



GÖTEBORGS
UNIVERSITET

INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH
MILJÖVETENSKAP

PÅVERKAN AV KVÄVEGÖDSEL PÅ VÄXTHUSGASBALANSEN

Hur stor är nettoeffekten av att använda kvävegödsel i jordbruket?



Lovisa Brandt

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet miljövetenskap

2019, 180 hp Grundnivå

Sammanfattning

Ända sedan första hälften av 1900-talet har människan på industriell väg tillverkat och nyttjat kvävegödsel med syfte att öka skördeutbytet i jordbruket. Problematiken med kvävegödsel är att den vid tillverkningen kräver mycket energi som tillgodoses genom fossila råvaror, till största del naturgas, som leder till släpp av koldioxid till atmosfären. Emissioner av lustgas frigörs också under tillverkningen när salpetersyra framställs från ammoniak. Utöver tillverkningsprocessen har kvävegödsel även en negativ inverkan när medlet ska spridas och omsättas i jordbruksmarken vilket bidrar till ytterligare koldioxid- och lustgasutsläpp.

Trots de nackdelar som kvävegödsel har på klimatet medföra den även positiva effekter genom ökad tillväxt av biomassa som i sin tur tar upp extra energi- och koldioxid i växter samt ökar kollagringen i marken. Syftet med den här studien är att studera kvävegödsel från produktion till användning för att ta reda på om kvävegödsel har en negativ eller positiv nettoinverkan på växthusgasbalansen.

Metoden för den här studien har varit beräkningar på energi- och växthusgasbalanser med hjälp av data från litteraturen. Resultatet visade att tillverkningen och användningen av kvävegödsel har en påverkan på energi- och växthusgasbalansen genom att stora mängder energi utnyttjas och växthusgaser emitteras. Påverkan från tillverkningen är dock liten i förhållande till den effekt som kvävegödslingen kan ha genom ökad tillväxt och biomassa vilket leder till ökad energi-och koldioxidupptag.

Abstract

Ever since the first half of the 20th century, man has, on an industrial scale, made and used nitrogen fertilizer with the aim of increasing crop yield in agriculture. The problem with nitrogen fertilizer is that during production it requires a lot of energy that is met by fossil raw materials, mostly natural gas, which emits carbon dioxide to the atmosphere. Emissions of nitrous oxide are also released during manufacture when nitric acid is produced from ammonia. In addition to the manufacturing process, nitrogen fertilization also has a negative impact when nitrogen is to be spread and converted into agricultural land, which contributes to additional carbon dioxide and nitrous oxide emissions.

Despite the disadvantages that nitrogen fertilization has on the climate, it also has positive effects through increased growth of biomass, which in turn absorbs extra energy and carbon dioxide in plants and stores carbon in the soil. The purpose of this study is to study nitrogen fertilizer from production to end use to find out if nitrogen fertilizer has a negative or positive net impact on the greenhouse gas balance.

The method of this study has been calculations on energy and greenhouse gas balances using data from the literature. The result showed that production and application of nitrogen fertilization has an impact on the energy and greenhouse gas balance. However, the effects are small in relation to the effect it entails on increased growth and biomass, which leads to increased energy and carbon dioxide uptake.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Abstract	2
1 Inledning.....	4
1.1 Syfte	6
1.2 Frågeställningar	6
2 Metod	6
2.1 Datahantering och beräkningar.....	7
2.2 Insamling av litteratur	7
2.3 Avgränsningar	8
2.4 Flödesschema	9
3 Resultat.....	10
3.1 Tillverkning av kvävegödsel	13
3.2 Transporter	15
3.3 Lustgas från kväveomsättning.....	15
3.4 Kväveeffekt på tillväxt	16
3.5 Bioenergi	21
4 Diskussion.....	22
4.1 Energianvändning.....	22
4.2 Potentiella åtgärder.....	23
4.3 Eventuella osäkerheter	24
5 Slutsats	26
5.1 Tackord.....	26
6 Referenslista.....	26

1 Inledning

Kväve är det rikligaste förekommande ämnet i atmosfären och står för 78 % av luftens innehåll. Kväve är avgörande för livet på jorden då det fungerar som en nödvändig byggsten i aminosyror som sedan blir proteiner i allt som växer (Einartsson, 2011). Kväve finns bland annat också i DNA samt i klorofyllet som ger växter dess gröna färg (Lund, 2003). Trots att den större delen av luften består av kväve så är ämnet en begränsande faktor i naturen då kväve är en väldigt stabil molekyl som behöver mycket energi för att bindningarna mellan kväveatomerna ska kunna brytas och bli reaktiva och användbara för levande organismer (Einartsson, 2011). Kvävgas kan fixeras till växttillgängliga kväveformer av mikroorganismer som fungerar som katalysatorer och kan bidra med den energin som behövs, men det är inte många mikroorganismer som kan göra detta (Canfield et al. 2017).

På grund av kvävet begränsning i naturen så har människan sedan början av 1900-talet utvecklat nya tekniker för att på industriell väg kunna reducera kvävgas till ammonium med syfte att öka kvävet innehåll i växande gröda och på så sätt öka tillväxten i jordbruket (Canfield et al. 2017). Mineralgödsel är samlingsnamnet på en rad olika konstgjorda gödselmedel där en av de vanligaste är kvävegödsel i form av ammoniumnitrat (AN) (Jordbruksverket, 2018b).

I Sverige importeras all mineralgödsel och en tredjedel produceras av norska gödselmedelstillverkaren Yara (Berglund et al. 2009). Kristian Birkeland och Sam Eyed var de första som tog fram en metod för industriell framställning av kvävegödsel vilket lade grund för Yara som tidigare hette Norsk Hydro. Den process som används idag kallas Haber-Bosch-metoden som går ut på att bilda ammoniak från kvävgas och vätgas (Andersson, 2006). Kvävgasen tas direkt från luften medan vätgasen renframställs med hjälp av ångreformerings av fossila bränslen, vanligtvis naturgas (Ahlgren et al., 2015) som består till 90 % av metan (Energigas, 2017). Framställningen av vätgasen, genom ångreformerings, är den delen av tillverkningsprocessen som kräver mest energi (Ahlgren et al. 2015). Medan processerna drivs av fossil råvara emitteras växthusgasen koldioxid (CO₂) men även lustgas (N₂O) emitteras när ammoniak ska omvandlas till AN. Vid odling av exempelvis vete så har studier visat att kvävegödsel står för en andel om 40-60 % av växthusgasutsläppen (Ahlgren et al. 2015).

När kvävet i gödselmedlet sprids och omsätts i marken sker det ytterligare emissioner av växthusgaser. Omsättningen styrs främst av redox (reduktion-oxidation) reaktioner. I en syrerik miljö oxideras ammoniumjoner (NH₄⁺) från gödseln till nitritjoner (NO₂⁻) och därefter till nitratjoner (NO₃⁻), en process som kallas nitrifikation. Växthusgasen N₂O är en biprodukt i nitrifikationen som frigörs till atmosfären. I en syrefattig miljö kan nitratjonerna därefter reduceras och användas som energikälla för den anaeroba oxidationen av organiskt kol, en process som kallas denitrifikation (Canfield et al. 2017).

Enligt Berglund (2009) reduceras kvävet i denitrifikationen enligt följande steg:



Under denna process bildas lustgas som en mellanprodukt som kan emittera till atmosfären om den inte hinner reduceras vidare till kvävgas (Berglund et al. 2009). Det är under denitrifikationen som den största mängd lustgas avgår. Avgången styrs av koncentrationen nitrat och nitrit i marken samt av halten syre. Denitrifikationen gynnas av låga syrehalter och vid helt syrefria förhållanden, till exempel vid höga halter vatten eller hög konsumtion av syre, kan processen reducera all lustgas till kvävgas vilket minskar emissionerna (Berglund, 2017). Övriga faktorer som styr lustgasens avgång till atmosfären är pH och temperaturen i marken (Berglund et al. 2009).

De industriella källorna bidrar idag med dubbelt så mycket av växttillgängligt kväve som den naturliga kvävefixeringen gör. Den nya hastigheten har medfört att mycket av kvävet inte hinner ansamlas i växterna ordentligt innan det sköljs bort eller släpps ut som lustgas. Alltså ett överskott av kväve som inte bara är kostsamt för lantbrukaren men även för miljön (Canfield et al. 2017). Hur stor gödselgivan är beror till stor del på vad det är för gröda samt var någonstans rent geografiskt jordbruket befinner sig. I Skåne där jordbruksdriften är hög ligger kvävegivan på ungefär 132 kg/ha i jämförelse med i Norrland där kvävegivan ligger på 70 kg/ha. Genomsnittligt i Sverige låg kvävegivan på 117 kg/ha år 2016 där höstvetete hade högst kvävegiva på 157 kg/ha och havre hade lägst giva på 80 kg/ha (Jordbruksverket, 2017).

I takt med att jordens befolkning ökar så ökar även försörjningsbehovet vilket ställer stora krav på jordbruket (Bertilsson, 2008). På grund av de höga skördenivåerna som kvävegödsel kan ge har användningen fortsatt att öka (Ahlgren et al. 2015). Vid tillräcklig tillförsel av kväve blir till exempel utvecklingen av axet på sädesslag bättre och fler sidoskott samt större bladmassa bildas. Vid förhållanden där kväve är en begränsande faktor kan kvävegödsling dubblera eller till och med tredubbla avkastningen (Yara, 2019b). Som en konsekvens av ökad kvävetillförsel minskar dock den så kallade rot/skott kvoten. Det innebär att ovanjordisk biomassa ökar mer i förhållande till den underjordiska, vilket resulterar i proportionellt mindre rötter (Jing et al. 2009).

Tack vare kvävegödselns effekt på tillväxt och skördeutbyte kan kvävegödsling leda till ökat koldioxidupptag och lagring av kol i mark (Berglund & Wallman, 2011). I förhållande till övriga länder har Svenska jordar ett högt innehåll av kol. Orsaken till det höga kolinnehållet är främst genom höga skördar men dessutom har Sverige kalla vintrar som medför låg biologisk aktivitet som vid annars högre temperaturer bryter ned organiskt material (Berglund, 2009).

Jord delas ofta in i mineraljord och organogen jord. Mineraljord innebär jordarter som sand, grus och morän medan jord som innehåller mer än 20 viktprocent av organiskt material kallas för organogen jord, till exempel torv och gyttja (Statens geotekniska institut, 2019). Mineraljordar har därmed i förhållande till organogena jordar ett lågt innehåll av kol. Svenska åkermark består till största del av mineraljordar (Berglund, 2009).

Jorden bygger upp kol genom bland annat nedbrytning av skörderester och tillfört organiskt material (Berglund, 2017). Organiskt material som tillförs kan vara skörderester och olika organiska gödselmedel som till exempel stallgödsel (Berglund & Wallman, 2011). När organiskt material bryts ned genom oxidation kommer en del av kolet att förloras som koldioxid. Nedbrytningshastigheten är starkt beroende av temperaturen och gynnas av varmare förhållanden. Andra faktorer som styr oxidationen är tillgången på organiskt material, syre och vatten (Berglund, 2009).

Förutom att ta upp koldioxid och lagra kol i mark kan biomassa i form av grödor (spannmål, vall, sockerbetor etcetera) även användas för framställning av bioenergi (Jordbruksverket, 2018a). Vetegrödan kan till exempel bidra till etanolframställning (biogas) och havre kan användas för förbränning för att skapa värme i lokala i gårdar (Edström et al. 2007). Även restprodukterna som bildas efter skörd kan användas som bioenergi då de innehåller mycket organiskt material (Jordbruksverket, 2018a). En vanlig restprodukt från spannmål är halm som idag används främst för småskalig värmeproduktion (Edström et al. 2007).

Då kvävegödsel även bidrar till en ökad tillväxt och på så vis ökad biomassa som tar upp solenergi och koldioxid samt lagrar kol i växter och mark, kan användningen av kvävegödsel också gynna växthusgasbalansen (Anderson, 2006). Dessutom kan grödor och restprodukter från jordbruket omvandlas till bioenergi och på så sätt även ersätta fossila bränslen (Jordbruksverket, 2018a). Den frågeställning som ligger till grund för den här rapporten är att undersöka hur tillverkning och användning av kvävegödsel påverkar växthusgasbalansen.

1.1 Syfte

Syftet är att studera kvävegödsel från produktion till användning för att ta reda på om kvävegödsel har en negativ eller positiv inverkan på växthusgasbalansen.

1.2 Frågeställningar

- Hur stora är energi- och växthusgasförlusterna med kvävegödsling baserat på tillverkning och användning?
- Kan förlusterna kompenseras genom en ökad tillväxt av biomassa och ökad kollagring?

2 Metod

Metoden för den här studien har varit att göra beräkningar på växthusgasbalanser med hjälp av data och annan information från litteraturen. Litteratur som använts till beräkningarna har bland annat varit vetenskapliga artiklar, rapporter från olika myndigheter och organisationer.

Kvävegödsels energi- och växthusgasflöden från tillverkning till användning har identifierats med hjälp av litteraturen. Samtliga data har förts in i Excel och därefter presenterats i en tabell

med energi (MJ/kg N)- och koldioxidekvivalenter (kg CO₂-ekv/kg N) som rubriker. Genom att summera kostnader och vinster har nettobalansen beräknats för kvävegödselns (urea och ammoniumnitrat) kostnader och vinster från tillverkning till användning i jordbruk.

2.1 Datahantering och beräkningar

- Beräkningar och hantering av data har gjorts i excel.
- Datorprogrammet "GetData Graph Digitizer" har använts för att ta fram numeriska värden från resultat ur stapeldiagram i vetenskapliga artiklar.
- Enhetsomvandlingar har gjorts för att få rätt enhet i energi (MJ/kg N) och en del emissioner har omvandlats till koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv/kg N). Ett kg koldioxid motsvarar 1 CO₂-ekv medan ett kg lustgas motsvarar 298 CO₂-ekv och ett kg metan 25 CO₂-ekv. (Naturvårdsverket, u.å.).
- Då uppgifter från litteraturen har tagits fram på kolupptag och förändringen i kolförrådet som en effekt av tillsatt mängd kväve har omvandling till koldioxid behövt göras för att till slut få förändringen i koldioxidekvivalenter. Nedanstående beräkning har gjorts där kol har en molmassa (M) på 12 g/mol och koldioxid på 44 g/mol.

$$n_c(mol) = \frac{m_c(g)}{M_c\left(\frac{g}{mol}\right)} = \frac{1000}{12} = 83 mol$$

$$m_{CO_2} = M_{CO_2} \times n_c = 44 \times 83 = 3652 g = 3,65 kg = 3,65 CO_2 - ekv$$

- NTM Calc 4.0, en webbaserad kalkylator, har använts för att beräkna den energin som krävs för att transportera kvävegödsel från fabrik till gård samt vad energin motsvarar i koldioxidekvivalenter.
- Mer detaljerade beräkningar redovisas i utredningen som börjar från avsnitt 3. Avrundningar har gjorts till max 3 värdesiffror.

2.2 Insamling av litteratur

Rapporter har hämtats ifrån bland annat myndigheter som Naturvårdsverket, Jordbruksverket och Skogsstyrelsen, organisationer som Hushållningssällskapet och gödselmedelföretaget Yara samt från vetenskapliga artiklar. Sökmotorer som har använts för insamling av litteratur är Web of Science, Science direct och google. Insamling har även gjorts genom sekundära artiklar och deras referenser.

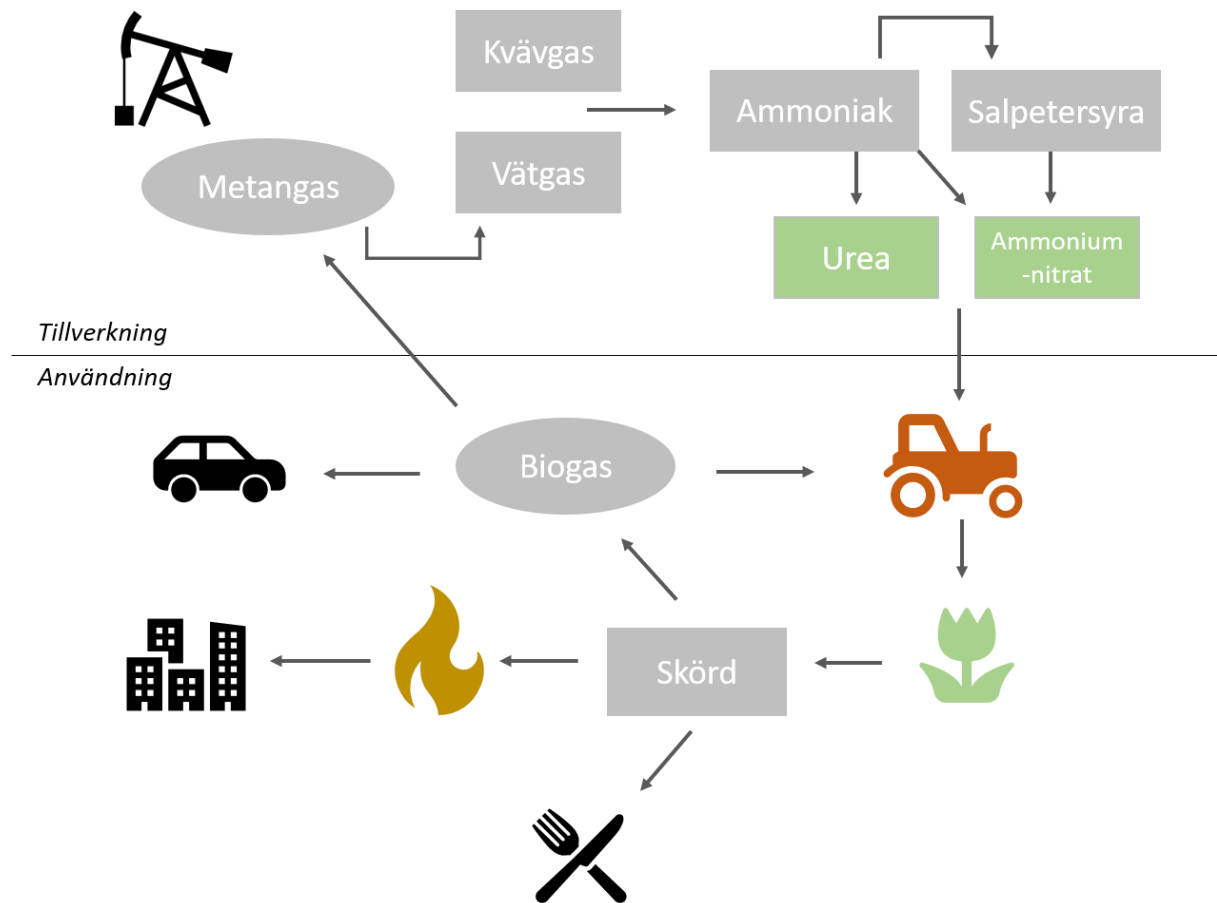
Sökord som har använts: Fertilizers, nitrogen, mineral fertilizers, carbon sequestration, carbon sink, nitrogen gas, steam reforming, methane, fossil fuels, tillverkning av kvävegödsel, mineralgödsel, biogas, rötning, yield, sweden, combustion, natural gas, production, agriculture, wheat, crops.

2.3 Avgränsningar

- Studien är baserad på svensk jordbruksmark med odling av spannmål.
- I nettobalansen har endast uträkning gjorts med hänsyn till modern teknik då den enligt Kasimir & Smith (2011) dominerar den svenska marknaden.
- Beräkningar har baserats på en kvävegiva om 117 kg/ha som enligt Jordbruksverket (2017) var den genomsnittliga givan i Sverige under 2016.
- Vid beräkning av transport från fabrik till gård baseras resultatet på en sträcka på ca 670 km mellan Porsgrunn i Norge, som enligt Yara är en av huvudanläggningarna, till Skåne eftersom de odlingsexempel som tas upp i studien rör södra delarna av Sverige.
- Studien hanterar kvävegödsel i formerna ammoniumnitrat och urea. Ammoniumnitrat har tagits med då den enligt Jordbruksverket (2018b) är en av de vanligaste kvävegödsel. Urea har inkluderats som en jämförelse med ammoniumnitrat då denna ej bidrar till något lustgasutsläpp vid tillverkning (Ahlgren, Bauer & Hulteberg, 2015).
- Kalkylen i nettobalansberäkningen har inkluderat produktionen av biomassa, men inte dess användning.

2.4 Flödesschema

Studien har genomförts genom att studera alla delsteg i kväveanvändningen från tillverkning till slutprodukt (Figur 1). Schemat visar även olika scenarier över hur skörden som en effekt av kvävegödsel kan nyttjas.



Figur 1. Flödesschema över systemet.

3 Resultat

Tabell 1 och 2 är sammanvägda resultat av utredningen där tabell 1 visar energi-och koldioxidbalanser som en funktion av tillsatt mängd kväve och tabell 2 visar energi-och koldioxidbalanser som funktion av odlingsareal. Värden per odlingsareal anges för en årlig kvävegiva på 117 kg/ha. Tabellerna innehåller resultat över nettobalanser för ammoniumnitrat respektive urea där båda gödselmedlen resulterar i ett ökat energi- och koldioxidupptag i nettobalansen som en effekt av kvävegödsling.

Den största energitillförsel sker under tillverkningsprocessen vid framställning av ammoniak på 34,5 MJ/kg N samt vid nedbrytning av organiskt material på 72,2 MJ/kg N (tabell 1). Energikostnaderna kompenseras dock av ökad biomassa (kärna, halm och rötter) som en effekt av kvävegödsling och därmed ökad lagring av energi.

Störst emissioner av växthusgaser sker under tillverkningsprocessen, där tillverkning av ammoniumnitrat resulterar i dubbelt så mycket emissioner som urea, men stora emissioner sker även när kvävegödsel omsätts i marken och lustgas frigörs motsvarande 2,38 kg CO₂-ekv/kg N (tabell 1). Även dessa förluster kompenseras senare av ökad biomassa som en effekt av kvävegödsling där ovanjordisk kärna och halm samt underjordiska rötter tar upp koldioxid och bidrar till ökad kollagring i marken.

Hur respektive siffra har tagits fram för delprocesserna i tabellerna 1 och 2 beskrivs mer detaljerat i avsnitten 3.1 – 3.4 nedan.

Tabell 1. Nettobalansberäkning av energi- och koldioxidekvivalenter i ett jordbrukssystem som funktion av tillförd mängd kväve.

Process	Energi (Mj/Kg N)		Kg CO2- ekv/kg N		Referenser
Tillverkning av kvävegödsel					
Produktion av metangas			-0,50	- 0,43- (-) 0,67 ¹	Weber & Clavin (2012)
Produktion av vätgas	- 34,5	-34,5- (-)50 ²	-1,75		(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Produktion av ammoniak			-0,25		(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Salpetersyra	11,0	5,0 - 11,0 ²	-2,5	- 9 – (-) 2,5 ²	(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Ammoniumnitrat	- 0,43	- 0,43- (-) 4,0 ²	0		(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Summa	- 23,9		-5,0		
Urea	- 7,2	- 7,2 – (-) 101 ²	0	1,6 ³	(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Summa	- 41,7		-2,5		
Användning av kvävegödsel					
Transport till gården	- 0,82		-0,038		(Berglund, M et al., 2009), (NTM Calc 4.0)
Spridning med traktor	- 0,92 ⁴	0,31-1,53 ⁵	-0,145 ⁴	- 0,025 – (-) 0,12 ⁵	(Berglund, M et al. 2009), (Karlsson & Johansson, 2008)
Lustgas från mark	0		-2,38	-0,894- (-) 8,94 ¹	(Kasimir Klemedtsson & Smith, 2011), (Kasimir Klemedtsson, 2010)
Summa	- 1,74		-2,56		
Upptag av CO₂ till jordbrukssystemet					
Kärnskörd	430 ⁴	198 – 662 ⁶	39,1 ⁴	18 - 60,2 ⁶	(Dai et al., 2016), (Bertilsson, 2008), (Delin & Stenberg, 2014)
Halm	640 ⁴	444 – 836 ⁶	49,8 ⁴	23 - 76,5 ⁶	(Dai et al., 2016), (Bertilsson, 2008), (Delin & Stenberg, 2014)
Summa (ovanjordisk)	1070		88,9		
Rötter	92,5 ⁴	37-148 ⁶	25,7 ⁴	37 - 14,3 ⁶	(Jing et al., 2009), (Bertilsson, 2008), (Delin & Stenberg, 2014)
Nedbrytning org. material	72,7		-20,2 ⁷		
Summa (kolförråd)	19,8		5,5⁴	3,7 - 7,3⁸	(Kätterer et al., 2012)
Nettobalans:					
Ammoniumnitrat	1064		86,8		
Urea	1046		89,3		

¹ Osäkerhetsspann

² Intervall från modern till gammal teknik

³ Vinst som ej räknas med då denna går förlorad vid senare tillfälle

⁴ Ett medelvärde av lägsta till högsta värde i intervallet

⁵ Motsvarar ett intervall med förbrukning av 1-5 liter diesel

⁶ Resultat som skiljer sig åt från två olika studier (Bertilsson, (2008) och Delin & Stenberg (2014))

⁷ Mellanskillnaden mellan summan i kolförråd och upptag i rötter

⁸ Motsvarar ett intervall från 1-2 kg kol som lagras per kg kväve

Tabell 2. Nettobalansuträkning av energi- och koldioxidekvivalenter i ett jordbrukssystem som funktion av odlingsyta.

Process	Energi (Mj/ha)		Kg CO ₂ -ekv/ha		Referenser
Tillverkning av kvävegödsel					
Produktion av metangas			-58,5	-50,3- (-) 78,4 ⁹	Weber & Clavin (2012)
Produktion av vätgas	- 4 040	-4040 - (-) 5 850 ¹⁰	-205		(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Produktion av ammoniak			-29,3		(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Salpetersyra	1 290	585-1 290 ¹⁰	- 293	-292- (-) 1 050 ¹⁰	(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Ammoniumnitrat	- 50,3	-50,3 - (-) 468 ¹⁰	0		(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Summa	- 2 700		- 585		
Urea	- 843	- 842- (-) 1 170 ¹⁰	0	187 ¹¹	(Kongshaug & Jenssen, 1998)
Summa	- 4 880		- 293		
Användning av kvävegödsel					
Transport till gården	- 95,9		- 4,45		(Berglund, M et al., 2009), (NTM Calc 4.0)
Spridning med traktor	- 108 ¹²	- 36,27- (-) 179 ¹³	- 17,0 ¹²	- 2,9- (-) 14,0 ¹³	(Berglund, M et al. 2009), (Karlsson & Johansson, 2008)
Lustgas från mark	0		-278	-105 - (-) 1045 ⁹	(Kasimir Klemedtsson & Smith, 2011), (Kasimir Klemedtsson, 2010)
Summa	204		-299		
Upptag av CO₂ till jordbrukssystemet					
Kärna	50 000 ¹²	23 100- 77 400 ¹⁴	4 575 ¹²	7 040- 2110 ¹⁴	(Dai et al., 2016), (Bertilsson, 2008), (Delin & Stenberg, 2014)
Halm	74 900 ¹²	52200- 98 800 ¹⁴	5 830 ¹²	2 690- 8 950 ¹⁴	(Dai et al., 2016), (Bertilsson, 2008), (Delin & Stenberg, 2014)
Summa (ovanjordisk)	125 000		10 400		
Rötter	10 800 ¹²	4 330- 17 300 ¹⁴	3 000 ¹²	4 330- 1 670 ¹⁴	(Jing et al., 2009), (Bertilsson, 2008), (Delin & Stenberg, 2014)
Nedbrytning org. material	-8 500		-2 360 ¹⁵		
Summa (kolförråd)	2 320		644	433-854 ¹⁶	(Kätterer et al., 2012)
Nettobalans:					
Ammoniumnitrat	125 000		10 200		
Urea	123 000		10 500		

⁹ Osäkerhetsspann

¹⁰ Intervall från modern till gammal teknik

¹¹ Vinst som ej räknas med då denna går förlorad vid senare tillfälle

¹² Ett medelvärde av lägsta till högsta värdet i intervallet

¹³ Motsvarar ett intervall med förbrukning av 1-5 liter diesel

¹⁴ Resultat som skiljer sig åt från två olika studier (Bertilsson, (2008) och Delin & Stenberg (2014)

¹⁵ Mellanskillnaden i summan i kolförråd och upptag i rötter

¹⁶ Motsvarar ett intervall från 1-2 kg kol som lagras per kg kväve

3.1 Tillverkning av kvävegödsel

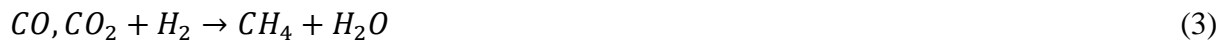
Energin som krävs för att framställa vätgas och därefter ammoniak är 34,5 MJ/kg N enligt dagens moderna teknik vilket motsvarar emissioner av koldioxid på 1,75 och 0,25 koldioxidekvivalenter/kg kväve (CO₂-ekv/kg N), för respektive delprocess (tabell 1). Trots ny teknik så finns det dock fortfarande äldre i bruk som kräver energi upp till 50 MJ/kg N (Kongshaug & Jenssen, 1998 Ahlgren et al. 2015).

De kemiska reaktionerna för framställningen av ammoniak sker enligt följande reaktionsformler (RF):

Ångreformerig av metan (från naturgas) för att bilda vätgas:



All CO och CO₂ tas bort för att inte förorena katalysatorn i steg 4:



Haber-Bosch metoden:



När ammoniak är framställd kan man välja att fortsätta tillverka bland annat urea och ammoniumnitrat (AN) (Gerlagh & van Dril, 1999).

AN

Till att börja med behöver salpetersyra (HNO₃) tillverkas. Detta görs genom att en del av ammoniak, genom förbränning, oxideras till kvävedioxid (NO₂). Efter nedkylning absorberar NO₂ vattenmolekyler och formar HNO₃. (Ahlgren et al. 2015). Den här delen av tillverkningsprocessen är exotermisk och beroende på om det är ny eller gammal teknik frigörs mellan 11-5 MJ/kg N (tabell 1) energi i form av värme (Kongshaug & Jenssen, 1998).

Förbränningen sker över ett katalysatornät av platina och rhodium och under denna process bildas växthusgasen lustgas (N₂O). För att mildra klimatpåverkan av lustgasutsläppet så används ofta SCR (Selective catalytic reduction) som på katalytisk väg reducerar nitratoxider (NO_x) till kvävgas och vatten (Naturvårdsverket. 2002). Reningstekniken reducerar emissioner av lustgas med 70-90 % (Berglund & Wallman, 2011). Enligt Kongshaug & Jenssen (1998) motsvarar emissionen lustgas 2,5 CO₂-ekv/kg N för modern teknik (tabell 1) men upp till 9 CO₂-ekv/kg N för äldre teknik utan rening. Genom lustgasreducering i form av katalysatorer minskas klimatavtrycket vid konventionell odling märkbart i jämförelse med äldre teknik (Berglund & Wallman, 2011).

Medan en del av NH_3 genererar HNO_3 kan den övriga delen istället reagera med HNO_3 och bilda AN enligt följande:



Det tillverkade AN indunstas därefter för att bilda en fast produkt. (Ahlgren et al. 2015).

Energien som krävs för att bilda AN är ungefär 0,43 MJ/kg N (tabell 1) vid modern teknik men 4,0 MJ/kg N vid äldre teknik. Reaktionen bidrar ej till någon emission av CO_2 -ekv. (Kongshaug & Jenssen, 2003)

Urea

Urea framställs från ammoniak enligt följande reaktionsformler:



Likt ammoniumnitrat indunstas produkten därefter för att bilda fast urea. (Gerlagh & van Dril, 1999)

Reaktionen för att bilda urea är energikrävande. Modern teknik kräver 7,2 MJ/kg N (tabell 1), men reaktionen har även en positiv effekt på växthusgasbalansen då den använder koldioxid som råvara för att driva processen (RF 6). Ett ungefärligt värde på 1,6 kg CO_2 -ekv/kg N förbrukas därmed i den här delprocessen men då samma andel CO_2 emitteras senare vid användning av gödselmedlet så rekommenderas det inte att ta med värdet vid nettobalansberäkningar (Kongshaug & Jenssen, 1998).

Förutom att naturgas inverkar på växthusgasbalansen genom att användas som råvara så bidrar naturgas även till emissioner vid själva utvinningen av resursen. I en review redovisar Weber & Clavin (2012) växthusgasutsläppen (CO_2 -ekv per MJ) från sex olika studier av konventionell framställning av naturgas, från utvinning till överföring (transport till kund) av gas (tabell 3).

Tabell 3. Koldioxidavtryck i g CO_2 -ekv/MJ energi från utvinning till överföring av konventionell naturgas.

Studie	Innan produktion	Produktion/bearbetning	Överföring	Medelvärde
Jiang	0,21	12,5	1,27	14,0
NETL	0,52	11,5	2,63	14,7
Stephenson	0,82	2,92	1,85	5,60
Burnham	1,72	15,9	1,17	18,8
Howarth	0,27	9,94	7,51	17,7
Best	0,97	13,0	2,15	16,1
Medelvärde	0,75	11,0	2,76	14,5

Då energin som krävs för att framställa ammoniak är 34,5 MJ/kg N innebär det, räknat på medelvärdet 14,5 g CO₂-ekv/MJ, att 0,50 kg CO₂-ekv/kg N emitteras vid produktionen av ammoniak från naturgas (tabell 1).

3.2 Transporter

Efter att kvävegödseln har tillverkats transporteras den till användare. Genom att använda den webbaserade kalkylatorn NTM Calc 4.0 kunde energiförbrukningen och emissionerna från transporten uppskattas. Med en sträcka från Porsgrunn (Norge) till Skåne (Sverige), på ca 670 km med en lastbil på 28-34 ton och en last på 25 ton kvävegödsel, blev energiförbrukningen 20 390 MJ vilket motsvarar 0,82 MJ/kg N och med emissioner på 948 CO₂-ekv. Emissioner per kilo kväve blev därmed 0,038 CO₂-ekv/kg N (Tabell 1).

Spridning av mineralgödsel med diesel som bränsle förbrukar mellan 1-5 liter/ha (Berglund et al., 2009) och enligt Karlsson & Johansson (2008) motsvarar 1 liter diesel 9,96 kWh. Det innebär att intervallet 1-5 l/ha motsvarar ett intervall på 35,9-179 MJ/ha. Baserat på genomsnittlig kvävegiva på 117 kg/ha resulterar spridningen av kvävegödsel i energiförbrukning på 0,31-1,53 MJ/kg N (tabell 1). Enligt Berglund et al. (2009) släpps det ut 81,2 g CO₂-ekv/MJ bränsle som används vilket innebär att spridningen ger utsläpp på 0,025-0,12 CO₂-ekv/kg N (tabell 1).

3.3 Lustgas från kväveomsättning

En beräkningsmodell som beskrivs enligt FN's klimatpanels (IPCC) riktlinjer är att se lustgasavgången som en funktion av tillsatt kväve. Beräkningar enligt denna modell visar att andelen emissioner av lustgas ökar med 1,0 % av tillsatt kväve. Data som ligger till grund för sambandet kommer från mätningar som pågått under ett helt år från olika studier. Metoden från IPCC är dock enkel och bäst känd inom livscykelanalyser. I Sverige använder man, vid metoder för att beräkna lustgasavgången, en emissionsfaktor på 0,8 % av tillsatt kväve istället, som är anpassad efter jordbruksmark och som effekt av kvävegödsel (Kasimir Klemedtsson & Smith, 2011). Då 1 kg lustgas motsvarar 298 kg CO₂-ekv innebär det att emissionen lustgas per kg kväve blir 2,38 CO₂-ekv (tabell 1). IPCC har även lagt till en osäkerhetsfaktor på 0,3-3% av emissionerna (Kasimir Klemedtsson (2010).

I en fältstudie som utförts på 10 olika platser i Europa under 2002 - 2004 mättes lustgas-emissioner för olika typer av gräsmarker och gödselgiva. Gräsmarkerna som mätningarna utfördes på hade behandlats med kombinationer av gödslad och betad, gödslad och skördad, ogödslad och betad samt ogödslad och skördad. Ett genomsnitt av de fyra typerna av gräsmarker visade att år 2002 resulterade i en emissionsfaktor på $1,46 \pm 0,01$ % och år 2003 och 2004 resulterade i emissionsfaktorer på $0,48 \pm 0,48$ % och $0,47 \pm 0,53$ %, för respektive år (Fletcher et al. 2007). Ett medelvärde för samtliga år visar en emissionsfaktor på 0,8 vilket inte är helt olikt IPCC:s standardvärde.

3.4 Kväveeffekt på tillväxt

I tabell 4 visas resultat från växtodlingsförsök med havre i Landskrona där olika mängd mineralgödsel har tillsatts. Data från försöken är baserade på sex växtföljdsomlopp för respektive giva under 24 år. Resultaten i de två första kolumnerna är hämtade som data direkt ifrån växtodlingsförsöken som visar kvävegivor från 0-150 kg och total kärnskörd för respektive giva (Bertilsson, 2008). Skörden visualiseras även i figur 2 där man kan se att kärnsköörden blir större ju större kvävegivan är men att kurvan börjar mattas av vid högsta kvävegivan på 150 kg.

Kvävets effekt på skörden i kg/ha har tagits fram genom att subtrahera skörd vid 0 kg tillsatt kväve från skördar med olika kvävegiva. Förändringen visualiseras i figur 3 som visar att kärnsköörden ökar som en effekt av ökad kvävegiva.

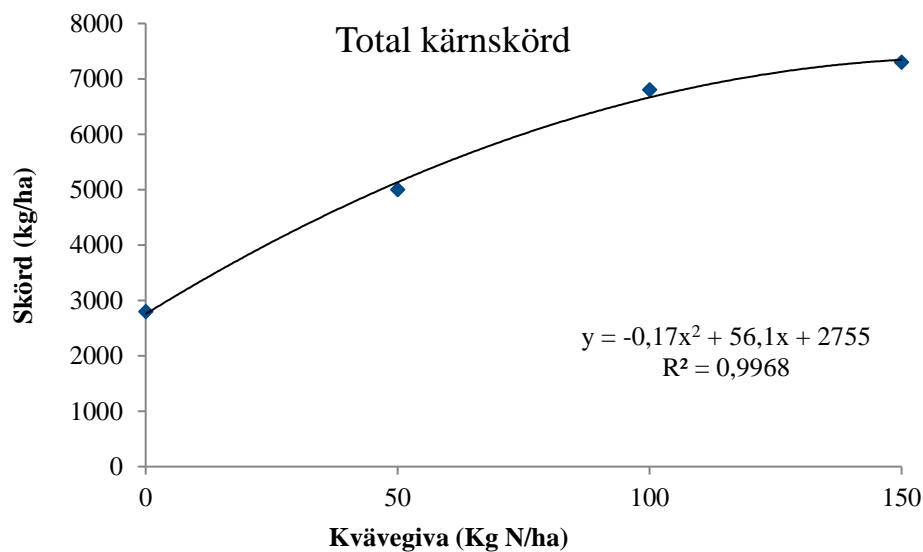
Kvävets effekt i kg/kg N, som innebär hur skörden förändras per kg kväve som tillsätts, har beräknats genom att dividera respektive kväveeffekt i kg/ha med dess kvävegiva.

Koldioxidekvivalenter per kg kväve (kg CO₂/kg N) har tagits fram med hjälp av databasen Phyllis2. I databasen finns data över flera studier gjorda i Danmark på vete och dess egenskaper. De olika studierna visar att kolinnehållet i ett kg torrs substans vete är 45%. Kolinnehåll per kilo kväve har därmed tagits fram genom att multiplicera kväveeffekten (kg/kg N) med 0,45. Värdet har därefter omvandlats i enlighet med koldioxidens molekylvikt.

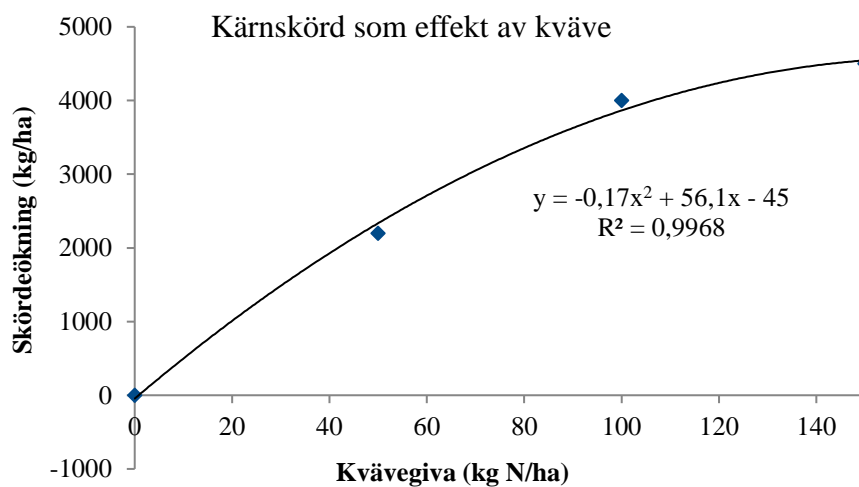
Beräknad skörd vid en kvävegiva på 117 kg har tagits fram genom ekvationen i figur 2 där X=117 medan värdet för den beräknade kväveeffekten i kg/ha har tagits fram genom ekvationen i figur 3. Resultaten för den här kvävegivan visar att 60,2 kg koldioxidekvivalenter tas upp i växtens kärna per kilo kväve som tillsätts (tabell 2 och 8).

Tabell 4. Kväveeffekter på kärnskörd (höstvete Landskrona)

Kvävegiva (kg N/ha)	Total skörd (kg/ha)	Kväveeffekt (kg/ha)	Kväveeffekt (Kg/kg N)	Kg CO ₂ /kg N
0	2800	0	0	0
50	5000	2200	44	73,9
100	6800	4000	40	67,2
150	7300	4500	30	50,4
Beräknad skörd				
117	6992	4192	35,8	60,2



Figur 2. Kärnskörd för olika kvävegivor 0-150 kg/ha (höstvet Landskrona)



Figur 3. Skördeökning som effekt av tillsatt mängd kväve i form av kvävegödsel (höstvet Landskrona)

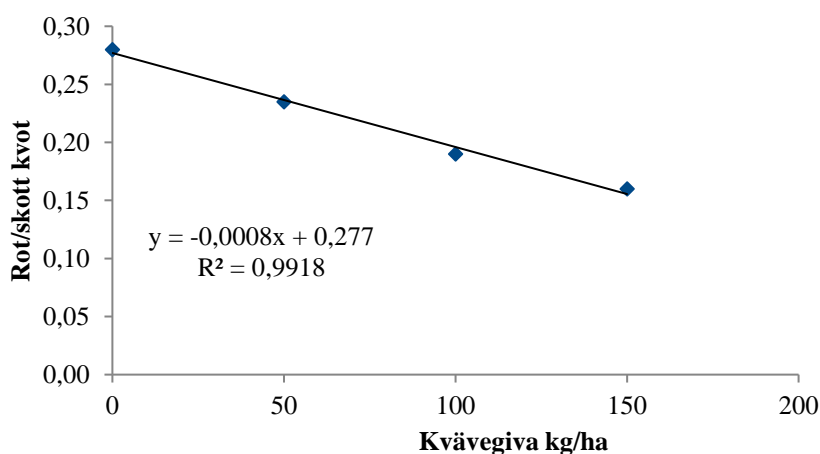
Harvest index (HI) är kärnskörden uttryckt som andel av den totala ovanjordiska biomassan. Genomsnittet för HI i en studie med 11 försök utförda i USA på vete visade värdet 0,44 med en variation på 0,33-0,61 (Dai et al. 2016). Resultaten av kärnskörden i tabell 4 har dividerats med 0,44 och gett resultat för den totala ovanjordiska biomassan (kärnan + halm) (tabell 5)

Tabell 5. Kväveeffekter på ovanjordisk biomassa (höstvetet Landskrona).

Kvävegiva (kg/ha)	Skörd (kg/ha)	Kväve effekt (kg/ha)	Kväveeffekt (Kg /kg N)	kg CO ₂ /kg N
0	6360	0	0	0
50	11 400	5000,0	100	168
100	15 500	9090	91	153
150	16 600	10 200	68	115
Beräknad skörd				
117	15 900	9530	81	137

Halmen, som är en restprodukt från spannmål, blir då mellanskillnaden av den ovanjordiska biomassan i tabell 5 och kärnan i tabell 4. Med en kvävegiva på 117 kg innebär det att halmen har en biomassa på 8990 kg/ha som ökar med en effekt om 45,2 kg halm/kg N och innehåller kol motsvarande 76,5 kg CO₂/kg N (tabell 1).

Utöver överjordisk biomassa finns det även underjordisk biomassa i form av rötter. Resultat från Jing et al. (2009) visar att en låg kvävegiva har en genomsnittlig rot/skott kvot på 0,28 vilket betyder att av totala grödan (axet + rötter) är 28 % rötter. Studien visar även att vid hög kvävegiva är kvoten istället i genomsnitt 0,16. Alltså, vid ökad kvävegiva desto större blir grödan med konsekvensen om mindre rötter i förhållande. Diagrammet i figur 4 visualiserar sambandet.



Figur 4. Rot/skott kvotens minskning som en konsekvens av kvävegiva (höstvetet Landskrona).

Den räta linjen i figur 4 togs fram genom lägsta och högsta kvot i förhållande till låg kvävegiva (beräknat på 0 kg kväve) och hög kvävegiva (beräknat på 150 kg kväve). Därefter beräknades kvoter för kvävegivorna 0, 50, 100, 117 och 150 kg som blev 0,28, 0,24, 0,19, 0,17 och 0,16 för respektive giva. Rotkvoterna har därefter multiplicerats med resultaten för den ovanjordiska biomassan (kg/ha) i tabell 5 för att få fram rötternas biomassa. Resultaten (tabell 7) säger att 14,3 kg CO₂-ekv/kg N (tabell 1) lagras i rötter.

Tabell 5. Kväveeffekter på underjordisk biomassa (rötter)(höstvet, Landskrona)

Kvävegiva (kg/ha)	Skörd (kg/ha)	Kväve effekt (kg/ha)	Kväveeffekt (Kg per kg N)	kg CO ₂ /kg N
0	1782	0,0	0	0,0
50	2671	889	18	29,8
100	2936	1155	12	19,4
150	2655	873	6	9,8
Beräknad skörd				
117	2776	994	8	14,3

I databasen Phyllis2 finns även data över energiinnehåll för olika spannmål odlade i Danmark och den säger att i ett kg torrs substans vete finns det 18,49 MJ energi. Genom att multiplicera kväveeffekten (kg/kg N) med 18,49 MJ/kg har därmed energiinnehållet per kilo kväve beräknats fram. Resultaten för beräknat koldioxid- och energiinnehåll för ovanjordisk och underjordisk biomassa visas i tabell 8 och tabell 1.

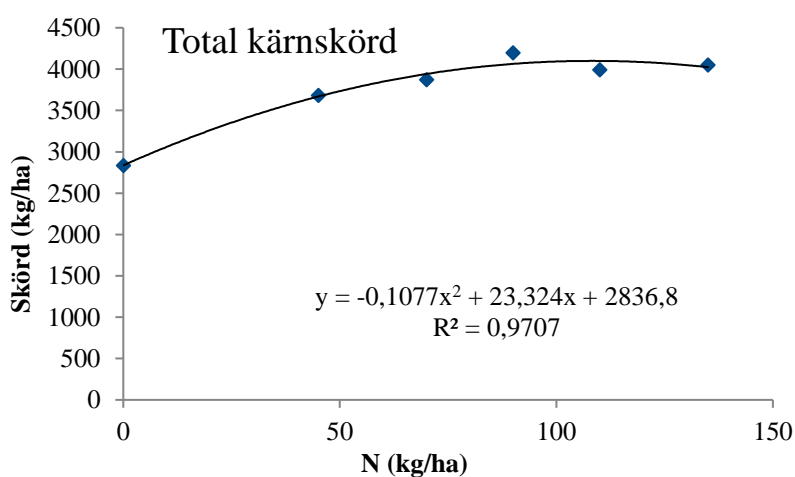
Tabell 6. Energi- och CO₂-ekv i höstvet som en effekt av kvävegödsling på 117 kg

Enhet	Kärnskörd	Halm	Rötter
MJ/kg N	662	836	148
Kg CO ₂ /kg N	60,2	76,5	14,3

Beräkningarna på höstvet har även tillämpats på data från studier av Delin & Stenberg (2014) för havre i syd-västra Sverige. Kvävegivor som angetts i den studien var 0, 45, 70, 90, 110 och 135. Genomsnittlig skörd har beräknats för tre olika år på varandra och resultat (tabell 9) säger att kväveeffekten på kärnskörd motsvarar 18,0 kg CO₂-ekv/kg N (tabell 1).

Tabell 7. Kväveffekter på kärnskörd (havre syd-västra sverige)

Kvävegiva (kg/ha)	Skörd (kg/ha)	Kväve effekt (kg/ha)	Kväveeffekt (Kg per kg N)	kg CO ₂ /kg N
0	2835	0	0	0
45	3683	848	18,8	31,6
70	3872	1037	14,8	24,9
90	4199	1364	15,2	25,5
110	3994	1159	10,5	17,7
135	4050	1215	9,0	16,2
Beräknad skörd				
117	4091	1256	10,7	18,0



Figur 5 Kärnskörd för olika kvävegivor 0-135 kg/ha (havre syd-västra sverige)

Halm och rötter beräknades även fram på samma sätt och resultaten visas i tabell 10 och tabell 1. Här kan man se att en kvävegiva på 117 kg har en negativ effekt på kollagring i rötter.

Tabell 8. Energi- och CO₂-ekv i havre som en effekt av kvävegödsling på 117 kg

Enhet	Kärnskörd	Halm	Rötter
MJ/kg N	198	444	-37,0
Kg CO ₂ /kg N	18,0	23,0	-2,6

När organiskt material omsätts i marken sker det även utsläpp av koldioxid (Berglund, 2017). En del av koldioxiden som tas upp i biomassa kommer alltså att släppas ut igen. Enligt Kätterer et al. (2012) är summan för förändrat kolförråd (upptag i rötter samt utsläpp vid nedbrytning) 1-2 kg kol per kg kväve som tillsätts. Omvandlat till koldioxid blir det 3,7-7,3 CO₂-ekv/kg N med ett medelvärde på 5 CO₂-ekv/ kg N räknat från lägsta till högsta värde i intervallet (tabell 1). Genom att beräkna skillnaden mellan värdet på förändring i kolförråd samt värdet för upptag i rötter har därmed koldioxiden som går förlorad vid nedbrytning tagits fram på -20,2 CO₂-ekv/kg N (tabell 1).

Motsvarande energiflöden för nedbrytningen och förändring i kolförråd har även beräknats med hjälp av rötternas energiflöde på 92,5 MJ/kg N samt dess kolinnehåll motsvarande 25,7 CO₂-ekv som ger 3,6 MJ/CO₂-ekv (tabell 1). Förändring i kolförrådet tar därmed upp energi på 19,8 MJ/kg N och nedbrytningen förbrukar energi på 72,7 MJ/kg N (tabell 1).

3.5 Bioenergi

En åtgärd för att minska användningen av fossila bränslen är att utnyttja de svenska markers höga potential för produktion av bioenergi. Vetegrödan kan till exempel bidra till etanolframställning och havre kan förbrännas för värmeproduktion. Idag bidrar det svenska jordbruket med endast ca 2% men det finns en större potential än vad som utnyttjas. Några exempel skulle kunna vara att utnyttja mer restprodukter från livsmedelproduktion och att odla energigrödor.

Biogas är ett typ av bränsle som framställs med hjälp av bioenergi. Biogas består till största delen av metangas (45-85 %) och blir därmed likvärdig naturgas men med skillnaden att biobränslet härstammar från förnybart material. Bränslets utvinning domineras av restprodukter från odling och avfall. De största användningsområdena för biogas är transport, värme och el men vanligaste är att det utnyttjas lokalt där biogasanläggningen finns i närheten och transporteras via ledningar till den enskilde nyttjaren. Den totala produktionen av biogas i Sverige ligger på cirka 1.4 TWh per år och har en potential att bli minst tio gånger så stor med hjälp av biogas från samhällets och lantbrukets restprodukter. Om biogas används för ersättning av fossila bränslen så beräknas koldioxidutsläppen att minska med cirka 90 procent (Naturvårdsverket, 2012).

Biogas kan även utnyttjas som ett förnybart alternativ till att producera vätgas under tillverkningsprocessen av kvävegödsel (RF 1). Genom att uppgradera biogasen så att koldioxid avlägsnas kvarstår endast metan i gasen som då blir ett förnybart alternativ (Ahlgren, 2015). En livscykelanalys av kvävegödsel har gjorts av Ahlgren et al. (2010) där energianvändningen från biogas studerades i förhållande till naturgas. Resultatet från studier gjorda på Sveriges sydvästra jordbruksmarker visade att med hjälp av biogas som råvara så behövs endast 2.3-3.7 MJ/kg N fossil energi användas under hela kedjan vilket kan jämföras med 35 MJ/kg N som i genomsnitt används med naturgas som råvara.

4 Diskussion

Resultatet visar att störst energiförbrukning sker vid tillverkningen av ammoniak samt vid nedbrytning av organiskt material. Energiförbrukningen kompenseras dock av ökad biomassa som en funktion av kvävegödsel som tar upp och lagrar energi. Kvävegödsel kan därmed ur energisynpunkt anses ge en positiv nettoeffekt på energibalansen på grund av den stora energilagringen i biomassa som dessutom kan användas vidare. Värt att tillägga är att nettobalansen är beräknad med hänsyn till modern teknik och att äldre teknik, som fortfarande används i andra delar av Europa, förbrukar mer energi. Vid utvinning av naturgas, som används för att framställa metangas, går det förmodligen också åt en viss energimängd som inte är medräknad i kalkylen. Men trots dessa anmärkningar så visar resultatet ett energiöverskott som troligtvis inte skulle gå helt förlorat av ytterligare energikostnader.

Resultatet visar även en positiv nettoeffekt på växthusgasbalansen där de emissioner som släpps ut, främst vid framställning av ammoniumnitrat och när kvävegödsel omsätts i marken, kompenseras av den ökade biomassan som kan ta upp koldioxid igen. Även här har resultatet utgått från modern teknik som renar utsläppen från lustgas, äldre teknik finns fortfarande i bruk som inte använder denna rening vilket medför att mer än hälften av lustgas släpps ut vid dessa anläggningar.

4.1 Energianvändning

Nyttan med överskottet av energin beror i sin tur på hur denna används. Oavsett användningsområde kommer koldioxiden i biomassan till slut att släppas ut, exempelvis genom förbränning, förmultning eller annan typ av omvandling. Energin skulle kunna användas för biogasproduktion men när organiskt material bryts ned med hjälp av mikroorganismer i röt-kammaren släpps det ut koldioxid igen, men enligt Naturvårdsverket (2012) så anses biogas ändå som ett förnybart bränsle då andelen emissioner av koldioxid ändå skulle släppas ut om det organiska materialet hade legat kvar på marken och förmultnat. Utöver det så använder man dessutom råvaror som exempelvis grödor från jordbruket som är förnybara i det anseendet att de kan nybildas till skillnad mot fossila bränslen som är en ändlig resurs (Sveriges lantbruksuniversitet, 2017; Energimyndigheten, 2014). Men då det tar ett tag för biomassa att växa och lagra kol så kan man säga att det är en förnybar källa men med tillfälliga emissioner som skapar obalans i atmosfären. Om biogas skulle användas som en ersättning av fossila bränslen beräknas växthusgasutsläppen att minska med 90 procent (Naturvårdsverket, 2012) vilket kan anses medföra ytterligare kompensation för användning av kvävegödsel.

Ett problem med att använda grödor för produktion av biogas är att det kan ställa sig i konkurrens med livsmedelsproduktion. Men om biogasen endast utnyttjar den delen av åkermark som idag står orörd, ca 6 %, så uppstår ingen konkurrens. Om den outnyttjade marken används för biogasproduktion kan man istället se det som att marken hålls brukbar och i ett bra skick istället för att dessa ska växas igen. Konkurrens behöver inte nödvändigtvis

heller ske om man utnyttjar restprodukter från matproduktionen till exempel halm (Naturvårdsverket, 2012).

4.2 Potentiella åtgärder

Enligt det europeiska rådet ska de samlade växthusgasutsläppen minska med 80-95 procent fram till år 2050 (Naturvårdsverket, 2019). Trots att kvävegödsel visar på en positiv nettoeffekt på växthusgasbalansen så bör alltså ytterligare åtgärder tas till för att minska utsläpp för att vi med säkerhet ska klara av utmaningen.

En potentiell åtgärd skulle vara att använda förnybara råvaror för produktion av vätgas i tillverkningsprocessen av kvävegödsel. Genom att uppgradera biogasen till ren metangas så minskas de fossila resurserna. Dock har undersökningar gjorts som visat att förnybara resurser endast har en potential till att producera 6-65 ton N/dag, beroende på teknik, medan de fossila råvarorna kan producera upp till 2 500 ton/dag (Ahlgren et al. 2015). En möjlig orsak till begränsningen kan vara att biogas som alternativ teknik inte är tillräckligt kommersiell ännu och produceras inte i samma skala som den stora produktionen av naturgas gör idag. Det finns inte heller tillräckligt med produktionsanläggningar för att kunna tillgodose efterfrågan på biogas som en effekt av att det idag finns för få tankställen och fordon för biogas vilket sätter hinder för etableringen. Dessutom är produktionen av biogas kostsam och tidskrävande att driva (Naturvårdsverket, 2012).

Det som också gör produktionen av biogas intressant är att den, förutom att producera biogas, även producerar en gödselprodukt. Den näring som fanns i växten före processen finns även kvar i slutprodukten, så kallad rötresten (Baky et al, 2006). Det är näringsämnen som kväve, fosfor, kalium, kalcium och magnesium som inte läcker ut i produktionen då det är ett slutet system (Naturvårdsverket, 2012). Studier har visat att rötgödsel har motsvarande effekt som kvävegödsel och för att minska beroendet av kvävegödsel i form av importerad handelsgödsel kan rötgödsel därmed komplettera en del av givan och på så vis dra ned på emissionerna som sker vid tillverkningen av kvävegödsel (Baky et al. 2006).

För att minska på lustgasutsläppet vid omsättningen i marken kan en så kallad precisionsgödsling användas. Den här gödslingstekniken är ett sätt att anpassa kvävegivan från mineralgödsel utefter grödans behov med hjälp av en så kallad kvävesensor. Vid den här metoden fördelas kvävet ut istället för att samma mängd kväve tillförs hela fältet (Berglund, 2017). Kvävesensor är därmed bra för att optimera kvävegivan som vid användning kan minska givan med 5-15 % samt att skörden kan ökas med ca 3 % om metoden används. Genom att kväveutnyttjandet minskar ger precisionsgödsling även möjligheten att reducera lustgasavgången från mark (Berglund, 2017).

Även om kvävegödsling resulterar till minskad netto energi- och växthusgasförluster betyder det inte att kvävegödsling är bra ur alla synvinklar. Som nämndes inledningsvis bidrar de industriella källorna idag med dubbelt så mycket av växttillgängligt kväve som den naturliga kvävefixeringen gör. Som konsekvens av ökad tillförsel av ammonium ansamlas ett överskott

av kväve i jorden som avgår i form av lustgas men kväve läcker även med vattenflöden och sprids i naturen vilket ger andra stora konsekvenser på miljön, till exempel eutrofiering (Canfield et al. 2017).

4.3 Eventuella osäkerheter

Lustgas

Värdet för emissioner av lustgas kommer från en modell av IPCC. Problemet med den här modellen enligt Berglund (2017) är att modellen endast tar hänsyn till kvävegivan och inte övriga faktorer som också kan komma att påverka utsläppet. Det innebär att faktorer som påverkar denitrifikationen (andelen kväve, halten syre, pH och temperatur) inte är medräknade. Det är visserligen faktorer som majoriteten styrs av väderförhållanden och som är svåra att styra.

Som nämnt tidigare i den här studien finns det även ett osäkerhetsspann på 0,3-3% som inte har tagits hänsyn till vilket innebär att resultatet kan vara rejält under- eller överskattat då intervallet i koldioxidekvivalenter blir 0,894-8,94 vilket skiljer sig från gällande värde på 2,38.

En mer pålitlig emissionsfaktor hade varit en som varit grundad på flertalet studier för respektive region som studien avser, i det här fallet på svensk jordbruksmark, samt under flera år för att inkludera olika årstider och därmed väderförhållanden. Enligt Berglund (2017) tas dock prover i fält med låg frekvens, vilket medför att luckor uppstår i mätdata som kan vara viktiga för resultatet. Resultatet kan därmed både underskattas och överskattas även vid fältförsök. Provtagningarna görs enligt Berglund (2017) även på en liten yta som begränsar resultaten då den rumsliga variationen inte kommer med.

Kolinlagring/avgång

Beräkningarna på skördenivåer som en effekt av kvävegiva är tagna från data från två olika studier med sammanlagt 9 växtföljder under flera år. Att det är flera växtföljder som har gjorts efter varandra ger ett statistiskt förtroende på resultatet då väderförhållanden kan variera för olika år. Studierna är även gjorda i ungefär samma region, syd-västra och södra Sverige, vilket innebär att klimatet är någorlunda likt. För att göra resultatet ännu mer pålitligt bör data från ännu fler studier i samma region användas. Men för att det ska vara möjligt krävs det även att fler sådana studier görs så att data finns tillgängligt.

Data från de två olika studierna fick väldigt olika resultat för samtliga värden varav den i Landskrona gav högre skördenivåer och därmed inlagring av energi- och kol och anledningen till det kan vara just olika typer av jordbruksmark. Kolinlagring i rötter gav exempelvis positiv effekt på kolinlagring varav den andra fick en negativ inlagring på samma kvävegiva (117 kg). Enligt Berglund (2017) är upptaget av kol beroende av vad det är för gröda eftersom olika grödor har olika stor tillväxt, mullhalten i jorden samt hur marken bearbetas då icke-bearbetad mark genererar större kolinlagring än bearbetad mark. Eftersom studierna avser två olika grödor kan det vara en av orsaken, att vete ger större tillväxt än havre. Andelen kväve som fanns i jorden vid försökets start bör även ha en påverkan då denna kan

mineraliseras och göras tillgänglig till plantan. Då studierna är gjorda på olika jordbruksmark kan någon eller flera av nämnda faktorer vara orsaken till olika resultat. Den studie som hade negativ kolinlagring hade dessutom pågått med växtföljder under tre år varav två av tre år hade sämre väderförhållanden med torra vårar vilket kan ha hämmat tillväxten och på så vis kolinlagringen i rötter (Delin & Stenberg, 2014).

Energi- och CO₂-ekv för nedbrytningen är baserade på mellanskillnaden på värden i kolförråd samt i rötter. Siffrorna för kolförrådet är dock endast baserade på två olika platser (Kätterer, et al. 2012) med fyra försök på vardera platser. Fler försök hade varit bra att ha med för att göra resultatet mer statistiskt pålitligt. Nedbrytningen är även starkt beroende av temperatur vilket gör att fler försök under flera år behövs för att få med olika vädervariationer.

Motsvarande energiflöden för nedbrytningen och förändring i kolförråd har även beräknats med hjälp av rötternas energiflöde på 92,5 MJ/kg N samt dess kolinnehåll motsvarande 25,7 CO₂-ekv som ger 3,6 MJ/CO₂-ekv (tabell 8). Förändring i kolförrådet tar därmed upp energi på 19,8 MJ/kg N och nedbrytningen förbrukar energi på 72,7 MJ/kg N (tabell 8).

Harvest index

HI som tagits fram av Dai et al. (2016) på veteodling har använts för att beräkna den total ovanjordiska biomassan och på så vis halmen. Värdet 0,44 är dock ett medelvärde på 11 försök i USA på grund av att ingen data på HI kunde hittas för svenska förhållanden. Detta kan komma att påverka resultatet.

Rot/skott-kvot

Rot/skott-kvoterna 0,16 till 0,28 (Jing et al. 2009) för låg respektive hög giva har tagits fram experimentellt genom att odla vete i en kammare. Värdena representerar därmed inte fullt naturliga förhållanden. Då studien inte har värden för vad låg och hög kvävegiva motsvarar i siffror har uppskattning gjorts i den här rapporten där låg giva motsvarar 0 och hög giva motsvarar den högsta givan som använts i de två fältstudierna i södra och syd-västra Sverige. Då grova uppskattningar gjorts innebär det att osäkerheter även skapats här.

Känslighet i resultatet

Resultatet som visar att kvävegödsling leder till minskade netto energi- och växthusgasförluster innehåller olika osäkerheter. Känsligheten i tillverkningsprocessen ligger främst i vilken typ av teknik som används (modern till äldre) medan det finns fler osäkerheter i resultatet vad gäller processerna under själva jordbruket (omsättning av kväve i jordbruksmark och biomassans upptag av energi och CO₂-ekv). Osäkerheten som uppstår i resultatet för användning av kvävegödsel i förhållande till tillverkningen av kvävegödsel ligger i att jordbruksmarker är dynamiska system som varierar med väder, vart marken befinner sig rent geografiskt, mullhalten i marken, vad det är för typ av gröda som odlas etcetera. Desto fler studier som tas med i beräkningen desto mindre känsligt blir resultatet av dessa varierande faktorer. Förluster som sker under tillverkningsprocessen kan i jämförelse studeras under mer kontrollerade förhållanden då dessa inte styrs av yttre faktorer och resultaten för denna delprocess blir därmed mindre känsliga.

5 Slutsats

- Tillverkning och användning av kvävegödsel har en påverkan på energi- och växthusgasbalansen genom att stora mängder energi utnyttjas och växthusgaser emitteras.
- Den påverkan som kvävegödsel har är dock liten i förhållande till den effekt som kvävegödslingen kan ha genom ökad tillväxt och biomassa vilket leder till ökad energi- och koldioxidupptag.
- Hur man använder överskottet av energin i biomassan som en effekt av kvävegödsel ger olika former av ytterligare nyttor som kan kompensera den negativa påverkan genom att de ersätter fossila bränslen.
- Även om kvävegödsel leder till minskade netto energi- och växthusgasförluster så har den även en negativ påverkan på vår miljö genom läckage och på vis eutrofiering.
- Känsligheten i resultatet ligger till största del i när kvävegödsel ska användas i jordbruket.
- Data för den här studien är baserad på litteratur vilket även det har skapat osäkerheter i resultatet eftersom litteraturen är en begränsande faktor.

5.1 Tackord

Jag vill framföra ett varmt tack till min handledare Göran Wallin för all den hjälp och stöttning jag har fått under arbetets gång. Jag vill även tacka mina nära och kära som har gett mig kraft när det har känts stressigt och svårt. Till sist vill jag även tacka Lennart Bornmalm för bra organisering i kursen.

6 Referenslista

Artiklar

Ahlgren, S., Bauer, F., Hulteberg, C. (2015). *Produktion av kvävegödsel baserad på förnybar energi - en översikt av teknik, miljöeffekter och ekonomi för några alternativ*. (Rapport nr 082). Uppsala: Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet.

Ahlgren S., Bernesson S., Nordberg Å. Hansson P-A. (2010). Nitrogen fertiliser production based on biogas – Energy input, environmental impact and land use. *Bioresource Technology*, **101**. 7181-7184.

Andersson, A. (2006). *Mineralgödsel - energimässigt uthålligt?* (Växtpressen nr 2). Yara AB.

Baky A., Nordberg Å., Palm O., Rodhe L., Salomon E. (2006). *Rötrest från biogasanläggningar – användning i lantbruket.* (JTI informerar: nr 115). Uppsala: JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Berglund M. (2017). *Emissionsfaktorer för utvärdering av klimatteffekter av vissa insatser i landsbygdsprogrammet.* Halland: Hushållningssällskapet.

Berglund M & Wallman M. (2011). *Utsläpp av växthusgaser i växtodling – underlag till klimatcertifiering.* (Rapport nr 1). Klimatcertifiering för mat.

Berglund, M., Cederberg C., Clason C., Henriksson M., Törner L. (2009). *Jordbrukets klimatpåverkan – underlag för att beräkna växthusgasutsläpp på gårdsnivå och nulägesanalyser av exempelgårdar.* (JOKER-projektet). Halland: Hushållningssällskapet.

Bertilsson, G. (2008). *Kväveförsörjning i en uthållig växtodling.* (Rapport nr 5871). Bromma: Naturvårdsverket.

Black-Samuelsson S., Eriksson H., Henning D., Janse G., Kaneryd L., Lundborg A. & Niemi Hjulfors L. (2017). *Bioenergi på rätt sätt – om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder.* (Rapport nr 10). Skogsstyrelsen.

Båth. B. (u.å.) *Växtnäringsstyrning - Växtnäringsstyrning i ekologisk odling i växthus.* Jönköping: Jordbruksverket

Canfield D. E., Glazer A. N., Falkowski P. G. (2017). The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle. *Science*, **330** (6001), 192-196. DOI: 10.1126/science.1186120.

Dai J., Bean B., Brown B., Bruening W., Edwards J., Flowers M., ... Wiersma J. (2016). Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass and Bioenergy*. **82**. 223-227.

Delin. S., Stenberg M. (2014). Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response on loamy sand in Sweden. *European Journal of Agronomy*, **52**. 291-296.

Edström M, Forsberg M, Johansson C. (2007). *Energiutbyte från åkergrödor- några exempel från odling till användning.* (JTI informerar: nr 117). Uppsala: JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Ehrnebo, M. (2005). *Spridning av flytgödsel.* (Jordbruksinformation: nr 15). Linköping: Jordbruksverket.

Einartsson, P. (2011). *KVÄVE– klarar vi oss med en fjärdedel?* (Ekologiskt lantbruk: nr 2).

- Fletcher C. R., Ambus P., Skiba U., Rees R. M., Hensen A., van Amstel A., ...Grosz B. (2007). Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **121**. 135-152.
- Gerlagh, T. & van Dril, A.W.N. (1999) *The fertiliser industry and its energy use*. (ECN-C—99-045). ECN Policy Studies.
- Gissén C. & Larsson I. (2008). *Miljömedvetna och uthålliga odlingsformer 1987-2005*. (Landskap trädgård jordbruk: nr 2008:1) Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.
- ICF Consulting Canada. (2012). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Natural Gas*.
- Jing L., Shi-Qing L., Yi L., Xiao-Li C. (2009). Effects of increased ammonia on root/shoot ratio, grain yield and nitrogen use efficiency of two wheat varieties with various N supply. *Plant soil environ.*, **55**. **7**. 273-280.
- Karlsson I & Johansson A. (2008). *Beräkningsmodell för bensin respektive dieselförbrukning per kommun*. Statistiska Centralbyrån.
- Kasimir Klemedtsson Å., Smith K. A. (2011). The significance of nitrous oxide emission due to cropping of grain for biofuel production: a Swedish perspective. *Biogeosciences*, **8**. 3581-3591. DOI: 10.5194/bg-8-3581-2011.
- Kasimir Klemedtsson Å. (2010). *Hur mycket lustgas blir det vid odling av biobränslen på åkermark i Sverige?* (ER 2010:16). Statens energimyndighet.
- Kongshaug G., Jenssen T. K. (2003). Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. *International Fertilizer Industry Association*, **509**. 273-289.
- Kätterer T., Bolinder M A., Berglund K., Kirchmann H. (2012). Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern europe. *Agriculture and greenhouse gases: NJF seminar*, **453**. 181-198.
- Lund A. (2003). *För mycket reaktivt kväve!* (Odlaren 3:2003).
- Naturvårdsverket. (2012). *Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter – Goda svenska exempel*. (Rapport nr 6518). Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2002). *Utsläpp av ammoniak och lustgas: från förbränningsanläggningar med SNCR/SCR*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Nordborg M., Berndes G., Dimitriou I., Henriksson A., Mola-Yudego B., Rosenqvist H. (2018). Energy analysis of willow production for bioenergy in Sweden. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **93**. 473-482.

Salomon E., Wivstad M. (2013). *Rötrest från biogasanläggningar - återföring av växtnäring i ekologisk produktion*. Uppsala: SLU, EPOK – Centrum för ekologisk produktion och konsumtion.

Weber C. L., Clavin C. (2012) Life Cycle Carbon Footprint of Shale Gas: Review of Evidence and Implications. *Environmental Science & Technology*. **46**. 5688-5695. DOI: 10.1021/es300375n.

Webbsidor

Energigas. (2017). Vad är naturgas? Hämtad 2019-05-28 från <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/naturgas/vad-aer-naturgas/>

Energimyndigheten. (2014). Fossila energikällor. Hämtad 2019-05-28 från <http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fossil-energi/>

Jordbruksverket. (2018a). Energigrödor ger förnybar energi. Hämtad 2019-04-30 från <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/energigrödor/energigrödorgerfornybarenergi.4.132f52df15b3f8ef0ad1c03e.html>

Jordbruksverket. (2018b). Mineralgödsel i sockerbetsodling. Hämtad 2019-04-29 från <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/jordbruksgrödor/sockerbetor/vaxtnaring/mineralgodsel.4.32b12c7f12940112a7c800037558.html>

Jordbruksverket. (2017). Jordbruksverket i siffror. Hämtad 2019-05-14 från <https://jordbruketsiffror.wordpress.com/2017/09/11/i-genomsnitt-anvandes-107-kg-kvave-per-hektar-godslad-areal-for-de-grödor-som-skordades-ar-2016/>

Naturvårdsverket. (2019). Sveriges del av EU:s klimatmål. Hämtad 2019-05-28 från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatataganden/>

Naturvårdsverket. (u.å.). Koldioxidekvivalenter. Hämtad 2019-05-15 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/>

NTMCalc Basic 4.0. (u.å.) Environmental Performance Calculator. Hämtad 2019-05-21 från <https://www.transportmeasures.org/ntmcalc/v4/basic/index.html#/>

Skogsstyrelsen. (2017). Att gödsla. Hämtad 2019-04-11 från <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/godsling/att-godsla/>

Statens geotekniska institut. (2019). Jordmateriallära. Hämtad 2019-04-25 från <http://www.swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/>

Sveriges lantbruksuniversitet. (2017). Klimatnyttan med energi från flisad träbiomassa har beräknats. Hämtad 2019-05-20 från <https://www.slu.se/ew-nyheter/2017/6/klimatnyttan-med-energi-fran-flisad-trabiomassa-har-beraknats/>

Yara. (2019). Gödslingsråd för vårvete – Kompletteringsgödsling. Hämtad 2019-05-14 från https://www.yara.se/vaxtnaring/vete/godslingsrad_varvete/kompletteringsgodsling/

Yara. (u.å). Yara N-Sensor. Hämtad 2019-04-24 från <https://www.yara.se/vaxtnaring/verktygsladan/yara-n-sensor/>

Statens offentliga utredningar (SOU)

Lunds tekniska högskola. (2007). *Produktionsförutsättningar för biobränslen inom svenskt jordbruk*. (SOU 2007:36). Stockholm: Edita Sverige AB