

# Reningsgrad och optimering av rotzonsanläggningar för enskilda avlopp



Signe Noresson

---

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik  
Institutionen för kemiteknik, LTH  
Examensarbete 2016



# Reningsgrad och optimering av rotzonsanläggningar för enskilda avlopp

av

Signe Noresson

Examensarbete nummer: 2016-14

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik  
Institutionen för kemiteknik  
Lunds Universitet

December 2016

Handledare: **Biträdande Universitetslektor Michael Cimbritz**  
Examinator: **Universitetslektor Åsa Davidsson**

Bild på framsida: Rotzonsanläggningen i Häglinge. Foto av Signe Noresson

---

**Postadress**  
Box 124  
221 00 Lund, Sweden  
**Webadress**  
[www.vateknik.lth.se](http://www.vateknik.lth.se)

**Besöksadress**  
Naturvetarvägen 14

**Telefon**  
+46 46-222 82 85  
+46 46-222 00 00  
**Fax**  
+46 46-222 45 26



# Förord

Tack till Åsa för examinationen av examensarbetet.

Tack till Michael för handledningen av examensarbetet.

Tack till Jim för assistans vid provtagningen och trevliga pratstunder i bilen.

Tack till Helena på Miljöbron för feedback på rapporten.

Tack till mamma Kaisa och Jonny för stöd och hjälp med artbestämningen av växter.

Tack till Lars-Anders för källhänvisningar och expertis om våtmarker

Tack till Yvonne på VA-SYD för sponsring av BOD<sub>7</sub> proverna.

Tack till min ekodator som inte har kraschat en enda gång.



## Summary

Two sub-surface horizontal flow wetlands (SSHFW) located in Anderslöv and Häglinge, Sweden were examined considering their ability to treat domestic wastewater from BOD<sub>7</sub>, total nitrogen and total phosphorous. The wastewater was first treated by a sludge well and a sub-surface vertical flow wetland in Anderslöv and an Aquatron® with urine separation, Aquatron® phosphorous trap and a sludge well in Häglinge before the water reached the SSHFW. The aim was to investigate whether the waste water treatment systems for the households fulfilled the treatment requirements from the Swedish Agency for Marine and Water Management (HaV) and by a literature review investigate methods to optimize the water treatment in the SSHFW, for example by choice of emergent makrophytes.

Water samples were taken from the inlet and the outlet of the SSHFW in August and October according to the recommendations from HaV. The concentration of BOD<sub>7</sub>, tot-P and tot-N were investigated in all samples and the total removal of these substances were calculated based on model values from HaV of initial concentration of BOD<sub>7</sub>, phosphorous and nitrogen in domestic waste water. According to the regulations from HaV, the water had been treated sufficiently from BOD<sub>7</sub>, phosphorous and nitrogen, except from three samples. The first one was the phosphorous removal in Häglinge in August. The reason for the bad phosphorous removal was because the urine separation and the Aquatron® phosphorous trap were out of order when the samples were taken. The second sample was the phosphorous removal in Anderslöv in August, however the removal almost reached up to the regulations from HaV. The third sample was the BOD<sub>7</sub> reduction in Häglinge in October. The reason for the low BOD<sub>7</sub> reduction was probably due to that the urine separation and Aquatron® phosphorous trap had recently been fixed when the samples were taken, thereby the microorganisms probably hadn't adapted to the lower amount of nutrients entering the SSHFW yet.

The choice of plants in the SSHFW had an effect on the water treatment capacity in several studies of SSHFW. Wetland plants were generally better at reducing the amount of BOD, phosphorous and nitrogen from the water than other plant species since wetland plants are adapted to this kind of habitat. The makrophyte species that were the best at treating water in a SSHFW in a Swedish climate zone were *Typha Latifolia*, *Phragmites australis*, *Glyceria Maxima* and *Juncus Effusus*. Apart from planting makrophytes in the SSHFW, the water treatment is also improved when the water in the SSHFW has a long retention time. An area of 5-15 m<sup>2</sup>/PE (PE = person equivalent) is recommended according to the Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket). In cold climates the water treatment can also be improved by isolating the SSHFW from frost and cold during wintertime and/or make the SSHFW larger to ensure a well- functioning water treatment. The phosphorous removal is particularly improved by choosing a type of sediment that is efficient at adsorbing phosphorous from the water. A high weight-percentage of calcium, ferrate and aluminum improves the adsorption capacity. Gravel of pumice rock could be a good choice of sediment in the SSHFW.





# Sammanfattning

Två horisontella våtmarksfilter (rotzonsanläggningar) i Anderslöv och Häglinge undersöktes med avseende på deras förmåga att rena BOD<sub>7</sub>, tot-N och tot-P från avloppsvatten från två enskilda avlopp. Båda rotzonsanläggningarna föregicks av andra avloppsreningskonstruktioner i avloppsanläggningarna, i Anderslöv av en trekammarbrunn och markbädd och i Häglinge av en Aquatron® med urinseparering, Aquatron® fosforfälla och en slamavskiljare. Syftet med examensarbetet var att undersöka om avloppsanläggningarna uppfyllde Havs- och Vattenmyndighetens (HaV) krav på reningsgrad för enskilda avlopp samt att genom litteraturstudier ta reda på hur reningsgraden hos en rotzonsanläggning kan optimeras, bland annat genom val av våtmarksväxter.

Vattenprover togs enligt HaV:s rekommendationer på inkommande och utgående avloppsvatten i augusti och oktober och undersöktes med avseende på koncentrationer av BOD<sub>7</sub>, tot-N och tot-P. Avloppsanläggningarnas totala reduktion av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve beräknades utifrån schablonvärden från HaV av ett hushålls initiala halter av dessa ämnen i avloppsvattnet. Reduktionen av närsalter hos båda avloppsanläggningarna låg över HaV:s riktvärden, förutom för tre av proverna. Den första gällde fosforreningen i Häglinge i augusti, vilket berodde på att urinsepareringen och fosforfällan var ur funktion vid provtagningstillfället. Det andra provet gällde fosforreningen i Anderslöv i augusti, där reningsgraden låg strax under riktvärdet. Det tredje provet där reningsgraden låg under HaV:s riktlinjer var BOD<sub>7</sub> reduktionen i Häglinge i oktober. Anledningen kan ha varit att urinsepareringen och fosforfällan nyligen hade satts i funktion igen, därmed hade mikroorganismerna förmodligen inte hunnit anpassa sig till de lägre halterna närsalter i rotzonsanläggningen.

Vilka växtarter som planteras i rotzonsanläggningen visade sig i studier påverka hur mycket BOD, fosfor och kväve som renas från vattnet. Växter som är anpassade för att växa i våtmarksmiljöer är generellt bättre på att rena vattnet. De växterna som renade vattnet mest från studier av rotzonsanläggningar och som kunde växa i Sveriges klimatzon var bredkaveldun (*Typha Latifolia*), vass (*Phragmites australis*), jättegröe (*Glyceria Maxima*) och vecketåg (*Juncus Effusus*). Förutom att plantera växter kan vattenreningen i en rotzonsanläggning förbättras av en lång uppehållstid i anläggningen, en area på 5-15 m<sup>2</sup>/PE (PE = Personekvivalent) är rekommendationen från Naturvårdsverket. Om rotzonsanläggningen är anlagd i en kall klimatzon kan vattenreningen också förbättras genom att isolera anläggningen från kyla och/eller överdimensionera anläggningen för att behålla en god rening vintertid. Fosforreningen kan förbättras genom att välja ett substrat i rotzonsanläggningen som har en hög viktsprocent kalcium, järn och aluminium för att främja fosforadsorption. Grus av pimpsten kan med fördel väljas som substrat i rotzonsanläggningen.



# Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	2
1.2	Begränsningar	2
1.3	Rapportens upplägg	2
2	Våtmarker som vattenreningsmetod	3
2.1	Kemisk nedbrytning av kväve, fosfor och BOD	3
2.1.1	Kvävecykeln	4
2.1.2	Fosfor	4
2.1.3	Organiskt material, BOD	4
2.2	Fosfor och kväveupptag i olika våtmarkstyper	4
2.2.1	Horisontellt våtmarksfilter - Rotzonsanläggning	5
2.2.2	Vertikalt våtmarksfilter – Markbädd	6
2.2.3	Våtmark med öppen vattenyta	7
3	Material och Metod	9
4	Växter i rotzonsanläggningen	11
4.1	Val av växter	11
4.2	Skötsel av rotzonsanläggningen	13
5	Dimensionering av rotzonsanläggningen	15
5.1	Uppehållstid	15
5.2	Vattentemperatur	16
5.3	Växter	16
5.4	Substrat	16
5.5	Faktorer som inte går att påverka	17
6	Teknisk beskrivning avloppsanordningar	21
6.1	Aquatron® 4x100	21
6.2	Fosforfilter	22
6.3	Trekammarbrunn/Slamavskiljare	22
6.4	Markbädd	23
6.5	Rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge	23
6.6	Avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge	24
6.6.1	Anderslöv	24
6.6.2	Häglinge	25
7	Riktlinjer och uppskattningar av näringsutsläpp	26
7.1	Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer för enskilda avlopp	26

7.2	Uppskattning av näringsutsläpp till rotzonsanläggningarna	27
7.2.1	Häglinge näringsutsläpp	28
7.2.2	Anderslöv näringsutsläpp	30
7.3	Uppskattning rotzonsanläggningarnas reningskapacitet	31
7.3.1	Förväntad reduktion av fosfor och kväve i Anderslöv och Häglinge	31
7.4	Vattenanvändning i hushåll i Europa	32
8	Provtagning	37
8.1.1	Rekommenderad provtagningsmetodik enligt HaV	38
8.1.2	Jämförelse med HaV:s provtagningsrekommendationer	38
8.2	Undersökning av BOD <sub>7</sub>	39
8.2.1	Laborationsundersökning BOD <sub>7</sub> – material, kemikalier och lösningar	39
8.2.2	Laborationsundersökning BOD <sub>7</sub> – metod	39
8.3	Undersökning av Tot-P och Tot-N	40
9	Resultat	41
10	Diskussion	45
10.1	Resultat från augusti	45
10.2	Resultat från oktober	45
10.3	Jämförelse med uppskattad rening	46
10.3.1	Reningsgrad	46
10.3.2	Halter i in och utflöde	47
10.4	Osäkerhetskällor	47
10.5	Uppfylls Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer?	48
10.6	Hur kan vattenreningen förbättras	48
10.6.1	Rotzonsanläggningen	48
10.6.2	Hela avloppsanläggningen	50
11	Slutsats	51
11.1	Framtida studier	51
12	Referenser	53
13	Bilagor	57
13.1	Bilaga 1: Nomenklatur	57
13.2	Bilaga 2: Specifik yta av olika material från Bara Mineraler	58
13.3	Bilaga 3: Spädningsschema vid bestämning av BOD	59
13.4	Bilaga 4: Populärvetenskaplig sammanfattning	60

# 1 Inledning

I vår del av världen finns en stor tillgång på rent vatten, tack vare de många vattenreservoarer som utgörs av sjöar, akvifärer och våtmarker. När vattnet transporteras mellan och genom dessa vattenreservoarer sker en biologisk och fysisk rening av vattnet via sedimentation och adsorption av partiklar och biologisk nedbrytning av näringsämnen. Våtmarker är väl lämpade för vattenrening tack vare deras långsamma vattengenomströmning och höga biologiska aktivitet. Under 1800-talet och 1900-talet dikades många våtmarker ut för att skapa ny jordbruksmark, vilket resulterade i att ca 3 miljoner ha våtmark försvann (Ingesson 1996; Land et. al. 2016). Färre våtmarker innebär färre platser för vattnet att renas på och detta tillsammans med jordbrukets höga användning av gödningsmedel i form av fosfor och kvävetillskott har bidragit till den ökade övergödningen av våra vattendrag och Östersjön, med syrefria botten och algbloomning som följd (Brönmark & Hansson 2005). För att åtgärda problemet har man i Sverige sedan 1990-talet i relativt stor skala restaurerat och anlagt nya våtmarker för att förbättra vattenkvaliteten på utgående vatten till Östersjön (Land et. al 2016). En vanlig åtgärd är att anlägga någon form av våtmark i anslutning till platser där höga koncentrationer näringsämnen släpps ut, till exempel vid jordbruksfält, vissa industrier eller enskilda avlopp.

Företaget Hustech är återförsäljare av produkten Aquatron® 4x100 som är en mulltoalett med vattenklosett för enskilda avlopp. Det som spolats ner i toaletten transporteras till en kompostanläggning där det fasta avfallet avskiljs och det näringsrika vattnet rinner igenom. Lakvatten och BDT-vatten (vatten från bad, dusch och tvätt i hushållet) transporteras sedan till en fosforfälla och slamavskiljare för att slutligen nå en rotzonsanläggning, även kallat horisontellt våtmarksfilter, vilket är en våtmark utan synlig vattenyta (Wetlands International 2003). I rotzonen växer ett urval växter i syfte att ta upp näringen från vattnet. Målet för anläggningen är att det utgående vattnet ska ha renats till nivåer enligt Havs- och Vattenmyndighetens rekommendationer.

Hustech har installerat två rotzonsanläggningar; den ena i Häglinge (2.5 m<sup>3</sup>) och den andra i Anderslöv (5 m<sup>3</sup>) (Se figur 1). I Häglinge är rotzonsanläggningen kopplad till en Aquatron® och i Anderslöv är rotzonsanläggningen anlagd som ett komplement efter en befintlig trekammarbrunn och markbädd. Hustech vill ha siffror på hur effektiva rotzonsanläggningarna är på att rena vattnet från näringsämnen för att ha som grund att stå på vid diskussioner med nya kunder. Hustech vill även veta vilka egenskaper hos anläggningen som är mest betydande vid vattenreningen, till exempel urinseparering eller retentionstid. Hustech är också intresserad av hur valet av växter i rotzonen kan optimeras för ett mer effektivt näringsupptag.



Figur 1: Fotografi av rotzonsanläggningarna i Anderslöv (till vänster) och Häglinge (till höger). Fotograf: Signe Noresson.

Det finns ett stort intresse av att implementera miljövänliga åtgärder och ekosystemtjänster till ingenjörstekniska problem så som vattenrening i och med vår strävan att värna om miljön. Att konstruera och anlägga våtmarker i reningssyfte är ett stadigt växande intresseområde. Undersökningar och utvärderingar från examensarbetet kommer förhoppningsvis att bidra till kunskap om hur konstruerade våtmarker kan optimeras för att förbättra reningen av vatten från enskilda avlopp och liknande former av näringsrikt vatten.

## 1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att genom undersökningar av vattnet i rotzonerna och litteraturstudier:

- ☒ Undersöka om reningsanläggningarna uppfyller Havs- och Vattenmyndighetens krav på vattenrening för enskilda avlopp
- ☒ Ge förslag kring hur valet av växter i rotzonsanläggningarna kan optimeras, med mål att öka upptaget av fosfor och kväve från vattnet
- ☒ Föreslå hur utformningen av rotzonsanläggningar kan optimeras för effektivare rening av fosfor och kväve.

## 1.2 Begränsningar

Eftersom studien utgick från 2 provtagningar av avloppsvattnet visar resultaten på en indikation av hur vattnet renas innan och i rotzonsanläggningen, men för ett mer tillförlitligt resultat är fler provtagningar nödvändiga. Fler prover behövs även för att utläsa variationen av halterna BOD, total fosfor och total kväve i avloppsvattnet. Studien är inriktad på rotzonsanläggningar i Sveriges klimatzon.

## 1.3 Rapportens upplägg

Rapporten inleds med en teoretisk del om våtmarker; hur vattenreningen av BOD, fosfor och kväve går till med exempel på olika våtmarkstyper. Sedan följer avsnittet Material och Metod som beskriver hur arbetsprocessen med examensarbetet har gått till för att besvara frågeställningarna i rapportens syfte. En litteraturstudie följer sedan om hur fosfor och kväveupptaget i våtmarken kan optimeras med bland annat val av våtmarksväxter.

Litteraturstudien övergår sedan i en beskrivning av avloppsanordningarna som är komponenter i de enskilda avloppen samt en beskrivning av hela avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge. Sedan följer ett kapitel med rekommendationer från Havs- och Vattenmyndigheten om enskilda avlopp samt uppskattningar av fosfor- och kvävekoncentrationer in och ut från de enskilda avloppen. Där ingår ett avsnitt om hur den genomsnittliga vattenförbrukningen i hushållet varierar mellan Europeiska länder och vilken påverkan vattenmängden har för de utgående halterna näringsämnen.

Därefter beskrivs provtagningen och laborationsundersökningarna av avloppsvattnet i Anderslöv och Häglinge, följt av ett resultat av undersökningarna. Slutligen följer en diskussion av resultatet med osäkerhetskällor samt en diskussion och slutsats om Havs- och Vattenmyndighetens krav uppfylls för anläggningarna och förslag på hur rotzonsanläggningarna samt hela avloppsanläggningarna kan optimeras för bättre rening av avloppsvattnet.

## 2 Våtmarker som vattenreningsmetod

Våtmarker fungerar som naturens eget vattenreningssystem och anlagda våtmarker används i detta syfte på flera platser i världen. Vattenrening brukar delas in i primär, sekundär och tertiär rening. Primär rening innebär att större partiklar avlägsnas från vattnet via sedimentering och slamavskiljning, medan sekundär och tertiär rening innebär en biologisk- respektive biologisk-kemisk rening av vattnet (Naturvårdsverket 2010). I länder som USA, Australien och Nya Zeeland används våtmarker oftast till tertiär rening av avloppsvatten. I Europa är det vanligare att designa våtmarker för sekundär avloppsvattenrening (Wetlands international 2003), det kan gälla bland annat hushållsvatten från enskilda avlopp, dagvatten från urbana områden eller avrinningsvatten från jordbruksmarker. I Sverige har man konstruerat och restaurerat våtmarker i relativt stor skala sedan 1990-talet, eftersom många våtmarker dränerades under 1800- och 1900-talet för att användas till åkermark (Land et.al. 2016).

Att anlägga och restaurera våtmarker är en direkt åtgärd till att närma sig Sveriges miljökvalitetsmål *Myllrande våtmarker* och ett steg på vägen mot miljökvalitetsmålet: *Ingen övergödning* (Naturvårdsverket 2016). Åtgärden är även en del av planen för Baltic Sea Action Plan (BSAP) som Sverige är delaktig i för att minska utsläppen av närsalter i Östersjön (Naturvårdsverket 2009). Fördelar med att använda våtmarker för att rena vatten från närsalter är att metoden är billig, lättskött och att våtmarken kan öka biodiversiteten i området samt skapa ett snyggt inslag i landskapsbilden med möjlighet för rekreation (Wetlands International 2003; Coleman et. al. 2001). Begränsningar med att använda våtmarker är att ytbehovet kan vara relativt stort och att reningsgraden kan variera mellan olika våtmarker från 20-70% för fosfor och 30-50% för kväve (Land. et.al. 2016). En balans av N:P i vattnet är nödvändig för att få en effektiv rening av närsalter, men om vattnet som ska renas är hushållsavloppsvatten brukar detta inte vara något problem (Tylová et. al. 2013; Havs- och vattenmyndigheten 2016). Om fällningskemikalier används, till exempel för att förbättra fosforreningen, bör dessa tillsättas i en kammare före eller efter våtmarken (Brix & Arias 2005).



*Figur 2: Ökad biodiversitet i rotzonsanläggningar; Grodarten ätlig groda som planerat att gå i dvala i Anderslövs rotzonsanläggning. Foto: Signe Noresson.*

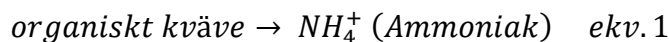
De tre vanligaste utformningarna av våtmarker är: våtmarker med öppen vattenyta, horisontella våtmarksfilter och vertikala våtmarksfilter (Land et. al. 2016). Rapportens litteratursammanställning kommer lägga fokus på funktionen hos våtmarker av typen horisontella våtmarksfilter då rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge är konstruerade på detta sätt. Dock kommer även andra våtmarksvarianter att ingå för jämförelse av reningskapacitet.

### 2.1 Kemisk nedbrytning av kväve, fosfor och BOD

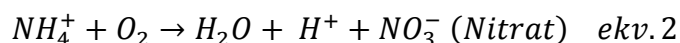
För att förklara hur reningen av kväve, fosfor och BOD fungerar i ett våtmarkssystem behövs först en förståelse av de kemiska reaktionerna som ligger bakom processerna. Nedan följer en kemisk beskrivning av hur kväve, fosfor och BOD avlägsnas från avloppsvatten.

### 2.1.1 Kvävecykeln

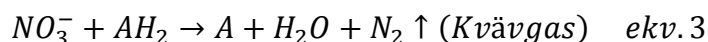
Det största kvävetillskottet i avloppsvatten kommer från urin och fekalier som innehåller stora mängder organiskt kväve (Havs- och vattenmyndigheten 2016). Det första steget i kvävecykeln är att organiskt kväve bryts ner i en anaerob miljö till ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) (se ekvation 1). Nedbrytningen utförs av bakterier i avloppsvattnet (Hammer & Hammer 2012).



Nästa steg som kallas nitrifikation är att kvävet bryts ner från ammoniak till nitrit ( $\text{NO}_2$ ) och nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Till det behövs en aerob miljö och nitrifikationsbakterier. Omvandlingen sker enligt ekvation 2 (nitrit omvandlas till nitrat så snabbt, så det steget hoppas över i ekvation 2).



Till det sista steget i kvävecykeln då nitrat omvandlas till kvävgas krävs det en anaerob miljö och en organisk kolkälla ( $\text{AH}_2$ ) som ger ifrån sig 2 väteatomer i reaktionen (se ekvation 3). Denitrifikationsbakterier är fakultativt anaeroba och använder syre från nitrat för respiration, om de i första hand inte har tillgång till löst syre i vattnet (Ingesson 1996). Kvävgasen som bildas lämnar vattnet genom att stiga upp till ytan.



### 2.1.2 Fosfor

De vanligaste formerna av fosfor som förekommer i avloppsvatten är organiskt bundet fosfor, ortofosfat (kallas även fosfat) och polyfosfater. Fosfor renas från avloppsvatten genom biologisk rening, kemisk rening och sedimentation av partikulärt fosfor (Hammer & Hammer 2012). Den kemiska reningen utgörs till största delen av adsorption av löst fosfor. Fosfor binder lätt till järn, aluminium eller kalcium och kan om dessa ämnen finns tillgängliga adsorbera på sedimenten i våtmarken. Vid syrerika förhållanden och lågt pH är aluminium och järn mest effektivt för adsorption av fosfor medan kalcium fungerar bättre vid högre pH (Ulén 2005). Vid biologisk rening bryts organiskt bunden fosfor och polyfosfater ner till fosfat genom bakteriell nedbrytning eller hydrolys. Fosfat tas sedan upp från avloppsvattnet via biologiskt upp-tag av bakterier, alger och makrofyter (Hammer & Hammer 2012; Ulén 2005).

### 2.1.3 Organiskt material, BOD

BOD är en förkortning för *Biological Oxygen Demand* och är ett mått på hur många gram syre per liter vatten som förbrukas i ett vattenprov som stått under inkubation i mörker och konstant temperatur under ett bestämt antal dygn. Mätningen av  $\text{BOD}_7$  innebär att vattenprovet har stått i inkubation under 7 dygn (SS-EN\_1899-1). Ju högre andel biologiskt material som finns i vattnet desto högre BOD-värde eftersom mer syre krävs för att bryta ner mer biologiskt material (Bötter 2003).

## 2.2 Fosfor och kväueupptag i olika våtmarkstyper

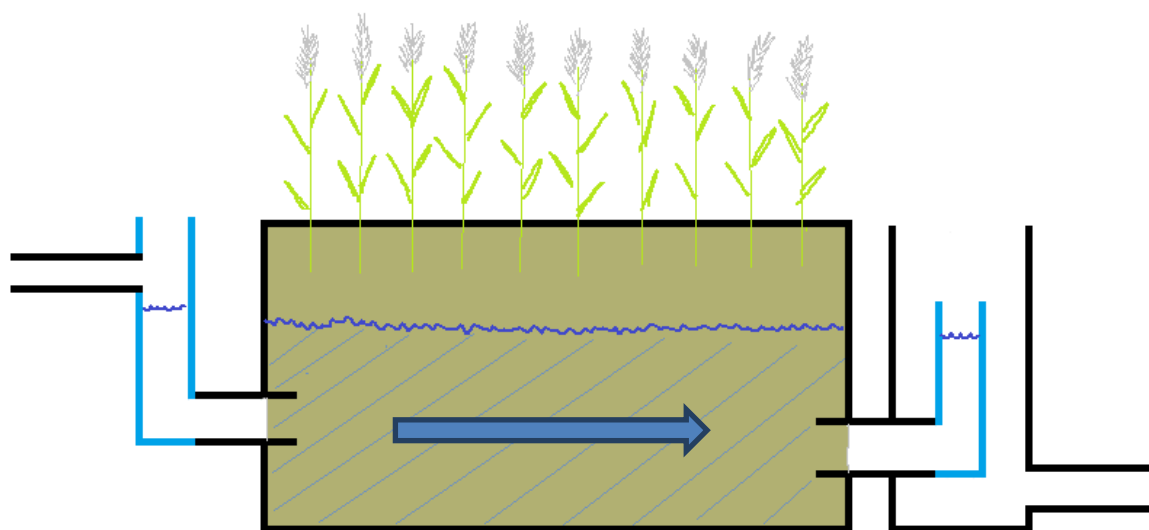
De kemiska och biologiska processerna för fosfor och kväverening från avloppsvatten är densamma för alla tre våtmarkstyper (horisontellt våtmarksfilter, vertikalt våtmarksfilter och våtmark med öppen vattenyta) men eftersom systemen är utformade på olika sätt sker de olika processerna i större eller mindre omfattning. En beskrivning av hur processerna går till i våtmarkerna följer i samband med presentationen av de tre olika våtmarkstyperna. Eftersom rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge tillhör kategorin *Horisontellt våtmarksfilter*



presenteras denna våtmarkstyp först, med en ingående beskrivning av hur kväve, fosfor och BOD renas från vattnet.

### 2.2.1 Horisontellt våtmarksfilter - Rotzonsanläggning

I Nordeuropa är det vanligt att använda våtmarksfilter till att rena vatten, vilket är våtmarker utan synlig vattenyta (Wetlands International 2003). *Horisontella våtmarksfilter*, eller rotzonsanläggningar, är konstruerade så att vattnet som går in i systemet transporteras genom ett permeabelt medium (oftast sand, grus eller jord) där det växer våtmarksanpassade växter (makrofyter), för att sedan nå ett utflöde längre fram i horisontell riktning (Se figur 3). Omväxlande vattenmättade och vattenomättade zoner i sedimentet bidrar till att aeroba och anaeroba zoner uppkommer i våtmarken (Land. et al. 2016). Ytbehovet för ett horisontellt våtmarksfilter ligger mellan 5-15 m<sup>2</sup>/PE. Vattnet förväntas renas 95% från BOD<sub>5</sub> och 50% från tot-P resp. tot-N om den är dimensionerad enligt 5 m<sup>2</sup>/PE (Palm et al. 2002).



Figur 3: Skiss av ett horisontellt våtmarksfilter.

#### **Reduktion av syreförbrukande substanser (BOD)**

I en våtmark minskar BOD i och med att mikroorganismer konsumerar biologiskt material från vattnet som energikälla och omvandlar det till koldioxid och vatten. Nedbrytningen kan ske både aerobt och anaerobt, dock är aerob nedbrytning mycket snabbare (Bötter 2003). De aeroba zonerna i det horisontella våtmarksfiltret är därmed fördelaktiga vad gäller att minska BOD från vattnet. Studier där primärt (och i några fall sekundärt) behandlat avloppsvatten renats ytterligare i horisontella våtmarksfilter har visat att rotzonerna haft en reningskapacitet av BOD på runt 70-90% för sekundär rening av avloppsvatten och runt 60% för tertiär rening. Olika studier har visat olika resultat vad gäller om reningsgraden för BOD ändras vid årtids-skiftningar; i vissa fall har en märkbar skillnad i reningsgrad detekterats medan reningsgraden i andra studier knappt har skilt sig sommartid och vintertid. Skillnaden i reningsgrad tycks minskas/elimineras om det finns växter i våtmarkerna (Vymazal & Kröpfelová 2008). Om BOD är högt när avloppsvattnet lämnar våtmarken och fosforreduktionen ligger på en bra nivå kan det betyda att det är något i avloppsvattnet som stör den biologiska nedbrytningen. Detta gäller för alla avloppsanordningar (Naturvårdsverket 2008).

### ***Nitrifikation***

I ett horisontellt våtmarksfilter tas kväve upp från vattnet av makrofyter, nitrifikations- och denitrifikationsbakterier. De omväxlande aeroba och anaeroba zonerna i det horisontella våtmarksfiltret ger bra förutsättningar för nitrifikations- och denitrifikationsbakterier då kvävecykeln inkluderar både aeroba och anaeroba reaktioner. Nitrifikationsbakterier finns både fritt i vattnet och på ytor i våtmarken. För nitrifikationsprocessen behövs tillgång till en aerob miljö, vilket bland annat finns att tillgå i det horisontella våtmarksfiltrets luftfyllda porer. Biologisk aktivitet i sedimentet av makroinvertebrater (små ryggradslösa djur) och rottillväxt av makrofyter bidrar till att skapa kanaler och gångar i substratet, vilket bidrar till att näringsrikt vatten och syre från luften får direktpassage in i sedimenten (Ingesson 1996). Dessutom bidrar makrofyter till att deras överskott av syre och organiskt kol från fotosyntesen släpps ut via rötterna i form av vattenlöst syre, socker och aminosyror. Makrofyter skapar därmed aeroba mikroklimat i den annars anaeroba miljön i rotzonens vattenmättade zoner, vilket skapar idealiska platser för nitrifikationsbakterier att verka. (Coleman et. al. 2001; Ingesson 1996). Studier som stärker växternas inflytande har visat att nitrifikationsprocessen (och följande denitrifikation) i vattnet följer växtsäsongen, vilket innebär sämre kväverening vintertid (Ingesson 1996).

### ***Denitrifikation***

På tillgängliga ytor i det horisontella våtmarksfiltret, till exempel substratytor, där den omgivande miljön är anaerob kan denitrifikationsbakterier bilda kolonier och reducera mängden nitrat från vattnet genom att omvandla den till kvävgas (Brönmark & Hansson 2005). Denitrifikation sker till största delen i sedimentet eftersom miljön där är syrefattig och organiskt kol finns tillgängligt. Processen fungerar som bäst vid varmare temperaturer upp till 25 °C (Ingesson 1996).

### ***Reduktion av fosfor***

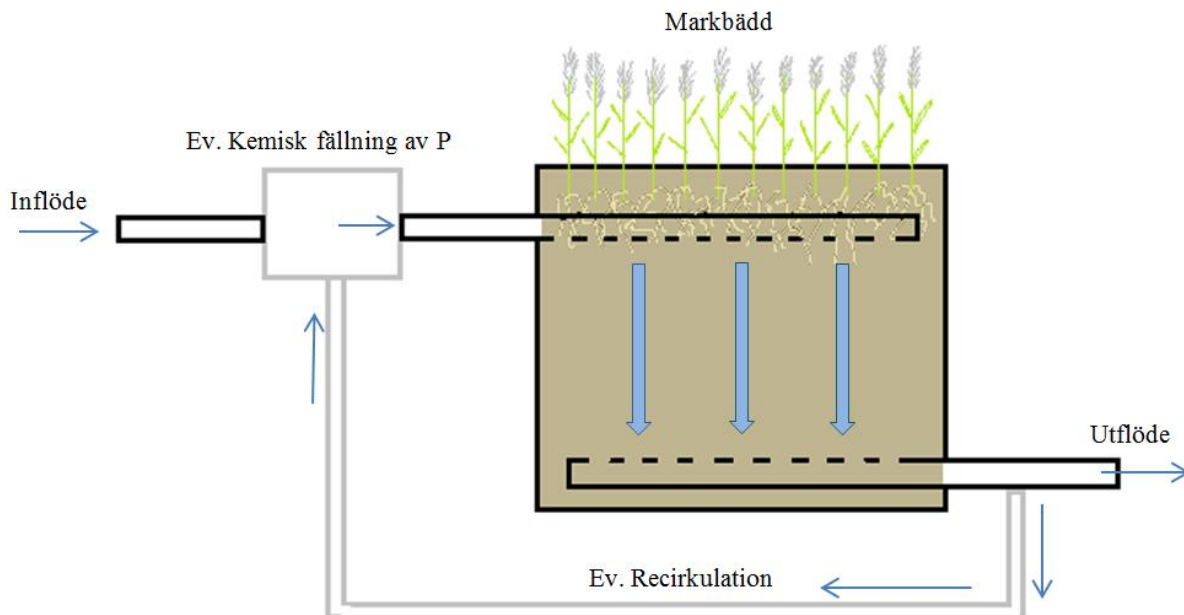
Fosfor tas upp av bakterier och makrofyter i form av fosfat och används till uppbyggnad av biomassa. Om mycket kol finns tillgängligt är bakteriernas konsumtion av fosfor större (Ulén 2005). Den största delen fosfor avlägsnas dock från vattnet genom sedimentation av partikulärt fosfor eller adsorption av löst fosfor på substratet i våtmarken (de-Bashan & Bashan 2004; Johnston 1993). Substrat som innehåller kalciumkarbonat, järn eller aluminium är bättre på att adsorbera fosfor (Ulén 2005; Arias et. al. 2001). Organiskt material kan konkurrera med fosfor om tillgängliga adsorptionsplatser, därför har ofta mineraljordar bättre förutsättningar att adsorbera fosfor än organiska jordar (Ulén 2005). Temperaturen har ingen påverkan på substratets förmåga att adsorbera fosfor (Kadlec & Reddy 2001; Bötter 2003).

I och med att vattnet sprids ut och saktas ner av substrat och rötter som blockerar flödet i det horisontella våtmarksfiltret, ökar sedimenteringen av närsalter (Brönmark & Hansson 2005). I experiment av Coleman et al., (2001) där ärtsingel användes som substrat i en våtmark förbättrades vattenkvaliteten trots att där inte fanns några växter. Dock var reningsgraden ännu bättre i våtmarker med både ärtsingel och växter, förmodligen på grund av att större partiklar sedimenterade och att biofilm bildades på gruset. Bakterier i biofilmen bidrar till fosforupptaget, men utbredningen av biofilmen i sig minskar vattnets kontaktyta med substratet och kan på sikt försämra fosforeringen i våtmarken (Brix & Arias 2005).

#### **2.2.2 Vertikalt våtmarksfilter – Markbädd**

Ett *vertikalt våtmarksfilter*, är ett omättat system med stor andel luftfyllda porer och därmed ett till större del aerobt system (Land et. al. 2016). Markbäddar är en typ av vertikala våtmarksfilter. Funktionen är att avloppsvattnet sprids ut via spridarledningar och rinner ner ge-

nom ett permeabelt medium (t.ex. sand) för att sedan samlas upp till ett utflöde en bit ner i marken (Se figur 4). Det är vanligt att markbädden har luftningsrör som går ner i bädden för att öka syresättningen (VA-Guiden AB 2015). Det utgående vattnet recirkuleras i vissa anläggningar för att främja denitrifikation i en syrefattig miljö innan vattnet återförs till markbädden (Brix & Arias 2005).



Figur 4: Skiss av ett vertikalt våtmarksfilter med kemisk fällning och recirkulation.

Ett vertikalt våtmarksfilter ger en effektiv nitrifikation och minskning av BOD hos avloppsvatten, men är oftast mindre bra på att reducera fosfor från vattnet. Fosforreningen minskar med tiden i och med att sandlagret i bädden blir mättat på fosfor (Naturvårdsverket 2008). Hos vissa reningsanläggningar är därför ett fosforfilter kopplat före eller efter markbädden där fosfor reduceras från vattnet genom kemisk fällning. Den nödvändiga ytan för en markbädd är  $3.2 \text{ m}^2/\text{PE}$  enligt danska riktlinjer för att uppnå en rening av 95% BOD och 90% ammonium och 90% totalfosfor, men då måste recirkulation och separat kemisk fällning vara en del av systemet (Brix & Arias 2005). För en anläggning utan recirkulation ligger ytbehovet på ungefär samma storlek som för en rotzonsanläggning,  $5\text{-}15 \text{ m}^2/\text{PE}$ . För markbäddar dimensionerade efter  $5 \text{ m}^2/\text{PE}$  eller större ligger reningsgraden för BOD generellt på en hög nivå ( $\sim 90\%$ ) och fosforreningen på omkring 50%. Reningen av tot-N kan däremot variera stort mellan anläggningar (10-80%) (Palm et. al. 2002).

### 2.2.3 Våtmark med öppen vattenyta

Våtmarker med öppen vattenyta har ofta ett djup på omkring 0.1 – 2 m (Land et. al. 2016) och är en mycket vanlig våtmarks konstruktion i Nordamerika för vattenbehandling (Wetlands International 2003). Bortsett från vid vattenytan är en våtmark med synlig vattenyta ett relativt anaeroft system då vatten innehåller mindre mängd syre än luft, även om lite syre finns tillgängligt. Nitrifikation sker främst vid ytskiktet av botten sedimentet eller vid makrofyternas rötter. Vattenväxter som växer under ytan bidrar även med syre direkt till vattnet och bistår därmed med fler aeroba zoner för nitrifikation, men kan även då minska benägenheten för denitrifikation (Ingesson 1996). Om en termoklin (skikt mellan varmt ytvatten och kallt vatten på botten som förhindrar omblandning av vattnet i reservoaren) bildas kommer nitrifikation

ske i den övre delen av våtmarksdammen som är aerob och denitrifikation i den nedre anaeroba delen. En termoklin kan försvåra utbytet av nitrat från våtmarksdammens övre del till den nedre delen och därmed begränsa denitrifikation (Brönmark & Hansson 2005). Reduktionen av BOD i dessa våtmarker brukar ligga på 60-80% (Crites et. al. 2005).

Ju mer växtlighet denna typ av våtmark har desto högre är upptaget av fosfor och kväve tack vare att; makrofyter i sig tar upp ammonium, nitrat och fosfat, vattenflödet blockeras och saktas ner av växterna, växternas rotzon skapar aeroba mikroklimat och makrofyternas blad, stammar och rötter kan användas till yta för nitrifikations- och denitrifikationsbakterier att bilda kolonier (Brönmark & Hansson 2005; Ingesson 1996). Våtmarker med öppen vattenyta är mer benägna att frysa på vintern än våtmarksfilter, vilket har en negativ inverkan på reningsgraden vintertid (Kadlec & Reddy 2001; Bötter 2003).

### 3 Material och Metod

En litteraturstudie gjordes för att svara på frågeställningarna om och hur vattenreningen i rotzonsanläggningar kan optimeras med val av växter eller med andra metoder. Sökningar genom bland annat Science Direkt och Google gjordes för att finna vetenskapliga artiklar om rotzonsanläggningar där vattenreningen optimerades på olika sätt. Relevanta resultat från studierna sammanställdes i avsnitten 4 Växter i rotzonsanläggningen och 5 Dimensionering av rotzonsanläggningen.

För att besvara frågeställningen om rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge uppfyller Hav- och Vattenmyndighetens krav på vattenrening gjordes provtagningar av avloppsvattnet i anläggningarna. Reningsgraderna för rotzonsanläggningarna och avloppsanläggningarna i stort utvärderades utifrån de uppmätta koncentrationerna av BOD<sub>7</sub>, Tot-P och Tot-N i inflödet och utflödet av rotzonsanläggningarna och uppskattade initiala halter i avloppsvattnet från Havs- och Vattenmyndighetens schablonvärden. För att få en bild av hur reningsgraden påverkades av årstidsväxlingar, retentionstid och då nytt avloppsvatten pumpades in i systemet, togs vattenprover i augusti och oktober 2016 på:

- ✘ Inkommande vatten till rotzonsanläggningarna.
- ✘ Utgående vatten som renats i rotzonsanläggningarna
- ✘ Utgående vatten från rotzonsanläggningarna då färskt avloppsvatten pumpats in.

För att öka förståelsen för vattenreningen i avloppsanläggningarna i stort gjordes även en litteraturstudie om de olika avloppsanordningarna i Anderslöv och Häglinge i avsnitt 6 Teknisk beskrivning avloppsanordningar. Data om de olika avloppsanläggningarna kommer från Naturvårdsverket, Aquatron® och Vinnerås (2002).

I avsnitt 7 Riktlinjer och uppskattningar av näringsutsläpp, sammanställdes Havs- och Vattenmyndighetens krav på vattenrening från enskilda avlopp tillsammans med bedömningsunderlag från Havs- och Vattenmyndigheten och Naturvårdsverket. En uppskattning av hur mycket fosfor och kväve som gick in och som renades från avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge gjordes också för att jämföra den uppskattade reningen med den uppmätta reningen i anläggningarna. Ett avsnitt om vattenanvändningen i hushåll i Europa gjordes för att belysa hur vattenanvändningen i hushållet påverkar hur mycket näringsämnen som släpps ut via avloppsvattnet och hur det kan påverka bedömningen av hur mycket näringsämnen som reducerats i avloppsanläggningarna.



## 4 Växter i rotzonsanläggningen

Om växter planteras i rotzonsanläggningen förbättras fosfor och kvävereningen samtidigt som anläggningen blir mer estetiskt tilltalande (Brix 1997; Coleman et. al. 2001). Olika växtarter är olika bra på att ta upp kväve och fosfor, vilket innebär att ett genomtänkt val av växter kan bidra till bättre vattenrening i rotzonen (Coleman et. al. 2001; de-Bashan & Bashan 2004; Ojoawo et. al. 2015; Li et. al. 2013).

### 4.1 Val av växter

Grundläggande krav som växterna i rotzonen behöver uppfylla är att de klarar av att växa i rådande odlingszon, tål att stå i vatten, har rötter som kan växa i det rådande substratet och trivs att växa i vatten med högt näringsinnehåll. Studier har visat på att *örtartade växter* generellt är bättre på att ta upp fosfor och kväve än vedartade växter (Johnston 1993) och att våtmarksväxter med *fintrådiga rötter* är bättre på att rena vatten från kväve och fosfor än vad växter med grövre rötter är. Det senare beror på att växter med fina rötter generellt har en högre fotosyntetisk aktivitet och släpper ut mer syre via rötterna, vilket gynnar den bakteriella nedbrytningen av näringsämnen (Lai et. al. 2011). Den totala vattenreningen i en våtmark har dessutom visat sig mer effektiv då flera arter makrofyter är närvarande, jämfört med monokulturer av makrofyter. Detta gäller framför allt för kvävereningen (Coleman et. al. 2001).

En sammanställning av utvalda våtmarksväxters förmåga att reducera BOD<sub>7</sub>, kväve och fosfor från horisontella våtmarksfilter visas i tabell 1. Tabellen inkluderar endast studier från horisontella våtmarksfilter som renar hushållspillvatten med växter som kan växa i Sveriges klimatzon.

Tabell 1: Ungefärlig procenthalt av hur mycket BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve som renas från avloppsvatten beroende på vilken växtart som växer i horisontella våtmarksfilter. Resultatsammanställning från 5 olika studier av rotzonsanläggningar med våtmarksväxter som kan växa i Sveriges klimatzon.

Olika växtarters reningseffektivitet av BOD <sub>7</sub> , Kväve och fosfor från avloppsvatten i horisontella våtmarksfilter						
Växtart	Svenskt namn	BOD <sub>7</sub>	Kväve	Fosfor	Typ av kväve, fosfor	Studie
Juncus Effusus	Veketåg	70%	50%	50%	Ammonium, totalfosfor	Coleman et. al. 2001
Scoenoplectus Tabernaemontani*	Blåsäv	70%	30%	30%	Ammonium, totalfosfor	Coleman et. al. 2001
Typha Latifolia	Bredkaveldun	80%	60%	60%	Ammonium, totalfosfor	Coleman et. al. 2001
Phragmites australis	Vass			> 90%	Totalfosfor	de-Bashan & Bashan 2004
Canna x Generalis	Canna Lily		50%	10%	Nitrat, fosfat	Ojoawo et. al. 2015
Canna Indica	Röd arrowrot		**60%	**20%	Totalkväve, totalfosfor	Li et. Al 2013
Iris Pseudacorus	Gul Svärdsilja		**30%	**20%	Totalkväve, totalfosfor	Li et. Al 2013
Glyceria Maxima	Jättegröe			> 90%***	Totalfosfor	Tylová et. al. 2013

\* Blåsäv har bytt namn från Scirpus Validus till Scoenoplectus Tabernaemontani sedan 2001

\*\* gäller endast växtens upptag av kväve/fosfor. Kväveupptag från mikrobiologisk aktivitet eller andra faktorer är inte medräknade

\*\*\* Fosforupptaget för jättegröe är större än för vass vid höga koncentrationer fosfor i vattnet, men exakta siffror på upptaget framgår inte av studien.

Växter som visat sig extra bra på att ta upp eller på annat sätt minska koncentrationen BOD<sub>7</sub>, kväve och fosfor från vattnet är bredkaveldun (*Typha Latifolia*) och veketåg (*Juncus Effusus*). Även vass (*Phragmites australis*) har visat på ett mycket högt fosforupptag. För jättegröe (*Glyceria Maxima*) fanns inga siffror på hur mycket fosfor eller kväve som togs upp, men vid höga fosforkoncentrationer i vattnet visade sig jättegröe ta upp större mängd fosfor än- och bilda dubbelt så mycket biomassa som vass (Tylová et. al. 2013). Eftersom vass mycket effektivt tar upp fosfor i horisontella våtmarksfilter, betyder det att även jättegröe renar vattnet väl från fosfor. Canna Lily (*Canna x Generalis*), Röd arrowrot (*Canna indica*), Blåsäv (*Scoenoplectus tabernaemontani*) och Gul svärdsilja (*Iris Pseudacorus*) har även de visat på ett visst upptag av kväve och fosfor. Bilder på växterna visas i figur 5 och 6. I de olika studierna har våtmarkerna konstruerats med varierande dimensioner, flöde och kvalitet på ingående vatten (Coleman et. al. 2001; de-Bashan & Bashan 2004; Ojoawo et. al. 2015, Li et. al. 2013). Därför kan reningsgraderna i tabell 1 inte tolkas som ett resultat utan snarare som indikation av makrofyternas reningspotential. Vilka växter som sedan tar sig bäst i rotzonsanläggningen i fråga får i sin tur avgöra vilka växter som är bäst lämpade för platsen. Att växterna tar sig och bildar mycket biomassa är ett bra kvitto på att växten tar upp mycket näringsämnen från vattnet (Li et. al. 2013). Ju större yta av våtmarken som täcks av växter, desto mer näring kommer också att tas upp från vattnet.





*Figur 5: Fotografier av fyra våtmarksväxter från tabell 1. Till vänster: Breckaveldun, fotograf: Anna-Lena Anderberg. Mitten-vänster: Vass, fotograf: Arne Anderberg. Mitten-höger: Veketåg, fotograf: Arne Anderberg. Till höger: Jättegröe, fotograf: Anna-Lena Anderberg. Bilderna är hämtade från (Anderberg & Anderberg 2016) med tillstånd från fotograferna.*



*Figur 6: Våtmarksväxter från tabell 1. Till vänster: Blåsäv, fotografi från NRM. källa: (Anderberg & Anderberg 2016). Mitten: Gul svärdslija, fotograf: Rickard Anderberg. källa: (Anderberg & Anderberg 2016). Till höger, övre bilden: Canna Lily, fotograf: Christine De-Merchant (DeMerchant 2016). Till höger, nedre bilden: Röd arrowrot, fotograf: Helen Nyman (Nyman 2016). Bilderna är hämtade från källorna med tillstånd från fotograferna.*

## **4.2 Skötsel av rotzonsanläggningen**

Förutom att öka det biologiska upptaget av näringsämnen i våtmarken bidrar makrofyternas rötter till att stabilisera markbädden, öka porositeten i substratet och kontaktytan med vattnet

och kan även till viss grad motverka risken att våtmarken fryser på vintern (Coleman et. al. 2001; Brix 1997). Därför bör man inte rensa bland växtligheten under hösten, för då tar man även bort frostskyddet. Dock kan en moderat rensning av vissna blad och stjälkar ovan mark i början av året stimulera en ökad tillväxt under sommaren (Brix & Arias 2005). Det är också nödvändigt att rensa och skörda bland frisk levande växtlighet, annars kommer näringen från växterna gå tillbaka till systemet när växterna vissnar och förmultnar (Brix 1997). Rensning görs med fördel på våren. När bladen slår ut innehåller de som mest fosfor och kväve som växten har lagrat under förra årets växtperiod. Därför avlägsnas mest fosfor och kväve om blad och stjälkar rensas under april/maj då växtligheten tar fart (Lawniczak 2011). Växterna behöver dock några blad och stjälkar kvar för att åter växa till sig under året.

Alla växter i tabell 1 förutom kannaväxterna växer vilt i Sverige och är därmed väl anpassade till vårt klimat (Mossberg & Stenberg 2003). De båda kannaväxterna härstammar från de tropiska regionerna av Asien och Nord- och Sydamerika, men går att odla i södra Sverige som trädgårdsväxt om man har gröna fingrar. Med lite tålamod och god skötsel kan man få dem till att övervintra (Svensson 2016).

## 5 Dimensionering av rotzonsanläggningen

När en rotzonsanläggning ska designas finns det främst fyra faktorer i dess konstruktion som påverkar hur väl vattnet i rotzonen kommer renas; uppehållstid, vattentemperatur, substratet som rotzonen fylls med och kompositionen av växter. Följande litteratursammanställning har därför utvärderat hur dessa fyra faktorer påverkar vattenreningen i en rotzonsanläggning. En sammanfattning av resultatet visas i tabell 2

Tabell 2: Dimensioneringsförslag för rotzonsanläggningar.

<b>Dimensioneringsförslag för rotzonsanläggningar</b>		
<b>Rekommendationer Naturvårdsverket</b>		
Ytbehov	5-15 m <sup>2</sup> /PE	
<b>Faktor</b>	<b>Konsekvens</b>	<b>Förslag på åtgärd</b>
Upphållstid	längre uppehållstid = bättre vattenrening	Utgå från NV*:'s rekommendationer på 5-15 m <sup>2</sup> /PE.
Kylig klimatzon	Nedbrytningsprocesser sker långsamt	Isolera rotzonsanläggning och avloppsrör från hushållet från kyla och låt transportsträckan från hushållet vara kort.
Substrat	Påverkar fosforreningen	Välj substrat med stor kontaktyta och hög halt kalcium, aluminium och järn.
Växter	Påverkar vattenreningen	Plantera en blandning av våtmarksväxter med högt näringsupptag. För växtförslag, se tabell 1.

\*NV = Naturvårdsverket

### 5.1 Upphållstid

Hur uppehållstiden i rotzonsanläggningar påverkar reningsgraden av BOD<sub>5</sub>, fosfor och kväve undersöktes i en 3-årig studie av Çakir et al., (2015) av en rotzonsanläggning indelad i tre lika stora sektioner med tre olika uppehållstider för vattnet. Studien visade att rotzonssektionen med längst uppehållstid (5.6 dagar) hade högst genomsnittlig reningsgrad av BOD<sub>5</sub> (65%). De två sektionerna med kortare uppehållstid (3.7 och 2.2 dagar) hade genomsnittliga reningsgrader på 58% respektive 50%. Reningsgraderna för fosfor och kväve följde samma mönster – längre uppehållstid genererade bättre fosfor- och kväverening (5.6 dagar; 28% fosfor- och 31% kväverening, 2.2 dagar; 16% fosfor- och 17% kväverening). För att öka uppehållstiden hos en rotzonsanläggning kan man öka anläggningens storlek. Det rekommenderade ytbehovet för en rotzonsanläggning ligger på 5-15 m<sup>2</sup>/PE enligt Naturvårdsverkets kunskapssammanställning om robusta, uthålliga små avloppssystem. Naturvårdsverket specificerar inte i vilka fall man bör använda 5 m<sup>2</sup>/PE respektive 15 m<sup>2</sup>/PE. Om rotzonsanläggningen är av storleken 5 m<sup>2</sup>/PE förväntas dock vattenreningen ligga på 95% reduktion av BOD<sub>5</sub> och 50% reduktion av tot-P respektive tot-N (Palm et. al. 2002). Om denna rening anses tillräckligt bra för platsen i fråga och arean av rotzonsanläggningen är en begränsande faktor (vilket ofta är fallet för många anläggningar) kan en rotzonsanläggning på 5 m<sup>2</sup>/PE vara tillräckligt stor för sitt ändamål. Om rotzonsanläggningen inte begränsas av platsbrist och en högre rening önskas uppnås kan den i teorin göras hur stor som helst, men efter en viss nivå blir det utgående vattnet ändå inte renare. Eftersom Naturvårdsverkets riktlinjer har ett maxvärde på 15 m<sup>2</sup>/PE kan det tänkas att vattenreningen i rotzonsanläggningen inte förväntas öka mycket mer om rotzonsanläggningen görs ännu större än 15 m<sup>2</sup>/PE.

## 5.2 Vattentemperatur

Vattnets temperatur har en viss påverkan för reningsgraderna av fosfor och kväve i och med att kallare temperaturer leder till minskad aktivitet för mikroorganismer och växter, vilket innebär ett minskat upptag av näringsämnen. Både nitrifikation och denitrifikation försämras vid kallare temperaturer (Werker et. al. 2001). Adsorption av löst fosfor och sedimentation av partikulärfosfor påverkas troligtvis väldigt lite av varierande vattentemperaturer (Kadlec & Reddy 2001). Reduktionen av BOD är temperaturberoende, men i rotzonsanläggningar är det möjligt att behålla en hög reduktion av BOD även vintertid i kallare regioner (Werker et. al. 2001).

Studier av Vymazal & Kröpfelová (2008) på en rotzonsanläggning i Tjeckien har visat på en obefintlig variation av reningsgraden (89% reningsgrad av BOD<sub>5</sub> både sommartid och vintertid). Det finns flera exempel från andra studier där temperaturskillnader sommartid och vintertid enbart har gett en liten eller obetydlig försämring i reningsgrad för BOD<sub>5</sub> (Vymazal & Kröpfelová 2008). Det finns flera förklaringar till att rotzonsanläggningar kan behålla en effektiv rening av BOD under kallare perioder. De flesta förklaringar beror på naturliga orsaker, till exempel att syre löser sig bättre i vatten vid lägre temperaturer vilket bidrar till mer aerob nedbrytning som är mycket snabbare än anaerob nedbrytning, eller att mikroorganismer som är bättre anpassade till kyla kommer kolonisera rotzonen då den anläggs i en kallare region (Werker et. al. 2001).

Problemet kvarstår att behålla en god rening vintertid för fosfor- och kvävereningen som är temperaturberoende. Fördelen med rotzonsanläggningar är att de i princip är nedgrävda i marken, vilket minskar risken att systemet fryser, men det finns även flera förebyggande åtgärder man kan vidta för att anläggningen ska hålla en något högre temperatur än utomhustemperaturen vintertid. Till att börja med kan rotzonsanläggningen omges med ett isolerande material, till exempel frigolit, för att bevara den värme som finns. Växter i rotzonsanläggningen bidrar också till att isolera anläggningen (Waara et. al. 2014; Werker et. al. 2001). Det är också bra om avloppsvattnet som går in i anläggningen för med sig värme från hushållet, vilket kan främjas om transporten utomhus är kort och rörledningarna är isolerade. Eftersom nedbrytningsprocesserna är långsammare vid lägre temperaturer kan man även öka storleken på våtmarken för att ge vattnet en längre retentionstid (Werker et. al. 2001).

## 5.3 Växter

Växter bidrar till att mer fosfor och kväve renas från vattnet (Coleman et. al. 2001) (för mer ingående beskrivning av hur växter förbättrar reningsgraden i rotzonsanläggningar, se avsnitt 4 Växter i rotzonsanläggningen). Vissa växtarter är bättre än andra på att rena vattnet från BOD, kväve och fosfor (se tabell 1) men generellt gäller att en rotzonsanläggning med flera olika växtarter renar vattnet bättre än en monokultur av växter (Coleman et. al. 2001).

## 5.4 Substrat

Eftersom en stor del av fosforeringen i en rotzonsanläggning utgörs av adsorption kan vattenreningen förbättras en hel del genom att vid konstruktionen av anläggningen välja ett substrat som effektivt adsorberar fosfor. Jord är mindre bra att använda som substrat då det ofta har en låg genomsläpplighet av vatten, vilket innebär att avloppsvattnet riskerar översvämma bädden istället för att flöda igenom den. Därför är det rekommenderat att använda substrat med en större kornstorlek, till exempel grus eller sand (Arias et. al. 2001). En stor kontaktyta till substratet innebär både fler platser för fosfor i vattnet att adsorbera på och fler platser för

bakteriekolonier som konsumerar fosfor och kväve att fästa på. Pimpsten (se figur 7) är en porös sten med många hålrum och har omkring 3.5 gånger större specifik yta än japansk granit (Njau et. al 2003).

Förutom kornstorleken och den specifika ytan på substratet, påverkar även substratets kemiska komposition hur väl fosfor tas upp från vattnet. Sand med högre andel järn, aluminium och speciellt kalcium tenderar till att rena vattnet från fosfor bättre än kvartsrik sand (Arias et. al. 2001). I studien av Arias et al., (2001) testades fosforupptagningsförmågan i rotzonsanläggningar för sand från 13 olika platser i Danmark. De bästa reningsgraderna låg på 70-80%, vilket var för sand med 60-70 vikts-% kalcium, 4-5 vikts-% järn och 2 vikts-% aluminium. Den sämsta reningsgraden på 20% var för kvartssand som innehöll <1 vikts-% kalcium, 1 vikts-% järn och <1 vikts-% aluminium. Pimpsten innehåller också höga halter kalcium, aluminium, järn och magnesium vilka alla bidrar till att fosfor adsorberas och avlägsnas från vattnet. I studien av Njau et. al. 2003 där pimpsten användes som sediment i rotzonsanläggningar, låg den bästa reningsgraden på 70%.



*Figur 7: Pimpsten som används som substrat i rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge. Foto: Signe Noresson*

## **5.5 Faktorer som inte går att påverka**

När våtmarker används som reningsmetod finns det ofta yttre faktorer som inte går att påverka som har en inverkan på anläggningens reningsgrad positivt eller negativt. Några exempel på detta är: tidigare markanvändning för platsen, hur rent det inkommande vattnet är eller i vilken klimatzon rotzonsanläggningen ligger i.

I en systematisk utvärdering av EviEM som är baserad på 203 våtmarker i Europa och Nordamerika, har en sammanställning gjorts på hur olika faktorer hos en våtmark påverkar reningsgraderna för Tot-P och Tot-N (Land. et. al. 2016). Resultatet från sammanställningen visas i tabell 3.

Tabell 3: Sammanställning över faktorer hos våtmarker som påverkar reningsgraden av Tot-N och Tot-P. Hämtad med tillstånd från (Land. et. al. 2016).

	Totalkväve(TN)			Totalfosfor (TP)		
	n	Medianvärde av Renings-grad (%)	95 % konfidens-interval	n	Medianvärde av Renings-grad (%)	95 % konfidens-interval
Alla våtmarker	38	37	29–43	51	46	37–55
Klimatzon						
Aw (Subtropisk med torr vinter)	1	39	7–60	18	59	46–69
Cfa (Tempererad, fuktig, het sommar)	6	37	15–54	7	41	19–58
Cfb (Tempererad, fuktig, varm sommar)	19	36	23–46	16	32	9–50
Csa (Tempererad, het och torr sommar)	3	47	44–50	1	57	–22–86
Dfa (Snöklimat, fuktig, het sommar)	5	46	30–58	3	13	–38–46
Dfb (Snöklimat, fuktig, varm sommar)	4	27	9–42	6	43	17–62
Våtmarkstyp						
Kombinerad horisontell	2	28	19–36	2	70	47–84
Öppen vattenyta	30	37	27–46	47	47	37–56
Horisontellt våtmarksfilter	3	43	31–54			
Kantzonsvåtmark	3	37	22–50	2	–36	–122–17
Typ av vatten						
Avrinning från jordbruksvåtmark	18	36	25–46	35	44	31–54
Flod- eller sjövattnen	10	32	20–43	6	39	1–63
Sek. Hushållspillvatten	6	49	38–59	4	68	43–82
Tert. Hushållspillvatten	4	25	17–34	5	48	26–64
Tidigare markanvändning						
Anlagd på tidigare jordbruksmark	3	36	29–43	13	55	46–62
Anlagd, tidigare annan markanvändning	25	39	30–46	29	50	38–60
Restaurerad på tidigare jordbruksmark	6	28	9–44	6	–16	–77–24
Restaurerad, tidigare annan markanvändning	3	39	–23–70	3	36	14–53
Flödesregim						
Konstant vattenflöde				8	60	34–76
Kontinuerligt men varierande flöde	21	42	33–49	17	55	43–64
Intermittent och varierande flöde	1	49	12–70			
Intermittent men konstant flöde vid flöde	1	34	19–47	6	56	45–64
Nederbördsdriven HLR	15	35	22–46	14	21	8–31

n=antal våtmarker. Där n=1 baserades konfidensintervallet endast på variansen inom den studien.

Eftersom många faktorer påverkar reningsgraden hos en våtmark är det svårt att se vilka yttre faktorer som har mest inverkan. Men tabell 3 kan ändå ge en ledtråd om på vilket sätt vattenreningen tenderar att påverkas av yttre faktorer. Gällande klimatzonen våtmarken är anlagd i är det svårt att avgöra vilken klimatzon som är bättre än någon annan att anlägga en våtmark i – vissa klimatzoner tycks rena fosfor bättre än andra, men ibland samtidigt ha en något sämre kväverening och vice versa. Dessutom visar 95% konfidensintervallet att det råder stora variationer mellan våtmarkerna i samma klimatzon.

Våtmarkstypen kantzonsvåtmark tycks ha en bra rening av kväve, men en usel fosforrening i de undersökta fallen. De andra tre våtmarkstyperna verkar dock ha en generellt bra fosfor- och kväverening. Sekundärt hushållspillvatten, alltså en sekundär rening av avloppsvatten tycks ge högst reningsgrad för både kväve och fosfor av de tre vattentyperna. Från den tidigare markanvändningen kan vi se att våtmarker som restaurerats på tidigare åkermark släpper ifrån sig fosfor snarare än att ta upp det. Förklaringen till det kan vara att marken är mättad på fosfor i och med att marken har gödslats när den användes till jordbruk, därmed är den mer benägen att ge ifrån sig fosfor än att ta upp det (Land et. al. 2016). Vad gäller flödesregimen tycks reningsgraderna vara relativt lika för de olika fallen, dock verkar nederbördsdriven HLR (Hydraulisk belastning) vara det sämsta alternativet för fosforreningen.

Om man enbart ser till våtmarkernas reningskapacitet enligt undersökningen ligger reningsgraden för kväve generellt mellan 25 och 49% och reningsgraden för fosfor på 13 till 70% om man exkluderar de negativa reningsgraderna för fosfor. För normal skyddsnivå ligger kravet på en 70% reduktion av fosfor, vilket vissa våtmarker faktiskt nådde upp till även om det ofta var i undantagsfall. För hög skyddsnivå krävs en fosforreduktion på 90% och kvävereduktion på 50%. En 90% fosforreduktion nådde ingen våtmark upp till och en 50% reduktion av kväve skedde enbart för ett fåtal våtmarker.

Karaktärsdragen hos våtmarker som går att applicera på rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge är att de ligger i en tempererad klimatzon med fuktig varm sommar, är horisontella våtmarksfilter, behandlar sekundärt hushållsvatten och att de är anlagda på tidigare annan markanvändning än jordbruksmark. Utifrån dessa data är det möjligt att göra antaganden kring rotzonsanläggningarnas reningsgrad. Dock visar undersökningen på stor variation av reningsgrader i 95% konfidensintervallen, så det är nödvändigt med provtagning av rotzonsanläggningarnas vatten innan man kan dra någon slutsats kring hur väl vattenreningen fungerar.





## 6 Teknisk beskrivning avloppsanordningar

I enskilda avlopp är det vanligt att flera avloppsanordningar ingår i hushållets avloppsanläggning. Nedan följer en beskrivning av de avloppsanordningar som är installerade i samma system som rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Håglinge.

### 6.1 Aquatron® 4x100

Aquatron® 4x100 är en biokammare som avskiljer och komposterar fekalier från klosettvattnet. Biokammaren kan kopplas till både urinseparerande toaletter och vanliga toaletter (se figur 8). I biokammaren avskiljs det fasta avfallet från överflödigt vätska som rinner vidare i avloppssystemet. Biokammaren är indelad i 4 sektioner som rymmer 100 l vardera. När en kammare har fyllts efter ca 3-4 månader, vrids biokammaren så att nästa sektion kan börja fyllas. Efter 12-16 månader har en sektion vridits ett helt varv i biokammaren och då ska innehållet ha fullkomposterats till ca 10 l mull. Mullen kan användas som jordförbättringsmedel. För att förbättra nedbrytningen kan kompostmaskar tillsättas i biokammarens sektioner. Aquatron® 4x100 är dimensionerad för upp till 5 fritidsboende personer, eller 1-2 permanentboende personer (Aquatron 2016a).



Figur 8: Till vänster: Biokammaren för en Aquatron® 4x200. fotograf: Rickard Hidefjäll, Bright Pictures. Till höger: Toalettstol konstruerad för urinseparering. Bilderna är hämtade från (Aquatron 2016a) och (Naturvårdsverket 2008) med tillstånd från bildernas ägare.

Urinsorterande vattentoaletter kopplade till en Aquatron® med avskiljning av fekalier ur klosettvattnet bidrar till att urin och fekalier samlas upp och tas omhand i början av avloppsanordningen och ger samma komforter i badrummet som en vanlig vattentoalett. Jämfört med en torrtoalett, där både fekalier och urin samlas upp i tankar, är det dock inte lika mycket näringsämnen som avskiljs eftersom en del fosfor och kväve följer med spol- och lakvattnet från fekalerna vidare ut i avloppsanläggningen. Data saknas gällande hur stor reduktionen är för BOD, men för fosfor och kväve ligger reningsgraderna på 37-57% respektive 50-70%. Pro-

centsatserna är beräknade för hushållets totala näringsutsläpp via hushållsavfallsvatten och inte enbart för vattentoaletten (Naturvårdsverket 2008). Avskiljningen av fosfor och kväve i enbart det fasta avfallet i Aquatronen ligger på 58% för fosfor och 59-73% för kväve (Vinnerås 2002).

Aquatron® 4x100 med urinsorterande vattentoalett bidrar till en bra initial rening av avloppsvattnet i systemet tack vare avskiljningen av urin och fekalier, men för att det utgående avloppsvattnet ska renas tillräckligt för att uppfylla Havs- och vattenmyndighetens krav behövs det fler komponenter i avloppsanläggningen. Exempel på efterföljande rening är bland annat slamavskiljare, infiltration, markbädd, prefabricerat filter, sprayfilter eller minireningsverk (Naturvårdsverket 2008). I Häglinge utgörs den efterföljande reningen av en fosforfälla, slamavskiljare och en rotzonsanläggning.

## 6.2 Fosforfilter

Få studier finns kring effektiviteten av fosforfilter och andra prefabricerade filter, men dessa har i de flesta fall visat sig bäst lämpade till att rena små flöden av BDT-vatten (vatten från bad, dusch och tvätt i hushållet). Vattnet rinner vertikalt genom filtren och renas av mikroorganismer på samma vis som i markbäddar, bortsett från att filtermaterialet är syntetiskt. Vissa filter är anpassade för fosforrening och innehåller då ett material som adsorberar fosfor, till exempel Leca med en fosforbindande förmåga. Vattnet som går till filtret måste förbehandlas med någon form av slamavskiljare (Naturvårdsverket 2008). Aquatron® fosforfälla (se figur 9) är specialanpassad för att behandla lakvattnet som utgår från Aquatron® 4x100 och är omkring 10 gånger mindre än en konventionell fosforfälla. Fosforreduktionen från Aquatron® fosforfälla ligger på 94 % enligt en studie från KTH (Aquatron 2016b).



Figur 9: Aquatron® fosforfälla. Fotograf: Anders Welen, Avloppscenter AB. Bilden är hämtad från (Aquatron 2016b) med tillstånd av bildens ägare.

## 6.3 Trekammarbrunn/Slamavskiljare

En trekammarbrunn (se figur 10) är en typ av slamavskiljare och renar vattnet genom att lättare partiklar så som olja och fett lägger sig i ett slamlager på ytan medan tyngre partiklar sedimenterar på botten av kammaren. Utloppet är placerat strax under slamlagret för att förhindra vidare transport av fett och andra partiklar i systemet. Det är viktigt att vattnets uppehållstid är tillräckligt lång i trekammarbrunnen så att partiklarna i vattnet hinner sedimentera eller flota, annars kan slamflykt ske, vilket innebär att en del av slammet följer med vattnet ut från kammaren (VA-guiden AB 2015; Naturvårdsverket 2008). Kammaren behöver också vara stor nog för att flytslam och bottenslam ska kunna lagras under en viss tid. Vanligtvis utförs slamtömning i slamavskiljare en gång om året (Naturvårdsverket 2008).

På egen hand kan inte trekammarbrunnen rena avloppsvatten till en tillräckligt hög grad eftersom enbart större partiklar avlägsnas och stora mängder närsalter lösta i vattnet passerar förbi. Men som en förbehandling av vattnet i en avloppsanläggning motverkar trekammarbrunnar att efterföljande reningskonstruktioner sätts igen, vilket ökar reningsförmågan och livslängden för hela avloppsanläggningen. Kyla kan leda till försämrade reningsförmåga i trekammarbrunnen. Slamavskiljare generellt beräknas rena vattnet från BOD, fosfor och kväve med 10-20%, 5-20% respektive 5-20% och avlägsna upp till 70-90% av de suspenderade partiklarna (Naturvårdsverket 2008).



Figur 10: Slamavskiljare i form av en trekammarbrunn. Bilden är hämtad från Naturvårdsverket (2008) med tillstånd från bildens ägare.

## 6.4 Markbädd

En markbädd är ett vertikalt våtmarksfilter och är en väl beprövad avloppsreningskonstruktion (Naturvårdsverket 2008). För mer information, se avsnitt 2.2.2 Vertikalt våtmarksfilter – Markbädd. Reningsgraden hos en markbädd för BOD, kväve och fosfor brukar ligga på > 90% för BOD, 25 – 75% för fosfor och 10 – 40% för kväve (Naturvårdsverket 2008)

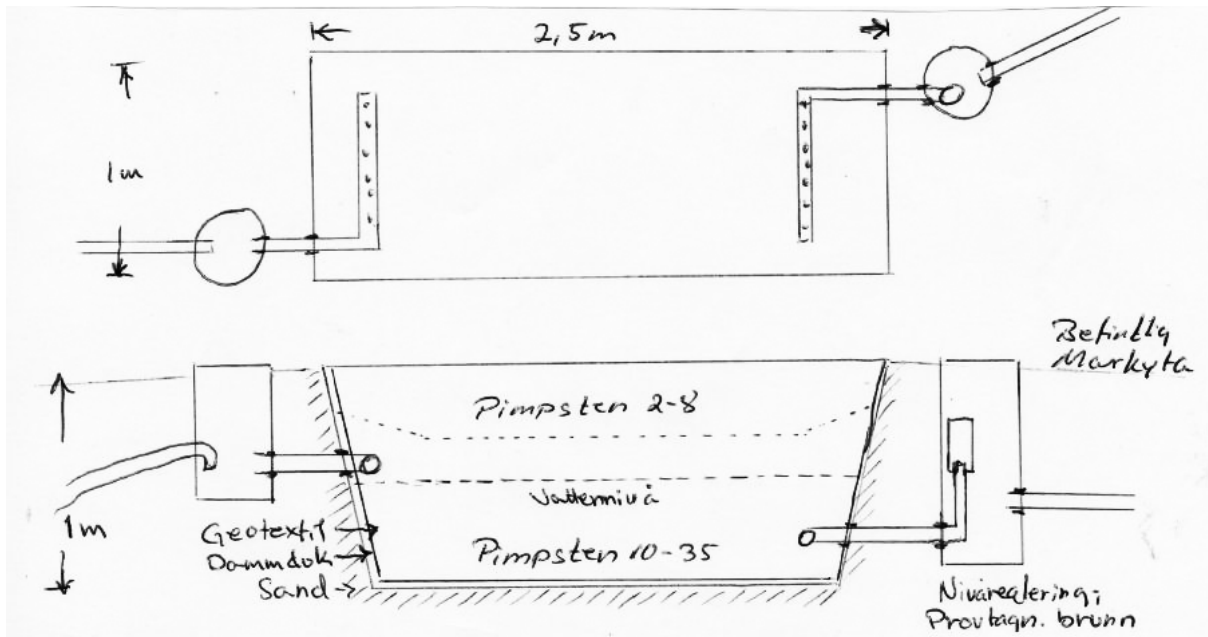
## 6.5 Rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge

Rotzonsanläggningar är en vattenreningskonstruktion som främst är bra på att rena avloppsvatten som redan har genomgått någon form av förbehandling, till exempel i en markbädd (Naturvårdsverket 2008). För mer information om vattenreningen i rotzonsanläggningar, se avsnitt 2.2.1 Horisontellt våtmarksfilter – Rotzonsanläggning. I både Häglinge och Anderslöv har rotzonerna ett tätskikt av dammduk med pimpsten som filtermaterial. Storleken på pimpstenen är 2-8 mm (fint grus) högst upp och 10-35 mm (mellangrus) i botten av rotzonsanläggningen. Rotzonsanläggningen är fylld med lika delar fint grus som mellangrus. Ett fördelningsrör som är 1 m långt med 6 stycken utmynningshål sprider ut vattnet i rotzonen och via ett 1 m långt dräneringsrör tappas vattnet ut. Vattennivån kan höjas och sänkas med hjälp av en nivåreglering i utflödespunkten (se figur 11). Vattenhöjden i rotzonsanläggningen brukar ligga på 0.8 m.

Den effektiva porositeten (det hålrum i substratet som vattnet flödar igenom) för fint grus och mellangrus ligger på 0.2-0.35 för fint grus och 0.15-0.25 för mellangrus (Törneman et. al. 2009). Rotzonsanläggningarnas effektiva porositet kan därmed uppskattas till:

$$\frac{Totalvolym * (0.2 \rightarrow 0.35)}{2} + \frac{Totalvolym * (0.15 \rightarrow 0.25)}{2} = Effektiv porositet$$

Den effektiva porositeten för Anderslöv kan då uppskattas ligga på 0.88 → 1.5 m<sup>3</sup> och på 0.44 → 0.75 m<sup>3</sup> för Häglinge. Eftersom rotzonsanläggningarna har ett djup på 1 meter och vattennivån brukar ligga på 0.8 m innebär det att 80% av den effektiva porositeten är vattenfylld. Det betyder att vattnet i rotzonsanläggningarna har ett utrymme på ungefär 0.70 → 1.2 m<sup>3</sup> i Anderslöv och 0.35 → 0.6 m<sup>3</sup> i Häglinge.



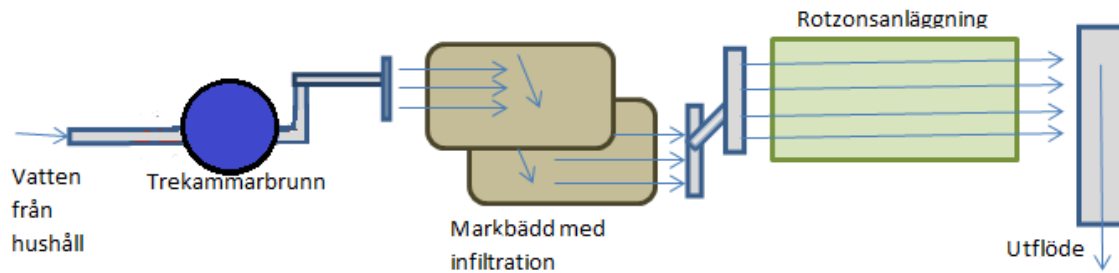
Figur 11: Konstruktionsskiss över rotzonsanläggningen i Häglinge gjord av Jim Johansson.

## 6.6 Avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge

### 6.6.1 Anderslöv

I Anderslöv är rotzonsanläggningen installerad som ett komplement till en befintlig trekammarbrunn med efterföljande markbäddsinfiltrering. Allt vatten från hushållet renas först av trekammarbrunnen, följt av markbädden för att slutligen pumpas till och renas av rotzonsanläggningen (för en översikt av avloppsanläggningen, se figur 12). Vattnet från markbädden rinner med självfall till pumpen. När vattenvolymen i pumpens kammare har nått upp till en viss nivå startar pumpen och vattnet transporteras till rotzonsanläggningen. Där uppehåller sig vattnet tills nytt inpumpat avloppsvatten tränger ut det gamla. Vilken slags pump det är och exakt hur mycket vatten som pumpas till rotzonen vid varje pumpning är oklart då pumpen var installerad på tomten innan rotzonsanläggningen anlades, men pumpvolymen har uppskattats till 75-100 l per pumpning. Rotzonens volym som utgörs av vatten (se avsnitt 6.5) uppskattas till  $1.2 \text{ m}^3$ . Det betyder att det krävs ca 12 – 16 pumpningar innan en vattenmängd som gått in pumpas ut igen. Pumpslangarna som går in i rotzonsanläggningen är omgärdade med 10 cm frigolit för att förhindra att vattnet fryser vintertid. Vattnet som går ut från rotzonsanläggningen rinner vidare ut till en dikesbäck.

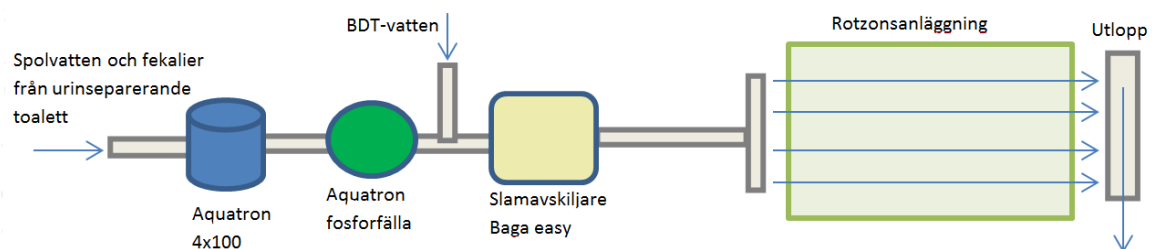
Rotzonsanläggningen har en volym på  $5 \text{ m}^3$  med ett djup av 1 m och en yta på  $2.5 \times 2 \text{ m}^2$ . Storleken för rotzonsanläggningarna i både Anderslöv och Häglinge har valts baserat på att den lämpliga ytan för en markbädd med filtersand ligger på  $20\text{-}40 \text{ m}^2$  per hushåll (Nielsen & Karlsson 2005). Arean har reducerats på grund av att filtermaterialet är pimpsten, som har en 100 ggr större kontaktyta med vattnet (Se Bilaga 2). Två heltidsboende personer bor i hushållet. De nuvarande växterna i rotzonsanläggningen är rosendunört, amerikansk dunört, bredkaveldun och gräs (Mossberg & Stenberg 2003). Bredkaveldunen utgör ca 10% av växtligheten i rotzonsanläggningen.



Figur 12: Skiss av avloppsanläggningen i Anderslöv.

### 6.6.2 Häglinge

I Häglinge består avloppsanordningen av 2 urinseparerande toaletter, en Aquatron® 4x100, Aquatron® fosforfälla, Baga Easy slamavskiljare med tillhörande pump för att slutligen nå rotzonsanläggningen. För en översiktlig bild av avloppsanläggningen, se figur 13. Urin och en liten mängd spolvatten går till en urintank på 3 m<sup>3</sup> som behöver tömmas och tas hand om när tanken är full. Lakvattnet från det fasta avfallet i Aquatron® 4x100 renas av en Aquatron® fosforfälla på 60 l. Därefter blandas lakvattnet med hushållets BDT-vatten och transporteras till slamavskiljare Baga Easy som är anpassad för rening av BDT-vatten. Slamavskiljaren har en inbyggd pump som startar när dess kammare har fyllts upp med avloppsvatten. Vid varje pumpning transporteras 270 l vatten till rotzonsanläggningen. Pumpslangen som leder vattnet till rotzonen är isolerad med 10 cm frigolit. Enligt uppskattad beräkning krävs det 2-3 pumpningar med nytt vatten för att fylla rotzonsanläggningen. Det innebär att vattnet uppehåller sig i rotzonen under 2-3 pumpningar. Tiden mellan pumpningarna varierar stort, uppskattningsvis mellan 2-8 timmar beroende på hushållets vattenanvändning. Det reade vattnet rinner ut i en närliggande dikesbäck. Rotzonsanläggningen i Häglinge har en volym på 2.5 m<sup>3</sup> och används av ett hushåll på 4 personer. Anledningen till att rotzonsanläggningen i Häglinge är mindre än den i Anderslöv är att reningsbehovet är mindre tack vare anläggningens urinseparering. Ungefär 20% av rotzonsanläggningen är bevuxen med bredkaveldun. Resterande 80% är bevuxen med zebragräs, en art av starr, en ormbunke och en okänd liljeväxt som kan vara en funkia.



Figur 13: Skiss av avloppsanläggningen i Häglinge.

## 7 Riktlinjer och uppskattningar av näringsutsläpp

Följande kapitel beskriver hur riktlinjerna ser ut för enskilda avlopp enligt Havs- och Vattenmyndigheten samt uppskattningar av hur mycket fosfor och kväve som släpps ut från avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge. För att ge en bild av hur de utgående halterna av näringsämnen kan variera beroende på hur stor vattenanvändning hushållen har, ingår även ett avsnitt med vattenanvändningen i Europa som exempel.

### 7.1 Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer för enskilda avlopp

När ett enskilt avlopp anläggs krävs förutom kunskapskrav om anläggningen att avloppet ska dimensioneras för minst 5 PE och åretruntboende om där inte finns starka skäl mot detta. En skyddsnivå på normal eller hög nivå ska ha etablerats för området beroende på skyddsvärdet av den omliggande miljön. Kriterierna för normal skyddsnivå vad gäller anläggningens reningsgrad är att avloppsanordningen ska förväntas rena BOD<sub>7</sub> från vattnet med minst 90% och uppnå fosforrening på minst 70% av Tot-P<sup>1</sup>. För hög skyddsnivå läggs det till föregående krav att fosforhalten Tot-P ska renas med minst 90% och kvävehalten Tot-N med minst 50%. Skyddsnivån för de enskilda avloppen ligger på normal nivå för Häglinge och på hög nivå för Anderslöv. En översikt av riktvärdena och de tillåtna halterna i det utgående avloppsvattnet visas i tabell 4.

*Tabell 4: Tabell över de tillåtna utgående halterna av BOD, fosfor och kväve från ett enskilt avlopp, baserat på Havs- och Vattenmyndighetens reduceringskrav. Hämtad från (Naturvårdsverket 2008) med tillstånd av Naturvårdsverket.*

	Reduktion	Utsläppt mängd	Utgående halt <sup>1</sup>
	%	g/p, d	mg/l
Syretäring (BOD <sub>7</sub> )	90	5	30
Fosfor (Tot-P)	70	0,6	3
	90	0,2	1
Kväve (Tot-N)	50	7	40

1. Kursiverade halter är beräknade under antagande att en person producerar 170 l spillvatten per dygn.

I de allmänna råden kring provtagning står det att tillståndsmyndigheten kan ”kräva provtagning av utgående avloppsvatten från anordningen” och ”för uppskattning av inkommande halter bör schablonvärden i bilaga 1 användas”. Schablonvärdena i bilaga 1 är tabell 5 i denna rapport. Det står även: ”Att provta orenat avloppsvatten som kommer in till en enskild anläggning är förenat med mycket stora svårigheter och bör därför inte genomföras” (Naturvårdsverket 2008). Detta kan tolkas som att vid utvärdering huruvida en avloppsanläggning uppfyller reduktionskraven, bör provtagning ske på utgående avloppsvatten från avloppsan-

<sup>1</sup> Havs- och vattenmyndigheten lämnade i september 2016 in ett förslag till ändringar i FMH (förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd) av de bestämmelser som rör små avloppsanläggningar till miljödepartementet. Det innefattar bland annat att riktvärdet för normal skyddsnivå för fosforreduktion föreslås sänkas från 70% till 40%. Regeringen har ännu inte fattat ett beslut om ändringen skall tas eller inte.

läggningen. Koncentrationen av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve kan sedan jämföras med schablonvärdena av de tillåtna halterna i vattnet, vilka har räknats fram utifrån uppskattningar av genomsnittligt näringsutsläpp och vattenanvändning i ett hushåll. Samtidigt nämner Naturvårdsverket att ”sammansättningen på och flödet av inkommande avloppsvatten till en reningsanläggning varierar väldigt mycket” och att ”en låg vattenanvändning i hushållet leder till högre halter in till anläggningen och kan ibland innebära något högre utgående halter än normalt” (Naturvårdsverket 2008). Det sista citatet innebär att avloppsanläggningar till hushåll med låg vattenanvändning i vissa fall kanske kan överstiga de tillåtna halterna i utloppet i och med att inkommande koncentrationer är högre. Det betyder att reduktionskraven i vissa fall kan vara uppfyllda trots att utgående avloppsvatten överstiger schablonhalterna av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve. Därför skriver Naturvårdsverket även att: ”En generös tolkning av provsvaren bör tillämpas eftersom det finns osäkerheter i uttag av prov och en anläggnings tekniska funktion” (Naturvårdsverket 2008). Exempel på hur de utgående koncentrationerna kan se ut vid lägre vattenanvändning visas i tabell 8 i avsnitt 7.4 Vattenanvändning i hushåll i Europa.

## **7.2 Uppskattning av näringsutsläpp till rotzonsanläggningarna**

För att uppskatta hur mycket BOD<sub>7</sub>, Tot-P och Tot-N som avloppsvattnet från Anderslöv och Häglinge innehåller har schablonvärden från Naturvårdsverkets Handbok 2008:3 används som underlag (Havs- och vattenmyndigheten 2016) (Se tabell 5).

Tabell 5: Tabell över den förväntade halten BOD<sub>7</sub>, Tot-P och Tot-N från 1 PE per dag i ett genomsnittligt hushåll i Sverige. Hämtad från (Havs- och vattenmyndigheten 2016) med tillstånd av Havs- och Vattenmyndigheten.

	<b>Urin g/p, d</b>	<b>Fek.+ papper g/p, d</b>	<b>BDT g/p, d</b>	<b>Totalt per person g/p, d</b>	<b>Halt<sup>2</sup> mg/l</b>
BOD <sub>7</sub>	5	15	28	48	280 (150-350)
Tot-P	1	0,5	0,5 (0,15-0,6) <sup>1</sup>	2	12 (5-15)
Tot-N	11	1,5	1,4	14	80

1 Fosforinnehållet i BDT-vatten varierar beroende på om fosfatfria tvättmedel används eller ej. Den lägsta nivån motsvarar om enbart fosfatfria hushållskemikalier används.

2 Kursiverade halter är beräknade under antagande att en person producerar 170 l spillvatten per dygn.

Vi antar att hushållens produktion av spillvatten och att dess användning av hushållskemikalier motsvarar Naturvårdsverkets uppskattade värden. riktvärdeshalterna för BOD<sub>7</sub>, kväve och fosfor som får släppas ut baseras på en procentsats av det förväntade utsläppet. Till exempel är utsläppskravet för BOD<sub>7</sub> en 90% reduktion av halten i inloppet, vilket innebär att utloppets koncentration max får ligga på 30 mg/l BOD<sub>7</sub> enligt Havs- och Vattenmyndigheten (avrundat belopp på 10% av 282 mg/l).

För att uppskatta hur stor koncentration Tot-P och Tot-N som når inflödet till rotzonsanläggningarna i Häglinge och Anderslöv krävs flera antaganden. Dessa kommer basera på uppskattningar av Naturvårdsverket (2008), Aquatron (2016a), Aquatron (2016b) och Vinnerås (2002) för hur mycket fosfor och kväve som avskiljs från vattnet av de olika avloppsanordningarna som ingår i de båda avloppsanläggningarna. För närmare beskrivning av de olika avloppsanordningarna, se avsnitt 6 Teknisk beskrivning avloppsanordningar.

### 7.2.1 Häglinge näringsutsläpp

I Häglinge renas vattnet av en Aquatron® 4x100, Aquatron® fosforfälla och en slamavskiljare innan vattnet når till rotzonsanläggningen (se figur 13). En Aquatron® 4x100 bidrar till att 58% fosfor och 59-73% kväve avskiljs från vattnet som rinner igenom biokammaren. Näringen avskiljs i och med att den till stor del stannar kvar i det fasta avfallet och inte löser sig i spolvattnet (Vinnerås 2002). Under provtagningen i augusti var urinsepareringen ur funktion, vilket innebär att urinen också gick till biokammaren. Eftersom närsalterna i urin redan är vattenlösta kan det antas att Aquatron® 4x100 inte avskiljer någon fosfor och kväve från urin. Lakvattnet från Aquatron® 4x100 behandlas sedan av en Aquatron® fosforfälla som sägs rena vattnet från fosfor med 94% (Aquatron 2016b), men denna var också ur funktion under augusti. Därefter renas BDT-vatten, lakvatten och urin av en slamavskiljare med reningsgrad 5-20% för fosfor och kväve var för sig (Naturvårdsverket 2008), innan vattnet slutligen når rotzonsanläggningen. När hela avloppsanläggningen fungerar som den ska (vilket den gjorde i oktober) ska vattnet som anländer till rotzonsanläggningen teoretiskt sett ha renats enligt föl-



jande ekvationer. Massbalansen är beräknad utifrån hur mycket fosfor och kväve som går in i systemet och var och hur mycket det renas vid olika skeden.

$$P_{max} : \left( \frac{0,5g}{170l} * (1 - 0.58) * (1 - 0.94) + \frac{0.5g}{170l} \right) * (1 - 0.2) \approx 0.0024g/l$$

*Fekalier + papper* ↓     *Aquatron® 4x100* ↓     *Aquatron® fosforfälla* ↓     *BDT-vatten* ↓     *Slamavskiljare* ↓

$$P_{max,reduktion} : \frac{P_{ut}}{P_{in}} = \frac{0.0024g/l}{0.01176g/l} \approx 0.21 \rightarrow 79\%$$

$$P_{min} : \left( \frac{0,5g}{170l} * (1 - 0.58) * (1 - 0.94) + \frac{0.5g}{170l} \right) * (1 - 0.05) \approx 0.0029g/l$$

$$P_{min,reduktion} : \frac{P_{ut}}{P_{in}} = \frac{0.0029g/l}{0.01176g/l} \approx 0.24 \rightarrow 76\%$$

$$N_{max} : \left( \frac{1,5g}{170l} * (1 - 0.73) + \frac{1,4g}{170l} \right) * (1 - 0.2) \approx 0.0085g/l$$

$$N_{max,reduktion} : \frac{N_{ut}}{N_{in}} = \frac{0.0085g/l}{0.08235g/l} \approx 0.10 \rightarrow 90\%$$

$$N_{min} : \left( \frac{1,5g}{170l} * (1 - 0.59) + \frac{1,4g}{170l} \right) * (1 - 0.05) \approx 0.011g/l$$

$$N_{min,reduktion} : \frac{N_{ut}}{N_{in}} = \frac{0.011g/l}{0.08235g/l} \approx 0.14 \rightarrow 86\%$$

Under provtagningen i augusti var urinsepareringen och fosforfällan som sagt ur funktion, vilket innebär försämrade reningsgrader för avloppsanläggningarna. Reningsgraderna för augusti månad beräknades därmed enligt följande ekvationer.

$$P_{max,aug} : \left( \frac{0,5g}{170l} * (1 - 0.58) + \frac{1g}{170l} + \frac{0.5g}{170l} \right) * (1 - 0.2) \approx 0.0080g/l$$

*Fekalier + papper* ↓     *Aquatron® 4x100* ↓     *Urin som inte har avskilts* ↓     *BDT-vatten* ↓     *Slamavskiljare* ↓

$$P_{max,reduktion} : \frac{P_{ut}}{P_{in}} = \frac{0.0080g/l}{0.01176g/l} \approx 0.68 \rightarrow 32\%$$

$$P_{min,aug} : \left( \frac{0,5g}{170l} * (1 - 0.58) + \frac{1g}{170l} + \frac{0.5g}{170l} \right) * (1 - 0.05) \approx 0.0096g/l$$

$$P_{min,reduktion}: \frac{P_{ut}}{P_{in}} = \frac{0.0096g/l}{0.01176g/l} \approx 0.82 \rightarrow 18\%$$

$$N_{max,aug}: \left( \frac{1,5g}{170l} * (1 - 0.58) + \frac{11g}{170l} + \frac{1.4g}{170l} \right) * (1 - 0.2) \approx 0.061g/l$$

$$N_{max,reduktion}: \frac{N_{ut}}{N_{in}} = \frac{0.061g/l}{0.08235g/l} \approx 0.74 \rightarrow 26\%$$

$$N_{min,aug}: \left( \frac{1,5g}{170l} * (1 - 0.58) + \frac{11g}{170l} + \frac{1.4g}{170l} \right) * (1 - 0.05) \approx 0.073g/l$$

$$N_{min,reduktion}: \frac{N_{ut}}{N_{in}} = \frac{0.073g/l}{0.08235g/l} \approx 0.88 \rightarrow 12\%$$

En sammanställning av reningsgraderna visas i tabell 6.

### 7.2.2 Anderslöv näringsutsläpp

I Anderslöv renas avloppsvattnet av en slamavskiljare och en markbädd innan det går till rotzonsanläggningen. Naturvårdsverkets uppskattningar är att reduktionen av fosfor och kväve i en markbädd ligger på 25-45% respektive 10-40% och för en slamavskiljare som tidigare nämnt 5-20% reduktion av fosfor och kväve var för sig (Naturvårdsverket 2008). Det innebär att när avloppsvattnet har passerat slamavskiljaren och markbädden borde det ha renats med:

<i>Konc. I avloppsvatten</i>	<i>Markbädd</i>	<i>Slamavskiljare</i>
↓	↓	↓
$P_{max}: 0.01176g/l * (1 - 0.45) * (1 - 0.2) \approx 0.0052g/l$		
$P_{max,reduktion}: \frac{0.0052}{0.01176} = 0.44 \rightarrow 56\%$		
$P_{min}: 0.01176g/l * (1 - 0.25) * (1 - 0.05) \approx 0.0084g/l$		
$P_{min,reduktion}: \frac{0.0084}{0.01176} = 0.71 \rightarrow 29\%$		
$N_{max}: 0.08235g/l * (1 - 0.40) * (1 - 0.2) \approx 0.040g/l$		
$N_{max,reduktion}: \frac{0.040}{0.08235} = 0.49 \rightarrow 51\%$		
$N_{min}: 0.08235g/l * (1 - 0.10) * (1 - 0.05) \approx 0.070g/l$		
$N_{min,reduktion}: \frac{0.070}{0.08235} = 0.86 \rightarrow 14\%$		

Resultaten för de teoretiska reningsgraderna för Anderslöv och Häglinge visas i tabell 6.

Tabell 6: Uppskattade reningsgrader av kväve och fosfor för avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge innan vattnet når rotzonsanläggningarna. De uppskattade reningsgraderna visas i ett intervall av minimal och maximal uppskattad reduktion. Kolumnen augusti visar den uppskattade reduktionen av kväve och fosfor i Häglinge då urinsepareringen och fosforfällan var ur funktion.

Uppskattad reduktion av kväve och fosfor		
Anderslöv	Normalläge	Augusti
Teoretisk fosforreduktion	29-56%	
Teoretisk kvävereduktion	14-51%	
<i>Häglinge</i>		
Teoretisk fosforreduktion	76-79%	18-32%
Teoretisk kvävereduktion	86-90%	12-26%

### 7.3 Uppskattning rotzonsanläggningarnas reningskapacitet

Utifrån resultaten från tabell 3 (avsnitt 5.5 Faktorer som inte går att påverka) kan vi se att våtmarker har en varierande och i några fall en hög reningskapacitet för både fosfor och kväve (13-70% och 25-49%), men generellt är den inte tillräckligt bra för att klara av utsläppskraven för normal och hög nivå i Sverige. Så är visserligen fallet för de flesta komponenter i en avloppsanläggning (se avsnitt 6 Teknisk beskrivning avloppsanläggningar). Om våtmarken sätts i kombination med andra reningskonstruktioner i en avloppsanläggning kan den dock utgöra en betydande rening av avloppsvattnet så att det efter rening av flera komponenter kan uppfylla Havs- och Vattenmyndighetens reduktionskrav för både normal och hög skyddsnivå.

#### 7.3.1 Förväntad reduktion av fosfor och kväve i Anderslöv och Häglinge

Utifrån resultaten i tabell 3 och 6 beräknades de förväntade koncentrationerna av fosfor och kväve i inkommande och utgående vatten från rotzonerna. De inkommande koncentrationerna räknades fram med hjälp av den initiala kväve och fosforkoncentrationen i systemen och reningsgraderna för avloppsanläggningarna innan vattnet nådde rotzonerna i Anderslöv och Häglinge. Reningsgraderna hos de båda rotzonsanläggningarna uppskattades med hjälp av datavärden från tabell 3 utifrån följande kriterier:

- ☒ Våtmarkerna är lokaliserade i en tempererad klimatzon med en fuktig, varm sommar,
- ☒ Våtmarkstypen är ett horisontellt vattenfilter (rotzonsanläggning)
- ☒ Våtmarkerna renar sekundärt hushållspillvatten
- ☒ Våtmarkerna är anlagda på tidigare annan markanvändning än jordbruksmark.

Medelvärdena för reningsgraden av Tot-N och Tot-P ligger på ca: 40% för Tot-N och 50% för Tot-P. Dessa reningsgrader användes för att uppskatta hur mycket fosfor och kväve som rotzonsanläggningarna kan ta upp från det inkommande vattnet. De uppskattade inkommande och utgående koncentrationerna av fosfor och kväve visas i tabell 7.

Tabell 7: Uppskattade halter och reningsgrader av fosfor och kväve för avloppsanläggningarna innan rotzonsanläggningen och för hela avloppsanläggningarna. Värdena är avrundade och bör enbart ses som uppskattningar av halter och reningsgrader.

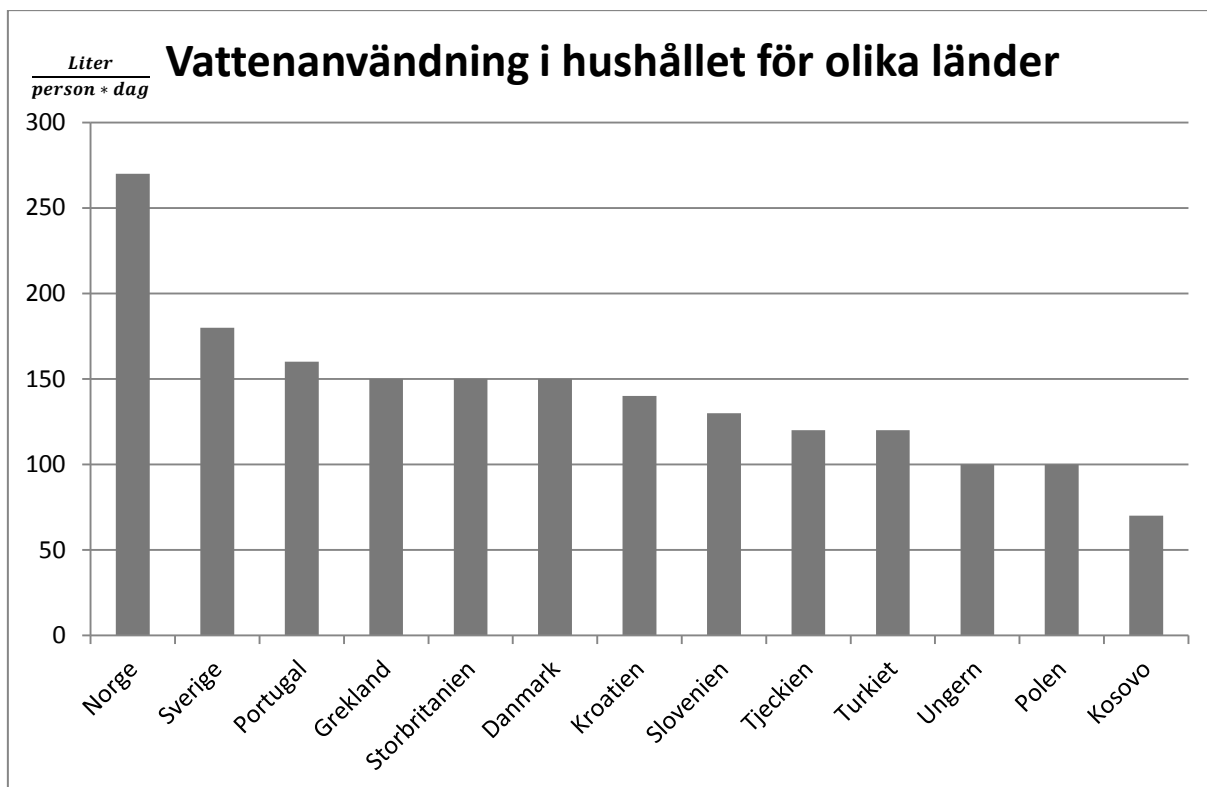
<b>Uppskattad halt och reduktionsgrad för N och P i inkommande och utgående vatten från rotzonerna</b>				
	N innan rotzon	N efter rotzon	P innan rotzon	P efter rotzon
<i>Halt Anderslöv</i>	55 mg/l	33 mg/l	6,8 mg/l	3,4 mg/l
<i>Halt Häglinge</i>	9,8 mg/l	5,9 mg/l	2,7 mg/l	1,4 mg/l
<i>Halt Häglinge augusti</i>	67 mg/l	40,2 mg/l	8,8 mg/l	4,4 mg/l
<i>Riktsvärden normal skyddsnivå</i>	-		3 mg/l	
<i>Riktvärden hög skyddsnivå</i>	40 mg/l		1 mg/l	
	N innan rotzon	N efter rotzon	P innan rotzon	P efter rotzon
<i>Reduktion Anderslöv</i>	33%	60%	42%	71%
<i>Reduktion Häglinge</i>	88%	93%	77%	88%
<i>Reduktion Häglinge augusti</i>	19%	51%	26%	63%
<i>Reduktionskrav normal skyddsnivå</i>	-		70%	
<i>Reduktionskrav hög skyddsnivå</i>	50%		90%	

Halterna av fosfor och kväve i tabell 7 är avrundade värden från ett reningsintervall och kan därför enbart ses som uppskattningar av vad de inkommande och utgående halterna teoretiskt sett kan ligga på. I Häglinge under förutsättningen att systemet teoretiskt fungerar som det ska renas vattnet från kväve och fosfor till låga halter. Riktvärdeshalten för kväve i utgående vatten skulle uppfyllas med råge, mycket tack vare urinsepareringen. Kvävehalten behöver visserligen inte uppfyllas för Häglinge, då det råder normal skyddsnivå på platsen. Fosforreningen hade troligtvis varit godkänd för en normal skyddsnivå. I augusti då många reningskomponenter var ur funktion hade avloppsanläggningen i teorin troligtvis blivit underkänd för fosforreningen. Den teoretiska reningen av fosfor och kväve i Anderslöv ser inte lika bra ut. Kvävehalten i utgående vatten hade troligtvis blivit godkänd för hög skyddsnivå tack vare rotzonens rening på slutet, men fosforhalten hade teoretiskt räknat riskerat att ligga på en för hög nivå.

Teoretiska beräkningar av fosfor- och kväverening hos avloppsanläggningar kan ge en ungefärlig bild av vad reningsgraden kan ligga på. Dock inkluderar beräkningarna flera uppskattningar och avrundningar och bör enbart användas till att ge en beskrivande bild av avloppsanläggningens rening. För att få ett tydligare svar på den faktiska reningsgraden hos en avloppsanläggning, eller hos komponenter i den bör provtagningar av vattnet utföras, eftersom reningsgraden kan variera en del hos enskilda komponenter i sig, och därmed variera till en ännu större grad för hela avloppsanläggningar.

## 7.4 Vattenanvändning i hushåll i Europa

Dygnsförbrukningen av vatten per person varierar en hel del i olika delar av världen. Om man bara räknar med spillvatten från hushållet i olika Europeiska länder kan man se en markant skillnad i vattenförbrukning per person, se figur 14. Vattenförbrukningen i varje land är ett genomsnittligt värde, den egentliga produktionen av spillvatten varierar från hushåll till hushåll inom landet.



Figur 14: Genomsnittlig vattenanvändning i hushållet per person och dag för olika länder i Europa. Källa: (Eurostat 2015).

Undersökningen från Eurostat (2015) innehåller data från år 2003 till år 2013, dock saknas data för vissa år för några länder. Data om Sveriges vattenanvändning i hushållet är från år 2003 till 2005 och visar ett genomsnitt på 180 l per person och år. Sveriges vattenförbrukning i hushållet har gått ner de senaste åren och ligger i dagsläget på 160 l per person och år. Vattenbesparingen beror bland annat på effektivare tvätt- och diskmaskiner och snålspolande toaletter (Norrsvatten 2016).

Det är stor skillnad i vattenförbrukningen mellan Sverige och våra grannländer Norge och Danmark. Norge ligger på 270 liter per person per dag och Danmark på 150 l per person och dag (Eurostat 2016). Eftersom de genomsnittliga värdena varierar en del mellan Sverige, Danmark och Norge där vi har liknande levnadsvanor, är det troligt att vattenanvändningen för olika hushåll inom Sverige också kan variera en del. Hur mycket vatten som används i hushållet påverkar hur stora koncentrationer BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve som lämnar hushållet via avloppsvattnet.

Om vi antar att befolkningen i Norge och Danmark per person producerar lika mycket näringsutsläpp från hushållet som i Sverige skulle Norges avloppsvatten innehålla 178 mg BOD<sub>7</sub>/l, 7.4 mg P/l och 51.9 mg N/l. Kompositionen i Danmarks avloppsvatten skulle vara 320 mg BOD<sub>7</sub>/l, 13.3 mg P/l och 93.3 mg N/l. I Sverige ligger riktvärdena för normal nivå på 90% reduktion av BOD<sub>7</sub> och 70% reduktion av fosfor från avloppsvattnet. För hög nivå gäller även 90% reduktion av fosfor och 50% reduktion av kväve (Havs- och Vattenmyndigheten 2016). Om riktvärdena för näringsutsläpp hade baserats på vattenanvändningen i Norge och Danmark hade de tillåtna halterna för normal nivå och hög nivå sett annorlunda ut. De uppskattade riktvärdena enligt svenska riktlinjer för vattenförbrukningen i Norge, Danmark och Polen visas i tabell 8. Norge, Danmark och Polen valdes att jämföras med Sverige eftersom

Danmark och Norge är grannländer och för att Polen har en relativt låg vattenanvändning och ligger relativt nära Sverige i Europa. Beräkningarna gjordes på data från tabell 5 och figur 14.

*Tabell 8: Metoden för svensk riktvärdesberäkning för tillåtna halter BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve i behandlat avloppsvatten har applicerats på Norge, Danmark och Polen utifrån ländernas genomsnittliga vattenförbrukning i hushållet. Avrundningen för fosforriktvärdet för normal nivå från 3.5 till 3 är Havs- och Vattenmyndighetens beslut (Havs- och Vattenmyndigheten 2016).*

Svenska riktvärdeshalter beräknade för vattenförbrukningen i Norge, Danmark och Polen								
	Exakt beräknade riktvärden [mg/l]				Avrundade riktvärden [mg/l]			
Normal nivå	Sverige	Norge	Danmark	Polen	Sverige	Norge	Danmark	Polen
BOD <sub>7</sub>	<b>28,2</b>	17,8	32	48	<b>30</b>	20	30	50
Fosfor	<b>3,5</b>	2,2	4	6	<b>3</b>	2	4	6
<b>Hög nivå</b>								
Fosfor	<b>1,2</b>	0,7	1,3	2	<b>1</b>	1	1	2
Kväve	<b>41,2</b>	26	46,7	70	<b>40</b>	30	50	70

Från tabell 8 kan vi se att de beräknade riktvärdena för Norge generellt ligger på en lägre nivå än för Sverige och på en generellt högre nivå för Danmark och Polen. I och med att mindre vatten förbrukas i Danmark och Polen är det en högre koncentration näringsämnen som går ut i avloppsvattnet. Därför är de utgående halterna BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve högre när till exempel en 90% reduktion har skett. Att utsläppskraven bygger på en reduktion av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve ger ett bra generellt mått på hur mycket avloppsvattnet bör renas innan det släpps ut. En färdig mall med beräknade riktvärdeshalter av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve underlättar i sin tur att göra en bedömning huruvida det utgående avloppsvattnet har renats tillräckligt. Men bestämda riktvärdeshalter kan även i vissa fall ge missvisande indikationer om avloppsanläggningens reningskapacitet.

För hög skyddsnivå ligger de uppskattade riktvärdena för fosfor i stort sett på samma nivå även vid olika höga vattenförbrukningar. För kvävereduktionen på hög skyddsnivå märks dock en större skillnad i utgående halter. Om avloppsanläggningens kapacitet ligger precis så att den klarar en 50% reduktion av kväve i vattnet, kan det enskilda avloppet precis bli underkänt om hushållet har lika liten vattenförbrukning som i Danmark. Vad gäller normal skyddsnivå kan man se större skillnader i utgående halter näringsämnen beroende på vattenförbrukningen i hushållet. För fosforeringen syns tydlig skillnad i utgående halt fosfor, särskilt för Polen där den utgående halten fosfor fördubblas om vattenanvändningen ligger på 100 l per person per dag. Det är dock mindre troligt att ett hushåll i Sverige ligger på så låga vattenutsläpp, men det kan alltid finnas undantagsfall. Att ett hushåll kan råka ligga nära Danmarks vattenförbrukning är mer troligt. I de fallen är det möjligt att det enskilda avloppet blir underkänt om dess fosforering ligger på precis 90%. För reningen av BOD<sub>7</sub> är det inte lika stor fara om hushållets vattenanvändning är mindre.

Om man istället ser åt andra hållet att hushållets vattenförbrukning är större än det svenska genomsnittet och mer likt det i Norge kan det enskilda avloppet bli väl godkänt för sin reduktion av näringsämnen. En 60% reduktion av fosfor hade räckt för att det enskilda avloppet skulle bli godkänd för normal skyddsnivå och en 25% reduktion av kväve hade räckt för att nå

upp till den höga skyddsnivåns krav på kvävehalt i utgående avloppsvatten. Reningen för BOD<sub>7</sub> och fosfor för hög skyddsnivå hade behövt ligga på samma nivåer som för Sverige för att ligga under riktvärdeshalterna.

Att använda riktvärdeshalter av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve är ett enkelt mått för att snabbt utvärdera avloppsanläggningens reningsgrad genom att ta prov på det utgående avloppsvattnet från anläggningen. Att enbart titta på de utgående halterna från anläggningen kan dock vara missvisande i vissa fall då hushållets vattenförbrukning skiljer sig från den genomsnittliga användningen i Sverige. Naturvårdsverket skriver om ett hushålls utsläpp av närsalter att ”Halten kan variera upp till mellan 5 till 10 gånger för ett och samma hushåll. En generös tolkning av provsvaren bör tillämpas eftersom det finns osäkerheter i uttag av prov och en anläggnings tekniska funktion” (Naturvårdsverket 2008) vilket är rimligt med tanke på hur riktvärdeshalterna kan variera med hushållets vattenförbrukning.





## 8 Provtagning

Provtagningen av vattnet i rotzonsanläggningarna utfördes den 23 augusti och den 26 oktober. En uppskattning av hur stor andel av rotzonsanläggningarna som täcktes av växter gjordes i samband med provtagningarna. I augusti rådde utomhustemperaturer på runt 20 grader och uppehållsväder dagarna före och under provtagning. Under provtagningen och dagarna före i oktober rådde också uppehållsväder med en utomhustemperatur på 3 grader under provtagningen. Temperaturen i vattnet var 15.5 °C i Häglinge och 16.0 °C i Anderslöv den 23 augusti och uppmättes med en elektronisk termometer. I oktober användes en vanlig inomhustermometer som doppades i rotzonens vatten. I Häglinge låg temperaturen på 8 °C och i Anderslöv 12 °C. Provtagningen utfördes av Signe Noresson med assistans av Jim Johansson.

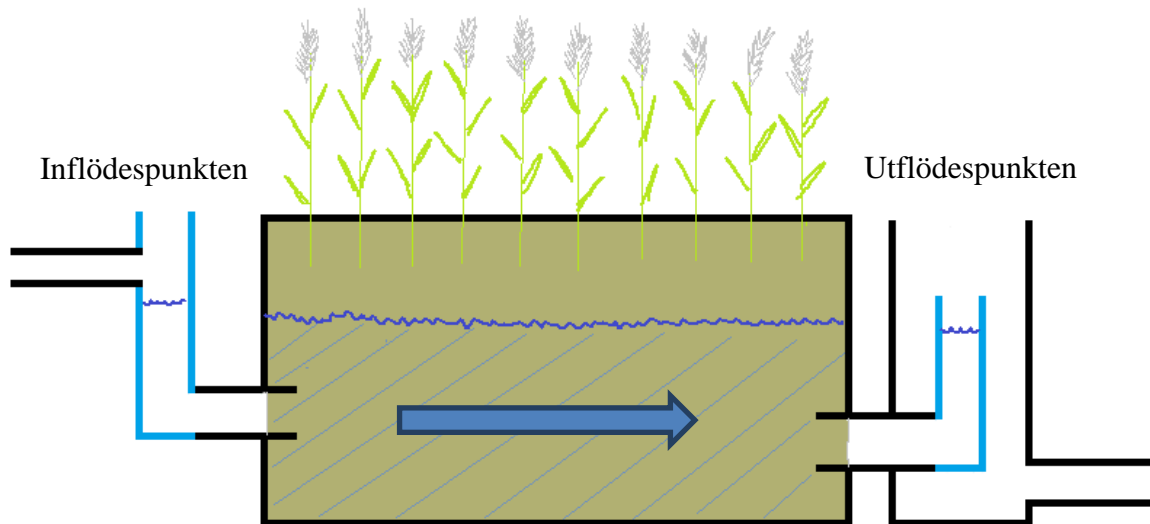
Till provtagning användes en 100 ml plastspruta med plastslang för att suga upp vattenprov från inflödes och utflödespunkterna i rotzonerna (se figur 15). En 500 ml plastbägare med måttmarkeringar användes för att mäta upp vattenproven. Plastspruta med slang, bägare och provflaskor sköljdes med avloppsvatten innan provtagning. För BOD<sub>7</sub> prov togs 500 ml vatten och för Tot-P och Tot-N togs två prov på 100 ml vardera. Provtagning skedde under tre olika förhållanden i rotzonen, beskrivet nedan:

1. Det första provet togs från utflödespunkten innan pumpen pumpade in nytt vatten i rotzonsanläggningen (och därmed pumpade ut den vattenmängd som provet togs ifrån). Detta prov togs inte i Häglinge i oktober då pumpen startade strax innan provet kunde tas.

2. I både Häglinge och Anderslöv var tankarna med avloppsvatten som inte gått in till rotzonen nästan fulla när vi anlände för provtagning i augusti. Genom samarbete med de boende ökades vattenanvändningen i hushållen via toalettbesök, dusch och rinnande kranar tills tanken i anslutning till pumpen var full så att det ansamlade obehandlade avloppsvattnet pumpades till rotzonen. När pumpen startade togs vattenprover från rotzonens inlopp. I oktober startade pumpen självmant när vi anlände så prov från denna punkt kunde tas direkt.

3. Vattnet som uppehållit sig vid utflödespunkten i rotzonsanläggningen rann ut via utloppet i och med att nytt vatten pumpades in. När pumpningen hade avstannat togs prover från utflödet av rotzonen för att undersöka vilken kvalitet vattnet hade som gick ut direkt när obehandlat vatten pumpats in. I augusti i Häglinge gick provtagningen som planerat, men i Anderslöv hade några kranar glömts stängas av, vilket ledde till att avloppsvattentanken vid pumpen fylldes igen så att nytt vatten åter pumpades in i rotzonen i samband med provtagningen. Detta vatten var förmodligen relativt rent då det mestadels kom från rinnande kranar. Men eftersom det krävs 12-16 pumpningar för att byta ut vattnet i denna rotzonsanläggning är det mycket troligt att vattenprovet som togs bestod av avloppsvatten från tidigare aktiviteter i hushållet. I oktober gick provtagningen som planerat i både Häglinge och Anderslöv.

Proven förvarades i kylväska med kylklampar innan de samma dag lades in i frysen på Kemacentrum. Följande dag transporterades BOD<sub>7</sub> proverna i kylväska till VA-SYD i Malmö för att analyseras.



Figur 15: skiss av rotzonsanläggningen och dess provtagningspunkter.

### 8.1.1 Rekommenderad provtagningsmetodik enligt HaV

Vid misstanke om att vattenreningen inte uppfyller kraven kan tillsynsmyndigheten kräva provtagning av det utgående avloppsvattnet från anordningen. Schablonvärden från tabell 5 kan användas för att uppskatta innehållet av det inkommande vattnet till anläggningen. (Havs- och vattenmyndigheten 2016) Provtagning bör ske vid tillfällen då höga grundvattennivåer eller nederbörd inte påverkar utloppets koncentration av näringsämnen genom utspädning. För att få ett färskt prov bör provtagningspunktens vatten tömmas först för att sedan fyllas på med färskt provtagningsvatten. Vattnet kan behöva omsättas mer än en gång, tills vattnet i provtagningspunkten är klart, för att garantera vattenprov från nyligen behandlat vatten. Om provtagningsvattnet har stått en tid kan biologisk nedbrytning påverka resultatet. Lång uppehållstid i t.ex. slamavskiljare i avloppsreningssystemet jämnar ut variationer i utflödet från anläggningen, vilket innebär att ett vattenprov kan representera vattnets sammansättning för 1-2 dygn. Då är ett vattenprov representativt för avloppsvattnets sammansättning (Naturvårdsverket 2008).

Provet ska förvaras under en temperatur av 10 °C, eller ännu hellre frysas innan det går till analys i laboratoriet. Kärlet som används för provtagning skall rengöras noggrant och sköljas en gång i avloppsvattnet innan provtagning sker. Viktigt att tänka på är att kärlet inte får rengöras med rengöringsmedel som innehåller fosfor. För analys av Tot-P och Tot-N krävs i regel ett prov på 100 ml. För undersökningen av BOD<sub>7</sub> krävs i regel mellan 250 ml – 500 ml vattenprov. Provtagning av vattnet från en anläggning för permanentboende kan ske under vilken tid på året som helst, vid ett tillfälle då anläggningen belastas normalt. Vid provtagning skall handskar alltid användas för att undvika smittspridning. Efter provtagning skall händerna alltid tvättas (Naturvårdsverket 2008).

### 8.1.2 Jämförelse med HaV:s provtagningsrekommendationer

Proven togs under förhållanden då nederbörd inte riskerade späda ut koncentrationer i rotzonsanläggningarna. Vattenproverna togs av nyligen omsatt vatten, förutom för prov 1 för alla provtagningar då utrustning saknades för att tömma hela provtagningspunkten på vatten. Hanteringen av proven och provtagningskärlen utfördes enligt Havs- och vattenmyndighetens rekommendationer.

## 8.2 Undersökning av BOD<sub>7</sub>

Provtagningen och laboratorieundersökningen av BOD<sub>7</sub> skedde enligt SS-EN-1899-1, vilket är europastandard och nationell standard för bestämning av biokemisk syreförbrukning efter n dagar, i detta fall 7 dagar. Undersökningen utfördes och sponsrades av VA-SYD på Sjölunda-verket i Malmö.

### 8.2.1 Laborationsundersökning BOD<sub>7</sub> – material, kemikalier och lösningar

Kemikalier som användes till BOD<sub>7</sub> undersökningen av vattnet var en svavelsyralösning på 0.25 mol/L, en natriumhydroxidlösning på 20 g/l och en natriumsulfitlösning på 50 g/l. Det behövdes även en allyltourlnämelösning (ATU) med koncentration 1 g/l. Denna tillbereds genom lösning av 200 mg C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>S i 200 ml vatten. En kontrollösning (Glukos-glutaminsyra) tillbereds också genom att lösa 150 +150 mg torkad, vattenfri D-glukos (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) och L-glutaminsyra (C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>NO<sub>4</sub>) i 1000 ml vatten.

Beroende på vattnets ursprung kan det behöva förbehandlas med nitrifikationshämmare för att syreförbrukning från nitrifikationsprocessen inte ska ge ett överskattat resultat av mängden syre som antas förbrukas i BOD<sub>7</sub>. Då nitrifikation förväntas ske i anläggningarna i Anderslöv och Häglinge är det motiverat att tillsätta nitrifikationshämmare. 5-20 ml nyberett ympvatten (vatten med ett känt COD-värde av 300 mg/l eller TOC värde av 100 mg/l) tillsattes per liter provvatten. Ympvatten behöver tillsättas om provet inte innehåller tillräckliga mängder aero- ba mikroorganismer för att detektera en märkbar skillnad i syreförbrukning, vilket är fallet om provet varit nedfryst.

### 8.2.2 Laborationsundersökning BOD<sub>7</sub> – metod

#### *Förbehandling av prov*

Då proverna varit frysta tillsattes ympvatten efter upptining och homogenisering. Om vattenprovets pH inte låg mellan pH 6 – 8 neutraliserades pH med svavelsyralösning eller natriumhydroxidlösning. Om fri eller bundet klor fanns i vattenprovet, tillsattes behövlig mängd natriumsulfitlösning för att avlägsna kloreten.

#### *Beredning av provlösningar*

Proven tempererades till 20 °C och en känd mängd av proven överfördes till utspädningskärl. Beroende på vilket BOD-värde som förväntades, späddes vattenproverna ut enligt ett spädningschema, se Bilaga 3. Flera prov tillreddes med olika spädningsförhållanden för att täcka in flera möjliga förväntningar på koncentrationen BOD i provet. 2 ml ATU-lösning tillsattes per liter utspätt prov innan proven späddes med ympat spädvatten. Ett blindprov bereddes också där ympat spädvatten tillsattes 2 mg ATU-lösning per liter vatten. Även ett kontrollprov bereddes för att kontrollera det ympade spädvattnet, ympvattnet och analytikerns teknik. I kontrollprovet blandades 20 ml glukos-glutaminsyra med 2 ml ATU-lösning för att sedan spädas till 1000 ml med ympat spädvatten.

#### *Bestämning av löst syre*

Syrehalten i vattnet bestämdes med elektrokemisk bestämning av löst syre. För varje spädningsförhållande, kontrollprov och blindprov fylldes 1 inkubationsflaska till bredden så att ingen luft fanns i flaskan. Syrehalten i flaskorna noterades innan flaskorna förslöts och placerades i en inkubator. Efter 7 dygn detekterades åter syrehalten i flaskorna. Den förbrukade mängden syre är BOD<sub>7</sub> värdet för vattnet. Resultatet från BOD<sub>7</sub> undersökningarna visas i tabell 11.

### 8.3 Undersökning av Tot-P och Tot-N

Baserat på de uppskattade koncentrationerna i tabell 7 av Tot-P och Tot-N för inflödet och utflödet i rotzonsanläggningarna beställdes provkit för koncentrationsmätningar inom intervallen: Tot-P 0.5-5 mg/l och Tot-N 1-16 mg/l. Laborationsundersökningar för att undersöka koncentrationerna av total fosfor och total kväve i vattenproven utfördes på Kemicentrum. De frysta proven tinades en timme i vattenbad tills hela provet var i flytande form. Den totala fosforkoncentrationen i proverna undersöktes med provkitet *Phosphate Orto/Total cuvette test 0.5-5.0 mg/L PO<sub>4</sub>-P* och den totala kvävekoncentrationen med *Laton Total Nitrogen cuvette test 1-16 mg/L TN<sub>b</sub>*, med produktnamnen LCK348 och LCK138 från Hach Lange. Till undersökningarna användes värmeblocket Thermostat LT200 och Dr 2800 Portable Spectrophotometer. Spädningen och resultatet från undersökningarna visas i tabell 11.

## 9 Resultat

I resultatsektionen presenteras tabeller med data från rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge.

Tabell 9: Uppskattad yta av rotzonsanläggningarna som är bevuxen med bredkaveldun.

Uppskattad yta bevuxen med bredkaveldun	
Anderslöv	10%
Häglinge	20%

Tabell 10: Mätningar av  $BOD_7$  utfört av VA SYD. Anledningen till att provet på Utflöde 1 för Häglinge i augusti ligger på  $<42$  är för att provet innehöll för lite vatten att testa koncentrationerna på. Det kan dock antas att koncentrationen för Häglinge utflöde 1 ligger i närheten av Häglinge utflöde 2.

BOD <sub>7</sub> mätningar av VA SYD	
Anderslöv augusti	BOD <sub>7</sub> [mg/l]
Inflöde	6
Utflöde 1	< 3
Utflöde 2	< 3
Häglinge augusti	
Inflöde	173
Utflöde 1	< 42
Utflöde 2	< 12
Anderslöv oktober	
Inflöde	<3
Utflöde 1	5.58
Utflöde 2	<1
Häglinge oktober	
Inflöde	212.7
Utflöde	110.4

Tabell 11: Uppmätta koncentrationer fosfor och kväve i vattenproverna. Analyserna utfördes på Kemicentrum.

**Total fosfor och kvävekonzentration i augusti och oktober**

<b>Anderslöv augusti</b>	Total fosfor [mg/l]	Total kväve [mg/l]	Spädningsfaktor fosfor, kväve*
Inflöde	2,21	31,7	x, 4
Utflöde 1	1,54	41,7	x, 5
Utflöde 2	1,66	40,5	x, 5
<b>Häglinge augusti</b>			
Inflöde	12,2	133	3, 10
Utflöde 1	4,79	103	x, 10
Utflöde 2	3,99	107	x, 10
<b>Anderslöv oktober</b>			
Inflöde	1,24	29,5	x, 5
Utflöde 1	0,73	18,5	x, 5
Utflöde 2	1,29	18,8	x, 5
<b>Häglinge oktober</b>			
Inflöde	6,12	41,7	3, 5
Utflöde	3,12	60,5	2, 5

\* x = provet behövde inte spädas

Resultatet från tabell 10 och 11 jämfördes med riktvärdena för normal och hög skyddsnivå för rotzonsanläggningarna från tabell 4 i avsnitt 7.1 Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer för enskilda avlopp. En sammanställning av i vilka fall rotzonsanläggningarna uppfyller riktvärdena visas i tabell 12.

Tabell 12: Uppmätta reningsgrader för BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve i Anderslöv och Häglinge jämfört med reningskriterierna från Havs- och Vattenmyndigheten. Reningsgraderna från anläggningarna har räknats fram från anläggningarnas utgående halter BOD<sub>7</sub>, Tot-P och Tot-N jämfört med schablonvärden av initiala halter i avloppsvatten från HaV. Tabellen inkluderar även en notering om provet visar på en högre reningsgrad än kraven från HaV, med noteringen "tveksamt" om halten ligger under men nära reduktionskravet.

<b>Reningsgrader för avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge</b>			
	Reningsgrader		
<b>Anderslöv augusti</b>	BOD <sub>7</sub>	Tot-P	Tot-N
Anläggning	99%	86-87%	49-51%
Krav från HaV	90%	90%	50%
Godkänt	Ja	Tveksamt	Ja
<b>Häglinge augusti</b>			
Anläggning	93%*	59-66%	(-25%) - (-30%)**
Krav från HaV	90%	70%	-
Godkänt	Ja	Tveksamt	***
<b>Anderslöv oktober</b>	BOD <sub>7</sub>	Tot-P	Tot-N
Anläggning	99%	89-94%	71-78%
Krav från HaV	90%	90%	50%
Godkänt	Ja	Ja	Ja
<b>Häglinge oktober</b>			
Anläggning	61%	74%	27%
Krav från HaV	90%	70%	-
Godkänt	Nej	Ja	***
* Värdet från utflöde 1 i Häglinge i augusti togs inte med i beräkningen då den troligtvis ligger på en nivå nära utflöde 2. ** Mer kväve gick ut från avloppsanläggningen än vad som enligt Havs- och Vattenmyndighetens schablonvärden förväntas gå in. ***Det finns inga krav på kväverening för normal skyddsnivå.			

Tabell 13: Reningsgrader för rotzonsanläggningarna baserat på provtagningarna i augusti och oktober, där inkommande halterna till rotzonsanläggningarna har jämförts med de utgående halterna. De avvikande värdena från BOD koncentrationen av utflöde 1 i Anderslöv i oktober och utflöde 1 i Häglinge i augusti användes inte vid uppskattningarna av reningsgraderna.

<b>Reningsgrader för rotzonsanläggningarna</b>			
Baserat på provtagningar i aug och okt			
	BOD <sub>7</sub>	Kväve	Fosfor
Anderslöv augusti	50%	-30%*	30%
Anderslöv oktober	30%	40%	20%
Häglinge augusti	90%	22%	70%
Häglinge oktober	50%	-45%*	50%

\*minustecken framför procentandelen innebär att mer kväve gick ut från anläggningen än vad som gick in, t.ex. den utgående halten kväve ökade med 30% jämfört med inflödet.





## 10 Diskussion

Denna sektion inleds med en diskussion av resultaten från provtagningen av vattnet i augusti och oktober och varför halterna av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve ser ut som de gör. Sedan följer en jämförelse av de uppskattade halterna fosfor och kväve med de uppmätta halterna samt en diskussion kring i vilka fall uppskattningarna stämde mest överens med de verkliga halterna. Osäkerhetskällor kring halterna i avloppsvattnet tas sedan upp i ett avsnitt för att ytterligare belysa varför de uppmätta halterna kan skilja sig åt så mycket som det gör. Examensarbetets syfte tas sedan upp och besvaras i de sista sektionerna om huruvida Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer uppfylls samt en diskussion om hur vattenreningen i rotzonsanläggningarna kan förbättras, med ett tillägg om hur hela avloppsanläggningarnas vattenrening kan förbättras.

### 10.1 Resultat från augusti

I Häglinge var flera komponenter i avloppsanläggningen ur funktion när provtagning skedde i augusti, vilket syns på de höga koncentrationerna fosfor och kväve som går in i rotzonsanläggningen (tabell 8). De inkommande koncentrationerna är i själva verket högre än vad som antas vara den initiala avloppsvattenkoncentrationen enligt Havs- och Vattenmyndighetens uppskattningar (tabell 5). Förklaringen till detta är förmodligen att hushållet i Häglinge är mer sparsamma med sin vattenanvändning än ett genomsnittligt hushåll i Sverige, därmed släpps det ut en högre halt närsalter i avloppsvattnet. Vattenanvändningen kan skilja sig en hel del från hushåll till hushåll, det gör även vattenanvändningen mellan våra grannländer (figur 14; tabell 8).

Alla prov från utflöde 1 visar på likvärdiga koncentrationer jämfört med utflöde 2 i augusti för BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve. Dock visar provsvaren från Anderslöv att det inkommande vattnet har en högre koncentration kväve än vattnet som går ut. Förklaringen kan ligga i att provet från inflödet inte tillhörde samma vattenmängd som vattnet i utflödet. Det vatten som vid provtagningen befann sig nära rotzonsanläggningens utflöde kan från början ha innehållit en del mer kväve än det vatten som pumpades in när provtagningen utfördes. Därför är det troligt att det utgående vattnet har renats från kväve, men att detta vattens initiala kvävekoncentration var så hög så att det inte syns att kvävet har minskat i jämförelse med det nuvarande inkommande vattnets lägre kvävekoncentration.

Reduktionen av BOD<sub>7</sub> är mycket bra för båda avloppsanläggningarna i stort, vilket tyder på att den biologiska nedbrytningen i avloppsvattnet fungerar som det ska. Den utgående koncentrationen BOD<sub>7</sub> i avloppsvattnet ligger till och med under det utsatta detektionsvärdet för båda rotzonsanläggningarna.

### 10.2 Resultat från oktober

Kvävekoncentrationen hos utflöde 1 och 2 i Anderslöv ligger väldigt nära varandra i storlek och verkar visa på en kvävereduktion vid jämförelse av det inkommande vattnets högre koncentration. Fosforkoncentrationerna i in och utloppet av rotzonsanläggningen följer inte samma eleganta mönster utan utflöde 2 visar istället på en något högre fosforkoncentration än inflödet. Det beror förmodligen på att vattnet som gått in i rotzonen har haft olika initiala halter fosfor. De olika koncentrationerna i utflöde 1 och 2 kan bero på att den initiala fosforkon-

centrationen har varierat och/eller att den renare vattenmängden har haft en längre uppehållstid i rotzonsanläggningen.

Fosfor- och framför allt kväveproverna från Häglinge visar mycket lägre koncentrationer än i augusti, tack vare att anläggningen nu fungerade som den skulle. Resultatet från kväveproverna visar på en högre koncentration i utflödet än inflödet (45% mer kväve i utflödet än inflödet). Det kan tyckas vara en hel del, dock kan fortfarande ett och samma hushålls utsläpp av närsalter i avloppsvatten variera med ”upp till mellan 5 till 10 gånger” (Naturvårdsverket 2008). Man bör notera att även om avloppets initiala koncentration kan variera upp till mellan 5 och 10 gånger är det troligt att den utgående halten från avloppsanläggningen inte kommer kunna variera fullt lika mycket, eftersom extremvärdena av höga och låga halter i avloppsvattnet kommer jämnas ut när det transporteras och renas i avloppsanläggningen. En viss variation av halter i avloppsvattnet kan ändå förväntas i det utgående vattnet. En annan orsak till att mer kväve går ut från anläggningen än in kan vara att anläggningen har tagit emot stora mängder kvävetillskott under den tid urinsepareringen var ur funktion. Därmed kan ett överskott på kväve som lagrats i sedimentet läcka ut från anläggningen.

I oktobermätningarna i Häglinge halveras  $BOD_7$  i utloppet jämfört med inloppet för rotzonsanläggningen. Koncentrationen i inloppet är något större än den som var i augusti, men det utgående vattnet från rotzonsanläggningen har omkring 3 ggr högre koncentration  $BOD_7$  än i augusti. Denna kraftiga skillnad kan bland annat bero på att något i vattnet har stört den biologiska nedbrytningen. Provtagningen i oktober skedde bara några dagar efter att en ny urintank och fosforfälla installerats, vilket i sin tur kan ha inneburit en omställning för den biologiska aktiviteten i rotzonsanläggningen, eftersom en mycket mindre mängd närsalter nu gick dit. Kanske hade inte mikroorganismerna i rotzonsanläggningen hunnit anpassa sig till den nya miljön, vilket resulterade i en tillfälligt sämre rening av  $BOD_7$ . Den lägre reningsgraden kan också bero på att en kallare temperatur i vattnet saktade ner nedbrytningen eller att vattnet i utflödet helt enkelt hade en högre initial halt  $BOD_7$  än inflödesvattnet vid provtagningen. Skillnaden kan också bero på en kombination av alla faktorer. Eftersom reduktionen av  $BOD_7$  i augusti var mycket bra, borde anläggningen i Häglinge snart hämta sig och åter få en hög reningsgrad av  $BOD_7$ .

I Anderslöv visar utflöde 1 på en mycket högre halt  $BOD_7$  än de andra proverna. Om det beror på en variation av inkommande  $BOD_7$  till anläggningen, eller att den mänskliga faktorn ligger bakom den höga avvikelserna är svårt att säga. Alla prov visar dock på att vattnet har renats väl från  $BOD_7$  om man ser till hela avloppsanläggningens rening.

## 10.3 Jämförelse med uppskattad rening

### 10.3.1 Reningsgrad

Eftersom det är få prover att utgå från går det inte att ge en tillförlitlig bild av vad reningsgraderna för rotzonsanläggningarna ligger på. Uppskattningarna av reningsgraderna visas i tabell 13. Från resultaten från Anderslöv kan man uppskatta en reningsgrad av  $BOD_7$  på runt 30-50%, och i Häglinge en nivå runt 50-90% men det är grova uppskattningar då vi inte vet mer om de utgående koncentrationerna än att de ligger under ett visst värde. Stora variationer i vattnets utgående  $BOD_7$  koncentration (till exempel för Anderslöv utflöde 1 i oktober) gör det också svårt att tolka hur mycket  $BOD_7$  som har reducerats från en vattenmängd. Reningsgraden av  $BOD_7$  kan därför i själva verket vara mycket högre eller lägre än vad som går att tyda från resultaten. Generellt ligger reduktionen av  $BOD_7$  på 70-90% för rotzonsanläggningar.

Det är därför mer troligt att reduktionen hos rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge ligger på en nivå i närheten av detta.

Samma mönster gäller för kväve och fosforreduktionen i våtmarkerna (se tabell 13). Reningsgraderna varierar mellan -45% till 70% och inga direkta likheter kan ses mellan anläggningarnas reningsgrader mellan augusti och oktober. Mer om varför det är svårt att tyda reningsgraderna förklaras i avsnitt 10.4 Osäkerhetskällor. Det hade varit intressant att se om det fanns någon skillnad i reningsgrad mellan augusti och oktober för de båda rotzonsanläggningarna då lägre temperaturer kan göra så att reningsgraden försämras. Dock kan detta inte utläsas från resultaten då proverna generellt visar på en så stor variation i reningsgrad.

### 10.3.2 Halter i in och utflöde

Koncentrationerna av fosfor och kväve i vattnet kan jämföras med resultatet i tabell 7 med teoretiskt uppskattade värden på halter i in och utflödet. De uppskattade halterna kväve och fosfor i Anderslöv låg på en något högre halt än de uppmätta koncentrationerna men ändå inom spannet för mycket rimliga uppskattningar med tanke på hur mycket halterna kan variera i ett hushåll. Fosforhalterna i Häglinge i oktober och augusti följde samma mönster som i Anderslöv att uppskattningarna var väldigt bra men något högre än de uppmätta proverna.

Den uppskattade kvävehalten var dock något sämre för både augusti och oktober i Häglinge, men låg ändå inom spannet för vad som räknas som en normal variation i ett hushålls variation i utsläppshalter. I augusti låg uppskattningen av inflödet på 67 mg/l och enligt vattenprovet låg halten på 133 mg/l. Utifrån uppskattningar från tabell 7 skulle den initiala koncentrationen kväve i avloppsvattnet i augusti i Häglinge ligga på 164 mg/L vilket är cirka 2 ggr större än Naturvårdsverkets uppskattade värde av 80 mg/L kväve i avloppsvatten. Som nämnts tidigare kan ett och samma hushålls halter av närsalter i avloppsvatten variera med ”upp till mellan 5 till 10 gånger” (Naturvårdsverket 2008). Uppskattningen av kvävekoncentrationen för Häglinge i oktober är inte lika bra. De uppmätta koncentrationerna av kväve låg på 41,7 mg/L och 60,5 mg/L medan de uppskattade värdena låg på 9,8 och 5,9 mg/L.

Det är svårt att avgöra varför den uppskattade halten kväve i oktober i Häglinge blev mindre bra än de andra uppskattningarna. Antingen beror det på att reduceringsuppskattningen av kväve stämmer mindre bra in på en eller flera av anläggningskomponenterna i Häglinge, eller så kan avloppsvattnet haft en tillfälligt hög koncentration kväve vid provtagningstillfället. Generellt sett var uppskattningarna av kväve och framför allt fosfor bra för båda anläggningarna. Uppskattningar kan ge en bild av vilka halter kväve och fosfor som släpps ut från avloppsanläggningar, vilket kan underlätta vid konstruktion av en avloppsanläggning, men för att veta hur mycket kväve och fosfor som faktiskt renas i en avloppsanläggning behöver provtagningar utföras.

## 10.4 Osäkerhetskällor

Som tidigare nämnts i rapporten kan ett hushålls halter närsalter i avloppsvattnet variera, även om variationerna minskar med tiden som vattnet renas i en avloppsanläggning; det inkommande vattnet i rotzonsanläggningarna har troligtvis en något större variation i BOD<sub>7</sub>, fosfor och kvävekoncentrationer än vattnet som lämnar rotzonen. Det tar omkring 2-3 pumpningar för en vattenmängd att färdas genom rotzonsanläggningen i Häglinge och omkring 12-16 pumpningar för vattnet i Anderslöv. Det innebär att de olika vattenmängderna som pumpats in i rotzonsanläggningarna kan innehålla olika halter av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve, beroende på hushållets vattenanvändning. Om hushållets boende har duschat kommer avloppsvattnet inne-

hålla lägre koncentrationer BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve än om vattnet kommer från till exempel en vattenspolande toalett. Eftersom ett hushålls vattenanvändning varierar under dagen varierar avloppsvattnets komposition i samma utsträckning.

På grund av dessa variationer är det svårt att fastställa en reningsgrad för anläggningen med de få prover som tagits i detta examensarbete. För att få en mer rättvis bild av hur reningsgraden hade sett ut för rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge hade man behövt ta fler prover under en längre tidsperiod, förslagsvis att ta ett prov varje gång pumpen går igång under en eller flera dagar i streck per provomgång. Att det råder stora variationer i reningsgrad för rotzonsanläggningar och våtmarker visas även i tabell 3 där reningsgraderna för fosfor och kväve har mycket stora variationer i konfidensintervallen för alla våtmarkstyper.

För att summera kan undersökningarna från denna rapport ge en grov indikation av hur vattnet renas i rotzonsanläggningarna. För att få en bättre bild av hur reningsgraderna ser ut i rotzonsanläggningarna hade en längre provtagningssomgång med fler prover behövts.

## **10.5 Uppfylls Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer?**

Reduktionen av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve hos anläggningarna ligger över reduktionskraven för Anderslöv och Häglinge, förutom Häglinge BOD<sub>7</sub> reduktion i oktober och fosforrening i augusti samt Anderslöv fosforreduktion i augusti. Att fosforreningen i Häglinge var bristfällig är inte förvånande eftersom både fosforfällan och urinsepareringen var ur funktion under provtagningen i augusti. Varför BOD<sub>7</sub> reduktionen i oktober låg på ett sämre värde i oktober kan bero på att mikroorganismerna i anläggningen inte hunnit anpassa sig till lägre halter närsalter efter att urinsepareringen och fosforfällan börjat fungerade igen. Därför kan anläggningen haft en tillfälligt sämre reningsgrad. Den kan också bero på att vattentemperaturen var lägre, eller att det rådde en variation i avloppsvattnets initiala BOD<sub>7</sub> koncentration, eller en kombination av alla faktorer. Om Häglinge hade blivit godkänd för BOD<sub>7</sub> reningen vid denna provtagning kan inte avgöras i denna rapport, för det behövs en tillsynsmans utvärdering.

Fosforreduktionen i Anderslöv under augusti månad ligger strax under riktvärdet. Eftersom en tillsynsman inte har gjort bedömningen om fosforreningen ligger på en godkänd nivå är det svårt att uttala sig om Anderslövs fosforreduktion hade blivit godkänt. Dock med tanke på Naturvårdsverkets citat att ”En generös tolkning av provsvaren bör tillämpas eftersom det finns osäkerheter i uttag av prov och en anläggnings tekniska funktion”, borde ändå Anderslövs rening bli godkänd i augusti eftersom reduktionen ligger nära reduktionskravet. En tillsynsmans bedömning hade likväl behövts för att klargöra även detta fall.

## **10.6 Hur kan vattenreningen förbättras**

Förslagen på förbättringar i rotzonsanläggningarna som presenteras här är baserade på litteraturstudien i avsnitt 4 och 5 i rapporten. Hur mycket reningsgraden förbättras för varje enskild rotzonsanläggning är svårt att förutspå, men dessa åtgärder har visat sig öka reningsgraden för andra rotzonsanläggningar i vår klimatzon. Förbättringsförslag för hela avloppsanläggningen baseras på litteraturstudier om rotzonsanläggningars och andra avloppsanläggningars generella reningsgrader vid behandling av avloppsvatten, vilket presenteras i avsnitt 5 och 6.

### **10.6.1 Rotzonsanläggningen**

Enligt tabell 9 utgörs omkring 10% och 20% av växligheten i rotzonsanläggningarna i Anderslöv resp. Häglinge av bredkaveldun, en utav de växter som bidrar till en effektiv vattenrening av BOD<sub>7</sub>, fosfor och kväve enligt tidigare studier. Inga undersökningar har hittats om

reningskapaciteten hos övriga nuvarande växter i rotzonerna. Eftersom de inte är några utpräglade våtmarksväxter kan det ändå tänkas att växterna i tabell 1 är mer anpassade till att ta upp stora mängder näringsämnen eftersom de är mer anpassade att växa under näringsrika förhållanden. En åtgärd som kan förbättra vattenreningen kan därför vara att plantera fler växter från tabell 1 i rotzonsanläggningarna.

Om rotzonsanläggningens huvudsakliga mål är att rena vattnet från BOD, fosfor och kväve är plantering av bredekaldun, vass, jättegröe och vecketåg att rekommendera. Om vattnet behöver renas från fosfor i synnerhet är jättegröe och vass extra bra i detta syfte. Från ett estetiskt perspektiv kan det vara snyggt med stråk av färgglada blommor från gul svärdsilja eller kanna-växter, vilka renar vattnet till en viss grad men inte fullt lika effektivt som vass eller bredekaldun. Vad som är estetiskt snyggt varierar från person till person, men för att designa våtmarken till syfte för en god vattenrening kan det vara bra att inte enbart fylla rotzonsanläggningen med svärdsilja och kanna-växter, utan även ta med några näringslukande våtmarksväxter så som bredekaldun, vass, jättegröe och vecketåg. Generellt förbättras vattenreningen mer om olika växtarter planteras i rotzonsanläggningen.

För att optimera sedimentation av fosfor bör substratet i rotzonen bestå av partiklar med en stor kontaktyta (t.ex. grus eller sand). Det nuvarande substratet i rotzonsanläggningarna är pimpsten, vilket i studier har visat på en god adsorptionsförmåga av fosfor. En ännu högre reningsgrad har funnits för sand med en hög andel kalcium, järn och aluminium, men eftersom det var olika studier som undersökte reningskapaciteten hos rotzonsanläggningar med att använda sand och pimpsten bör man inte haka upp sig på siffor, eftersom det även kan ha varit andra faktorer som ledde till att reningsgraden var något högre för sanden än för pimpstenen. Min rekommendation är att använda sand med hög andel kalcium, järn och aluminium, eller att använda pimpsten. Vilket substrat som är det bästa av dessa två för en rotzonsanläggning är svårt att avgöra.

Ytbehovet hos en rotzonsanläggning på 5-15 m<sup>2</sup>/PE enligt Naturvårdsverket, vilket ger en riktlinje kring hur stor yta som behövs till rotzonsanläggningen. Storleken hos anläggningen påverkar uppehållstiden, som i sin tur påverkar vattenreningen. En längre uppehållstid ger en bättre rening av BOD, fosfor och kväve. En rotzonsanläggning på 5 m<sup>2</sup>/PE förväntas rena vattnet med 95% från BOD<sub>5</sub> och 50% från tot-P respektive tot-N. Om en högre reningsgrad önskas eller platsbrist för anläggningen inte är ett problem kan man göra den större, dock blir antagligen reningen inte mycket bättre efter 15 m<sup>2</sup>/PE. Exakt hur lång uppehållstid som krävs för en tillräckligt god rening kan vara svårt att avgöra från fall till fall i förväg, men här kan det återigen vara klokt att utgå från Naturvårdsverkets rekommendationer kring ytbehovet. Rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge har dimensionerats enligt 2.5 m<sup>2</sup>/PE samt 0.625 m<sup>2</sup>/PE, vilket är en mycket mindre area än Naturvårdsverkets rekommendationer. Det hade varit intressant att se hur den mindre arean påverkade reningsgraderna för rotzonsanläggningarna, dock togs för få vattenprover för att kunna fastställa rotzonsanläggningarnas reningsgrader. Om reningsgraden önskas förbättras för båda rotzonsanläggningarna är emellertid en ökning av rotzonsanläggningarnas yta att rekommendera.

Om rotzonsanläggningen konstrueras för att klara god rening vid lägre temperaturer bör vattenreningen hålla sig på en god nivå även vintertid i kallare regioner. För att främja god rening kan man omgärda rör och rotzonsanläggning med ett isolerande material och på markytan vid rotzonen kan man låta växterna stå kvar på vintern för att isolera anläggningen från kyla. Korta rör mellan hushåll och rotzonsanläggning bidrar till att mer av hushållets värme

transporteras med vattnet till anläggningen. Eftersom nedbrytningsprocesser generellt sker långsammare vid kallare temperaturer kan det vara motiverat att i kyligare regioner anlägga en större rotzonsanläggning för att öka uppehållstiden. Vattentemperaturen för anläggningarna i Anderslöv och Häglinge var relativt varm även i oktober (8-12 °C) trots att det var nollgradigt ute och att dessa anläggningar endast var extra isolerade med frigolit omkring inflödeslangan. Extra värmeisolering runt själva rotzonsanläggningarna var inte nödvändig i oktober och en generell anläggning i Skåne klarar förmodligen vattenreningen vintertid tillräckligt bra utan värmeisolering runt rotzonen. För att säkerställa denna slutsats behövs dock en provtagning vintertid av det utgående vattnet från anläggningarna. Ett isolerat inflödesrör är nog ändå att rekommendera så att vattenflödet in i rotzonen inte blockeras av isbildning i röret.

### **10.6.2 Hela avloppsanläggningen**

En rotzonsanläggning i sig räcker sällan till att rena avloppsvatten tillräckligt väl från BOD, fosfor och kväve, det behövs fler komponenter för att vattnet ska renas tillräckligt. Generellt gäller att om reningen är bristfällig i en avloppsanläggning kan den förbättras genom att antingen uppgradera/representera en komponent som inte längre fungerar som den ska, eller installera en till komponent i avloppsanordningen. Om reningen är bristfällig för ett specifikt ämne, t.ex. fosfor kan hela avloppsanläggningen gynnas av en komponent som är extra bra på att reducera fosfor från vattnet, till exempel en fosforfälla.

En markbädd har en mycket hög reningsgrad för BOD, vilket förmodligen delvis speglar sig i de låga halterna BOD<sub>7</sub> från proverna i Anderslöv. Ett aerobt system som en markbädd följt av en mer anaerob rotzonsanläggning är bra för att främja nitrifikation och denitrifikation i avloppsanläggningen. Kvävereningen i Anderslöv låg ändå precis under riktvärdet vid provtagningen i augusti. En recirkulation av vattnet i markbädden eller rotzonsanläggningen hade ytterligare kunnat främja en ökad nitrifikation och denitrifikation i systemet och därmed reducera kvävehalten i det utgående vattnet. Om fosforeringen önskas förbättras kan ett fosforfilter med fördel installeras till exempel mellan trekammarbrunnen och markbädden – efter trekammarbrunnen för att inte filtret ska sätta igen för snabbt och före markbädden för att förlänga livslängden hos markbädden.

Reningsgraderna i Häglinge låg på bra nivåer vid den andra provtagningen i oktober, bortsett från halten BOD<sub>7</sub>, men den kommer troligtvis förbättras med tiden när mikroorganismerna anpassat sig till lägre halter närsalter i rotzonsanläggningen. Om så är fallet att rotzonsanläggningen läcker kväve kommer det också att avta med tiden i och med att inkommande avloppsvatten innehåller en mindre mängd kväve. Under tiden som fosforfällan och urinsepareringen var ur funktion kan rotzonsanläggningen ha mättats en hel del på fosfor. Därför är det bra att fosforfällan nu fungerar som den ska, för att även rotzonsanläggningen ska kunna vara i drift så länge som möjligt.

# 11 Slutsats

För att avgöra om avloppsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge uppfyller Havs- och Vattenmyndighetens krav behövs en tillsynsmans bedömning, men baserat på provtagningarna som gjordes i augusti och oktober borde Anderslöv blivit godkänd för båda provtagningarna och Häglinge underkänd för båda provtagningarna. Anledningen till detta är troligtvis att delar av anläggningen var ur funktion i augusti samt att mikroorganismerna i anläggningen inte hunnit anpassa sig till att en lägre halt näringsämnen gick till rotzonsanläggningen i oktober efter att anläggningen åter fungerade som den skulle.

Växter i rotzonsanläggningen bidrar till att reningsgraden av vattnet förbättras. De växter som bidrar till bäst vattenrening är bredkaveldun, vass, jättegröe och veketåg. Ett substrat med hög kontaktyta och hög andel kalcium, aluminium och järn, till exempel pimpsten, bidrar till mest fosforrening. En längre uppehållstid ger en bättre vattenrening och om rotzonsanläggningen är anlagd i en kall klimatzon kan den behöva isoleras från kyla för att upprätthålla en god vattenrening vintertid.

## 11.1 Framtida studier

Det begränsade antalet provtagningar i studien kan ge en grov indikation av hur rotzonsanläggningarnas reningsgrad ser ut, men för att kunna dra tydligare slutsatser om rotzonsanläggningarnas reningsgrader påverkas av årtidsskiftningar hade fler provtagningar under en längre tidsperiod behövts. Förslagsvis hade prover kunnat tas från inloppet och utflödet från rotzonsanläggningarna varje gång pumpen startar, under en eller flera dagar vid varje provtillfälle. För att åstadkomma en sådan provtagning hade någon form av automatisk provtagningsmekanism med fördel kunnat installeras på platsen. Med tydligare reningsgrader från rotzonsanläggningarna hade förmodligen en minskad reningsgrad kunnat urskiljas för provtagningar när vattentemperaturen var kallare.

Area är ofta en begränsande faktor när rotzonsanläggningar skall konstrueras. Det finns därför ett behov av vidare studier kring hur vattenreningen kan optimeras i rotzonsanläggningar på en mindre area. Andra faktorer som styr vattenreningen kan i de fallen vara intressanta att inrikta studier på, så som val av växter, substratval och hur temperaturen kan hållas på en bra nivå för biologisk nedbrytning. Det kan även vara aktuellt att utvärdera hur man avgör vilka platser som är mest optimala att anlägga en rotzonsanläggning på, för att undvika yttre faktorer som har en negativ inverkan på rotzonsanläggningens reningsgrad.

Enligt Palm et al., (2002) behövs det fler studier om rotzonsanläggningars reningskapacitet och hur den kan förbättras, men det finns också ett behov av framtida studier som undersöker livslängden hos rotzonsanläggningar och hur den kan förlängas. Det finns även ett behov av forskning om hur näring från en rotzonsanläggning kan återföras och användas till odling och jordbruk. Att återföra näringen från jordbruket tillbaka till jorden igen är en av vår tids kommande utmaningar, då jordens fosforresurser är begränsade. Om vidare forskning kan visa på möjligheter att återföra näringen från vatten till jordbruksmark med hjälp av rotzonsanläggningar, kan dessa mycket väl bli ett stående inslag för efterbehandling av avloppsvatten för enskilda avlopp.





## 12 Referenser

Anderberg, A. & Anderberg, A.-L. (2016): *Den virtuella floran*. Elektronisk publikation, Naturhistoriska riksmuseet, Stockholm. <http://linnaeus.nrm.se/flora>

Arias, C.A, Del Bubba, M., Brix, H. (2001): *Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds*. Water Research, Vol 35: 1159–1168.

Aquatron. (2016a): *Aquatron 4x100 – ”Den lite större vatten mulltoan som använder vanlig WC”*. Aquatron – Biologiska toalettlösningar!, <http://www.aquatron.se/aquatron-4x100/> (Hämtad 2016-09-23).

Aquatron. (2016b): *Använd Aquatrons Fosforfälla för att klara de hög skyddsnivå i ert enskilda avlopp!*. Aquatron – Biologiska toalettlösningar!, <http://www.aquatron.se/sa-fungerar-det/fosforfalla/> (Hämtad 2016-09-26).

Brix, H., Arias, C.A. (2005): *The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines*. Ecological Engineering, Vol 25: 491-500

Brix, H. (1997): *Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands?*. Wat. Sci. Tech. Vol. 35, No. 5, pp. 11-17, 1997. Elsevier Science Ltd.

Brönmark, Christer and Hansson, Lars-Anders. (2005): *The Biology of Lakes and Ponds*. 2. Ed. Oxford: Oxford University Press.

Bötter, H. (2003): *Utvärdering av ett ekotekniskt reningssystem för avskiljning av fosfor och kväve*. TRITA-LWR, KTH, Stockholm, 22 p.

Çakir, R., Gidirislioglu, A., Çebi, U. (2015): *A study on the effects of different hydraulic loading rates (HLR) on pollutant removal efficiency on subsurface horizontal-flow constructed wetlands used for treatment of domestic wastewaters*. Journal of environmental management. 164 (2015) 121-128.

Coleman, J., Hench, K., Garbutt, K., Sexstone, A., Bissonnette, G., Skousen, J. (2001): *Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands*, Water, Air and Soil Pollution, Vol 128: 283-295.

Crites, R. W., Middlebrooks, J., Reed, S. C. (2005): *Natural wastewater treatment systems*. Taylor and Francis group, LLC. CRC Press. 269-271.

de-Bashan, L.E., Bashan, Y. (2004): *Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer*. (1997–2003). Water Research. Vol 38: 4222–4246

DeMerchant, C. (2016): *Growing canna lilies*. Dirt on my hands – My gardening pages. [http://www.dirtonmyhands.com/canna\\_grow.html](http://www.dirtonmyhands.com/canna_grow.html) (Hämtad 2016-11-01).

Eurostat (2015): *Use of water by the domestic sector (households and services) – all sources, 2003-13 (<sup>1</sup>) (m<sup>3</sup> per inhabitant) YB16.png*. Water statistics. Eurostat – Statistics explained. <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

explained/index.php/File:Use\_of\_water\_by\_the\_domestic\_sector\_(households\_and\_services)\_%E2%80%94all\_sources,\_2003%E2%80%9313\_(%C2%B9)\_(m%C2%B3\_per\_inhabitant)\_YB16.png (Hämtad 2016-10-03).

Hammer, Mark J., Hammer, Mark J. Jr. (2012): *Water and wastewater technology*. 7. Ed. Pearson Education, inc. New Jersey. 395-397

Havs- och vattenmyndighetens allmänna råd om små avloppsanordningar för hushållspillvatten. HVMFS 2016:17.

Ingesson, Ulrika. (1996): *Denitrifikationsprocessen. En litteraturstudie*. Teknisk rapport – Sveriges Lantbruksuniversitet, avd. för vattenvårdslära.  
[http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/tekn\\_rapp\\_vattenvardslara/TRV24/TRV24.HTM](http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/tekn_rapp_vattenvardslara/TRV24/TRV24.HTM) (Hämtad 2016-08-29)

Johnston C.A. (1993): *Mechanisms of wetland-water quality interaction*. In: Moshiri G.A. (ed), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 293–299.

Kadlec, R.H., Reddy, K.R. (2001): *Temperature effects in treatment wetlands*. *Water Environment Research*. Vol. 73. No. 5.

Land, M., Granéli, W., Grimvall, A., Hoffman, C.C., Mitsch, W.J., Tonderski, K.S., Verhoeven, J.T.A. (2016): *Hur bra är anlagda och restaurerade våtmarker på att rena vatten från kväve och fosfor?* Sammanfattning av Systematisk utvärdering SR2. EviEM, Stockholm.  
<http://www.eviem.se/Documents/projekt/SR2/EviEM-2016-Summary%20FINAL-SR2-Swedish.pdf> (Hämtad 2016-08-12)

Lai, W-L., Wang, S-Q., Peng, C-L., Chen, Z-H., (2011): *Root features related to plant growth and nutrient removal of 35 wetland plants*. *Water research*, 45:3941-3950.

Lawniczak, A. E. (2011): *Nitrogen, Phosphorous and Potassium Resorption Efficiency and Proficiency of Four Emergent Macrophytes from Nutrient-Rich Wetlands*. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 20, No. 5 (2011), 1227-1234.

Li, L., Yang, Y., Tam, N. F. Y., Yang, L., Mei, X-Q., Yang, F-J. (2013): *Growth characteristics of six wetland plants and their influences on domestic wastewater treatment efficiency*. *Ecological Engineering* 60 (2013) 382-392.

Mossberg, B., Stenberg, L., (2003): *Den Nya Nordiska Floran*. 2 Ed. Repro, tryck och bokbinderi: PDC Tangen, Norge 2006.

Naturvårdsverket. (2016): *Miljömålen – Årlig uppföljning av Sveriges miljökvalitetsmål och etappmål 2016*. Rapport 6707. Mars 2016.

Naturvårdsverket. (2010): *Rening av avloppsvatten i Sverige*. ISBN 978-91-620-8629-9. Davidssons tryckeri AB. Växjö december 2012.

Naturvårdsverket. (2009): *Sveriges åtagande i Baltic Sea Action Plan – Förslag till nationell åtgärdsplan*. Rapport 5985. Juli 2009.

Naturvårdsverket. (2008): *Bilagor till handboken Små avloppsanläggningar*. Handbok 2008:3. Juli 2008.

Nielsen, T., Karlsson, D. (2005): *Miljöstrategisk jämförelse mellan två olika reningstekniker för enskilda avlopp*. Examensarbete. Media-tryck, Lunds Universitet.

Njau, K.N., Minja, R.J.A., Katima, J.H.Y. (2003): *Pumice soil: a potential wetland substrate for treatment of domestic wastewater*. Water Science and Technology. Vol 48 no 5 pp 85-92. IWA publishing 2003.

Norrvatten (2016): *Så används vattnet*. Fakta om vårt dricksvatten, Dricksvatten. <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Fakta-om-vart-dricksvatten/Sa-anvands-vattnet/> (Hämtad 2016-10-04)

Nyman, H. (2016): *Röd arrowrot – Canna Indica – Frösådd*. Tankar om och från min trädgård – En blogg om frösådder och odlingsvärda växter som även trivs i kallare klimat. <http://helenstrdgrd.blogspot.se/2014/12/rod-arrowrot-canna-indica-frosadd.html> (Hämtad 2016-11-01).

Ojoawo, S. O., Udayakumar, G., Naik, P. (2015): *Phytoremediation of Phosphorus and nitrogen with Canna x generalis Reeds in Domestic Wastewater through NMAMIT Constructed Wetland*. International conference on water resources, coastal and ocean engineering (ICWRCOE 2015). Aquatic Procedia 4 ( 2015 ) 349 – 356.

Palm, O., Malmén, L., Jönsson, H. (2002): *Robusta uthålliga små avloppssystem*. Naturvårdsverket. Stockholm: Danagårds Grafiska. December 2002.

SS-EN\_1899-1. *Vattenundersökningar – Bestämning av biokemisk syreförbrukning efter n dagar (BOD<sub>n</sub>) – del 1: Utspädningsmetod med tillsats av allyltiourinämne (ISO 5815:1989, modified)*. Januari 1998.

Svensson, S. (2016): *Kanna*. Odlanu – din trädgård på nätet. <http://www.odla.nu/inspiration/kanna>. (Hämtad 2016-09-13)

Tylová, E., Steinbachová, L., Soukup, A., Gloser, V., Votrubová, O. (2013): *Pore water N:P and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – alter the response of Phragmites australis and Glyceria maxima to extreme nutrient regimes*. Hydrobiologia. Vol 700: 141-155.

Törneman, N., Karlsson, L., Englov, P., Cox, E.E., Durant, N.D., Azziz, C., Dall-Jeppsen, J., Jörgensson, T.H. (2009): *Övervakad naturlig självrening som åtgärdsstrategi på förorenade områden*. Naturvårdsverket. Rapport 5893. April 2009.

Ulé, B. (2005): *Fosforförluster från mark till vatten*. Havs- och vattenmyndigheten. Rapport 5507. Oktober 2005.

VA-Guiden AB. (2015): *Trekammarbrunn och markbädd – bra att veta*. [online] <https://www.youtube.com/watch?v=mPJxsXHkfb> (Hämtad 2016-09-22).

Vinnerås, B. (2002): *Possibilities for Sustainable Nutrient Recycling by Faecal Separation Combined by Urine Diversion*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Doktorsavhandling.

Vymazal, J., Kröpfelová, L. (2008): *Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review of the field experience*. Science of the total environment 407(2009) 3911-3922.

Waara, S., Gajewska, M., Dvarioniene, J., Ehde, P-M., Gajewski, R., Grabowski, P., Hansson, A., Kaszubowski, J., Obarska-Pempkowiak, H., Przevlócka, M., Pilecki, A., Nagórka-Kmiecik, D., Skarbek, J., Tonderski, K., Weisner, S., Wojciechowska, E. (2014): *Towards recommendations of wetlands for post-tertiary treatment of wastewater in the Baltic Sea Region – Gdansk case study*. Linnaeus ECHO-TECH '14. Kalmar, Sweden.

Werker, A.G., Dougherty, J.M., McHenry, J.L., Van Loon, W.A. (2001): *Treatment variability for wetland wastewater treatment in cold climate*. Ecological Engineering 19 (2002) 1-11.

Wetlands International. (2003): *The use of constructed wetlands for wastewater treatment*. Petaling Jaya: Wetlands International – Malaysia Office. Februari 2003.

# 13 Bilagor

## 13.1 Bilaga 1: Nomenklatur

Nomenklatur	
<b>Aerob</b>	<i>Syrerik miljö.</i>
<b>Anaerob</b>	<i>Syrefattig miljö.</i>
<b>BDT-vatten</b>	<i>Avloppsvatten från hushållet som kommer från Bad/dusch/tvätt aktiviteter. BDT-vatten innehåller generellt en lägre koncentration av näringsämnen.</i>
<b>BOD<sub>7</sub></b>	<i>Biological Oxygen Demand/Biologisk syreförbrukning. Anger hur mycket syre som förbrukas av mikroorganismer i vattnet under 7 dagars inkubation i labb.</i>
<b>HLR</b>	<i>Hydraulisk belastning, Flödet [m<sup>3</sup>/t] dividerat med area av våtmark [m<sup>2</sup>].</i>
<b>HRT</b>	<i>Hydraulic Retention Time, ett annat ord för vattnets uppehållstid.</i>
<b>Makrofyter</b>	<i>Ett annat namn för växter.</i>
<b>PE</b>	<i>Personekvivalent (ex. hur stor yta av en markbädd som täcker reningsbehovet för en person).</i>
<b>Tot-N</b>	<i>Totalt kväve. Koncentrationen av Tot-N innebär koncentrationen av allt kväve i vattnet.</i>
<b>Tot-P</b>	<i>Samma som för Tot-N fast för fosfor istället.</i>

## 13.2 Bilaga 2: Specifik yta av olika material från Bara Mineraler



**Specifik yta för olika material**

Material	Specifik yta, m <sup>2</sup> /g	Förhållande ggr
Sand, 0,5 - 1,0 mm	0,1 - 0,2	1
Pimpsten, 0,5 - 2 mm	10 - 20	100
Lera,	10 - 50	200
Aktivt kol	1 000	6 666

### 13.3 Bilaga 3: Spädningsschema vid bestämning av BOD<sub>n</sub>

Denna tabell är hämtad ur standarden SS-EN 1899-1 och återgiven med vederbörligt tillstånd av SIS Förlag AB.

**Tabell 1 – Normala spädningar vid bestämning av BOD<sub>n</sub>**

Förväntat BOD <sub>n</sub> -värde mg/l syre	Spädfaktor *)	Vattentyp **)
3 till 6	mellan 1,1 och 2	R
4 till 12	2	R, E
10 till 30	5	R, E
20 till 60	10	E
40 till 120	20	S
100 till 300	50	S, C
200 till 600	100	S, C
400 till 1200	200	I, C
1 000 till 3 000	500	I
2 000 till 6 000	1 000	I

\*) Volym spätt prov/volym uttaget prov.  
\*\*) R: Flodvatten;  
E: Biologiskt renat kommunalt avloppsvatten;  
S: Sedimenterat kommunalt avloppsvatten eller lätt förorenat industriellt avloppsvatten  
C: Obehandlat kommunalt avloppsvatten;  
I: Starkt förorenat industriellt avloppsvatten.

## 13.4 Bilaga 4: Populärvetenskaplig sammanfattning

### Vattenrenande våtmarker

*En snyggare lösning till att rena hushållets avloppsvatten får man leta efter – när en rotzonsanläggning konstrueras får man både en rabatt med våtmarksväxter i trädgården samtidigt som hushållets avloppsvatten tas omhand. Att använda rotzonsanläggningar till vattenrening är vanligt i norra Europa, men hur väl renas egentligen vattnet? Två rotzonsanläggningar i Anderslöv och Häglinge i Skåne, kopplade till avloppshanteringssystem har undersökts med avseende på detta.*

En rotzonsanläggning är en slags våtmark utan synlig vattenyta, där vattnet rinner vågrätt genom marken. Reningen fungerar som bäst om vattnet får rinna genom grus och sand med en hög andel kalcium. Då binder näringsämnen lättare till gruset och följer därmed inte med vattnet ut från rotzonsanläggningen. Ju längre tid vattnet befinner sig i rotzonsanläggningen, desto renare blir vattnet.



*Grodarten ätlig groda i Anderslövs rotzonsanläggning*

Vattenprover togs från rotzonsanläggningarna i Anderslöv och Häglinge för att undersöka hur mycket vattnet renades för hushållen de hade kopplats till. Det fanns flera vattenreningskonstruktioner kopplade till hushållen innan vattnet gick till rotzonsanläggningarna, bland annat slamavskiljare och fosforfilter. Vattnet som gick ut från anläggningen i Anderslöv uppfyllde Havs- och Vattenmyndighetens riktlinjer men det gjorde inte anläggningen i Häglinge på grund av att delar av anläggningen var ur funktion när vattenproverna togs. För få prover togs för att kunna utläsa hur väl vattnet renades av själva rotzonsanläggningarna men det finns flera exempel på andra rotzonsanläggningar där vattenreningen når upp till höga reningsgrader. En rotzonsanläggning bör dock inte in-

stalleras ensam till att rena ett hushålls avloppsvatten, en annan avloppskonstruktion bör först rena vattnet från större partiklar av näringsämnen.

För att vattnet ska renas så bra som möjligt är det rekommenderat att plantera våtmarksanpassade växter i rotzonsanläggningen, bland annat bredkaveldun, vass och jättegröe. Om en mer färgglad rotzonsanläggning önskas kan även gul svärdsilja och kannaväxter planteras. Om rabatten växer till sig till en djungel (vilket är troligt med tanke på hur gödslad platsen blir av avloppsvattnet) kan man med fördel rensa bland växtligheten och använda stjälkar och blad till kompostmaterial om man har en större trädgård. Har man tur kan man även få besök av ovanliga gäster så som ätlig groda som trivs att leva i våtmarksmiljöer.