

Vägen till en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk

Erik Sindhøj, Mats Edström, Carina Gunnarsson, Erik Kärrman, Karin Östergren

Vägen till en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk

Erik Sindhøj, Mats Edström, Carina Gunnarsson, Erik Kärrman, Karin Östergren

Kontaktperson RISE

Erik Sindhøj
Jordbruk och livsmedel
+46 10 516 69 12
erik.sindhoj@ri.se

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2020:

ISBN:

Uppsala

Förord

Stiftelsen JTI satsar på öppna utlysningar till behovsdriven forskning- och utvecklingsprojekt för att driva fram innovation inom jordbruks- och miljöteknik. Ämnet på denna forskningssyntes, vägen till en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk, identifierades av Stiftelsen JTI som relevant vägledning för forskning och innovationsutveckling. Målet med denna forskningssyntes är att sammanfatta kunskapsluckor, branschens och myndigheters behov samt att identifiera utmaningar och möjliga vägar framåt för svenskt jordbruk att utvecklas i en cirkulär ekonomi.

De utmaningar och behov som presenteras i denna forskningssyntes har identifierats av RISE inom områdena Jordbruk och livsmedel, Kretsloppsteknik och Urban water management. Vi har kompletterat med utmaningar och möjligheter som lyftes fram under 2019 i ett RISE-internt arbete inom Jordbruk och trädgård. I detta arbete intervjuades ett flertal sakkunniga från företag, producent- och rådgivarorganisationer, akademi och myndigheter för att identifiera viktiga behov för utvecklingen av olika områden inom jordbruk. Ytterligare inspel och vägledning till denna syntes har kommit från en referensgrupp bestående av: Pär Larshans från Rang-Sells, Karin Lindow från Jordbruksverket, Håkan Jönsson från SLU, Jan Eksvärd från LRF, Anders Finnsson från Svenskt Vatten och Caroline Steinwig från Avfall Sverige.

Vägen som har arbetats fram och presenteras i denna rapport är bara en möjlig väg att nå målet om en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk. Det finns andra vägar och andra sätt att beskriva vägen mot en cirkulär ekonomi. Många av de utmaningar som pekas ut och beskrivs här kommer säkert att vara desamma för alternativa vägar, precis som det säkert finns utmaningar och behov som vi har missat.

Uppsala
Augusti 2020

Författarna

Innehållsförteckning

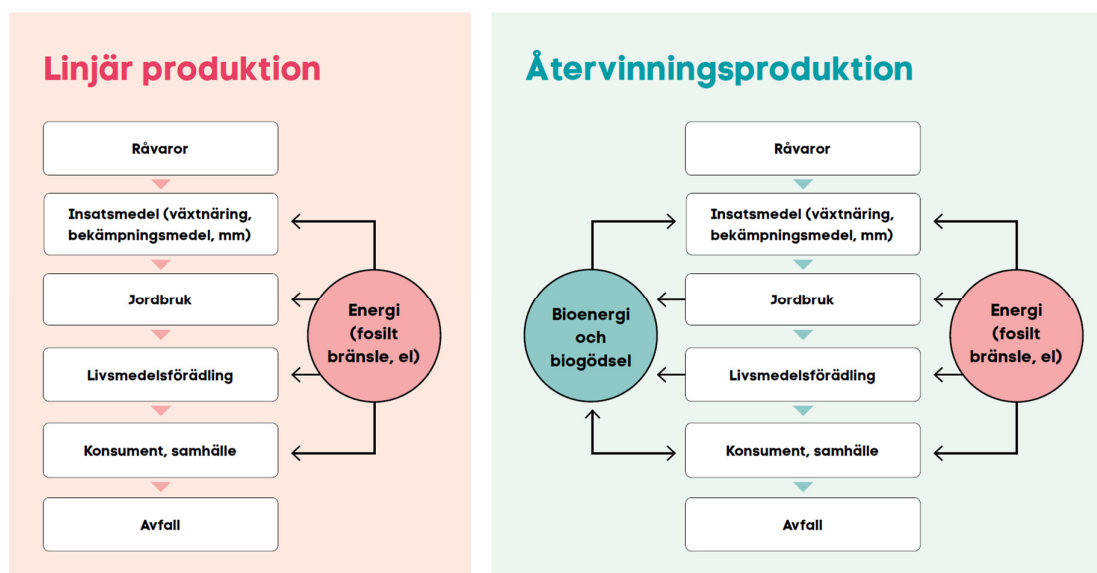
Sammanfattning	1
Vägen till en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk	2
1. Producera mat, foder, energi och biomaterial med minimala nya resurser.....	4
Utmaningar, hinder och behov	5
Bibehålla eller förbättra markbördighet	5
Öka produktion av mat, foder och biomaterial.....	6
Minska användning av fossil energi i produktionen.....	8
2. Bättre utnyttjande av jordbrukets rest- och sidoströmmar.....	8
Utmaningar, hinder och behov	9
Strategiska lösningar	9
Framtagande av nya produkter och biomaterial.....	10
Produktion av biobränsle	11
3. Skapa cirkulära växtnäringssystem mellan stad och land och mellan gårdar för att minska negativa utsläpp till miljön.....	12
Bakgrund	12
Utmaningar, hinder och behov	13
Mellan stad och land	13
Minska växtnäringsoverskott och utsläpp till miljön.....	15
Slutsatser	18
Källförteckning.....	19

Sammanfattning

Europeiska Unionen (EU) har antagit en handlingsplan för en cirkulär ekonomi som Europas nya agenda för hållbar tillväxt. Handlingarna ska göra hållbar produktion till normen inom EU, säkerställa mindre avfall och få cirkularitet att fungera. En cirkulär ekonomi är baserad på återvinning, återanvändning och förnyelse av värdefulla resurser. Denna forskningssyntes beskriver en möjlig väg för att införa en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk som fokuserar på tre områden: 1) öka hållbar produktion med minskade användning av nya resurser, 2) förbättrad användning av jordbrukets restströmmar och 3) skapa cirkulära växtnäringssystem mellan stad och land och därmed minska negativa utsläpp till miljön. Utöver det har syntesens arbete tagit fram en rad specifika utmaningar och behov som kan ses som olika steg för att kunna uppnå målet. Att införa en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk kan leda till ökad produktion och lönsamhet, minskad miljö- och klimatpåverkan och vara en väg till att uppnå hållbarhet i vårt jordbrukssystem. För att lyckas behövs ny kunskap och ny teknik som möjliggör cirkulära produktionssystem där användning av insatsvaror, mark och vatten är optimerade för produktion samtidigt som svinn och avfall minskas, sidoströmmar från primärproduktion förädlas till nya produkter och där växtnäring och energi återförs till produktionen. Utveckling av jordbruks- och miljöteknik krävs för att kunna implementera cirkulära lösningar längs hela produktionskedjan.

Vägen till en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk

För att föda en snabbt växande befolkning har jordbruket under det senaste århundradet präglats av ökade skördar. Detta gjorde att jordbruket blev alltmer resursintensivt och beroende av lättillgängliga och billiga insatser i form av syntetiska kväve- och fosforgödselmedel, oljebaserade jordbrukskemikalier och fossila bränslen. Samtidigt blev jordbruket alltmer specialiserat och globaliserat och vi började importera mer livsmedel och råvaror till livsmedel, men också proteinrikt kraftfoder till djurproduktionen. Produktionskedjorna i jordbruket var under många decennier till stor del linjära, dvs. man bröt nya naturresurser för att producera varor som sedan blev rester och avfall (Se Figur 1). I Sverige har det kanske alltid funnits någon form av internkretslopp på djurgårdar, där stallgödsel spreds tillbaka på åkermarken, men fokus var inte att få ut så mycket som möjligt av gödselns värde. Konsekvensen av intensifieringen och linjärtänkandet var stora negativa miljöpåverkningar under 70- och 80-talet.



Figur 1. Exempel på en linjär jordbruksproduktionskedja och en med återvinning.

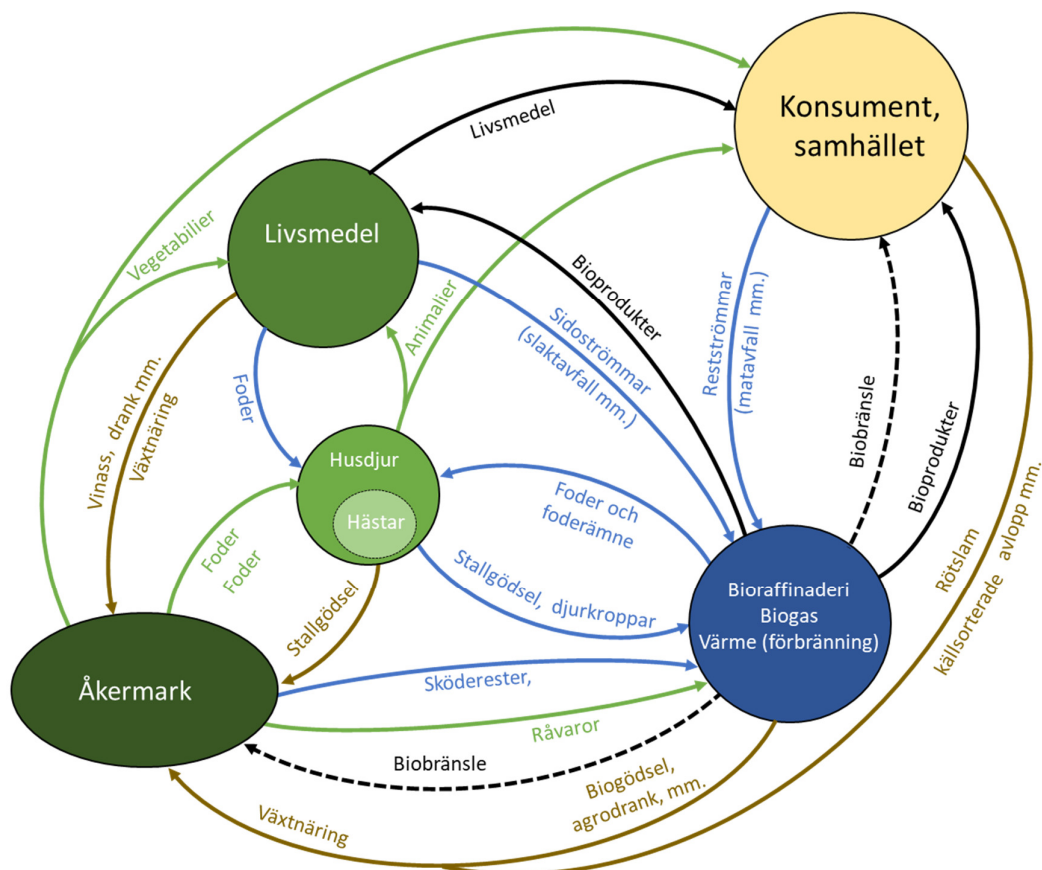
De senaste decennierna har Sverige och det svenska jordbruket börjat lämna den linjära modellen för att gå mot en återvinningsmodell. Återvinning av restströmmar minskar avfallsströmmarna och behovet av nya råvaror för produktion (Figur 1). Genom anaerob rötning av organiska avfall produceras biodrivmedel och gödselmedel (biogödsel) som underlättar återvinning av växtnäring tillbaka till jordbruket. Utvecklingen mot ökad återvinning är en klar förbättring jämfört med den linjära modellen, men den har inte varit så effektiv på att ta hand om hela avfallsströmmen, inte heller på att reducera geografiska områden med överskott av växtnäring eller att minska användningen av jungfruliga resurser och externa insatsmedel.

Ett långsiktigt mål för EU och Sverige är att utveckla en cirkulär ekonomi där resurser behålls i samhällets kretslopp eller återförs till naturens eget kretslopp på ett hållbart sätt. Att införa en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk kräver en hållbar jordbruksproduktion, där tillräckligt med mat av god kvalitet produceras samtidigt som man upprätthåller en god miljö. Jordbruksproduktionen måste numera uppfylla en rad hållbarhetskriterier som tar hänsyn till nationella miljö- och klimatmål, tex ett rikt odlingslandskap, ingen övergödning, begränsad klimatpåverkan och frisk luft, men också sträva efter att uppnå de globala målen för hållbar utveckling. Samtidigt ska jordbrukssektorn enligt

Sveriges nya livsmedelsstrategi öka inhemsk matproduktion, skapa flera jobb och leda till en levande landsbygd.

Utveckling av ett cirkulärt produktionssystem i svenskt jordbruk kräver tillämpning av system med slutna cykler av resurser och material som leder mot målen om förbättrad ekonomisk och miljömässig hållbarhet. I ett cirkulärt system skapas värde i återanvändning och att alla produkter och biprodukter kan brytas ner av naturen eller återföras till produktionen och samtidigt vara säkra och giftfria. Cirkulära system inom jordbruket kan skapas genom att kombinera ekologiska principer med modern teknik, och involverar flera aktörer med nya partnerskap och ekonomiska modeller för att effektivt kunna fullfölja en rad sociala tjänster. Cirkulära lösningar fokuserar inte bara på god avkastning och sparsam användning av resurser och energi, utan betonar också vikten av att sätta så lite avtryck på miljön och klimatet som möjligt.

Ett cirkulärt jordbruk bygger på principen med slutna kretslopp för material och substanser. Fokus ska ligga på att minska användningen av externa resurser genom att förlita sig på naturliga processer, att producera resurser lokalt och att återanvända restströmmar (Figur 2). Utvecklingen av en cirkulär ekonomi i jordbrukssektorn behöver fokusera på: 1) hållbar produktion med minskade mängder jungfruliga resurser eller nya insatsvaror, 2) förbättrad användning av jordbrukets sidoströmmar och 3) att skapa cirkulära växtnäringssystem mellan gårdar och mellan stad och land och därmed minska negativa utsläpp till miljön.



Figur 2. Ett grovt schema för ett cirkulärt jordbruk i Sverige. 1) Gröna pilar är kopplade till ökade produktion, 2) blå pilar är kopplade till förbättrade användning av rest- och sidoströmmar, 3) bruna pilar är kopplade till cirkulär återföring av växtnäring och svarta pilar är olika produktströmmar.

En grundförutsättning för jordbruk i Sverige är att lantbrukare kan få ett rimligt pris för sina produkter, och det gäller även för ett cirkulärt jordbruk. Lantbrukarna kommer bara att investera i hållbara och cirkulära lösningar om det finns en ekonomisk lönsamhet i investeringen. Vi som samhälle måste lägga ett högre värde på mat för att minska svinn och att uppmuntra konsumenterna att köpa hållbara produkter. Vid en övergång till ett cirkulärt jordbruk kommer det att krävas nya innovationer och cirkulära lösningar, och vi måste se till att Sverige och svenska jordbruket ligger i framkant på denna resa.

Syften med denna rapport är att ge en möjlig vägbeskrivning för hur vi ska komma fram till ett cirkulärt jordbruk i Sverige. Vi beskriver nuläget längs tre huvudvägar dit och längs varje väg beskriver vi nuvarande utmaningar, kunskapsluckor och eventuella hinder för att komma fram.

1. Producera mat, foder, energi och biomaterial med minimala nya resurser

Globalt står jordbruket inför en mycket stor utmaning att öka produktionen av mat för att kunna försörja en växande befolkning med livsmedel. Samtidigt ökar konkurrensen om åkermark för att leverera biomassa till en ny bioraffineringsindustri som framställer biodrivmedel och diverse biomaterial. Det betyder att effektiviteten måste öka vid användning av jordbruksmark och i jordbruksproduktionen. Vi måste producera mer med mindre insatser, och så klart ska produktion vara hållbar.

Import av livsmedel till Sverige är 48% av det vi konsumerar värdemässigt (LRF, 2018) och 50% volymmässigt av de femton största jordbruksvaror vi konsumerar (LRF, 2020). Importerad mat bidrar till mer än 60% av växthusgasutsläppen från den mat vi äter (Steinback, 2018). Förutom mat importeras också insatsvaror för att kunna driva svenskt jordbruk, tex energi, mineralgödsel, foder, växtskyddsmedel, utsäde, bränsle och arbetskraft. Import av mat och jordbruksvaror betyder färre jobb här i Sverige, men enligt Sveriges livsmedelsstrategi (Regeringens proposition, 2016) har Sverige nu som mål att öka självförsörjningen på mat som i sin tur ska bidra till fler jobb och hållbar tillväxt i jordbrukssektorn.

För att öka avkastningsnivåerna och samtidigt uppnå hållbarhet i livsmedelssystemet behöver naturresurser tas tillvara samtidigt som mark, växtnäring och vatten används tekniskt och ekonomiskt effektivt. Markbördighet måste vara i fokus. Även om mullhalten har ökat generellt i svensk jordbruksmark (Poeplau, et al., 2015) har den visat sig vara så låg i vissa av våra stora spannmålregioner, tex Skåne, att markens produktionspotential riskerar att påverkas negativt (Eriksson m. fl., 2010).

Klimatförändringar påverkar jordbruksproduktionen i Sverige genom en temperaturökning som leder till längre odlings säsonger, ökad nederbörd i vissa regioner, sommartorka blir mer frekvent i andra och nya skadedjur och växtsjukdomar etableras och förflyttas norrut. Samtidigt påverkar jordbruket klimatet genom utsläpp av metan, lustgas och koldioxid motsvarande 11 miljoner ton koldioxidekvivalenter/år plus ytterligare 1 miljoner ton/år genom import av mineralgödsel, bekämpningsmedel, foder och plast som jordbruket använder (Eriksson m. fl., 2010; Naturvårdsverket, 2019). Dessutom, bidrar importerade livsmedel som konsumeras i Sverige med ytterligare 8 miljoner ton koldioxidekvivalenter /år. Ett hållbart svenskt jordbruk måste anpassa produktion efter ett förändrat klimat, minska klimatpåverkan från produktionen men också kunna erbjuda en inhemsk klimatsmartare produktion av livsmedel än den importerade.

Svenska jordbrukets direkta användning av energi (exklusive trädgårds- och skogsnäring) uppskattas vara ca 4–5 TWh/år, där fossil energi (huvudsakligen drivmedel till arbetsmaskinerna, diesel och eldningsolja) utgör ca 2,3 TWh/år (Energimyndighetens Statistikdatabas; Baky m. fl., 2010). Jordbruket har även en indirekt användning av energi som bedöms vara 3–4 TWh/år, varav import av handelsgödsel utgör 1,6–1,8 TWh/år (Ahlgren m. fl., 2015; Baky m. fl., 2010) och importerat foder 0,9 TWh/år (Edström m. fl., 2005).

Totala användningen av biodrivmedel i Sverige är dryga 20 TWh/år, medan produktionen av biodrivmedel i Sverige är ca 4 TWh/år (Energimyndigheten, 2020). Eftersom den svensktillverkade bioetanolen huvudsakligen exporteras innebär det att ca 10 % av de biodrivmedel som svenska trafiken idag använder kommer från råvaror med ursprung i svenskt jordbruk, och där det enskilt största bidraget kommer från biogas. Biogasproduktionen sker idag huvudsakligen med sidoströmmar av outnyttjad biomassa från primärproduktion samt livsmedelsrelaterade restprodukter och avfall (tas upp i kapitel 2 nedan). Klimatpolitiska rådet (2020) bedömde att behovet av biodrivmedel till år 2030 kommer vara minst dubbelt så stort som i dag om Sverige ska nå målet på 70 procent minskade utsläpp från transportsektorn till 2030. Det finns tungt vägande skäl att nyttja den potential som finns för att producera hållbara biodrivmedel i Sverige, såsom en ökad försörjningstrygghet, industriell utveckling och export.

För att uppnå ökad produktion samtidigt som användningen av jungfruliga resurser, insatsmedel och energi ska minska, behövs en rad riktade satsningar för att säkerställa att vår jordbruksproduktion är hållbar.

Utmaningar, hinder och behov

Bibehålla eller förbättra markbördighet

Grunden i ett hållbart jordbruk är en bördig jord. Detta är nödvändigt för växterna och ger också en buffert vid extremväder och minskar växtnäringsförluster till luft och vatten. Mullhalt och jordstruktur är viktiga bördighetsfaktorer.

- *Bibehålla eller förbättra mullhalten.* Metoder som förbättrar markens bördighet och ökar mullhalten är oftast platsspecifika och det behövs bättre förståelse för vilka mekanismer som är bäst anpassade för olika områden. Möjliga åtgärder kan inkludera minskad jordbearbetning, växtföljder som optimeras för att bibehålla eller öka mullhalten, användning av fånggrödor, ökad tillförsel av skörderester eller andra organiska material som biokol till jorden, och ersättning av mineralgödsel med organiska gödselmedel så länge det inte innehåller oönskade ämnen som tungmetaller mm. Mer kunskap behövs också om vilken den optimala mullhalten är på en specifik plats, vilket bland annat som beror på jordart, odlingssystem och klimat.
- *Samarbete mellan djurgårdar och växtodlingsgårdar.* Samarbete för spridning av stallgödsel och odling av vall kan fungera som en lokal lösning för att bygga upp mullhalten på växtodlingsgården samtidigt som ett potentiellt överskott av växtnäring kan minskas på djurgården. En intressant tillämpning för ett sådant samarbete är att integrera växtodlingsgårdar i gödselbaserade biogasanläggningar, som därmed får tillgång till både mer substrat i form av vall och ökad spridningsareal för rötrest. Trots tydliga fördelar för båda parter verkar sådana samarbeten vara sällsynta (slutsats dragna från skillnad mellan totalkväve och växttillgängligt kväve applicerat på specialiserade växtodlingsgårdar, tabell 1.7, SCB 2020a). Det är viktigt att reda ut vad det är som hindrar samarbete och vilka åtgärder som skulle leda till att ett sådant blir regel istället för undantag.

- *Ökad odling av baljväxter och mer vall i växtföljden.* I växtodlingsdominerade områden kan markbördigheten förbättras genom ökad odling av baljväxter för kvävefixering och mer vall i växtföljden. Att införa vall i spannmålsdominerade växtföljder medför många positiva effekter på såväl miljö som ekonomi. Men en avsättningsmöjlighet måste finnas för den vall som produceras. I spannmålsdominerade områden kan det vara svårt att hitta avsättning som djurfoder vilket gör det intressant att hitta andra tillämpningar, tex till bioraffinaderier för produktion av drivmedel och biomaterial. Avsättning till hästnäringen kan vara en annan möjlig lösning.
- *Dränering.* En viktig faktor för att behålla markens bördighet är att marken är väl-dränerad och skyddas mot översvämning, vilket kommer att få större betydelse med hänsyn till klimatförändring. Drygt en femtedel av åkermarken bedöms ha en bristfällig dränering som behöver renoveras (Jordbruksverket, 2018), samtidigt som nuvarande regelverk anses vara ett hinder för att klimatanpassa avvattningen. Enligt rapporten finns det kunskapsbrister kring hur avvattningssystem bör utformas och dimensioneras med hänsyn till förändrat klimat, moderna odlingssystem, dagens miljökrav och för att minska framtidens underhållskostnader. Det behövs också en genomgående evaluering av reglerbar dräneringspotential att förbättra hushållningen med vatten till grödan samt minskningen av växtnäringsförluster under svenska förhållanden. Dessutom behövs utveckling av odlingssystem och brukningsmetoder som upprätthåller en god markstruktur och hög infiltrationskapacitet.

Öka produktion av mat, foder och biomaterial

Att försörja en växande befolkning med livsmedel samt en växande bioekonomi med biomassa för omställning till ett fossilfritt samhälle utan att utarma åkermarkens produktion är en stor utmaning. För jordbruksföretagen i synnerhet handlar det om att optimera resursflöden, effektivisera resursanvändning, ta fram nya produkter och minska förlusterna av råvaror.

- *Precisionsodling och digitalisering.* Precisionsodling utgår ifrån att anpassa användningen av insatser efter de förutsättningar som finns på en specifik plats på ett fält. På så sätt kan vi utnyttja resurser bättre, öka skördarna och minska eventuell negativ miljöpåverkan. En flaskhals i precisionsodling är brist på uppdaterad detaljerad information om jorden och grödan men även för själva insatsmedlen. Det saknas också lösningar för hantering och analys av stora insamlade datamängder från olika plattformar för att kunna presentera beslutsunderlag på ett användarvänligt sätt. Förarlös styrning, minirobotar och självkörande drönare har stor potential att lösa insamling av viktiga data, men tekniken är långt ifrån färdigutvecklad. Digitalisering och utveckling av Smart farming lösningar för att kunna analysera, tolka och presentera stora datamängder på ett användarvänligt sätt är viktiga hjälpmedel (Wolfert m. fl., 2017).
- *Öka inhemsk produktion av protein.* Importerat foderprotein bör ersättas med inhemskt producerat protein. Utvinning av protein från vall är en möjlighet med stor potential att öka Sveriges självförsörjningsgrad av proteinfoder, men det finns flera utmaningar som kräver tekniska lösningar. Det pågår några satsningar för att bygga bioraffinaderier med fokus på proteinutvinning från jordbrukets biomassor. För att få hög utnyttjandegrad på en anläggning är det viktigt att den kan utnyttjas året runt vilket innebär att såväl färsk som ensilerade grödor och biomassor behöver användas. Ensilering påverkar utvinningsprocessen vilket gör att olika metoder och produkter är aktuella beroende på om biomassan är färsk eller lagrad. För hanteringskedjan för förädling av färsk vall, är en utmaning att utveckla effektiva system för utvinning av protein med en kapacitet som matchar de storskaliga skördekedjor för vall som normalt används för vall. Utveckling av förädlingsteknik kan också

leda till ökad proteinutvinning från till exempel åkerbönor, vilket kan öka användningen i livsmedelsproduktion. Insekter av olika slag har oftast en stor andel högvärdigt protein och insektodling kan byggas på cirkulära lösningar där insekter fodras upp på restströmmar från jordbruk eller livsmedelsindustri, förutsatt att restströmmarna inte klassas som avfall och att detta kan ske på ett säkert sätt. Insekter kan sedan konsumeras som torkade mjölprodukter eller vidareförädlas med fokus på proteinutvinning för användning inom livsmedelsbranschen. Ett hinder ligger i social acceptans för insekter som mat och det blir troligtvis lättare att börja använda insekter som foderprotein.

- *Odlingssystem med fokus på hög biomassaproduktion.* Behovet är stort för att bygga upp en konkurrenskraftig produktionskedja från odling av biomassa till utvinning av nyttigheter åt ett samhälle som befinner sig i en övergångsperiod, där användningen av fossil energi behöver avvecklas. Viktigt är då att utveckla odlingssystem som fokuserar på att producera en stor mängd biomassa genom att tex utnyttja odlingsarealen under en större del av året genom tex mellangrödor eller fånggrödor. Det kan också handla om användning av träd och buskar i odlingslandskapet för att öka såväl ekonomisk avkastning, kolbindning och biologisk mångfald. Detta görs för att öka möjligheten till biomassauttag från åkermark utan att minska markens långsiktiga bördighet, men även för upptag av växtnäringsöverskott som annars kan förloras till luft och vatten.
- *Förbygga svinn och förluster i primärproduktionen.* Att minska svinn och andra förluster i livsmedelskedjan leder direkt till ökad mängd användbara produkter utan att förbruka mer resurser. Samtidigt är förluster i primärproduktion ett av de minst utforskade leden i matkedjan. Det är ett komplext problem och orsaken till förluster varierar för olika produkter och sektorer inom jordbruket. Det saknas också kunskap om mängden livsmedelsförluster i de olika sektorerna inom primärproduktion, och konkreta verktyg för att reducera dessa.
- *Markanvändning.* För att producera så mycket biomassa som möjligt behöver vi utnyttja all åkermark. I dag finns stora arealer outnyttjad jordbruksmark framför allt i form av marginalmarker, trädor och mindre fält som ofta tagits ur produktion pga lägre produktionspotential eller sämre lönsamhet. Det kan även vara intressant att återta tidigare skogsplanterad jordbruksmark, så länge den biologiska mångfalden och klimatet inte påverkas negativt. En utmaning är att utveckla effektiva maskinsystem och hanteringskedjor som möjliggör att dessa marker kan utnyttjas för att producera biomassa till rimlig kostnad. Att fokusera produktion av biomassa till bioraffinering på marginalmarker är också ett sätt att bemöta konflikten med att vår mest produktiva jordbruksmark behövs för att producera mat. Det saknas kunskap om hur mycket outnyttjad jordbruksmark som finns tillgängligt idag och en kartläggning av det skulle behövas.
- *Växtförädling.* Växtförädling har en självklar roll i uppbyggandet av ett hållbart jordbruk. Produktiviteten kan ökas genom förädling av nya växtsorter med egenskaper som passar odlingsplatsens klimat och jordmån, och som är mer torktåliga för att klara framtidens klimatförändring. Växtförädling kan också ge möjlighet till ökad kolinlagring, ökad resistens mot sjukdomar, ökad resistens mot skadedjur och effektivare näringsupptag.
- *Bevattnings.* Rätt mängd vatten vid rätt tidpunkt för grödans tillväxt skapar förutsättningar för jämnare och högre skördar, god markstruktur, bättre växtnäringsutnyttjande och minskad miljö- och klimatpåverkan. För närvarande är det mest specialgrödor som grönsaker och potatis som får bevattning, men med klimatförändring och längre och mer frekventa torrperioder ökar intresset för bevattning även till vall och spannmål. Men det saknas kunskap för när spannmål och vall skulle behöva bevattnas och vilka mängder som krävs för att säkra skörd och lönsamhet. Mer kunskap behövs om lösningar för vattenförsörjning till

bevattning och möjligheter att kombinera reglerbar dränering med bevattningsystem för att använda dräneringsvattnet till bevattning.

Minska användning av fossil energi i produktionen

- *Elektrifiering i jordbruk och användning av biodrivmedel.* Eldrivna inomgårdsmaskiner förekommer, men till jordbrukets arbetsmaskiner i övrigt används idag uteslutande fossilt bränsle och importerad förnybar diesel. Användningen av fossil energi kan minskas genom att ersätta jordbrukets användning av diesel och eldningsolja med förnybar energi, liksom att fortsätta genomföra åtgärder för att energieffektivisera produktionen. Utmaningar finns att anpassa befintlig maskinpark liksom nya arbetsmaskiner till drift med förnybar energi. På längre sikt kan elektrifiering, med eldrivna autonoma maskiner som styrs av avancerade system med sensorer och dataanalys, bidra till ökade skördar och minskad användning av energi- och bekämpningsmedel. Olika typer av hybridlösningar kan vara ett mellansteg i elektrifieringens utveckling.
- *Användning av grönt kväve, eller åtminstone grönare.* Åtgången av fossil energi för att framställa insatsmedlet mineralgödselkväve (nitrat, ammoniumnitrat, urea och ammoniumsulfat) som används i växtodlingen är väsentligt större än den mängd diesel som gården använder för att bruka samma areal. Mineralgödselkvävet, som har möjliggjort dagens höga avkastning, framställs i industriell skala utanför Sveriges gränser. Ammonium- och nitratkväve framställs från luftkväve tillsammans med väte från metan i fossilgas med s.k. Haber-Bosch process. Metan från biogas skulle principiellt kunna ersätta denna naturgas men det finns såväl logistiska, tekniska, ekonomiska som nationsgränsöverskridande utmaningar att fasa ut naturgasen i denna storskaliga produktion. Den storskaliga ammoniakstillverkningen kan även bli grönare genom användning av förnybar el och/eller syntesgas från förgasning, men även här finns tekniska och ekonomiska utmaningar. Det är viktigt att utveckla teknik, även småskaligt, som möjliggör tillverkning av grönt mineralgödselkväve som kan doseras exakt efter grödans behov. Läs mer om cirkulär framställning av mineralgödsel från stallgödsel, avloppsvatten och andra organiska resurser i kapitel 3.
- *Användning av spillvärme i växthusproduktion.* Studier har visats att det finns stora spillvärmepotentialer runt om i landet som skulle lämpa sig för uppvärmning av växthus vid till exempel grönsaksproduktion (Christiansson, 2012; Nilsson och Nimmermark, 2013). Det har även visat sig att spillvärme från ett datacenter kan användas för uppvärmning av ett växthus och därmed bidra till lokal produktion (E2B2, 2017). Högtempererade spillvärmekällor är relativt lätta att utnyttja, men teknikutveckling behövs för att kunna utnyttja medel- och lågtempererad restvärme. Dessutom behövs utveckling av ny växthusteknik och design anpassat till svenska förhållande eftersom tekniken som används idag kommer från länder med varmare klimat och därmed andra förutsättningar på vinterhalvåret. Här finns potential att öka såväl lokal självförsörjningsgrad som företagande. Det finns också möjlighet att använda spillvärme till landbaserad fiskodling, som beroende på vilken art som odlas kan behöva uppvärmning av vattnet.

2. Bättre utnyttjande av jordbrukets rest- och sidoströmmar

Syftet med att bättre ta vara på rest- och sidoströmmar är att öka resurseffektiviteten och skapa hållbara och lönsamma och mer cirkulära värdekedjor. Att höja värdet på restströmmar från produktionen kommer att kräva innovation från jordbruksföretagen och samverka med aktörerna i flera led i kedjan. Nya förädlade produkter från restflöden kan vara i form av livsmedel, foder, biobränsle eller förädling till annat biomaterial (tex förpackningsmaterial) som kan föras tillbaka i nya

produktcirklar igen. Bioraffinaderikoncept eller kombinat där varje del av biomassan används för att utvinna så högvärdiga produkter som möjligt för att producera både livsmedel, foder samt material, drivmedel och energi till en växande bioekonomi är ett stort utvecklingsområde för jordbruket. Detta kommer i synnerhet att minska förlusterna i jordbruket och öka resurseffektiviteten, minimera miljöavtrycket, öka jordbrukets produktionsvärde och skapa arbetstillfällen.

Jordbrukets outnyttjade rest- och sidoströmmar kan utgöra en viktig biomassapotential för att producera drivmedel och material när Sverige ska gå mot ett fossilfritt samhälle. Idag produceras ca 2 TWh biogas per år i Sverige, varav 1,3 TWh används som biodrivmedel (Energimyndigheten, 2019). Biogas framställs genom rötning av olika organiska sidoströmmar från jordbruket och samhälle, som till exempel stallgödsel, matavfall och avfall från livsmedelsindustrin. För närvarande rötas bara ca 3 % av den stallgödsel som produceras i Sverige, medan 33 % av matavfallet från konsumtionsledet rötas (Naturvårdsverket, 2020). Biogasmarknadsutredningen (2019) konstaterade att produktion och användning av biogas medför samhällsnyttor som kan bidra till att uppfylla ett antal samhälleliga mål om klimat-, miljö- och energi. Samtidigt utgör dagens styrmedel för biodrivmedel ett marknadshinder för utveckling av biogas som drivmedel.

I jordbruket finns olika typer av sidoströmmar. På fältet finns skörderester som idag inte utnyttjas, men skulle kunna skördas i samband med skörd av huvudgrödan. Exempel på detta är potatisblast och stamdelar av grönsaker. Till denna kategori hör även halm från spannmål och oljeväxter. Halm är dock inte utnyttjad på samma sätt som tex potatisblast. Skörderester som lämnas på fältet bidrar till bibehållen mullhalt och växtnäring som måste kompenseras vid bortförsel. Spannmålshalm används också till foder och strö, medan oljeväxthalm endast används i liten omfattning, tex vid stor brist på spannmålshalm. En annan outnyttjad biomassa på fältnivå finns i arealer som inte skördas, tex kantzoner, trädor m.m. samt extensivt brukade vallar som skulle kunna utnyttjas mer intensivt och skördas fler gånger per säsong. Färdiga produkter kan lämnas kvar i fält för att marknaden svänger, produkten inte håller rätt storlek eller att köparen avbeställer nära inpå leveransen. En annan typ av sidoströmmar i jordbruket är de som uppstår efter skörd och som delvis orsakas av felaktig hantering eller dåliga förutsättningar vid skörd. Dit räknas tex ensilage och spannmål med dålig hygienisk kvalitet och foderkassationer som uppstår under hantering och utfodring på gården, samt senare i förädlingsledet. Från animalieproduktionen uppstår också förluster när mjölk eller ägg inte kan gå vidare som livsmedel, eller när djur som hade kunnat ätas istället avlivas, destrueras och blir avfall.

Mängden livsmedelsavfall från primärproduktion i Sverige har uppskattats till 98 000 ton per år (Jordbruksverket, 2016). Detta avser innan livsmedlet har lämnat gården och uppstår till stor del från grönsaker, rotfrukter, vete och mjölk. Medan rötning av matavfall som uppstår längs matkedjan kan minska miljöpåverkan av matavfallet, är minskning av själva förlusterna den mest hållbara strategin. Stora flöden av jordbruksrelaterade restströmmar uppstår utanför gårdens gränser, som förluster i förädlingsledet, matsvinn och matavfall från handeln, restaurangerna och hushållen. Detta faller dock utanför ramen på denna rapport som har fokus på jordbruket, förutom när det gäller återföringen av växtnäring i dessa strömmar tillbaka till jordbruket (se kapitel 3 nedan).

Utmaningar, hinder och behov

Strategiska lösningar

- *Värdering och prioritering.* Utveckling av tekniska och organisatoriska strategier för att bättre utnyttja jordbrukets sidoströmmar måste hanteras utifrån ett helhetsperspektiv för att undvika att en åtgärd flyttar problemet upp- eller nedströms. Olika alternativ måste värderas utifrån vad intervention kostar och dess faktiska miljöpåverkan. Här spelar de lokala förutsättningarna en stor roll. Vilka sidoströmmar finns, hur ser efterfrågan och den

potentiella marknaden ut, vilka infrastrukturer finns för att kunna hantera dessa, vilka möjligheter och vilja till samverkan mellan olika företag finns, är alla relevanta frågor att ta hänsyn till.

- *Evalueringssverktyg.* När företagaren själv kan mäta sina förluster blir det uppenbart hur mycket det är och hur mycket som skulle tjänas på att minska det. Företagaren själv är oftast bäst på att veta vilka möjligheter som är realistiska, och långsiktigt blir det mest hållbart om företagaren själv är med från början. Att mäta förlusterna ger ett validerat underlag för att bygga en åtgärdsplan. Rådgivningsinsatser och inspiration via erfarenhetsgrupper kan hjälpa till att utveckla idéer.
- *Teknik och affärsmodeller.* Utveckling av tekniska lösningar som kan hantera olika typer av restströmmar eller råvaror i små batcher ses som en viktig utmaning. Det behöver också nya affärsmodeller och digitala plattformar som möjliggör för mottagarna att planera sin produktion över tiden då ett jämnt fördelat råvaruflöde att processa är en viktig förutsättning för lönsamhet. Vidare finns metodmässiga utmaningar i att beräkna kostnader och miljöpåverkan för att sätta ett värde på restströmmen.

Framtagande av nya produkter och biomaterial

- *Ta hand om hela skörden.* Stora skördar som pressar priset samt fluktuationer i orderingång kan innebära att det inte blir lönsamt att skörda tex grönsaker, frukt och bär, vilket leder till att stora mängder lämnas kvar på fältet. Produkter som inte uppnår estetiska krav att säljas kan också leda till stora förluster. Studier har visat att ca. 65 % av odlad sallat blir kvar på fältet efter skörd (Jordbruksverket, 2014). Lösningar (tekniklösningar såväl som nya affärsmodeller) som innebär att onödigt svinn kan styras om till produktion av andra produkter och livsmedel skulle innebära att en större andel av produkten kommer kunna tas till vara och därmed skulle både resurseffektivitet och lönsamhet ökas. Tekniklösningar, lämpliga hanteringskedjor och affärsmodeller behöver utvecklas för att hantera fluktuationer i skörd och för att olika produkter med små flöden ska kunna utnyttjas effektivt. Utveckling av digitala plattformar för kommunikationslösningar kan underlätta för jordbruksföretagen att snabbt kunna distribuera överproduktion eller små flöden direkt till konsument och industri.
- *Förädla outnyttjad råvara till mat.* Ta tillvara en större del av råvaran som mat genom att inkludera det man normalt inte äter eller använder är ett sätt att öka resurseffektiviteten. Att hantera dessa sidoströmmar som nya resursströmmar kan kräva teknik-, process- och metodutveckling för att skapa nya produkter med önskvärda egenskaper och här krävs stark samverkan mellan jordbruks- och livsmedelsföretagen. Marknad och lönsamhet är viktiga aspekter som måste hanteras parallellt med teknik- och produktutvecklingen för att nå framgång. Detta kräver en avancerad verktygslåda och expertiskunskap och här finns ett stort behov av kunskapsuppbyggnad och -överföring.
- *Användning av outnyttjade skörderester.* En stor biomassapotentia finns i de skörderester som idag lämnas kvar på fältet. Om dessa ska utnyttjas på ett hållbart sätt krävs det kunskap om effekten av att ta in dem i produktionscykeln samt åtgärder för att kompensera bortförsl av biomaterialet som annars skulle bidra till att bibehålla markbördigheten. En orsak till att de inte utnyttjas är brist på lönsamhet på grund av till exempel höga skörde- och hanteringskostnader. Viktigt är då att utveckla teknik anpassad till dessa sidoströmmar. Det kan vara kostnadseffektiv småskalig teknik för skörd eller teknik som möjliggör samtidigt skörd av huvudgröda och restström.
- *Nya cirkulära produktionslösningar av mat och foder från restströmmar.* Cirkulära lösningar för produktion av mat eller foder behöver utvecklas. Lösningar som byggs på återanvändning

av oanvända sidoströmmar och restprodukter från jordbruk och samhälle till nya produkter eller foder. Till exempel, odling av insekter, svampar eller annan teknik för omvandling av näringen i sidoströmmar till foder, mat eller andra produkter, förutsatt att lagstiftningens krav följs, kan öka resurseffektiviteten. Insekter kan användas som foder till landbaserade fiskodlingar där fiskslammet förädlas till gödsel för grönsaksodling i växthus och där fisk- och grönsaksrens används för att producera insekterna. Det kräver ny kunskap, teknislösningar och affärsmodeller samt forskning om hur smittor och andra ämnen överförs i dessa processer och hur sådan fodertillverkning kan ske på ett säkert sätt. Se Jordbruksverket (2020) för mer detaljer.

- *Förbehandlingsteknik som effektiviserar förädling.* Bioraffinaderi som en konceptlösning för förädling av jordbrukets sidoströmmar behöver utvecklas för biomassor med komplex kemisk sammansättning, där värdefulla kemikalier och produkter utvinns eller förädlas till biodrivmedel. Jordbrukets sidoströmmar har ofta högt innehåll av lignocellulosa, vilket är en utmaning eller till och med ett hinder för att använda dagens tekniker för produktion av biodrivmedel. Behov finns även att utveckla teknik för förbehandling av jordbrukets lignocellulosarika sidoströmmar, såsom spån- eller halmrik gödsel (som hästgödsel), innan rötning. En utmaning finns även i att optimera röttningsprocesser för effektiv rötning av råvaror rika på lignocellulosa. Kostnadseffektiv förbehandlingsteknik kan öka användningen av många sidoströmmar med de produktionsmetoder som används idag, men det behöver också utvecklas nya produktionsmetoder. Likaså behövs mer kunskap om optimering av jordbrukets olika sidoströmmar (dvs gödsel, speciellt hästgödsel, fång- och mellangrödor, halm, blast mm.) och eventuellt vilken förbehandlingsteknik som leder till effektivare förädling och framställning av biodrivmedel.
- *Flexibla och småskaliga teknislösningar.* En stor utmaning är att utforma råvaruflexibla bioraffinaderier för framställning av biomaterial. En viktig förutsättning för att starta ett bioraffinaderi är en säker tillgång på biomassa. Detta är speciellt viktigt om jordbruksbaserade substrat ska användas eftersom tillgången kan variera stort mellan år pga. tex. vädervariationer. En väg framåt är råvaruflexibla bioraffinaderier som tex kombinerar substrat från samhälle och jord- och skogsbruk, som till exempel hästgödsel. Utmaningar finns där såväl på tillförselsidan som processtekniskt för att kunna utnyttja system som kan hantera biomassor av olika ursprung. Det kan bli ett hinder i lönsamheten om biomassa från jordbruket kräver förädling på storskaliga anläggningar och transportsträckan är för lång. Utveckling av förädlingsteknik för gårdsbaserade eller småskaliga lokala anläggningar är viktigt för att kunna utnyttja större delar av jordbrukets sidoströmmar. Om förädlingen sker till biodrivmedel kan det eventuellt minska gårdens behov av importerade förnödenheter som olja och diesel. Men här finns utmaningar att uppnå tillräckligt energi- liksom kostnadseffektiv förädlingsteknik för småskaliga anläggningar.
- *Gödselprodukter.* Stallgödsel och biogödsel är ett intressant substrat för jordbruksbaserat bioraffinaderi till olika växtnäringsprodukter. Det behövs teknikutveckling för att lönsamt kunna avvattna stallgödsel och framställa högkoncentrerade fosfor- och kvävegödselmedel och eventuellt även mullämnena. Eftersom växtnäring faller under cirkulära växtnäringssystem skrivs mer om det i kapitel 3 nedan.

Produktion av biobränsle

- *Möjlighet till negativa utsläpp.* Produktionskedjan av biobränsle ska ha en liten miljöbelastning och helst i ett längre perspektiv kunna ge förutsättningar för negativa utsläpp av klimatgaser via "biomass carbon capture utilization and storage" (Bio-CCU and bio-CCS). Kunskap behövs om tekniker och system som möjliggör negativa utsläpp av klimatgaser vid framställning av biodrivmedel från jordbrukets sidoflöden. Vidare studera företagande i

detta system och hur användning av dessa kan bidra till att uppnå samhälleliga mål om klimat-, miljö- och energi, liksom betydelse för hur detta kan påverka jordbrukets krisberedskap.

- *Öka biogasproduktion.* Biogasmarknadsutredningen (2019) föreslår att Sverige bör öka produktionen av biogas för att år 2030 producera 10 TWh biogas/år, varav 7 TWh produceras genom rötning och 3 TWh via andra förnybara gaser. Utredningen bedömer att rötning av stallgödsel och biomassa från åkermark ska kunna bidra med närmare 5 TWh/år av målet. Utredningen sammanfattade att nuvarande styrmedel för att främja produktion av biogas fungerar som ett hinder för utveckling av biogasproduktion i Sverige och att nya ekonomiska styrmedel som ska leda mot en måluppfyllelse behövs.
- *Rötning av stallgödsel.* En sidoström, vars energi- och växtnäringspotential idag inte nyttjas optimalt är stallgödsel från animalieproduktion och hästnäringen. Tillsammans har denna stallgödsel en bruttobiogaspotential på ca 7 TWh/år men där den realiserbara potentialen har bedömts vara ca 2,7 TWh/år, där hästgödsel bidrar med 17 % (Edström m. fl., 2013). Samtidigt orsakar stallgödseln med dagens hanteringssystem betydande miljöbelastning både till vatten och luft. Eftersom merparten av denna sidoström är kraftigt utspätt med vatten, behöver det utvecklas effektiva gårdsbaserade eller lokala lösningar för att nyttja denna energi- och växtnäringspotential kombinerat med teknik som reducerar dess miljöbelastning. Stallgödseln innehåller betydande mängder av olika strömedel som är mer eller mindre lämpade ur ett bioenergiperspektiv. En utmaning är att hitta ekonomiska incitament för anläggningar som genererar gödsel att välja strömedel som förbättrar möjligheterna för utvinning av bioenergi.
- *Uppgradering av biogas.* Småskalig uppgradering av biogas från gårdsanläggningar till fordonsgas med efterföljande förvätskning för användning till jordbrukets arbetsmaskiner kan vara ett effektivt sätt att minska jordbrukets beroende av fossilt bränsle samt minska jordbrukets klimatpåverkan. Idag saknas kostnadseffektiva sätt att uppgradera småskaliga mängder biogas till en renare form av fordonsgas. Utveckling av teknik anpassad till småskaliga gårdsanläggningar som skulle förbättra lönsamheten skulle främja byggande av flera anläggningar som kunde förädla en större andel av jordbrukets sidoströmmar.

3. Skapa cirkulära växtnäringsystem mellan stad och land och mellan gårdar för att minska negativa utsläpp till miljön

Bakgrund

Jordbruket i Sverige köper årligen in ca 174 000 ton mineralgödselkväve som tillverkas med hjälp av fossil energi och ca 11 500 ton fosfor som utvinns ur en ändlig fosforkälla (SCB, 2020a). Samtidigt har vi redan överskridit planetens gränser för de biogeokemiska näringsflödesgränserna för kväve (Rockström m.fl., 2009) och fosfor (Steffen m.fl., 2015). Eftersom tillgången på fosfor är begränsad har mycket fokus varit på återvinning av fosfor ur befintliga flöden, men knapphetsanalyser har visat att kväve är en än mer begränsad resurs. Reserverna av naturgas, den viktigaste råvaran för produktion av mineralkväve, är små och motsvarar bara 53 årsproduktioner (Jönsson 2019). Det finns därför anledning att uppmärksamma kväve som viktig resurs för cirkulära växtnäringsystem. Att även bygga upp småskalig inhemsk produktion av mineralkväve är dessutom viktigt för nationalberedskap. Idag importeras allt mineralgödselkväve och utan tillgång till detta minskar skörden för icke kvävefixerande grödor direkt, från första året, med 30-60 %. Även kalium och svavel är viktiga näringsämnen där reserverna är mindre än för fosfor (Jönsson, 2019) och bör inte glömmas

bort. Utöver mineralväxtnäring, tillförs jordbruket växtnäring årligen via kvävefixering och nedfall som tillsammans bidrar med ca 59 000 ton kväve och ca 700 ton fosfor (SCB, 2018).

Växtnäring tillförs jordbruket också indirekt genom import av foder. Även om andelen soja har minskat, importerades 2015 över 400 000 ton soja, raps, palm och andra produkter bara för svenska nötkreatur (Gustafsson, 2017). Dessutom importerar Sverige, värdemässigt, en stor andel av maten vi konsumerar, där en del av dess växtnäring faller in i matavfallsflöden medan mestadels hamnar i reningsverk och i avloppsslam.

Sveriges urbana samhälle genererar årligen ca 212 000 ton slam som torrsubstans från avloppsrening (SCB, 2020b). Slammet innehåller nästan all fosfor i den mat vi äter, men bara en dryg tredjedel av slammet tas in i kretsloppet och sprids i jordbruket. Detta bedöms tillföra dryga 3 000 ton kväve samt ca 2 000 ton fosfor per år tillbaka till jordbruket. Statliga regelverk finns som definierar kvalitetskrav (tungmetallinnehåll per kg torrsubstans) och hur stor föroreningsmängd som får spridas på åkermark via slam (mängd tungmetaller per hektar). Dessa regelverk är föråldrade och en utredning har tagit fram förslag på återvinningsmål och ett nytt regelverk (SOU, 2020). Utredningen konstaterar att avloppsrening i framtida moderna anläggningar för resursutnyttjande i kretslopp kräver ett bredare synsätt på återvinning och återföring som, förutom fosfor, även omfattar andra växtnäringsämnen till exempel kväve och kol.

En annan del av samhällets växtnäringsflöden är matavfall från hushåll, storkök, butiker och restauranger, där idag ungefär en tredjedel tas in i kretsloppet som biogödsel efter rötning för produktion av biogas (Naturvårdsverket, 2020). Andelen som återanvänds inom jordbruket bidrar med ca 7 000 ton kväve och 1 000 ton fosfor per år (beräkning baserad på Energimyndigheten, 2019).

Kvävebalansen för Sveriges jordbruksmark 2016 visade ett överskott på 37 kg per ha, medan fosforbalansen var nära noll (SCB, 2018). Överskottskväve lämnar jordbruket i form av utlakningsförluster som 2016 uppskattades till 48 500 ton, ammoniakavgång 39 500 ton och lustgasemissioner 6 000 ton (SCB, 2018). Dessutom uppstår en del kväveförluster till luft via denitrifieringsprocesser i marken. Förlorad växtnäring är en ekonomisk förlust för jordbrukare och belastar dessutom miljön. Svenskt jordbruk bidrar med ca 50 % av de svenska antropogena utsläppen av kväve och fosfor till Östersjön (Ejhed m.fl., 2016).

Animalieproduktionen och hästnäringen genererar årligen ca 30 miljoner ton stallgödsel per år som innehåller ca 100 000 ton kväve och ca 20 000 ton fosfor, där hästgödseln bidrar med ca 16 % av kvävemängden och 12 % av fosformängden (Edström m. fl., 2013). Ca 1 miljon ton per år av denna stallgödselmängd rötas i samröttnings- och gårdsanläggningar för biogasproduktion (Energimyndigheten, 2019). Förutom en mindre mängd hästgödsel som förbränns, används stallgödseln som växtnäring och ingår därför i jordbrukets interna växtnäringskretslopp och inkluderas inte som ny växtnäring som tillförs jordbruket. Områden med intensiv animalieproduktion verkar ha större problem med överskott av växtnäring, och gårdar med mer än 1 djurenhet per hektar visade ha ett överskott på nästan 70 kg kväve och ca 3,5 kg fosfor per hektar (SCB, 2018). Kväve kan inte lagras i marken och på ett eller ett annat sätt kommer det att förloras. Fosfor i marken kan däremot byggas upp som ett förråd för framtiden, men så småningom blir marken fosformättad och därefter finns större potential för fosforförluster.

Utmaningar, hinder och behov

Mellan stad och land

- *Teknik för utvinning av näringsämnen ur avfalls- och avloppsfraktioner.* I avsaknad av regelverk och tydliga mål om återföring av växtnäringsämnen från samhället, befinner sig

- teknikutvecklingen för att utvinna växtnäring från avlopp och slam i ett tidigt skede. Fokus har länge varit på utvinning av fosfor. Det finns teknik utvecklad för struvitfällning från avloppsvatten och källsorterad urin (ca 15-25% av inkommande kväve är möjligt att lägga fast i struviten). Tekniken används i Tyskland och Nederländerna och har även visat sig fungera i Sverige (se tex.ekobalans.se), men eftersom den inte utvinner all fosfor så behövs en efterbehandling för att utvinna resterande mängd. Planer är också på gång på storskalig fosforutvinning från aska från förbränt avloppsslam, men med förbränning förloras möjligheten till kväveåtervinning. Eftersom fokus har varit på återvinning av fosfor, ligger utmaningarna framåt i att utvinna andra viktiga näringsämnen som kväve men också kalium, svavel och kol. Endast en liten del av kvävet binds i slammet. Rening av kväve i reningsverk ger upphov till stora utsläpp av växthusgaser, och om kväve återvinns från avloppsvatten minskar avloppets miljöutsläpp och dessutom minskar klimatutsläppen per kg kväve mer än för grönt kväve (Jönsson 2019). Det finns liknande behov för utvinning av växtnäring från samhällets andra organiska avfallsströmmar. Rötning är effektivt för att utnyttja energipotentialen i dessa avfallsströmmar och att förvandla det till biogödsel, men bara en del av den restströmmen tas in i kretsloppet vid rötning. Begränsningen idag ligger delvis i kostnaden för att transportera biogödsel, som kan vara 95 % vatten, tillbaka ut till jordbruket. Här behövs lösningar för att förädla biogödsel så det blir mer lönsamt att transportera växtnäringen dit den behövs. Det finns ett stort samhällsbehov att börja återvinna kväve från avlopp och andra restströmmar för att minska samhällets klimat- och miljöpåverkan, samt öka landets krisberedskap med egentillverkning av kvävegödselmedel.
- *Teknik för produktifiering av samhällets sidoströmmar.* Teknik för utvinning av växtnäringsämnen från avlopp, slam och avfall är på ett tidigt utvecklingsstadium. En viktig utmaning är att producera ett balanserat gödselmedel av den utvunna växtnäringen som kan transporteras, lagras och spridas med befintlig teknik. Gödselprodukterna ska passa för den odling som bedrivs och helst ska gödselprodukten vara i form av granuler eller pelletter, men kan också vara i flytande koncentrerad form som kan spridas med en flytgödselspridare.
 - *Utvinning av kol från samhällets övriga sidoströmmar (dvs utanför livsmedelskedjan) för tillförsel till och inbindning i odlingsmark.* Växtnäringsämnen såsom fosfor, kväve och kalium är viktiga för att uppnå ett kretslopp mellan stad och land, men återföring av mull och kol är också viktigt för att bibehålla eller öka jordens produktiva förmåga för framtida skördar och för möjlighet att binda koldioxid. Vid användning av avloppsslam på jordbruksmark upprätthålls recirkulationen av förutom fosfor och kväve också organiskt material som fungerar som jordförbättringsmedel och bygger upp mullhalten. Det finns dock intressant teknikutveckling där avloppsslam omvandlas till biokol via pyrolys eller hydrotermisk karbonisering (HTC), men här krävs mer kunskap och processutveckling så att den inte samtidigt genererar dioxiner eller höga koncentrationer av tungmetaller. Tekniken kan också användas med andra organiska sidoflöden för att producera biokol, och HTC tekniken har utvecklats så att även kväve kan utvinnas från ursprungsmaterialet. Denna teknik kan ge goda möjligheter att återvinna både växtnäring och kol till åkermark, men det saknas kunskap om den långsiktig stabilitet och halten av föroreningar för biokol som skulle återföras till jordbruksmark, samt hur det ska användas för att förbättra markstruktur och bygga upp mullhalten.
 - *Källsorterande avloppssystem.* På grund av den utspädning som sker när urin och fekalier transporteras med stora mängder vatten i avloppssystemen, blir det både komplicerat och resurskrävande att återvinna växtnäringen. För att uppnå en cirkulär hantering av växtnäring mellan stad och land behöver därför andra avloppssystem än dagens införas. Källsortering av toalettfraktionen är en möjlighet då ca 80 % av växtnäringen i avloppet finns i denna fraktion.

Det finns stor kretsloppspotential i att införa källsorterande system, men den stora utmaningen ligger i att genomföra systemskiftet till källsorterande system i befintliga byggnader. Detta eftersom det kräver en genomgripande förändring ända från utrustning i bostäder och lokaler till en egen infrastruktur för insamling, behandling och återföring av den källsorterade fraktionen. Ett snabbt införande av källsorterande system skulle kräva stora investeringar, medan införande i nyproduktion blir betydligt billigare. I takt med mera källsortering kan de befintliga avloppssystemen, som måste finnas kvar för att ta hand om bad-, disk- och tvättavloppsvatten, förenklas samtidigt som riskerna för miljöpåverkan och smitta från dem minskar. Kostnaderna för att driva dubbla system blir högre än idag även om den uppnådda återvinningen av växtnäringen kommer att kunna generera intäkter, och här behövs politiska beslut för att driva övergången. Kunskap om hur omställningen från dagens avlopp till ett cirkulärt avlopp behöver utvecklas.

- *"Rena produkter" ur samhällets rest- och sidoströmmar för effektiv och säker återföring av näringsämnen från stad till land.* Vid införande av ett cirkulärt system för växtnäringsämnen mellan stad och land måste det säkerställas att man inte får med sig oönskade ämnen såsom tungmetaller, organiska svårnedbrytbara ämnen och mikroplast. För att avloppsslam ska kunna användas krävs ett aktivt uppströmsarbete tex i enlighet med kvalitetssystemet Revaq, för att minska risken att föroreningar hamnar i avloppssystemet. Även om detta sker måste man räkna med en viss kontaminering av det slam som återförs. Vid system för utvinning av växtnäring från avlopp finns det större möjligheter att undvika att få med sig föroreningar i återvunna flöden. Vid införande av källsorterad toalettfraktion finns det också goda möjligheter att skapa rena produkter även om innehållet av läkemedelsrester i toalettfraktion är en utmaning att hantera.
- *Avsaknad av lagstiftning, mål och styrmedel för återvinning av näringsämnen och kol mellan stad och land.* En statlig utredning har genomförts med återvinningsmål för fosfor kombinerat med villkorade förbud mot spridning av avloppsslam (SOU, 2020) som kan förhindra återvinning av kol och annan växtnäring. Här behövs framtagande av tydliga återvinningsmål som formuleras för fosfor men även för kväve, andra näringsämnen och också kol. En större samlad tvärvetenskaplig FoI-insats kopplad till återvinningsmålen bör genomföras för att analysera hur omställningen till en cirkulär hantering av växtnäring ska genomföras i en verklighet där många socioekonomiska system samverkar.

Minska växtnäringsöverskott och utsläpp till miljön

- *Teknik för lönsam koncentration av växtnäring i stallgödsel, inklusive hästgödsel och biogödsel.* Stallgödsel och biogödsel är lågkoncentrerade organiska gödselmedel. Visserligen innehåller de mycket av den makro- och mikronäring som behövs för växtodling, men de kan innehålla 95 % vatten eller mer. Ett mer koncentrerat och växttillgängligt organiskt gödselmedel ger bättre förutsättning för läglig spridning och därmed högre växtnäringsupptag, minskade förluster och mindre behov av mineralgödselmedel. Ett koncentrerat gödselmedel minskar också transportkostnader och eventuellt jordpackningsskador under spridningen.
- *Teknik för produktifiering av växtnäring från djurproduktionsområden med överskott av fosfor och kväve.* Utveckling av teknik för förädling och produktifiering av överskottsväxtnäring ökar möjlighet att transportera växtnäring, framförallt fosfor, från områden eller regioner med överskott till områden med underskott. Mullämnena i de organiska produkterna är också viktigt för att hjälpa bygga upp mullhalten i marken på växtodlingsgårdar. Viktiga utmaningar är utveckling av teknik för justering av förhållandet mellan NPKS i organiska gödselmedel för att bättre passa grödans växtnäringsbehov. Teknikutveckling för utvinning av "rena" växtnäringsprodukter är också viktig. Det saknas

också affärsmodeller och incitament för att förädla och produktifiera överskottsväxtnäring och kol. Det saknas tillräcklig drivkraft för att få växtodlingsgårdar att ersätta sin koncentrerade mineralväxtnäring med organiska gödselmedel med mindre effekt. Det finns tekniska, systemmässiga och ekonomiska utmaningar att bryta dessa negativa konsekvenser av jordbrukets specialisering, och istället implementera system som omfördelar växtnäring från gårdar som bedriver intensiv animalieproduktion till gårdar med enbart växtodling (biogasanläggningar kan förmedla växtnäring). En jämn kvalitet på återvunna växtnäringsprodukter behöver säkerställas.

- *Minskning av ammoniakavgång och växthusgasemissioner (VHG) från stallgödsel och biogödsel.* Att minska ammoniakavgången från stallgödsel i stallar och under lagring och spridning är ett viktigt steg för att öka kväveeffekten från stallgödsel och därmed minska behovet av handelsgödsel. Men det saknas incitament för att implementera bästa tillgängliga teknik för minskning av ammoniakavgång, och det är sällan lönsamt med tanke på den relativt låga kostnaden för mineralkväve. Ännu mindre incitament finns för att minska VHG emissioner från stallgödsel och andra organiska gödselmedel. Lönsam teknik behövs för att minska emissionerna, alternativt effektiva incitament eller stöd för att säkerställa användning av bästa tillgängliga teknik.
- *Precisionsgödsling med stallgödsel och biogödsel.* Utveckling och implementering av teknik för online-mätning av växtnäringsinnehållet i stallgödsel vid spridning behövs för precisionsplacering av stallgödselns växtnäring. Idag görs vanligen bara en uppskattning av halterna totalkväve och ammoniumkväve när man sprider stallgödsel, och det kan leda till både för stora och för små mängder. Överskottsgödsling leder till emissioner till luft och vatten och därför behövs tillräckligt precisa mätningar av växtnäringsinnehållet och spridningsteknik för organiska gödselmedel så att lantbrukaren inte behöver sprida med "marginal" för att säkert möta grödans behov. Certifierad biogödsel är analyserade för växtnäringsinnehåll men däremot saknas det teknik för dess precisionsgödsling.
- *Teknik och affärsmodeller för ökad självförsörjningsgrad av kväve, och möjligtvis fossilfri framställning av växttillgängligt kväve.* Kväveinnehållet i stallgödsel och även biogödsel är relativt lågt och dessutom finns en del kväve som är bundet i organisk form som inte är direkt växttillgänglig. Både ur ett resursutnyttjandeperspektiv liksom ur en självförsörjandegrad är det angeläget att utveckla teknik som ökar kväveupptaget, vilket kommer att leda till minskade förluster. Utveckling av teknik som omvandlar organiskt bundet kväve till ammoniumkväve skulle kunna leda till ökat kväveutnyttjande, om åtgärder för att minska ammoniakförluster under lagring och spridning följs. Rötning av stallgödsel, i synnerhet fastgödsel, har visat sig vara en effektiv behandlingsmetod för att öka andelen ammoniumkväve. Dessutom sker fastgödselspridning med lägre precision än flytgödselspridning. Därför behövs det också utvecklas teknik liksom affärsmodeller mellan gårdar för samrötning av både fast- och flytgödsel, dels för att öka stallgödselns innehåll av ammoniumkväve, dels för att processen genererar ett flytande gödselmedel som är lättare att sprida. Men med ett högre innehåll av ammoniumkväve i gödselmedlet behöver det implementeras teknik eller åtgärder för att minska emissioner av ammoniak under lagring och spridning för att inte förlora ammoniumkvävet. Teknik behöver också utvecklas för att minska emissioner av klimatgaserna metan och lustgas, vilka som uppkommer vid lagring av både stallgödsel och biogödsel. Ett komplement till dessa åtgärder att öka kväveutnyttjandet är att utveckla småskaliga produktionstekniker för att kväveboosta flytande organiska gödselmedel med lättillgängligt kväve som utvinns ur avloppsfraktioner eller framställs med förnybar energi.

Slutsatser

Att införa en cirkulär ekonomi i svenskt jordbruk kan leda till ökad produktion och lönsamhet, minskad miljö- och klimatpåverkan och vara en väg till att uppnå hållbarhet i vårt jordbrukssystem. För att lyckas behövs ny kunskap och teknik som möjliggör cirkulära produktionssystem där användning av insatsvaror, mark och vatten är optimerade för produktion samtidigt som svinn och avfall minskas, sidoströmmar från primärproduktion förädlas till nya produkter och där växtnäring och energi återförs till produktionen.

- Nya affärsmodeller och innovativa företag behövs som möjliggör samverkan mellan olika aktörer i olika delar av värdekedjan för att skapa och tillämpa cirkulära lösningar för jordbruks- och livsmedelssystemet. Via stöd med bland annat testbäddar kommer innovation och teknikutveckling att stimuleras samt generera en ökning av mognadsgraden på teknik som än så länge bara finns i labbskala.
- Utveckling av jordbruks- och miljöteknik krävs för att kunna implementera cirkulära lösningar längs hela produktionskedjan.
- Den nuvarande lagstiftningen begränsar ofta återanvändning av sidoströmmar, vi behöver införa ny lagstiftning med ett tydligt återvinningskrav för att säkerställa att viktiga råvaror som växtnäring kan cirkuleras, samtidigt som det sker på ett för människor, djur och miljö säkert sätt.
- Det behövs regler och incitament som utgår från en cirkulär modell som gör det lönsamt att hushålla med jordens resurser. Ekonomiska och politiska styrmedel kan användas för att påverka både produktion och konsumtion, men hur ska det se ut och vilka metoder är mest effektiva?
- Cirkulära strategier är inte nödvändigtvis de billigaste produktionslösningarna, så värdet av cirkulär produktion måste lyftas. Konsumenterna behöver sätta ett högre värde på mat som produceras hållbart så att jordbrukare kan få rimligt betalt för produkter som tas fram med cirkulär eller hållbar teknik. Samtidigt behöver myndigheter och beslutsfattare stödja utveckling och implementering av cirkulära lösningar i praktiken.

Källförteckning

- Ahlgren S., Bauer F., Hultheberg C. 2015. Produktion av kvävegödsel baserad på förnybar energi. Rapport nr 082 vid Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Baky A., Sundberg M., Brown N. 2010. Kartläggning av jordbrukets energianvändning. Rapport på uppdrag av Jordbruksverket. JTI- institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Biogasmarknadsutredningen. 2019. Mer biogas! För ett hållbart Sverige. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2019:63.
- Christiansson S. 2012. Potentialen för spillvärmeuppvärmd växthus i Sverige ur ett hållbarhetsperspektiv. KTH Centrum för Hälsa och Byggnad, Rapport 2012:84, Stockholm.
- Edström M., Pettersson O., Nilsson L., Hörndahl T. 2005. Jordbrukssektorns energianvändning. JTI-rapport Lantbruk och industri 342. JTI- institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Edström, M., M. Hansson, H. Olsson, A. Baky. 2013. Country-specific manure energy potentials in the BSR: Sweden. In Sari Luostarinen (Ed): Energy Potential of Manure in the Baltic Sea Region: Biogas Potential & Incentives and Barriers for Implementation. Baltic Manure project. Pp 10-13.
- Ejhed H., E. Widén-Nilsson, J. Tengdelius Brunell, J. Hytteborn. 2016. Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2014 – Sveriges underlag till HELCOMs sjätte Pollution Load Compilation. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2016:12.
- Energimyndigheten. 2019. Produktion och användning av biogas och rötrest år 2018. Rapport ER 2019:23. ISSN 1403-1892, Bromma.
- Energimyndigheten. 2020. Energiläget 2020. ET 2020:1. ISBN 978-91-89184-52-7. Energimyndigheten, Bromma.
- E2B2. 2017. Green Power – användning av spillvärme från datacenter. Rapport 2017:30. Energimyndighetens projektnummer 41845-1. E2B2.
- Eriksson, J., L. Mattson, M. Söderström. 2010. Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007. Naturvårdsverket Rapport 6349. ISBN 978-91-620-6349-8.
- Gustafsson, A. 2017. Import av soja och oljepalm minskar kraftigt. Husdjur 4, p. 43.
- Jordbruksverket. 2014. Svinn i isbergssallat i primärproduktionen och grossistledet i Sverige. Rapport 14:6. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. 2016. Nordic Project on Reduced Food Waste – Final report. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. 2018. Avvattning av jordbruksmark i ett förändrat klimat. Rapport 2018:19.
- Jordbruksverket. 2020. Ökad foderanvändning från matsvinn och restprodukter – Bättre resurseffektivitet för att uppnå miljö- och klimatmål. Rapport 2020:4, Jönköping.
- Jönsson H. 2019. Fosfor, kväve, kalium och svavel – tillgång, sårbarhet och återvinning från avlopp. Uppsala: Sveriges lantbruks-universitet. (Energi och teknik, 105). ISBN: 978-91-576-9689-2.
- Klimatpolitiska rådet. 2020. 2020, Klimatpolitiska rådets rapport. Rapport nr 3. ISBN 978-91-984671-3-0.
- LRF. 2018. Importen av livsmedel fortsätter öka. Artikel publicerad på LRF hemsidan Start/Mitt LRF/Nyheter/Riks/2018/07/. Lantbrukarnas Riksförbund, www.lrf.se.
- LRF. 2020. Självförsörjning. Artikel publicerad på LRF hemsidan Start/Politik & påverkan/företagarvillkor och konkurrenskraft/Nationell livsmedelsstrategi/. Lantbrukarnas Riksförbund, www.lrf.se.
- Naturvårdsverket. 2019. Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen. Rapport 6911.
- Naturvårdsverket. 2020. Matavfall i Sverige: Uppkomst och behandling 2018. Rapport av Svenska MiljöEmissionsData (SMED) framtagits på beställning av Naturvårdsverket. ISBN 978-91-620-8861-3.
- Nilsson U. och S. Nimmermark. 2013. Restvärme för växthusproduktion. SLU, Inst. för Lantbrukets Byggnadsteknik, Rapport 2013:2, Alnarp.
- Poeplau, C., M.A. Bolinder, J. Eriksson, M. Lundblad, och T. Kätterer. 2015. Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. Biogeosciences 12, 3241–3251 ss.
- Rockström J., m. fl. 2009. A safe operating space for humanity. Nature (46), 24, p 472-475.
- Regeringens proposition. 2016. En livsmedelsstrategi för Sverige – fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet. Prop. 2016/17:104.
- SCB. 2018. Kväve- och fosforbalanser för jordbruksmark 2016. ISSN 1654-4013 Serie Miljövård, 29 november 2018.

- SCB. 2020a. Gödselmedel i jordbruket 2018/19: Mineral- och stallgödsel till olika grödor samt hantering och lagring av stallgödsel. ISSN 1403-8978 Serie Miljövård, 2020.
- SCB. 2020b. Utsläpp till vatten och slamproduktion 2018 – Kommunala avloppsreningsverk, massa- och pappersindustri samt viss övrig industri. SCB Serie Miljö 22 SM 2001.
- SOU. 2020. Hållbar slamhantering – Betänkande av Utredning om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2020:3.
- Steffen, W., m. fl. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347.
- Steinback, N., V. Palm, C. Cederberg, G. Finnveden, L. Persson, M. Persson, M. Berglund, I Björk, E. Fauré, C. Trimmer. 2018. Miljöpåverkan från svensk konsumtion – nya indikatorer för uppföljning. Slutrapport för forskningsprojektet PRINCE. Naturvårdsverket Rapport 6842, ISBN 978-91-620-6842-4.
- Wolfert, S., L. Ge, C. Verdouw, M.J. Bogaardt. 2017. Big Data in Smart Farming – A Review. *Agricultural Systems* 153: 69-80.

