).

Då vi i Sverige under 2018 såg tydliga tendenser till minskade grundvattennivåer och detta redan så här långt in i 2019 visar på samma tendens som 2018, kan man anta att även Sverige, trots vår tidigare syn på vatten som en icke begränsad naturresurs, måste utarbeta nya strategier för återanvändning av vatten. Då är enhetliga och gemensamma gränsvärden för olika ämnen en förutsättning, då vatten gemensam naturresurs för hela jorden.

Återanvändning av avloppsvatten är inte bara en långsiktigt och hållbar naturresurshushållning för att säkerställa fortsatt tillgång på vatten. Genom ett effektivt utnyttjande av de näringsämnen som finns i avloppsvattnet skulle användningen av konstgödsel i svenska jordbruksmarker potentiellt kunna minska (Egle et al., 2016; Quist-Jensen et al., 2015). Utöver dessa fördelar tas näringsämnen upp av jordbruket, vilket resulterar till ett minskat utsläpp i våra hav,

sjöar och vattendrag och därmed skulle den pågående övergödningen också kunna minskas (Jordbruksverket.se, 2018a).

6. Slutsats

Trots mer och mer forskning som pekar på vatten som en begränsad naturresurs och studier som visar att jordbruket är ett område där en effektiv återanvändning av avloppsvatten skulle kunna ske, saknas entydiga riktvärden från EU, WHO, Sverige och andra länder kring återanvändning av avloppsvatten för jordbruksändamål. Dock har EU tagit fram ett förslag till riktlinjer för gränsvärden för olika ämnen i avloppsvatten avsett för jordbruksändamål. Vad gäller både förslaget från EU och gällande regelverk för avloppsvatten i Sverige kan sägas att:

- i Sverige finns endast gränsvärden för utsläpp av avloppsvatten till sjöar, vattendrag och havsmiljöer
- i samtliga föreslagna eller gällande regelverk saknas gränsvärden för tungmetaller för avloppsvatten för bevattningsändamål
- inte heller gränsvärden för läkemedel och salter finns med i EU:s förslag eller svenska regelverk

Nitton av de 27 undersökta reningsverken uppfyller kraven för att avloppsvattnet skall kunna användas för bevattning i jordbruket om EU:s regelverk införs.

Åtta av 27 undersökta reningsverken uppfyller inte kraven för att avloppsvattnet skall kunna användas för bevattning i jordbruket.

- Den totala kvävekoncentrationen är den största bidragande faktorn till att gränsvärden överskrids.
- Om man även tar hänsyn till tungmetaller och applicerar gränsvärden som gäller för slamrestprodukter från avloppsreningsverk för jordbruksändamål, blir det tydligt att zink är den enskilt största begränsande faktorn för hur mycket avloppsvatten som kan återanvändas per hektar.

För att vattnet skall hålla en god kvalitet, föreslås det baserat på denna studie, att:

- en minskning av kväve i avloppsvattnet sker där halten är för hög. Detta för att säkerställa att människors och djurs hälsa inte riskeras, men också för att värna om miljön kring våra sjöar och vattendrag då kväve kan leda till övergödning
- minimikraven för slam appliceras på avloppsvattnet till dess gränsvärden finns för tungmetaller i avloppsvatten

- frekvent, pålitlig övervakning och mätning av olika påverkande ämnen, inklusive tungmetaller, säkerställs då detta kan antas vara viktigt för att hantera ett eventuellt motstånd som kan finnas för återanvändning av avloppsvatten. Satta gränsvärden måste ha evidens i forskning för att renat avloppsvatten skall kunna etableras som ett accepterat bevattningsalternativ
- koncentrationerna av zink reduceras för att öka den potentiella bevattningsvolymen. Om zink inte var den begränsande faktorn skulle bevattningsmängden kunna öka med hela 725%, vilket medför att rening av zink är prioriterande om bevattningsvolymerna skall öka
- Sverige fortsätter driva på att gränsvärden för tungmetaller, läkemedelsrester och salter läggs till i EU:s regelverk

7. Tack

Stort tack för stöd, vägledning och uppmuntran till:

Min handledare vid Lunds Universitet George K.S. Andersson, Centrum för miljö-
och klimatforskning (CEC)

Johan Lejonklev, Länsstyrelsen Skåne

Min kurskamrat Simon Lin

8. Referenser

Al-Jassim, N., Ansari, M., Harb, M. and Hong, P. (2015). Removal of bacterial contaminants and antibiotic resistance genes by conventional wastewater treatment processes in Saudi Arabia: Is the treated wastewater safe to reuse for agricultural irrigation?. *Water Research*, 73, pp.277-290.

Alcalde-Sanz, L. & Gawlik, B.M. (2017). Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - towards a water reuse regulatory instrument at EU level. doi:10.2760/887727.

Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B. and Mittal, N. (2008). Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*, [Hämtad 29 Maj. 2019], 111(4), pp.811–815.

Aquaexpert.se. (i.d.). Turbiditet - Grumlighet - Vattenanalys | Aqua Expert. [online] Tillgänglig vid: <http://aquaexpert.se/vattenanalys/termer/turbiditet> [Hämtad 22 Maj 2019].

Balkhair, K. and Ashraf, M. (2016). Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(1), pp.S32-S44.

Cederlöf, K. and Janson, R. (2016). Naturvårdsverkets författningssamling. Stockholm: Naturvårdsverket, pp.1-10.

Cordell, D., Drangert, J. and White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2), pp.292–305.

Cronholm, P. (2017). Avloppsvattnets miljöpåverkan. [online] Naturvårdsverket. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/Samar-miljon/Vatten/Avloppsvatten/> [Hämtad 10 apr. 2019].

Diederer, B. (2008). Legionella spp. and Legionnaires' disease. *Journal of Infection*, 56(1), pp.1-12.

Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J. and Zessner, M. (2016). Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Science of The Total Environment*, 571, pp.522-542.

Ek, A. (2018a). Miljö kvalitetsmålet Ett rikt odlingslandskap. [online] Naturvårdsverket. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Ett-rikt-odlingslandskap/> [Hämtad 15 apr. 2019].

Ek, A. (2018b). Miljö kvalitetsmålet Ingen övergödning. [online] Naturvårdsverket. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Ingen-overgodning/> [Hämtad 15 Apr. 2019].

emi.se. (n.d.). Statistik om kadmium i fosfatgödselmedel i Sverige. [online] Tillgänglig vid: <https://www.kemi.se/statistik/kortstatistik/produkter-och-branscher/kadmium-i-fosfatgodsmedel> [Hämtad 1 may 2019].

European Commission. (2018, Maj). Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on minimum requirements for water reuse. (COM (2018)337final)

Europeiska gemenskapernas råd. (1991, 05). Rådets direktiv av den 21 maj 1991 om rening av avloppsvattenfråntätbebyggelse. *Europeiska gemenskapernas officiella tidning*, 10,93–105. (91/271/EEG).

Europeiska Kommissionen (2018). BILAGOR till förslaget till Europaparlamentets och rådets förordning. Bryssel: Sverige, pp.1–36.

Folkhälsomyndigheten.se. (2013). Sjukdomsinformation om toxic shock syndrome (TSS) — Folkhälsomyndigheten. [online] Tillgänglig vid: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/toxic-shock-syndrome-tss-/> [Hämtad 22 Maj 2019].

Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volym 1. (2006). Geneva: World Health Organization, pp.1-144.

Hanjra, M., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F. and Jackson, T. (2012). Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215(3), pp.255-269.

Jaramillo, M.F. & Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10), pp.1-19.

Jordbruksverket (2017). Användning av avloppsslam på jordbruk. Jönköping: Jordbruksverket, pp.1-4.

Jordbruksverket.se. (2018a). Jordbruket och övergödningen – Jordbruksverket (i.d). [online] Tillgänglig vid: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ingenovergodning/jordbruketochovergodningen.4.4b00b7db11efe58e66b80001608.html> [Hämtad 13 maj 2019].

Jordbruksverket. (2018b, augusti). Remiss avseende förordning om återanvändning av vattenförslag från eu-kommissionen. (dnr.4.2.17 100 031/18)

Jordbruksverket (2018c). Remiss avseende Förordning om återanvändning av vatten - förslag från EU-kommissionen. Stockholm: Jordbruksverket, pp.1-4.

Kemikalieinspektionen (2011). Kadmiumhalten måste minska - för folkhälsans skull. En riskbedömning av kadmium med mineralgödsel i fokus. [online] Sandbyberg: Kemikalieinspektionen, pp.1–270. Tillgänglig vid: <https://www.kemi.se/global/rapporter/2011/rapport-1-11.pdf> [Hämtad 1 maj 2019]

Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y., Huang, Y. and Zhu, Y. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), pp.686–692.

Kiziloglu, F., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y. and Dursun, A. (2008). Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red

cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural Water Management*, 95(6), pp.716-724.

Kumar Sharma, R., Agrawal, M. and Marshall, F. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(2), pp.258–266.

Lefebvre, O. and Moletta, R. (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. *Water Research*, 40(20), pp.3671-3682.

Li, P., Wang, X., Allinson, G., Li, X. and Xiong, X. (2009). Risk assessment of heavy metals in soil previously irrigated with industrial wastewater in Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), pp.516-521.

Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y. and Jiao, W. (2015). Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences*, 39, pp.86-96.

Malm, P. and Berglund, P. (2006). Bevattning och växtnäringsutnyttjande. Jordbruksverket. [online] pp.1–36. Tillgänglig vid:
http://www.greppa.nu/download/18.37e9ac46144f41921cd19f7a/1402315650134/Bevattning_och_vaxtnaringsutnyttjande.pdf / [Hämtad 25 apr. 2019].

Mengel, K., Kirkby, E., Kosegarten, H. and Appel, T. (2001). Principles of plant nutrition. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.397.

Miljö -och energidepartementet (2018). Yttrande över remiss gällande förslag till EU-förordning om minimikrav för återanvändning av vatten. Malmö: Länsstyrelsen, pp.1–2.

Mohammad Rusan, M., Hinnawi, S. & Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215(1–3), pp.143–152.

Naturvårdsverket (2019). Vägledning om Naturvårdsverkets föreskrifter (NFS 2016:6) om rening och kontroll av utsläpp av avloppsvatten från tätbebyggelse. Stockholm: Naturvårdsverket, pp.1–23.

Quist-Jensen, C., Macedonio, F. and Drioli, E. (2015). Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse. *Desalination*, 364, pp.17-32.

Regeringskansliet (2018). Förordning om återanvändning av vatten 2017/18: FPM129. Stockholm: Miljö- och energidepartementet, pp.1–6.

Rådets generalsekretariat (2019). Förslag till EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING om minimumkrav för återanvändning av vatten. Bryssel: Rådets generalsekretariat, pp.1-69.

Statens Veterinärmedicinska Anstalt (2013). Antibiotikaresistens, ESBL-bildande E.coli i svenskt råvatten-en pilotstudie. Uppsala: Livsmedelsverket, pp.1–26.

Styrning, L. (2018). Tungmetaller - Kontrollwiki. [online] Kontrollwiki.livsmedelsverket.se. Available at: <https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/119/tungmetaller> [Hämtad 1 maj 2019].

Ternes, T., Bonerz, M., Herrmann, N., Teiser, B. and Andersen, H. (2007). Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances. *Chemosphere*, 66(5), pp.894–904.

Toze, S. (2006). Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 80(1–3), pp.147–159.

Utslappsiffror.naturvardsverket.se. (2019). Utsläpp i siffror - Biokemisk syreförbrukning, 7 dygn (BOD7). [online] Tillgänglig vid: <https://utslappsiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Organiska-amnen/Biokemisk-syreforbrukning-7-dygn-BOD7-/> [Hämtad 22 Maj 2019].

WANG, J., WANG, G. and WANYAN, H. (2007). Treated wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: Wastewater recycling in the loess area of China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(9), pp.1093–1099.

Windey, K., De Bo, I. and Verstraete, W. (2005). Oxygen-limited autotrophic nitrification–denitrification (OLAND) in a rotating biological contactor treating high-salinity wastewater. *Water Research*, 39(18), pp.4512–4520

9. Appendix

Appendix 1.

EU:s krav för minimifrekvens för kontroll för återanvänt avloppsvatten för bevattning för jordbruksändamål (Alcalde-Sanz, and Gawlik. 2017; Europeiska Kommissionen, 2018).

Vilken minimumfrekvens man bör mäta enligt EU						
Återvunnet vatten enligt klassificering	E.colie	BOD ₅	TSS	Turbiditet	<i>Legionella</i> spp. (när det är tillämpligt)	Intestinala nematoder (när det är tillämpligt)
Klass A	En gång i veckan	En gång i veckan	En gång i veckan	Kontinuerligt	En gång i veckan	Två gånger i månaden eller efter kontinuerlig bedömning utefter antal nummer av ägg i avfallsvattnet.
Klass B	En gång i veckan	Enligt direktiv 91/271/EEC	Enligt direktiv 91/271/EEC	-		
Klass C	Två gånger i månaden	Enligt direktiv 91/271/EEC	Enligt direktiv 91/271/EEC	-		
Klass D	Två gånger i månaden	Enligt direktiv 91/271/EEC	Enligt direktiv 91/271/EEC	-		

Appendix 1. Enligt direktiv 91/271/EEC kan reningsverk välja att applicera total koncentration eller procent av reduktion vid mätning. De rekommenderade gränsvärdena för BOD₅ och TSS är 25mg/l och 35 mg/l respektive. Riktvärdena redovisas i jämförande tabell (Europeiska gemenskapernas råd, 1991)

Appendix 2.

Fullständig uträkning av begränsande tungmetallen zink.

Genom att använda minimumfunktionen i Excel för alla representerade tungmetaller i varje enskilt avloppsreningsverk, kan den lägsta bevattningsmängden tas fram. För alla reningsverk visas det att zink har lägst bevattningsmöjligheter.

För att beräkna ut den maximala bevattningen utan närvaro av zink i avloppsvattnet, tas minimumvärdet från respektive tungmetall exkluderat zink.

Genom dessa två värden kan förbättringens möjlighet för bevattning utan att zink är det begränsande ämnet räknas ut genom att subtrahera maxbevattning utan zink l/ha/år med den nuvarande maximala bevattningen av zink l/ha/år.

Förbättringen utan zink kan därefter uttryckas i procent genom att dividera förbättringen utan zink med den verkliga bevattningsmöjligheten.

Ett medelvärde för alla reningsverk potentiella bevattningsmöjligheter om zink inte skulle vara det begränsande ämnet räknas sedan ut med hjälp av Excels medelvärddefunktion.

Den obegränsade koncentrationen räknas därefter ut genom att ta gränsvärdet för zink i slam och omvandla det från g/ha/år till mg/ha/år för att sedan dividera gränsvärdet för med nästa begränsande ämne.

Tillslut kan koncentrationen för nästa begränsande ämne plockas ut genom att jämföra den uträknade obegränsade koncentrationen av zink med tabellen.

Värden för maximalt accepterad bevattningsmängd hittas i tabell 7. del 1 samt del 2.

Nedan följer räkneexempel för Borgeby avloppsreningsverk:

Förbättring utan zink:

$$5555556 - 294118 = \frac{5261438 \text{ l}}{\text{ha}}/\text{år}$$

Förbättring i procent:

$$\frac{5261438}{294118} = 1789\%$$

Icke-begränsande zinkhalt:

$$25 \frac{000}{5555556} = 0.00450 \text{ mg/l}$$

