



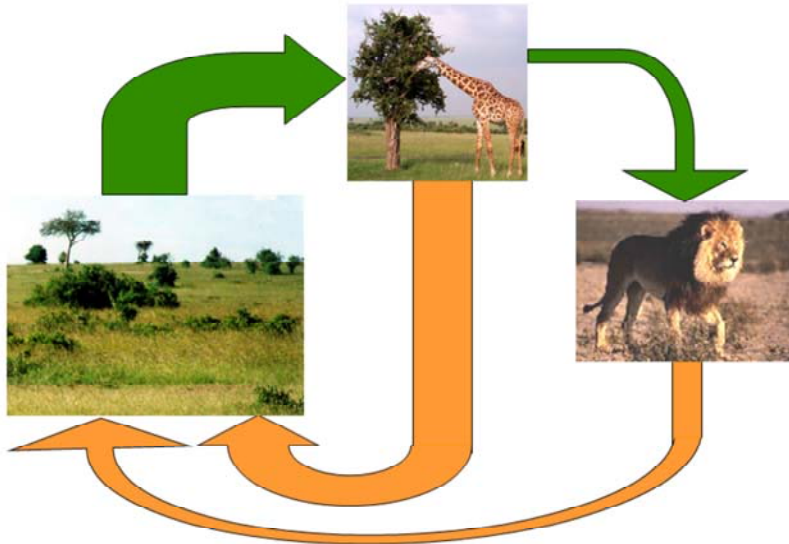
Framtidens VA – kretslopp av näring och vatten

Presentation vid utdelningen av Vattenpriset 2018-03-14

Håkan Jönsson, SLU

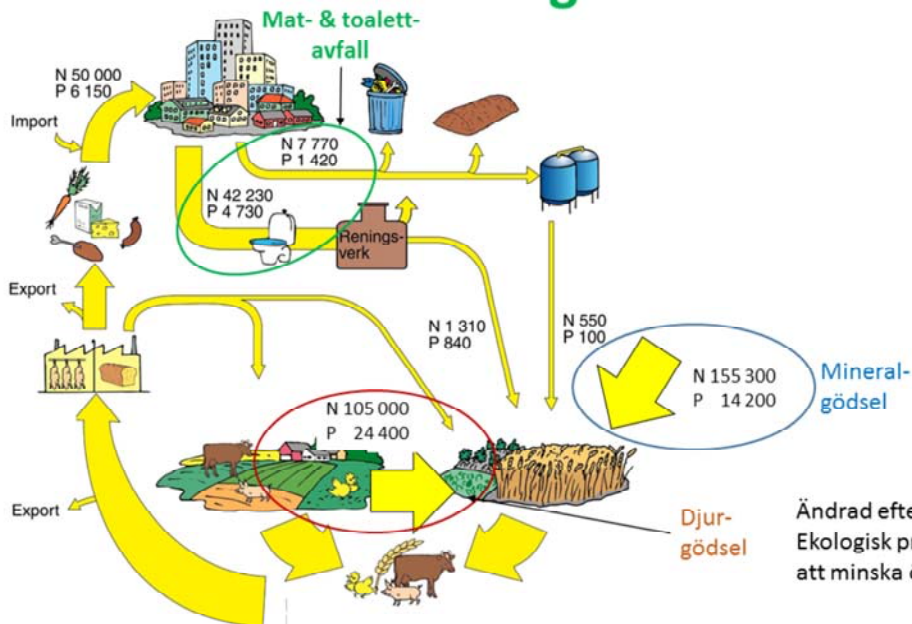


Vision – hållbara kretslopp av näring och andra resurser



Växtnäringsflödena i många av naturens ekosystem är hållbara kretslopp, även sett över mycket lång tid. Ett exempel på detta är växtnäringskretsloppen i Masai Mara i Kenya. Växtnäringskretsloppen på denna savann har varit tillräckligt konstanta under så lång tid att girafferna haft tid att utveckla sina långa halsar. Vi måste i våra mänskliga samhällen sträva mot att utveckla infrastruktursystem som ger lika hållbara flöden av växtnäring som i naturen.

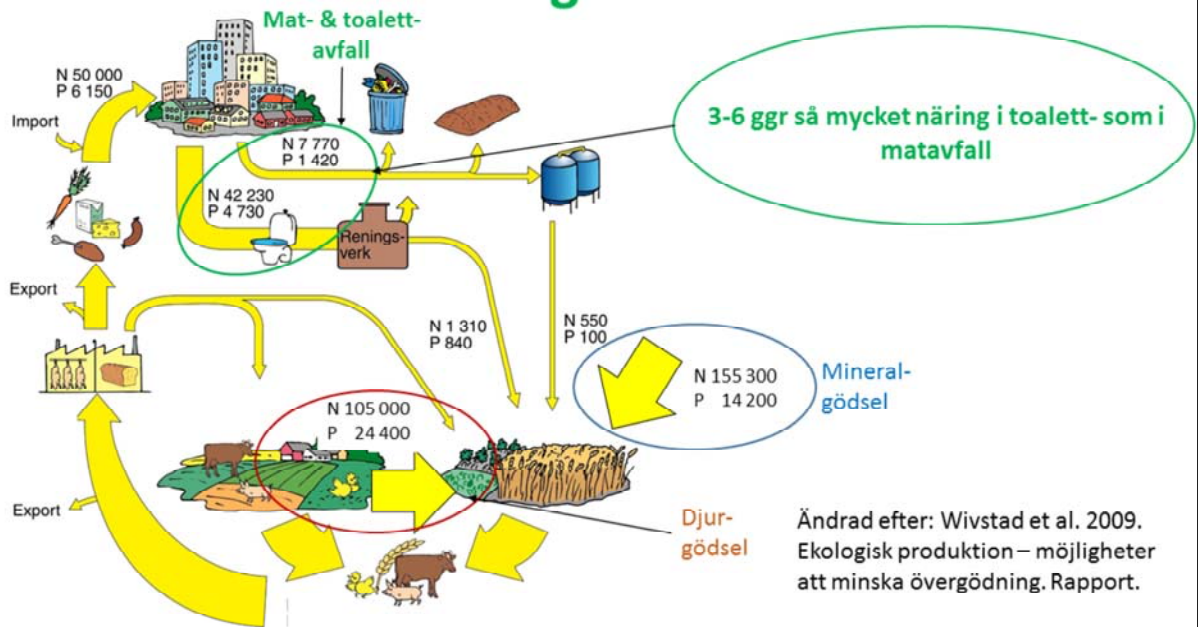
Flöden av växtnäring i samhället



Idag är samhällets flöden av växtnäring i huvudsak linjära, med ett årligt inflöde av runt 150.000-160.000 ton av kväve och 10.000-15.000 ton fosfor i form av mineralgödsel (konstgödsel) till jordbruket. In till det urbana samhället återstår ca 50.000 ton kväve och 6.000 ton fosfor i form av mat. Även om alltför mycket av maten blir matavfall, äter vi det allra mesta av maten, vilket innebär att flödena av kväve och fosfor i avloppet är mycket större än flödena i matavfallet.

Referens: Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. & **Jönsson, H.** 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning (Ecological production – opportunities for decreasing eutrophication; In Swedish). Rapport, Centrum för uthålligt lantbruk – CUL, SLU, Uppsala, Sweden. ISBN: 978-91-86197-50-6.

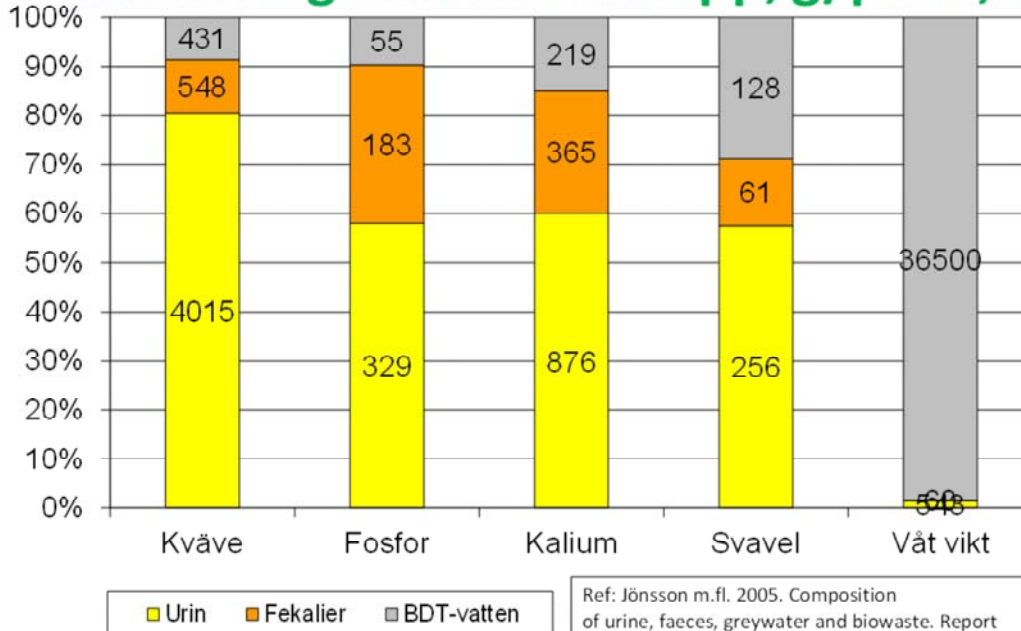
Flöden av växtnäring i samhället



Flödena av kväve och fosfor i toalettavfallet är faktiskt cirka 6 respektive 3 gånger så stora i toalettavfallet som i matavfallet. Därför har jag och vi i Forskargruppen för kretsloppsteknik arbetat mer med att sluta kretsloppet för toalettavfallets växtnäring än för matavfallets växtnäring.

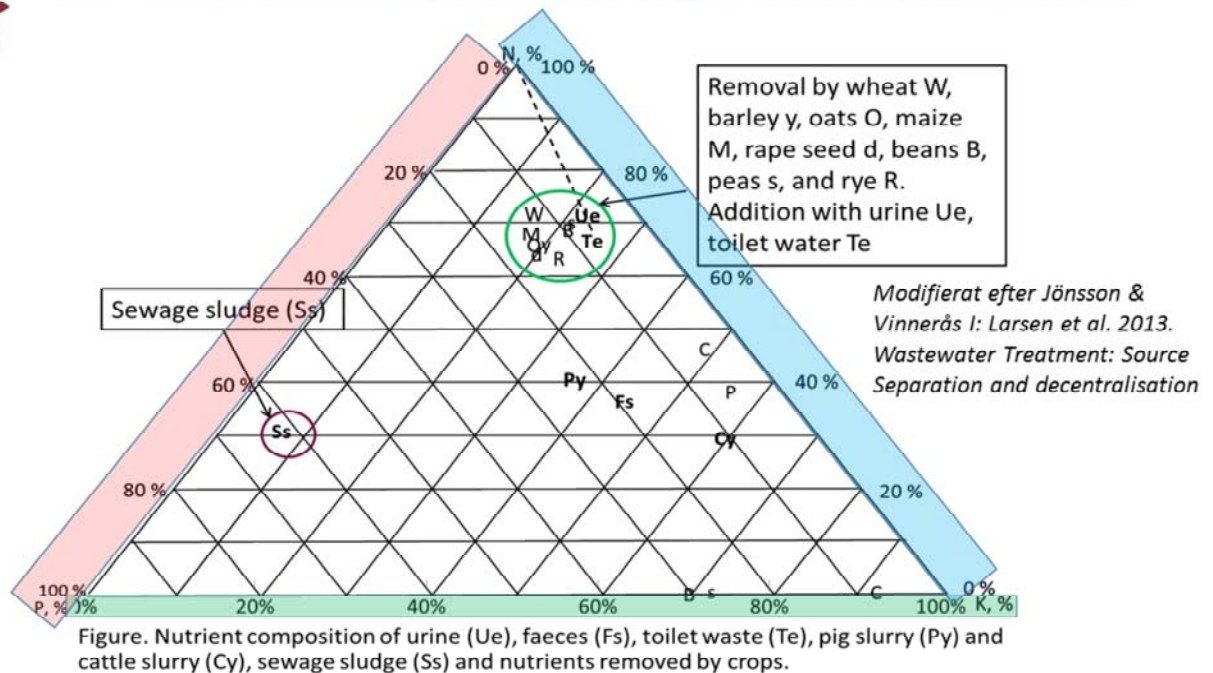
Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. & **Jönsson, H.** 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning (Ecological production – opportunities for decreasing eutrophication; In Swedish). Rapport, Centrum för uthålligt lantbruk – CUL, SLU, Uppsala, Sweden. ISBN: 978-91-86197-50-6.

Växtnäring i hushållsavlopp, g/pers., år



Växtnäringen i hushållets avlopp kommer från urin, fekalier och från BDT-vatten (Bad-, Disk- och Tvättvatten). Urinen bidrar med klart mest växtnäring. Av växtnäringen i hushållsavloppet kommer cirka 80 % av kvävet och 60 % av fosfor, kaliumet och svavlet från urinen. Klosettvattnet (toalettavloppet, alltså urinen och fekalierna tillsammans) bidrar med cirka 90 % av hushållsavloppets kväve, fosfor och kalium kommer från klosettvattnet. BDT-vattnet innehåller endast lite näring trots att det utgör en så stor del av avloppsflödet. Dess sammansättning passar mycket väl för rening med aktivt slam i reningsverk eller i bioprocesser i markbädds- eller infiltrationsanläggningar. Detta innebär att dessa biologiska reningsprocesser renar bort inte bara det organiska materialet (BOD:n) i BDT-vattnet, utan även näringen, eftersom i princip allt kväve och all fosfor byggs in i det aktiva slammets, eller markbäddens/infiltrationsanläggningens bakterier.

NPK-förhållande matchar grödans bortförel



Urin och toalettavlopp innehåller inte bara mycket växtnäring, utan sammansättningen på näringen passar också mycket bra som komplett fullgödselmedel, vilket visas i ovanstående tvådimensionella diagram, som visar förhållandet mellan kväve, fosfor och kalium i olika grödor och gödselmedel. Inom den gröna cirkeln i diagrammet finns dels gödselmedlen källsorterad humanurin (Ue från Urine) och toalettavlopp (urin + fekalier; Te från Toilet Waste) och dels grödorna vete (W, wheat), korn (y, barley), havre (O, oats), majs (M, maize), raps (d, rape seed), bönor (B, beans), ärtor (s, peas) och råg (R, rye). Rätt doserat kompenserar alltså gödselmedlen urin och toalettavlopp i stort sett perfekt för den bortförel av näring som sker med de skördade grödorna. Som fullgödselmedel är också sammansättningen på källsorterad urin och toalettavlopp betydligt bättre än sammansättningen på avloppsslam (Ss), flytgödsel från grisar (Py, pig slurry) och flytgödsel från nötkreatur (Cy).

Referens: Jönsson, H. & Vinnerås, B. 2013. Closing the loop: Recycling nutrients to agriculture. In: Wastewater Treatment: Source Separation and Decentralisation, T.A. Larsen, K.M. Udert and J. Lienert (eds.), IWA publishing, London, UK.



Urinsortering – effektivt, enkelt och robust

- Kan återvinna ~80% N, ~60% P & K från hushållsavloppet

Jönsson et al. 2005; Ek et al. 2014.

- Urin – ett unikt fullgödselmedel mycket växttillgängligt, extremt låga metallhalter, biologiskt ursprung.

Jönsson et al. 2000; Jönsson et al. 2005

- Funktionssäkert

–om rätt byggt och underhållet.

Jönsson et al. 2000; Kvarnström et al. 2006

- Socioekonomiska utmaningar

-Kommunen: urininsamling saknas etc.

-Acceptans

-Liten marknad – toalettutbud etc

McConville et al. 2017



Urinsortering är ett effektivt, enkelt och robust avloppssystem

Referenser:

Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D. & Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and bio-waste - for utilisation in the URWARE model. Report 2005:6, Urban Water, Chalmers. Sweden.

Ek, M., Junestedt, C., Larsson, C., Olshammar, M., Ericsson, M. Teknikenkät – enskilda avlopp 2011.

SMED Rapport 44, Svenska MiljöEmissionsData.

Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. & Kirchmann, H. 2000. Källsorterad humanurin i kretslopp (Recycling source separated human urine). In Swedish, English summary. VA-FORSK Report 2000•1. VA-FORSK/VAV. Stockholm, Sweden.

Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. & Drangert, J.O. 2006. Urine diversion: One step towards sustainable sanitation. Report 2006-1. Ecosanres, Stockholm Environment Institute.

McConville, J.R., Kvarnström, E., Jönsson, H., Kärrman, E., Johansson, M. 2017. Source separation: Challenges & opportunities for transition in the Swedish wastewater sector. Resources, Conservation and Recycling **120**: 144–156.



Klosettvattnensortering – stora miljöfördelar

- **Kan återvinna ~90% N & P, ~85% K från hushållsavloppet**
Jönsson et al. 2005; Ek et al. 2014.
- **Inga patogener, antibiotikaresistenta organismer till miljön**
Nordin & Vinnerås 2015; Kohn et al. 2016, Fidjeland et al. 2015
- **Hygieniserat klosettwater = bra fullgödselmedel**
växttillgängligt, biologiskt ursprung.
Jönsson et al. 2013; Jönsson et al. 2005
- **BDT-vattnet BOD₇:N:P 100: 4,5: 0,7** – optimalt för aktivt slam
- **Socioekonomiska utmaningar**
 - Juridik, organisation & praxis
 - 5-15 kommuner återvinner NPK
 - Marknadens storlek och kompetens
 - Acceptans
 - Liten marknad – toalettutbud etc

McConville et al. 2017



Klosettvattnensortering har ännu större miljöfördelar än urinsortering. Rätt byggt återför klosettvattnensortering ännu mera växtnäring till kretsloppet. Men kanske viktigast, så släpper systemet inte ut några smittämnen från toalettentill miljön, varken till vatten eller till mark. Klosettwateret hygieniseras innan det används som gödselmedel, vilket innebär att smittämnen avdödas, både de med som de utan antibiotikaresistens.

Referenser:

- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D. & Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and bio-waste - for utilisation in the URWARE model. Report 2005:6, Urban Water, Chalmers. Sweden.
- Ek, M., Junestedt, C., Larsson, C., Olshammar, M., Ericsson, M. Teknikenkät – enskilda avlopp 2011. SMED Rapport 44, Svenska MiljöEmissionsData.
- Nordin, A., Vinnerås, B., 2015. Sanitising black water by auto-thermal aerobic digestion (ATAD) combined with ammonia treatment. *Water Science & Technology* 72(12) pp 2112-2121.
- Kohn, T., Decrey, L., Vinnerås, B. 2017. Chemical Disinfectants. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros, (eds) *Global Water Pathogens Project*, <http://www.waterpathogens.org> (C. Haas (eds) Part 4 Management of Risk from Excreta and Wastewater) <http://www.waterpathogens.org/book/chemical-disinfectants> Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.
- Fidjeland, J., Svensson S.-E. & Vinnerås, B. 2015. Ammonia sanitization of blackwater for safe use as fertilizer. *Water Science & Technology* 71(5): 795-800.
- Jönsson, H., Nordberg, Å. & Vinnerås, B. 2013. System för återföring av fosfor i källsorterade fraktioner av urin, fekalier, matavfall och i liknande rötat samhälls- och lantbruksavfall. (Systems for recycling of phosphorus in the source separated fractions urine, faeces, food waste and similar anaerobically digested urban and agricultural waste. In Swedish). Rapport 061, Institutionen för energi och teknik, SLU. ISSN 1654-9406.
- McConville, J.R., Kvarnström, E., Jönsson, H., Kärrman, E., Johansson, M. 2017. Source separation: Challenges & opportunities for transition in the Swedish wastewater sector. *Resources, Conservation and Recycling* 120: 144–156.



Miljöeffekter av klosett- & urinsortering

Medianvärden 6, 5 miljösystemsanalyser 2010-

- +Spar primärenergi (-26%, -41%)
- +Minskad växthuseffekt (-38%, -25%)
- +Minskad övergödning (-29%, -26%*)
- +Ökad återvinning av N, P, K, S etc. & organiskt
- Källsorterad VA i: Uddevalla, Södertälje, Hanninge, etc., Västerås, Helsingborg, Hamburg, Gent, Amsterdam, Noorderhoek (Sneek), EAWAG...etc.

Medianvärden av Kärrman et al. 2012, Remy. 2010, Spångberg et al. 2014, Tervahauta et al. 2013, Vidal. 2014, Wittgren et al. 2011

Webb: kt-et.slu.se/ Blog: <https://blogg.slu.se/kretsloppsteknik/>

Urin- och klosett- & urinsortering har ännu inte fått någon stor spridning, även om sådana system drivs i ett ökande antal kommuner och städer, som visas längst ned på bilden. Det är förvånande att det ännu inte byggs fler sådana system, och mycket synd, eftersom miljösystemanalyser genomgående visar på stora miljöfördelar för dessa system jämfört med moderna konventionella avloppssystem.

Referenser: Klosett- & urinsortering

Kärrman, E., Arnell, M., Rydhagen, B. & Svensson, G. & Wittgren, H.B. 2012.

Multikriterieanalys för integrerade systemlösningar i H+ området. Urban Water AB. Uppdrag 120010, Rapport.

Remy, C., 2010. Life cycle assessment of conventional and source separation systems for urban wastewater management. PhD Diss, Technischen Universität Berlin.

Spångberg, J., Tidåker, P. & Jönsson, H. 2014. Environmental impact of recycling nutrients in human excreta to agriculture compared with enhanced wastewater treatment.

Science of the Total Environment 493:209-219.

Tervahauta, T., Hoang, T., Hernández, L., Zeeman, G., & Buisman, C. 2013. Prospects of Source-Separation-Based sanitation concepts: A model-based study. Water, 5(3), 1006-1035.

Wittgren, H.-B., Malmqvist, P.-A., Norström, A., Pettersson, F. & Svensson, G. 2011. Systemanalys av kretsloppssystem för Norra Djurgårdsstaden, Stockholm. Urban Water Management Rapport 2011:1.

Referens: Bara klosett- & urinsortering

Vidal, B. 2014. Blackwater sanitization with urea in Sweden – sanitization effect and environmental impact. Examensarbete 2014:13, Department of Energy and Technology, SLU. Uppsala, Sweden.



Urinsorterande och urintorkande toalett

- 1-1,5 l urin/person, dygn
- 1,5-2 kg/person, mån
- Torr produkt NPK 15:1,5:5
- Ingen extra ledning
- Återvinning av hushållsavlopp:
 - N <65%
 - P, K <60%
- 0,25 m², 10-25W/person
- *Björn Vinnerås, Jenna Senecal, Prithvi Simha*



Webb: kt-et.slu.se/ Blog: <https://blogg.slu.se/kretsloppsteknik/>

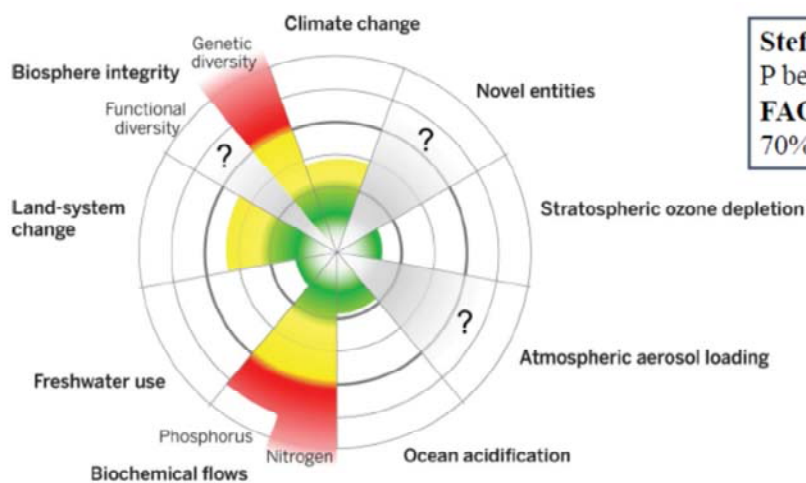
Vid Forskargruppen för kretsloppsteknik tror vi att en anledning till att källsorterande avloppssystem inte är vanligare är att de kräver fler ledningar än konventionella avloppssystem. Ledningar är dyra. Därför jobbar vi på att utveckla en urintorkningsenhet avsedd att monteras direkt intill en urinsorterande toalett i toaletterummet. Genom en kontrollerad torkningsprocess har vi av urin lyckats framställa ett fast gödselmedel med en sammansättning på NPK 15:1,5:5. Det innehåller alltså 15 % kväve, 1,5 % fosfor och 5 % kalium. Genom torkningen förvandlas en persons utsöndrade urin, 1-1,5 liter per person och dygn, till bara 1,5-2 kg torrt gödselmedel.

Vi jobbar nu på att minska energianvändningen i torkningsprocessen och hoppas kunna komma ned till ca 10-25 W per person, och denna effekt kommer att bidra till att värma toaletterummet.

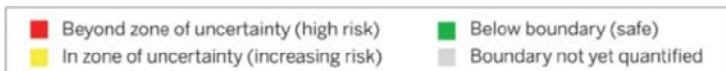
De som jobbar med detta i Forskargruppen för kretsloppsteknik är docent Björn Vinnerås och doktoranderna Jenna Senecal och Prithvi Simha.

Kritiska gränser för planetens säkra utveckling

Grönt är säkert, gult osäkert och rött är hög-riskområde.



Steffen m.fl.: Mineral N och P behöver minska med 50%.
FAO (2009):
70% mera mat behövs 2050.



Published by
AAAS

Ref: Will Steffen et al. Science 2015;347:1259855

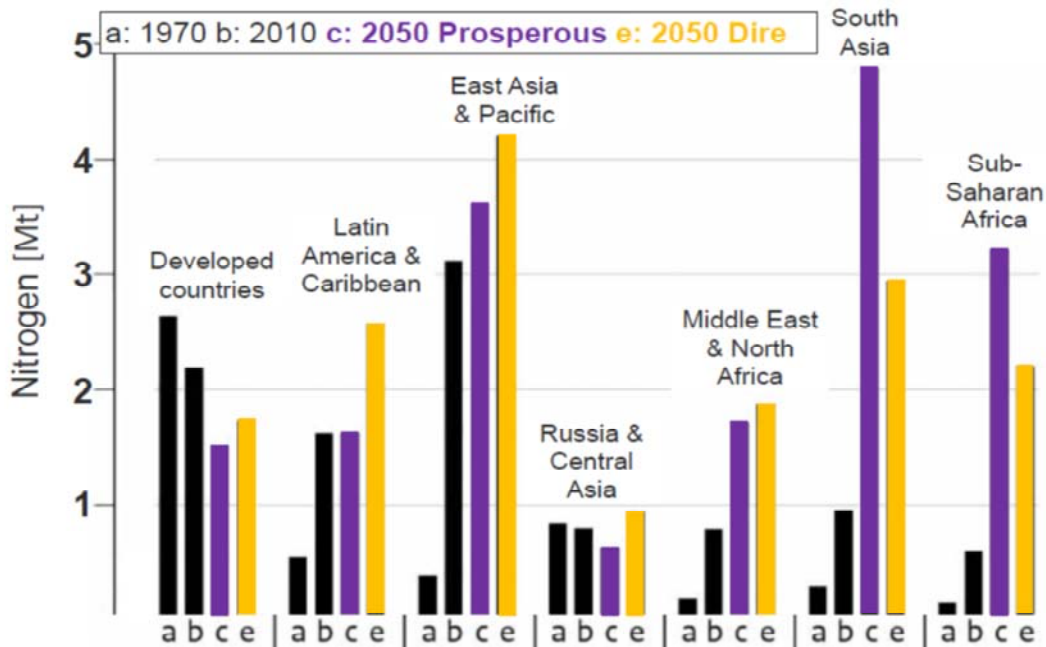
Jag har hittills betonat återföring av kväve lika mycket som återföring av fosfor. En anledning till detta är att forskargruppen runt Johan Rockström bedömer att flödet av reaktivt kväve på jorden är långt större än vad som är säkert för en säker utveckling för planetens ekosystem, vilket framgår av figuren. De bedömer att flödena av kväve och fosfor i form av mineralgödsel behöver minska med 50 %. Samtidigt behöver världens produktion av mat öka med 70 % till 2050 enligt FAO (2009). Ökad recirkulering av den växtnäring som redan flödar i samhället tillbaka till odlingen av mat bidrar mot båda dessa mål. I Forskargruppen för kretsloppsteknik jobbar vi just på att utveckla kunskap för system som är bättre än dagens på att återföra samhällets växtnäring till produktionen av mat. Källsorterande avloppssystem är mycket bättre på att återföra ren och växttillgänglig växtnäring till produktionen av mat än dagens konventionella avloppssystem.

Referens:

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science, 347(6223), 1259855.

Kväve från avlopp till ytvatten

From Puijenbroek et al., 2015, Water Science and Technology, 71(2), 227-232



Figur från
Tove Larsen
2017-10-25

Globalt behöver vi en övergång från dagens konventionella avloppssystem till källsorterande avloppssystem som återför växtnäring till produktionen av mat, inte bara för att kunna återföra mera växtnäring till produktionen av mat, utan också för att skydda vattnen från alltför stor övergödning, vilket framgår av denna figur. Idag saknar cirka 2,4 miljarder, mer än 30 % av jordens befolkning, tillgång till en hygienisk toalett. De flesta av dessa bor i södra Asien (Indien och näraliggande länder) och i Afrika söder om Sahara. Ett av FN:s mål för hållbar utveckling är att alla på jorden ska ha tillgång till en hygieniskt säker toalett. Men dagens konventionella vattenspolande avloppssystem innebär att toalettavfallens växtnäring snabbt, och i hög utsträckning, når vatten. Växtnäringen når vatten mycket snabbare än från en latringrop, om än aldrig så bristfällig och hygieniskt osäker. Därför kommer kväveutsläppen till vatten från avlopp öka fram till år 2050 i södra Asien och i Afrika söder om Sahara, när en allt större del av befolkningen får tillgång till en konventionell toalett. I båda regionerna beräknas kväveutsläppen bli ca 5 gånger till ytvatten bli ca 5 gånger så stora 2050 som år 2010. Detta gäller om den ekonomiska utvecklingen blir god, och man har råd att förse många människor med modernt avloppssystem. Om den ekonomiska utvecklingen blir dålig kommer inte lika många toaletter att byggas, och då blir kväveutsläppen mindre i södra Asien och Afrika söder om Sahara. Ovanstående visar, menar jag, att dagens konventionella avloppssystem inte är ett hållbart system för att förse dagens stora befolkning med god sanitet. Det klarar ju inte av att skydda miljön.

Referens:

Van Puijenbroek, P. J. T. M., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W., & Lucas, P. L. (2015). Global implementation of two shared socioeconomic pathways for future sanitation and wastewater flows. *Water Science and Technology*, 71(2), 227-233.



Kretslopp - Varför återföringsmål för fosfor?

Aspekt	Kväve	Fosfor	Kalium
Livsnödvändigt, ej utbytbar	X	X	X
Användning 2012/13, 1000 ton/år	161	12	26
Ekonomisk reserv, år	53 (N-gas)	266	93
Geopolitik - störst reserver	N-gas: Iran, Ryssland	Maroko/Väst-sahara, Kina	Kanada, Vitryssland
Beredskap - skördeminskning	30-70% från år 1	Märkbart efter 3-8 år	Gröd-/jordberoende
Potentiella vinster, 100% återföring	Kväve	Fosfor	Kalium
Växthuseffekt, 1000 ton CO ₂ -ekv./år	-200	-3	-4
Primärenergi, kWh/pers, år	-50	-1	-2
Värde, kr/pers, år	46	9	18

Kväve (N) och kalium (K) viktigare än fosfor (P)

I Sverige hade vi fram till 2012 ett nationellt mål att 60 % av avloppets fosfor skulle återföras till produktiv mark. Sedan 2012 har vi inte något nationellt mål alls för att återföra växtnäring från avlopp till produktion av mat. Jag menar att vi bör ha ett sådant mål. Kretsloppet av växtnäring från den mat vi konsumerat, alltså från toaletten, tillbaka till produktionen av ny mat är ju själva innebilden av de kretslopp som vi strävar mot i framtidens samhälle byggt på bioekonomi. Men målet för återföring av växtnäring från avlopp till produktion av mat bör inte begränsas till fosfor, utan återföring av kväve och kalium är faktiskt viktigare utifrån de allra flest aspekter, vilket framgår av tabellen.

Kväve, fosfor och kalium är alla livsnödvändiga och icke utbytbara. Om vi ser till användningen i svenskt jordbruk kan man på sätt och vis säga att kväve är mycket viktigare och kalium viktigare än fosfor, eftersom den årliga användningen av kväve och kalium är mycket större än användningen av fosfor.

Den ekonomiska reserven, räknad i antal år vid dagens användning, av fosfor är dessutom mycket större än den för kalium och framförallt än den för naturgas, som är den viktiga icke förnybara resursen som används för att framställa växttillgängligt kväve. Visserligen kan växttillgängligt kväve produceras med förnybar el men då går det åt ca 3 gånger så mycket energi som när det produceras med naturgas. Det växttillgängliga kvävet kan också produceras med metan från biogas, men detta kväve blir runt 3 gånger så dyrt som dagens kväve. De allra flesta av länderna med störst reserver, oavsett om det är av naturgas, fosfor eller kalium är geopolitiskt problematiska.

Att skapa lokala kretslopp för växtnäring är ur beredskapssynpunkt mycket viktigt, för vi har inte någon fabrik för mineralgödsel i Sverige. Allra viktigast vore att skapa lokala kretslopp för växttillgängligt kväve, eftersom skörden av många grödor faller med 30-70 % redan första året som man inte gödslar med mineralkväve. För fosfor ger däremot ett bortfall av gödsling en märkbar skördesänkning först efter 3-8 år, eftersom markens förråd av fosfor är så stor. För kalium beror skördeminskningen mycket på vilken gröda som odlas på vilken jord.

Genom återföring av toalettavfallens växtnäring till odlingen kan mycket mineralgödsel ersättas. Eftersom mindre mineralgödsel behöver tillverkas, så minskar utsläppen av växthusgaser och användningen av energi från tillverkningen av mineralgödsel. Det är sparad mineralgödselkväve som minskar utsläppen av växthusgaser klart mest, som spar mest energi och som har störst värde mätt i kronor.

Sammanfattningsvis: återföring av kväve och kalium är, som resurser, viktigare än återföring av fosfor!



Källsortering - utmaningar

- **Branschpraxis** – kompletterande lösningar kommer inte ens upp
- **MB 1§ 5 punkten:** " återanvändning och återvinning ... främjas så att ett kretslopp uppnås" **tillämpas inte för avlopp**
- **Källsortering och öka dina VA-kostnader**
- **Ingen praxis** → osäker juridik & organisation
- **Liten marknad**, få konsulter, toalettmodeller etc.
- Men
- **STOR GLOBAL MARKNAD** för decentraliserat källsorterande avlopp
- **I linje med "polluter pays principle"**

Webb: kt-et.slu.se/ Blog: <https://blogg.slu.se/kretsloppsteknik/>

Källsorterande avloppssystem är, trots de stora fördelar som jag visat, hittills mycket fåtaliga. De är marginella. Detta beror, som jag ser det, på att:

Det konventionella systemet är så dominerande att man inte ens överväger något annat system eller någon kompletterande lösning.

Miljöbalkens första paragraf, femte punkt att återanvändning och återvinning ska främjas så att ett kretslopp uppnås tillämpas inte. Inte i något fall har miljööverdomstolen använt denna punkt i sina domskäl, trots att den flera gånger åberopats i olika fall. Detta innebär att det inte finns någon praxis som visar att återanvändning och återvinning är viktigt för avlopp.

De miljöengagerade hushåll som installerar källsortering får, åtminstone om de bor inom ett verksamhetsområde, nästan alltid en högre kostnad för sitt VA, eftersom de förutom full VA-taxa också måste betala för hämtning av sin källsorterade fraktion. De får högre kostnader trots att de minskar belastningen på reningsverket väsentligt, och därmed borde få reducerad taxa.

Att marknaden för källsorterande avlopp är liten och praxisen mycket begränsad är också hämmande för snabb tillväxt av de källsorterande avloppen.

Men dagens snabba urbaniseringstakt, framförallt i länder som Kina, Indien och Afrika söder om Sahara, innebär en jättemarknad för robusta decentraliserade källsorterande avloppssystem, eftersom urbaniseringen är så snabb att det är nästan omöjligt att hinna bygga städernas infrastruktursystem, som avloppssystem, lika snabbt som deras befolkning ökar.



Tack alla - Ni som lyssnat och

Doktorander: Björn Vinnerås, Cecilia Sundberg, Pernilla Tidåker, Charles Niwagaba, Sahar Dalahmeh, Johanna Spångberg, Evgheni Ermolaev & Agnes Willén.

Bihandledare och kollegor: Mikael Pell, Lena Rodhe, Björn Vinnerås, Pernilla Tidåker, Elisabeth Kvarnström, Gunilla Brattberg, Madeleine Fogde, Cecilia Sundberg, Ann Albihn, Bengt Carlsson, Berit Mattsson, Magnus Ljung, Maimuna Nalubega, Lars Hylander, Ingrid Öborn, Per-Anders Hansson.

Finansiärer: Formas, VR, Sida, SVU, Naturvårdsverket, Vinnova, m.fl.

Familjen: Min hustru **Ingrid Mossberg** & våra barn.

Gruppen för kretsloppsteknik under ledning av Björn Vinnerås: Annika, Cecilia, Sahar, Jennifer, Evgheni, Jenna, Pritvi, Louis, Alice, Solveig, Sven, Chris, Giulio, Victoria, Lovisa, som hängivet jobbar vidare mot vår visionen:

**Säkert nyttjande av resurser i matrelaterat avfall
(gödsel & jordbruksavfall, matavfall och toalettavfall)**

Webb: kt-et.slu.se/ Blog: <https://blogg.slu.se/kretsloppsteknik/>

Med detta vill jag tacka er som lyssnat och alla bidragit med arbete och inspiration!



Referenser

- Ek, M., Junestedt, C., Larsson, C., Olshammar, M., Ericsson, M. Teknikenkät – enskilda avlopp 2011. SMED Rapport 44, Svenska MiljöEmissionsData.
- Fidjeland, J., Svensson S.-E. & Vinnerås, B. 2015. Ammonia sanitization of blackwater for safe use as fertilizer. *Water Science & Technology* 71(5): 795-800.
- Jönsson, H. & Vinnerås, B. 2013. Closing the loop: Recycling nutrients to agriculture. In: *Wastewater Treatment: Source Separation and Decentralisation*, T.A. Larsen, K.M. Udert and J. Lienert (eds.), IWA publishing, London, UK.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D. & Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and bio-waste - for utilisation in the URWARE model. Report 2005:6, Urban Water, Chalmers, Sweden.
- Jönsson, H., Nordberg, Å. & Vinnerås, B. 2013. System för återföring av fosfor i källsorterade fraktion av urin, fekalier, matavfall och i liknande rötat samhälls- och lantbruksavfall. (Systems for recycling of phosphorus in the source separated fractions urine, faeces, food waste and similar anaerobically digested urban and agricultural waste. In Swedish). Rapport 061, Institutionen för energi och teknik, SLU. ISSN 1654-9406.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. & Kirchmann, H. 2000. Källsorterad humanurin i kretslopp (Recycling source separated human urine). In Swedish, English summary. VA-FORSK Report 2000•1. VA-FORSK/VAV. Stockholm, Sweden.
- Kohn, T., Decrey, L., Vinnerås, B. 2017. Chemical Disinfectants. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros, (eds) *Global Water Pathogens Project*, <http://www.waterpathogens.org> (C. Haas (eds) Part 4 Management of Risk from Excreta and Wastewater) <http://www.waterpathogens.org/book/chemical-disinfectants> Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO.
- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. & Drangert, J.O. 2006. Urine diversion: One step towards sustainable sanitation. Report 2006-1. Ecosanres, Stockholm Environment Institute.
- Kärrman, E., Arnell, M., Rydhagen, B. & Svensson, G. & Wittgren, H.B. 2012. Multikriterieanalys för integrerade systemlösningar i H+ området. Urban Water AB. Uppdrag 120010, Rapport.



Referenser 2

- McConville, J.R., Kvarnström, E., Jönsson, H., Kärrman, E., Johansson, M. 2017. Source separation: Challenges & opportunities for transition in the Swedish wastewater sector. *Resources, Conservation and Recycling* 120: 144–156.
- Nordin, A., Vinnerås, B., 2015. Sanitising black water by auto-thermal aerobic digestion (ATAD) combined with ammonia treatment. *Water Science & Technology* 72(12) pp 2112-2121.
- Van Puijenbroek, P. J. T. M., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W., & Lucas, P. L. (2015). Global implementation of two shared socioeconomic pathways for future sanitation and wastewater flows. *Water Science and Technology*, 71(2), 227-233.
- Remy, C., 2010. Life cycle assessment of conventional and source separation systems for urban wastewater management. PhD Diss, Technischen Universität Berlin.
- Spångberg, J., Tidåker, P. & Jönsson, H. 2014. Environmental impact of recycling nutrients in human excreta to agriculture compared with enhanced wastewater treatment. *Science of the Total Environment* 493:209-219.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Tervahauta, T., Hoang, T., Hernández, L., Zeeman, G., & Buisman, C. 2013. Prospects of Source-Separation-Based sanitation concepts: A model-based study. *Water*, 5(3), 1006-1035.
- Vidal, B. 2014. Blackwater sanitization with urea in Sweden – sanitization effect and environmental impact. Examensarbete 2014:13, Department of Energy and Technology, SLU. Uppsala, Sweden.
- Wittgren, H.-B., Malmqvist, P.-A., Norström, A., Pettersson, F. & Svensson, G. 2011. Systemanalys av kretsloppssystem för Norra Djurgårdsstaden, Stockholm. Urban Water Management Rapport 2011:1.
- Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. & Jönsson, H. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning (Ecological production – opportunities for decreasing eutrophication; In Swedish). Rapport, Centrum för uthålligt lantbruk – CUL, SLU, Uppsala, Sweden. ISBN: 978-91-86197-50-6.