



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W12019

Examensarbete 30 hp  
Augusti 2012

# Resurseffektiv kvävereduktion genom nitritation

Resource-efficient nitrogen removal through  
nitritation

---

Erik Ellwerth-Stein

## **REFERAT**

### **Resurseffektiv kvävereduktion genom nitrifikation**

*Erik Ellwerth-Stein*

Problematiken med övergödning i våra akvatiska system har lett till hårdare krav på kväverening vid våra reningsverk. En rejektvattenbehandling har visat sig vara ett bra alternativ för att utöka kvävereningen. Vid Nykvarnsverket i Linköping renas avloppsvatten och sedan 2009 finns en SHARON-anläggning i drift. SHARON står för ”Stable High rate Ammonia Removal Over Nitrite” och är en kvävereningsprocess för rejektvatten utvecklad av Grontmij i samarbete med Tekniska universitetet i Delft.

I denna studie har SHARON-processen i Linköping undersökts. Dess funktion har utvärderats, drift- och underhållsbehov har studerats och nyckeltal för processen har tagits fram. Arbetet har utförts under våren 2012 genom teoretiska studier samt genom platsbesök och praktiska undersökningar vid Nykvarnsverket i Linköping.

Resultaten av denna studie visar att SHARON-processen i Linköping renar ammonium med en reningsgrad på 92,5 %. Denna kväverening motsvarar 18 % av reningsverkets totala kvävereduktion trots att endast cirka 0,5 % av det totala flödet genom reningsverket behandlas. Kostnaden för den utökade kvävereningen är 9,3 kr/kg N och energiåtgången är 2,2 kWh/kg N.

Processen har sedan idrifttagandet haft undermålig luftningskapacitet. Detta har troligen lett till den instabilitet som processen uppvisat och att den uppsatta reningsgraden på 97 % inte nås. På grund av låga syrehalter finns Anammoxbakterier i SHARON-reaktorn. Anammoxbakterierna påverkar kvävereningen, men i vilken utsträckning detta sker är inte klarlagt. En ny blåsmaskin är i drift sedan den 30 april och luftningskapaciteten motsvarar nu ursprunglig processdesign. Effekten av den utökade luftningen behöver utvärderas ytterligare. De stöddoserar av bland annat fosfor och koppar, som är nödvändiga för mikroorganismernas tillväxt, kan exempelvis behöva justeras då processen reagerat på den utökade syretillförseln.

**Nyckelord:** SHARON, kväverening, nitrifikation, rejektvattenbehandling, Anammox

## **ABSTRACT**

### **Resource-efficient nitrogen removal through nitrification**

*Erik Ellwerth-Stein*

Eutrophication in our aquatic systems has led to stricter limits regarding nitrogen removal at our wastewater treatment plants. Side stream treatment of reject water has proven to be a good alternative for extended nitrogen removal. At Nykvarnsverket, in Linköping municipality, in Sweden a SHARON-process has been operational since 2009. SHARON stands for "Stable High rate Ammonia Removal Over Nitrite" and is a nitrogen removal reject water treatment process developed by Grontmij and Delft University of Technology.

In this study the function of the SHARON-process in Linköping has been evaluated. The operating and maintenance costs have been calculated. The study has been performed during the spring of 2012 through theoretical studies and practical investigations at Nykvarnsverket in Linköping.

The results show that the SHARON-process in Linköping removes ammonia with an efficiency of 92.5 %. This nitrogen removal corresponds to 18 % of the total nitrogen removal at Nykvarnsverket, in spite of the fact that the reject water treatment constitutes only 0.5 % of the treatment plant's total hydraulic capacity. The cost of the extended nitrogen removal was 9.3 SEK/kg N and the energy consumption was 2.2 kWh/kg N.

Ever since the process was put into operation, there has been a lack of aeration capacity. This is probably the cause of the process instability and the fact that the nitrogen removal efficiency does not reach the design value of 97 %. Because of the low levels of dissolved oxygen there are Anammox-bacteria present in the process. The Anammox-bacteria affect the nitrogen removal, but exactly to what extent has not been determined. A new blower is in operation since the 30th of April and the aeration capacity now corresponds to the original design. The effect of the increased aeration needs further evaluation. The aid dosages of copper and phosphorous, important for the growth of the microorganisms, may need to be fine-tuned when the process has reacted to the increased oxygen supply.

**Key words:** SHARON, nitrogen removal, nitrification, reject water treatment, Anammox

# **FÖRORD**

## **Resurseffektiv kvävereduktion genom nitrifikation**

*Erik Ellwerth-Stein*

Detta examensarbete är genomfört som den avslutande delen av civilingenjörsutbildningen Miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet. Arbetet har pågått under 20 veckor, vilket motsvarar 30 högskolepoäng.

Arbetet har utförts på teknikkonsultföretaget Grontmij AB i Stockholm och Linköping. Handledare har varit Richard Cederborg och Anna Schabbauer på Grontmij. Ämnesgranskare har varit Bengt Carlsson på Institutionen för Informationsteknologi, Uppsala universitet.

Ett stort tack till mina handledare Richard Cederborg och Anna Schabbauer som kommit med bra idéer och synpunkter under arbetets gång. Tack Ola Rosén och Arjan Borger på Grontmij för uttömmande svar på detaljfrågor rörande process och teknik. Tack till Bengt Carlsson som hade möjlighet att vara ämnesgranskare.

Jag vill också rikta ett stort tack till alla på Nykvarnsverket i Linköping som hjälpt mig under arbetets gång. Ett särskilt tack riktas till Henrik Kruise och Hanna Tengliden för all den tid ni ägnat mig.

Tack Annika för stöd och motivation då arbetet varit tungt och målet känts långt borta.

Erik Ellwerth-Stein  
Uppsala, 2012

Copyright © Erik Ellwerth-Stein och Institutionen för informationsteknologi, Avdelningen för systemteknik, Uppsala universitet.

UPTEC W12019, ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala, 2012.

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Resurseffektiv kvävereduktion genom nitrifikation

*Erik Ellwerth-Stein*

Våra hav och sjöar lider av övergödning orsakade av mänskliga utsläpp från bland annat avlopp och jordbruk. Kväve och fosfor är de näringsämnen som bidrar till denna övergödning och krafttag måste tas för att minska utsläppen. I Sverige är omkring 85 % av hushållen anslutna till kommunal avloppsrening. Av de cirka 500 kommunala reningsverk som är dimensionerade för mer än 2000 personer har över hälften byggts ut med extra kväverening.

Vid många reningsverk finns denna utökade kväverening i form av en separat rejektvattenbehandling. Vid avvattning av slam erhålls rejektvatten med hög temperatur och mycket höga ammoniumhalter. Detta ger processtekniska fördelar vilket öppnar för en resurseffektiv rening. Mikroorganismer som omvandlar kväve utnyttjas för nitrifikation och denitrifikation, de processer som omvandlar ammoniumkväve till kvävgas. Forskning har under de senaste årtiondena lett till utvecklingen av nya energi- och kostnadseffektiva metoder för rejektvattenbehandling.

Tekniska Verken i Linköping valde att satsa på en ny typ av rejektvattenrening vid Nykvarnsverket, för att möta nya striktare krav på kväverening från 2010. En SHARON-anläggning som renar kväve via en genväg i kvävet naturliga kretslopp togs i bruk 2009. SHARON står för ”Stable High rate Ammonia Removal Over Nitrite” och är en kvävereningsprocess utvecklad av Grontmij i samarbete med Tekniska universitetet i Delft. Genom att rena kväve via nitrit sparas 25 % av energin som annars går åt till luftning i motsvarande process vid konventionell nitrifikation. Processen kräver dessutom endast 60 % av den mängd kolkälla som behövs som tillsats vid denitrifikationen. Detta examensarbete har syftat till att utvärdera SHARON-anläggningens funktion från idrifttagandet fram till idag.

Genom att behandla rejektvattnet vid Nykvarnsverket i Linköping med hjälp av SHARON-processen har de nya striktare krav som ställts kunnat mötas. Endast cirka 0,5 % av det totala flödet genom reningsverket utgörs av rejektvatten, men kvävereningen i processen motsvarar 18 % av reningsverkets totala reduktion. Kostnaden för kvävereduktionen i denna process är 9,3 kr/kg N vilket är lågt i jämförelse med liknande processer på marknaden. Energiförbrukningen är 2,2 kWh/kg N, vilket är lägre än förväntat.

SHARON-anläggningen har dock inte renat kväve så effektivt som den enligt designen skulle göra. Reningsgraden av ammonium har varit cirka 92,5 % under 2010-2011 och når inte upp till målet, som är 97 %. Detta förklaras med att luftningskapaciteten inte varit tillräcklig sedan idrifttagandet. En ny blåsmaskin som ska ge processen önskad kapacitet är den 30 april tagen i drift och resultaten av den utökade kapaciteten kommer att utvärderas ytterligare.

Anammoxbakterier förekommer i SHARON-anläggningen i Linköping. I form av röda bakterieansamlingar syns de på mätutrustning och sensorer. Anammoxbakterier har sitt namn efter det sätt på vilket de kan omvandla ammonium (ANAerob AMMONiumOXidation). Potentiella fördelar med den studerade processen är en energibesparing på 60 % i jämförelse med konventionell nitrifikation och det behövs heller ingen tillsats av organiskt material. Med

tanke på den bristfälliga luftningskapaciteten och den, trots detta, höga reningsgraden har en misstanke länge funnits om att det finns mer Anammoxbakterier i processen än vad som är känt. Låga syrenivåer öppnar för att Anammoxbakterier kan leva och frodas. Processens funktion skulle kunna förklaras av att den fungerar som något av en Anammox-hybrid.

Med de resultat och nyckeltal som tagits fram underlättas jämförelsen med ny tillgänglig teknik på området för rejektivattenrening. Sedan det blev känt att reningen av rejektivatten har en såpass god inverkan på den totala kvävereningen och dessutom är mycket kostnadseffektiv, bedrivs forskning på bred front. Vetskapen om Anammoxbakteriens potential, att rena kväve på det mest resurseffektiva sättet hittills, har också drivit på forskningen. Processer som genom att först omvandla hälften av ammoniumet till nitrit och därefter låta Anammoxbakterier omvandla nitrit och resterande ammonium till kvävgas kallas deammonifikation. Det finns idag en rad aktörer på marknaden som erbjuder rejektivattenrening med olika deammonifikationslösningar. Försök med att implementera dessa bakterier även på huvudströmmen i reningsverk pågår världen över. Nya rön talar om reningsverk som i framtiden kan gå från att vara energikonsumenter till energiproducenter. Avloppsvatten kan då bli en energikälla och viktig resurs.

Sverige har genom bland annat Baltic Sea Action Plan valt att driva frågan mot övergödning även internationellt. Genom att utnyttja tillgänglig ny teknik kan Sverige agera förebild för övriga länder inom Östersjösamarbetet. Striktare reningskrav är att vänta för många av landets reningsverk och stora investeringar görs för att möta dessa.

I det föreliggande examensarbetet föreslås slutligen att Tekniska Verken i Linköping utvärderar de nya tekniker som de senaste åren utvecklats och jämför dem med befintlig anläggning vid Nykvarnsverket. Med en deammonifikationsanläggning skulle den i dagsläget största kostnaden vid SHARON-processen, nämligen kolkällatillsatsen, kunna elimineras. När processer som innefattar Anammoxbakterier utvärderas bör även pågående forskning, om dessa bakteriers implementering i huvudströmmen, beaktas i valet av ny teknologi.

## ORDLISTA

AOR – Actual Oxygen Requirement, faktiskt syrebehov.

BOD<sub>7</sub> – Biochemical Oxygen Demand. Biokemisk syreförbrukning (under en mätperiod som vanligtvis omfattar sju dygn) – Organisk substans mätt som den mängd i vatten löst syre som åtgår för biologisk nedbrytning av materialet.

COD – Chemical Oxygen Demand, mängden syre som går att för att oxidera oorganiska och organiska ämnen i vatten.

DEMON – DEamMONifikation, en av Grontmij licensierad kväverenningsprocess för rektvattenrening med Anammoxbakterier.

DO – Dissolved Oxygen, löst syrehalt, mäts vanligtvis i mg/l.

Eutrofiering – Övergödning, ökning av halten näringsämnen i t.ex. vatten, vilket medför påskyndad produktion av biomassa som kan resultera i algbloomning och igenväxning.

Grontmij – Grontmij AB, teknikkonsultföretag som ansvarat för processdesign av SHARON.

Grontmij NL – Grontmij Nederländerna.

HRT – Hydraulic Retention Time, hydraulisk uppehållstid.

HRT<sub>anox</sub> – Hydraulisk syrefri tid.

HRT<sub>ox</sub> – Hydraulisk luftad tid.

Kemostat – en bioreaktor till vilken man kontinuerligt tillför färskt medium, medan kulturvätska kontinuerligt tas bort, så att kulturvolymen hålls konstant.

Kvävefixering – Process som omvandlar kvävgas (N<sub>2</sub>) i luft till organiskt bundet kväve.

Personekvivalent, pe – definieras i Sverige som en BOD<sub>7</sub>-belastning om 70 gram per dygn. I internationell rapportering används den ungefärligen ekvivalenta definitionen 60 g BOD<sub>5</sub> per dygn.

Recipient – Mottagare av substanser som avsiktligt eller oavsiktligt släpps ut från en verksamhet, t.ex. vattendrag, hav eller luft.

SHARON - står för ”Stable High rate Ammonia Removal Over Nitrite” och är en av Grontmij patenterad kväverenningsprocess som renar kväve genom nitritation.

SOTR – Standard Oxygen Transfer Rate, syreöverföring per tid vid normala förhållanden.

SRT – Sludge Retention Time, slamålder.

STAR – Process-optimeringssystem med online-styrning patenterat av Veolia Water.

TVAB – Tekniska Verken i Linköping AB (publ). Äger och ansvarar för driften på Nykvarnsverket.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Referat .....	I
Abstract .....	II
Förord .....	III
Populärvetenskaplig sammanfattning .....	IV
Ordlista .....	VI
1 Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Arbetsätt .....	2
2 Teori .....	3
2.1 Kväve.....	3
2.2 Gällande lagar, krav och styrmedel .....	4
2.2.1 Svensk lagstiftning .....	4
2.2.2 Avloppsdirektivet .....	5
2.2.3 Baltic Sea Action Plan.....	6
2.3 Biologisk kväverening .....	7
2.3.1 Nitrifikation .....	7
2.3.2 Denitrifikation .....	8
2.3.3 ANAMMOX - ANaerob AMMoniumOXidation .....	9
2.4 Olika tekniker för biologisk kväverening .....	9
2.4.1 Aktivslamteknik .....	10
2.4.2 Satsvis Biologisk Rening - SBR.....	10
2.4.3 Våtmarker.....	10
2.4.4 Biofilmsystem .....	11
2.4.5 MembranBioReaktor - MBR.....	11
2.4.6 SHARON .....	12
2.4.7 Deammonifikation.....	16
3 Metod .....	18
3.1 Litteraturstudier kväverening .....	18
3.2 Platsundersökning Nykvarnsverket .....	18
3.3 Insamling av driftserfarenheter och data .....	18
3.4 Beräkning av syre- och luftmängdsbehov .....	19
3.5 Drift- och underhållsbehov samt kostnader.....	20



3.6	Laborationsförsök - Skumning .....	20
4	SHARON-anläggningen vid Nykvarnsverket .....	21
4.1	Nykvarnsverket.....	21
4.2	Bakgrund .....	23
4.3	Processbeskrivning .....	23
4.3.1	Designförutsättningar .....	23
4.3.2	Kolkälledosering .....	25
4.3.3	Stöddoseringar.....	26
4.3.4	Luftning .....	27
4.3.5	Skumning .....	27
4.3.6	Drift- och underhållsbehov.....	28
4.3.7	Förekomst av Anammoxbakterier .....	28
4.4	Funktion.....	28
5	Resultat.....	29
5.1	Processens funktion .....	29
5.2	Beräkning av syre och luftmängdsbehov.....	29
5.2.1	Avstämning mot installerad kapacitet .....	30
5.3	Drift- och underhållsbehov samt kostnader.....	30
5.4	Nyckeltal för väsentliga parametrar .....	30
5.5	Skumningsförsök .....	31
6	Diskussion .....	32
6.1	Processens funktion .....	32
6.2	Beräkning av syre och luftmängdsbehov.....	33
6.3	Drift- och underhållsbehov samt kostnader.....	33
6.4	Nyckeltal för väsentliga parametrar .....	34
6.5	Stöddosering av fosfor och koppar .....	34
6.6	Åtgärdsförslag gällande driftförbättringar vid anläggningen .....	34
6.6.1	Driftförbättringar av SHARON-processen i Linköping.....	34
6.6.2	Alternativa reningsmetoder för rejektivatten.....	34
7	Slutsatser .....	36
8	Referenser.....	37
8.1	Litteratur .....	37
8.2	Personliga referenser .....	39

9	Bilaga A Nykvarnsverket schematiskt .....	40
---	---	----

## 1 INLEDNING

Alla organismer behöver näringsämnen för att leva och utvecklas. I akvatiska ekosystem är det framförallt kväve (N) och fosfor (P) som är begränsande, dvs. de ämnen som styr tillväxten (SMHI 2009). Näringstillförsel till hav, sjöar och vattendrag är således en förutsättning för ett spirande akvatiskt liv och inget miljöproblem i sig. Ordet övergödning används ofta i samband med att näringstillförseln till ett ekosystem blir alltför stort. Ordets egentliga betydelse är ”berikning av näring” vilken alltså inte syftar till någon miljöförstöring i sig (SMHI 2009). Eutrofiering är ett annat vanligt begrepp, som i större utsträckning antyder att det är en antropogen påverkan som orsakar berikningen av näringsämnen i ekosystemet (Greppa näringen 2010). I sjöar och vattendrag är det oftast fosfor som är det begränsande ämnet, medan det i havet i regel är kväve (Greppa näringen 2010).

I Sverige är Östersjön värst drabbat av eutrofieringens effekter. Övergödningen orsakar problem som försämrad biologisk mångfald, bottendöd, minskade fångster av fisk samt minskad tillgång på bra badvatten och ibland även hälsorisker då alggifter förekommer i vattnet (Greppa näringen 2010).

Kväve tillförs vattendrag, sjöar och hav via nedfall av luftburna kväveföreningar från sjöfart, trafik och energianvändning. Annan tillförsel sker via vatten från jordbruksmark och skogsmark samt avlopps- och dagvattensystem.

VA-branschen söker fortlöpande efter mer resurseffektiva lösningar för att behandla avloppsvatten. Den mest energikrävande delen i samband med behandlingen omfattar luftning för syresättning i samband med kvävereduktion. En av de mest kostsamma processerna är denitrifikationen som oftast innebär en tillsats av extern kolkälla. På grund av kommande skärpta krav på minskning av kvävehalten i det utgående vattnet från 15-20 mg/l till 6-10 mg/l måste många svenska reningsverk förbättra sin kväverening de kommande åren (Nivert m.fl. 2011).

De senaste tio åren har nya, mer resurseffektiva lösningar tagits i bruk vid några större anläggningar i Sverige. Lösningarna har baserats på alternativa kvävereduktionsmodeller, exempelvis genom nitritation eller med hjälp av så kallade Anammoxbakterier. Metoderna har fram till idag använts endast på rejektvatten från slamavvattning som innehåller höga koncentrationer kväve och har relativt hög temperatur. På senare tid har dock försök förekommit med att införa den mest resurseffektiva behandlingen, deammonifikation, på huvudströmmen vid rening av kommunalt avloppsvatten (de Mooij m.fl. 2012).

Tekniska Verken i Linköping, TVAB, stod inför striktare krav på kväverening från år 2010. Två olika tekniker sattes in för att möta dessa nya krav. Dels implementerades processtystemet STAR med onlinestyning, år 2007. Dels förbättrades kvävereningen av rejektvatten från slamavvattningen med en ny resurseffektiv process. TVAB har sedan 2009 en SHARON-reaktor i drift för att behandla sitt kväverika rejektvatten. SHARON är en av Grontmij patenterad processlösning som renar ammoniumkväve genom nitritation och denitrifikation.

## **1.1 SYFTE**

Examensarbetet inriktas mot att analysera och utvärdera processfunktionerna vid SHARON-anläggningen i Linköping från idrifttagningen fram till idag. Syftet är att arbetet ska resultera i:

- Redogörelse för SHARON-processens funktion på avloppsreningsverket.
- Beräkning av syre och luftmängdsbehov, avstämning mot installerad kapacitet.
- Redogörelse för drift- och underhållsbehov samt kostnader för detta.
- Framtagande av nyckeltal för väsentliga parametrar.
- Redogörelse för varför anläggningen behöver stöddosering av såväl fosfor som koppar.
- Åtgärdsförslag gällande driftförbättringar vid anläggningen.

## **1.2 ARBETSSÄTT**

Arbetet har genomförts genom teoretiska studier samt genom praktiska undersökningar på plats i Linköping. En litteraturstudie har utgjort grunden för teoriavsnittet. Möten och platsbesök i Linköping samt ytterligare en litteraturstudie har genomförts för att kartlägga Nykvarnsverket och dess SHARON-process.

## 2 TEORI

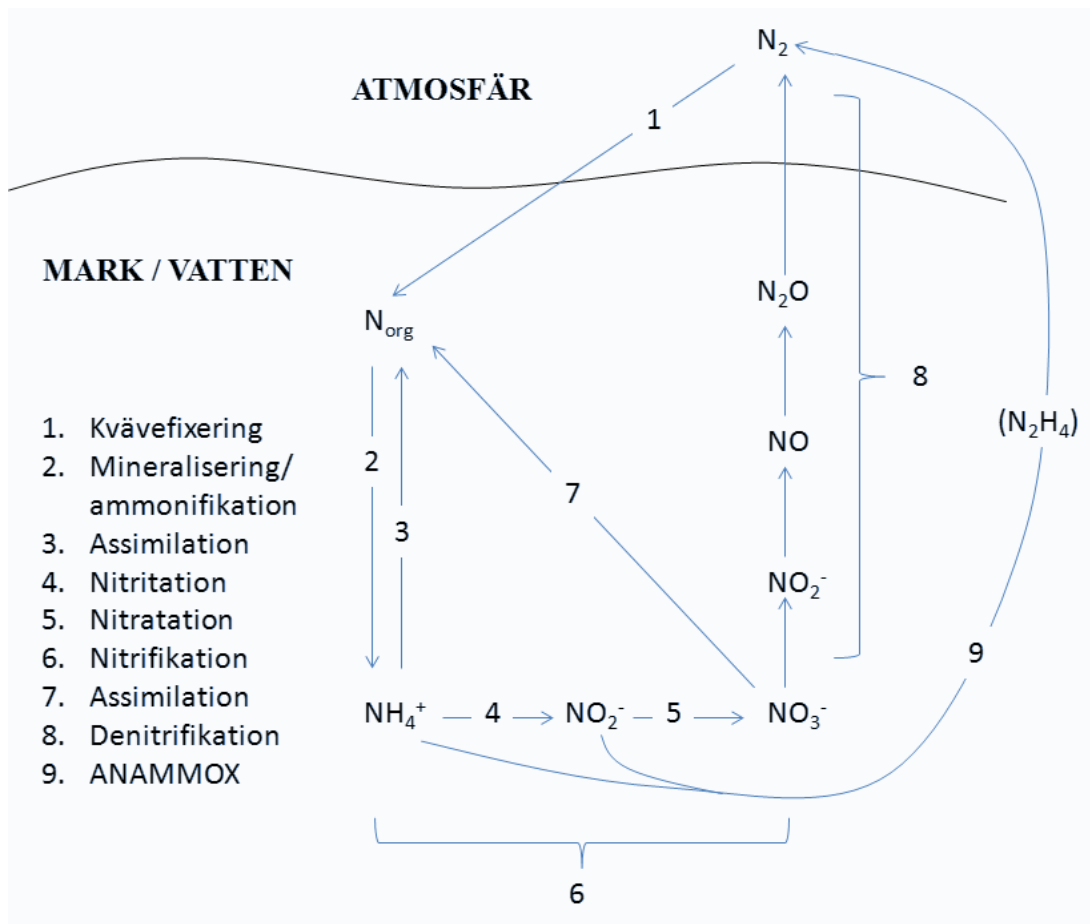
### 2.1 KVÄVE

Kväve är i sin grundform, kvävgas, ett trögreaktivt ämne på grund av trippelbindningen mellan kväveatomerna. På grund av att det har flera oxidationstillstånd är det ett komplext ämne. De olika oxidationstillstånden för kväve redovisas i tabell 1.

**Tabell 1** Olika kväveföreningar och deras oxidationstal

Kemisk formel	Oxidationstal	Beteckning
Org-NH <sub>2</sub>	-3	Organiskt bundet kväve
NH <sub>3</sub>	-3	Ammoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-3	Ammoniumjon
N <sub>2</sub>	0	Kvävgas
N <sub>2</sub> O	+1	Lustgas
NO	+2	Kvävemonoxid
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+3	Nitritjon
NO <sub>2</sub>	+4	Kvävedioxid
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+5	Nitratjon

Kvävets kretslopp är ett av de viktigaste kretsloppen i markbundna och akvatiska system. Kväve är tillsammans med fosfor grundläggande för tillväxten av växter, djur och mikroorganismer. Kväve används av levande organismer för produktion av komplexa organiska molekyler som aminosyror, proteiner och nukleinsyror. Den största delen av allt kväve finns i atmosfären och spelar en viktig roll för livet på jorden. I våra hav och vår mark finns kväve i organiskt material och som natriumnitrat (NaNO<sub>3</sub>) (Metcalf och Eddy 2004). I figur 1 åskådliggörs de biologiska processerna i kvävets kretslopp.



**Figur 1** Biologiska processer i kvävet kretslopp.

Människan har genom olika processer rubbat den naturliga balansen i kvävet kretslopp. Gödning med kväve har inneburit att nitrat läcker ut till grundvatten vilket leder till övergödning av vattendrag, sjöar och hav. Ökad förbränning av fossila bränslen frigör kväve till atmosfären som återförs jorden via nederbörd. I och med att medvetenheten om problemen i kvävet kretslopp ökar, vidtas mer omfattande åtgärder för att återställa denna naturliga balans.

## 2.2 GÄLLANDE LAGAR, KRAV OCH STYRMEDEL

Det finns åtskillig lagstiftning som berör frågor kring vatten och avlopp. I både europeisk och svensk lagstiftning regleras i vilken utsträckning kväverening ska ske. Genom Sveriges åtaganden i Östersjösamarbetet och genom vattenmyndigheternas arbete med avloppsdirektivet kan kraven på kväverening i framtiden komma att ytterligare skärpas. Nedan redogörs för befintlig lagstiftning inom området samt förslag som tagits fram vilka i framtiden kan komma att påverka kraven på kväverening.

### 2.2.1 Svensk lagstiftning

Utsläpp av avloppsvatten klassas enligt Miljöbalken (1998:808) som miljöfarlig verksamhet och tillstånd måste sökas hos Länsstyrelsen för alla anläggningar större än 2000 personekvivalenter (pe). Med stöd av försiktighetsprincipen i 2 kap 3§ i Miljöbalken kan

ytterligare krav ställas på kväverening vid mindre avloppsreningsverk eller i andra recipienter än vad som anges i SNFS 1994:7 utifrån lokala förhållanden (Naturvårdsverket 2008).

Miljöbalkens begrepp bästa möjliga teknik innebär att en verksamhetsutövare ska ha kunskap om vad som är bästa möjliga teknik samt använda denna ifall det inte är orimligt. Begreppet avser både den använda teknologin och det sätt på vilket anläggningen konstrueras, utformas, byggs, underhålls, leds och drivs samt avvecklas och tas ur bruk. Till bästa möjliga teknik räknas teknik som har passerat experimentstadiet, är kommersiellt tillgänglig och i drift någonstans.

En stor del av det svenska miljöarbetet styrs idag av de miljökvalitetsmål som beslutats av riksdagen. Avloppsvattenhanteringen är inget undantag och flera av de uppsatta miljömålen inverkar på avloppshanteringen. Miljökvalitetsmålet ”Ingen övergödning” innehåller delmål om bland annat utsläpp av kväve. Delmålet att till 2010 minska de svenska vattenburna utsläppen av kväve från mänsklig verksamhet till haven söder om Ålands hav med minst 30 % från 1995 års nivå uppfyllades inte (Naturvårdsverket 2012).

### **2.2.2 Avloppsdirektivet**

Avloppsdirektivet, *Rådets direktiv av den 21 maj 1991 om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse* (91/271/EEG), antogs 1991 med syftet att skydda miljön från skadlig inverkan till följd av utsläpp av avloppsvatten från tätbebyggelse och vissa industrisektorer.

I svensk lagstiftning har EU:s avloppsdirektiv implementerats genom *Kungörelse med föreskrifter om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse* (SNFS 1994:7). Avloppsdirektivet innehåller bl. a. begränsningsvärden för kväveutsläpp via avloppsvatten från tätbebyggelse. För reningsverk i storleken > 100 000 pe gäller ett riktvärde på 10 mg/l eller 70 % kvävereduktion och för reningsverk i storleken 10 000 – 100 000 pe gäller ett riktvärde på 15 mg/l eller 70 % kvävereduktion. De nämnda riktvärdena gäller avloppsvatten från tätbebyggelse i havs- och kustområden från Norrtälje kommun till norska gränsen samt då utsläpp sker i avrinningsområden som avvattnas till och bidrar till föroreningen av dessa områden.

Samtliga inlandsvatten och havsbassänger runt Sveriges kust har klassats som känsliga med avseende på fosforutsläpp (Naturvårdsverket 2003). Havsbassängerna från Norrtälje till norska kusten har dessutom klassats som känsliga för utsläpp av kväve. Enligt avloppsdirektivet ställs krav på mer långtgående vattenbehandling, för tätorter med mer än 10 000 pe, vid utsläpp av avloppsvatten i recipienter som klassas som känsliga. Reningskraven är ställda dels som maximal utgående koncentration, dels som minsta reningsgrad och finns för utsläpp av fosfor och kväve (Tab. 2). Kraven gäller alla avloppsreningsverk som ligger inom samma avrinningsområde som en känslig recipient och som bidrar till föroreningen av denna.

**Tabell 2** Krav för utsläpp från avloppsreningsverk i känsliga områden (91/271/EEG)

	Maximal utgående koncentration, årsmedelvärde	Minsta procentuella reduktion**
Fosfor totalt	2 mg/l (10 000 - 100 000 pe) 1 mg/l (>100 000 pe)	80
Kväve totalt*	15 mg/l (10 000 - 100 000 pe) 10 mg/l (>100 000 pe)	70-80

\* Med kväve totalt avses summan av organiskt kväve, ammoniakkväve, nitratkväve och nitritkväve.

\*\*Reduktion i förhållande till inflödets belastning.

### 2.2.3 Baltic Sea Action Plan

I november 2007 antogs *Baltic Sea Action Plan*, BSAP, av länderna kring Östersjön enligt EU-kommissionens förslag. Målsättningen med BSAP är att en god ekologisk status ska uppnås i Egentliga Östersjön (Ålands hav till de danska sunden), Öresund och Kattegatt till år 2021 (Naturvårdsverket 2009b). Länderna runt Östersjön ska ta fram nationella åtgärdsplaner kopplade till BSAP senast år 2010. Den 13 juli 2009 överlämnades till EU-kommissionen Naturvårdsverkets slutgiltiga rapport, *Sveriges åtagande i Baltic Sea Action Plan*, en handlingsplan för hur Sverige kan nå målen.

I handlingsplanen redovisas åtgärder som ger en möjlig minskning av kvävebelastningen med cirka 15 000 ton/år. Omfattande åtgärder föreslås inom jordbruket, ökad kväverening vid reningsverk, minskade utsläpp av kväveoxider från industri, vägtrafik och sjöfart, förbättrad rening av enskilda avlopp och storskalig musselodling. Naturvårdsverket (2009b) slår fast att kvävebelastningen från avloppsreningsverk kan minskas ytterligare genom behandling av dagvatten, efterpolering av avloppsvatten i våtmarker, åtgärder mot bräddningar och förbättrad teknik vid avloppsreningsverken. Tre alternativ för att uppfylla kraven på kvävereduktion vid avloppsreningsverk presenteras också:

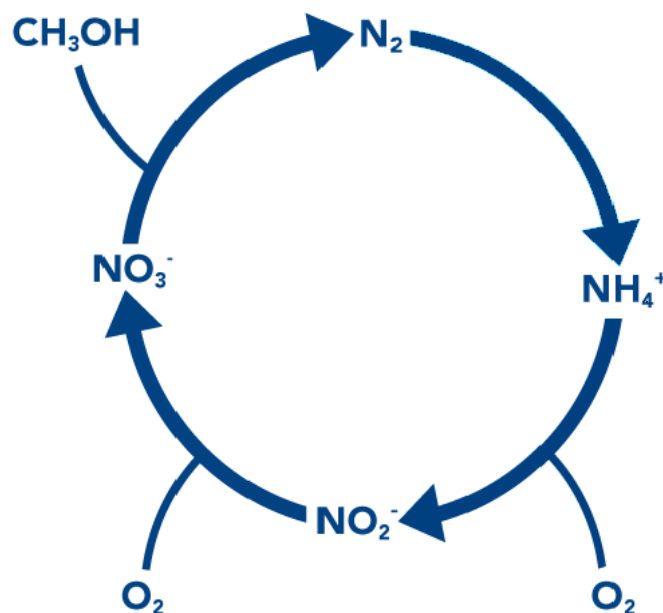
- Alternativ 1: Alla reningsverk dimensionerade för mer än 2000 pe ska genomföra åtgärder för att uppnå en kväveavskiljning på 70 %. Detta förväntas ge en utsläppsminskning på cirka 1400 ton N/år till en kostnad av ca 140 kr/kg N.
- Alternativ 2: Alla reningsverk dimensionerade för mer än 2000 pe ska genomföra åtgärder för att uppnå en kväveavskiljning på 80 %. Detta förväntas ge en utsläppsminskning på cirka 4300 ton N/år till en kostnad av ca 92 kr/kg N.
- Alternativ 3: Alla reningsverk dimensionerade för mer än 2000 pe ska genomföra åtgärder för att nå ca 2 mg N/l i utgående vatten genom efterdenitrifikation. Detta alternativ beräknas ligga nära den tekniskt rimliga gränsen och förväntas ge en utsläppsminskning på cirka 8800 ton N/år till en kostnad av ca 97 kr/kg N.



## 2.3 BIOLOGISK KVÄVERENING

Kväve kan avskiljas från vatten fysikaliskt, kemiskt eller biologiskt. Urinseparerande toaletter är en typ av fysikalisk separering vid källan. Två välkända kemiska metoder är ammoniakavdrivning med adsorption och jonutbyte med clinoptilolit (Svenskt Vatten 2010b). Det är dock allmänt accepterat att biologisk nitrifikation är den bästa metoden för att skilja ammonium från vatten (Tekerlekopoulou och Vayenas, 2008).

Biologisk rening av kväve bygger på levande mikroorganismer som naturligt kan omvandla kväve mellan olika former (Svenskt vatten, 2010a). Kvävet i avloppsvattnet som når reningsverken förekommer främst som ammoniumkväve, men det finns även organiskt bundet kväve i vattnet (Metcalf och Eddy 2004). Mikroorganismerna oxiderar ammonium och nitrit till nitrat (nitrifikation) och därefter reduceras nitrat till ofarlig kvävgas (denitrifikation). Nitrifikationen består av två samverkande mikrobiella processer, nitritation och nitrataion (Fig. 2).



**Figur 2** Förenklad schematisk bild över kvävecykeln.

På 80-talet hittade forskare autotrofa denitrifikationsbakterier som kunde omvandla ammoniumkväve med nitrit som elektronacceptor till kvävgas utan behov av kolkälla (bl. a. Keunen 2008). När forskare 1988 lyckades odla fram denna bakterie beskrevs den och namngavs som "ANaerobic AMMonia OXidiser", Anammoxbakterie (Amba et al 2007). Anammoxbakterier har kallats för "The missing link" i kväverenningsprocessen och det har visat sig att en stor del av kväveomsättningen i världshaven är beroende av dessa bakterier (Nivert m.fl. 2011).

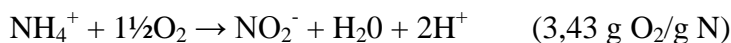
### 2.3.1 Nitrifikation

Nitrifikation beskrivs ofta som en biologisk tvåstegsprocess där ammonium oxideras till nitrit och nitrit oxideras vidare till nitrat (bl. a. Metcalf och Eddy 2004). Nitrifikationen utförs av

nitrifierande bakterier som genom att oxidera de oorganiska kväveföreningarna utvinner energi.

Vid nitritationen är det bakterier av typen Nitrosomonas som oxiderar ammonium till nitrit. Vid nitratationen är det bakterier av typen Nitrobacter som omvandlar nitrit till nitrat (Svenskt Vatten 2010b). De nitrifierande bakterierna behöver syre för att kunna oxidera kväveföreningarna och kräver därför syresatt, aerob, miljö. Vid oxidation av ett gram ammonium till nitrat krävs 4,57 gram syre (Svenskt Vatten 2005). De båda bakteriegrupperna är också autotrofa, vilket innebär att de lever helt på oorganiskt material och använder koldioxid som kolkälla. Eftersom det kräver mycket energi att fixera koldioxid blir nitrifierarnas tillväxthastighet låg (Vayenas m.fl. 1997). De två steg som nitrifikationen brukar delas upp i är följande:

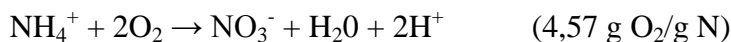
Nitritation:



Nitratation:



Total oxidationsreaktion:



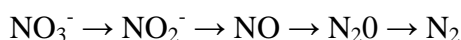
Eftersom vätejoner frigörs vid nitrifikation sänks pH. Nitrifierare trivs bäst omkring neutrala pH 7 vilket innebär att processen kan hämmas om den sker i en miljö med låg alkalinitet under lång tid.

### 2.3.2 Denitrifikation

Denitrifikationen är det andra steget i biologisk kväverening. Då reduceras nitrat till kvävgas genom en rad steg. Bakterier, som använder nitrat som oxidationsmedel då syre inte finns tillgängligt, kan genomföra denitrifikationen och det finns många olika typer av bakterier som gör detta, samtliga heterotrofa (Carlsson och Hallin 2003). Då denitrifikationen sker i syrefri, anoxisk miljö, med nitrat istället för syre som oxidationsmedel, blir bakteriernas energivinst något mindre.

De flesta denitrifierare är beroende av organiskt material som energikälla. Förhållandet mellan kolkälla och kväve, COD:N, har ett stökiometriskt högre värde för denitrifikation av nitrat, 2,86, jämfört med 1,71 för denitrifikation av nitrit (Mulder m.fl. 2001).

Reaktionsstegen vid denitrifiering:

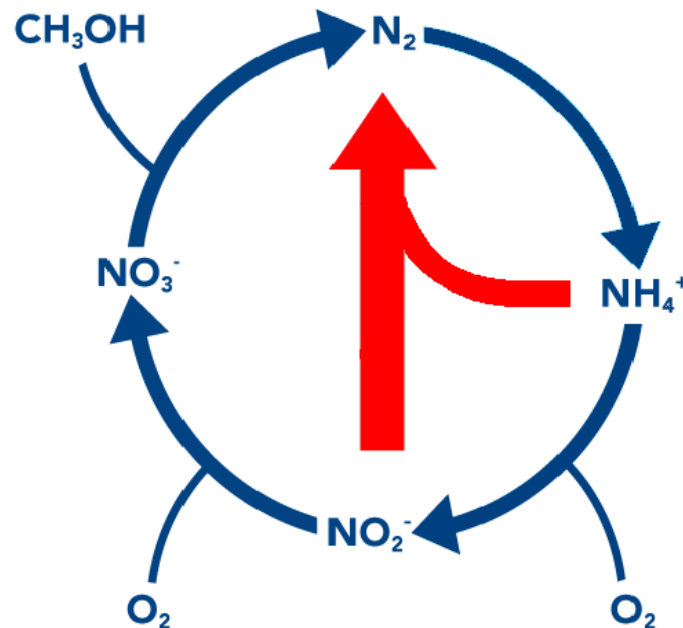
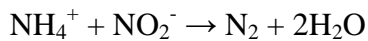


Vätejoner förbrukas vid denitrifiering vilket resulterar i en höjning av pH. Denna höjning av pH kompenserar ofta den pH-sänkning i en reningsprocess som nitrifikationen orsakar (Metcalf och Eddy 2004).

### 2.3.3 ANAMMOX - ANaerob AMMoniumOXidation

Trots att denitrifikation och anammox är likvärdiga processer i kvävet kretslopp är anammox-reaktionen förhållandevis okänd (Brandes m.fl. 2007). Kartal m.fl. (2011) har ökat förståelsen av denna komplexa reaktionsmekanism, men ytterligare forskning pågår på bred front.

Anammoxbakteriernas oxidation av ammoniumkväve till kvävgas (Fig. 3):



**Figur 3** Anammoxbakterierna möjliggör en genväg i kvävecykeln som länge var okänd.

Bland potentiella fördelar med processen kan nämnas en syrebesparing på 60 % i jämförelse med konventionell nitrifikation, vilket leder till energibesparingar. Det behövs heller ingen tillsats av organiskt material och processen genererar också ett jämförelsevis minskat utsläpp av lustgas (Trela m.fl. 2008).

### 2.4 OLIKA TEKNIKER FÖR BIOLOGISK KVÄVERENING

I det här avsnittet presenteras de flesta tekniker som används för konventionell kväverening i huvudströmmar och sidoströmmar. När rejektivatten i sidoströmmar behandlas erhålls processtekniska fördelar eftersom koncentrationen ammonium är hög och rejektet är varmt. Detta leder till snabbare reaktioner för de kväveavskiljande organismerna (Svenskt vatten 2010b). Genom att behandla rejektivatten i sidoströmmar kan 10-30 % av kvävet i ett reningsverk reduceras, trots att rejektivattnet bara utgör cirka 1 % av verkets hydrauliska belastning.

Eftersom det projekt som detta arbete fokuserar på är inriktat mot SHARON- och anammox-processerna är de avsnitten mer omfattande. Övriga tekniker presenteras dock kortfattat för att förenkla en jämförelse för läsaren.

### 2.4.1 Aktivslamteknik

Aktivslamteknik bygger på mikroorganismer som bryter ner organiskt material (BOD) när de växer till, men tekniken har även utvecklats för att klara kvävereduktion. Mikroorganismerna förekommer i form av brunaktiga slamflockar och växer till sig under luftning. En typisk aktivslamanläggning består av en luftad bassäng samt en efterföljande sedimenteringsbassäng där mikroorganismer och partiklar avskiljs från avloppsvattnet. Luftning och/eller omrörning innebär att mikroorganismerna kan hålla sig svävande och växa till sig. Uppehållstiden för slammet ska vara längre än uppehållstiden för vattnet för att reningsprocessen ska fungera (Svenskt Vatten 2010b). Detta åstadkoms genom att större delen av det aktiva slam som avskiljs i eftersedimenteringen återförs till processen. Resterande del av slammet, motsvarande mikroorganismernas tillväxt, tas ur processen som överskottsslam.

För att uppnå en betydande kväverening måste förutsättningar för nitrifikation och denitrifikation skapas. Nitrifikationen sker under syresatta förhållanden och kan därför ske i samband med nedbrytning av BOD i den luftade bassängen. För denitrifikation krävs att en syrefri zon läggs till systemet och för detta ändamål finns olika lösningar. Den syrefria zonen kan antingen placeras före eller efter den syresatta. Detta kallas för- respektive efterdenitrifikation. Även kombinationer av dessa två förekommer (Metcalf och Eddy 2004).

### 2.4.2 Satsvis Biologisk Rening - SBR

SBR-tekniken används ofta som kompletterande kväverening och innebär en behandling av det kväverika rejektivattnet från avvattningen av rötslam. Till skillnad från traditionella aktivslamanläggningar, där flödet är kontinuerligt, sker den biologiska reningen satsvis. Inpumpning, luftning och omrörning varierar för att skapa de förhållanden som krävs för nitrifikation respektive denitrifikation.

Samma reaktor/bassäng används för de olika delstegen i processen. Ett exempel på vanliga behandlingscykler är (Svenskt Vatten 2010b):

- *Fyllning* Avloppsvatten leds till reaktorn.
- *Reaktion* Luftning av reaktorinnehåll.
- *Sedimentation* Sedimentering och separation av aktivt slam och avloppsvatten.
- *Tömning* Avloppsvattnet dekanteras.
- *Vila* Överskottsslammet töms ut.

### 2.4.3 Våtmarker

För att ytterligare rena avloppsvatten från kväve kan reningsverkets utlopp ledas till en anlagd våtmark. På 1980-talet tog anläggandet av våtmarker fart runtom i världen bland annat på grund av deras goda förmåga att rena kväve genom enkel teknik (Kadlec och Wallace 2008). Förmågan att avskilja kväve beror på hur goda förutsättningar som finns för nitrifikation och denitrifikation. Syret som behövs vid nitrifikationen tillförs genom att vattnet får passera vegetationstäckta översilningsytor där det syresätts eller genom att växelvis belasta en yta med vatten och låta den torka upp. Denitrifikationen tar sedan vid i vegetationstäckta zoner där det är syrefritt och finns god tillgång på kolkälla.

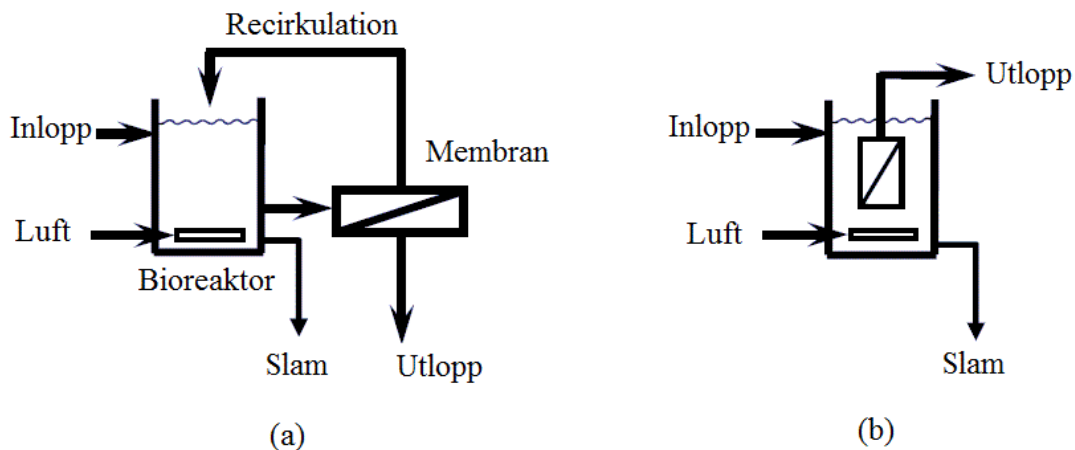
Kväverening genom våtmarker anses vara en kostnadseffektiv lösning på grund av låga drifts- och uppförandekostnader (Löwgren m.fl. 2002). En nackdel är metodens säsongberoende. Kväveavskiljningen är tydligt bättre under sommarmånaderna då produktiviteten är högre och mikroorganismerna mer aktiva. En ansevärd kväveavskiljning äger dock rum även under årets kallare månader (Vymazal 2007).

#### 2.4.4 Biofilmsystem

I ett biofilmsystem skapas förutsättningar för bakterierna att växa på en fast yta av något slag. Anläggningar som använder nitrifikation i aktivt slam, kräver en slamålder (SRT) som är tillräckligt lång för att de långsamt växande nitrifierarna skall hinna växa till sig innan de försvinner ur systemet. I biofilmsbaserade processer undviks denna urspolning och bakterierna stannar kvar i systemet (Hermansson m.fl. 2006). Ytan där bakterierna kan växa utformas på olika sätt. Vanligast förekommande är biobäddar och suspenderade bärare, men även exempelvis biorotorer och fluidiserade bäddar förekommer som växtytor.

#### 2.4.5 MembranBioReaktor - MBR

En membranbioreaktor kombinerar den biologiska reningsprocessen i en bioreaktor med filtrering genom ett membran. Membranet släpper igenom material med särskilda fysiska eller kemiska egenskaper beroende på dess porstorlek. Det är i huvudsak två olika typer av filter som används, polymera och keramiska (Judd 2011). När MBR-tekniken utvecklades, placerades oftast membranet i sidoströmmen. Numera är emellertid ett nedsänkt membran i bioreaktorn den vanligaste konfigurationen (Fig. 4).



**Figur 4** Olika konfigurationer av en MBR, sidoström (a) och nedsänkt (b).

Membranets kapacitet att filtrera vatten minskar med tiden eftersom partiklar fastnar i membranet. För att upprätthålla en effektiv filtrering, rengörs membranerna genom exempelvis relaxering, backspolning eller luftning. MBR är en kostsam reningsmetod då membranmaterial och drift är dyrt. Den har dock även många fördelar. En MBR-anläggning upptar betydligt mindre plats än de anläggningar som krävs för konventionell aktivslamteknik. Därmed kan den dyrare driften bli kostnadseffektiv vid exempelvis höga markpriser. Reningsgraden är också förhållandevis hög vad gäller organiska substanser,

kväve, lösta partiklar och patogener. Beroende på vilken typ av membran som används kan reningen också specificeras, exempelvis för rening av läkemedel (Sipma m.fl. 2010).

#### 2.4.6 SHARON

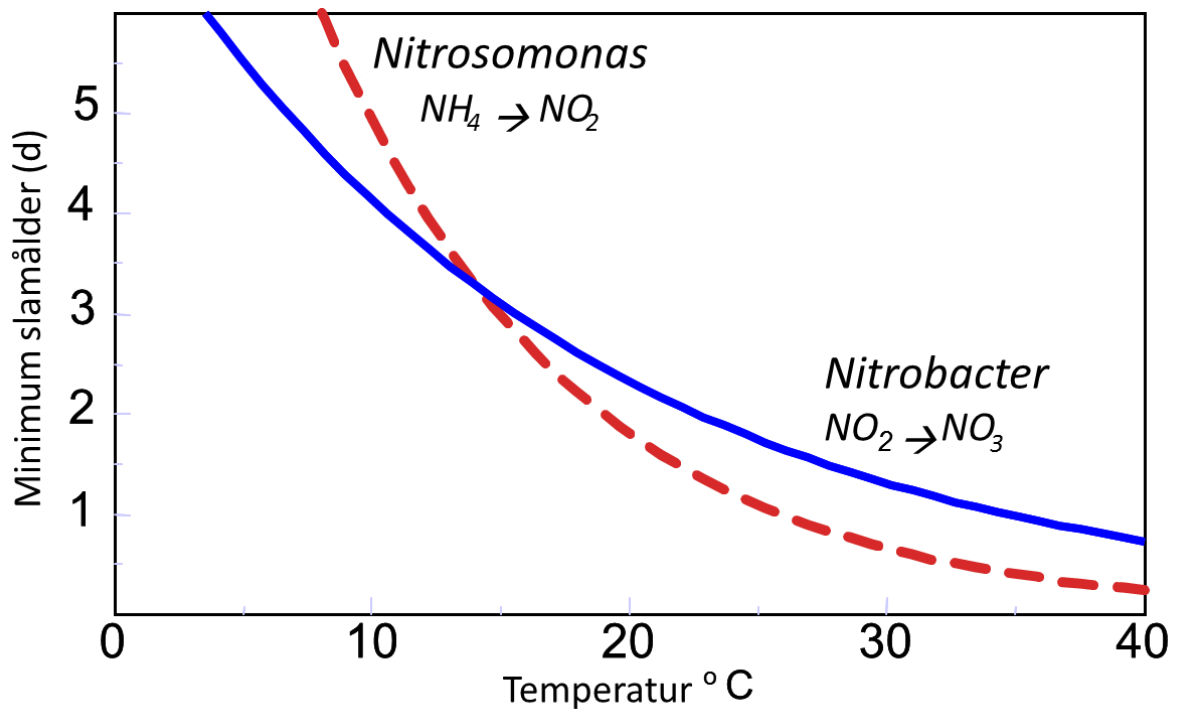
SHARON står för ”Stable High rate Ammonia Removal Over Nitrite” och är en kväverenningsprocess utvecklad av Grontmij i samarbete med Tekniska universitetet i Delft och f.d. vattenmyndigheten i Holland, ZHEW (Hellinga m.fl. 1998). Ammonium omvandlas i processen till nitrit och nitriten denitrifieras sedan till kvävgas. Processen är utvecklad för behandling av rejektivatten från slamavvattning, slamtorkning och i förbränningsanläggningar som har en hög kvävekoncentration. Metoden används i första hand i sidoströmmar som ett kompletterande steg för kväverening. Andra möjligheter med SHARON är rening av lakvatten från deponier samt rening av rejektivatten från rötning av organiskt avfall och gödsel (Notenboom m.fl. 2002). Det finns idag 13 SHARON-anläggningar i drift, varav 12 finns i Europa och en i USA. En jämförelse mellan olika rejektivattenprocesser genomfördes 1996 och resultatet presenteras i tabell 3.

**Tabell 3** Jämförelse av olika kvävereningstekniker för rejektivatten (STOWA 1996)

	Produktion av kemiskt slam	Produktion av biologiskt slam	Tillsats av kemikalier	Energi-förbrukning	Styrning	Beräknad kostnad* Euro/kg N
Luft-strippning	ja	nej	ja	medel	medel	6.0
Ång-strippning	ja	nej	ja	hög	komplex	8.0
MAP/CAFR	ja	nej	ja	låg	komplex	6.0
Membran-bioreaktor	nej	Ja	ja	hög	medel	2.8
Biofilm (airlift reactor)	nej	låg	ja	medel	medel	5.7
SHARON®	nej	låg	ja	medel	enkel	1.5

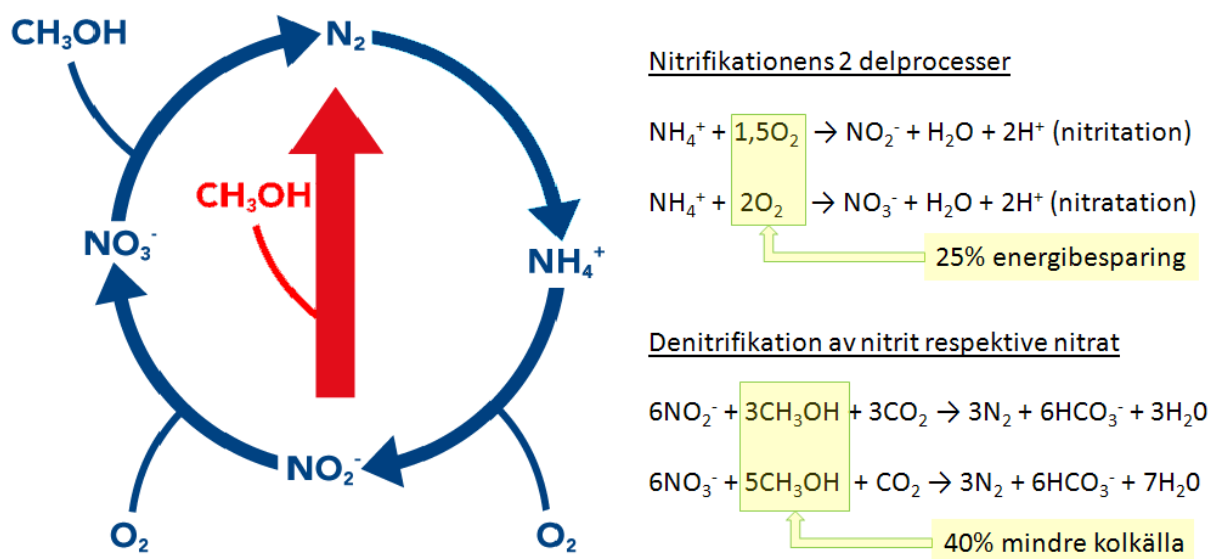
\* baserat på STOWA (1996) för avloppsreningsverk med storleken 500,000 pe.

SHARON-processen utnyttjar skillnaden i tillväxthastighet mellan nitrobacter (nitrifierare) och nitrosomonas (nitritifierare) i temperaturspannet 30-40°C (Fig. 5). Nitrosomonas gynnas av högre temperatur och genom att begränsa den syresatta uppehållstiden ( $HRT_{ox}$ ) kommer i teorin enbart nitrit att bildas. SHARON-processen sker i reaktorer med fullständig omblandning vilket gör att slamåldern (SRT) och den hydrauliska uppehållstiden (HRT) är lika. En sådan process uppför sig likt en kemostat, det vill säga koncentrationen i utflödet är oberoende av koncentrationen i inflödet. Detta gör den passande för avloppsvatten med hög koncentration (Mulder m.fl. 2006).



**Figur 5** Minimal slamålder som funktion av rejecktvattnets temperatur. Slamålder och temperatur anpassas för att gynna ett bakterieslag framför det andra. SHARON-processen utnyttjar skillnaden mellan ammonium- och nitritoxiderarnas tillväxthastigheter vid 30-40 °C.

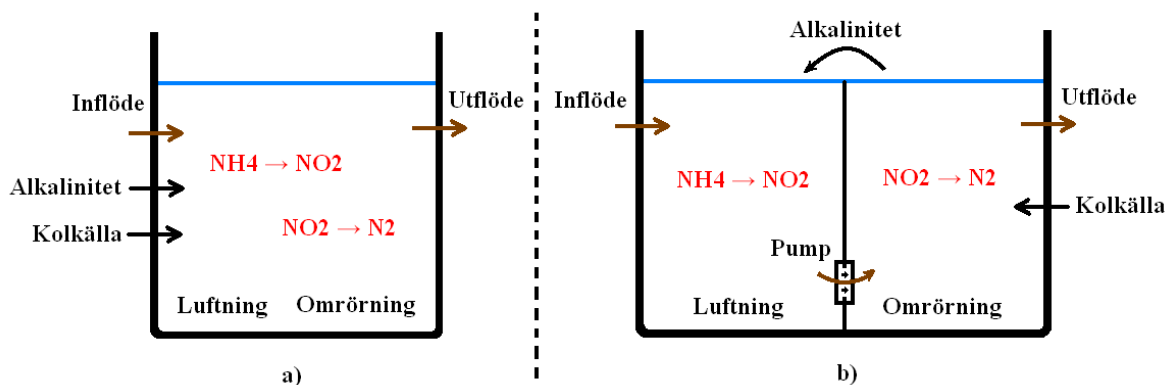
Genom att rena kväve via nitrit sparas 25 % av energin som annars går åt till luftning i motsvarande process vid konventionell nitrifikation. Processen kräver i jämförelse endast 60 % av mängden tillsatt kolkälla (Kempen m.fl. 2001) (Fig. 6). Dessutom minskar mängden överskottsslam med 30 % och de totala koldioxidutsläppen reduceras med 20 % (Mulder m.fl. 2006).



**Figur 6** Genvägen i kvävecykeln samt två av fördelarna med nitrifikation via nitritation; minskad åtgång av luftningsenergi samt kolkälla.

### Utformning

En SHARON-process är i sin enklaste utformning uppbyggd av en tank med full omrörning. Tanken luftas i cykler för att nitrifikation och denitrifikation skall äga rum. En alternativ utformning består av två tankar, en för nitrifikation och en för denitrifikation (Fig. 7). En fördel med den senare lösningen är att luftningskapaciteten inte behöver vara lika stor då den kan hållas konstant i den ena tanken. Vatten recirkuleras för att återföra alkalinitet till nitritionssteget. Nackdelen med den alternativa utformningen är att en extra pump behövs och att denitrifikationen begränsas på grund av återcirkulationen. Beroende av specifika behov kan SHARON-processens utformning varieras och en optimal lösning tas fram.



**Figur 7** Schematisk bild över en entanks- (a) och en tvåtanks- (b)SHARON.

Förbrukningen av COD vid denitrifikationen är den bästa indikatorn för nitrifikation/denitrifikation via nitrit. Utloppsvattnets nitrit- och nitrathalt ger ingen indikation på förhållandet dem emellan då omvandling kan ske under processen. Vid anläggningar som behandlar exempelvis rejektivatten från slamtorkning behövs mindre eller ingen COD-tillsats.

Olika typer av kolkällor kan användas. Metanol är ett vanligt alternativ, som dock kräver några dagar för anpassning av denitrifierarna eftersom metanol inte ingår naturligt i kvävet kretslopp (Mulder m.fl. 2001). På grund av brandfara och explosionsrisk måste säkerhetsåtgärder vidtas vid användande av många typer av kolkälla, men vanligtvis kan befintliga anläggningar användas. Alternativa kolkällor kan vara restprodukter från biogasanläggningar eller industriavfall och dessa har i vissa fall visat sig kostnadseffektiva. Nackdelarna med dessa alternativ är de kan innehålla tungmetaller. Det kan också vara svårt med kontinuerliga leveranser och COD-koncentrationen kan vara för låg.

### Viktiga processparametrar och styrningen av dessa

Övervakning av pH är centralt för processens stabilitet eftersom nitrifikation resulterar i en sänkning av pH. På grund av höga kvävekonzentrationer i inflödet blir effekten på pH stor. Vid system med en tank varierar pH i cykler med en differens om  $\text{pH} \sim 0,5$ . Om inte denna pH-sänkning vägs upp av motsatta effekter i denitrifikationen hämmas nitrifikationen i följande steg. Det finns tre mekanismer som påverkar regleringen av pH. Den första beror på att rejektivatten från slamavvattning innehåller höga halter koldioxid. ”Strippingen” av koldioxid kan neutralisera cirka 50 % av pH-sänkningen, men den går inte att kontrollera. Den andra mekanismen är denitrifikationen som kan neutralisera upp till 50 % av sänkningen.



Denitrifikationen är beroende av både inre och yttre kemiskt syrebehov. Beroende på den reningsgrad som krävs av reningsverket uppnås delvis eller hel denitrifikation, men delvis denitrifikation är oftast tillräckligt för pH-styrningen. Den tredje mekanismen är tillsats av kaustiksoda. Detta är den mest direkta metoden för pH-styrning, men den är dyr i jämförelse med denitrifikation med hjälp av extern kolkälla.

För att nitritation ska utgöra önskad del av nitrifikationen, så att nitritproduktionen blir dominerande (>98%), kontrolleras den syresatta uppehållstiden,  $HRT_{ox}$ . Vid en temperatur på cirka 35°C behövs en  $HRT_{ox}$  på 1-2 dygn för att uppnå ovanstående (Mulder m.fl. 2006).

De biologiska kväverenningsprocesserna i en SHARON-anläggning producerar mycket värme. Kväverening via nitrit genererar i snitt en temperaturökning på 10°C per gram ammonium och liter. Den faktiska temperaturökningen beror av ammoniumhalten i rejektvattnet. Om rejektvattnet exempelvis innehåller 1500 mg  $NH_4$ /l och minimitemperaturen i SHARON-processen är 30°C krävs att rejektvattnet har en temperatur på cirka 15°C (Borger 2012). Temperaturen är således inte den mest kritiska faktorn. Processen fungerar bra mellan 30 och 40°C och vid fullskaleförsök har maxtemperaturer på 42°C uppnåtts. Ett system utan nedkylning/uppvärmning är givetvis att föredra, men i vissa fall krävs antingen nedkylning/uppvärmning för att processen ska fungera.

#### *Stabilitet*

En stabil reningsprocess kännetecknas av att önskad reningsgrad konsekvent uppnås. Den önskade reningsgraden bestäms av reningsverket där SHARON-processen är installerad. Ju lägre ammoniumkoncentration i utloppet som efterfrågas, desto viktigare är det med styrning av processen. SHARON-processer med endast 20 mg/l i utloppet förekommer. Dessa är inte bara utrustade med pH-, syre- och temperatursensorer, utan även med ammonium- och nitritsensorer, så att ett mer avancerat styrningsprogram kan utformas.

Om rejektvattentillströmningen avbryts under en period, exempelvis under en helg eller på grund av driftavbrott, kvarstår kväverenningskapaciteten. Detta görs möjligt genom att delvis strypa luftningen. Utan tillgång till syre avstannar nitritifierarnas aktivitet och processen avstannar tills syre på nytt blir tillgängligt. Alla SHARON-reaktorer drivs automatiskt och en fungerande process kräver mindre än en timmes tillsyn per dygn (van Kempen 2001).

#### *Effektivitet*

Ammoniumhalten i utloppsvattnet beror av  $HRT_{ox}$  och en kortare luftningsperiod ger högre ammoniumhalt. Den höga temperatur som ger SHARON-processens snabba nitrifikation öppnar för en kort luftningstid,  $HRT_{ox}$  (1-2 dygn). En tumregel är att halten ammonium i utloppet minskar från cirka 100 mg  $NH_4$ -N/l med en  $SRT_{ox}$  på ett dygn, till en halt på mindre 5 mg  $NH_4$ -N/l med en  $SRT_{ox}$  på två dygn (Mulder m.fl. 2001).

Nitrithalten i reaktorn påverkar ammoniumhalten i utgående vatten då höga nitrihalter inhiberar nitritationen. Även denitrifikationsgraden påverkar alltså ammoniumhalten.

I allmänhet leder höga temperaturer, syrenivåer och pH också till en mer effektiv kväverening i en SHARON-process.

## *Kostnader*

Driftskostnaderna utgörs framförallt av kostnader för energi och tillsats av kolkälla.

### **2.4.7 Deammonifikation**

Anammoxbakterier som omvandlar ammonium och nitrit till kvävgas i ett steg kan användas för kväverening. Via en genväg i kvävecykeln renas kväve utan tillsats av extern kolkälla i en process kallad deammonifikation. I processen oxideras hälften av ammoniumet till nitrit och därefter oxideras ammonium, med nitrit som oxidationsmedel, till kvävgas i en anaerob process. Eftersom bara hälften av ammoniumet nitritifieras åtgår endast 1,72 g O<sup>2</sup>/g N. Detta motsvarar endast 38 % av det syre som åtgår i konventionell kväverening, då allt ammonium oxideras till nitrat (Svenskt Vatten 2005). För att åstadkomma deammonifikation krävs lika stora delar ammonium och nitrit. Genom partiell nitrifikation, nitritation, uppnås detta och Anammoxbakterier kan oxidera ämnena till kvävgas. Tekniken lämpar sig speciellt bra för rejektivattenströmmar med hög kvävehalt och låg halt organiska ämnen då

Anammoxbakterierna är mest konkurrenskraftiga vid sådana förhållanden (Trela m.fl. 2008). I jämförelse med andra biologiska reningsprocesser för kväverening kännetecknas deammonifikation av låg energiförbrukning, inget krav på extern kolkälla och låg slamproduktion (de Mooij och Thomas 2010).

Anammoxbakterier har låg tillväxthastighet och starten av en reaktor kan vara tidskrävande, men genom att överföra biologiskt material från andra reaktorer i drift kan denna tid förkortas markant (de Mooij och Thomas 2010). Vid nitritationen krävs syre och då denna process sker i en och samma reaktor riskerar Anammoxbakteriernas tillväxt att hämmas. Detta förbigås genom att hålla nivån med löst syre, DO, på cirka 0,3 mg/l.

Det finns olika utformningar tillgängliga, en- eller tvätankssystem. Flera aktörer på marknaden har utvecklat sina olika lösningar för deammonifikation. Bland flera bör nämnas DEMON som är utformad med fritt flytande bakterier, ANITA<sup>TM</sup> Mox, ANAMMOX<sup>®</sup> och DeAmmon<sup>®</sup>, som alla använder sig av suspenderade bärare.

Den av Grontmij licensierade DEMON-processen bygger på en aktivslamprocess i en SBR med pH-övervakning. På grund av den låga tillväxthastigheten hos Anammoxbakterierna används en slamålder på cirka 20 dagar. Överskottsslammet går genom en cyklon där Anammoxbakterier skiljs från aktivt slam och återförs till reaktorn vilket medför längre uppehållstider jämfört med de ammonium- och nitritoxiderande bakterierna som sköljs ur systemet (Wett 2010). De låga DO-värdena i kombination med användande av en cyklon säkerställer att nitritoxiderande bakterier inte ska kunna samlas i reaktorn. En alternativ utformning är att använda en SHARON-reaktor för nitritationssteget.

#### *Två-steps deammonifikation med SHARON*

SHARON-processen har använts för nitritationssteget vid deammonifikation. Det partiella nitritations-steget äger rum i SHARON-reaktorn. Därefter ersätts denitrifikationssteget, där kolkälla tillsätts i SHARON-processen, med Anammox. Kontroll av nitrit:ammonium-kvoten på utgående vatten från SHARON-reaktorn är viktig då för hög nitrithalt hämmar Anammox-processen (Volcke 2003).

### *ESSDE – Energy Self Sufficiency by DEMON*

I ESSDE-processen fixeras majoriteten av kolet genom adsorption i ett förfällningssteg (A-steg) med låg SRT och används för rötning. BOD-borttagningen maximeras med hjälp av tillsats av flockningsmedel och den endogena andningen minimeras. Detta leder till att 60-90 % av organiska substanser kan användas för rötning och maximalt med BOD kan bilda biogas och därmed elektrisk energi. Det BOD som tas bort i steg A är anaerobt lätt nedbrytbart. Det har länge varit känt att rötning av primärslam är mer effektivt än rötning av aktivt slam. Då primärslam rötas erhålls mer biogas ur processen och energi sparas eftersom luftningsbehovet begränsas när endogen respiration undviks. Dessutom förändras slammets egenskaper och avvattningen av rötslammet förenklas väsentligt.

I följande steg (B-steget) som har en lång SRT var länge problemet att för lite kol fanns tillgängligt för denitrifikation. Med en DEMON-anläggning i drift finns möjligheten att, med hjälp av de cykloner som används för recirkulation av Anammoxbakterier, flytta Anammoxbakterier från rejektivattenbehandlingen och ympa dessa till huvudströmmens B-steg. Syrehalterna hålls låga för att gynna Anammoxbakterierna och ingen tillsats av kolkälla behövs.

En stor del av kvävet finns i det högkoncentrerade slammet från A-steget och blir tillgängligt för rening i DEMON-anläggningen vid slamavvattningen. DEMON-anläggningen i sidoströmmen tar bort mer än 50 % av kvävet. Anammoxbakterierna i huvudströmmen renar resterande kväve i huvudströmmen.

Teoretiskt kan denna metod ge reningsverk förmågan att producera energi. Ett reningsverk kan gå från att vara energikonsumert till energiproducent (Borger 2012). Försök i Österrike och Schweiz har visat lovande resultat, men processen är ännu under utveckling.

## **3 METOD**

### **3.1 LITTERATURSTUDIER KVÄVERENING**

Som ett första steg i detta examensarbete undersöktes tillgängliga metoder för kväverening genom en litteraturstudie. Med inriktning mot rening av rejektivatten jämfördes olika metoder. Den litteratur som ingick i studien var dels facklitteratur inom avloppsvattenrening i allmänhet och ett stort antal vetenskapliga artiklar.

Litteraturstudien gjorde vidare fördjupningsarbete möjligt avseende de metoder som är intressanta för kvävereningen vid Nykvarnsverket. Fördjupningen visade att ett flertal olika kvävereningstekniker för rejektivatten redan finns etablerade på marknaden. Dessa undersöktes ytterligare då ett av syftena med arbetet var att föreslå alternativa reningsprocesser. Ytterligare forskning bedrivs också på bred front för att hitta nya lösningar, eftersom reningskraven från myndigheter blir striktare och det finns pengar att spara på mer energieffektiva processer. Då det under de senaste åren, på grund av denna intensiva forskning, publicerats mängder av vetenskapliga artiklar gjordes en övergripande studie av artiklar. Inriktningen under artikelstudien var mot artiklar från de senaste 5 åren.

### **3.2 PLATSUNDERSÖKNING NYKVARNSVERKET**

I ett tidigt skede av examensarbetet gjordes ett första platsbesök vid Nykvarnsverket i Linköping. Syftet med besöket var att få en tydlig bild av reningsverket i stort samt upprätta kontakten med driftsansvariga. En genomgång av SHARON-anläggningen och dess doserings- och mätutrustning genomfördes också.

### **3.3 INSAMLING AV DRIFTSERFARENHETER OCH DATA**

Under första delen av examensarbetet inhämtades erfarenheter genom samtal och möten med driftspersonal på TVAB och processingenjörer på Grontmij. En tidsaxel upprättades för att ge en överskådlig bild av processen från planeringsstadiet till idag. På detta sätt erhöles en klar bild av hur arbetet med SHARON-anläggningen fortgått fram till nu.

Genom kontakt med processingenjörer på Grontmij NL samlades erfarenheter från liknande rejektivattenanläggningar i Europa in. SHARON-processen i Linköping är den enda i Norden och kontakten med Holland var kontinuerlig under tiden för hela examensarbetet. Material från andra SHARON-anläggningar i Europa har studerats för att underlätta jämförelser med dessa.

Ytterligare platsbesök genomfördes vid Nykvarnsverket under resterande tiden för examensarbetet. En viktig del av platsbesöken var att bekanta sig med övervaknings- och styrsystemet Cactus/Star, som är det program Nykvarnsverket använder sig av. Sedan SHARON-processen togs i drift har data lagrats i programmet. Data lagras dels från de onlinesensorer som styr processen, dels från den kontinuerliga provtagning som analyseras på laboratoriet. Cactus erbjuder funktioner som gör dessa data överskådliga i diagram och tabellform. För att studera processfunktionerna gjordes en genomgång av tillgängliga data. En del data extraherades till Excelfiler för att studeras ytterligare.

Eftersom intrimning av processen fortgick till mars-april 2010 förekommer stora fluktuationer under 2010 års dataserie. Data för året 2011 har därför utgjort den centrala delen i studien av processens funktion. Även fluktuationer under 2010 års senare hälft förekommer på grund av problem med mätare, vilket ytterligare stärker motiven för att använda 2011 års data.

### 3.4 BERÄKNING AV SYRE- OCH LUFTMÄNGDSBEHOV

För att stämma av installerad luftningskapacitet mot aktuellt syrebehov gjordes erforderliga beräkningar för SHARON-processen. Med hjälp av en massbalans beräknades processens syrebehov. Det finns olika metoder för att beräkna det faktiska syrebehovet (AOR, kg O<sub>2</sub>/d). Flera av dessa testades initialt, men slutligen användes Eckenfelder O'Connors metod (Eckenfelder och O'Connor 1961):

$$AOR = a^* \cdot (S_0 - S) \cdot Q + b \cdot X \cdot V + k' \cdot \Delta NH_4 \cdot Q - D \cdot Q \cdot (NH_{4,0} - N_D) \quad (1)$$

där

$a^*$  = substratets andningshastighet; normalt 0,5 (0,4-0,63)

$S_0$  = BOD<sub>5</sub> i inflöde, före luftning mg/l

$S$  = BOD<sub>5</sub> i utflöde, efter luftning mg/l

$b$  = endogen respirationshastighet; cirka 0,10-0,15 för biologisk rening

$N_D$  = totalkväve i utflöde mg/l

$X$  = slamkoncentration mg MLVSS/l

$Q$  = inflöde m<sup>3</sup>/d

$V$  = syresatt reaktorvolym m<sup>3</sup>

$k'$  = ammoniums syresättningskoefficient; normalt 4,6, men 3,43 för SHARON

$D$  = denitrifikationskoefficient; 2,8 om denitrifikationen inräknas, 0 annars

$NH_{4,0}$  = ammonium (NH<sub>4</sub>-N) i inflöde mg/lmg/l

$\Delta NH_4$  = ammoniumreduktion (NH<sub>4</sub>-N) mg/l

Med AOR känt beräknas syreöverföringen (SOTR, kg O<sub>2</sub>/h). För beräkning av SOTR användes en standardeviation (USEPA 1989):

$$SOTR = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{C_{\infty,20}^*}{\beta \cdot C_{\infty}^* - C_L} \cdot \theta^{20-T} \cdot AOR \cdot \frac{1}{24} \quad (2)$$

där

SOTR = Standard Oxygen Transfer Rate, syreöverföring per timme vid normala förhållanden kg O<sub>2</sub>/h

$\alpha$  = alfakoefficient, normalt 0,3-0,9

$\beta$  = betakoefficient, normalt 0,9-1,0

$\theta$  = temperaturkorrektionskoefficient, 1,024

$C_{ST}$  = tabellvärde för löst syrehalt (DO) vid temperatur T och marknivå mg O<sub>2</sub>/h

$C_{\infty,20}^*$  = löst mättad syrehalt (DO) vid stationärt tillstånd som erhålls vid vattentemperaturen 20°C och normalt atmosfärstryck (101,3 kPa) mg O<sub>2</sub>/h

$C_L$  = faktisk syrehalt i reaktorn mg O<sub>2</sub>/h

Luftmängdsbehovet beräknades med hjälp av de beräkningar ITT Flygt ursprungligen utfört för luftarsystemet.

För att avgöra om processen erhåller den mängd syre som erfordras undersöktes luftningskapaciteten. Dels undersöktes blåsmaskinernas kapacitet, dels det installerade luftarsystemet.

### **3.5 DRIFT- OCH UNDERHÅLLSBEHOV SAMT KOSTNADER**

Driftskostnader har sammanställts tillsammans med driftsansvariga på Nykvarnsverket. Processens energiförbrukning, mängden kemikalier som doseras samt kostnader för dessa har undersökts. Underhållskostnader har tagits fram genom samtal med drifts- och instrumenttekniker. Med tillgängliga data kunde relevanta nyckeltal räknas fram för att ytterligare klargöra processens funktion. Nyckeltalen som tagits fram är kostnad och energiåtgång per renat kilo ammoniumkväve för år 2011.

### **3.6 LABORATIONSFÖRSÖK - SKUMNING**

Eftersom processen periodvis skummar över söktes orsaken till detta genom ett laborationsförsök. Skumning förekommer normalt inte i en SHARON-reaktor, varför detta undersöktes närmare. Med utgångspunkten att det är polymeren som tillsätts vid slamavvattningens centrifuger som orsakar skumningen, utfördes tester på TVABs laboratorium i Linköping. Doseringsberäkningar för polymeren utgjorde grunden för laborationsförsöket som gick ut på att lufta rejektivatten från olika steg i processen, med olika mängder tillsatt polymer, för att jämföra skumningen.

## 4 SHARON-ANLÄGGNINGEN VID NYKVARNSVERKET

I detta avsnitt presenteras information som inhämtats genom litteraturstudier, möten och platsbesök som genomförts under examensarbetet. Beräkningar har gjorts på egen hand, tillsammans med processingenjörer på Grontmij eller med personal på TVAB.

Tekniska verken i Linköping har sedan år 2009 en så kallad SHARON-anläggning i drift vid Nykvarnsverket (Fig. 8). Anläggningen behandlar rejektvatten från slamavvattningen vid Nykvarns reningsverk. SHARON är en av Grontmij patenterad processlösning som medför avsevärt förbättrad resursanvändning jämfört med konventionell kväverening med SBR-teknik.



**Figur 8** Nykvarnsverket i Linköping sett söderifrån. SHARON-anläggningen syns till vänster närmast Stångån.

### 4.1 NYKVARNSVERKET

Avloppsvatten från Linköpings tätort och flera mindre orter runt Linköping tas emot och renas på Nykvarnsverket (Fig. 9). Enligt Tekniska Verken, TVAB (2011), är verket dimensionerat för 235000 pe, beräknat utifrån BOD<sub>7</sub>-belastning i inkommande vatten (70 g/person, dygn). Under 2011 behandlades avloppsvatten motsvarande i genomsnitt 188000 pe. I tabell 4 redovisas årsflöden för 2011.



**Figur 9** Nykvarnsverket i Linköping är beläget på Stångåns östra strand mellan E4 och Linköpings tätort. Illustration modifierad från Eniro 2012.

**Tabell 4** Årsflöden genom Nykvarnsverket år 2011

Inkommande flöden till verket	
Medelvärde, m <sup>3</sup> /h	1930
Medelvärde, m <sup>3</sup> /d	46000
Maxvärde, m <sup>3</sup> /d	131700
Minvärde, m <sup>3</sup> /d	31400
Totalt årsflöde, m <sup>3</sup> /år	16800000
Andel tillskottsvatten (ovidkommande vatten), %	30

Källa: Miljörapport 2011 – Nykvarnsverket, TVAB.

Avloppsvattenbehandlingen omfattar mekanisk, kemisk och biologisk rening. I bilaga 1 finns en mer detaljerad beskrivning av de olika reningsstegen vid Nykvarns avloppsreningsverk. Kvävehalter i inkommande och utgående vatten för 2011 presenteras i tabell 5.

**Tabell 5** Kvävehalter i inkommande och utgående vatten under 2011

Inkommande vatten, årsvärden		Utgående vatten		Reduktion
Medelvärde (mg/l)	Mängd (ton/år)	Medelvärde (mg/l)	Mängd (ton/år)	%



N-tot	45	768	11	194	75
NH <sub>4</sub> -N	26	440	< 4,2	< 71	---
NO <sub>3</sub> -N	0,3	4,9	4,5	76	---

## 4.2 BAKGRUND

Tekniska Verken förelades 2008 ett vite om 50 miljoner kronor om man inte skulle uppfylla sina krav på kväverening senast under 2010. Den befintliga kvävereningen i biosteget var inte tillräcklig och en SHARON-anläggning var en lämplig lösning för att möta de nya kraven (Winnfors Wannberg 2010). Anläggningen togs i drift i november 2009. Efter en del problem vid starten ansågs anläggningen vara i full drift i april 2010.

## 4.3 PROCESSBESKRIVNING

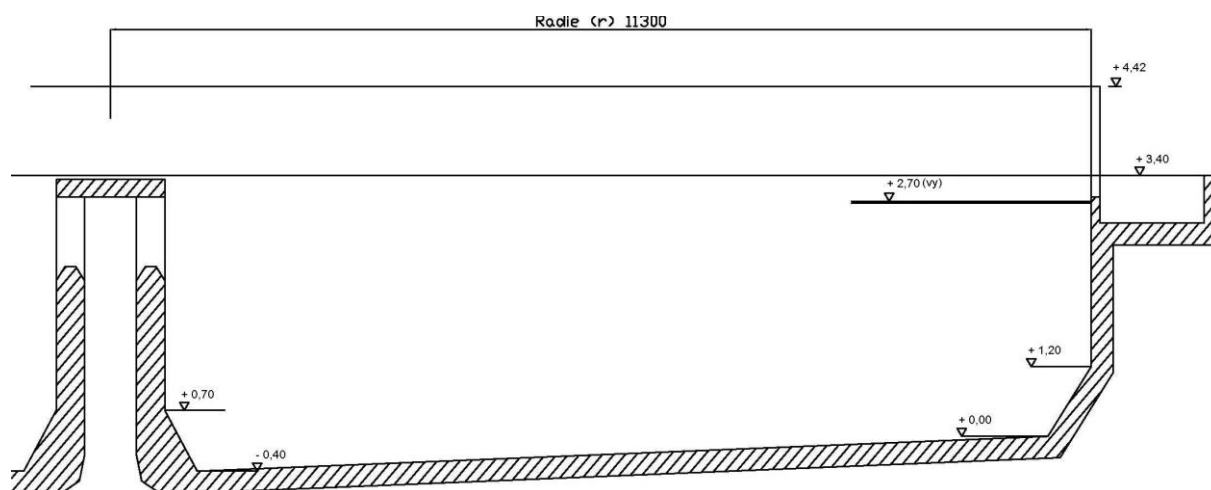
Grontmij har ansvarat för processdesign, funktionsbeskrivning och maskinleveranser samt anpassning av befintliga installationer.

### 4.3.1 Designförutsättningar

#### *Befintlig reaktortank*

SHARON-reaktorn är utförd i en före detta sedimenteringsbassäng med följande mått (Fig. 10):

- Innerdiameter 22,6 m
- Väggnivå över kant 4,42 m
- Utloppsnivå 2,7 m
- Bottennivå (ytterkant) 0
- Bottennivå (centrum) -0,4 m



**Figur 10** Tvärsnitt av befintlig sedimenteringsbassäng där en SBR-anläggning tidigare var i drift (enligt ursprunglig Krüger-Ljungman-ritning).

#### *Flöde och belastning*

SHARON-processen vid Nykvarnsverket belastas med rejektvatten som produceras vid

avvattning av rötat slam genom centrifugering. Processdesignen har baserats på rejektvattnets egenskaper (Tab. 6).

**Tabell 6** Designdata – flöde och belastning

	Maxvärde	Normal	Minvärde
Flöde, m <sup>3</sup> /d	489	390	390
Flöde, m <sup>3</sup> /h	21	16	16
Kjel-N (löslig), kg/d	627	500	400
TCOD, kg/d	482	384	384
DCOD, kg/d	293	234	234
TBODf, kg/d	147	117	117
TSS, kg/d	245	195	195
pH	8,0	8,0	8,0
Alkalinitet/NH <sub>4</sub> -N, mol/mol	1,050	1,000	0,980
ortho-P, mgP/l	50	50	50

#### *Hydraulisk uppehållstid*

Den totala aktiva volymen vid ett vattendjup på 2,7 m är 1083 m<sup>3</sup> (1100 m<sup>3</sup>). Vid normal flödesbelastning och ett vattendjup på 2,7 m beräknas uppehållstiden till 2,8 dagar. Beroende på flödesmängd och aktiv volym varierar HRT mellan 2,2 och 3,4 dagar. Den oxiska uppehållstiden, HRT<sub>ox</sub>, är satt till 1,5 dagar för att gynna nitritationen och uppnå partiell nitrifikation. Detta innebär att processen luftas en större andel av tiden vid en kortare HRT än vid en längre. Med en aktiv volym på 1100 m<sup>3</sup> luftas processen 54 % av tiden vid normalflöde medan den luftas 68 % av tiden vid maxflöde.

#### *Syrebehov*

Syrebehovet vid maximal drift bestämmer erforderlig luftningskapacitet. Genom att använda en detaljerad massbalans för kväve- och COD-reduktion beräknas syrebehovet (Tab. 7).

**Tabell 7** Massbalans för kväve- och COD-reduktion

	Syrebehov, kgO <sub>2</sub> /d
COD (inkommande-utgående)	220
Kjel-N (inkommande-utgående)	1993
Tillsatt kolkälla	1385
NO <sub>x</sub> denitrifikation	-885
Överskottsslam COD (inkommande + tillsatt)	-643
Överskottsslam N	-126
TSS rötat oxidation	50
OUR (oxygen uptake rate)	1994

Syrebehovet för renvatten, SOTR, är enligt processdesignen 225 kgO<sub>2</sub>/h.

### *Kvalitet på utgående vatten*

Utgående vatten ska enligt processdesignen ha en medelkoncentration på <100 mg/l av totalt oorganiskt kväve ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_x$ ) vid normal drift. Nitritation ska ske till 97 % och denitrifikation till 95 %.

### *Styrning*

SHARON-processen är installerad i en tank. Nitritation och denitrifikation sker därför i cykler. Normalt är cykellängden 90 minuter. Längden på den syresatta perioden då nitritation sker är proportionerlig mot inkommande flöde. När flödet är vid maximikapacitet är nitritationsperioden maximala 60 minuter. Processdata från föregående cykel används för att beräkna längden på nitrifikationscykeln.

Syre- och nitratmätare finns installerade i SHARON-reaktorn. Börvärdet för syre är 1,5 mg/l som standard. Denna koncentration bidrar till att ammonium endast oxideras till nitrit. Den uppmätta  $\text{NO}_x$ -koncentrationen styr hur mycket kolkälla som doseras i början av den anoxiska perioden.  $\text{NO}_x$  börvärde ska vara så högt som möjligt för att minimera behovet av extern kolkälla, utan att inhibera denitrifikationskapaciteten. Ett börvärde på 40 mg/l används som standard. En ammoniummätare används för att övervaka processens prestanda.

SHARON-processen på Nykvarnsverket styrs genom fyra delprocesser:

- 1 – Inkommande vatten, flödeskontroll
- 2 – Luftning
- 3 – Kolkälldosering
- 4 – Näringsämnesdosering

Temperatur och pH regleras inte. Temperaturen beräknas till ett värde inom intervallet som krävs (30-40°C). Alkaliniteten som kommer in i reaktorn med inkommande rejektvatten och som produceras i samband med denitrifikationen är tillräcklig för att kompensera den försurande effekt som nitrifikationen innebär.

#### **4.3.2 Kolkälldosering**

Dosering av kolkälla sker i början av varje denitrifikationsperiod. Olika alternativa kolkällor finns på marknaden, metanol hör till de vanligare. Valet av kolkälla är viktigt för processen, då ett dåligt val kan hämma nitrifikationen eller ratas av mikroorganismerna.

I den SBR som tidigare fanns installerad på Nykvarnsverket användes purifin som kolkälla. På TVABs rekommendation användes denna initialt även till SHARON-anläggningen. Då purifin ej tidigare använts i en SHARON, testades dess lämplighet i småskaliga försök i Holland. Försöken visade att purifin inte hämmade nitrifikationen, men att det inte var lämpligt som kolkälla för denitrifikation.

Som alternativ kolkälla valdes Mosstanol L som är en blandning av etanol och isopropanol. Det är en snabb kolkälla med korta kolkedjor som bedöms fungera väl i SHARON-processen. Dosering med Mosstanol L påbörjades 45 dagar efter idrifttagandet och resulterade i en förbättrad process.

Till processen doseras 0,2 l/min, det vill säga 288 l/d. Mosstanol har ett COD på  $1,7 \cdot 10^6$  mg/l. Totalt adderas alltså 490 kg COD/d. Vid tidpunkten då doseringsberäkningarna utfördes belastades systemet med 312 kg N/d. Reningsgraden var cirka 90 % vilket innebär att 280 kg N/d renades. COD:N-kvoten blir då 1,8 vilket inte är någon överdosering. En tumregel för COD:N-kvot i SHARON-processen är 2,5-3 (Borger 2012), men på grund av processens relativt höga pH så bedöms doseringen vara rimlig.

### 4.3.3 Stöddoseringar

Då SHARON-processen bygger på mikrobiella processer krävs ibland stöddosering av olika näringsämnen för att säkerställa mikroorganismernas tillväxt. Alla bakterier behöver en rad olika makro- (C, H, N, O, P, S) och mikro- (Cu, Co, Mo, Zn) näringsämnen. Inkommande rejektvattens egenskaper avgör ifall stöddosering är nödvändig.

#### *Fosforsyra, PO<sub>4</sub>*

Fosforbrist innebär att bakteriernas celltillväxt hämmas. Då en stor del av fosfor fälls ut i tidigare processer på reningsverket kan stöddosering vara nödvändig. Enligt ursprungliga designdata från TVAB skulle rejektvattnet innehålla 50 mg/l ortho-P. En rimlig koncentration för en SHARON är 30-35 mg/l. För att hålla processen igång, såsom den drivs idag, krävs cirka 20 mg/l. Analyser som genomfördes under 2010 visade att koncentrationen ortho-P i rejektvattnet var cirka 1 mg/l och att koncentrationen i reaktorn var 11 mg/l. Stöddosering är alltså nödvändig.

Till processen doseras 15 mg PO<sub>4</sub>/l vilket bedöms vara tillräckligt (Borger 2012). Koncentrationen PO<sub>4</sub> var 1,5 mg/l i utgående vatten, vilket också talar för att doseringen är tillräcklig.

#### *Koppar*

Tester, utförda av TVAB, av rejektvattenkvaliteten med avseende på spårämnen har visat att det bland annat råder brist på koppar. Framförallt denitrifierare behöver koppar för sin celltillväxt. Anledningen till att det råder brist på koppar är att koppar bildar starka bindningar till slampartiklar och endast en liten del följer med rejektvattnet vid slamavvattning.

Koppar doseras som kopparsulfatlösning (CuSO<sub>4</sub> \* 5H<sub>2</sub>O). Till SHARON-reaktorn doseras 0,4 g/m<sup>3</sup> vilket motsvarar cirka 100 µg Cu/l. Lämplig koncentration koppar i en SHARON är 60-100 µg/l (Borger 2012).

#### *Rötslam*

De tester som TVAB utfört rörande spårämnen i rejektvattnet påvisade små brister beträffande en rad nödvändiga näringsämnen. Stöddosering av dessa näringsämnen kan ske med hjälp av en specialbeställd mix med exakta koncentrationer eller genom tillsats av slam från andra steg i reningsprocessen.

På grund av den lägre kostnaden påbörjades dosering med slam. Rötslam bedömdes vara en bättre tillsats än biologiskt slam, då rötningen innebär att näringsämnen blir mer tillgängliga. Rötslam doseras 4 gånger per dag i satser om 500 liter. Rötslammet har en ungefärlig TSS-

halt på 3 % vilket motsvarar 0,2kg TSS/kg N. Lämplig halt TSS är cirka 0,5 kg/kg N (Borger 2012).

#### 4.3.4 Luftning

På botten i SHARON-reaktorn installerades membranluftare av typen ITT Sanitaire; 1100 stycken är jämnt utspridda över bottenarean (Fig. 11). En blåsmaskin av typen Atlas Copco ZB-100 installerades tillsammans med en äldre blåsmaskin för luftningen av SHARON-reaktorn, förluftningen och sandfånget. Maximal kapacitet för ZB-100 är enligt tillverkaren 5400 m<sup>3</sup>/h. Den äldre blåsmaskinen hade en kapacitet på 1600 m<sup>3</sup>/h och skulle i första hand användas till sandfång och förluftning. SHARON-processen behöver cirka 4500 m<sup>3</sup>/h för att uppnå nitritation vid maximal kapacitet. Sandfånget och förluftningen behöver cirka 1600 m<sup>3</sup>/h för att upprätthålla god funktion. Problem uppstod med den äldre blåsmaskinen. Luftningskapaciteten från endast ZB-100 visade sig ej tillräcklig, varför ytterligare en blåsmaskin beställdes för att utöka kapaciteten. När denna installerats visade det sig dock att den inte kunde tillföra processen de ytterligare 1800 m<sup>3</sup>/h som utlovats. Leverantören föreslog istället att en starkare blåsmaskin skulle installeras för att uppnå rätt kapacitet. Den 17 januari 2012 beställdes en Atlas Copco ZS-55 för att komplettera befintlig kapacitet.



**Figur 11** Membranluftare av typen ITT Sanitaire installerades på botten av SHARON-reaktorn.

Leveransen av luftningsmaskinen försenades och maskinen togs inte i drift förrän den 30 april 2012. När resultaten av den utökade luftningen blir synliga kommer dessa att utvärderas. Det förväntade resultatet av den utökade luftningen är att nitritationen ökar och att processen stabiliserar sig enligt ursprungsdesignen. En viss intrimningsperiod kan dock bli aktuell.

#### 4.3.5 Skumning

SHARON-reaktorn har sedan idrifttagandet haft problem med skumning. Skumningen sker oregelbundet. En viss mängd skum (cirka 10 cm) finns i princip konstant, men vid extremfall skummar det över reaktorns kanter cirka 1 m över ytan. Skumning är inte bara ett estetiskt problem utan bidrar också till att kväverikt skum sprids runt reaktorn.

I normalfallet blir det ingen skumbildning i en SHARON-reaktor (Borger 2012). Tillsats av polymer vid avvattningen av rötslammet kan bidra till skumbildning, men då skumbildningen är oregelbunden kan andra orsaker inte uteslutas. Skumdämpare tillsätts för att motverka polymerens skummande effekt. En annan möjlig orsak till skumningen kan vara att död biomassa förekommer i hög grad. Ojämn drift kan leda till att biomassa dör och därmed orsakar skumning.

#### **4.3.6 Drift- och underhållsbehov**

Driftskostnader för SHARON-reaktorn består av energikostnader för luftning och omrörning samt kostnaden för de stöddoseringar som tillförs processen, se kapitel 5.3.3. Då processen styrs automatiskt via Nykvarnsverkets Cactus-system är denna driftkostnad liten.

Underhållsbehovet består av kalibrering av sensorer, underhåll av doseringsutrustning samt manuell provtagning. Då SHARON-reaktorn är utformad utan tak, och höga träd växer i närheten, hamnar en del grenar och löv i reaktorn. Avlägsnande av dessa grenar och löv är ett säsongsbetonat problem som under vissa tider på året ökar underhållsbehovet.

#### **4.3.7 Förekomst av Anammoxbakterier**

När SBR-anläggningen som fanns på platsen togs ur drift 2009, var omrörare, nedsänkta pumpar och annat material där Anammoxbakterier kunnat växa helt täckta av röda bakteriekolonier (Kruuse 2012). Då SHARON-reaktorn drivs på det sätt som den gör idag, med syrehalter på 0-1 mg/l, finns möjligheten för Anammoxbakterier att växa. Botten i reaktorn lutar mot centrum och bassängen är djupast i mitten. En teori är att volymen under det vertikala luftarsystemet, dit syresatt vatten kanske inte tar sig i någon stor utsträckning, innehåller en stor mängd Anammoxbakterier. Vid det delflöde från SHARON-processen som leds till ett hus för provtagning har drifttekniker vid provtagningsutrustningen alltid kunnat se Anammoxbakterier växa till sig trots kontinuerlig rengöring. Exakt hur mycket Anammoxbakterier som finns är inte känt. Utifrån iakttagelser och utsagor om röda bakteriekolonier på mätutrustning, omrörare och annat bedöms mängden Anammox kunna stå för en märkbar påverkan på kvävereningen.

### **4.4 FUNKTION**

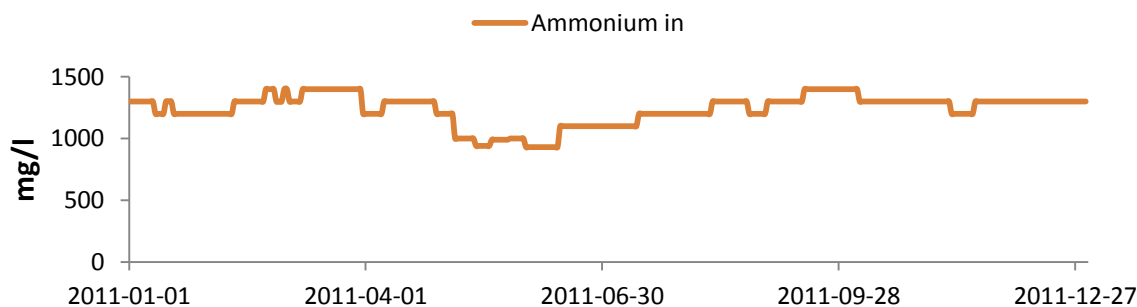
Inkommande rejektvatten har under 2010-2011 haft en genomsnittlig ammoniumhalt på cirka 1250 mg/l. En 97-procentig nitritation innebär således att utgående vatten skall ha en ammoniumhalt på i genomsnitt 37,5 mg/l. Uppmätt ammoniumhalt i utgående vatten är 93 mg/l, vilket motsvarar 92,5 % nitritation. SHARON-reaktorn når alltså inte upp till den reningsgrad som den är designad för.

Att enbart titta på medelvärden ger dock ingen fullständig bild av processens funktion. Under korta perioder håller processen en reningsgrad på cirka 97 %. Under andra korta perioder är reningsgraden endast cirka 85 %. Stabiliteten motsvarar inte den stabilitet som en fungerande SHARON-process normalt erbjuder. Svängningarna i processens funktion beror troligen på att syretillförseln inte motsvarar processdesignen. Även störningar i form av dåligt rejektvatten till följd av exempelvis driftstopp i centrifuger, fel på doseringsutrustning och andra yttre faktorer har orsakat variationer i reningsprocessen.

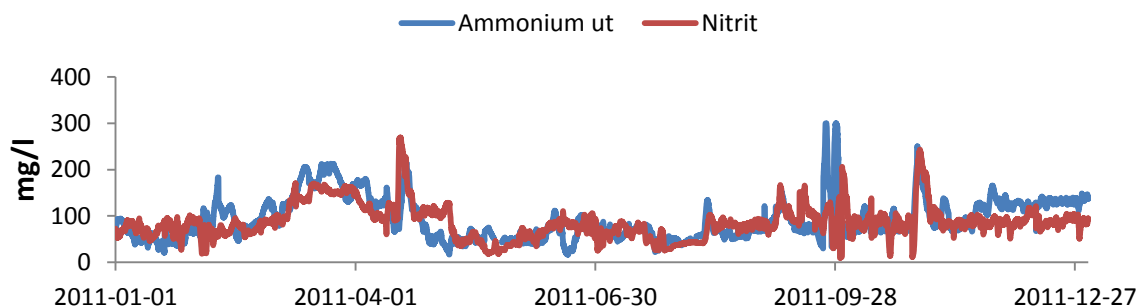
## 5 RESULTAT

### 5.1 PROCESSENS FUNKTION

SHARON-processen når inte den reningsgrad som den enligt processdesignen skall uppnå. I figur 12 och 13 redovisas ammonium- och nitrithalter för 2011. Tabell 8 visar reningsgraden för ammoniumkväve under perioderna 2010-2011.



Figur 12 Ammoniumhalt i inkommande rejektivatten under 2011



Figur 13 Utgående ammoniumhalt samt nitrithalt i reaktorn under 2011.

Tabell 8 Ammoniumhalter och reningsgrad för perioderna 2010-2011

	2010	2011
Ammonium in, mg/l	1277	1237
Ammonium ut, mg/l	94	92
Reningsgrad, %	92,6	92,5

### 5.2 BERÄKNING AV SYRE OCH LUFTMÄNGDSBEHOV

Beräknat AOR uppgick enligt ekvation (1) till ca 120 kg O<sub>2</sub>/h och SOTR beräknades enligt ekvation (2) till ca 250 kg O<sub>2</sub>/h vid maximalt flöde. Luftmängdsbehovet beräknades till ca 4500 Nm<sup>3</sup>/h.

### 5.2.1 Avstämning mot installerad kapacitet

Befintligt luftarsystem är dimensionerat för att klara önskad syretillförsel. Den blåsmaskin som idag ger luft till SHARON-processen levererar maximalt ca 3200 Nm<sup>3</sup>/h då ett delflöde konstant går till sandfång och förluftning. Blåsmaskinens kapacitet är alltså för liten. En ny blåsmaskin beställdes den 17 januari 2012 och med denna i drift ska, enligt leverantören, önskad kapacitet uppnås.

### 5.3 DRIFT- OCH UNDERHÅLLSBEHOV SAMT KOSTNADER

I tabell 9 redovisas framtagna kostnader för drift och underhåll.

**Tabell 9** Drifts- och underhållskostnader för 2011

Parameter			Kostnad, kr
<i>Stöddoseringar</i>	<i>Förbrukning, kg</i>	<i>Kostnad, kr/kg</i>	
Fosforsyra	5181	9,85	51033
Kopparsulfat	33,75	199	6716
Mosstanol (10 mån)	54113	9,50	514074
Etanol (2 mån)*	18655	7,30	136182
		<b>Totalt stöddoseringar</b>	<b>708004</b>
<i>Personal</i>	<i>Arbetstid, timmar/vecka</i>	<i>Kostnad, kr/timme</i>	
Drifttekniker**	0,5	375	9750
Instrumenttekniker**	3,0	375	58500
		<b>Totalt personal</b>	<b>68250</b>
<i>Energi</i>	<i>Förbrukning, kWh</i>	<i>Kostnad, kr/kWh</i>	
Blåsmaskin	188 000	0,80	150400
Omrörare	43 800	0,80	35040
	231 800	<b>Totalt energikostnad</b>	<b>185440</b>
		<b>Totalt SHARON</b>	<b>960 tkr</b>

\* Mosstanol var ej tillgängligt under 2 månader 2011

\*\*Uppskattad arbetstid, väl tilltagna värden

### 5.4 NYCKELTAL FÖR VÄSENTLIGA PARAMETRAR

I tabell 10 redovisas mängden ammonium som behandlats i SHARON-reaktorn under perioden 2010-2011. Nyckeltal har tagits fram för perioden 2011.

**Tabell 10** Flöde och mängd ammonium i SHARON-processen 2010-2011

	2010	2011
Flöde, m <sup>3</sup> /år	78548	90455
Ammonium in, kg	100360	111892
Ammonium ut, kg	7426	8340
Renad mängd ammonium, kg	92934	103552



Kostnaden för 2011 är 9,3 kr/kg N och energiförbrukningen är 2,2 kWh/kg N. Den reade mängden ammonium i SHARON-reaktorn motsvarar 18 % av Nykvarnsverkets totala kvävereduktion, trots att flödet endast motsvarar 0,5 % av verkets totala hydrauliska kapacitet.

### **5.5 SKUMNINGSFÖRSÖK**

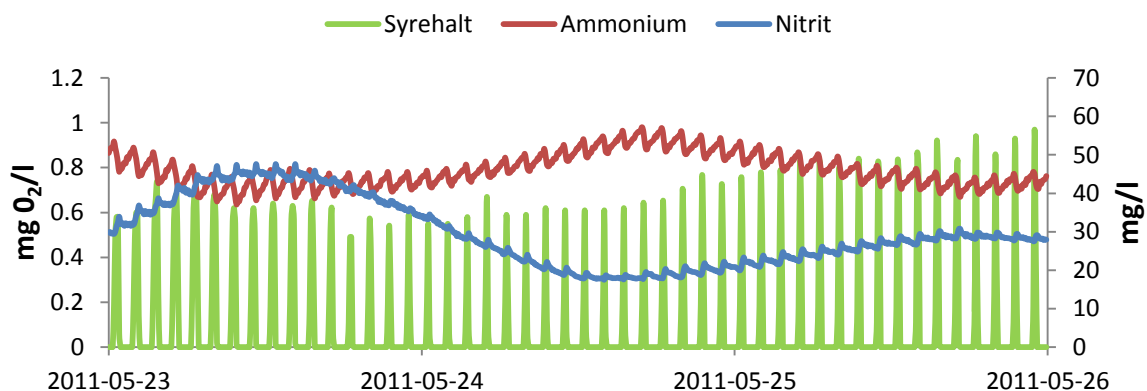
Endast de prover som var tagna direkt ur SHARON-reaktorn skummade. Skumningen härrör alltså från någon av de biologiska processer som sker i reaktorn. Polymertillsatsens effekt på skumningsmängden var liten.

## 6 DISKUSSION

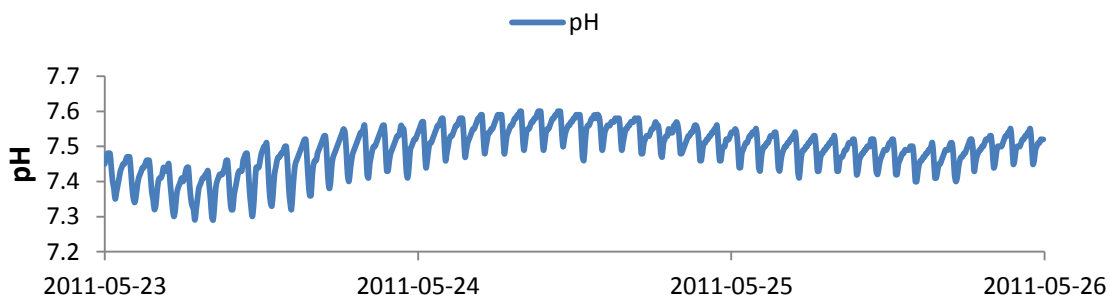
### 6.1 PROCESSENS FUNKTION

Med tanke på att syrenivån i SHARON-reaktorn sällan når upp till 1 mg/l är det något förvånande att reningsgraden ändå är såpass hög som 92,5 %. Processen erhåller bara ungefär 2/3 av den mängd luft som erfordras för att nå upp till processdesignens kapacitet. Försök har utförts då en del av luftflödet som normalt går till förluftning och sandfång strypts, vilket ökat luftflödet till SHARON-reaktorn. Processen har då svarat snabbt genom ökad nitrifikation, vilket tyder på att luften är den huvudsakliga begränsande faktorn.

Kortare perioder då nitrifikationen uppnår över 95 % reningsgrad förekommer. Under en period i maj 2011 hade inkommande rejektivatten lägre ammoniumhalt än vanligt, 990 mg/l i medeltal. Detta gav upphov till bättre syresättning och en reningsgrad på 95,4 %. I figur 14 kan urskiljas hur nitrifikationen ökar med högre syrehalt. Ammonium- och nitritkurvans samverkan blir också tydlig. I figur 15 syns nitrifikationens pH-sänkande effekt. Fluktuationerna i pH är dock väldigt små, endast cirka 0,1-0,2 enheter. Varje cykel i en SHARON-process genererar normalt pH-förändringar på 0,5-1 enheter.



**Figur 14** In- och utgående ammoniumhalter och syrehalt i SHARON-reaktorn under perioden 23-25 maj 2011.



**Figur 15** Fluktuationer i pH under perioden 23-25 maj 2011.

Eftersom Anammoxbakterier är närvarande i processen kommer en del ammonium omvandlas till kvävgas med nitrit som elektronacceptor. Hur stor del av ammoniumkvävet och nitriten som utnyttjar denna genväg är okänt. Processens låga syrenivåer gör det möjligt för dessa

bakterier att växa. Något som diskuterats under arbetets gång är hur effektivt den volym i reaktorn som ligger under luftarsystemet syresätts. Trots propelleromrörare och den omrörning som luftningen bidrar med kan det finnas en stor syrefri zon där en stor mängd Anammoxbakterier lever. Uppskattningsvis 10-15 % av volymen i reaktorn ligger under nivån där membranluftarna är monterade. Den förhållandevis höga reningsgrad med vilken processen renar ammonium, trots att endast låga syrehalter uppnås, skulle kunna förklaras genom att processen idag drivs som en form av Anammox-hybrid.

Den instabilitet som finns i processen beror förmodligen på att det finns flera olika bakterieslag närvarande. Då ett av dessa missgynnas finns risken att en stor del biomassa dör och svängningar uppstår. SHARON-processen är normalt en stabil process som klarar av perioder med varierande kvalitet på rejektivattnet. Denna stabilitet uppnås genom den ursköljning av oönskade bakterieslag som den partiella nitrifikationsprocessen bygger på.

## **6.2 BERÄKNING AV SYRE OCH LUFTMÄNGDSBEHOV**

Beräkningar av AOR och SOTR har gett värden som är cirka 10-20 % högre än processdesignens ursprungliga värden. Ursprungliga beräkningar är utförda enligt den invecklade modell som den patenterade SHARON-processen bygger på. Ur denna modell är det svårt att ta en ensam parameter ur sitt sammanhang, vilket gör att en avstämning mot befintliga värden är svår att genomföra. De beräkningar som genomförts ger som sagt liknande, men något högre, värden. Detta kan förklaras av att ett lägre  $\alpha$ -värde har använts vid beräkningar av syreöverföringen. Ett lägre  $\alpha$ -värde har valts på grund av att skumdämpare används och med reaktorns utformning i åtanke.

## **6.3 DRIFT- OCH UNDERHÅLLSBEHOV SAMT KOSTNADER**

Drift- och underhållsbehovet är större vid SHARON-anläggningen vid Nykvarnsverket än vid andra SHARON-anläggningar i Europa. Den öppna utformningen utan tak leder till något ökade underhållskostnader eftersom pinnar och löv periodvis under året måste rensas bort. Kalibrering och underhåll av mätare och sensorer står för den största underhållskostnaden. Denna är väl tilltagen då den varit svår att uppskatta. Kalibrering och rengöring görs regelbundet, men under perioder med ”dåligt” rejektivatten har stora punktsatser krävts eftersom flera mätare slutat fungera. Styrningen av processen är automatisk vilket bidrar till en liten arbetsinsats för detta ändamål.

Doseringen av kolkälla står för cirka 2/3 av driftskostnaderna. Enligt beräkningar som genomfördes tillsammans med processingenjörer från Grontmij NL i januari sker ingen överdosering. Kolkälldosering sker i första hand för pH-kontroll. COD:N-kvoten var eventuellt något låg, men processens höga pH tyder på en effektiv denitrifikation.

Den näst största driftskostnaden är för energiförbrukningen. Luftmängden som tillförs SHARON-reaktorn, förluftningen och sandfånget mäts kontinuerligt. Energiförbrukningen för luftningen har tagits fram genom att blåsmaskinens energiförbrukning samt andelen luft som gått till SHARON-processen var kända. Hänsyn har inte tagits till att det är olika tryckhöjder för de olika processerna som luftas.

## **6.4 NYCKELTAL FÖR VÄSENTLIGA PARAMETRAR**

Kostnaden om 9,3 kr/kg N som räknats fram överensstämmer väl med andra SHARON-referenser. Tillgängliga nyckeltal i litteraturen (Hellinga 1998 m.fl.) talar om kostnader på cirka 0,9-1,5 €/kg N (motsvarar cirka 8-14 kr/kg N).

Energiförbrukningen, 2,2 kWh/kg N, är något högre än vad som är vanligt för en SHARON-process. Förbrukningen kan potentiellt vara så låg som 1,6–1,7 kWh/kg N (de Mooij 2011 m.fl.), men det är under perfekta förhållanden. Enligt ursprungsberäkningarna skulle energiförbrukningen uppgå till ca 3 kWh/kg N. Förklaringen till att energiförbrukningen är lägre än förväntat är att en del ammonium och nitrit renas med hjälp av Anammoxbakterier och att luftningen inte har nått förväntad kapacitet. Luftningen står som väntat för den stora delen av energiförbrukningen.

## **6.5 STÖDDOSERING AV FOSFOR OCH KOPPAR**

Rejektvattnet vid Nykvarnsverket har väldigt låga halter av fosfor. Detta beror på att fosfor effektivt faller ut i tidigare processer på reningsverket. Utan fosfor kan inte bakterierna i SHARON-processen växa till sig så fosforbristen avhjälpas med stöddosering av fosforsyra.

Genom att betrakta ett avloppsreningsverk ur ett helhetsperspektiv kan fosforeringen planeras så att stöddosering i rejektivattenbehandlingen ofta undviks. En eventuell anpassning av Nykvarnsverkets hela reningsprocess för detta ändamål har inte studerats närmare.

Det råder även brist på koppar i inkommande rejektivatten till SHARON-processen. Det är framförallt denitrifierande bakterier som behöver koppar för sin celltillväxt. Flera exempel på rejektivattenanläggningar finns där stöddosering av koppar förekommer. Vid koppardosering måste hänsyn tas så att slamkvalitén i slutändan inte påverkas av förhöjda halter koppar, så att slammet kan användas i jordbruket.

När den nya blåsmaskinen är i drift kan mängden som tillsätts av dessa stöddoseringar, och övriga, behöva finjusteras eftersom den mikrobiella aktiviteten i reaktorn förväntas öka.

## **6.6 ÅTGÄRDSFÖRSLAG GÄLLANDE DRIFTFÖRBÄTTRINGAR VID ANLÄGGNINGEN**

Då SHARON-processen vid Nykvarnsverket står för en så pass stor del av den totala kvävereningen är en rejektivattenbehandling en självklarhet även i framtiden.

### **6.6.1 Driftförbättringar av SHARON-processen i Linköping**

När den nya blåsmaskinen är i bruk och effekten av den utökade luftningen kunnat studeras bör ytterligare optimering av doseringar, börvärden (för t.ex.  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) och cykellängder genomföras. Efter en kort intrimningsperiod bör stabiliteten i processen kunna öka och en ny utvärdering av processens funktion kan då genomföras.

### **6.6.2 Alternativa reningsmetoder för rejektivatten**

Eftersom kostnaden för kolkälla utgör en så pass stor del av driftkostnaderna rekommenderas en närmare studie av en processlösning med deammonifikation, där ingen kolkälla behövs. Syrebehovet i en sådan process är lägre i jämförelse med partiell nitrifikation så befintlig luftningskapacitet är tillräcklig.

Det senaste året har framsteg gjorts i utvecklingen av processer med Anammoxbakterier i huvudströmmen. Försök i Österrike och Schweiz har visat lovande resultat (de Mooij 2012). Möjligheten till reningsverk som kan vara energiproducerande är spännande och utvecklingen på området bör följas och beaktas vid framtida val av ny rektvattenbehandling.

Huruvida en ny processlösning skall placeras i befintlig volym eller ej får närmare studier avgöra.

## 7 SLUTSATSER

SHARON-processen vid Nykvarnsverket i Linköping har inte nått upp till den reningsgrad som utlovats. Processen fungerar inte som en SHARON-process då luftningen sedan idrifttagandet varit otillräcklig. Anammoxbakterier i processen påverkar troligen kvävereningen positivt. I vilken utsträckning detta sker är dock inte fastställt.

En ny blåsmaskin är sedan den 30 april i drift och effekten av denna utökade luftningskapacitet bör studeras ytterligare.

Stöddosering av fosfor och koppar behövs för de nitritifierande och denitrifierande bakteriernas tillväxt. Doseringsmängderna kan behöva ändras när effekten av den utökade luftningen kunnat utvärderas, eftersom SHARON-processens funktion troligtvis förändras på grund av detta.

Framtaget nyckeltal för kostnaden per kg kväve som renas i SHARON-processen är 9,3 kr, vilket är lågt, men i närheten av kostnaden vid andra anläggningar. Energiförbrukningen är 2,2 kWh/kg N, vilket är lägre än förväntat.

Slutligen föreslås en närmare studie av en ny deammonifikationsanläggning för rejektivattenrening med Anammoxbakterier. Forskningen som pågår för att göra avloppsreningsverk till energiproducenter istället för energikonsumenter bör följas och vägas in i överväganden inför val av framtida anläggningar.

## 8 REFERENSER

### 8.1 LITTERATUR

- Abma, W.R., Schultz, C.E., Mulder, J.W., van der Star, W.R., Strous, M., Tokutomi, T., van Loosdrecht, M.C. (2007). *Water21* February 2007. (Issue 9.1) p 36-37 © IWA Publishing
- Brandes, J., Devol, A., Deutsch, C., (2007). New developments in the marine nitrogen cycle. *Chem. Rev.* 107, p 577–589.
- Bull, R.J., Gerba, C., Trussell, R.R. (1990). Evaluation of the health risks associated with disinfection. *Critical Reviews in Environmental Control*, 20: 77–114.
- Carlsson, B., Hallin, S. (2003). Reglerteknik och mikrobiologi i avloppsreningsverk. Svenskt vatten. VA-forsk rapport nr 27, 2003.
- de Mooij, H.W., Thomas, G. (2010). Ammoniacal Nitrogen Removal from Sludge Liquors – Operational experience with the DEMON process. 15th European Biosolids and Organic Resources Conference.
- Eckenfelder jr., W.W., O'Connor, D.J. (1961). *Biological Waste treatment*. Pergamon, Oxford.
- Greppa näringen (2010). Övergödning. Ulrika Williamsson. Jordbruksverket, LRF, Länsstyrelserna. <http://www.greppa.nu/uppslagsboken/naringiomvarlden/overgodning>
- Hellinga, C., Schellen, A.A.J.C., Mulder, J.W., Van Loosdrecht, M.C.M., Heijnen, J.J. (1998). The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water. *Water Science och Technology*, volume 39, issue 9, p 135-142.
- Hermansson, M., Sörensson, F., Lindgren, P-E., Mattsson, A., Wik, T. (2006). Nitrifierande biofilmer för biologisk kväverening i avloppsreningsverk. VA - Forsk rapport Nr 2006-1.
- Judd, S. (2011). *The MBR Book - Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Elsevier Ltd.
- Kadlec, R.H., Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC Press. Taylor and Francis Group. ISBN: 978-1-56670-526-4.
- Kartal, B., Maalcke, WJ., de Almeida, N.M., Cirpus, I., Gloerich, J., Geerts, W., Op den Camp, H.J., Harhangi, H.R., Janssen-Megens, E.M., Francoijs, K.J., Stunnenberg, H.G., Keltjens, J.T., Jetten, M.S., Strous, M. (2011). Molecular mechanism of anaerobic ammonium oxidation. *Nature* 479, p: 127–130.
- van Kempen, R., Mulder, J.W., Uijterlinde, C.A. Loosdrecht, M.C.M. (2001). Overview: full scale experience of the SHARON® process for treatment of rejection water of digested sludge dewatering. *Water Science and Technology*: Vol 44 No1 p. 145–152 © IWA Publishing 2001.
- Kuenen, G. (2008). Anammox bacteria: from discovery to application. *Nature reviews. Microbiology*, 2008, Vol.6(4), pp.320-6

Löwgren, M., Frykblom, P., Hjerpe, M., Krantz, H. (2002). Våtmarkernas kostnader, ”onytta” och nytta. Våtmarksboken - Skapande och nyttjande av värdefulla våtmarker. Västra Rapport 3, Vattenstrategiska forskningsprogrammet, Göteborgs universitet.

Metcalf and Eddy, Inc (2004). *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*. 4th ed. McGraw-Hill.

Mulder, J.W., Duin, J.O.J., Goverde, J., Poiesz, W.G., van Veldhuizen, H.M., van Kempen, R., Roeleveld, P. (2006). Full-scale experience with the SHARON process through the eyes of the operators. WEFTEC Water Board 06.

Naturvårdsverket (2003). Avloppsrening i Sverige. Elektronisk publikation.

<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-8137-3.pdf>

Naturvårdsverket (2008). Rening av avloppsvatten i Sverige – 2006. ISBN 978-91- 620-8372-4.

Naturvårdsverket (2009a). Sveriges åtagande i Baltic Sea Action Plan, Konsekvensanalyser. Naturvårdsverket rapport 5984.

Naturvårdsverket (2009b). Sveriges åtagande i Baltic Sea Action Plan, Förslag till nationell åtgärdsplan. Naturvårdsverket rapport 5985.

Naturvårdsverket (2012). Miljömålportalen. Elektronisk publikation.

<http://www.miljomal.nu/>

Nivert, E., Johansson, M., Petersen, G., Agertved, J. (2011). Nitrogen removal without an organic carbon source. *Vatten 67*: p 131-136, Lund 2011.

Notenboom, G.J., Jacobs, J.C., van Kempen, R., van Loosdrecht, M.C.M. (2002) High rate treatment with SHARON process of waste water from solid waste digestion . IWA, 3<sup>rd</sup> International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Wastes, 18 to 20 September 2002 Munich / Garching, Germany.

Sipma, J., Osuna, B., Collado, N., Monclus, H., Ferrero, G., Comas, J., Rodriguez-Roda, I. (2010). Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge systems. *Desalination*, Volume: 250, Issue: 2. Elsevier.

SMHI (2009). Övergödning av havet.

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/overgodning-av-havet-1.6006>

STOWA (1996). Treatment of nitrogen-rich return flows of sewage treatment plants, Single reactor system for removal of ammonium over nitrite (fr. nederländska). STOWA report 96-01.

Svenskt Vatten (2005). Trela, J., Plaza, E., Gut, L., Szatkowska, B., Hultman, B., Bosander, J. VA-Forsk rapport Nr 2005-14.

Svenskt Vatten (2010a). Avloppsteknik 1 – Allmänt. Svenskt Vatten AB.



Svenskt Vatten (2010b). Avloppsteknik 2 – Reningsprocessen. Svenskt Vatten AB.

Tekerlekopoulou, A.G., Vayenas D.G. (2008). Simultaneous biological removal of ammonia, iron and manganese from potable water using a trickling filter. *Biochemical Engineering Journal*, 39(1): p 215 – 220.

Tekniska Verken, TVAB (2011). Miljörapport 2011 – Nykvarnsverket, Linköping. Tekniska Verken i Linköping AB.

Trela, J., Plaza, E., Hultman, B., Cema, G., Bosander, J., Levlin, E. (2008). Svenskt Vatten Utveckling, rapport nr 18 2008. Svenskt Vatten.

USEPA, United States Environmental Protection Agency (1989). Design Manual - Fine Pore Aeration Systems. Center for Environmental Research, Cincinnati, Ohio.

Vayenas, D., Pavlou, S., Lyberatos, G. (1997). Development of a dynamic model describing nitrification and denitrification in trickling filters. *Water Research*. 31:1135-1147.

Volcke, E. (2003). Generation of Anammox-optimal nitrite:ammonium ratio with SHARON process: usefulness of process control? Proceedings 9th IWA Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants.

Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the total environment*. 380: p 48-65.

Wett, B., Nyhuis, G., Takacs, I., Murthy, S. (2010). Development of enhanced deammonification selector. WEFTEC 2010.

Winnfors Wannberg, E. (2010). Linköping satsar på SHARON-processen. *Cirkulation*, 2/10.

## **8.2 PERSONLIGA REFERENSER**

Borger, Arjan (2012). Advisor, Grontmij NL.

de Mooij, Henk-Wim (2012). Project Manager, Grontmij NL.

Kruise, Henrik (2012). Driftingenjör, Nykvarnsverket, Linköping.

Tengliden, Hanna (2012). Driftansvarig, Nykvarnsverket, Linköping.

## 9 BILAGA A NYKVARNSVERKET SCHEMATISKT



### På reningsverket

#### 1. Renshuset

Avloppsvattnet kommer in via två huvudledningar, en från östra sidan av Stångån och en från västra. Två maskinrensande galler, med en spaltvidd på 3 mm, skiljer bort skräp som trasor, plast och pinnar. Skräpet tvättas samt pressas och blir så torrt att det kan eldas på Gärsstadverket och omvandlas till el och värme.

#### 2. Sandfånget

Tyngre partiklar, t ex sand och kaffesump, som inte fastnar i rensgallret avskiljs i sandfånget. Partiklarna tas bort för att inte skada pumpar och andra mekaniska delar inne i reningsverket. I början och i slutet av sandfånget tillsätts kemikalier för att ta bort fosfor.

#### 3. Förluftning

Efter sandfånget lyfts vattnet till förluftningsbassängerna med hjälp av stora pumpar av typ "Arkimedes skruv". Där luftas vattnet under ca 20 minuter. Luftningen gör att vattnets lukt minskar och att slampartiklarna kommer att sedimentera bättre.

#### 4. Försedimentering

I två cirkulära försedimenteringsbassänger sjunker det mesta av slampartiklarna till botten. Partiklarna består av bl a fekalier, matrester och kemiska flockar av järnfosfat.

#### 5. Biologisk rening

Här blandas det försedimenterade vattnet med bioslam. Blandningen luftas under flera timmar. Mikroorganismerna i bioslammet "äter upp" löst organiskt material och fosfor. Kvarvarande järnfosfat oxideras och kan lättare avskiljas.

I luftningsbassängerna sker även nitrifikation: kvävet i vattnet omvandlas från ammonium till nitrit och nitrat.

#### 6. Mellansedimentering

I de efterföljande sedimenteringsbassängerna avskiljs bioslammet från vattnet för att kunna användas på nytt. Huvuddelen av slammet går tillbaka till den biologiska reningen, en mindre del går till RSB-reaktorn.

#### 7. Kväverening

En del av det utgående vattnet från det biologiska steget pumpas till kvävereningen. Kväveföreningarna nitrit och nitrat omvandlas till kvävgas.

#### 8. Slutsedimentering/utlopp

I slutsedimenteringen tillsätts en mindre mängd järnsalter för att binda och avskilja ytterligare fosfor. Det fosforrika slammet förs tillbaka in i verket via RSB:n (ReturströmsBehandling).

Det färdigrenade vattnet leds sedan ut i Stångån och rinner vidare till Roxen och via Motala ström till Östersjön.

#### 9. Rötkammare

Slam som bildas i reningsprocessen stabiliseras genom rötning i tre rötkammare. I röttningsprocessen, som sker vid 37 °C bryts organiskt material ned till gas och vatten. Gasen består till nästan 70 % av metan. Det rötade slammet tappas via ett utjämningsmagasin till slamavvattningsanläggningen.

#### 10. Slamavvattning

Slammet avvattnas i centrifuger till mer än 30 % torrsubstans. Det färdigrötade slammet är näringsrikt och kan med fördel användas som jordförbättringsmedel. Det avskilda vattnet efter avvattning kallas rejektvatten och innehåller mycket kväve. Rejektvattnet

behandlas separat med bioslam i SHARON-reaktorn där kväve och organiskt material tas bort. Vattnet återförs till reningsverket efter behandling i RSB:n.

#### 11. Gasproduktion

Huvuddelen av gasen renas av Tekniska Verkens dotterbolag Svensk Biogas och blir fordonsbränsle. Gasen kan även användas för värmeproduktion i en gaspanna och kan försörja avloppsreningsverket till cirka 50 %.

#### 12. RSB (ReturströmsBehandling)

Här samlas de returströmmar som uppstår inom verket. Det är överskottsslam från biosteget, kemslam från slutsedimenteringen samt vatten från SHARON:en. I RSB luftas vattnet och släpps sedan in i verket i en jämn ström innan sandfånget för att hjälpa till med kvävereningen.

#### Fakta om Nykvarns reningsverk

- Sandfång: 200 m<sup>3</sup>
- Inloppspumpar: 2 x 5 000 m<sup>3</sup>/h
- Förluftning: 4 x 320 m<sup>3</sup>
- Försedimentering: 2 x 3 100 m<sup>3</sup>
- Luftningsbassänger: 6 x 515 m<sup>3</sup>, 4 x 500 m<sup>3</sup>, 6 x 670 m<sup>3</sup>
- Mellansedimentering: 6 x 520 m<sup>3</sup>, 4 x 770 m<sup>3</sup>, 6 x 800 m<sup>3</sup>
- Flockningsbassänger: 10 x 125 m<sup>3</sup>
- Slutsedimentering: 10 x 725 m<sup>3</sup>
- Rötkammare: 1 x 3 000 m<sup>3</sup>, 2 x 1 700 m<sup>3</sup>
- Slamlager: 1 000 m<sup>3</sup>
- SHARON: 1 200 m<sup>3</sup>
- RSB: 700 m<sup>3</sup>
- Flöde: cirka 1 800 m<sup>3</sup>/h, cirka 42 000 m<sup>3</sup>/d
- Genomrinningstid: cirka 12-13 timmar
- Gasproduktion: cirka 200-350 m<sup>3</sup>/h

20100901

Bifogad med tillåtelse av TVAB, 2012.