



# Jordbearbetningsmetoders påverkan på växthusgasemissioner från åkermark

Hur kan kunskapen användas i Sverige?

---

Moa Magnusson Osmund

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

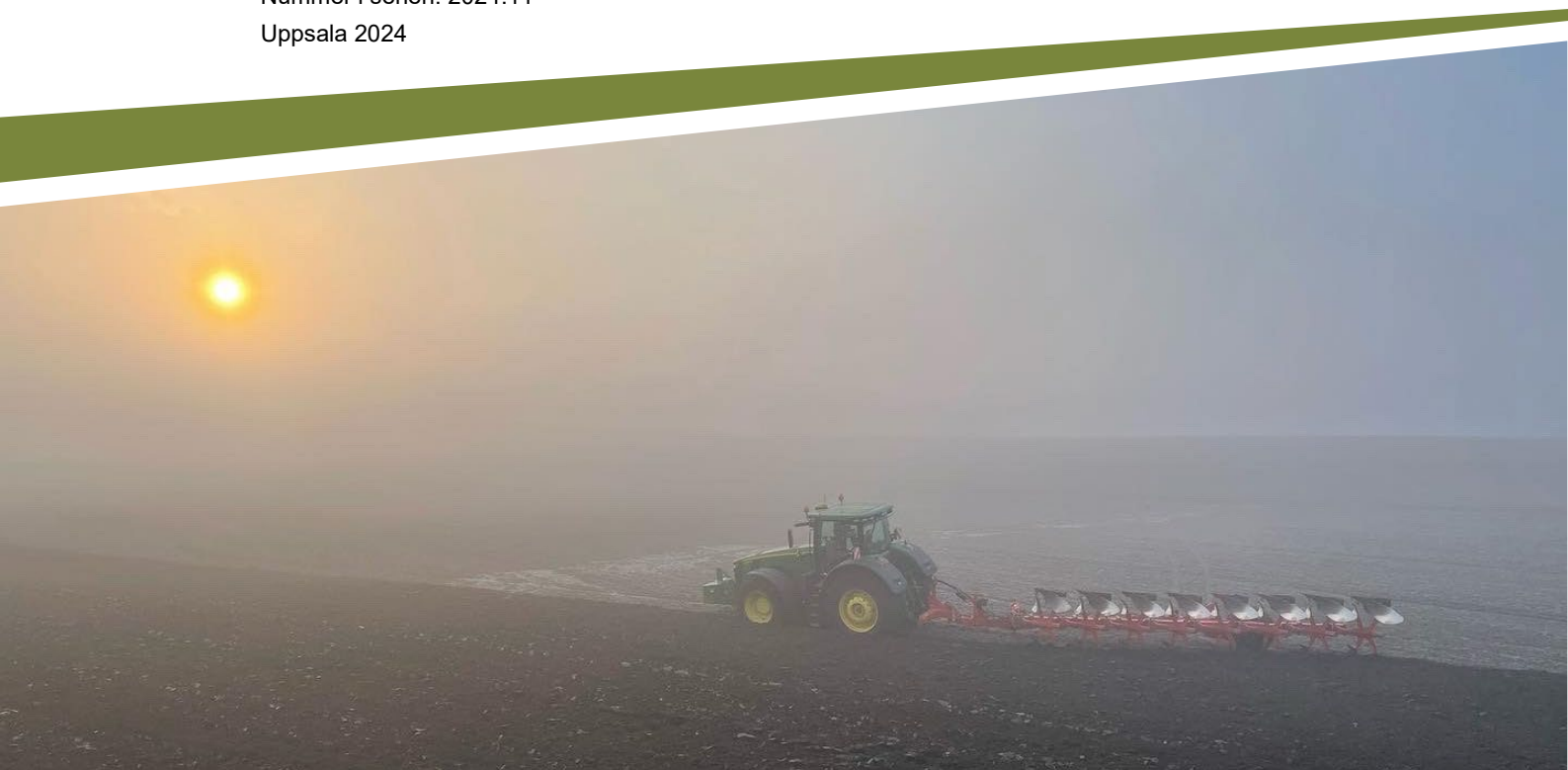
Institutionen för mark och miljö

Växtodlingsprogrammet

Examensarbeten / Institutionen för mark och miljö, SLU

Nummer i serien: 2024:11

Uppsala 2024



# Jordbearbetningsmetoders påverkan på växthusgasemissioner från åkermark. Hur kan kunskapen användas i Sverige?

*Tillage effects on greenhouse gas emissions from arable land. How can this knowledge be used in Sweden?*

Moa Magnusson Osmund

**Handledare:** Thomas Keller, SLU, institutionen för mark och miljö  
**Examinator:** Helena Aronsson, SLU, institutionen för mark och miljö

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i biologi  
**Kurskod:** EX0894  
**Program/utbildning:** Växtodlingsprogrammet  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för vatten och miljö  
**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2024  
**Omslagsbild:** Valter Appelberg  
**Upphovsrätt:** Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

**Nyckelord:** Direktsådd, reducerad jordbearbetning, plöjning, växthusgasemissioner

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakultet för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för mark och miljö

## Sammanfattning

De pågående klimatförändringarna är något som är allmänt känt och är ett omtalat ämne. Det är främst gaserna koldioxid (CO<sub>2</sub>), lustgas (N<sub>2</sub>O) och metan (CH<sub>4</sub>) som bidrar till växthuseffekten och klimatförändringar. Jordbruket är en av de sektorer som bidrar mest till ökade växthusgasemissioner globalt och i Sverige. Utsläppen kan bland annat kopplas till växtodlingen där jordbearbetning är en av de bidragande faktorerna. I denna uppsats har en litteraturstudie gjorts där syftet har varit att undersöka hur jordbearbetningsmetoder kan påverka växthusgasemissioner från åkermark. Litteraturstudien har också haft som syfte att identifiera vilken forskning som gjorts i Sverige samt hur internationella studier kan användas i en svensk kontext. Forskningsstudier som främst undersökt nordiska och europeiska odlingssystem och jordarter har valts ut. Det är möjligt att dra slutsatsen att den forskning som finns på detta ämne visar tvetydiga resultat. Koldioxidutsläppen är generellt större om jorden plöjs. Reducerad bearbetning ger oftast ökade lustgasemissioner, åtminstone kortsiktigt. Jordbearbetning har ingen eller liten påverkan på metanemissioner. Direktsådd är den metod som kan minska växthusgasemissioner globalt. Lite forskning på hur valet av jordbearbetningsmetod påverkar växthusgasemissioner från svensk åkermark har gjorts. Men de slutsatser som tas upp i internationella studier gäller troligtvis även för svenska jordar och odlingssystem. Det finns dock svårigheter med att implementera direktsådd i Sverige. Framför allt på grund av de minskade skördenivåerna det skulle innebära. Det är tydligt att det saknas omfattande forskning inom ämnet, speciellt för Europa och Norden. Det skulle bland annat behövas fler studier som undersöker vilken jordbearbetningsmetod som på sikt skulle kunna minska emissionerna från åkermark och göra så jordarna blir långsiktiga nettosänkor för växthusgaser.

*Nyckelord: Direktsådd, reducerad jordbearbetning, plöjning, växthusgasemissioner*

## Abstract

Climate change is something that is widely known and highly relevant in today's society. The gases carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and methane (CH<sub>4</sub>) mainly contribute to the greenhouse effect and climate change. Agriculture is one of the sectors that contributes the most to increased greenhouse gas emissions globally and in Sweden. A part of the emissions can be linked to crop cultivation where tillage is one of the contributing factors. In this essay, a literature study has been conducted where the aim has been to investigate how tillage methods can affect greenhouse gas emissions from arable land. The literature study also aimed to identify the research that has been done in Sweden and how international studies can be used in a Swedish context. Research studies that mainly investigated Nordic and European cultivation systems and soil types were sorted out. Present research shows ambiguous results. Carbon dioxide emissions are generally greater in ploughed soils. Reduced tillage usually results in increased nitrous oxide emissions, at least in the short term. Tillage has little or no effect on methane emissions. Globally, no-tillage is the method that will reduce greenhouse gas emissions the most. There is little research that has been done on how different tillage methods affect greenhouse gas emissions from Swedish arable land. Although, the results raised in international studies probably also apply to Swedish soils and farming systems. However, there are difficulties with implementing no-tillage in Sweden. Mostly, due to the decreased harvest levels it would entail. There is a lack of extensive research on the subject, especially from Europe and the Nordics. For example, more studies that investigate which tillage method contributes to climate mitigation the most and how soils can become long term net sinks are needed.

*Keywords: Greenhouse gas emissions, no-tillage, ploughing, reduced tillage.*

# Tabellförteckning

Tabell 1. Litteratursammanställning som visar olika studiers resultat gällande hur jordbearbetning bidrar till ökade eller minskade utsläpp av växthusgaserna koldioxid, lustgas och metan.....	24
Tabell 2. Olika jordarter och dess påverkan på lustgasemissioner vid direktsådd (Shakoor et al. 2021). Jordarterna klassificeras utifrån USDA-systemet.....	28
Tabell 3. Olika jordarter och dess bidrag till ökade metanemissioner vid direktsådd (Shakoor et al. 2021). Jordarterna klassificeras utifrån USDA-systemet. ....	32

# Figurförteckning

Figur 1. Schematisk bild över den stegvisa oxidationen av ammonium till nitrat. (Kollberg, 2024).....	14
Figur 2. Schematisk bild över reduktionen av nitrat till kvävgas. (Kollberg, 2024).....	14
Figur 3. Sveriges årsmedeltemperatur 1860-2021. Röda staplar visar högre temperaturer och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Linjen visar medelvärdet över ungefär 10 år. (SMHI, 2024).....	16
Figur 4. Sveriges årsnederbörd 1880-2021. Gröna staplar visar högre nederbörd och orangea lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Linjen visar ett beräknat medelvärde över ungefär 10 år. (SMHI, 2024).....	17
Figur 5. Jordartskarta som visar de dominerande jordarterna på svensk åkermark angivna enligt WRB-systemet. (Jordbruksverket, 2023) .....	18
Figur 6. Traktor som plöjer med en vändskiveplog. (Folkesson, 2024).....	19
Figur 7. Traktor som utför harvning. (Folkesson, 2024).....	20
Figur 8. Direktsådd (Keller, 2024). .....	20
Figur 9. Karta som visar vart de internationella studierna är gjorda. (Magnusson Osmund, 2024).....	22

# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning .....</b>	<b>5</b>
<b>Figurförteckning.....</b>	<b>6</b>
<b>Ordförklaringar .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Inledning .....</b>	<b>12</b>
1.0 Koldioxid, CO <sub>2</sub> .....	12
1.1 Lustgas, N <sub>2</sub> O.....	13
1.2 Metan, CH <sub>4</sub> .....	14
1.3 Hur kan växthusgasemissioner mätas? .....	15
1.4 Sveriges klimat och jordarter .....	15
1.4.1 Sveriges klimat .....	16
1.4.2 Sveriges jordar och odlingsförutsättningar .....	17
1.5 Jordbearbetning .....	18
1.5.1 Plöjning .....	19
1.5.2 Reducerad jordbearbetning .....	19
1.5.3 Jordbearbetning i Sverige.....	20
1.6 Syfte och frågeställningar .....	21
1.6.1 Frågeställningar .....	21
<b>2. Metod.....</b>	<b>22</b>
2.0 Avgränsningar .....	22
<b>3. Resultat .....</b>	<b>24</b>
3.0 Jordbearbetning och koldioxidemissioner.....	24
3.0.1 Organiskt material.....	25
3.0.2 Marktemperatur .....	25
3.0.3 Vattenhalt och syrehalt .....	26
3.0.4 Jordart.....	26
3.1 Jordbearbetning och lustgasemissioner .....	27
3.1.1 Vattenhalt och syrehalt .....	28
3.1.2 Jordart.....	28
3.1.3 Marktemperatur .....	29
3.1.4 Organiskt material.....	29
3.1.5 Långsiktig implementering av reducerad jordbearbetning och lustgasemissioner .....	30

3.2	Jordbearbetning och metanemissioner.....	30
3.2.1	Vattenhalt.....	31
3.2.2	Organiskt material.....	31
3.2.3	Jordart.....	32
<b>4.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>33</b>
4.0	Jordbearbetning och växthusgasemissioner .....	33
4.0.1	Jordbearbetning och koldioxidemissioner .....	33
4.0.2	Lustgasemissioner .....	34
4.0.3	Metanemissioner .....	34
4.1	Jordbearbetningens effekt på växthusgasemissioner ur en svensk kontext .....	35
4.1.1	Jordbearbetning och emissioner i Sverige .....	35
4.1.2	Direktsådd.....	36
4.2	Slutsats .....	36
	<b>Referenser.....</b>	<b>38</b>
	<u>    </u> <b>Tack .....</b>	<b>44</b>



# Ordförklaringar

Adsorption	När ett fast ämne upptar och binder ämnen från en gas eller en vätska. Det kan även vara när ett gränsskikt mellan vätska och vätska eller mellan vätska och gas attraherar varandra (Nationalencyklopedin u.å.).
Aerob process	En process som behöver tillgång till fritt syre (Nationalencyklopedin u.å.).
Anaerob process	En process som inte behöver tillgång till fritt syre (Nationalencyklopedin u.å.).
Autotrofer	Organismer som utnyttjar solenergi för att bilda organiska ämnen av oorganiska (Nationalencyklopedin u.å.).
Bulkdensitet	Ett sätt att avgöra hur kompakt en jord är som en konsekvens av markanvändning och bearbetning av jorden. Det anges som massan eller vikten hos en viss volym jord. Bulkdensiteten påverkar bland annat infiltration, porositet, rotdjup, mikroorganismer och näringstillgänglighet (Indoria et al. 2020).
C:N kvot	Viktskvoten mellan organiskt kol och kväve i växtmaterial som kan ge en indikation på omsättningshastigheten av organiskt material i marken (Eriksson et al. 2011).
GWP	Global warming potential. Ett värde på en växthusgas uppvärmningspotential som gör det möjligt att jämföra mängden energi som ett ton gasemissioner absorberar under en given tidsperiod. Oftast under en 100 års period och i jämförelse med utsläpp av ett ton koldioxid (Vallero 2019).

Heterotrofer	Organismer som inte kan ombilda oorganiska ämnen till organiska (Nationalencyklopedin u.å).
Jordart	Lösa avlagringar som förekommer ovanpå fast berg. De flesta jordarter är vittrat och sönderdelat bergmaterial (minerogena jordarter). Vissa jordarter har även bildats ur döda växt- och djurrester (organiska jordarter) (Stendahl 2020).
Jordens textur	Uttrycker kornstorleksfördelningen i en jordart och handlar om proportionen mellan sand, silt och ler (Ritchey & McGrath u.å.).
Jordmån	En jordmån är den övre delen av en jordavlagring där modermaterialens egenskaper påverkats av olika markprocesser och mer eller mindre förändrats (Eriksson et al. 2011).
Koldioxidekvivalenter	En gemensam enhet där växthusgasers uppvärmningspotential översätts till det totala bidraget till den globala uppvärmningen de olika gaserna ger (Naturvårdsverket 2023)
Kolsänka	En process där koldioxid från atmosfären lagras under en kortare eller längre tid. Det kan till exempel vara en skog eller åkermark. (Nationalencyklopedin u.å.).
Loam	En jordtextur som har en jämn fördelning mellan sand och lerpartiklar (Ritchey & McGrath u.å.).
Porsystem i marken	Proportionen av jordens volym som inte består av fast material (Nimmo 2013).
SWC	Soil water content. Ett mått på volymen eller massan vatten i en bestämd volym eller massa jord (Voroney 2019)
SOC	Soil organic carbon.
SOM	Soil organic matter.

USDA-systemet	Ett system för att klassificera jordarter framtaget av United States Department of Agriculture, USDA. Jordarna delas in i 12 olika ordningar som baseras på att jordarnas egenskaper tydligt skiljer sig åt till följd av hur de uppkommit (Soil Survey staff 1999).
Växthusgaser	Samlingsnamn för gaser som värmer upp jordytan genom att absorbera energi och hindra energi från att försvinna ut från atmosfären (Vallero 2019)
WFPS	Water filled pore space. Hur stor del av markens porsystem som är fyllt med vatten.
WRB-systemet	The World Reference Base for Soil Resources. Ett system för att klassificera jordarter framtaget av International Union of Soil Sciences (IUSS). Systemet baseras på analyser som gjorts i fält där det tagits hänsyn till olika jordegenskaper och jordartsskapande processer. Jordar namnges sedan efter horisonter, egenskaper och material. (IUSS Working Group WRB 2022).

# 1. Inledning

Sedan industrialiseringen har mänskliga aktiviteter orsakat klimatförändringar som kommer påverka vår miljö så som vi känner den. Den främsta orsaken till förändringarna är ökade utsläpp av växthusgaser, framför allt koldioxid (CO<sub>2</sub>), lustgas (N<sub>2</sub>O) och metan (CH<sub>4</sub>). De orsakar klimatförändringar genom att absorbera och emittera energi från atmosfären. Koncentrationen växthusgaser förväntas öka med 50 procent mellan år 2000 och 2030 vilket kommer orsaka ytterligare förändringar i både väder och klimat på jorden (Chataut et al. 2023).

Jordbruket är en av de viktigaste källorna till ökade utsläpp och står för ungefär 12% av de globala antropogena utsläppen av växthusgaser (Chataut et al. 2023). Tillsammans med industri och transportsektorn är jordbruket en av de tre aktörerna som bidrar mest till Sveriges utsläpp av växthusgaser. År 2022 stod jordbruket för 14 % av Sveriges totala utsläpp. Det motsvarar ungefär 6.51 miljoner koldioxidekvivalenter. Utsläppen är framför allt kopplat till växtodlingen och djurhållningen (Naturvårdsverket 2022). Utsläppen av växthusgaser från svensk åkermark har i genomsnitt varit ungefär 2,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år under perioden 1990-2022. (Naturvårdsverket 2024). Utsläpp av växthusgaser från jordbruksmark är kopplade till olika markprocesser såsom respiration, nedbrytning, nitrifikation och denitrifikation (Tóth et al. 2018).

## 1.0 Koldioxid, CO<sub>2</sub>

Koldioxid är den gas som har högst koncentration i atmosfären av de tre gaser som tas upp i denna rapport. Det är koldioxid och metan som främst bidrar till den globala uppvärmningen (Calvin et al. 2023). Under 2022 rapporterades nettoutsläpp på 2,97 Mton koldioxid från svensk jordbruksmark (Naturvårdsverket 2024). Det togs då hänsyn till att det sker en nettoinlagring av koldioxid i mineraljordar, motsvarande 2,4 Mton koldioxid, samt ett nettoutsläpp från organogena jordar (Poeplau et al. 2015).

Koldioxid kan avges till atmosfären från jordbruksmark via markrespiration. Det är en biologisk process som sker då markorganismer bryter ned organiskt material (SOM) för att utvinna energi (Adhikari et al. 2023). Respiration från rötter och annan markfauna kan också bidra till ytterligare utsläpp. Markrespirationsmängden och hastigheten kan påverkas av en rad olika faktorer, bland annat temperatur, fukt, porositet och jordtyp. Jordbearbetning som plöjning, variationen av grödor, kvävegödsling och sammansättningen av skörderester kan också bidra till förändring av respirationen (Adhikari et al. 2023).

Koldioxid kan också avges från marken via erosion. Markerosion är en naturlig process som drivs av vind och vatten genom att jordpartiklar bryts loss och transporteras bort (Lal 2020). Detta innefattar endast lätta partiklar som ler- och siltpartiklar men även organiskt kol i marken (SOC). En del av det organiska kolet som för flyttas avges till atmosfären som koldioxid. Koldioxidemissionerna kan minska på platsen där erosionen sker för att istället öka på platserna dit partiklarna förflyttas (Lal 2020).

I naturliga ekosystem och i jordbruket kan marken vara en kolsänka för koldioxid från atmosfären (Lal 2020). SOC är skyddat från mikrobiella processer då det är inbäddat i olika komplex eller stabila strukturer och aggregat. När de naturliga ekosystemen störs, vilket sker när jorden brukas av människan, minskar skyddet och risken att SOC blir utsatt för erosion och nedbrytningen som utförs av mikroorganismer ökar. Detta minskar jordens bördighet men bidrar också till en ökning av koldioxid i atmosfären (Lal 2020). Risken för erosion ökar även när marken lämnas bar eller plöjs eftersom den då blir mer exponerad (Lal 2019).

Att gynna kolinbindningen i marken ses som en viktig aspekt för att minska lantbrukets klimatpåverkan. Hur stor kolinbindningen blir beror på hur marken brukas men även lokala miljöfaktorer som nederbörd och temperatur har betydelse (Henryson et al. 2022). I Sverige har kolinbindningen ökat sedan mätningarna av SOC började under 1980-talet. Svenska mineraljordar har agerat som en kolsänka de senaste årtiondena. Detta på grund av den stora mängden vall som odlas i Sverige (Poeplau et al. 2015).

## 1.1 Lustgas, N<sub>2</sub>O

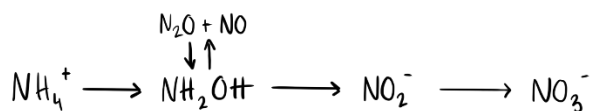
Lustgas, N<sub>2</sub>O bidrar till växthuseffekten samt spelar en roll i att ozonlagret tunnas ut. Lustgas har även en hög GWP i förhållande till koldioxid (Kim et al. 2013). Enligt IPCCs fifth assessment report (2014) har lustgas en 265 gånger högre GWP än ett ton koldioxid under en 100 års period (Stocker et al. 2013).

De huvudsakliga utsläppen av lustgas härstammar från jordbruket, industri, förbränning av biomassa samt indirekta utsläpp från läckage och nedfall av reaktivt kväve från atmosfären (Reay et al. 2012). Av dessa så är jordbruket den viktigaste källan. Utsläppen har ökat globalt sedan industrialiseringen, mycket på grund av expanderingen av jordbruksmark men även på grund av en ökad användning av gödselmedel. Utsläppen förväntas även att öka till följd av den växande befolkningen och kravet på en ökad livsmedelsproduktion (Reay et al. 2012).

Ungefär 80% av de globala lustgasutsläppen härstammar från jordbruket men de globala utsläppen är svåra att beräkna då mätvärdena kan fluktuera mycket. (Chataut et al. 2023). Globalt uppskattas lustgasutsläppen från åkermark till  $0.82 \pm 0.34 \text{ Tg N yr}^{-1}$  under 1961–2014 (Wang et al. 2020). Lustgas från jordbruksmark stod för 38 procent av de totala utsläppen från svensk jordbrukssektor under 2022. (Naturvårdsverket 2022).

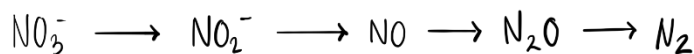
Lustgasavgång från marken sker via olika biologiska processer där  $\text{N}_2\text{O}$  både kan produceras och konsumeras. Det kan handla om olika former av nitrifikation och denitrifikation som utförs av mikroorganismer (Kim et al. 2013). Aerob nitrifikation utförs av autotrofer där det sker en stegvis oxidation av ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), först till hydroxylamin ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ), sedan till nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) och slutligen till nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Vid den enzymatiska nedbrytningen av hydroxylamin och nitrit kan lustgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) produceras tillsammans med andra gaser som innehåller kväve (N) (Se figur 1) (Kim et al. 2013). Denitrifikation utförs av heterotrofer via flertalet reduktioner. Nitrat reduceras till nitrit som i sin tur reduceras till kväveoxid (NO). Kväveoxid reduceras sedan till lustgas som slutligen reduceras till kvävgas ( $\text{N}_2$ ) (Se figur 2). Denna process sker då nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) används som slutlig elektronacceptor i respirationen då organiskt material bryts ned under anaeroba förhållanden (Kim et al. 2013).

### Nitrifikation



Figur 1. Schematisk bild över den stegvisa oxidationen av ammonium till nitrat. (Kollberg, 2024).

### Denitrifikation



Figur 2. Schematisk bild över reduktionen av nitrat till kvävgas. (Kollberg, 2024)

## 1.2 Metan, $\text{CH}_4$

En stor del av utsläppen av metan kommer från jordbruket, cirka 40%. Utsläppen har sitt främsta ursprung från idisslares fodermältningsystem men kan även komma från vattenmättade jordar, till exempel från risodlingar (Jr et al. 2021). Metan har dessutom en 28 gånger större GWP än koldioxid under en 100 års period (Jr et al. 2021)

Metan kan avgå från marken till atmosfären under anaerob nedbrytning av organiskt material som utförs av mikroorganismer (Levy et al. 2012). Detta sker då koldioxid används som slutgiltig elektronacceptor i en miljö där det råder extremt reducerande förhållanden (Eriksson et al. 2011). Vid produktion av metan sker ofta samtidigt en oxidation av metan som utförs av metanoxiderande bakterier (Smith & Murrell 2009). Dessa organismer använder metan som deras kol- och energikälla genom att bryta ned  $\text{CH}_4$  med hjälp av enzymet metanmonooxygenas. Bakterierna spelar en viktig roll i att minska mängden metan från atmosfären (Smith & Murrell 2009). Odlingsbar jord är oftast aerob och ses generellt som en sänka för metan i atmosfären (O'Neill et al. 2021). Intensiv brukning i form av jordbearbetning och etablering av grödor har dock gjort att jordarnas kapacitet att oxidera metan minskat (O'Neill et al. 2021)

### 1.3 Hur kan växthusgasemissioner mätas?

Vid mätning av växthusgasemissioner från jordbruksmark är det vanligt att en "non-steady-state" teknik används. Det innebär att en jordyta temporärt täcks med en kammare och sedan mäts hur gaskoncentrationen stiger som funktion av tid (Maier et al. 2022). Användningen av kammare kan skilja sig mycket åt och det finns risk att det uppstår osäkerheter i data, speciellt när det ska uppskattas hur stora utsläppen är. Detta beror främst på att det inte skett tillräckligt kontinuerliga mätningar eller att mätningarna gjorts på en för liten yta (Maier et al. 2022).

Metoden har länge använts för att mäta koldioxidavgång men är även möjlig att använda för lustgas och metan vilket blivit mer vanligt på senare år. Det är dock fortfarande vanligt att jordprover i form av till exempel cylinderprover tas i fält. Dessa prover tas sedan till ett laboratorium och där utförs gasemissionsmätningar för lustgas och metan med hjälp av bland annat gaskromatografi (Maier et al. 2022).

När det gäller mätning av koldioxid studeras ofta nettoeffekten, alltså om marken blir en kolkälla eller kolsänka. Detta kan göras genom att använda kolbalansmodeller som ICBM modeller. I dessa modeller används kunskapen om nedbrytningskinetik och data över kol och kvävepoolen i marken för att beräkna markens kolbalanser i ett 30 årigt tidsperspektiv (Kätterer & Andrén 2001).

### 1.4 Sveriges klimat och jordarter

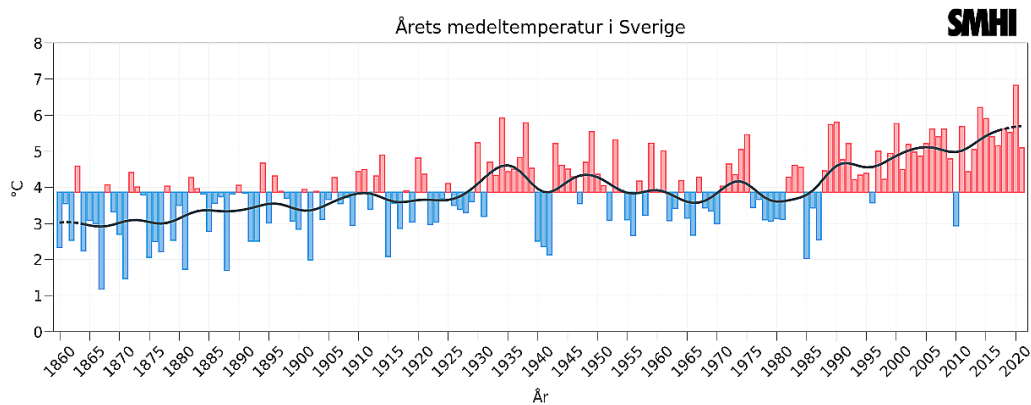
Växthusgasemissioner från åkermark påverkas av klimatet samt av olika jordarters egenskaper (Li et al. 2023). Att ha kunskaper om Sveriges klimat och jordarter ses

därför som nödvändiga för att förstå hur detta har betydelse för växthusgasutsläpp från svensk åkermark.

### 1.4.1 Sveriges klimat

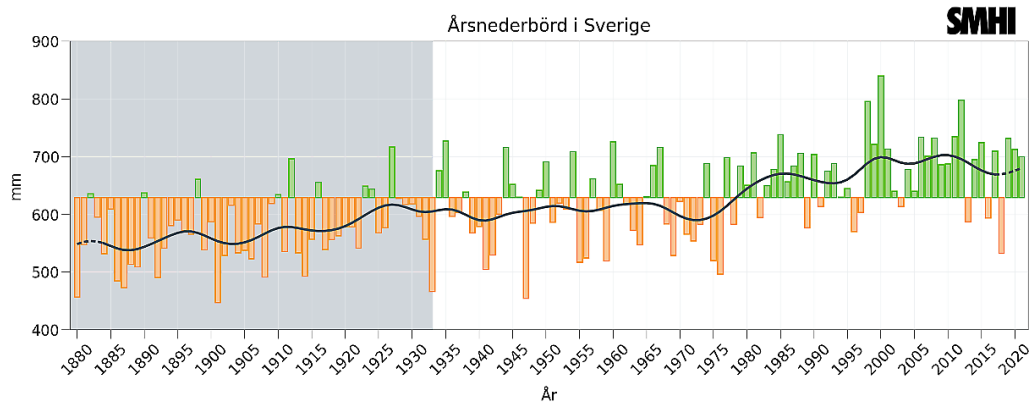
Utifrån årsmedeltemperaturen och årsmedelnederbörden kan olika områden i världen delas in i olika klimattyper som har betydelse för jordmånsbildningen. Sverige tillhör de områden som har humida klimat (Eriksson et al. 2011). Det kännetecknas av att nederbörden årligen är större än den vattenmängd som avdunstar. Det innebär att det ofta uppstår ett vattenöverskott i marken som sedan bildar grundvatten (Eriksson et al. 2011). Sveriges årsmedelnederbörd är mellan 500-800 mm per år (SMHI 2024).

Det är en tydlig trend att det kommer bli varmare men även något blötare i Sverige som en konsekvens av klimatförändringarna (SMHI 2024). Sedan 1990-talets början har en tydlig uppvärmning skett i jämförelse med den förra normalperioden 1961–1990 (Se figur 3). Om nederbörden från samma perioder jämförs syns även en tydlig ökning i nederbörd i större delen av landet (Se figur 4). Eftersom både temperatur och nederbörd ökat är det även möjligt att konstatera att avdunstningen och tillrinningen gjort detsamma (SMHI 2024).



Figur 3. Sveriges årsmedeltemperatur 1860-2021. Röda staplar visar högre temperaturer och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Linjen visar medelvärdet över ungefär 10 år. (SMHI, 2024)



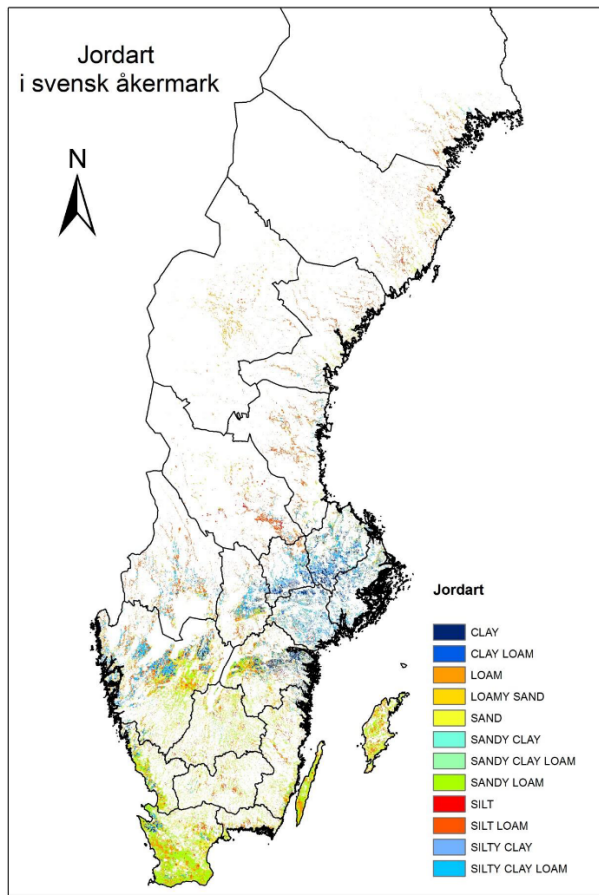


Figur 4. Sveriges årsnederbörd 1880-2021. Gröna staplar visar högre nederbörd och orangea lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Linjen visar ett beräknat medelvärde över ungefär 10 år. (SMHI, 2024)

### 1.4.2 Sveriges jordar och odlingsförutsättningar

Svenska jordar är generellt unga bildningar och jordmånsbildningen har pågått under en relativt kort tid (Eriksson et al. 2011). Det odlas främst på jordmånen som kallas inceptisol enligt USDA-systemet (Soil Survey Staff, 1999) och cambisol enligt WRB-systemet (IUSS Working Group, 2022). En cambisol kännetecknas av att den inte kommit så långt i sin utveckling och att den naturliga vegetationen är lövskog med örter och gräs (Eriksson et al. 2011). I Sverige är cambisolerna vanliga i Svealand och Götaland där modermaterialet är näringsrikt (Eriksson et al. 2011).

I Sverige har inlandsisen och dess avsmältning spelat en avgörande roll vid bildningen av de minerogena jordarterna (Stendahl 2020). Mineraljordarna har avsatts som morän eller som sediment under perioden då landet var istäckt och klassas till de glaciala jordarterna. Jordarterna kan vidare delas in i om de avsatts direkt ur inlandsisen eller om de avsatts i smältvattnet från isen (Stendahl 2020). Hur olika jordarter är fördelade i Sverige presenteras i figur 5 nedan.



Figur 5. Jordartskarta som visar de dominerande jordarterna på svensk åkermark angivna enligt WRB-systemet. (Jordbruksverket, 2023)

Under 2023 odlades det på ungefär 2,5 miljoner hektar i Sverige (Jordbruksverket 2023). En stor del av åkermarken hittas i Skåne och Västra Götalands län. De främsta grödorna som odlades var spannmål som utgjorde 34% och vall- och grönfoderväxter som utgjorde 37% av den totala åkermarken. Raps och rybs tog upp ungefär 4%. De tre största spannmålsgrödorna är vete, korn och havre. Vete står för ungefär 50% av den totala spannmålsarealen under 2023 (Jordbruksverket 2023).

## 1.5 Jordbearbetning

Jordbearbetning kan definieras som mekanisk manipulering av jorden för att förbereda inför sådd av grödor. Detta påverkar jordens karaktär så som vattenhållande förmåga, temperatur, infiltration och processer som styr evapotranspirationen (Busari et al. 2015). Jordbearbetning behövs även för att luckra upp packad jord, bekämpa ogräs samt mylla ned skörderester och gödsel (Gustafsson & Johansson 2008).

### 1.5.1 Plöjning

Konventionell bearbetning av jorden innefattar plöjning med en vändskiveplog och konventionell såbäddsbearbetning och sådd (Arvidsson et al. 2014). Plogen är ett redskap som kan användas för att vända och luckra upp jorden effektivt (se figur 6). Vid plöjning vänds jorden 120-150 grader och jorden skärs efter arbetsbredden. Sönderdelningsgraden avgörs bland annat av vändskivans utformning, jordens hållfasthet och körhastigheten (Gustafsson & Johansson 2008).



Figur 6. Traktor som plöjer med en vändskiveplog. (Folkesson, 2024).

### 1.5.2 Reducerad jordbearbetning

Reducerad jordbearbetning kan innefatta en mängd olika principer för jordbearbetning. Oftast kan olika system för reducerad jordbearbetning delas upp efter om plogen används eller inte. System utan plog kan då vidare delas in i direktsådd, plöjningsfri odling med grund bearbetning (cirka 5-7 cm djup) och plöjningsfri odling med djup bearbetning (cirka 20 cm djup) (Gustafsson & Johansson 2008). I denna uppsats kommer reducerad jordbearbetning definieras som plöjningsfri odling med grund bearbetning, till exempel harvning (se figur 7) eller kultivering ned till 10 cm. Direktsådd (se figur 8) kommer benämnas som direktsådd trots att det egentligen även kan ingå i begreppet reducerad jordbearbetning.



*Figur 7. Traktor som utför harvning. (Folkesson, 2024).*



*Figur 8. Direktsådd (Keller, 2024).*

### 1.5.3 Jordbearbetning i Sverige

Under 2014 tillämpades plöjning till 75%, plöjningsfri odling till 23% och direktsådd till 2 % av arealen med ettåriga grödor (Arvidsson et al. 2014).

Vid reducerad jordbearbetning och direktsådd ökar på sikt mullhalten i det översta jordlagret vilket minskar risken för skorpbildning och att jorden slammas igen (Arvidsson et al. 2014). Jorden blir generellt mer packad och tätare vilket kan göra att penetrationsmotståndet blir högre för rötter samt att genomsläppligheten för vatten blir sämre. När jorden lämnas ostörd kan dock maskgångar öka

genomsläppligheten i marken. I Sverige har det dock visat sig att genomsläppligheten blir sämre i plöjningsfri odling (Arvidsson et al. 2014).

Direktsådd kan vara problematiskt då det kan vara svårt att få till en bra etablering av grödan på grund av den stora mängden skörderester (Arvidsson et al. 2014). Växtrester på markytan kan även göra att sjukdomar lättare överförs och det oftare uppstår ogräsproblematik. Dålig etablering av grödan ses som en av de främsta anledningarna till att direktsådd inte implementeras mer i norra Europa (Arvidsson et al. 2014). Försök i Sverige har visat att det är svårt att komma upp i samma skördenivå som i ett plöjt system om direktsådd implementeras. Grund plöjningsfri odling skulle kunna ge samma skörd och odlingssäkerhet som ett plöjt system om det kombineras med en varierad växtföljd (Arvidsson et al. 2014).

## 1.6 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta arbete är att undersöka hur olika jordbearbetningsmetoder, såsom plöjning, reducerad jordbearbetning och direktsådd påverkar växthusgasemissioner från åkermark samt hur kunskapen om detta kan appliceras i Sverige.

### 1.6.1 Frågeställningar

Frågeställningar som kommer att besvaras i denna litteraturstudie är följande:

Hur påverkar olika jordbearbetningsmetoder utsläpp av olika växthusgaser?

Vilken forskning har gjorts i Sverige?

Hur kan resultat från internationella studier användas i Sverige?

## 2. Metod

En litteraturstudie har utförts för att kunna besvara frågeställningarna som ställts. Vid insamling av litteratur i form av vetenskapliga artiklar har främst databasen Web of science använts men även söktjänsten Google Scholar. Det har använts en kombination av söktermer som Agriculture, greenhouse gas emissions, tillage, nitrous oxide, no-tillage, reduced tillage, carbon dioxide, methane. Dessa ord har använts tillsammans med varandra i olika kombinationer men även var för sig. Då termerna hanterats i Web of science har de sökts som topic. Studier har även hittats i forskningsartiklars referenslistor.

Utöver vetenskapliga publikationer från Sverige har även studier från Danmark, Finland, Storbritannien, Irland, Belgien, Ungern och Litauen använts (Se figur 9).



Figur 9. Karta som visar vart de internationella studierna är gjorda. (Magnusson Osmund, 2024)

### 2.0 Avgränsningar

I denna litteraturstudie har avgränsningar gjorts vid valet av jordbearbetningsmetoder. Det har endast tagits hänsyn till studier som tagit upp konventionell jordbearbetning i form av plöjning och reducerad jordbearbetning i form av plöjningsfri odling (harvning och kultivering). Studier som tar upp direktsådd har också använts.

Det har även gjorts avgränsningar kring urvalet av internationella studier. Artiklar som tar upp fältförsök som utförts i liknande klimat och odlingsystem som i Sverige har använts. Fältförsök där det odlats grödor som även odlas i Sverige samt på jordar som liknar de som finns i Sverige (cambisol, sandjordar och leriga

jordar) har prioriterats. Fältförsök där endast majs och sojabönor har odlats samt att det odlats på jordar som innehåller höga halter silt är exempel på försök som valts bort. De flesta av de studier som valts bort är gjorda i USA, Kina och Sydamerika.

Metaanalyser även använts för att få en bättre överblick över ämnet i stort trots att dessa har tittat på forskningsstudier från hela världen.

### 3. Resultat

Resultaten presenteras för varje växthusgas och utefter de viktigaste faktorerna som påverkar storleken på emissionerna (vattenhalt, syrehalt, marktemperatur, organiskt material, jordart) samt huruvida det sker utsläpp eller inte kopplat till jordbearbetningsmetoderna konventionell bearbetning, reducerad jordbearbetning och direktsådd. I tabell 1 nedan presenteras en sammanställning av resultat från de forskningsstudier som valts ut i denna uppsats.

Tabell 1. Litteratursammanställning som visar olika studiers resultat gällande hur jordbearbetning bidrar till ökade eller minskade utsläpp av växthusgaserna koldioxid, lustgas och metan.

	Inget samband	Konventionell jordbearbetning		Direktsådd / reducerad jordbearbetning <sup>1</sup>	
		Ökade	Minskade	Ökade	Minskade
<b>CO<sub>2</sub></b>	(Regina & Alakukku 2010)	(Buragienė et al. 2019) (Chatskikh et al. 2008) (Tóth et al. 2018) <sup>2</sup>	(Kainiemi et al. 2013) (Kainiemi et al. 2015)	(Shakoor et al. 2021) (Tóth et al. 2018) <sup>3</sup>	(Alskaf et al. 2021)
<b>N<sub>2</sub>O</b>	(O'Neill et al. 2021) (van Kessel et al. 2013)	(Chatskikh et al. 2008) (Chatskikh & Olesen 2007)		(Regina & Alakukku 2010) (Boeckx et al. 2011) (Shakoor et al. 2021)	(van Kessel et al. 2013) <sup>4</sup> (Six et al. 2004)
<b>CH<sub>4</sub></b>	(Regina & Alakukku 2010) (Regina et al. 2007)		(O'Neill et al. 2021)	(Li et al. 2023) (Shakoor et al. 2021)	(Alskaf et al. 2021)

1. Direktsådd och reducerad jordbearbetning slås ihop då studier generellt presenterat resultaten efter bearbetningsgrad där konventionell jordbearbetning = högst bearbetningsgrad och direktsådd = lägst bearbetningsgrad 2. Gäller vid störningstillfället 3. Högst utsläpp under hela säsongen. 4. Gäller vid långsiktig implementering.

#### 3.0 Jordbearbetning och koldioxidemissioner

Produktionen av koldioxid från marken är starkt kopplat till den omgivande miljön och faktorer som halten organiskt material, temperatur, vattenhalt och markens struktur spelar en viktig roll (Steponavičienė et al. 2022).



### 3.0.1 Organiskt material

I en svensk studie utförd av Kainiemi et al. (2013) jämfördes konventionell jordbearbetning, reducerad jordbearbetning och ingen jordbearbetning på en lerjord. De kunde påvisa att plöjning på hösten kunde minska respirationshastigheten. Detta på grund av att skörderester bearbetas ned djupare när marken plöjs. Det skapar en större kontaktyta mellan mineralpartiklar och växtrester vilket gör att nedbrytningen av organiskt material går långsammare. Det i kombination med en lägre syrehalt och en högre vattenhalt minskar nedbrytningshastigheten (Kainiemi et al. 2013). Liknande resultat kunde även påvisas en i senare studie (Kainiemi et al. 2015).

Det finns även studier som tar upp förekomsten av växtrester på markytan och att det kan påverka koldioxidutsläpp hos jordar som direktsåts (Shakoor et al. 2021). Vid implementering av direktsådd lämnas skörderester från tidigare gröda kvar vilket minskar avdunstningshastigheten. Vid ökad fuktighet i marken stimuleras enzymatiska aktiviteter som bryter ned organiskt material vilket ger ökade utsläpp av koldioxid (Shakoor et al. 2021). Skörderester bidrar med lättillgängligt kol och kväve till mikroorganismerna vilket ökar respirationen som ett resultat av ökad mikrobiell aktivitet i marken. Det i sin tur ökar koldioxidavgången från marken. Direktsådd kunde öka utsläppen med 7,4 % om C:N kvoten var större än 10 men inget signifikant samband kunde hittas för lägre C:N kvoter (Shakoor et al. 2021).

### 3.0.2 Marktemperatur

Marktemperatur är en av faktorerna som reglerar markrespiration. Temperatur är en viktig drivande faktor då det påverkar den metaboliska aktiviteten hos mikroorganismer (Koizumi et al. 1999). Det finns en korrelation mellan marktemperatur och koldioxidutsläpp från marken i samband med jordbearbetning (Regina & Alakukku 2010). Kainiemi et al. 2013 kunde påvisa att 56% av markrespirationens variation kunde förklaras av jordbearbetning och marktemperatur. De observerade högre temperaturer i behandlingen som inte jordbearbetats än den som plöjts vilket resulterade i högre markrespiration (Kainiemi et al. 2013).

Andra forskare har istället uppmätt högre marktemperaturer i samband med plöjning och lägre temperaturer i samband med reducerad jordbearbetning (Buragienė et al. 2019). Eftersom skörderester är mindre inkorporerade i reducerad jordbearbetning och direktsådd så sjunker värmeförseln till marken då skörderester agerar isolerande. Det i sin tur minskar koldioxidutsläppen. När skörderesterna istället blandas ner i jorden försvinner denna barriär mellan marken och atmosfären vilket tillåter värmeväxling (Alskaf et al. 2021).

### 3.0.3 Vattenhalt och syrehalt

Vattnet i marken ökar mikroorganismernas tillgänglighet till organiska substrat. Samtidigt kan vatten även minska syrehalten i marken vilket kan leda till en negativ korrelation mellan markrespirationen och markens vattenhalt (SWC) (Koizumi et al. 1999).

Vattenhalten i marken skiljer sig åt i de övre jordlagren beroende på om jorden plöjs eller inte. Om jorden plöjs minskar vattenhalten i marken då skörderester bearbetas ned i jorden och marken lämnas bar vilket ökar evaporationen (Tóth et al. 2018). Detta kunde även Buragiené et al. (2019) konstatera då de uppmätte en lägre vattenhalt i fält som plöjts mot de som inte bearbetats, före tillfället för jordbearbetning på hösten. Efter jordbearbetningstillfället kunde det påvisas en stark negativ korrelation mellan koldioxidemissioner och vattenhalt. Koldioxidutsläppen ökade då vattenhalten minskade (Buragiené et al. 2019).

I en dansk studie utförd av Chatskikh et al. (2008) jämfördes olika jordbearbetningsmetoder i form av konventionell bearbetning (plöjning, 20 cm), reducerad bearbetning (harvning, 8-10 cm) och direktsådd. Under två års tid odlades höstvet och höstraps på en lättare sandjord. Det kunde konstateras att den dagliga markrespirationen var högre i den plöjda jorden än för de jordar som inte plöjts. Generellt ökade också plöjning de totala utsläppen av koldioxid från respiration under hela försöksperioden. Medelvärdet för den dagliga markrespirationen för reducerad jordbearbetning och direktsådd var 29% respektive 38% lägre än för plöjning under våren och 20 % lägre för båda under hösten (Chatskikh et al. 2008). Plöjning ökar syrehalten i marken vilket ökar de biologiska processerna som sker då mikroorganismerna behöver syre för att växa (Tóth et al. 2018).

### 3.0.4 Jordart

Markens struktur förändras till följd av jordbearbetning och beror av interaktionen mellan verktyget och jorden. Markens fysikaliska och mekaniska egenskaper har då en betydande roll. Jordbearbetning bryter upp större aggregat till mindre. Jordar som till stor del består av mindre aggregat hade ungefär 50% högre koldioxidutsläpp än jordar med större aggregat (Buragiené et al. 2019). Plöjd jord har generellt en större andel stora aggregat i marken än jord inte plöjts. I jordar som kultiveras så är aggregatstorlekarna mer jämnt distribuerade i marken (Kainiemi et al. 2013). En jord med stabil aggregatstruktur är viktig för ekosystemet i marken då det påverkar fysikaliska och biologiska funktioner som till exempel rottillväxt samt rörelsen av luft och vatten (Buragiené et al. 2019).

Konventionell jordbearbetning stör jordens aggregatstruktur, bland annat genom att aggregaten kan krossas och förstöras. Organiskt kol kan då frisläppas från organiskt material och omvandlas till koldioxid som avges till atmosfären (O'Neill et al. 2021). Tóth et al. (2018) fann att koldioxidutsläppen var som störst under den första veckan efter det att jorden hade störts, sedan avtog effekten successivt under de efterkommande månaderna. Mätningar gjordes under varje timme under de första sju timmarna efter plöjningstillfället. Därefter gjordes mätningar med några timmars mellanrum och sedan dagligen under en vecka. Precis vid plöjningstillfället var koldioxidemissionerna 72,8% högre än vad de hade varit innan marken plöjdes. Utsläppen var samtidigt 52,6 % högre från den plöjda jorden jämfört med jorden som direktsåts under samma tidsperiod (Tóth et al. 2018).

I en finsk studie utförd av Regina & Alakukku (2010) mättes emissioner av lustgas, koldioxid och metan från sex olika jordar, både lerjordar och sandjordar, under en tio månaders period. På de olika platserna hade en del av marken plöjts och en del hade direktsåts under en fem till sjuårig tidsperiod. Utifrån studien kunde det konstateras att sandjordar hade statistiskt signifikant högre koldioxidutsläpp i jordar som inte bearbetats i 36% av fallen och lägre utsläpp i 11% av fallen. (Regina & Alakukku 2010). I en global metaanalys utförd av Shakoor et. al (2021) påvisades att koldioxidutsläpp ökade om direktsådd implementerades. Det fanns ett samband mellan ökade utsläpp och jordar som kan klassas som "loams" och som har hög andel silt. Emissionerna ökade med 8% mellan ingen bearbetning och plöjning i dessa jordar. En förklaring till detta skulle kunna vara att jordar som klassas som "loams" eller siltjordar innehåller mer näringsämnen och har högre vattenhalt vilket kan gynna mikroorganismer (Shakoor et al. 2021).

### 3.1 Jordbearbetning och lustgasemissioner

Lustgasemissioner från åkermark varierar mycket mellan olika tidpunkter och säsonger och kan ha toppar under säsongen, speciellt i samband med kvävegödsling (Pulido-Moncada et al. 2022).

Flera studier har visat att förekomsten av jordbearbetning, tidpunkten för bearbetningen samt hur bearbetningen utförs påverkar lustgasemissioner (Wang et al. 2021). Jordbearbetning påverkar bland annat markens "water filled pore space" (WFPS), marktemperatur och mikroorganismers tillgång till kväve och organiskt kol (O'Neill et al. 2021).

### 3.1.1 Vattenhalt och syrehalt

Lustgas avges från marken i störst utsträckning om markens WFPS är större än 60% (Wang et al. 2021). Vattnet kommer då att ersätta det tillgängliga syret i porsystemet vilket skapar anaeroba markförhållanden som bidrar till en ökad produktion av lustgas. Det optimala WFPS för när nitrifikation och denitrifikation kan ske varierar beroende på markens struktur (Wang et al. 2021).

Mätningar i fält har visat både ökade och minskade utsläpp av lustgas vid tillämpning av reducerad bearbetning. I en studie utförd av O'Neill et al. (2021) hittades ingen signifikant skillnad mellan olika jordbearbetningsmetoder och lustgasemissioner. Försöket utfördes på Irland där det odlades höstraps på en lättare sandjord. De högsta utsläppen ( $53,8 \text{ g N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) kunde uppmätas för reducerad jordbearbetning (kultivering, 10-12 cm) och lägsta utsläppen ( $30,5 \text{ g N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) från konventionell bearbetning. Där reducerad bearbetning implementerats var WFPS högre än för den konventionellt bearbetade jorden (O'Neill et al. 2021). Liknande resultat hittas även i andra studier (Boeckx et al. 2011). Jord som inte bearbetas har en mer kompakt struktur och en högre vattenhalt än plöjd jord vilket kan gynna aktiviteten av bakterier som denitrifierar och därmed öka lustgasutsläppen (Regina & Alakukku 2010).

### 3.1.2 Jordart

Förhållandet mellan vatten och luft i marken styrs av jordens textur. Detta för att texturen i marken påverkar hur mycket porer som ryms i marken samt hur dessa är distribuerade. Lerjordar hade 24,2% lägre lustgasavgång om de inte bearbetades jämfört med om de plöjts (Shakoor et al. 2021). Utsläppen ökade i stället i jordarter som klassas som ”loams” och sandjordar då jorden inte bearbetades (se tabell 2). I ”loams” och sandjordar finns det större tillgång på syre som kan förbrukas av mikroorganismer när de bryter ned organiskt material. Detta kan leda till oxidativ stress som i sin tur leder till ökad denitrifikation (Shakoor et al. 2021). Det finns dock en annan studie som kunde hitta ett samband mellan dåligt dränerade jordar med hög andel ler och ökade lustgasutsläpp (Rochette 2008).

Tabell 2. Olika jordarter och dess påverkan på lustgasemissioner vid direktsådd (Shakoor et al. 2021). Jordarterna klassificeras utifrån USDA-systemet.

	Clay	Loams	Sand
	Sandy clay	Silt	Loamy sand
	Silty clay		
Utsläpp vid direktsådd	minskade	ökade	ökade

### 3.1.3 Marktemperatur

Som tidigare nämnts påverkar marktemperatur kinetiska reaktioner och mikrobiella samhällen (Wang et al. 2021). Detta spelar även roll för utsläpp av lustgas. Nitrifikation och denitrifikation ökar med högre temperaturer men kan nå en topp vid olika temperaturer beroende på vilken klimatzon det gäller (Lai et al. 2019). Marktemperaturen kan även påverka förhållandet mellan kvävgas och lustgas, där ökade temperaturer kan leda till att mer lustgas övergår till kvävgas (Wang et al. 2021).

I ett danskt fältförsök där vårkorn odlats på en lättare sandjord kunde det observeras att lustgasemissionerna var dubbelt så stora för konventionell bearbetning i jämförelse med direktsådd (Chatskikh & Olesen 2007). Reducerad bearbetning placerades sig någonstans mitt emellan. De största utsläppen dokumenterades under våren då temperaturen ökade och vattenhalten fortfarande var relativt hög. Det fanns även en positiv signifikant korrelation mellan marktemperatur och lustgasemissioner före jordbearbetning inträffade samt för vattenhalt (Chatskikh & Olesen 2007). Högre utsläpp från konventionell bearbetning kunde även observeras i ett annat liknande försök under samma tidsperiod (Chatskikh et al. 2008). Detta skulle kunna förklaras av att jordarna som bearbetats konventionellt hade en lägre bulkdensitet och var därför luftigare vilket skulle göra det enklare för lustgas att avgå från marken innan den omvandlas till kvävgas (Chatskikh & Olesen 2007).

### 3.1.4 Organiskt material

Förekomsten av organiskt kol i marken är viktigt då det agerar som energikälla till mikroorganismer i marken. Nitrifierande och denitrifierande organismer behöver kol för att oxidera ammonium och reducera nitrat. Om det är en högre halt organiskt kol i marken kan nitrifikationen och denitrifikationen öka (Wang et al. 2021). Detta kommer framför allt ha betydelse i system som inte plöjs eftersom det förekommer mer skörderester vilken kan öka utsläpp av lustgas (Shakoor et al. 2021).

I en finsk studie utförd av Regina & Alakukku (2010) kunde det konstateras att organogen jord hade högst lustgasutsläpp medan lerjordar hade lägst utsläpp. Det visade sig att de jordar som inte jordbearbetats hade något högre utsläpp än de jordar som hade plöjts. Det fanns ett signifikant samband mellan mängden kol och kväve i marken och lustgasemissioner inom 0-20 cm av de olika jordarnas lager (Regina & Alakukku 2010).

Alla former av kväve som tillsätts till marken kommer att påverka lustgasemissioner. Nitrat är en viktig drivande molekyl för att denitrifikation ska inträffa (Wang et al. 2021). Hur stora mängder nitrat som förekommer i marken beror på nettomineralisering och nitrifikationshastigheten samt

mikroorganismernas immobilisering. Det styrs också av grödans upptag av kväve och möjligheterna för nitrat att röra sig i marken (Wang et al. 2021).

Det finns flera studier som visat att en djupare placering av kväve kan minska lustgasemissioner (Rychel et al. 2020). Van Kessel et al. 2013 kom fram till att utsläppen kan minska med upp till 26% i system som tillämpar reducerad jordbearbetning eller direktsådd om det även kombineras med en djupare placering av kväve. Detta gäller dock endast i humida klimat (van Kessel et al. 2013). Detta för att nitrifikation och denitrifikation minskar med djupet på grund av att mikroorganismernas tillgång på oorganiskt kväve sjunker med ökat djup (Shakoor et al. 2021).

### 3.1.5 Långsiktig implementering av reducerad jordbearbetning och lustgasemissioner

I en metaanalys utförd av Van Kessel et al. (2013) jämfördes 239 olika studier som alla undersökt jordbearbetningens betydelse för lustgasutsläpp. Även i denna analys kunde det inte konstateras att det fanns någon signifikant skillnad för lustgasemissioner och val av bearbetningsmetod. Det gick inte heller att hitta några skillnader mellan olika klimatområden. Det var dock möjligt att hitta samband kopplat till hur länge jordbearbetningsmetoden utförts. Vid utförande av direktsådd eller reducerad jordbearbetning under en längre tidsperiod i torra klimat kunde lustgasutsläpp minska med 34% (van Kessel et al. 2013). Six et al. (2004) kunde påvisa att utsläppen ökar de första 10 åren i system där ingen jordbearbetning skett i jämförelse med konventionell jordbearbetning. Efter 20 år visade det sig dock att lustgasemissionerna i humida klimat, var lägre i ett system där direktsådd tillämpats än där det plöjts (Six et al. 2004).

## 3.2 Jordbearbetning och metanemissioner

Utsläpp av metan styrs av faktorer som vattenhalt, temperatur, tillgång på syre, mängden organiskt material samt tillgången till kol och kväve (O'Neill et al. 2021). Jordbearbetning kan därför påverka utsläppen av metan eftersom de påverkar jordens fysio-kemiska egenskaper (O'Neill et al. 2021).

Det finns lite europeiska data på upptag och utsläpp av metan från jorden (Soane et al. 2012). De flesta studier (se tabell) som tar upp att jordbearbetning har liten betydelse för utbytet av metan från marken och jordar kan vara källor eller sänkor beroende på jordens förutsättningar (Regina et al. 2007).

### 3.2.1 Vattenhalt

Markens WFPS är det som har störst påverkan på metanemissioner. En hög vattenhalt i marken kan minska diffusionen i marken så metan och syre blir mer svåråtkomligt för mikroorganismer. Detta minskar upptaget av metan från jordbruksmark och kan i stället leda till utsläpp. I en studie från Irland var upptaget av metan högst för konventionell bearbetning ( $-0,34 \pm 0,03 \text{ kg C ha}^{-1}$ ) och lägre ( $-0,22 \pm 0,03 \text{ kg C ha}^{-1}$ ) för reducerad bearbetning (10-12 cm) (O'Neill et al. 2021). Metanupptaget var alltså ungefär 55% högre om jorden plöjdes än om den kultiverades. Markens vattenhalt och dess påverkan på diffusionen i marken ses dock som viktigare faktorer som påverkar utsläpp och upptag av metan än förekomsten av jordbearbetning (O'Neill et al. 2021). Det är dock möjligt att det fortfarande finns ett samband men att det behövs ytterligare forskning för att det ska kunna säkerställas.

Hög vattenhalt i marken och höga temperaturer kan öka metanemissioner vid direktsådd då det förändrar mikroorganismers förmåga att bryta ned organiskt material (Li et al. 2023). Det har dock även visat sig att detta har större betydelse i delar av världen som har fuktigare och varmare klimat än vad det är i humida områden (Li et al. 2023).

### 3.2.2 Organiskt material

Direktsådd kan långsiktigt påverka bakteriesamhällen som omvandlar hemicellulosa och cellulosa till kolhydrater. Framför allt för att det förekommer mer skörderester i det översta jordlagret. Detta kan skapa en ökad mängd substrat i marken som kan användas i bakteriernas respiration där metan används som slutgiltig elektronacceptor under anaeroba förhållanden och på så sätt öka utsläppen av metan (Shakoor et al. 2021).

Alskaf et al. (2021) fann att jordbruksmark kan vara en tydlig metansänka och effekten kan dessutom förstärkas av reducerad jordbearbetning. Upptaget av metan var högre för jordar som inte bearbetats ( $-0,2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) eller endast minimalt bearbetats ( $-0,09 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) än för plöjd jord ( $-0,04 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Upptaget var högst under sommarmånaderna, främst under juli månad. Att upptaget var högst då jorden inte bearbetades kan kopplas till en ökad volym relativt små porer och en mer nischad livsmiljö för metanoxiderande bakterier. Plöjning kan i stället störa bakteriesamhällen och balansen mellan syre- och vattenhalt vilket kan leda till utsläpp av metan (Alskaf et al. 2021).

### 3.2.3 Jordart

Lerpartiklar kan bilda stabila aggregatstrukturer som kan binda organiskt material och på så sätt bilda en fysisk barriär mellan organiska substrat och mikroorganismer som bryter ned organiskt material. Detta kan minska nedbrytningshastigheten i marken och på så sätt minska både utsläpp och upptag av metan (Li et al. 2023).

Vid mätningar av metan från jordar med hög andel lerpartiklar kunde det endast påvisas signifikanta skillnader i 8% av mättillfällena (Regina & Alakukku 2010). Störst skillnad konstaterades på en lerjord där direktsådd implementerades. Där var jorden en konstant källa till metanemissioner. För de andra mätplatserna varierade utsläppen där jordarna ibland var sänkor och ibland källor för metan. Vid direktsådd ökar densiteten i jorden vilket skulle kunna vara en orsak till att jorden släpper ut metan (Regina & Alakukku 2010).

I Shakoor et al. (2021) metaanalys visade det sig att direktsådd kan öka metanemissionerna i förhållande till konventionell bearbetning beroende på jordens textur. Emissionerna ökade signifikant med 40,6% där de största emissionerna kom från lerjordar. Utsläppen ökade med 46,3% i jordar med hög andel silt och ”loams” och 10,8 % i sandjordar. Det redovisas även i tabell 3 nedan. Lerjordar har en högre vattenhållande förmåga och har därför lättare att skapa anaeroba förhållanden i marken (Shakoor et al. 2021). Detta i kombination med hur väl-dränerad åkermarken är påverkar mängden metanutsläpp från åkermarken (Prajapati & Jacinthe 2014).

Tabell 3. Olika jordarter och dess bidrag till ökade metanemissioner vid direktsådd (Shakoor et al. 2021). Jordarterna klassificeras utifrån USDA-systemet.

	Clay	Loams	Sand
	Sandy clay	Silt	Loamy sand
	Silty clay		
Utsläpp vid direktsådd	+ 40,6 %	+46,3 %	+10,8 %



## 4. Diskussion

### 4.0 Jordbearbetning och växthusgasemissioner

Utifrån denna litteraturstudie är det möjligt att konstatera att jordbearbetningens påverkan på växthusgasemissioner är tvetydig och beror mycket på omständigheter. Det är dock möjligt att se vissa samband i vilka eller vilken jordbearbetningsmetod som påverkar växthusgasemissioner mest.

I en global metaanalys från 2023 presenterades direktsådd som den metod som globalt skulle minska växthusgasemissionerna i störst utsträckning. Att implementera direktsådd kunde minska utsläppen för koldioxid med 6,31%, för metan med 13,5% och för lustgas med 16,5%. Metanupptaget kunde även öka med 12,8% och minska GWP med 14,4%. Det är dock inte klarlagt om dessa effekter kommer bestå eller minska över en längre tid (>10 år) (Li et al. 2023).

#### 4.0.1 Jordbearbetning och koldioxidemissioner

Utifrån tabell 1 är det möjligt att se att plöjning är den metod som främst ökar utsläppen, framför allt precis vid plöjningstillfället. Detta på grund av att markrespirationen ökar till följd av att det framförallt förekommer mer syre i marken då plöjning luckrar upp jorden (Chatskikh et al. 2008; Buragienė et al. 2019). Att jorden lämnas bar medför en större risk för markerosion vilket också skulle kunna leda till ökade utsläpp (Lal 2020). Andra studier tar dock samtidigt upp att plöjning kan minska utsläppen på lerjordar (Kainiemi et al. 2013, 2015).

Vattenhalt tas även upp som en viktig faktor som påverkar utsläppen. Om jorden plöjs ökar avdunstningshastigheten och då minskar vattenhalten vilket påstås öka koldioxidutsläppen (Buragienė et al. 2019). Samtidigt påstås det även att en ökad vattenhalt i plöjningsfria odlingssystem bidrar till ökade utsläpp. Detta gäller dock endast då jorden består av en hög andel silt (Shakoor et al. 2021).

Det finns en studie som påstår att direktsådd ger högre utsläpp än konventionell bearbetning eftersom en ökad mängd skörderester ger mer lättillgängligt substrat till mikroorganismerna som respirerar (Shakoor et al. 2021). Men eftersom tillämpning av direktsådd bidrar till en ökad mängd organiskt material i marken, resulterar det i en ökad jordkvalitet och en ökad kolinbindning i marken. Marken kan då bli en kolsänka för koldioxid i atmosfären vilket ändå kan göra direktsådd till en mer lämplig metod (Rochette 2008).

## 4.0.2 Lustgasemissioner

Utifrån tabell 1 verkar reducerad jordbearbetning och direktsådd vara de metoder som bidrar mest till utsläpp av lustgas från åkermark (Regina & Alakukku 2010; Boeckx et al. 2011; Shakoor et al. 2021). Det finns dock studier som istället uppmätte högst utsläpp från konventionell jordbearbetning (Chatskikh & Olesen 2007; Chatskikh et al. 2008). Vattenhalten och mängden organiskt material ses som viktiga aspekter som styr mängden emissioner från åkermark. Aneroba förhållanden är det som styr denitrifikationen vilket är den process som bidrar mest till lustgasavgång (Kim et al. 2013). Syrefria förhållanden uppkommer lättare i tätare jordar. Reducerad jordbearbetning gör generallt jordar mer packade vilket gör att utsläppen blir större (Regina & Alakukku 2010; Shakoor et al. 2021). Det skulle även kunna innebära att lerjordar har högre lustgasutsläpp i kombination med direktsådd. Shakoor et al. (2021) tar dock upp att det snarare ger lägre lustgasutsläpp för att det inte kommer ned lika mycket syre i dessa jordar.

Halten organiskt material i marken är viktig då mikroorganismerna behöver substrat för att kunna oxidera ammonium och reducera nitrat. Detta gör att både jordbearbetningsmetod och mängden kväve som tillförs till marken har betydelse för hur mycket lustgas som avges från marken (Wang et al. 2021). Jordar som inte plöjs har en högre halt organiskt material i jordens ytlager vilket ger högre utsläpp. Dock verkar detta problem minska med tiden och långsiktigt skulle utsläppen kunna minska. Alltså kan reducerad jordbearbetning ändå vara en bra metod i längden, speciellt om kvävegivan placeras på ett större djup (Six et al. 2004; van Kessel et al. 2013).

## 4.0.3 Metanemissioner

Valet av jordbearbetningsmetod verkar ha en liten betydelse för flödet av metan från åkermark i nordan (Regina et al. 2007; Regina & Alakukku 2010). Vattenhalten i marken ses som det som har störst betydelse för om jorden ska bli en källa eller sänka för metan (O'Neill et al. 2021; Li et al. 2023). Jordart och hur väl-dränerad jorden är skulle därför kunna ses som viktigare aspekter att ta hänsyn till än valet av jordbearbetningsmetod.

Metaanalyser tar dock upp att det finns tendenser till att direktsådd kan öka metanutsläpp då jordar som inte bearbetas har en bättre vattenhållande förmåga och en högre halt organiskt material (Shakoor et al. 2021; Li et al. 2023). Det finns dock försök som uppmätt att upptaget av metan blir större vid reducerad bearbetning för att bakteriesamhällen störs mindre vilket gynnar de metanoxiderande bakterierna (Alskaf et al. 2021).

## 4.1 Jordbearbetningens effekt på växthusgasemissioner ur en svensk kontext

Utifrån denna litteraturstudie är det möjligt att dra slutsatsen att det saknas forskning om jordbearbetning och växthusgasemissioner från svensk åkermark. I detta arbete presenteras två studier och dessa har endast undersökt markrespiration. Detta gör att det svårt att veta hur jordbearbetning påverkar växthusgasutsläppen från svenska jordar.

Studierna som presenteras i denna rapport är främst gjorda på lättare jordar vilket gör det svårare att applicera på större områden av Sverige då en stor del av den åkermark som odlas i Sverige har högre lerhalter (se figur 5). De faktorer som påverkar växthusgasutsläppen som tas upp i denna uppsats borde dock även kunna appliceras i Sverige.

### 4.1.1 Jordbearbetning och emissioner i Sverige

Majoriteten av åkermarken i Sverige plöjs (Arvidsson et al. 2014). Det skulle kunna vara en bidragande faktor till varför det sker nettoutsläpp av koldioxid från svenska mineraljordar (Naturvårdsverket 2024). Svensk åkermark har dock agerat som en kolsänka det senaste årtiondena (Poeplau et al. 2015). Det är viktigt att jorden fortsätter vara en kolsänka och det kan därför vara av intresse att implementera mer reducerad jordbearbetning för att på längre sikt binda in mer kol i marken. Det krävs dock mer forskning för att klargöra om reducerad bearbetning faktiskt skulle leda till minskade utsläpp av koldioxid under svenska förhållanden eftersom resultaten från studier som gjorts inte ger en tillräckligt tydlig bild.

Lustgasutsläppen står för en stor del av de totala växthusgasutsläppen från svensk åkermark (Naturvårdsverket 2022). Det skulle dock främst kunna förklaras av utsläppen som kvävegödslingen skapar snarare än valet av jordbearbetningsmetod. Tidigare studier nämner dock att reducerad jordbearbetning skulle kunna bidra med ökade utsläpp vilket antagligen även gäller för svenska jordar (Regina & Alakukku 2010; Shakoor et al. 2021).

Jordbearbetning har troligtvis en liten effekt på metanutsläpp och upptag i Sverige. Regina et al. 2007 kom fram till att det inte finns något samband mellan jordbearbetning och metanemissioner. Denna studie är gjord på finska jordar och är därför den som främst kan appliceras på svensk åkermark. Det behövs dock göras mätningar i Sverige för att säkert kunna veta.

### 4.1.2 Direktsådd

Flera omfattande metaanalyser (Shakoor et al. 2021; Li et al. 2023) har slagit fast att implementering av direktsådd är den metod som bidrar minst till växthusgasemissioner. För att detta ska gälla behöver kolinbindningens effekt måste vara lika stor som GWP för de tre största växthusgasernas utsläpp tillsammans. De ökade lustgasemissionerna som implementeringen av direktsådd skulle innebära måste alltså kompenseras med att marken blir en tillräckligt stor sänka för koldioxid och metan (Soane et al. 2012).

Metaanalyserna är en sammanställning av forskningsstudier över hela världen där majoriteten av studierna är hämtade utanför Europa. Framst på grund av att det saknas forskning inom detta område från europeiska länder. Att säga att direktsådd skulle minska Sveriges utsläpp från åkermark är därför svårt att säga. Speciellt för att det även saknas svenska studier på ämnet.

Shakoor et al. 2021 konstaterade att klimatet har betydelse för effekten som olika jordbearbetningsmetoder har på växthusgasemissioner från marken. I kalla tempererade områden som nordan har implementeringen av direktsådd liten påverkan på utsläpp av växthusgaser. Detta tyder på att direktsådd inte skulle ha en stor påverkan på utsläppen från svensk åkermark. I och med klimatförändringarna kommer det dock bli både varmare och blötare i Sverige (se figur 3 och 4). Detta skulle kunna innebära att problemen med växthusgasemissioner från åkermark kommer bli ett större problem i framtiden. Direktsådd kan därför vara ett alternativ som kommer behöva övervägas.

Så som det ser ut idag är direktsådd svårt att implementera i större utsträckning i Sverige. Framförallt på grund av de minskade skördenivåerna som det skulle innebära. Det skulle även troligen göra odlingsssystemet mer beroende av kemiska bekämpningsmedel eftersom det skulle bli ökade problem med ogräs och växtskadegörare (Arvidsson et al. 2014). Ämnet är alldeles för outforskat för att kunna ge råd till lantbrukare som faktiskt är grundade i forskning även om mycket tyder på att direktsådd kan vara bättre på sikt.

## 4.2 Slutsats

Det är tydligt det finns en stor avsaknad av forskning som kan användas för att förstå hur jordbearbetning påverkar växthusgasemissioner från åkermark i norra Europa och Sverige. Detta gäller för alla tre växthusgaser. Mycket tyder dock på att plöjning ökar koldioxidavgång, reducerad jordbearbetning ökar lustgasutsläpp och att jordbearbetning har liten betydelse för metanutsläpp. Men det behövs göras nya

mätningar för att kunna säkerställa att detta stämmer. Framförallt för att besvara frågeställningen om hur det ser ut i Sverige.

Att förstå och bidra med kunskap om hur åkermark kan binda in växthusgaser från atmosfären samt hur jordbearbetning kan spela en roll är viktigt om vi vill minska jordbrukets klimatpåverkan. Speciellt om vi vill undvika att koncentrationen av växthusgaser ska ha ökat med 50 procent fram till 2030.

## Referenser

- Adhikari, K., Anderson, K.R., Smith, D.R., Owens, P.R., Moore Jr., P.A. & Libohova, Z. (2023). Identifying key factors controlling potential soil respiration in agricultural fields. *Agricultural & Environmental Letters*, 8 (2), e20117. <https://doi.org/10.1002/ael2.20117>
- Alskaf, K., Mooney, S.J., Sparkes, D.L., Wilson, P. & Sjögersten, S. (2021). Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*, 206, 104803. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104803>
- Appelberg, V (2024). *Drönarbild på traktor som plöjer*. [Fotografi][2024-05-31]
- Arvidsson, J., Etana, A. & Rydberg, T. (2014). Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. *European Journal of Agronomy*, 52, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.002>
- Boeckx, P., Van Nieuland, K. & Van Cleemput, O. (2011). Short-term effect of tillage intensity on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (3), 453–461. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0001-9>
- Buragienė, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, A., Kriaučiūnienė, Z., Avižienytė, D., Marozas, V. & Naujokienė, V. (2019). Relationship between CO<sub>2</sub> emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of The Total Environment*, 662, 786–795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.236>
- Busari, M.A., Kukul, S.S., Kaur, A., Bhatt, R. & Dulazi, A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3 (2), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P.W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W.W.L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., Jotzo, F., Krug, T., Lasco, R., Lee, Y.-Y., Masson-Delmotte, V., Meinshausen, M., Mintenbeck, K., Mokssit, A., Otto, F.E.L., Pathak, M., Pirani, A., Poloczanska, E., Pörtner, H.-O., Revi, A., Roberts, D.C., Roy, J., Ruane, A.C., Skea, J., Shukla, P.R., Slade, R., Slangen, A., Sokona, Y., Sörensson, A.A., Tignor, M., Van Vuuren, D., Wei, Y.-M., Winkler, H., Zhai, P., Zommers, Z., Hourcade, J.-C., Johnson, F.X., Pachauri, S., Simpson, N.P., Singh, C., Thomas, A., Totin, E., Arias, P., Bustamante, M., Elgizouli, I., Flato, G., Howden, M., Méndez-Vallejo, C., Pereira, J.J., Pichs-Madruga, R., Rose, S.K., Saheb, Y., Sánchez Rodríguez, R., Ürge-Vorsatz, D., Xiao, C., Yassaa, N., Alegria, A., Armour, K., Bednar-Friedl, B., Blok, K., Cissé, G., Dentener, F., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hansen, G., Hauser, M., Hawkins, E., Hermans, T., Kopp, R., Leprince-Ringuet, N., Lewis, J., Ley, D., Ludden, C., Niamir, L., Nicholls, Z., Some, S., Szopa, S., Trewin, B., Van Der Wijst, K.-I., Winter, G., Witting, M., Birt, A., Ha, M., Romero, J., Kim, J., Haites, E.F., Jung, Y., Stavins, R., Birt, A., Ha, M., Orendain, D.J.A., Ignon, L., Park, S., Park, Y., Reisinger, A., Cammaramo, D., Fischlin, A., Fuglestvedt, J.S., Hansen, G., Ludden, C., Masson-Delmotte,

- V., Matthews, J.B.R., Mintenbeck, K., Pirani, A., Poloczanska, E., Leprince-Ringuet, N. & Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K. & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>
- Chatskikh, D. & Olesen, J.E. (2007). Soil tillage enhanced CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil and Tillage Research*, 97 (1), 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.004>
- Chatskikh, D., Olesen, J.E., Hansen, E.M., Elsgaard, L. & Petersen, B.M. (2008). Effects of reduced tillage on net greenhouse gas fluxes from loamy sand soil under winter crops in Denmark. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128 (1–2), 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.05.010>
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, M. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. 1:6. Studentlitteratur.
- Folkesson, C. (2024). *Traktor som plöjer med vändskiveplog*. [Fotografi][2024-05-31]
- Folkesson, C. (2024). *Traktor som harvar*. [Fotografi][2024-05-31]
- Gustafsson, H. & Johansson, C. (2008). *Reducerad jordbearbetning*. (Jordbruksinformation, 28). Jordbruksverket.
- Henryson, K., Meurer, K.H.E., Bolinder, M.A., Kätterer, T. & Tidåker, P. (2022). Higher carbon sequestration on Swedish dairy farms compared with other farm types as revealed by national soil inventories. *Carbon Management*, 13 (1), 266–278. <https://doi.org/10.1080/17583004.2022.2074315>
- Indoria, A.K., Sharma, K.L. & Reddy, K.S. (2020). Hydraulic properties of soil under warming climate. I: *Climate Change and Soil Interactions*. Elsevier. 473–508. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00018-7>
- IUSS Working Group WRB (2022). *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (4th edition). International Union of Soil Sciences (IUSS). [2024-05-31]
- Jordbruksverket (2023). *Jordart i svensk åkermark*. [Karta] <https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/kartor-med-information-om-svensk-akermark>. [2024-05-31]
- Jordbruksverket (2023). *Jordbruksmarkens användning 2023. Preliminär statistik*. [Statistisk]. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2023-05-24-jordbruksmarkens-anvandning-2023.-preliminar-statistik> [2024-04-25]
- Jr, C.C., Wironen, M., Racette, K. & Wollenberg, E. (2021). Global Warming Potential\* (GWP\*): Understanding the implications for mitigating methane emissions in agriculture.
- Kainiemi, V., Arvidsson, J. & Kätterer, T. (2013). Short-term organic matter mineralisation following different types of tillage on a Swedish clay soil. *Biology and Fertility of Soils*, 49 (5), 495–504. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0786-6>
- Kainiemi, V., Arvidsson, J. & Kätterer, T. (2015). Effects of autumn tillage and residue management on soil respiration in a long-term field experiment in

- Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178 (2), 189–198. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400080>
- Keller, T (2024). *Direktsådd*. [Fotografi][2024-05-31]
- van Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Adviento-Borbe, M.A., Linquist, B. & van Groenigen, K.J. (2013). Climate, duration, and N placement determine N<sub>2</sub>O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 19 (1), 33–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x>
- Kim, D.-G., Giltrap, D. & Hernandez-Ramirez, G. (2013). Background nitrous oxide emissions in agricultural and natural lands: a meta-analysis. *Plant and Soil*, 373 (1–2), 17–30. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1762-5>
- Koizumi, H., Kontturi, M., Mariko, S., Nakadai, T., Bekku, Y. & Mela, T. (1999). Soil Respiration in Three Soil Types in Agricultural Ecosystems in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 49 (2), 65–74. <https://doi.org/10.1080/09064719950135560>
- Kollberg, H. (2024). *Denitrifikation* [Illustration] [2024-05-31]
- Kollberg, H. (2024). *Nitrifikation* [Illustration] [2024-05-31]
- Kätterer, T. & André, O. (2001). The ICBM family of analytically solved models of soil carbon, nitrogen and microbial biomass dynamics — descriptions and application examples. *Ecological Modelling*, 136 (2–3), 191–207. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00420-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00420-8)
- Lai, T.V., Farquharson, R. & Denton, M.D. (2019). High soil temperatures alter the rates of nitrification, denitrification and associated N<sub>2</sub>O emissions. *Journal of Soils and Sediments*, 19 (5), 2176–2189. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-02238-7>
- Lal, R. (2019). Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Soil and Tillage Research*, 188, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.001>
- Lal, R. (2020). Soil Erosion and Gaseous Emissions. *Applied Sciences*, 10 (8), 2784. <https://doi.org/10.3390/app10082784>
- Levy, P.E., Burden, A., Cooper, M.D.A., Dinsmore, K.J., Drewer, J., Evans, C., Fowler, D., Gaiawyn, J., Gray, A., Jones, S.K., Jones, T., McNamara, N.P., Mills, R., Ostle, N., Sheppard, L.J., Skiba, U., Sowerby, A., Ward, S.E. & Zielinski, P. (2012). Methane emissions from soils: synthesis and analysis of a large UK data set. *Global Change Biology*, 18 (5), 1657–1669. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02616.x>
- Li, Z., Zhang, Q., Li, Z., Qiao, Y., Du, K., Yue, Z., Tian, C., Leng, P., Cheng, H., Chen, G. & Li, F. (2023). Responses of soil greenhouse gas emissions to no-tillage: A global meta-analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 479–492. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.003>
- Magnusson Osmund, M. *Egen figur*. [Karta][2024-05-31]
- Maier, M., Weber, T.K.D., Fiedler, J., Fuß, R., Glatzel, S., Huth, V., Jordan, S., Jurasinski, G., Kutzbach, L., Schäfer, K., Weymann, D. & Hagemann, U. (2022). Introduction of a guideline for measurements of greenhouse gas fluxes from soils using non-steady-state chambers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185 (4), 447–461. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200199>
- Nationalencyklopedin (u.å.a). *Adsorption*. *Nationalencyklopedin*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/adsorption> [2024-04-23]
- Nationalencyklopedin (u.å.b). *Aerob*. *Nationalencyklopedin*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/aerob> [2024-04-23]
- Nationalencyklopedin (u.å.c). *Anaerob*. *Nationalencyklopedin*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/anaerob> [2024-04-23]



- Nationalencyklopedin (u.å.d). *Autotrof*. *Nationalencyklopedin*.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/autotrof> [2024-04-23]
- Nationalencyklopedin (u.å.e). *Heterotrof*. *Nationalencyklopedin*.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/heterotrof> [2024-04-23]
- Nationalencyklopedin (u.å.f). *Kolsänka*. *Nationalencyklopedin*.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kols%C3%A4nka> [2024-04-23]
- Naturvårdsverket (2022). *Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser*.  
*Naturvårdsverket*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/> [2024-04-02]
- Naturvårdsverket (2023). *Beräkna klimatpåverkan*. *Naturvårdsverket*.  
<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan/> [2024-04-23]
- Naturvårdsverket (2024). *Nettoutsläpp och nettoupptag av växthusgaser från markanvändning (LULUCF)*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-nettoutslassapp-och-nettoupptag-fran-markanvandning/> [2024-05-17]
- Nimmo, J.R. (2013). Porosity and Pore Size Distribution. I: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. B9780124095489052659. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05265-9>
- O'Neill, M., Lanigan, G.J., Forristal, P.D. & Osborne, B.A. (2021). Greenhouse Gas Emissions and Crop Yields From Winter Oilseed Rape Cropping Systems are Unaffected by Management Practices. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 716636. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.716636>
- Poeplau, C., Bolinder, M.A., Eriksson, J., Lundblad, M. & Kätterer, T. (2015). Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences*, 12 (11), 3241–3251. <https://doi.org/10.5194/bg-12-3241-2015>
- Prajapati, P. & Jacinthe, P.A. (2014). Methane oxidation kinetics and diffusivity in soils under conventional tillage and long-term no-till. *Geoderma*, 230–231, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.013>
- Pulido-Moncada, M., Petersen, S.O. & Munkholm, L.J. (2022). Soil compaction raises nitrous oxide emissions in managed agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42 (3), 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00773-9>
- Reay, D.S., Davidson, E.A., Smith, K.A., Smith, P., Melillo, J.M., Dentener, F. & Crutzen, P.J. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature Climate Change*, 2 (6), 410–416. <https://doi.org/10.1038/nclimate1458>
- Regina, K. & Alakukku, L. (2010). Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. *Soil and Tillage Research*, 109 (2), 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.009>
- Regina, K., Pihlatie, M., Esala, M. & Alakukku, L. (2007). Methane fluxes on boreal arable soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119 (3–4), 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.08.002>
- Ritchey, E. & McGrath, J. (u.å.). Determining Soil Texture by Feel.
- Rochette, P. (2008). No-till only increases N<sub>2</sub>O emissions in poorly-aerated soils. *Soil and Tillage Research*, 101 (1–2), 97–100. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.011>
- Rychel, K., Meurer, K.H.E., Börjesson, G., Strömgren, M., Getahun, G.T., Kirchmann, H. & Kätterer, T. (2020). Deep N fertilizer placement mitigated N<sub>2</sub>O emissions in a Swedish field trial with cereals. *Nutrient Cycling in*

- Agroecosystems*, 118 (2), 133–148. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10089-3>
- Shakoor, A., Shahbaz, M., Farooq, T.H., Sahar, N.E., Shahzad, S.M., Altaf, M.M. & Ashraf, M. (2021). A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *Science of The Total Environment*, 750, 142299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>
- Six, J., Ogle, S.M., Jay breidt, F., Conant, R.T., Mosier, A.R. & Paustian, K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biology*, 10 (2), 155–160. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x>
- SMHI (2024). *Sveriges klimat*. SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-1.6867> [2024-04-25]
- SMHI (2024). *Sveriges årsmedelnederbörd 1880-2021*. [Graf] <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-1.6867> [2024-05-31]
- SMHI (2024). *Sveriges årsmedeltemperatur 1880-2021*. [Graf] <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-1.6867> [2024-05-31]
- Smith, T.J. & Murrell, J.C. (2009). Methanotrophy/methane oxidation. I: *Encyclopedia of Microbiology*. Elsevier. 293–298. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00054-7>
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F. & Roger-Estrade, J. (2012). No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 118, 66–87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
- Soil Survey staff (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. (Agriculture handbook, 436). United States Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service.
- Stendahl, J. (2020). *Jordart*. SLU.SE. <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/markinfo/markprofil/jordart/> [2024-04-25]
- Steponavičienė, V., Bogužas, V., Sinkevičienė, A., Skinulienė, L., Vaisvalavičius, R. & Sinkevičius, A. (2022). Soil Water Capacity, Pore Size Distribution, and CO<sub>2</sub> Emission in Different Soil Tillage Systems and Straw Retention. *Plants*, 11 (5), 614. <https://doi.org/10.3390/plants11050614>
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., K. Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & M. Midgley, P. (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Tóth, E., Gelybó, G., Dencső, M., Kása, I., Birkás, M. & Horel, Á. (2018). Soil CO<sub>2</sub> Emissions in a Long-Term Tillage Treatment Experiment. I: *Soil Management and Climate Change*. Elsevier. 293–307. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812128-3.00019-7>
- Vallero, D.A. (2019). Air pollution biogeochemistry. I: *Air Pollution Calculations*. Elsevier. 175–206. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814934-8.00008-9>
- Voroney, P. (2019). Soils for Horse Pasture Management. I: *Horse Pasture Management*. Elsevier. 65–79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812919-7.00004-4>

- Wang, C., Amon, B., Schulz, K. & Mehdi, B. (2021). Factors That Influence Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils as Well as Their Representation in Simulation Models: A Review. *Agronomy*, 11 (4), 770. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040770>
- Wang, Q., Zhou, F., Shang, Z., Ciais, P., Winiwarter, W., Jackson, R.B., Tubiello, F.N., Janssens-Maenhout, G., Tian, H., Cui, X., Canadell, J.G., Piao, S. & Tao, S. (2020). Data-driven estimates of global nitrous oxide emissions from croplands. *National Science Review*, 7 (2), 441–452. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz087>

# Tack

Vill ägna ett stort tack till min handledare Thomas Keller som alltid funnits där för att svara på frågor under skrivprocessen och även för att han alltid varit en inspirerande föreläsare och lärare under utbildningen. Jag vill också tacka min examinator Helena Aronsson som kommit med bra synpunkter och feedback. Ett stort tack till Valter Appelberg och Christer Folkesson som bidragit med fina fotografier.

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.