



UPPSALA
UNIVERSITET
Campus Gotland

MAT FÖR IDAG OCH IMORGON

UTMANINGAR OCH MÖJLIGHETER FÖR HÅLLBARA LIVSMEDELSSYSTEM



Robin Andersson

Kandidatuppsats i miljövetenskap 15 hp, 2018

Handledare: Karin Bengtsson, Institutionen för biologisk grundutbildning

Examinator: Malgorzata Blicharska, Institutionen för geovetenskaper

Teknisk-naturvetenskapliga vetenskapsområdet
Uppsala Universitet, Campus Gotland

www.uu.se

Bilden på framsidan föreställer ett montage av två foton:

Grönsaksmarknad. Fotograf: Ed Gregory.

Norskt jordbruk. Fotograf: Kai Jensen.

Denna uppsats är författarens egendom och får inte användas för publicering utan författarens eller dennes rättsinnehavares tillstånd.

Robin Andersson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT	2
SAMMANDRAG	2
INTRODUKTION	3
Bakgrund	3
<i>Planetära gränser</i>	3
<i>Det moderna livsmedelssystemet</i>	4
<i>En sammanfattning av det svenska jordbrukets historia</i>	4
<i>Perspektiv av hållbarhet och resiliens på livsmedelssystemet</i>	6
Syfte och frågeställningar	6
METOD	7
RESULTAT OCH DISKUSSION	7
Vad kännetecknar ett ”hållbart” livsmedelssystem?	7
Klimatförändringar och utsläpp av växthusgaser	8
Biosfärens integritet	10
Biogeokemiska flöden	12
Det svenska livsmedelssystemet: ett case	13
Slutord	14
TACK	15
REFERENSER	16
SUMMARY	19
BILAGOR	21

MAT FÖR IDAG OCH IMORGON: Utmaningar och möjligheter för hållbara livsmedelssystem

Robin Andersson. Självständigt arbete i miljövetenskap, 15 hp.

ABSTRACT

Food has a close connection to many of the world's sustainability challenges. The aim of this thesis was to study the global food system, from a few aspects related to sustainable development, to be able to draw conclusions surrounding challenges and possibilities for its long-term sustainability for the global food supply. The functioning of the food system, now and in the future, are threatened by problems connected to for example climate change, species extinctions and the breaking of natural biogeochemical cycles. Some planetary boundaries for what the Earth system can handle before the risk of it falling into new, and for humanity potentially inhospitable, conditions have already been well surpassed. Global and national actors have gained an increasing amount of influence over the structure of the food system, which has led to the weakening of the relation between individuals and production systems and made it more difficult for consumers to notice and react to sustainability issues within the food system. Sweden, as an example, has been able to show that it is possible to maintain or increase agricultural productivity without increasing the use of artificial fertilizers or the emissions of greenhouse gases, which shows that some sustainable intensification is possible.

SAMMANDRAG

Mat har en nära koppling till många av världens hållbarhetsutmaningar. Syftet med det här examensarbetet var att studera det globala livsmedelssystemet, utifrån ett fåtal aspekter kopplade till hållbar utveckling, för att kunna dra slutsatser rörande utmaningar och möjligheter för dess långsiktiga hållbarhet för den globala livsmedelsförsörjningen. Livsmedelssystemets funktion nu och i framtiden hotas av problem kopplade till exempelvis till klimatförändringar, artutdöenden och brutna naturliga biogeokemiska kretslopp. Vissa planetära gränser för vad jordsystemet tål att hantera innan det riskerar att falla in i nya, och för människor potentiellt ogästvänliga, förhållanden är redan väl överskridna. Globala och nationella aktörer har fått allt större inflytande över livsmedelssystemets struktur, vilket har medfört att relationen mellan individer och produktionssystem blivit svagare och gjort det svårare för konsumenter att uppmärksamma och reagera på hållbarhetsproblem i livsmedelssystemet. Som ett exempel har Sverige lyckats visa på att det är möjligt att bibehålla eller öka produktiviteten i jordbruket utan att öka användningen av konstgödsel eller utsläppen av växthusgaser, vilket visar att viss hållbar intensifiering är möjlig.

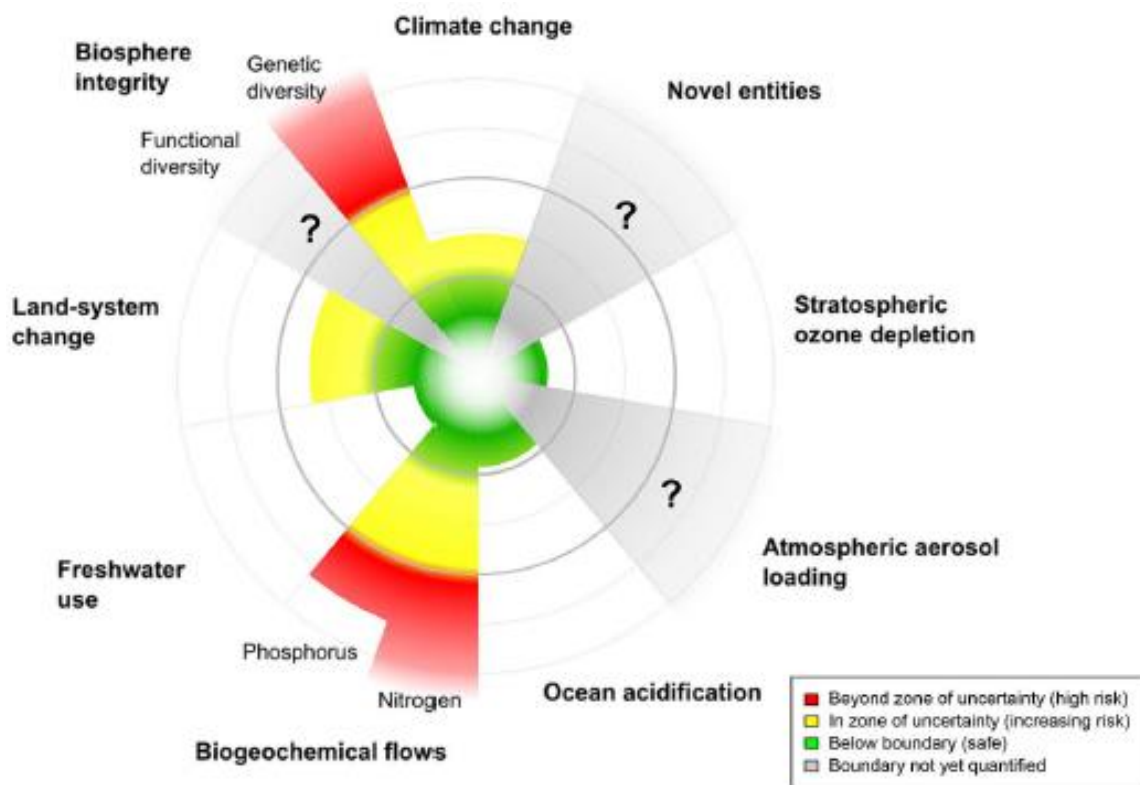
INTRODUKTION

Innovationer i hur vi producerar och förser oss med mat, såsom den gröna revolutionen, har möjliggjort en kraftig ökning av världens befolkning under de senaste århundradena. Prognoser talar om en ökning till över nio miljarder människor vid år 2050, vilket kommer kräva att världens försörjning av livsmedel ökar i en takt som förhindrar potentiell brist på mat i olika delar av världen. Från jord till bord kommer därmed förändringar som kan mätta cirka ytterligare två miljarder människor behövas, men vilka skulle konsekvenserna vara av sådana förändringar på andra intressen än bara försörjningen av mat? Produktionen av mat styrs bland annat av vårt brukande av markresurser, vilket skulle innebära att förändringar i kvalitet och tillgång på dessa kommer att påverka matproduktionen. Om nu jordbefolkningen ökar, är utvecklingen i till exempel produktion och konsumtion av livsmedel hållbar i ett längre perspektiv sett ifrån ekonomiska, sociala och ekologiska aspekter? Finns det gränser för vad vi kan leverera i form av livsnödvändig mat till alla människor på jorden? Dessa ingångar gav inspirationen till detta arbete om hållbara livsmedelssystem samt vilka utmaningar och möjligheter som finns för livsmedelssystemet på global nivå att bli långsiktigt hållbart. Delen ”Bakgrund” beskriver introducerande olika aspekter av till exempel hållbarhet och livsmedelssystem, medan ”Resultat och diskussion” redogör mer ingående för några utvalda aspekter inom samma teman.

Bakgrund

Planetära gränser

Den 11 700 år långa geologiska tidsperiod vi lever i just nu, holocen, är den enda epok som vi med säkerhet vet gjort det möjligt för nutida mänskliga samhällen att frodas (Steffen *et al.* 2015). Enligt Steffen *et al.* (2015) finns det allt fler bevis för att mänsklig aktivitet påverkar Jordsystemet (en. *the Earth system*) på ett sådant sätt att det har konsekvenser för detta systems förmåga att bestå i ett holocen-liknande tillstånd. Problem gällande till exempel utsläpp till miljön av olika slag från människor har länge funnits på lokal och regional nivå, men numera har även problem på planetära nivåer uppstått. Utmaningar med hantering av problem vid sådana skalor är av en helt annan storlek och riskerar att sätta de relativt stabila förhållanden som kännetecknar holocen ur balans. Gränserna som utgör övergången till andra förhållanden där det bortom dessa finns risk för Jordsystemet att övergå till nya tillstånd, av Steffen *et al.* (2015) kallade ”planetära gränser”. Dessa utgörs av totalt nio sådana (Fig. 1) där ”Klimatförändringar” och ”Biosfärens integritet” är de två som räknas som av allra störst vikt för Jordsystemet. ”Genetisk mångfald”, en underparameter till ”Biosfärens integritet”, samt ”Fosfor” och ”Kväve”, underparametrar till gränsen ”Biogeokemiska flöden”, är de som bedöms av Steffen *et al.* (2015) påverkas på ett sådant sätt att Jordsystemets förmåga att hantera dessa överstigits kraftigt. Med en fortsatt kurs iväg från det allmänna tillståndet under holocen är det sannolikt att Jordsystemet kan förändras på ett sådant sätt att det blir alltmer ogästvänligt för mänskliga samhällen att fortsätta utvecklas (Steffen *et al.* 2015). Såsom de planetära gränserna ursprungligen definierades utgör dem inga biofysiska trösklar, utan de placeras vid den gräns inom vilken människor med säkerhet kan antas kunna leva säkert. Rockström *et al.* (2009) menar att detta skapar en buffert för människan att agera och tar hänsyn till osäkerheter gällande var den kritiska gränsen för en parameter går.



Figur 1. De nio planetära gränserna (i fetstilt) inklusive ingående delar för några av dem. Färglegenden i nedre högra hörnet av figuren beskriver om en viss parameter har ej kvantifierade gränser (grått), låg risk (grönt), osäker och förhöjd risk (gult) eller hög risk (rött) att kunna flytta jordsystemet in i ett nytt förhållande (Steffen *et al.* 2015).

Det moderna livsmedelssystemet

Det moderna livsmedelssystemet består av ett globalt nätverk av aktörer inom bland annat produktion, förädling, distribution och konsumtion, som länder världen över är alltmer beroende av. Övergången till ett globalt livsmedelssystem och skiftet från “mat från någonstans” till “mat från ingenstans” har ändrat vårt förhållande till den mat vi äter och gjort oss mer sårbara. Detta gör det mindre sannolikt att vi i förväg hinner upptäcka brister i livsmedelssystemet som kan leda till allvarliga problem för livsmedelsförsörjningen (Toth *et al.* 2016). Övergången har lett till stora vinster i form av ekonomisk effektivisering, men samtidigt har det haft konsekvenser för de miljömässiga och sociala dimensionerna av hållbar utveckling. Förlust av biologisk mångfald, utarmning av jordar och bidrag till klimatförändringarna är exempel på sådana, vilka generellt sett hänger samman med markanvändning och jordbrukets intensitet (Granstedt 2012). Mat är en grundläggande del av våra liv och för matsäkerhet (*en.* “food security”), och enligt FAO kommer förändringar såsom ett varmare globalt klimat att ha en inverkan på de fyra dimensionerna av matsäkerhet: tillgång, åtkomst, användning och stabilitet (FAO 2008). Livsmedelskedjans olika aktörer påverkar vilken mat som produceras, förädlas och tillgängliggörs marknaden utifrån val som görs vid de olika nivåerna (Himanen *et al.* 2016).

En sammanfattning av det svenska jordbrukets historia

Den tidigaste formen av jordbruk som bedrevs i Sverige och Norden var svedjebruk, där naturliga marker antänds för att bereda väg för odling, vilket skedde redan under stenåldern. Den näringsrika askan som bildades i samband med bränningen möjliggjorde brukande av

jorden, men då ingen annan näring tillfördes jorden efter skördarna blev marken snabbt mager och krävde därmed att nya fält förbereddes med hjälp av elden (Granstedt 2012).

I och med klimatförändringar efter stenålderns slut mellan ca. 1800 f.kr. och 500 e.kr. förändrades förutsättningarna för jordbruket, vilket innebar att större vikt lades på att samla tillräckligt med foder till boskapen inför de längre och kallare vintrarna. Lagringskapaciteten byggdes ut ytterligare för att säkra såväl tillgången på mat för husdjuren som för människorna under vinterhalvåret. Det gödsel som ansamlades i ladorna kunde sedan spridas på den åkermark där spannmålen odlades, vilket gjorde att tillgången på den icke-animaliska födan hölls uppe av ett intimt förhållande med djurhållningen. De kringliggande slåtterängarna var där fodret till djuren hämtades från, och åkermarkens produktivitet begränsades därmed av storleken på tillgängliga ängsarealer samt marker för sommarbete bortom dessa (Granstedt 2012).

Slåtterjordbruket innebar att näring transporterades från ängs- och betesmarkerna till åkern, vilket inledningsvis fungerade tack vare kvävefixerande växter och lövträden, vilket var möjligt så länge åkern hölls mindre i förhållande till arealen ängsmark. En växande befolkning och intensivare ängsslåtter bidrog till ett allt större näringsflöde från ängen till åkern och ledde senare till minskad fodertillgång, som en effekt av utarmning, vilket begränsade djurhållningen och sin tur även växtodlingen. Ny skogsmark kunde svedjas för att öppna upp ny åkermark, men tillverkningen av träkol för användning i järnframställning var ett motstående intresse som begränsade detta. Tillgången på mat blev därmed ett problem vilket blev tydligt i form av svält när skördar slog fel ända fram till slutet av 1700-talet (Granstedt 2012).

Slåtterjordbruket kom senare att ersättas av växtföljdsjordbruket, som innebar att odlandet av åkern genomgick flerårscykler med omväxlande odling av spannmål, vall och rotfrukter till skillnad från det förra systemets återkommande odling av brödsäd. Denna odlingsmetod förbättrade möjligheterna för odling och var enligt Granstedt (2012) kritisk för att vända den svenska svälten till en befolkningstillväxt på 200% mellan år 1800 och 1950, trots utvandring. Användningen av baljväxter, som lever i symbios med kvävefixerande bakterier vid rötterna samt svamporganismer (mykorrhiza), för att öka jordens bördighet bidrog till att såväl växtodlingen som djurhållningen kunde flerdubblas, och inslaget av vallodling tillsammans med växelbruk kom att expandera på ängsmarkens bekostnad. Växlandet mellan grödor med olika näringsbehov, djup av rotsystem etc. bidrog till en balans mellan odling av närande och tärande grödor. Tack vare odlingen av baljväxter ledde det till en ökad foderproduktion och i sin tur till en ökad djurhållning och därmed en bättre tillgång på den för växtodlingen kritiska stallgödseln (Granstedt 2012).

Fram till 1900-talets mitt baserades produktionen av grödor och djurhållningen på den mängd foder som kunde anskaffas på varje enskild gård, men därefter kom inslaget av konstgödsel att bli alltmer betydande. Förhållandet mellan djurhållning, vallodling och spannmålsodling försvagades när gårdar började gå över till specialisering inom antingen växtodling eller animalieproduktion, med koncentration av djur till vissa gårdar som följd. Denna utveckling har dels lett till en större användning av bekämpningsmedel inom växtodlingen, till följd av problem med bland annat ogräs och sjukdomar vid ensidig odling, och dels specialiserad djurhållning (Granstedt 2012).

Användningen av konstgödsel, eller handelsgödsel som det också kallas, tog fart särskilt efter 1950 och ökade successivt till och med 1980, varefter utvecklingen stagnerade. Den totala mängden kväve som fördes in i jordbruket (på naturlig och mänsklig väg) ökade under de åren från 60 kg N/ha till 110 kg N/ha. Mängden kväve som fördes ut i form av

jordbruksprodukter gick däremot under samma period endast från cirka 20 kg N/ha till drygt 30 kg N/ha. Det innebär att skillnaden i ”input versus output” ökade från 40 kg N/ha till 80 kg N/ha, mycket på grund av en ökad användning av kväve i handelsgödsel från cirka 20 kg N/ha till 80 kg N/ha. År 1980 förde vi därmed in cirka fyra gånger så mycket kväve som vi fick ut genom jordbruket, vid sidan om fyra gånger så mycket fosfor samt åtta gånger så mycket kalium (Granstedt 2012). Överskott av näringsämnen leder till utsläpp i vattendrag, sjöar och hav, såsom Östersjön, med övergödning som följd.

Perspektiv av hållbarhet och resiliens på livsmedelssystemet

System för produktion och distribution av mat påverkas av drivkrafter från miljön, ekosystem och mänskliga institutioner. Med den globala uppvärmningen och begränsade naturresurser är det av vikt att bygga upp resilienta livsmedelssystem som försäkras matsäkerhet. Resiliens, vilket är ett begrepp ursprungligen med sina rötter i ekologin, handlar om ett systems förmåga att bibehålla dess funktion och kunna omorganisera sig efter eventuella störningar (Himanen *et al.* 2016). En definition av ett resilient livsmedelssystem är dess ”förmåga att bestå, anpassa sig och transformeras under osäkra förhållanden”. I utvecklingsländer, där klimatförändringar och befolkningstillväxt är två direkta utmaningar för en säker tillgång till mat, energi och vatten, har arbete med resiliens fokuserat på utvecklandet av kapacitet för att kunna förbättra framtida matsäkerhet. Arbetet i industrialiserade länder har bland annat berört utmaningar med att säkra stabilitet och hållbarhet i försörjningen av livsmedel där fokus legat på hantering av exempelvis osäkerhet och störningar såsom matkriser (Himanen *et al.* 2016).

Produktionen av mat är idag en drivande faktor i olika miljöförändringar, och konsumtionen av mat är en stark indikator på människors hälsa, välbefinnande och utveckling (Gordon *et al.* 2017). Andelen av världens länder som kan försörja sig med tillräckliga mängder mat ökade mellan år 1965 och 2015 från en tredjedel till två tredjedelar. Samtidigt har undernäring, övervikt och näringsbrist tillsammans kommit att bli de viktigaste bidragande faktorerna till en sjunkande medellivslängd. För att hitta lösningar till såväl miljöproblem som hälsoproblem kopplade till den mat vi äter menar Gordon *et al.* (2017) att förståelse behövs för vilka processer som formar relationerna mellan produktion och konsumtion samt mellan dessa och biosfären.

Syfte och frågeställningar

Uppsatsen syftar till att behandla olika aspekter av livsmedelssystem ur ett vetenskapligt perspektiv för att utröna vad som kännetecknar just ett "hållbart" livsmedelssystem. Teorin kring detta är tänkt ska ligga som underlag till en diskussion om möjligheter och utmaningar för att uppnå hållbara livsmedelssystem. Till sist ska kunskaper från denna studie appliceras översiktligt på det svenska livsmedelssystemet som ett case.

Frågeställningar som valts ut som relevanta för arbetet inkluderar:

1. Vad kännetecknar ett "hållbart" livsmedelssystem?
2. Vilka utmaningar och möjligheter finns för moderna samhällen att utveckla hållbara livsmedelssystem?

METOD

För att besvara frågeställningarna samlades information genom en studie av litteratur inom ämnet. Informationen sammanställdes därefter och delades upp på avsnitten ”Bakgrund” och ”Resultat”, där det under den förra rubriken presenteras mer bakomliggande fakta i jämförelse med information explicit kopplad till livsmedelssystem.

Inom ramen för såväl den första som andra frågeställningen inkluderas aspekter som berör begreppet ”hållbar utveckling”. Den litteratur som har studerats som en del av detta arbete har valts ut baserat på om den berör begreppet, direkt eller indirekt, i koppling till livsmedelssystem med avgränsning till tre av de totalt nio planetära gränserna presenterade av Steffen *et al.* (2015): klimatförändringar, biosfärens integritet samt biogeokemiska flöden (se Figur 1).

RESULTAT OCH DISKUSSION

Vad kännetecknar ett ”hållbart” livsmedelssystem?

Begreppet ”hållbar utveckling” myntades första gången år 1987 av Brundtlandkommissionen, ledd av Norges dåvarande statsminister Gro Harlem Brundtland, som då publicerade rapporten *Vår gemensamma framtid*. Definitionen av begreppet beskrevs som ”utveckling som möter nutidens behov utan att riskera möjligheten för kommande generationer att möta sina behov” (Gröndahl & Svanström 2011). För att en sådan utveckling ska komma till stånd behöver alla delar av samhällen på lokal, regional, nationell och global nivå genomsyras av detta, vilket inkluderar det livsmedelssystem inom vilket alla livsmedel för mänsklig konsumtion produceras och konsumeras. Med ordet livsmedelssystem syftas alla delar av produktionen, inklusive bland annat primärproduktion och förädling, samt den del där konsumtionen av livsmedel sker (Sundkvist *et al.* 2005). Förutom ingående processer och aktiviteter i olika livsmedelskedjor berör också begreppet livsmedelssystem konsekvenserna av dessas utformning på exempelvis människors leverne, miljön och en trygg tillgång på livsmedel. Enligt Vermeulen *et al.* (2012) finns det inget globalt livsmedelssystem, endast kedjor för produktion och konsumtion kopplade till enskilda produkter som kan ha en mer eller mindre global räckvidd. Förändringar i till exempel efterfrågan på olika sorters livsmedel till följd av bland annat befolkningstillväxt och konsumtionsvanor påverkar livsmedelssystem runt hela jorden.

I likhet med de tre dimensionerna av hållbar utveckling lyfter Ericksen (2008) fram tre centrala aspekter av vad ett livsmedelssystem bör leverera: matsäkerhet, miljömässig säkerhet och socialt välbefinnande, där den första bör vara det huvudsakliga målet som ska uppnås med ett livsmedelssystem. Matsäkerhet påverkas av en kombination av ekonomiska, sociala, miljömässiga och politiska drivkrafter. Ericksen (2008) menar att definitionen av ett livsmedelssystem bör, till skillnad från den givna av Sundkvist *et al.* (2005), inkludera mer än endast produktion och konsumtion, nämligen: i) interaktioner mellan den mänskliga och den biogeofysiska miljön, ii) aktiviteter inom livsmedelssystemet (från produktion till konsumtion), iii) konsekvenserna av aktiviteterna samt iv) andra faktorer som påverkar matsäkerhet. Eakin *et al.* (2017) definierar ett hållbart livsmedelssystem som ”... ett som uppnår och bibehåller matsäkerhet under osäkra och dynamiska social-ekologiska förhållanden...”.

Mat berör många av FN:s 17 globala hållbarhetsmål, en del av Agenda 2030, som är tänkta att utgöra en väg för samhällen i alla världens länder att övergå till en hållbar och resilient levnadsstandard (FAO 2017). De berör en rad olika hållbarhetsutmaningar, som bland annat målen om att eliminera fattigdom och svält samtidigt som en hållbar användning av naturresurser ska uppnås. Enligt FAO (2017) skulle investeringar i till exempel småskaligt jordbruk samt människor som lever på landsbygden, vilka utgör 80 % av världens fattiga, göra mycket för att uppnå hållbarhetsmålen. Godfray *et al.* (2010) menar att det för produktionen av livsmedel inte finns en enkel lösning till att kunna försörja de nio miljarder människor som befolkningen på jorden väntas öka till år 2050. Bennett *et al.* (2014) definierar ett resilient jordbruk som ”ett som möter behov av mat och utveckling på kort och mycket lång sikt, lokalt och globalt, utan att destabilisera Jordsystemet”. Ett resilient jordbruk behöver även kunna vara ”kapabelt att möta nuvarande och kommande utmaningar, där många är ännu okända för oss” (Bennett *et al.* 2014), vilket kopplar till den osäkerhet som de planetära gränserna är designade att ta hänsyn till (Rockström *et al.* 2009). De utmaningar vi står inför gällande till exempel mål om ökad matproduktion kontra bevarande av biodiversitet och ekosystemtjänster tillsammans utgör en ”perfekt storm” (Godfray *et al.* 2010). Ett livsmedelssystem som är ekonomiskt, ekologiskt och socialt hållbart såväl för nuvarande som kommande generationer är avgörande för mänsklighetens framtid.

Klimatförändringar och utsläpp av växthusgaser

Klimatförändringar är en av flera sammankopplade utmaningar som utgör risker för jordbruket och det större livsmedelssystemet. Framtida matsäkerhet kommer påverkas utav hur olika socioekonomiska och ekologiska förändringar kommer att hanteras, men klimatförändringar utgör ett av de största hoten mot detta till följd av ökad klimatvariation och konsekvenser för människor i låginkomst samhällen som är starkt beroende av klimat känsliga inkomstkällor såsom jordbruk (Vermeulen *et al.* 2012). Nuvarande effekter av klimatförändringar visar sig genom en ökad variation i tid och rum vad gäller bland annat temperatur och nederbörds mönster i synnerhet för extrema väderhändelser. Fler och intensivare värmeböljor, mer frekventa skyfall och medföljande översvämningar samt starkare tropiska stormar är exempel på extremväder som väntas öka, medan frost och kallare väder väntas minska (Solomon *et al.* 2007).

Klimatförändringar påverkar livsmedelssystemet, och på flera sätt bidrar olika delar av livsmedelssystemet till klimatförändringar, såsom utsläpp av växthusgaser (en. *greenhouse gases*, hädanefter refererade till som GHGs), men utsläppen skiljer sig åt mellan olika länder och delar av den globala livsmedelskedjan. De samlade utsläppen av GHGs från livsmedelssystemet utgör 19-29 % av de totala antropogena utsläppen globalt, med jordbruket som den absolut största källan till de volymerna (Vermeulen *et al.* 2012). Utsläppen av GHGs från till exempel den kinesiska livsmedelskedjan kom år 2007 till större delen direkt från jordbruket samt tillverknigen av konstgödselmedel, med andelen 51 % respektive 29 % (Chen & Zhang 2010). Detta kan jämföras med Förenade konungariket Storbritannien och Nordirland där utsläppen för samma kategorier uppgick till 40 % respektive 5 % (Garnett 2011). Den största skillnaden mellan dessa två stater ges dock vid jämförelse av utsläppen från post-produktion, det vill säga utsläpp efter jordbrukssteget i livsmedelskedjan (inklusive bland annat förädling och kylvaruhantering), vilka uppgick till resterande 20 % respektive 55 %. För jordbruk är nitroäsa gaser såsom lustgas (N₂O) samt metangas (CH₄) mest betydande GHGs, genom till exempel utsläpp från gödselanvändning respektive idisslars metabolism, medan koldioxid (CO₂) dominerar utsläppen vid övriga steg i livsmedelskedjan efter själva gården (Garnett 2011).

Vid sidan om klimatförändringars effekter på livsmedelssystemets förmåga att föda jordens befolkning har utsläppen av koldioxid en mer direkt påverkan på näringsinnehållet i odlade växter. En ökad koncentration av koldioxid i atmosfären kan ha en inverkan på balansen mellan upptaget av grundämnet kol och andra ämnen från atmosfären respektive marken, med risk för näringsbrist för oss människor av bland annat proteiner och så kallade mikronäringsämnen (en. *micronutrients*) såsom järn och zink (Zhu *et al.* 2018). Zhu *et al.* (2018) kunde från sina försök med odling av olika rissorter under förhöjda koldioxidhalter i luften över 550 ppm, motsvarande förväntade halter mot slutet av det 21:a seklet, visa på en minskning för såväl proteiner som järn och zink. Minskningar av vitaminerna B1, B2, B5 och B9 kunde också påvisas, medan vitamin E istället ökade. De jämförelse också de tio största riskkonsumerande länderna och deras respektive BNP per capita. Utifrån det drogs slutsatsen att befolkningen i några av länderna med lägst värde för den senare variabeln (såsom Bangladesh och Kambodja) väntas se störst minskningar i samtliga undersökta ämnen förutom vitamin E, till följd av risets relativa andel av kaloriintaget. Författarna menar baserat på deras data att invånare i länder som är starkt beroende av en eller ett fåtal grödor i deras diet löper större risk att råka ut för hälsoproblem till följd av näringsbrist vid stigande nivåer av atmosfärisk koldioxid. Cirka 600 miljoner människor berodde år 2013 av ris till 50 % eller mer av sitt energi- eller proteinintag (Zhu *et al.* 2018). Den variation i halter av till exempel vitaminer som kunde ses kan kopplas till en minskning av kväve i växter vid förhöjda koldioxidhalter, som observerats i andra studier såsom Taub *et al.* (2008).

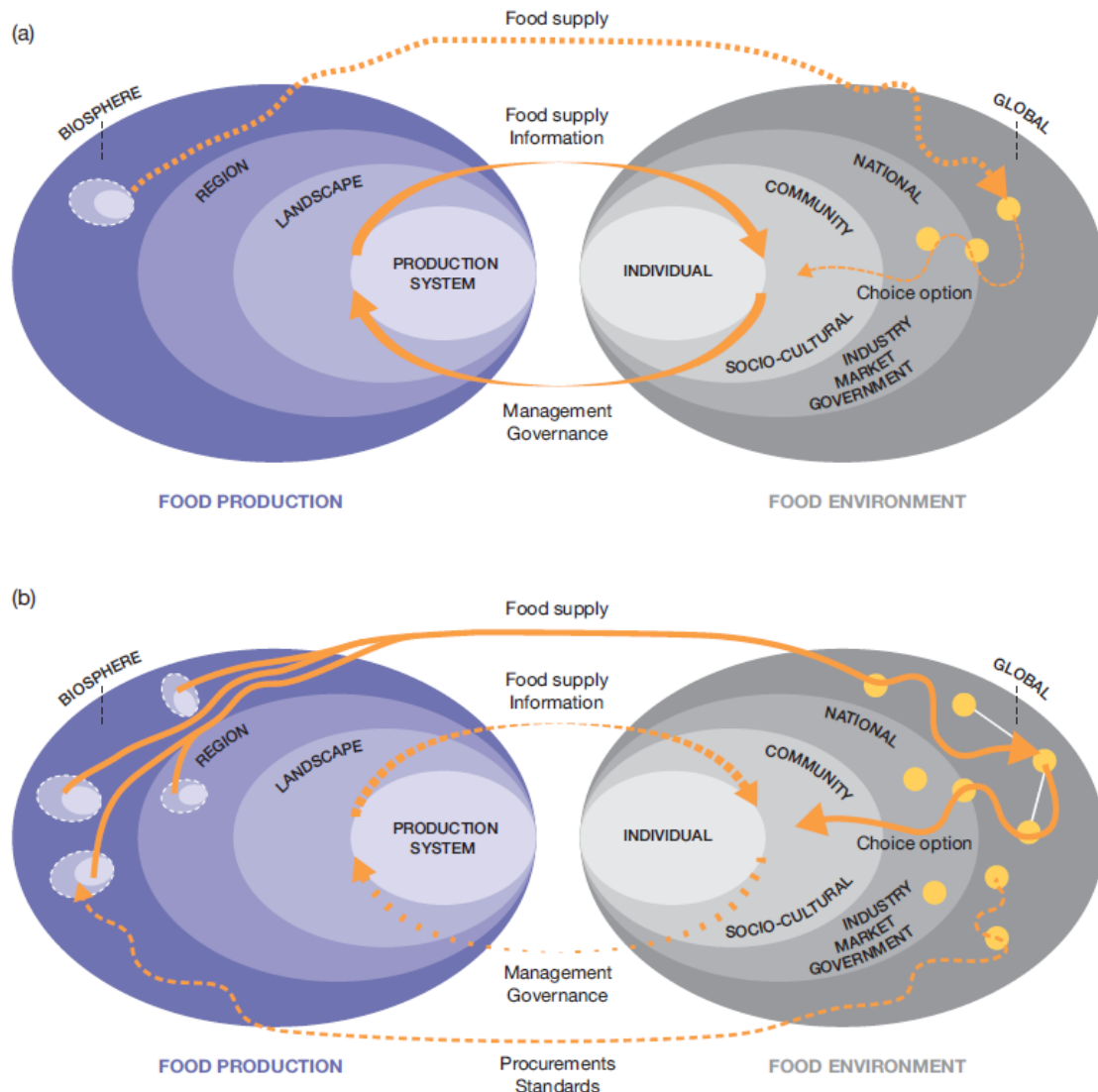
Det finns olika förslag på åtgärder som skulle kunna användas för att minska utsläppen från olika delar av ett livsmedelssystem. Två av dessa som tas upp närmre av Garnett (2011) är att på jordbruksnivån öka upptaget av kol, bland annat genom metoder för att förbättra jordens bördighet (en. *soil fertility*), såsom integrerade växtodlings- och djurhållningssystem, samt en ökad produktivitet genom exempelvis agroekologiska metoder (FAO 2016; Garnett 2011). Det förra förslaget utgör enligt Smith *et al.* (2008) 89 % av den totala potentialen för inlagring av kol i jordbruksmark som beräknas till 5500-6000 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Den reella potentialen påverkas dock av vilken nivå ett pris på utsläpp av koldioxid skulle sättas till för att ge incitament till investeringar i minskning av utsläpp. Ett pris uppemot 100 US\$ per ton koldioxidekvivalenter skulle resultera i minskningar uppemot 4000-4300 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år (Smith *et al.* 2008), vilket innebär att det för att uppnå den fulla potentialen skulle krävas ett ännu högre pris. Idén bakom det senare förslaget är däremot att genom ”hållbar intensifiering” av jordbruket kunna öka produktiviteten i jordbruket, för att minska behovet av ny jordbruksmark och medföljande utsläpp från förändringar i markanvändning, och samtidigt minimera GHG-utsläpp per producerad enhet (Garnett 2011; Godfray *et al.* 2010). Möjliga åtgärder för att öka produktiviteten inkluderar framtagning av grödor som är till exempel motståndskraftiga mot pester och sjukdomar samt tar upp näring mer effektivt. Sådana alternativ går dock inte utan kritik rörande bland annat potentiellt fokus på särskilt lönsamma grödor vilket i sig skulle kunna medföra en försämrad mångfald och ökad sårbarhet för angrepp och sjukdomar. Det finns också möjligheter till utsläppsminskningar kopplade till djurhållning, som kräver 80 % av världens jordbruksmark, såsom framavling av mer produktiva raser och val av foderkällor som genererar mindre utsläpp av metangas från idisslare, exempelvis soja (FAO 2009). Liksom för växtodlingen är dock flera sådana lösningar inte helt oproblematiska, såsom framavling av raser för större produktion när klimatförändringar istället kommer sätta tryck på användandet av djur som kan tåla tuffare och osäkra klimatförhållanden (Hoffman 2010). Etiska och miljömässiga problem med djurens hälsa respektive förorening av mark och vatten förknippade med intensiv djurhållning kvarstår också. En reduktion i konsumtionen av kött- och mejeriprodukter står också som ett

alternativ för utsläppsminskningar, men ett fokus på endast industrialiserade länders höga intag vore att blunda för ökande konsumtion per capita i utvecklingsländer där många fler människor lever (Garnett 2011). Andra icke-konventionella metoder (inom utvecklade länder) för att kombinera minskade utsläpp från jordbruket med livsmedelsproduktion inkluderar skogsjordbruk (en. *agroforestry*), permakultur och jordbruk med låga mängder införda resurser såsom ekologiskt jordbruk. Resultat som finns om potential för utsläppsminskningar kring exempelvis den sistnämnda är blandade. Vissa hävdar att utsläppen kan vara högre än i konventionellt jordbruk till följd av lägre skörd per enhet införda resurs och andra som hävdar att ekologiskt jordbruk med få införda resurser kan vara effektiva i att minska utsläppen av GHGs (Garnett 2011). Intensifiering av växtodling på befintlig jordbruksmark kan till och med innebära mindre totala GHG-utsläpp än ekologiskt jordbruk, till följd av lägre skördar i det senare (Kirchmann *et al.* 2010).

Bortom produktionsnivån i livsmedelskedjan finns ett flertal nivåer, såsom förädling och distribution, som också släpper ut växthusgaser. I till exempel kylförvar används särskilda gaser för kyländamål, såsom HFC-gas, som när de läcker ut till atmosfären blir en potent växthusgas, och lösningar mot utsläpp av detta inkluderar att täta källor för läckor samt hitta alternativa kylgaser (Garnett 2011). Energianvändningens andel av koldioxidutsläppen inom livsmedelssystemet för kylning av livsmedel är också betydande (Vermeulen 2012), vilket särskilt är fallet för I-länder. Dessa karaktäriseras bland annat av ett generellt större beroende av fossila bränslen och längre transportsträckor för mat som ofta kommer från den internationella marknaden i förhållande till många utvecklingsländer (Pelletier *et al.* 2011). Garnett *et al.* (2011) sammanfattar möjligheterna för minskning av GHG-utsläpp i post-produktionsdelen av livsmedelskedjan till i) energieffektivisering, ii) användning av rena och förnybara bränslen, samt iii) resurseffektivitet.

Biosfärens integritet

Människans inverkan på biosfären har sedan mitten av 1900-talet ökat, och förändringar i det globala livsmedelssystemet har varit en bidragande faktor till detta (Gordon *et al.* 2017). Den takt med vilken planetens arter dör ut uppgår numera till 100-1000 gånger den naturliga utdöendetakten. Detta har bland annat fått forskare att diskutera om vi nu befinner oss i en ny geologisk epok, dominerad av människan, som benämns antropocen (Steffen *et al.* 2015). Gordon *et al.* (2017) illustrerar genom Figur 2 hur människor över tid kommit att distanseras allt mer från de platser där den mat som vi äter produceras. Detta har också bidragit till att relationen mellan individen och dennes förhållande till biosfären kommit att förändras. De större distanserna, inte bara geografiskt sett utan även institutionellt, hindrar informationsflödet genom livsmedelssystemet, vilket gör det svårare för oss att ta väl informerade beslut rörande förvaltning och konsumtion (Sundkvist *et al.* 2005). Crona *et al.* (2016) demonstrerar hur det kan vara svårt för konsumenter att ta emot signaler rörande minskande fisk- och skaldjursbestånd då priset i mataffären inte säger något om kostnaderna av möjliga miljömässiga och sociala problem med produktionen. Myndigheter och politiker kan ha en viktig roll i att minska informationsgapet mellan producenter och konsumenter, genom till exempel utbildningskampanjer och märkning av livsmedel, som kan bidra till transparens och kommunikation mellan aktörer i livsmedelskedjan (Gordon *et al.* 2017; Sundkvist *et al.* 2005).



Figur 2. En förenklad illustration av förändrade förhållanden inom olika delar av det globala livsmedelssystemet mellan a) år 1961 och b) idag, med en numera svagare koppling (streckade linjer) mellan den individuella konsumenten och det lokala produktionssystemet samtidigt som aktörer på nationell och global nivå (gula cirklar) har fått allt större inflytande (tjocka linjer) över bland annat vad som produceras och hur det produceras (Gordon *et al.* 2017).

Biodiversitet genererar genom ekologiska processer så kallade ekosystemtjänster till oss människor som vi nyttjar för vårt välbefinnande (Elmqvist & Maltby 2010). Matproduktion är en sådan tjänst från ekosystemen, och såväl terrestra som akvatiska ekosystem bidrar till denna leverans. Vissa ekosystemtjänster interagerar ofta med varandra och leder ibland till avvägningar, vilket till exempel kan innebära att exempelvis matproduktionen ökar på bekostnad av andra tjänster såsom pollinering till följd av till exempel förlust av lämpliga habitat i jordbrukslandskapet. I fallet pollinering, där tjänsten utförs av organismer såsom bin och humlor, är kopplingen mellan livsmedelssystemet och ekosystemen ytterst viktig med tanke på att pollinering gynnar 75 % av alla grödor (Klein *et al.* 2003) till ett värde av 215 miljarder dollar (Gallai *et al.* 2009). Rapporterna om nedgångar i populationer av såväl domesticerade honungsbin som vilda humlor väcker oro då de utför en för livsmedelsproduktionen viktig naturlig pollination. Vissa kopplar samman detta med det fenomen som kallas "colony collapse disorder" (CCD), som är en effekt av pollinatörer under

stress från en cocktail av potentiellt interagerande faktorer såsom färre blommande växter, exponering för jordbrukskemikalier samt parasitsjukdomar (Goulson *et al.* 2015).

Ekosystemtjänster kan dessutom gynnas ju fler arter som utför dem. Arter som utför samma typ av ekosystemfunktioner kan komplettera varandra genom att fylla det ekologiska tomrum som kan lämnas om en viss art råkar ut för en nedgång, vilket förstärker funktionen (Smith 2010). Så kallad redundans i tillgängliga egenskaper och svar på förändringar i ekosystemet bland arter som utför en och samma funktion kan bidra till en slags ”försäkring” ifall att individuella arter förloras. Ekosystemtjänsten för matproduktion beror ofta av pollinerare, och kopplingen mellan dess leverans och artrikedom är stark. Därför borde då artrikedomen bland såväl domesticerade som vilda pollinerare vara en relevant indikator för att visa på hur produktionen av mat påverkas (Elmqvist & Maltby 2010). Steffen *et al.* (2015) delade upp den planetära gränsen ”Biosfärens integritet” i två underparametrar, men gränsen för ”Funktionell diversitet” har inte kunnat definieras till följd av brist på globala data. Den föreslagna variabeln för den parametern, ett så kallat Biodiversity Intactness Index (BII), fick sin preliminära gräns placerad vid 30-90 % av intaktheten vid förindustriell tid. Indexet är tänkt ska reflektera populationsförändringar för ett stort antal biologiska taxa och funktionella grupper, specifikt som en effekt av mänsklig miljöpåverkan. Det stora spannet för den variabelns möjliga gräns kom som en följd av stora osäkerheter rörande hur förhållandet mellan BII och Jordsystemet ser ut (Steffen *et al.* 2015).

Biogeokemiska flöden

För att möta behovet av mat för jordens befolkning har människan sedan 1900-talet på artificiell väg tillfört alltmer näringsämnen till jordbruket via konstgödsel. År 1913 kommersialiserades Haber-Bosch-metoden, vilken gjorde det möjligt att kringgå den vanligaste begränsade faktorn vad gäller produktivitet i odlingen av grödor: tillgången på växttillgängligt kväve (Smil 2004). Kväve är vanligen en bristvara i naturen till följd av att det krävs stora mängder energi, motsvarande en liter olja per kg fixerat kväve, för att omvandla den atmosfäriska kvävgasen (N_2) till användbara former av kväve såsom ammoniak (NH_3) (Granstedt 2012). Det naturliga kretsloppet av kväve har därmed kunnat brytas, vilket dock har lett till miljömässiga konsekvenser såsom övergödning och algbloomingar till följd av läckage från jordbruksmarker till vattenmassor; problem som till exempel Östersjön är starkt påverkad av.

Tillsammans med bland annat grundämnena kväve och kalium är fosfor ett essentiellt växtnäringsämne. Fosfor är en viktig komponent i jordbruket genom dess användning i gödsel, både i stall- och konstgödsel. En stor del av världens fosfor fås idag genom brytning av fosfathaltiga bergarter som är icke-förnybara, med en bildningshastighet av 10-15 miljoner år (Cordell 2010). Cordell (2010) uppskattar det år då efterfrågan på fosfor kommer att överstiga produktionen, en gräns kallad ”peak phosphorus”, till år 2035. Fem faktorer identifieras som bidrar till en kommande brist på detta kritiska ämne: 1) brist i fysisk tillgängligt fosfor från mineraliska källor, 2) brist på förvaltning av fosforanvändningen inom livsmedelssystemet, 3) skillnader i köpkraft mellan jordbrukare att tillgå fosfor på marknaden för gödselmedel, 4) brister i styrning från till exempel internationella institutioner att försäkra oss om en långsiktigt tryggad tillgång på fosfor, samt 5) brister på fosfor till följd av geopolitiska anledningar såsom att 90 % av de mest högkvalitativa obrutna fosforreserverna återfinns i så få som fem olika länder. Enligt Cordell (2010) finns det, till följd av dessa och andra faktorer, anledning att se över den globala användningen och anskaffningen av fosfor i det globala systemet för matproduktion.

Användningen av fosfor är vid sidan om kväve en av två underparametrar till den planetära gränsen ”Biogeokemiska flöden”. Den planetära gränsen för fosfor består i sin tur av två delar, nämligen tillförsel från sötvattenssystem till världshaven samt från konstgödselanvändning till sjöar, vilka föreslagits att uppgå till 11 Tg P/år respektive 6,2 Tg P/år. Den nuvarande tillförseln för den förra indikatorn uppgår till 22 Tg P/år medan den senare uppgår till 14,2 Tg P/år. För flödet av kväve finns bara en parameter, där gränsen föreslagits till 62 Tg N/år samtidigt som det nuvarande flödet från atmosfären genom medveten industriell och biologisk fixering når upp till cirka 150 Tg N/år (Steffen *et al.* 2015). För samtliga av dessa indikatorer uppgår därmed flödena av fosfor och kväve till det dubbla eller mer av deras planetära gränsvärden, vilket placerar dem över högrisk-tröskeln (se förklaring till Figur 1). Cordell (2010) menar att vår användning och förvaltningen av fosfor är både ineffektiv och ohållbar. Trots dess kritiska värde för den globala matsäkerheten har globala makthavare inte tagit sig an problematiken med att säkra en långsiktig tillgång på detta ämne och har samtidigt misslyckats med att minimera effekterna av dess användning på miljön.

Det svenska livsmedelssystemet: ett case

Mellan år 1981 och 2016 sjönk antalet jordbruksföretag i Sverige med nästan hälften, från cirka 115 000 företag till knappt 59 900 företag (se Bilaga 1). Samtidigt minskade antalet företag för samtliga storleksgrupper, förutom företag inom den största respektive minsta storleksklassen (större än 100,0 ha respektive till och med 2,0 ha), med en genomsnittlig företagsstorlek av 43 ha jämfört 16 ha i EU28 (OECD 2018). Detta innebär att arealen åkermark med åren kommit att koncentreras i allt större utsträckning till större företag (se Bilaga 2), samtidigt som den totala åkerarealen minskat något från år 2000-2016 från cirka 2 710 000 ha till cirka 2 580 000 ha (Jordbruksverket 2007; Jordbruksverket 2017). Denna utveckling mot en ökad andel av den svenska åkerarealen i stora företag innebär problem ur ett hållbarhetsperspektiv. Detta bland annat genom det faktum att större företag generellt sett använder större mängder stall- och konstgödsel än företag i den minsta storleksgruppen, vilket är särskilt tydligt för användningen av växttillgängligt kväve (SCB 2017). Sundkvist *et al.* (2005) framhäver intensifiering och en ökad specialisering av jordbruket som ett problem för en långsiktigt hållbar försörjning genom beroendet av externa resurser. Den totala förbrukningen av kväve, fosfor och kalium har dock minskat något under åren 2001-2016 (SCB 2017). Enligt OECD (2018) har Sverige överlag lyckats bra med att minska belastningen på miljön från jordbruket rörande till exempel GHG-utsläpp sedan landets inträde i EU år 1995, med en bibehållen och relativt stabil produktion.

Sverige är en nettoimportör av livsmedel och jordbruksprodukter, med ett handelsunderskott som växer (OECD 2018). Detta har resulterat i att GHG-utsläpp som sker utomlands till följd av svensk konsumtion har ökat med mer än 80 % sedan år 1993, samtidigt som inhemska utsläpp från vår livsmedelskonsumtion har minskat med 30 % (Naturvårdsverket 2017). År 2013 uppgick de totala utsläppen utomlands och inom Sverige från konsumtionen av livsmedel till cirka 16 respektive 7 miljoner ton koldioxidekvivalenter, där 75 % av dessa utsläpp sägs komma från kött-, fisk- och mejerikonsumtionen. Att ändra matvanor till att inkludera en större andel av mindre utsläppsintensiva alternativ är därför en del av lösningen för att minska det svenska livsmedelssystemets klimatpåverkan, men samtidigt bidrar den svenska djurhållningen till exempel till biologisk mångfald och öppna landskap.

Slutord

Det är ett faktum att det mänskliga systemet för försörjande av livsmedel på många sätt och vis inte kan upprätthållas i framtiden på de sätt som det görs idag. Utsläpp av växthusgaser, en minskande biologisk mångfald såväl generellt som i jordbrukslandskapen samt en överanvändning och spridning av i naturen begränsade ämnen tänger på gränserna för vad Jordsystemet tål och i förlängningen förutsättningarna för oss att mätta världens befolkning (Steffen *et al.* 2015; Cordell 2010). Betydande förändringar kommer att krävas inom en rad olika områden av det mänskliga samhällssystemet och vid olika skalor, som en konsekvens av det numera globala komplexa nätverk av ingående subnätverk av enskilda livsmedelskedjor som utgör själva livsmedelssystemen. Vissa av utmaningarna är mer brådskande att ta sig an, såsom accelererande utsläpp av växthusgaser och det globala artutdöendet, för att vi med en viss chans ska ha möjlighet att kunna upprätthålla kritiska tjänster som det agroekologiska systemet genererar till oss människor.

Samtidigt finns det möjligheter för livsmedelssystemet att styra om i en riktning som är hållbar på längre sikt, men med varierande svårighet att genomföra förändringar mellan olika hållbarhetsaspekter. Den kritiska tröskeln för då klimatförändringarna riskerar att föra Jordsystemet in i ett nytt planetärt tillstånd har ännu inte överstigits, med visst handlingsutrymme kvar för att sätta in åtgärder mot utmaningar kopplade till livsmedelssystemets klimatpåverkan (Steffen *et al.* 2015, se Figur 1). Stor potential finns i att föra kol från atmosfären till jorden på jordbruksmark, men denna möjlighet begränsas av en successivt avtagande potential ju mer kol som lagras i jordförrådet (Smith *et al.* 2008). Andra möjligheter ligger i att få jordbruk globalt att minska sin användning av externa resurser, vare sig det handlar om fossila bränslen, konstgödselmedel eller andra resurser för att komma till bukt problem som övergödning (Granstedt 2012; Garnett 2011 etc.). Att uppnå matsäkerhet, nu och i framtiden, bör vara det huvudsakliga målet med ett livsmedelssystem inom vilket miljö- och sociala aspekter också behöver balanseras för att hållbarhet och resiliens ska kunna uppnås (Ericksen 2008, Godfray *et al.* 2010 etc.). Hur mat bland annat produceras och konsumeras är dessutom betydande för möjligheterna till att uppnå många av FN:s globala hållbarhetsmål (FAO 2017), där Sverige har visat att en hållbar intensifiering av jordbruket inte är en omöjlighet (OECD 2018). Facit tycks därmed säga att det svenska jordbruket, åtminstone inom dessa områden, lyckats effektiviseras på ett sätt som kan hävdas reflektera en utveckling i riktning mot ökad hållbarhet (Garnett 2011; Godfray *et al.* 2010).

Det finns uppenbarligen en mängd olika artiklar och publikationer som behandlar ämnet hållbarhet kopplat till livsmedelssystemet, antingen uttryckligen (Gordon *et al.* 2017; Sundkvist *et al.* 2005; Vermeulen *et al.* 2012 etc.) eller via en aspekt med en mer indirekt koppling (Zhu *et al.* 2018; Goulson *et al.* 2015 etc.). Flera olika angreppssätt tycks användas, alltifrån kvantitativa studier till kvalitativa studier som bidrar till att beskriva bredden av forskningen på detta område. Olika författare har dessutom varierande definitioner av vad ett livsmedelssystem är och vad som krävs för ett ”hållbart” sådant, möjligen på grund av olika vetenskapliga bakgrunder men även den vetenskapliga progressionen, med avstamp i ämnen såsom klimatförändringar, resiliens och människors hälsa (Vermeulen *et al.* 2012; Bennett *et al.* 2014; Gordon *et al.* 2017 etc.).

Dessutom bör det tilläggas att den här rapporten har varit selektiv i vilka aspekter och artiklar som valdes ut som intressanta att behandla inom ramen för arbetet. Dessa var kopplade till de tre planetära gränserna som tagits upp, vilket med säkerhet har resulterat i att andra potentiella ingångar till en litteraturstudie om hållbara livsmedelssystem har undvikits.

TACK

Jag skulle vilja rikta min tacksamhet till några människor som under detta examensarbete har hjälpt mig på diverse sätt med att färdigställa den här rapporten.

Först och främst vill jag tacka min handledare tillika koordinator, Karin Bengtsson, för hennes stöd inför och under genomförandet av examensarbetet.

Jag vill även tacka Malin Jonell, post-doc forskare samt tidigare föreläsare vid Kandidatprogrammet i miljövetenskap, som bidrog med några av de artiklar som gav mig inspirationen till temat för detta arbete.

Jag vill dessutom tacka Malgorzata Blicharska, examinator för detta arbete, för hennes kommentarer i återkopplingen på denna uppsats.

REFERENSER

- Bennett, E; Carpenter, S.R; Gordon, L.J; Ramankutty, N; Balvanera, P; Campbell, B; Cramer, W; Foley, J; Folke, C; Karlberg, L; Liu, J; Lotze-Campen, H; Mueller, N.D; Peterson, G.D; Polasky, S; Rockström, J; Scholes, R.J; Spierenburg, M. (2014). Toward a More Resilient Agriculture. *The Solutions Journal*, 5, ss. 65-75.
- Chen, G.Q; Zhang B. (2010). Greenhouse gas emissions in China 2007: Inventory and input-output analysis. *Energy Policy*, 38, ss. 6180-6193. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.004
- Cordell, D. (2010). *The Story of Phosphorous: Sustainability implications of global phosphorous scarcity for food security*. Diss. Linköping: Linköpings universitet.
- Crona, B.I; Daw, T.M; Swartz, W; Norström, A.V; Nyström, M; Thyresson, M; Folke, C; Hentati-Sundberg, J; Österblom, H; Deutsch, L; Troell, M. (2016). Masked, diluted and drowned out: how global seafood trade weakens signals from marine ecosystems. *Fish and Fisheries*, 17, ss. 1175-1182. doi:10.1111/faf.12109
- Eakin, H; Patrick Connors, J; Wharton, C; Bertmann, F; Xiong, A; Stoltzfus, J. (2017). Identifying attributes of food system sustainability: emerging themes and consensus. *Agriculture and Human Values*, 34, ss. 757-773. doi:10.1007/s10460-016-9754-8
- Ericksen, P. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18, ss. 234-245. doi:10.1016/j.gloenvcha.2007.09.002
- FAO (2008). *Climate Change and Food Security: a framework document*. Rom: FAO.
- FAO (2009). *The State of Food and Agriculture 2009: Livestock in the Balance*. Rom: FAO.
- FAO (2016). *The State of Food and Agriculture 2016: Climate change, agriculture and food security*. Rom: FAO.
- FAO (2017). *Food and agriculture: Driving actions across the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Rom: FAO.
- Gallai, N; Salles, J-M; Vaissière, B.M. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agricultural confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, ss. 810-821. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- Garnett, T. (2011). Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas in the food system (including the food chain)? *Food Policy*, 36, ss. 23-32. doi:10.1016/j.foodpol.2010.10.010
- Godfray, H.C.J; Beddington, J.R; Crute, I.R; Haddad, L; Lawrence, D; Muir, J.F; Pretty, J; Robinson, S; Thomas, S.M; Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327, ss. 812-818. doi:10.1126/science.1185383
- Gordon, L.J; Bignet, V; Crona, B; Henriksson, P.J.G; Van Holt, T; Lindahl, T; Troell, M; Barthel, S; Deutsch, L; Folke, C; Haider, L.J; Rockström, J; Queiroz, C. (2017). Rewiring food systems to enhance human health and biosphere stewardship. *Environmental Research Letters*, 12. doi:10.1088/1748-9326/aa81dc
- Goulson, D; Nicholls, E; Botías, C; Rotheray, E.L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides and lack of flowers. *Science*, 347. doi:10.1126/science.1255957
- Granstedt, A. (2012). *Morgondagens jordbruk med fokus på Östersjön*. Trosa Tryckeri AB.
- Gröndahl, F. & Svanström, M. (2011). *Hållbar utveckling – en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Stockholm: Liber AB.
- Himanen, S.J; Rikkonen, P; Kahiluoto, H. (2016). Codesigning a resilient food system. *Ecology and Society*, 21:41. doi:10.5751/ES-08878-210441
- Hoffman, I. (2010). Climate change and the characterization breeding and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*, 41, ss. 32-46. doi:10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x

- Jordbruksverket (2007). *Jordbruksstatistisk årsbok 2007: Åkerarealens användning*. Jordbruksverket.
- Jordbruksverket (2008). *Jordbruksstatistisk årsbok 2008: Åkerarealens användning*. Jordbruksverket.
- Jordbruksverket (2017). *Jordbruksstatistisk sammanställning 2017: Åkerarealens användning*. Jordbruksverket.
- Kirchmann, H; Bergström, L; Andersson, R. (2010). Uthållig matproduktion på tre ben – mängd, kvalitet och miljö. I Johansson, B. (red.). *Jordbruk som håller i längden*. Stockholm: Formas, ss. 91-111.
- Klein, A-M; Steffan-Dewenter, I; Tschardt, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 270, ss. 955-961. doi:10.1098/rspb.2002.2306
- Elmqvist, T; Maltby, E. (2010). Biodiversity, Ecosystems and Ecosystem Services. I Kumar, P. (red.). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economical Foundations*. Abingdon och New York: Routledge, ss. 41-95.
- Naturvårdsverket (2017). Hållbar mat. <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhället/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Konsumtion-och-produktion/Hallbar-mat/>, hämtad 2018-06-13.
- OECD (2018). *Innovation, Agricultural Productivity and Sustainability in Sweden*, OECD Food and Agricultural Reviews. Paris: OECD Publishing.
- Pelletier, N; Audsley, E; Brodt, S; Garnett, T; Henriksson, P; Kendall, A; Kramer, K.J; Murphy, D; Nemecek, T; Troell, M. (2011). Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. *Annual Review of Environmental Resources*, 36, ss. 223-246. doi:10.1146/annurev-environ-081710-161014
- Rockström, J; Steffen, W; Noone, K; Persson, Å; Chapin, III, F.S; Lambin, E; Lenton, T.M; Scheffer, M; Folke, C; Schellnhuber, H.J; Nykvist, B; de Wit, C.A; Hughes, T; van der Leeuw, S; Rodhe, H; Sörlin, S; Snyder, P.K; Costanza, R; Svedin, U; Falkenmark, M; Karlberg, L; Corell, R.W; Fabry, V.J; Hansen, J; Walker, B; Liverman, D; Richardson, K; Crutzen, P; Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14:32.
- SCB (2017). *Gödselmedel i jordbruket 2015/2016 (MI 30 SM 1702)*. Stockholm: Statistiska Centralbyrån.
- Smil, V. (2004). Improving efficiency and reducing waste in our food system. *Environmental Sciences*, 1, ss. 17-26. doi:10.1076/evms.1.1.17.23766
- Smith, H.G. (2010). Ekosystemtjänster i ett hållbart jordbruk. I Johansson, B. (red.). *Jordbruk som håller i längden*. Stockholm: Formas, ss. 23-33.
- Smith, P; Martino, D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Kumar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C; Scholes, B; Sirotenko, O; Howden, M; McAllister, T; Pan, G; Romanenkov, V; Schneider, U; Towprayoon, S; Wattenbach, M; Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 363, ss. 789-813. doi:10.1098/rstb.2007.2184
- Solomon, S; Qin, D, Manning, M; Alley, R.B; Berntsen, T; Bindoff, N.L; Chen, Z; Chidthaisong, A; Gregory, J.M; Hegerl, G.C; Heimann, M; Hewitson, B; Hoskins, B.J; Joos, F; Jouzel, J; Kattsov, V; Lohmann, U; Matsuno, T; Molina, M; Nicholls, N; Overpeck, J; Raga, G; Ramaswamy, V; Ren, J; Rusticucci, M; Somerville, R; Stocker, T.F; Whetton, P; Wood, R.A; Wratt, D. (2007). Technical Summary. I Solomon, S; Qin, D, Manning, M; Chen, Z; Averyt, K.B; Tignor, M; Miller, H.L. (red.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth*

- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK/
New York: Cambridge University Press.
- 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, ss. 736-747. doi:
10.1126/science.1259855
- Sundkvist, Å; Milestad, R; Jansson, A; (2005). On the importance of tightening feedback
loops for sustainable development of food systems. *Food Policy*, 30, ss. 224-239.
doi:10.1016/j.foodpol.2005.02.003
- Taub, D.R; Miller, B; Allen, H. (2008). Effects of elevated CO₂ on the protein concentration
of food crops: a meta analysis. *Global Change Biology*, 14, ss. 565-575.
doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01511.x
- Toth, A; Rendall, S; Reitsma, F. (2016). Resilient food systems: a qualitative tool for
measuring food resilience. *Urban Ecosystems*, 19, ss. 19-43. doi:10.1007/s11252-015-
0489-x
- Vermeulen, S.J; Campbell, B.M; Ingram, J.S.I. (2012). Climate Change and Food Systems.
Annual Review of Environment and Resources, 37, ss. 195-222. doi:10.1146/annurev-
environ-020411-130608
- Zhu, C; Kobayashi, K; Loladze, I; Zhu, J; Jiang, Q; Xu, X; Liu, G; Seneweera, S; Ebi, K.L;
Drewnowski, A; Fukagawa, N.K; Ziska, L.H. (2018). Carbon dioxide (CO₂) levels this
century will alter the protein, micronutrients and vitamin content of rice grains with
potential health consequences for the poorest rice-dependent countries. *Science Advances*,
4.

SUMMARY

FOOD FOR TODAY AND TOMORROW: challenges and possibilities for sustainable food systems

Humans have been able to thrive and grow as a species during the 11 700 year long geological epoch that we have been living in, called the Holocene. In modern times, however, those stable conditions for the development of human societies have come to be put increasingly at risk. Anthropogenic pressures on the Earth system, including human-induced climate change, species extinctions and the release of excess nutrients to the environment from the use of fertilizers are signs of global issues related to the functioning of our civilization. Our impact on this world has been so great that some are now arguing that we're living in the beginning of what is being called the Anthropocene, the successor to the Holocene and an epoch dominated by man. The food system, which has grown ever more complex into a global network of food chain actors, is nowadays a major contributor to environmental change across the globe.

Questions surrounding the sustainability of practices within the food system have been raised, spurring research into different related aspects. The purpose of this thesis was therefore to study literature on the topic of sustainability issues connected to the food system to be able to discern any challenges or possibilities with ensuring a long-term supply of food, focusing on a few select topics. I set out with the aim of answering two questions: a) What characterizes a “sustainable” food system, and b) What are the challenges and possibilities for modern societies in developing sustainable food systems? I will limit the choice of literature studied to articles directly or indirectly linking food systems to three so called *planetary boundaries*, the term first coined by Rockström *et al.* in the article *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Those three boundaries are: i) Climate change, ii) Biosphere integrity and iii) Biogeochemical flows.

A food system comprises not only the activities and processes in the food chain, including but not limited to food production and consumption, but also the consequences of them on people, the environment and food security. One of the authors suggests that achieving food security should be the main objective of a food system, with environmental security and social welfare being the two other desired outcomes. Food is also a big part of the 17 Sustainable Development Goals of Agenda 2030, set forth by the United Nations, connecting to most of them through goals like eradicating poverty and ending hunger across the world. The growth in the world population is however putting to test the ability of the food system to provide enough food for the approximately around nine billion people that are projected to inhabit this planet by the year 2050. Ensuring food resiliency ahead of the effects of for example climate change is paramount, and a resilient agriculture would be one that “meets both food and development... without destabilizing the Earth system”, as proposed by Bennett *et al.* Such an agricultural system also needs to be “capable of meeting current and forthcoming challenges, many of which are still unknown to us”.

Climate change both impacts and is impacted by the food system in several ways. Emissions of nitrous oxide, methane and carbon dioxide (among others) contribute to for example more and extreme weather events, increasing risks of damage to agricultural systems, especially for those who are most dependent on it for their livelihood. Increasing levels of carbon dioxide in the atmosphere also has the side effect of leading to altered nutritional content in crops, contributing to decreases in for example proteins and micronutrients. This is worrying for the health of 600 million people who in 2013 were heavily dependent on rice for their calorie and

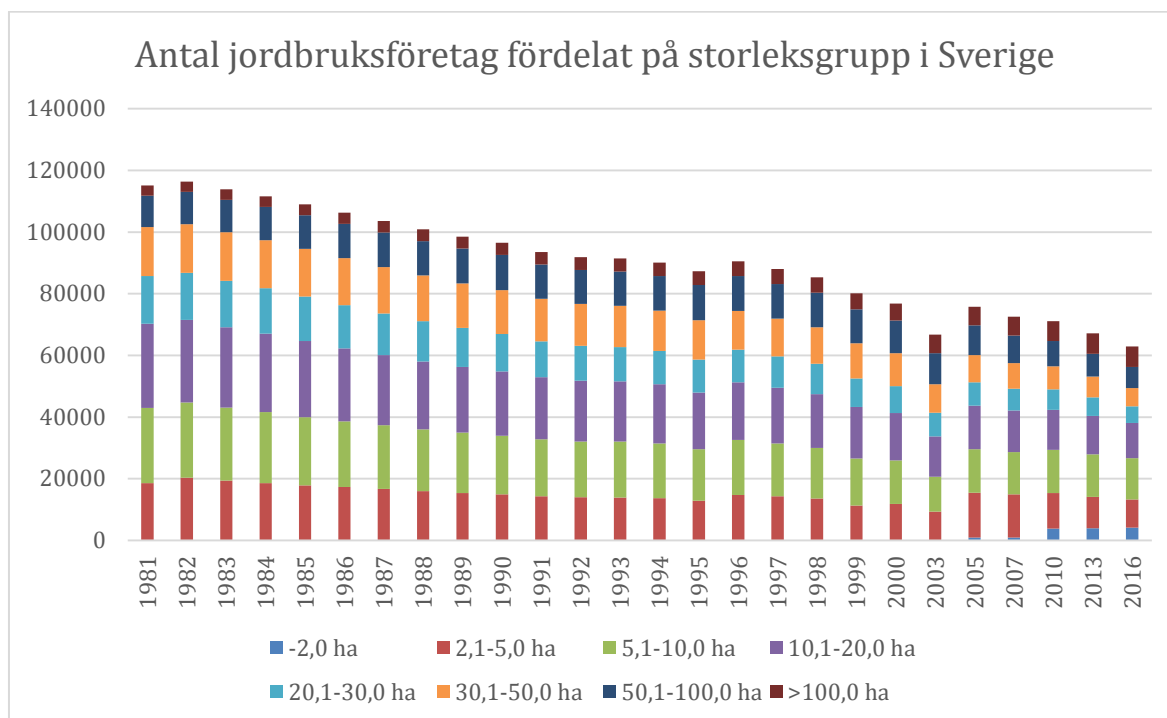
protein intake, located mostly in poorer countries like Bangladesh, which could then suffer from nutritional deficiencies. Emissions of greenhouse gases vary between sectors in different countries, and more developed countries are characterized by a higher share of emissions coming from post-production activities, i.e. after the agricultural stage in the food chain.

The functioning of the food system is ultimately dependent on the functioning of the biosphere, including the health of its ecosystems and its species. Over several decades, the connection between individuals and food production systems has become weaker as global and national food system actors now wield more influence over it, determining for example what should be produced and how. This has made it harder for the consumer to make informed choices about which products are the best in terms environmental and social performance, as negative externalities from potentially unsustainable production methods continue without proper transparency. Pollinators, which are hugely important for global agriculture, are declining due to being affected by a combination of habitat loss, exposure to agricultural chemicals and parasites. They, both domesticated and wild pollinators, perform an ecosystem service to the value of hundreds of billions of dollars which means that their survival is vital to the global food supply. Maintaining a diverse set of pollinator species, allowing for functional diversity, makes the delivery of the service more robust to changes in the environment affecting individual species.

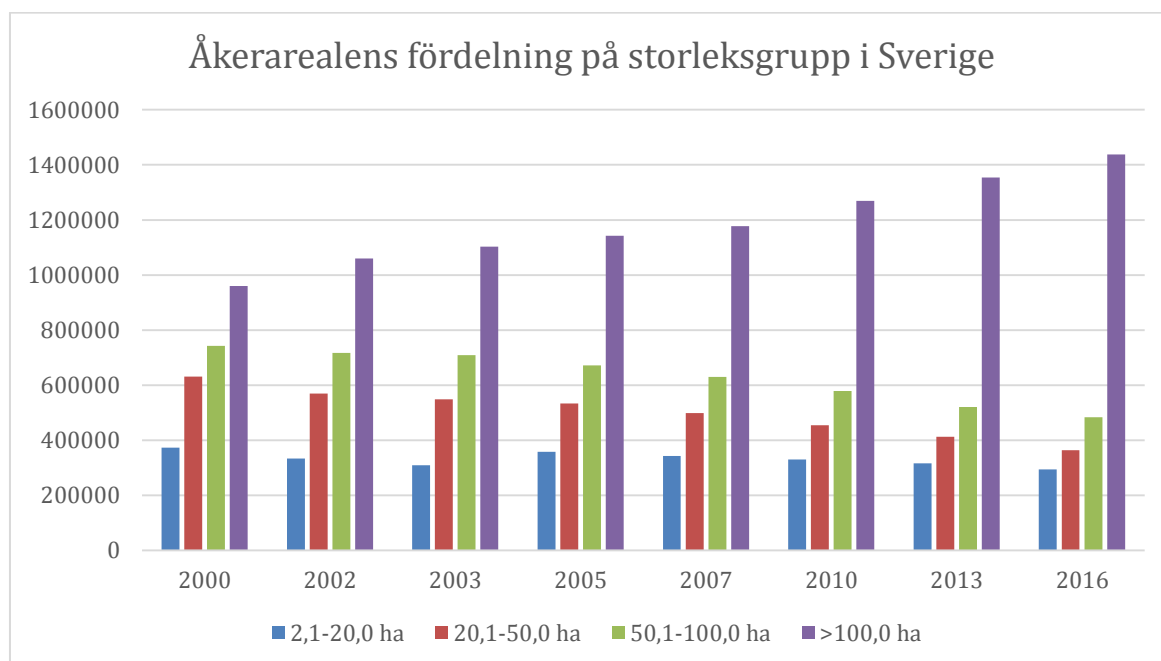
The use of artificial fertilizers has broken for example the natural cycles of phosphorus and nitrogen, allowing for readily available nutrients in agricultural production but also contributing to eutrophication of water bodies. Nitrogen fertilizer can be synthesized from atmospheric nitrogen, but phosphorus on the other hand is obtained from mineral deposits that are in limited supply. Global phosphorus demand is expected to outpace phosphorus supply after approximately 2030, meaning that an essential plant nutrient widely used in agriculture will become increasingly hard to source, raising concerns over sustainability and food security. Currently, the global use of both nitrogen and phosphorus amount to at least twice the level of their respective planetary boundaries, showing how much the Earth system can cope with human use and release of these nutrients.

For the food system to become sustainable, radical changes to the way we structure our systems of food production, processing, consumption etc. are needed. There are solutions that can contribute to the long-term supply of food, but none will be sufficient on their own. Research into the area are even sometimes in conflict over which actions would truly make the food system more sustainable, touting for example intensification versus extensification and higher productivity versus less reliance on external resource inputs. The food system consists of many kinds of actors at very different levels, and getting them to cooperate in order to co-create a path towards resiliency and food security is a challenge in itself. Solving the sustainability issues of the food system will be difficult, but the urgency of the situation calls for a determined course of action.

BILAGOR



Bilaga 1 visar antalet jordbruksföretag i Sverige fördelat på storleksgrupp mellan år 1981 och år 2016. Notera att data för den minsta storleksklassen inte fanns tillgänglig förrän år 2005. Källa: Jordbruksverkets statistikdatabas.



Bilaga 2 visar arealen åker i Sverige fördelat på storleksgrupp med början år 2000 och slut år 2016. Källor: Jordbruksstatistisk årsbok 2007, Jordbruksstatistisk årsbok 2008 och Jordbruksstatistisk sammanställning 2017 (Jordbruksverket 2007; Jordbruksverket 2008; Jordbruksverket 2017).

Kandidatuppsatser i miljövetenskap vid Uppsala Universitet, Campus Gotland

1. John, Julia. 2018. Hållbara offentliga uterum: En studie om multifunktionsmoduler för Helsingborg drivna av Öresundskraft. (15 hp).Handledare: Karin Bengtsson, UU och Catharina Wingren, Öresundskraft.
2. Nilsson, Hanna. 2018. Ekosystemtjänster i svenska kommuner: Implementering av begreppet i dagligt arbete och beslutsfattande. (15 hp).Handledare: Malgorzata Blicharska, UU.
3. Andersson, Robin. 2018. Mat för idag och imorgon: Utmaningar och möjligheter för hållbara livsmedelssystem. (15 hp).Handledare: Karin Bengtsson, UU.