

EUROPEISKA  
UNIONEN  
Europeiska  
regionala  
utvecklingsfonden

# LUND UNIVERSITY

Water and Environmental Engineering  
Dept. of Chemical Engineering  
Lund University

19 Maj 2016

## PM: Beräkningar av utsläppsminskningar till Klimatklivetansökan

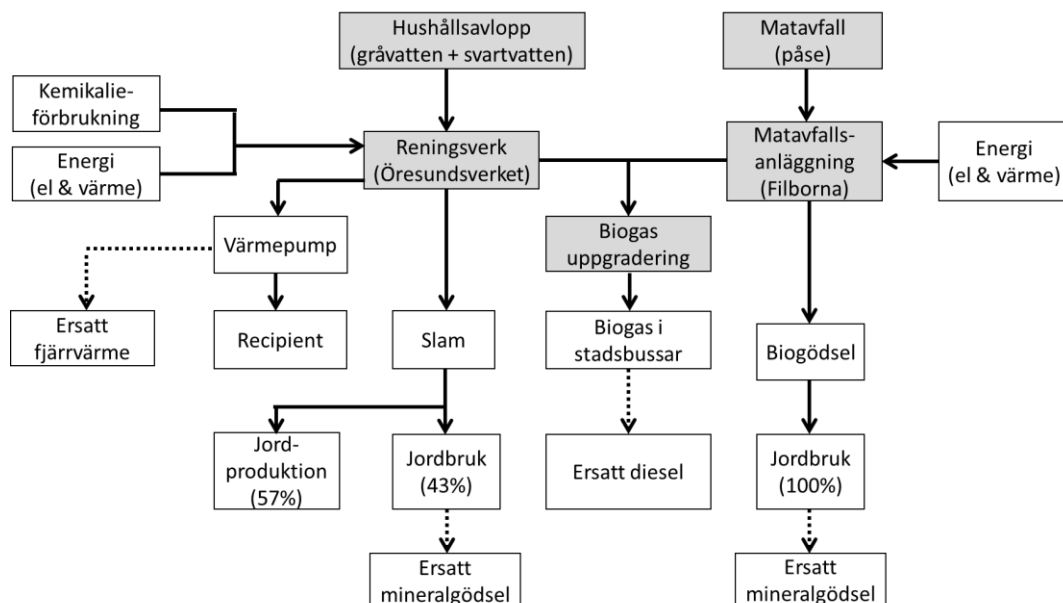
### 1. Inledning

Avdelningen för Vattenresurförsörjnings- och avloppsteknik vid LTH har utfört nedanstående beräkningar inför NSVAs ansökan till Klimatklivet. Beräkningarna har utförts i enlighet med de vägledningar som Naturvårdsverket (NVV) hänvisar till för ansökningar till Klimatklivet på [www.naturvardsverket.se/klimatklivet](http://www.naturvardsverket.se/klimatklivet). Emissionsfaktorer som presenteras i Miljöfaktaboken 2011 (Gode et al., 2011) har använts och resultaten redovisas nedan i enlighet med de krav som beskrivs i NVVs informationsmaterial om Klimatklivet.

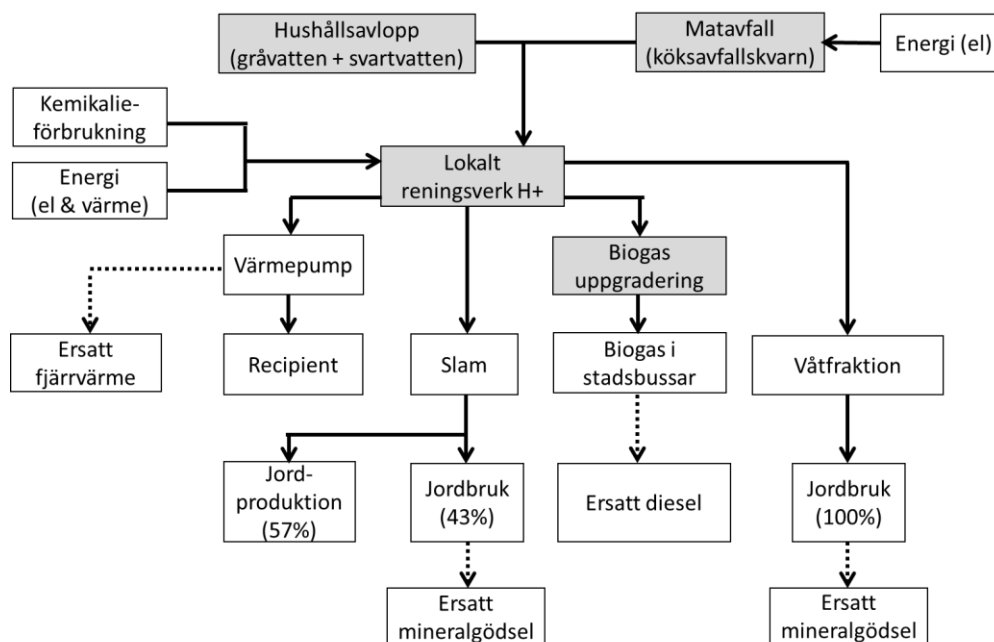
### 2. Beräkning av påverkan på växthusgasbalansen

Beräkningarna har utförts utifrån en systemanalys. Denna har grund i en utförligare livscykelanalys (LCA) som utförts över källsorterande avlopps/avfallssystem (Kjerstadius et al., opubl.), efter en anpassning utifrån de specifika förhållanden som råder i Helsingborg stad, samt utifrån den beskrivning för beräkning av minskning av växthusgasutsläpp som anges av NVV.

I beräkningarna av klimatnyttan jämförs dagens hantering av matavfall och hushållsavlopp i Helsingborg (Figur 1) med det tilltänka källsorterande systemet i H+ (Figur 2). Systemgränserna innefattar behandling av matavfall och hushållsavlopp (grävatten och svartvatten). Data är insamlat från kommunala bolag i Helsingborg, leverantörer samt relevant litteratur. För emissioner av lustgas och metan från reningsverk har Svenskt Vattens verktyg för beräkning av växthusgasutsläpp från avloppsreningsverk använts (Tumlin et al., 2013).



Figur 1 – Systemgränser för dagens system i Helsingborg.



Figur 2 – Systemgränser för det källsorterande systemet i H+.

Indata som använts för systemanalysen av den nuvarande hanteringen av hushållsavlopp och matavfall presenteras i appendix 1. Primärdata har hämtats främst från NSVA och NSR. Denna har kompletterats med litteraturdata och data hämtade från LCA-databasen ecoinvent v.3 (Ecoinvent Center, 2013). Data för modelleringen av det källsorterande systemet är framförallt hämtade från en tidigare massbalansstudie över systemet (Kjerstadius et al., 2015) samt litteraturdata. När det gäller faktorer för växthusgasutsläpp för el, värme och diesel har värden de värden som Naturvårdsverket hänvisar till i sin vägledning för ansökningar till Klimatklivet använts (NVV, 2016) (Tabell 1).

Tabell 1. Växthusgasutsläpp använda i systemanalysen, baserade på Naturvårdsverkets vägledning (NVV, 2016).

Energibärare	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> -ekv/år)	Kommentar
El	0.125	
Fjärrvärme	0.060	Rikssnitt
Diesel	0.311	Med knappt 5% FAME och drygt 8% HVO

### 3. Investeringskostnader

Investeringskostnad för biogassystemet i H+ har levererats av en privat leverantör (Desah, Nederländerna) och är baserat på en liknande anläggning för 1650 personer som just nu uppförs i Gent, Belgien. Kostnaden för ett biogassystem, inklusive nyinvesteringar för att ersätta komponenter vars tekniska livslängd behöver ersättas under ett 30 års perspektiv, uppgår till 3 MSEK.. I NVVs vägledning för livslängder av olika åtgärder anges att biogas-åtgärder kan antas ha en livslängd på 15 år. Detta är dock mycket kortare än livslängder som normalt beaktas i avloppssammanhang. I det aktuella fallet bör också biogas-anläggningen ses som ett VA-system. På grund av ledningsnätets långa livslängd (>50 år) är även reningsverk dimensionerade utifrån långa tidsperspektiv (Malm och Svensson, 2011). Ett tidsperspektiv på 50 år har tidigare använts för en kostnadsuppskattning av alternativ för H+ som utförts av Urban Water, där dock 30 år användes som tidsperspektiv för reningsverket (Kärman *et al.*, 2012). Då ett tidsperspektiv på 30 år är vanligt inom VA-teknik antas här en livslängd på 30 år för de delar av systemet som inte är el- eller teknikininstallationer. Dessa antas ha en livslängd på 15 år och de ersätts därmed en gång under den

30-åriga livslängden av anläggningen. Kapitalkostnader (kalkylränta) är inte beaktade i något av scenarierna, eftersom detta inte krävs från NVV och tidigare referensansökningar inte heller beaktat dessa.

#### 4. Sammanfattning av utsläppsminskningar och kostnader

Utsläppen av växthusgaser (som kg CO<sub>2</sub>-ekv.) för olika delar av de jämförda systemen presenteras i Tabell 2. De totala utsläppsminskningarna uppgår till 88,993 kg CO<sub>2</sub>-ekv. per år, och 2,7 miljoner kg CO<sub>2</sub>-ekv. över systemets totala livslängd. Den totala utsläppsminskningen delas sedan med investeringskostnaden för att få fram utsläppsminskningen per investeringskrona, vilket är huvudkriteriet för att rangordna ansökningarna i Klimatklivet. En livslängd på 30 år ger utsläppsminskningarna till 0,890 kg CO<sub>2</sub>-ekv./SEK.

Tabell 2. Sammanställningar av klimatgasemissioner från de jämförda systemen. Beräkningar för ett system med 1650 personer.

Process	Dagens Helsingborg (kgCO <sub>2</sub> -ekv/år)	H+ (kgCO <sub>2</sub> -ekv/år)	Kommentar
Matavfallshantering*	4 064	3 406	I H+ hanterar matavfall på reningsverket, men elförbrukning i matavfallskvarnar och i ledningsnät beaktas.
Ledningsnät*	913	2 032	Främst elanvändning i pumpar
El- och värmeförbrukning reningsverk	13 132	10 032	Minskad luftning i aktiv slam bassänger minskar elförbrukning för H+.
Kemikalieförbrukning reningsverk	995	1 367	
Infrastruktur reningsverk	8 735	11 887	
Emissioner av lustgas och metan vid avloppsreningsverk	28 715	6 446	Större emissioner av N <sub>2</sub> O från biologisk kväverening i det konventionella reningsverket
Värmepump vid avloppsvattenrening	-198	-23 118	Källsortering av varmt grävatten ökar effektiviteten.
Biogasupptradering*	442	705	Ex. metanslip som redovisas separat.
Emissioner av metan i gasupptradering	2 187	3 488	1% metanläckage.
Ersättning av diesel i stadsbussar	-41 113	-65 590	H+ ökar biogasproduktionen från matavfall och avlopp med 60%.
Transport av slam och gödselprodukter inkl. ersatt mineralgödsel*	9 250	-20 062	H+ ökar näringsåterförsl till jordbruk kraftigt, framförallt av kväve, vilket ersätter mer mineralgödsel.
Summa	39 777	-49 216	
Differens	<b>96 528 kgCO<sub>2</sub>-ekv</b>		
Differens över 30 år	<b>2 895 838 kgCO<sub>2</sub>-ekv</b>		
Investering biogassystem	<b>3 MSEK</b>		Inklusive ny-investeringar för komponenter med kortare livslängd.
Klimanytta per krona	<b>0.97 kg CO<sub>2</sub>-ekv./SEK</b>		

\*\* Inkl. infrastruktur.



EUROPEISKA  
UNIONEN  
Europeiska  
regionala  
utvecklingsfonden

# LUND UNIVERSITY

Water and Environmental Engineering  
Dept. of Chemical Engineering  
Lund University

## Referenser

- Baaring, J. (2015). Öresundskraft. Personlig kommunikation (interndata), 7 oktober 2015.
- Ecoinvent Center, (2013). Ecoinvent database 3.0. Swiss Center for Life Cycle Inventory.  
<http://www.ecoinvent.org/database/>.
- Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J. och Palm, D. (2012) Miljöfaktaboken 2011 – uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Värmeforsk, Stockholm, Sweden.
- Kjerstadius, H., Bernstad Saraiva, A., Spångberg, J. (opubl.). Life cycle assessment of source separation systems in southern Sweden.
- Kjerstadius, H. Haghatafshar S, Davidsson Å. 2015. Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems. *Environ Technol*, Jul-Aug, 36 (13-16):1707-20. doi: 10.1080/09593330.2015.1007089.
- Kärrman, E., Arnell, A., Rydhagen, B., Svensson, G., Wittgren, H.B. (2012) Multikriterieanalys för integrerade systemlösningar i H+ området. Stockholm: CIT Urban Water Management AB.
- Hellborg Lapajne, M. (opubl). Potential for heat exchange from source separated greywater in H+, Helsingborg. Thesis: Lund University.
- Malm, A., Svensson, G. (2011) Material och åldersfördelning för Sveriges VA-nät och framtida förnyelsebehov. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- NVV, 2016. Beskrivning av beräkningar av minskade växthusgasutsläpp för ansökningar i Klimatklivet. PM 2015-10-30. Ärende NV-06064-15.
- Tumlin, S., Gustavsson, D. och Bernstad Saraiva Schott, A. 2014. Klimatpåverkan från avloppsreningsverk. Publicerad 140127.



LUND UNIVERSITY

Water and Environmental Engineering  
Dept. of Chemical Engineering  
Lund University



EUROPEISKA  
UNIONEN  
Europeiska  
regionala  
utvecklingsfonden

### Appendix 1. Använd indata

Table 1.1 Data used in modeling of households.

Included			Not considered		
Component name	Reference	Comment	Component name	Reference	Comment
Production of piping material (conventional system).	Remy (2010).	Conventional system: PP50-100mm for apartment installations. Down pipe and Base pipe both PP200mm. Total length of pipes (divided per apartment) was 12.25m.	Construction of toilets and vacuum toilets.	-	Was not included in Remy (2010).
Production of piping material (source separation system).	Remy (2010).	Conventional system: PP50mm (for GW), PE50mm (for BW) and PE110mm (for FW) apartment installations. Down pipe and Base pipe for GW is PP100mm and PP200mm respectively. Down pipe and Base pipe for BW is PE50mm. Down pipe and Base pipe for FW is PE110mm. Total length of pipes (divided per apartment) was 24.25m.	Emissions for installation of piping.	-	-
			Production of fresh water.	-	Water consumption not included in study.
			Less water consumption from vacuum toilets.	-	-
			Electricity consumption vacuum toilets	-	Is included in sewer net since electricity is consumed by the vacuum pumps.

Table 1.2 Data used in modeling of food waste handling (conventional system).

<b>Included</b>			<b>Not considered</b>		
<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>	<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>
Vessel for food waste separation	Bissmont (2014)	Weight = 0.22kg Material = HDPE	Transformation of HDPE into vessel		
Paper bags for food waste separation	Bissmont (2014)	Weight = 19g/bag	Transformation of paper into bags		
Production of food waste disposers	Annerhall (2010)	Weight = 5.5kg 32% iron, 7% steel, 31% HDPE, 2.5% rubber, 0.5% copper, 1.5% aluminum	Manufacturing of the disposer		
Electricity in food waste disposers	Annerhall (2010)	Assuming 373W and 2.5 uses per day, 30s each time			
Transport of food waste	Rehnlund (2010).	8.2 kWh diesel km <sup>-1</sup>			
Screwpress	Avfall Sverige (2013)	3.7t steel 35.5kWh electricity/t food waste	Other materials, maintenance and end-of-life		
Biogas reactor for digestion of food waste	Remy (2010)	Concrete 557.3kg/m <sup>3</sup> , Steel non-alloyed 13.9kg/m <sup>3</sup> , Cast iron 2.3kg/m <sup>3</sup> , Steel alloyed 166.9kg/m <sup>3</sup> , Polyethylene 1.7kg/m <sup>3</sup> reactor volume.	Control-system, maintenance		
Incineration of pretreatment residues	Sysav (2015)	15% electricity recovery, 85% heat recovery, 85% overall energy recovery. Auxiliar materials (per t treated ww): CaCO <sub>3</sub> : 7.6kg, CaOH <sub>2</sub> : 2.6kg, NaOH: 3.8kg, NH <sub>4</sub> OH: 4.4kg, HCl: 0.15kg, FeCl <sub>3</sub> : 0.03kg, Fuel oil: 0.001m <sup>3</sup> .			
Pretreatment residues	Truedsson (2010)	Energy content = 4475 MJ/ton residues (ww).			

Table 1.3 Data used in modeling of sewer net.

<b>Included</b>			<b>Not considered</b>		
<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>	<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>
Sewer net length (conventional system)	Sofia Dahl, NSVA. Personal communication 27 November 2013.	4.9m/cap. Calculated for the city of Helsingborg.	Excavation due to reparations during technical life-span.	-	-
Sewer net length (source separation system)	Kärroman et al. (2016)	Assumed 3.7m/cap. Based on the rationale that a local treatment plant is used for source separation system. 3.7m/cap is based on the Floor Space Index of the H+ area in the city of Helsingborg (2.0 compared to 1.5 for the rest of the city).	Manholes	-	-
Sewer piping material	Remy (2010)	PP-200mm for conventional system and for GW sewer. PE-100mm for blackwater and FW sewer. Selection based on Remy (2010) but excludes cast iron.			
Sewer excavation	-	Assumed 2m <sup>3</sup> /m sewer with rammed earth (1 600 kg m <sup>-3</sup> ).			
Excavation pump pit	-	Assumed 9 600kg earth per pump (same for all pumps). Calculated from supplier data of needed pump pit volume (4.3m <sup>3</sup> ). Assumed 6m <sup>3</sup> excavation with rammed earth (1 600 kg m <sup>-3</sup> ).			
Infrastructure pumps (LPS & vacuum)	Remy (2010)	Same for all pumps (LPS and vacuum)			
Electricity demand LPS pumps	Sofia Dahl, NSVA. Personal communication 25 sept 2015.	Assumed to 0.1 kWh/m <sup>3</sup> . Pumping gives 17m head which is deemed sufficient.			

Electricity demand vacuum generator	Anders Markstedt, Jets Vacuum. Personal communication 8 April 2015.	Data for Jets 190 MB. 5 500 kWh/year.			
-------------------------------------	---	---------------------------------------	--	--	--

Table 1.4 Data used in modeling of WWTP.

Included			Not considered		
<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>	<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>
Excavation and infrastructure for construction of conventional WWTP	Remy (2010)	Calculated using model by Remy (2010) and mass balances from Kjerstadius et al. (2015).	CH <sub>4</sub> emissions from COD in effluent recipient (sea)	IPCC (2006a)	-
Electricity & heat for conventional WWTP.	Remy (2010)	57kWh <sub>electricity</sub> /cap and 49kWh <sub>heat</sub> /cap. Calculated using model by Remy (2010) and mass balances from Kjerstadius et al. (2015). Presented in Kärman et al. (2016).	Treatment of stormwater and industrial wastewater	-	Not included in system boundaries
Excavation and infrastructure for source separation WWTP	Witteveen Bos (2014)	Based on pilot area in Sneek (NL).	Heat and electricity for personnel housing	-	Assumed same for both systems
Electricity & heat for source separation WWTP	de Graaf & van Hell (2014), Meulman (2015)	Calculated from pilot plant in Sneek (NL). 8kWh <sub>electricity</sub> /cap and 142kWh <sub>heat</sub> /cap.	Material in control systems	-	Assumed same for both systems
Chemicals for sludge dewatering & foaming control	NSVA (2014) & Tumlin et al. (2013).	Calculated from environmental report for Öresundsverket WWTP (Helsingborg). Includes transport of chemicals according to Tumlin et al. (2013).	Heat exchanger on wastewater	-	Not included.



Emissions of N <sub>2</sub> O from BNR	Foley et al. (2010) and Foley et al. (2008).	0.01 kg N <sub>2</sub> O-N/kg Ndenitrified.	Emissions from personnel manhours and transport	-	Assumed same for both systems
Methane emissions from wastewater treatment	Tumlin och Gustavsson (2013).	0.00247 kg CH <sub>4</sub> /kg CODinfluent.			
N <sub>2</sub> O emissions from N in effluent recipient (sea)	Foley et al. (2008).	0.002 kg N <sub>2</sub> O-N/kg N			
Increased post-precipitation	Kemira (2003)	Assumed PIX. 1.5mole Fe <sup>3+</sup> /moleP.			
Climate impact of PIX	Homa & Hoffman (2014)	Used average value from report. 0.106 kg CO <sub>2</sub> -eq/mole Fe <sup>3+</sup> in PIX.			

Table 1.5 Data used in modeling of biogas upgrading &amp; usage.

<b>Included</b>			<b>Not considered</b>		
<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>	<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>
Steel needed for construction of upgrading facility	Calculated	First calculated from Starr et al. (2012) but the needed mass seemed unreasonably small. Instead an approximation of the mass needed for the upgrading plant at Öresundsverket WWTP was used.	Infrastructure in fuel depots	-	-
Biogas process slip	Göthe (2013)	2.8%-mass of produced biogas	Infrastructure for busses	-	-
Biogas slip upgrading facility (Water scrubber)	Göthe (2013)	1%-mass of upgraded biogas	Transport distance to fuel depots and time for refueling	-	-
Energy use upgrading water scrubber	Tumlin et al. (2013).	0.25kWh/Nm <sup>3</sup> upgraded biogas	Water needed in water scrubber	-	Water usage not included in system boundaries
Compression of upgraded biogas	Benjaminsson and Nilsson (2009)	0.18kWh/Nm <sup>3</sup>			
Substitution of diesel in busses	Tumlin et al. (2013).	1 kWh diesel/kWh methane			

Table 1.6 Data used in modeling of management of sludge &amp; nutrient fractions.

<b>Included</b>			<b>Not considered</b>		
<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>	<i>Component name</i>	<i>Reference</i>	<i>Comment</i>
Storage container	LarvCement (2012), calculations of impact from Ecoinvent database 2.2	Based on a 1000 m <sup>3</sup> container, about 168 tons of concrete and 1.4 ton cast iron, also excavation included			

Ammonia emissions from sludge storage	Karlsson and Rodhe (2002)	10% of N-tot, as for semi-solid manure			
Nitrous oxide emissions from sludge storage	Flodman, 2002 (direct N <sub>2</sub> O) IPCC, 2006 (indirect N <sub>2</sub> O)	197.6 mg N <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> ,h (sludge) and indirect 1% of NH <sub>3</sub> emissions			
Methane emissions from sludge storage	Flodman, 2002	123.3 mg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> ,h (sludge)			
Spreading operation, sludge	Ecoinvent database 2.2	Spreading operation, solid manure, hydraulic loader			
Ammonia emissions from sludge spreading	Karlsson and Rodhe (2002)	27% of NH <sub>4</sub> -N, average solid and liquid manure			
Nitrous oxide emissions from sludge spreading	IPCC, 2006	1% of N-tot applied and 1% of NH <sub>3</sub> emitted			
Methane emissions from sludge spreading	Ambus et al., 2001	0.01 of C-tot applied			
Spreading operation, avoided mineral fertilizer	Ecoinvent database 2.2	Fertilising, by broadcaster			
Carbon sequestration, sludge	Linzner and Mostbauer, 2005	Storage factor for digestate, 3.8%			
Nitrogen loss from composting	Vogt et al., 2002	30% av total N			
Ammonia emissions from composting of sludge	Boucher et al., 1999	NH <sub>3</sub> : 66% av total N loss			
Nitrous oxide and methane emissions from composting of sludge	Kirkeby et al., 2005	N <sub>2</sub> O: 2% av total N loss, CH <sub>4</sub> : 0.75% av C-tot			
Energy use composting	Kirkeby, 2005	Electricity:41 kWh/ton TS, diesel:12 l/ton TS			
Carbon sequestration, compost	Linzner and Mostbauer, 2005	Storage factor for compost, 8.4%			
Spreading operation, compost	Ecoinvent database 2.2	Spreading operation, solid manure, hydraulic loader			

Ammonia emissions from biofertilizer storage	Karlsson and Rodhe (2002)	1% of N-tot, as for liquid manure			
Nitrous oxide emissions from sludge storage	JTI, 2013 (direct N <sub>2</sub> O) IPCC, 2006 (indirect N <sub>2</sub> O)	Direct 0.24% of N-tot and indirect 1% of NH <sub>3</sub> emissions			
Methane emissions from sludge storage	Rodhe et al., 2013	16.28 gCH <sub>4</sub> -C/kgVS			
Spreading operation, biofertilizer	Ecoinvent database 2.2	Spreading operation, liquid manure, vacuum tanker			
Emissions from spreading biofertilizer	JTI, 2013; IPCC, 2006 (indirect N <sub>2</sub> O)	NH <sub>3</sub> : 15% of NH <sub>4</sub> -N, N <sub>2</sub> O direct: 0.10% av N-tot, N <sub>2</sub> O indirect: 1% of applied N, CH <sub>4</sub> : 0.007% of tot-C			
Carbon sequestration	See sludge above				
Avoided nitrogen production	Ecoinvent database 2.2	AN, as 100% (NH <sub>4</sub> )(NO <sub>3</sub> ), NPK (35-0-0), at regional storehouse	Transport not included		
Avoided phosphorus production	Ecoinvent database 2.2	TSP, as 80% Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , NPK (0-48-0), at regional storehouse	Transport not included		
Diesel use	Ecoinvent database 2.2	Diesel, low sulphur, regional storage			
Eutrophication from N fertilizer	Ecoinvent database 2.2	Fertilizer, applied: 0.073 kg N/kg N applied Manure, applied: 0.079 kg N/kg N applied			
Eutrophication from P fertilizer	Ecoinvent database 2.2	Fertilizer, applied: 0.053 kg P/kg P applied Manure, applied: 0.050 kg P/kg P applied			