

# Kan våra jordar rädda klimatet?

*En litteraturstudie om biologiska kolsänkor med applicering på Lunds kommun*

---

MY KNUTSSON 2020

MVEM30 EXAMENSARBETE FÖR MASTERSEXAMEN 30HP  
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET





# Kan våra jordar rädda klimatet?

*En litteraturstudie om biologiska kolsänkor med applicering  
på Lunds kommun*

My Knutsson  
2020



**LUNDS**  
UNIVERSITET

[WWW.CEC.LU.SE](http://WWW.CEC.LU.SE)  
[WWW.LU.SE](http://WWW.LU.SE)

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning  
Centrum för miljö- och  
klimatforskning  
Ekologihuset  
223 62 Lund

My Knutsson

MVEM30 Examensarbete för masterexamen - Fördjupning i tillämpad klimatstrategi, 30 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Kimberly Nicholas, LUCSUS, Lunds universitet

Externa handledare: Kristina Fontell och Linda Birkedal, Lunds kommun

Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2020

# Abstract

Reducing greenhouse gas emissions from land use, and increasing carbon storage in soils, is an important climate mitigation strategy. I conducted a literature study based on 174 articles to investigate the potential of temperate forest-, agricultural- and pasture land and urban parks to store carbon in soils; identified measures that could increase their storage potential by increasing the rate of sequestration of atmospheric carbon or slow the rate of carbon loss from soils and vegetation; and used these results to estimate potential carbon uptake by the Municipality of Lund, Sweden to 2030.

I find that generally urban parks (0,4 ton C/ha/year) followed by forests and pasture lands (both 0,3 ton C/ha/year) act as carbon sinks, while agricultural land is a source emitting 0,22 ton C/ha/year on average. I find that plantation of legumes in pasture land is one of the most effective measures to increase carbon sequestration among the four land uses. However, given the distribution of land in Lund (50% agriculture, 24% forest, 8,5% pasture and 0,13% urban parks) and the municipal ownership being largest among agricultural land, the focus should be on turning this land into carbon sinks thus preventing further emissions. If the most effective measures of *reduced tillage in agricultural land, forest conservation, plantation of legumes in pasture land and fertilization of urban parks* were taken, I estimate that Lund Municipality could take up as much as 7900 additional tons of carbon in their soils from now until 2030. However, local field samplings must be performed in order to determine the exact amount of carbon storage and rates of uptake within the municipality.

*Key words: Soil organic carbon, carbon sequestration, carbon storage, temperate, land use, agricultural land, pasture land, forest, urban park and Lund*

# Populärvetenskaplig sammanfattning

*Visste du att våra jordar står för 20% av världens koldioxidutsläpp? För att förhindra global uppvärmning och ödesdigra klimatförändringar måste åtgärder vidtas! Som tur är kan jordarna även fånga koldioxid och omvandla det till markbundet organiskt kol, då agerar de biologiska kolsänkor. Forskningsområdet är nytt och komplext men denna studie ger en översiktlig bild över svenska åkermarkers, skogsmarkers, betesmarkers och urbana parkers förmåga att lagra kol. Dessutom undersöker jag vilka åtgärder som kan tänkas öka kolinlagringen, vilket behövs om vi ska hålla världens temperaturökning väl under 2 °C.*

Via en litteraturöversikt visar denna studie att skogsmark, betesmark och urbana parker i Sverige är kolsänkor medan åkermark årligen släpper ut stora mängder koldioxid. Det är därför viktigt att vidta åtgärder på våra åkermarker för att minska växthusgasutsläppen. Exempel på bra åtgärder är: minskad markberedning, vallodling samt insådd av fånggrödor och perenna växter. Av de övriga markanvändningsområdena bedöms skogs- och betesmark vara de största kolsänkorna. Därför är de betydelsefulla kandidater i arbetet med att lagra kol och förhindra fortsatt global uppvärmning! Man bör dock inte glömma bort de urbana parkernas roll i det hela då även de kan lagra stora mängder kol, men då främst i ett kortare tidsperspektiv.

En kommun i Sverige som vill arbeta med biologiska kolsänkor är Lund vars organisation främst äger åkermark. På grund av detta rekommenderas att ett lokalt fokus läggs på att minska markanvändningsområdets koldioxidutsläpp samt att ett åtgärdsarbete påbörjas för att omvandla åkermarkerna till kolsänkor. Dessutom bör kommunen bevara sin skog i naturreservat, så in baljväxter i betesmarkerna och lämna kvar gräsklipp i sina parker. Förutsatt att Lunds kommun påbörjar ett åtgärdsarbete år 2020 kan de till 2030 lagra uppemot 7900 ton kol. En sådan mängd organiskt kol motsvarar 29 730 ton koldioxid, eller närmare 30 000 flygresor mellan Stockholm och Gran Canaria. Tänk att man kan lagra så mycket kol i sina marker – visst är det fantastiskt!?

Forskningsområdet kring biologiska kolsänkor är relativt outforskat men denna studie skildrar dagens kunskapsläge. Genom att lyfta vikten av att bruka våra marker rätt hoppas jag inspirera Lund såväl som andra kommuner till att börja arbeta med kolinlagring. Tillsammans kan vi minska utsläppen av koldioxid och fylla i de kunskapsluckor som finns inom det vetenskapliga fältet.



# Innehållsförteckning

## Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Populärvetenskaplig sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>7</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>9</b>
<i>Syfte och frågeställningar</i> .....	12
<i>Avgränsningar</i> .....	12
<b>Metod</b> .....	<b>15</b>
<i>Metod 1: Fastställande av kolförråd och kolinlagring</i> .....	15
<i>Metod 2: Åtgärder och ökad kolinlagring</i> .....	16
<i>Metod 3: Kartläggning</i> .....	17
<i>Metod 4: Sammanställning av data och statistisk signifikans</i> .....	17
<b>Resultat</b> .....	<b>19</b>
<i>Kolförråd och kolinlagring</i> .....	19
Betesmark.....	20
Åkermark .....	21
Skogsmark.....	22
Urbana parker.....	23
<i>Åtgärder för ökad kolinlagring</i> .....	25
Åtgärder för ökad kolinlagring i betesmark.....	25
Åtgärder för ökad kolinlagring i åkermark .....	28
Åtgärder för ökad kolinlagring i skogsmark .....	32
Åtgärder för ökad kolinlagring i urbana parker .....	36
<i>Kartläggning av Lunds biologiska kolsänkor</i> .....	39

<i>Sammanfattning av kolinlagring vid och utan åtgärder</i> .....	43
Applicering på Lunds kommun .....	45
<b>Diskussion</b> .....	<b>47</b>
<i>Biologiska kolsänkor: ett komplext system</i> .....	47
En kort diskussion om åtgärder .....	48
<i>Kolinlagring i Lunds kommun till 2030</i> .....	50
Sammanfattande rekommendationer och möjlig påverkan .....	51
<i>Framtida studier</i> .....	52
<i>Utvärdering av studiens metod</i> .....	53
<i>Etisk reflektion</i> .....	54
<b>Slutsats</b> .....	<b>55</b>
<b>Tack</b> .....	<b>56</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>57</b>
<b>Bilagor</b> .....	<b>71</b>
<i>Bilaga 1: Litteratursammanställning av kolförråd per markanvändningsområde</i> .....	71
<i>Bilaga 2: Litteratursammanställning av kolinlagringspotential per markanvändningsområde</i> .....	74
<i>Bilaga 3: Litteratursammanställning av åtgärder för ökad kolinlagring</i> .....	76
Åtgärder i åkermark .....	76
Åtgärder i betesmark .....	78
Åtgärder i skogsmark .....	79
Åtgärder i urbana parker .....	81



# Inledning

Till följd av antropogena utsläpp av växthusgaser håller världens klimat på att förändras. Extremväder som torka, stormar och översvämningar blir allt vanligare vilket bland annat påverkar jordens ekosystem samt människors säkerhet och livsmedelsproduktion (Ghadge et al., 2020). År 2014 beslutade det europeiska rådet att utsläppen av växthusgaser inom EU måste minska med 40% till 2030 jämfört med 1990 (Prop. 2016/17:16). Målsättningen är att hålla världens temperaturökning väl under 2°C och därigenom förhindra fortsatta klimatförändringar. Vidare rekommenderar Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) i sin specialrapport från 2018 att värmeökningen inte bör överstiga 1,5°C i syfte att bevara ett klimat med fungerande ekosystem och samhällen. För att uppnå detta måste åtgärder snarast vidtas i samtliga sektorer och ett nettonollutsläpp av växthusgaser uppnås till 2050. Även Sverige förbinder sig via Parisavtalet och de nationella klimatmålen till att arbeta med sagda mål men siktar på att nå ett nettonollutsläpp redan till 2045.

Ett av de viktigaste stegen för att uppnå dessa mål är att reducera emissionerna av koldioxid (CO<sub>2</sub>) vilka bedöms utgöra uppemot 80% av de globala antropogena utsläppen (Foster och Bedrosyan, 2014). En fjärdedel av dessa totala utsläpp kommer från jordbruk, skogsbruk och övrig markanvändning (IPCC, 2019). Hur jorden brukas har således en stor effekt på klimatet och området har fått ett tilltagande intresse hos beslutsfattare såväl som klimatforskare (Olson et al., 2014).

Växter binder via fotosyntes in CO<sub>2</sub> i sina växtdelar. Då de förmultnar blir dessa till markbundet organiskt material som består till 45–60% av kol (Stendahl, 2020). Genom denna process innehar världens jordar förmågan att binda in och långvarigt lagra CO<sub>2</sub> i form av organiskt kol. I och med markanvändningssektorns stora antropogena utsläpp finns idag ett växande intresse och behov av att bruka jordens marker på ett sätt som reducerar utsläppen samtidigt som kol binds in i marken (Kätterer et al., 2012). Ett sätt att uppnå detta är att anpassa markanvändningen så att jorden lagrar mer kol än vad den avger. Där så är fallet agerar marken biologisk kolsänka (Bolinder et al., 2017; van Kooten, 2009).

En biologisk kolsänka definieras av att mer organiskt kol binds in i ett markanvändningsområdes (MAO:s) biomassa och jord än vad som avges i form av CO<sub>2</sub> (Chenu et al., 2019). Om förhållandet är omvänt agerar området i stället kolkälla. Hur mycket kol som finns lagrat i ett område beskrivs av dess kolförråd vilket vanligtvis uttrycks i form av ton kol per hektar (ton C/ha) eller gram kol per

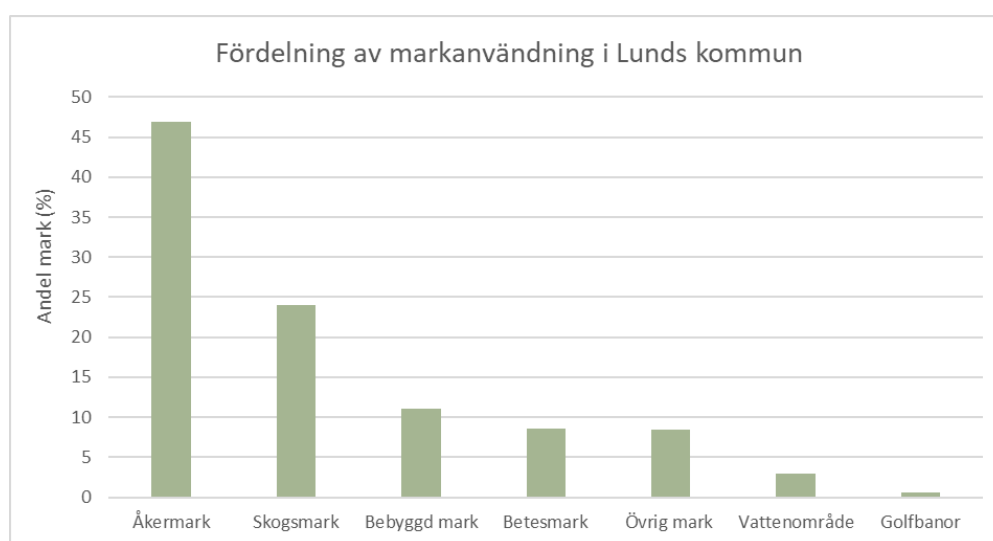
kvadratmeter ( $\text{g C/m}^2$ ) (ibid). I den vetenskapliga litteraturen belyses hur kolförråd skiljer sig åt mellan olika MAO:n och som exempel kan ses hur både betes- och skogsmark anses ha större kolförråd än åkermark (Kätterer et al., 2012). Genom att undersöka hur mycket kol ett utvalt område innehar och hur det förändras över tid kan det fastslås huruvida marken agerar kolsänka eller ej (Olson et al., 2014). Med vilken hastighet jorden ackumulerar kol beskrivs av dess kolinlagring (eng. carbon sequestration), vilket uttrycks i form av ton C/ha/år eller  $\text{g/m}^2/\text{år}$  (Lal och Augustin, 2012). Kolinlagringen avgörs i stor utsträckning av tillförsel av organiskt material, andelen mikroorganismer i marken samt av växtligheten, vilken via fotosyntes binder in koldioxid från atmosfären (Kätterer et al., 2012; Grace, 2004). Vidare undersöker litteraturen även hur olika åtgärder ökar kolinlagringen i olika MAO:n. Till dessa åtgärder hör bland annat minskad markberedning, bevattning och gödning (West och Post, 2002; Conant et al., 2001).

Forskningen kring biologiska kolsänkor med fokus på jord blev stor först på 90-talet då forskare fastslog att cirka 75% av de terrestra kolförråden återfinns i våra marker (Ontle och Schulte, 2012; Grace, 2004). Då 1 kg markbundet kol bedöms motsvara 3,7 kg koldioxid var detta en betydande upptäckt och idag, 2020, arbetar flera länder och städer med biologiska kolsänkor i syfte att minska sin klimatpåverkan och följa IPCC:s rekommendationer (Wennman, 2009).

I Sverige bedöms det viktigaste MAO:t för att lagra kol vara produktiv skogsmark, vilket täcker cirka 70% av landets yta (Cintas et al., 2017). Att bruka skogen på ett restriktivt och bevarande sätt som minskar utsläppen vid avverkning har därför fått ett stort nationellt fokus (Naturvårdsverket, 2018). Då Sverige till ytan innehar mest skog av de europeiska länderna spelar MAO:t även en avgörande roll i EU:s klimat- och miljömålsarbete (Europaparlamentet, 2017).

En kommun i Sverige som vill undersöka möjligheten i att arbeta med kolinlagring är Lund. Kommunen har i sitt miljömålsarbete, vilket definieras i programmet LundaEko II, fastslagit att de ska minska sina utsläpp av växthusgaser med 50% till 2020 jämfört med 1990 (Lunds kommun, 2017). Dessutom ska utsläppen vara nära noll år 2050. För att uppnå detta har kommunen utvecklat mål som *Hållbar konsumtion* och *Minsta möjliga klimatpåverkan*. I arbetet inom dessa mål ingår även att den kommunala organisationen till 2020 ska vara helt fossilfri. (ibid.) Under hösten 2019 arbetade kommunen aktivt med att revidera LundaEko II och nya mål presenteras under våren 2020. I revideringsprocessen fastslogs att vidare åtgärder krävs för att lyckas uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser till 2050 (K. Fontell, personlig kommunikation, december 10, 2019). Som ett steg i detta vill kommunen undersöka möjligheten i att arbeta med negativa utsläpp, i form av kolinlagring, via biologiska kolsänkor. Lunds kommuns målsättning är att till 2030, då miljömålen återigen ska revideras, kunna presentera en minskad klimatpåverkan som ett resultat av ökad kolinlagring i de kommunalt ägda markerna (ibid).

Lunds kommun som organisation äger cirka 3800 hektar mark av den totala kommunala ytan som uppgår till 43 990 hektar (O. Svensson, personlig kommunikation, mars 04, 2020). Enligt den Statistiska centralbyrån (SCB) består markanvändningen inom kommunens geografiska område av 47% åkermark, 24% skogsmark, 11% bebyggd mark, 8,5% betesmark, 8,5% övrig mark, 3% vatten, samt 1% golfbanor (se figur 1).



Figur 1 föreställande fördelning av markanvändningsområden inom Lunds geografiska område. Egen illustration skapad med hjälp av statistik från SCB (2015).

Övrig mark definieras i enlighet med SCB (personlig kommunikation, januari 18, 2020) som öppen myr, naturligt gräsbevuxen mark samt berg i dagen. I denna fördelning av markanvändning ingår inte urbana parker och grönytor. Det bör därför belysas att det i Lunds kommun även finns cirka 60 ha parker vilka ägs av den kommunala organisationen (O. Svensson, personlig kommunikation, mars 10, 2020). De urbana grönytorerna motsvarar således 0,13% av den totala markanvändningen inom kommunen.

## Syfte och frågeställningar

Studiens syfte är att via en litteraturstudie undersöka i vilken utsträckning åkermark, betesmark, skogsmark och urbana parker i svenskt tempererat klimat agerar biologiska kolsänkor. Vidare kommer även olika åtgärder vilka kan öka markanvändningsområdenas kolinlagring diskuteras. Avslutningsvis kommer studiens resultat appliceras på Lunds kommun i syfte att undersöka hur mycket kol kommunen som organisation kan lagra till 2030. För att uppfylla studiens syfte har följande frågeställningar formulerats:

- [1] I vilken utsträckning är markanvändningsområdena åkermark, betesmark, skogsmark och urbana parker i svenskt tempererat klimat biologiska kolsänkor?
- [2] Vilka åtgärder kan öka markanvändningsområdenas kolinlagring?
- [3] Hur mycket av respektive markanvändningsområde äger Lunds kommun som organisation och var är de belägna?
- [4] Hur mycket kol kan Lunds kommun som organisation lagra till 2030 och vilka åtgärder kan vidtas för att maximera kolinlagringen?

## Avgränsningar

Då denna studie ska vara applicerbar på Lunds kommun har samtliga litteratursökningar anpassats därefter. Således har ett särskilt fokus lagts på litteratur vilken behandlar svenskt och tempererat klimat samt markanvändning och åtgärder som är relevanta för kommunen. På grund av studiens tidsram avgränsades arbetet dessutom till att enbart identifiera åtgärder som själva kan öka markområdets kolinlagring. Således kommer inga eventuella synergieffekter vilka kan uppstå vid användandet av flertalet åtgärder diskuteras. Dessutom undersöker studien inte vilka ekonomiska, sociala och tekniska incitament som krävs för att vidta en åtgärd. Studien kommer inte heller i vidare utsträckning diskutera de identifierade åtgärdernas nackdelar och komplikationer i form av påverkan på biodiversitet, ekosystemtjänster eller liknande.

Arbetet begränsades till att undersöka fyra MAO:n vilka valdes ut i samråd med kommunen. De områden som undersöks i detta arbete är åkermark, betesmark, skogsmark och urbana parker. Att dessa områden valdes ut motiveras av att de täcker cirka 85% av den kommunala ytan samt att där fanns ett särskilt intresse för nämnda MAO:n.

Vidare är studien avgränsad till att fokusera på biologisk kolinlagring i jord. Således kommer studien inte undersöka hur mycket kol som kan lagras i växtlighet och biomassa, vilket bedöms vara ett eget forskningsområde. Arbetet kommer inte heller i någon vidare utsträckning diskutera hur biologisk kolinlagring påverkar andra växthusgaser än koldioxid; I de fall där identifierade åtgärder påverkar exempelvis metangas kommer så redovisas men då endast ytligt och utan större diskussion.

Som sista avgränsning bör nämnas att studien på grund av en begränsad tidsram endast undersöker urbana grönytor inom Lund och tätorterna Dalby, Veberöd, Södra Sandby och Genarp. Att så är fallet motiveras dels av att det kartprogram som använts i studien fokuserar på dessa områden. Dessutom bor 98% av Lunds kommuns befolkning inom sagda områden varpå de bedömdes vara mest relevanta att inkludera i studien. Vidare definieras urbana grönytor i denna studie som större sammanhängande gräsmarker som allmänheten har tillgång till. Denna avgränsning togs fram i samråd med kommunen och syftar till att begränsa studiens kartläggning till att främst gälla parker i staden. På grund av denna avgränsning inkluderas således inte exempelvis kyrkogårdar, refuger eller privata trädgårdar och kolonier.





# Metod

## Metod 1: Fastställande av kolförråd och kolinlagring

En litteraturstudie genomfördes för att samla in data gällande de fyra MAO:mas kolförråd och kolinlagring och således besvara den första frågeställningen: *"Agerar markanvändningsområdena åkermark, betesmark, skogsmark och urbana parker biologiska kolsänkor eller ej och i sådana fall i vilken utsträckning?"*. Sökmotorn Google Scholar samt databaserna Lub Search och Web of Science kom att användas. I enlighet med Lunds universitets guide för litteraturstudier (2020) utformades en sökstrategi där följande svenska sökord definierades:

- kolsänk\*, kolinlagring, kollagring, kolupptag, markbundet kol, markanvändning, jordbruk, åkermark, betesmark, skogsbruk, urbana gräsytor, urbana grönytor och tempererat klimat.

Då litteratursökningen även genomfördes på engelska för att bredda det vetenskapliga underlaget användes också följande engelska sökord:

- carbon sequestration, carbon storage, soil organic carbon, SOC, land management, cropland, grassland, farmland, pasture land, arable land, forest, land use, urban environment, urban park, boreal climate och temperate climate.

Då studien syftar till att appliceras på Lunds kommun begränsades samtlig litteratur till att gälla främst svenska klimat. Där så inte var möjligt på grund av en begränsad litteraturmängd utvidgades sökningarna till att även inkludera Norden, Norra Europa samt boreala och tempererade klimat. Det bör noteras att även litteratur från Nordamerika och Asien stundom kom att användas. Detta gjordes dock endast då mer relevant litteratur inte gick att finna. Vidare avgränsades litteratursökningen till att främst gälla vetenskapligt granskade artiklar publicerade efter 2000. Syftet var att hitta så relevanta och aktuella källor som möjligt. Ett fåtal äldre böcker och artiklar kom att användas men då endast där så bedömdes vara nödvändigt till grund av att de innehöll betydande information vilken saknades i nyare studier.

Efter att sökord och avgränsningar fastställts utformades studiens sökslingor vilka presenteras nedan:

1. (kollagring OR kolinlagring) AND (tempererad OR tempererat OR Sverige) AND (*åkermark* OR *jordbruksmark*)
2. (" carbon sequestration" OR SOC OR "soil organic carbon" OR "carbon storage") AND (temperate OR Sweden) AND (*farmland* OR *cropland* OR *arable land*)

Den kursiva texten kom att anpassas efter aktuellt MAO; Där en första sökning undersökte åkermark byttes texten i den sistkommande parentesen ut för att sökningen skulle vara applicerbar även på skogsmark, betesmark och urbana grönytor.

Utav de artiklar som hittades med hjälp av sagda sökord och sökslingor användes de där både titel och sammanfattning bedömdes vara relevanta för studien. Totalt samlades 58 artiklar in vilka presenteras i bilaga 1 och 2. Samtliga artiklar granskades sedan i syfte att identifiera data gällande kolförråd och kolinlagring i de fyra MAO:na. Vid extrahering av data valdes studiernas medelvärden ut. Dessutom standardiserades all data till enheten ton kol per hektar (ton C/ha) i syfte att skapa ett statistiskt jämförbart dataunderlag vilket presenteras i studiens resultat.

## Metod 2: Åtgärder och ökad kolinlagring

För att besvara frågeställning två: "*Vilka åtgärder kan öka områdenas kolinlagring?*" genomfördes ytterligare litteratursökningar. Syftet var att hitta källor vilka påvisar en eller flera åtgärders påverkan på kolinlagring uttryckt i ton kol per hektar och år (ton C/ha/år). Liknande begrepp som de nämnda ovan användes men ett särskilt fokus lades på markanvändning, åtgärder och ökad kolinlagring. På engelska användes främst begreppen land management, carbon sequestration och land cover change. Likt tidigare användes Google Scholar, Lubsearch samt Scopus och samma avgränsning gällande litteraturens relevans antogs. Det bör dock belysas att den svenska litteraturen om åtgärder var relativt begränsad. På grund av detta kom även en del internationella studier att inkluderas vid insamlandet av data, vilket presenteras och diskuteras senare i studien. Totalt identifierades 116 källor varav 94 var vetenskapligt granskade artiklar.

Utöver att artiklar valdes ut baserat på titel och sammanfattning användes även kedjesökningar. Således har ingen strikt systematisk litteraturöversikt ägt rum utan stor vikt har lagts vid urval av relevanta artiklar baserat på titel, sammanfattning och författares rekommendationer. Till exempel kontaktades flertalet författare till

använda källor i syfte att rådfråga om fler relevanta artiklar. Även dessa kom att användas i studien.

## Metod 3: Kartläggning

I avsikt att besvara den tredje frågeställningen ” Hur mycket av respektive markanvändningsområde äger Lunds kommun som organisation och var är de belägna?” utvecklades ett antal kartor. Kartorna togs fram med hjälp av Lunds kommuns egna intranätskartor vilka baseras på ArcGIS och programmet Corine. Då intranätskartorna var begränsade till att enbart hantera ett fåtal lager med information åt gången utvecklades en karta per MAO. I samtliga kartor redovisas skala, väderstreck samt aktuellt MAO. Dessutom är den mark som ägs av kommunen markerad. För att beräkna hur stor yta Lunds kommun äger av respektive MAO markerades de aktuella områdena med hjälp av polygoner för därigenom få fram en area uttryckt i hektar (ha). Då viss information gällande area för åkermark, skogsmark och urbana parker fanns att tillgå från tidigare kommunala rapporter användes denna för att verifiera de areor som beräknats i denna studie.

Avslutningsvis bör det redan här noteras att tekniska problem uppstod vid framtagandet av kartan vilken visar urbana grönytor i Genarp. På grund av detta fick den tas fram i efterhand vilket resulterade i att kartans färgsättning skiljer sig från övrigt material.

## Metod 4: Sammanställning av data och statistisk signifikans

All data gällande MAO:ns kolförråd och kolinlagring sammanställdes i Excel enligt följande modell:

MAO	Referens	Kolförråd (ton C/ha)	Kolinlagring (ton C/ha/år)	Geografiskt område	Metod	Vetenskapligt granskad
-----	----------	-------------------------	-------------------------------	-----------------------	-------	---------------------------

Även data gällande åtgärders kolinlagring ställdes samman i liknande tabellform. Samtliga värden analyserades därefter via ANOVA-test i syfte att undersöka dataunderlagets statistiska signifikans. I de fall där testerna påvisade en signifikant skillnad genomfördes även Tukey's post-hoc test vilket identifierar skillnader

mellan flertalet grupper. Syftet med detta var att undersöka var den insamlade datan varierar och därigenom fastslå exempelvis vilka åtgärder som är statistiskt fördelaktiga. I de fall där ANOVA-testerna inte påvisade statistisk signifikans drogs i stället slutsatsen att de studerade grupperna inte skiljer sig åt i någon vidare utsträckning.

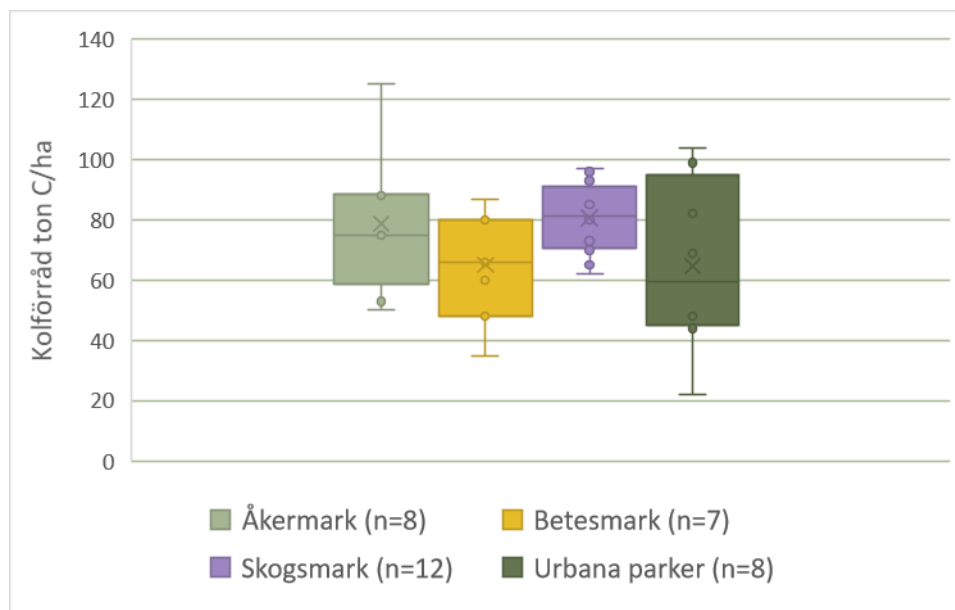
I resultatet presenteras samtliga p-värden, frihetsgrader (fg) och f-värden i syfte att åskådliggöra studiens dataunderlag. Signifikansnivån (p) fastställdes till 0,05 i samtliga test. Att frihetsgrader och f-värden inkluderas i studien motiveras av att fg visar hur många jämförelser som kan göras mellan olika datagrupper, vilket belyser dataunderlagets storlek. F-värdet visar i stället hur stor skillnad det är mellan grupper, vilket även det är högst relevant vid användandet av ANOVA-test.



# Resultat

## Kolförråd och kolinlagring

För att undersöka hur stora kolförråd de fyra MAO:na ängsmark, betesmark, skogsmark och urbana parker innehar utfördes en litteraturstudie. Totalt insamlades 35 källor varav 25 var vetenskapligt granskade artiklar. Den återstående litteraturen bestod av ett par böcker samt flertalet rapporter från bland annat Skogsstyrelsen, Jordbruksverket och Naturvårdsverket (för komplett litteraturlista se bilaga 1). Som kan ses i figur 2 beräknas markernas genomsnittliga kolförråd uppgå till: 78 ton C/ha för åkermark, 65 ton C/ha för betesmark, 81 ton C/ha för skogsmark och 64 ton C/ha för urbana parker. Enligt denna sammanställning innehar skogsmark störst kolförråd. Vid utförd ANOVA-test påvisades dock ingen signifikant skillnad mellan markernas kolförråd ( $p=0,86$ ,  $f = 2,4$  och  $fg = 3$ ).



Figur 2: En sammanställning över kolförråd i markanvändningsområdena: ängsmarks, betesmarks, skogsmarks och urbana parkers. Antalet studier som använts som dataunderlag definieras i figuren som n och medelvärden som x. Medianvärden visas med streck genom boxarna.

Huruvida ett MAO agerar biologisk kolsänka eller ej avgörs dock inte utav dess aktuella kolförråd. Det är i stället markens kolinlagring som spelar en avgörande roll då denna visar hur mycket kol som årligen lagras in eller avges till atmosfären. Ytterligare 23 källor användes därför för att beräkna de fyra MAO:ernas kolinlagring (för komplett litteraturlista se bilaga 2). Av dessa var 22 vetenskapligt granskade artiklar. Utöver artiklarna användes även en rapport från Sveriges Lantbruksuniversitet (Berg et al., 2005).

Som kan ses i tabell 1 är den genomsnittliga kolinlagringen för åkermark -0,22 ton C/ha/år, 0,09 ton C/ha/år för betesmark, 0,3 ton C/ha/år för skogsmark och slutligen 0,4 ton C/ha/år för urbana parker. Således är åkermark en kolkälla vilken ur ett tioårsperspektiv släpper ut 2,2 ton C/ha. Betesmark, skogsmark och urbana parker är däremot kolsänkor vilka till 2030 beräknas lagra mellan 3 och 4 ton C/ha (se tabell 1).

**Tabell 1. Sammanställning av de fyra markanvändningsområdenas kolinlagring. Medelvärden är beräknade utifrån respektive kolinlagringsintervall, dvs. skillnaden mellan högsta och lägsta kolinlagring dividerat med två.**

Markanvändningsområde	Antal studier	Lägsta kolinlagring ton C/ha/år	Högsta kolinlagring ton C/ha/år	Medelvärde ton C/ha/år
Betesmark	6	0,012	0,6	0,3
Åkermark	5	-0,8	0,3	-0,22
Skogsmark	6	0,18	0,68	0,3
Urbana parker	6	0,12	0,9	0,4

Vid utfört ANOVA-test påvisades statistisk signifikans ( $p = 0,007731$ ,  $f = 5$  och  $fg = 19$ ) mellan markernas kolinlagring. Då datan analyserats via Tukey's test kunde en statistiskt påvisbar skillnad mellan kolinlagring i åkermark och skogsmark respektive urbana parker fastslås.

En vidare skildring av vad litteraturen berättar om MAO:ernas kolförråd och kolinlagring redovisas i kommande stycken.

## **Betesmark**

### *Betesmarkens kolförråd*

Betesmark har enligt den insamlade litteraturen ett kolförråd motsvarande 35–87 ton C/ha (se figur 2). Således finns en relativt stor datavariation i de använda källorna. Att så är fallet förklaras i studierna av att markens kolförråd är ett omfattande system vilket påverkas av flertalet faktorer såsom tidigare markanvändning, lokalt klimat, säsong och provtagningsdjup (Karlton et al., 2010; Sindhøj et al., 2006; Conant et al., 2005). I förhållande till detta skriver Karlton et

al. (2010) i sin rapport hur betesmark i södra Sverige generellt innehåller ett kollager på 87 ton C/ha men att en exakt siffra är svår att fastslå till följd av markens komplexitet. Vidare beskriver författarna att de största kolförråden finns i betesmark på kulturjordmån, dvs. i betesmarker som tidigare brukats som åkermark.

Av den insamlade litteraturen påvisas ingen skillnad mellan studier som undersöker svenska (Kätterer et al., 2012; Poeplau et al., 2015a) respektive europeiska betesmarker (Nordborg, 2016). Däremot är det intressant att de två studier som via provtagning undersöker svenska betesmarkers kolförråd uppger varierande data. Sindhøj et al. (2006), vilka baserar sin data på 12 prover, fastslår i sin studie att betesmarkers kolförråd uppgår till cirka 35 ton C/ha. Kätterer et al. (2012) menar i stället att det kan uppgå till 80 ton C/ha, vilket de baserar på totalt 198 prover (se bilaga 2).

#### *Kolinlagring i betesmark*

Litteraturen är enig om att betesmark årligen lagrar in kol och således agerar kolsänka (se tabell 1). Faktum är att Europas betesmarker beskrivs vara betydelsefulla biologiska kolsänkor då de utgör cirka 22% av landmassan och kontinuerligt lagrar in stora mängder koldioxid (Soussana et al., 2007; Janssens et al., 2005). Hur mycket kol som lagras in varierar dock i litteraturen och av de studier som undersöker svensk betesmark påvisas ett kolinlagringsintervall motsvarande 0,012–0,6 ton C/ha/år (Schulp et al., 2008 och Janssens et al., 2005). Att variationen är stor förklaras av Soussana et al. (2010) av att kolinlagringen påverkas av markskötsel och då främst hur många djur som betar, hur intensiv skötseln är och hur mycket gödsel som tillförs.

Avslutningsvis skriver litteraturen hur betesmark lagrar in merparten av sitt kol under de första 40–50 åren. Anledningen beskrivs vara att marken då är som mest produktiv samt att mycket organiskt material bryts ned under denna period (Ammann et al., 2007; Jones och Donnelly, 2004).

## **Åkermark**

#### *Åkermarkens kolförråd*

De artiklar som via egna litteraturstudier undersöker svenska åkermarkers potentiella kolförråd är eniga om att det i genomsnitt uppgår till 75 ton C/ha (Berglund et al., 2009; Cederberg et al., 2012; SLU, 2002). I de studier där prover tagits verkar dock kolförråden snarare vara uppemot 90 ton C/ha (Bolinder et al., 2012 och Poeplau et al., 2015b). Att åkermarkers kolförråd är relativt stora jämfört med de i exempelvis betesmark och urbana parker förklaras av att åkrar ofta har placerats på bördig mark vilka innehåller höga mineral- kol- och näringsvärden (Karlton et al., 2010). Högst kolförråd innehåller de åkermarker som finns på

organogena jordar, vilka innehåller en hög halt av organiskt material (Berglund et al., 2009; Eriksson et al., 2010). Likt betesmark beror MAO:ts kolförråd till stor del på markskötsel men då främst i form av plöjning, gödsling, val av grödor och växtföljd (Poeplau et al., 2015).

#### *Kolinlagring i åkermark*

Åkermark avger i genomsnitt 0,2 ton C/ha/år (se tabell 1). Att marken avger kol innebär att den agerar kolkälla och att dess kolförråd kontinuerligt avtar (Janssens et al., 2005; Freibauer et al., 2004). Av de studerade artiklarna uppger fyra av fem att åkermark släpper ut kol och författarna förklarar fenomenet med att markerna ofta är hårt bearbetade och att markberedning så som plöjning frigör organiskt kol (Smith et al., 2005; Schulp et al., 2008). Vidare skriver Smith et al. (2005) att åkermarker potentiellt är Europas största biologiska kolkällor, vilka dessutom täcker 30% av den europeiska landytan. Att vidta åtgärder för att minska MAO:ts utsläpp av koldioxid beskrivs därför vara av högsta relevans för att hålla jordens uppvärmning väl under 2°C (Smith et al., 2005; Freibauer et al., 2004).

Poeplau et al. (2015) menar dock att svenska åkermarker kan agera kolsänka; Vid upprepade mätningar på 21 åkrar kunde författarna påvisa en positiv kolinlagring på 18 av lokalerna. Att deras resultat skiljer sig åt från övrig litteratur motiverar författarna med att många svenska åkrar innehåller perenna grödor samt vall vilket bidrar till en positiv kolinlagring.

## **Skogsmark**

#### *Skogens kolförråd*

Av de studerade MAO:erna har skogsmark det i genomsnitt största kolförrådet (se figur 2). Detta stämmer väl överens med den vetenskapliga litteraturen vilken uppger att svenska tempererade skogar innehåller några av världens största kolreservoarer (Ortiz et al., 2011; Lal, 2005). Merparten av den studerade litteraturen vittnar om att svensk skogsmark innehåller kolförråd motsvarande 80–85 ton C/ha (Andersson och Palme., 2012; Gustafson, 2006; Eriksson, 2006). Då Oostra et al. (2006) undersökte kolförrådet i skånska skogar påvisades dock en kolhalt på 93 t/ha.

Merparten av skogens organiska kol finns i markens förna och humuslager, vilka utgör markprofilens övre 50 cm (SLU, 2017; Olsson et al., 2009; Rytter, 2012). Hur stort kolförrådet är påverkas av flertalet faktorer där de mest avgörande är: årlig kvävetillförsel, avverkningsmetod, temperatur och nederbörd (Andersson och Palme, 2012; Ortiz et al., 2013; Olsson et al., 2009). Även lokalt klimat och val av trädsort har en inverkan på skogens kollager och barrskog i kallare klimat bedöms innehålla de största kolreservoarerna (Oostra et al., 2006; Ortiz et al., 2013).

Avslutningsvis bör det nämnas att kolförråden i skogsreservat och produktionsskog där träden fortfarande växer inte skiljer sig åt (Andersson och Palme, 2012).

#### *Kolinlagring i skogsmark*

Janssens et al. (2005) skriver att europeiska produktionsskogar generellt sett agerar kolsänkor till följd av att kolinlagringen är större än det årliga uttaget av biomassa. I Sverige beräknas kolinlagringen uppgå till cirka 0,3 ton C/ha/år (Schulp et al., 2008). Dock vittnar litteraturen om att kolinlagringen i södra Sverige och Skåne kan nå en storlek motsvarande 0,4–0,68 ton C/ha/år (Akselsson et al., 2005; Schulp et al., 2008). Att kolinlagringen är större i södra Sverige förklaras av att Skåne har ett generellt varmare klimat vilket gynnar nettoproduktionen och tillförseln av organiskt material och kol (Berg et al., 2005).

Den största kolinlagringen sker under skogens första 40 år då träden växer som mest. Under denna period tillförs stora mängder organiskt material till marken och genom fotosyntesen binds kol även in via trädens rötter (Berg et al., 2007). Vidare varierar kolinlagringen mellan olika trädsorter. Bok och ek bedöms lagra uppemot 0,4 ton C/ha/år medan tall och björk binder in cirka 0,15 ton C/ha/år (Berg et al., 2005; Ortiz et al., 2013).

## **Urbana parker**

#### *Urbana parkers kolförråd*

Merparten av urbana parkers organiska kol återfinns i de översta 0–40 cm av markprofilen (Canedoli et al., 2019; Yoon et al., 2016) och kolförrådet uppgår i genomsnitt till 64 ton C/ha (se figur 2). Vid mätningar i England och Finland, vilkas klimat kan liknas vid Sveriges, uppmättes dock kolhalter på 99 respektive 104 ton C/ha (Edmondson et al., 2014; Lindén et al., 2020). Det bör vidare belysas att tidigare studier understryker komplexiteten i att fastslå parkers kolförråd och att de i stor utsträckning påverkas av markskötsel och tidigare markanvändning (Takahashi et al., 2008; Pouyat et al., 2002). Trots detta bedöms kolförråden vara relativt stabila till följd av att urbana parker sällan påverkas av mer omfattande markberedning, vilket annars kan frigöra kol (Lindén et al., 2020).

#### *Kolinlagring i urbana parker*

Urbana parker är enligt litteraturen utforskade men betydelsefulla kolreservoarer vilka årligen lagrar uppemot 0,4 ton C/ha (Weissert et al., 2016). Hur stor en parks kolinlagring är varierar dock i stor utsträckning den påverkas av bland annat markskötselns intensitet, tillförsel av kväve och kvarlämnande av gräsklipp (Zirkle et al., 2011; Tidåker et al., 2017; Poeplau et al., 2016). Även bevattning anses i viss mån kunna ha en positiv inverkan på kolinlagringen (Qian et al., 2002).



Kolinlagringen påverkas också av lokalt klimat så som temperatur och nederbörd, vilket kan förklara det vida dataintervall som presenteras i tabell 1. Ett optimalt klimat för kolinlagring i urbana parker beskrivs vara 21°C och en nederbördsmängd som förhindrar torka (ibid).

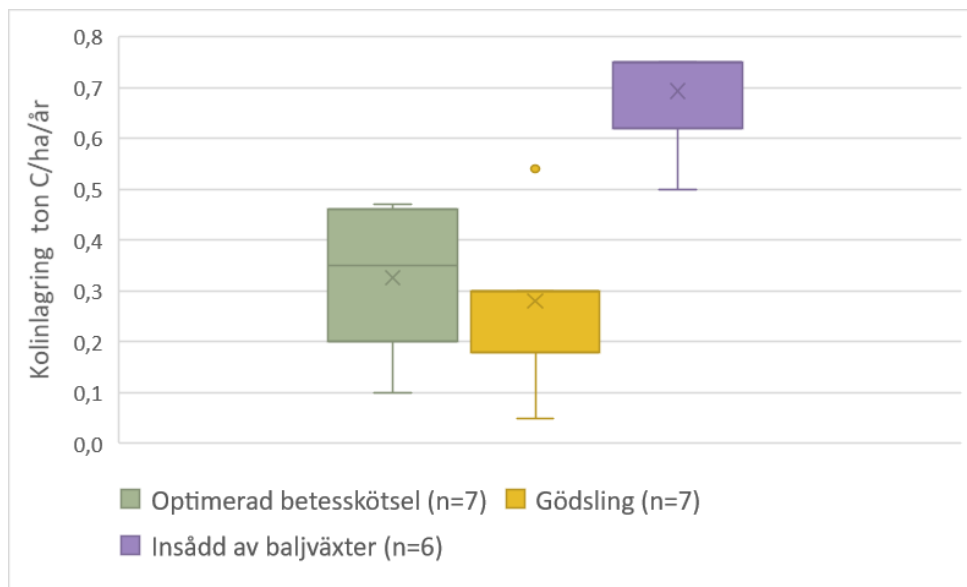
Avslutningsvis bör det nämnas att kolinlagringen är som störst de första 20–25 åren efter det att en urban park eller större grönyta anläggs (Huh et al., 2008; Poeplau et al., 2016; Gu et al., 2015).

## Åtgärder för ökad kolinlagring

I denna del av resultatet presenteras åtgärder vilka kan öka kolinlagringen i de fyra MAO:na åkermark, betesmark, skogsmark och urbana parker. Resultatet baseras på totalt 116 källor varav 93 är vetenskapligt granskade artiklar. Resterande källor består av myndighetsrapporter, doktorsavhandlingar och läroböcker (för komplett litteraturlista se bilaga 3).

### Åtgärder för ökad kolinlagring i betesmark

Via litteratursökningar har tre återkommande åtgärder för ökad kolinlagring i betesmark identifierats: optimerad betesskötsel, gödsling samt insådd av baljväxter (Conant et al., 2017; Soussana et al., 2010). Viktigt att belysa är att den vetenskapliga litteraturen även identifierar bevattning, insådd av gräs med djupa rötter samt brandskydds kontroll som åtgärder för betesmark. Dock är dessa främst relevanta för savann och stepp, varvid de har uteslutits från denna studie som har ett fokus på Sverige och Lund (IPCC, 2007). Av de åtgärder som är tillämpliga i Lunds kommun är de respektive medelvärdena för kolinlagring 0,3 ton C/ha/år för optimerad betesskötsel, 0,28 ton C/ha/år för gödsling samt 0,69 ton C/ha/år för insådd av baljväxter (se figur 3).



Figur 3: Sammanställning av åtgärder i betesmark samt deras respektive kolinlagring uttryckt i ton C/ha/år. Antal studier som använts som dataunderlag definieras i figuren som n och medelvärden som x. Utfört ANOVA och Tukey's test påvisar att insådd av baljväxter skiljer sig signifikant från optimerad betesskötsel och gödsling.

Då den insamlade datan analyserades med hjälp av ett ANOVA-test framgick att där finns en signifikant skillnad åtgärderna emellan ( $p = 4,7 \cdot 10^{-5}$ ,  $f = 19$  och  $fg = 17$ ). För att identifiera skillnaden genomfördes ett Tukey's test vilket klargjorde att insådd av baljväxter statistiskt sett har en högre kolinlagringspotential som åtgärd än optimerad betesskötsel och gödsling.

#### *Optimerad betesskötsel*

Optimerad betesskötsel (eng. optimized grazing) beskriver de betesstrategier som syftar till att optimera betesmarkens växtproduktion, vattenhållningsförmåga och kolinlagringsförmåga (Nordborg, 2016). En av de vanligaste strategierna för att uppnå detta är användandet av betesrotation varvid boskap periodvis vallas mellan flera betesmarker. På detta sätt säkerställs att den brukade marken inte blir överarbetad och degraderad (Savory, 2008; Briske et al., 2011). Dessutom visar studier att boskapsförflyttning var tionde dag minskar risken för parasitspridning mellan djuren (SLU, 2003).

I Sverige är det vanligt förekommande att boskap förflyttas mellan fyra olika betesområden, vilket även starkt rekommenderas av Karlton, Jacobson och Lennartsson (2010). Genom lagom intensiv betesskötsel med rotation tillåts markens växtlighet återhämta sig, och med hjälp av nedbrytbart organiskt material bestående av betesrester och gödsel bedöms foderproduktionen kunna flerdubblas (McCosker, 2000). Denna tillväxt på betesmarkerna resulterar i en tilltagande respiration vilket vidare ökar markens kolinlagringsförmåga. Därav beskrivs optimerad betesskötsel av Conant et al. (2001) vara en effektiv åtgärd för att förbättra betesmarkers kolinlagringsförmåga.

#### *Gödsling av betesmark*

Växter förbrukar kväve i form av nitrat och ammonium och binder via fotosyntes in luftburet kol ( $\text{CO}_2$ ), vilket skapar kolhydrater. Då växten dör bryts den ned av mikroorganismer vilka omvandlar det organiska materialet till markbundet kol (Pettersson, 2006). Även mikroorganismers tillväxt regleras av tillgången på kväve. Gödsel påverkar därför kolinlagringen genom att dels öka markens växtlighet och produktion av organiskt material, men också genom att skapa ett gynnsamt klimat för mikroorganismer (Baresel et al., 2012).

I syfte att öka nettoproduktionen gödslas ofta betesmark såväl som åkermark och skogsmark, vilket i litteraturen anses ha en gynnsam effekt på markernas kolinlagringsförmåga (Kätterer et al., 2012). Gödsling kan dock även medföra flertalet nackdelar så som kväveläckage, övergödning och minskad biodiversitet (Karlton et al., 2010; Kätterer et al., 2014). Vidare visar den vetenskapliga litteraturen på brister gällande gödsels potential som åtgärd sett ur ett klimatperspektiv. Anledningen är att mycket koldioxid släpps ut i tillverkningsprocessen samt vid transporten av den slutgiltiga produkten. Vid

stallgödsellagring skapas även stora mängder metan- och lustgas som släpps ut till atmosfären (Al-Hanbali, 2019). Ur ett helhetsperspektiv råder därför tvivel kring huruvida tillförsel av mineral så väl som stallgödsel faktiskt bidrar till en minskad klimatpåverkan eller ej (Naturvårdsverket, 2019; Kätterer et al., 2012).

Avslutningsvis bör det nämnas att Sverige gödslar sina betesmarker i betydligt mindre utsträckning än många andra länder (Karlton et al., 2010). Syftet är att minska de negativa sidoeffekterna så som övergödning samt bibehålla en god miljö med hög biodiversitet. Av den insamlade litteraturen vilken agerat dataunderlag till denna studie diskuterar fyra av sju artiklar gödsling ur ett globalt perspektiv (se bilaga 3). Det är således möjligt att dessa artiklar utgår från större mängder gödsel, vilket kan förklara åtgärdens datavariation i figur 3.

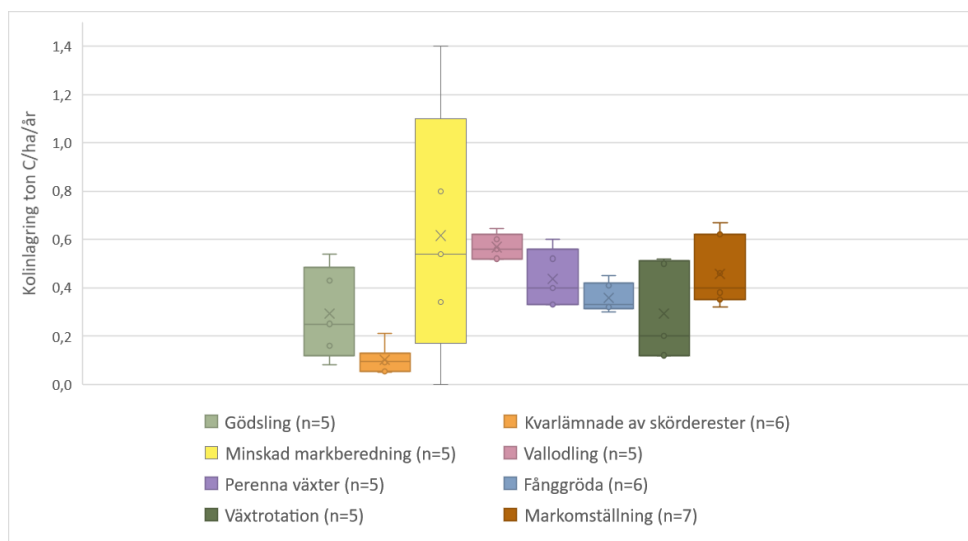
#### *Insådd av baljväxter på betesmark*

En sista åtgärd för att öka kolinlagringen i betesmark är insådd av baljväxter så som: Potatisböna (*Apios americana*), Rosenvial (*Lathyrus latifolius*), Ärtvicker (*Vicia pisiformis*), Rödklöver (*Trifolium pratense*) och Vitklöver (*Trifolium repens*) (Frankow-Lindberg, 2003). I symbios med markorganismer fixerar baljväxter kväve i marken vilket resulterar i ökad bördighet så väl som tilltagande kolinlagring (van Kessel och Hartley, 2000). Baljväxter kan potentiellt även binda in stora mängder kväve vilket gynnar betesmarkens tillväxt och nettoproduktion. Jämfört med gödsling beskrivs åtgärden tack vare denna förmåga vara det mer naturliga och hållbara valet till kvävetillförsel (Soussana et al., 2010; Neal et al., 2013). För att uppnå en fullgod kvävefixering som reducerar gödselbehovet rekommenderas för svenskt klimat en baljväxtandel på 30–50% (Jordbruksverket, 2018).

Det är tänkbart att olika sorters baljväxter fixerar olika mängder kväve och därmed även påverkar kolinlagringen i varierande utsträckning (Spehn et al., 2002). I den insamlade litteraturen diskuterar författarna dock endast baljväxter som helhet utan att gå in på specifika arter. Därmed läggs i denna studie ingen värdering vid specifika baljväxter.

## Åtgärder för ökad kolinlagring i åkermark

Den vetenskapliga litteraturen identifierar totalt åtta åtgärder för att uppnå ökad kolinlagring i åkermark: gödsling, vallodling, växtrotation, kvarlämnande av skörderester, odling av perenna växter, markomställning, minskad markberedning samt plantering av fånggrödor (Smith et al., 2000; Poeplau et al., 2015a; Vandenbygaart et al., 2003). Respektive åtgärd samt deras medelvärden presenteras i figur 4.



Figur 4: Sammanställning av åtgärder i åkermark samt deras respektive kolinlagring uttryckt i ton C/ha/år där medelvärdet är markerat med x. Antal studier som använts som dataunderlag definieras i figuren som n. Utförd ANOVA och Tukey's test påvisar att minskad markberedning och vallodling skiljer sig signifikant från kvarlämnande av skörderester.

Störst kolinlagring har åtgärden minskad markberedning vilken uppgår till 0,6 ton C/ha/år. Den minsta kolinlagringen på 0,1t C/ha/år medför kvarlämnande av skörderester. Åtgärdena gödsling, vallodling, växtrotation, perenna växter, markomställning och fånggrödor resulterar i en genomsnittlig kolinlagring på 0,29, 0,57, 0,29, 0,44, 0,46 respektive 0,38 ton C/ha/år (se figur 4).

Vid genomförd ANOVA- och Tukey's test framgick att både minskad markberedning och vallodling skiljer sig signifikant från kvarlämnande av skörderester ( $p=0,0075$ ,  $f=3,3$  och  $fg=36$ ).



### *Minskad markberedning*

Åkermark kan bearbetas genom både luckring och djupplöjning. Beredningen syftar till att blanda in gödsel och växtrester, bekämpa ogräs samt skapa en såbädd i gynnsam växtmiljö (Weidow, 2004). Dessvärre bidrar jordbearbetning till att organiskt bundet kol frigörs från åkermarkerna (Haddaway et al., 2017; Nair et al., 2015). För att motverka detta kolläckage kan åtgärden minskad markberedning appliceras, vilken i litteraturen delas upp i reducerad samt plöjningsfri markberedning (Freibauer et al., 2004). I denna studie har kategorierna sammanslagits och båda inkluderas således inom minskad markberedning i figur 4.

Reducerad markberedning kännetecknas av att marken bearbetas med tallriksredskap på ett djup som uppnår maximalt 30 cm (Haddaway et al., 2017). Detta är att ställa i kontrast till intensiv markberedning där en vändskiveplog används för att vända ett jordlager motsvarande 40 cm. Vid plöjningsfri markberedning använder man sig i stället av direktsådd. Viss beredning i form av stubbearbetning kan förekomma (Weidow, 2004). Både minskad och plöjningsfri markberedning beskrivs öka MAO:ts kolinlagring. Dessutom beskrivs åtgärden vara kostnadseffektiv då den minskar användandet av diverse jordbruksmaskiner (Haddaway et al., 2017). Därtill har åtgärden även en god inverkan på åkermarkens biodiversitet och marknäring (ibid). Dock vittnar litteraturen om att minskad markberedning kan resultera i en ökad andel ogräs och växtsjukdomar (ibid).

Avslutningsvis bör det noteras att Kätterer et al. (2012) beskriver att åtgärden potentiellt har en begränsad påverkan i nordiskt klimat. Författarna pekar på att svenska studier inte kunnat påvisa en signifikant ökning av åkermarkers kolförråd vid minskad markberedning och att åtgärdens effekt därför är diskuterbar. Däremot lyfter de även att det råder en stor ovisshet kring området och att det är möjligt, likt Freibauer et al. (2004) skriver, att åtgärden är gynnsam. För att fastslå huruvida minskad markberedning ökar kolförråden i svenska åkermarker behövs fler studier utföras (Kätterer et al., 2012).

### *Markomställning*

Med markomställning som åtgärd åsyftar den vetenskapliga litteraturen omställningen från åkermark till betesmark (McLauchlan et al., 2006; Guo och Gifford, 2002). Att denna omställning bidrar till en ökad kolinlagring förklaras av att betesmarker generellt sett innehåller mer organiskt material till följd av minskad markberedning, högre andel större rotsystem samt tillförsel av betesrester och djurgödsel (Römken et al., 1999). Åtgärden bidrar även till att återföra vitala näringsämnen till marken vilket resulterar i ökad bördighet och förbättrad jordkvalitet. På grund av dessa förmånliga effekter används åtgärden vanligtvis i syfte att återställa degraderad åkermark (Gosling et al., 2017). Vidare bör det nämnas att åtgärden har en positiv inverkan på biodiversitet och insektsliv till följd

av att betesmarker innehåller fler växtsorter och bearbetas i mindre utsträckning (Reif och Hanzelka, 2016).

Data gällande åtgårdens kolinlagring varierar i stort, vilket reflekteras i figur 4. I de artiklar som studerats förklaras fenomenet med att varje åkermark skiljer sig åt till följd av bland annat grödval, tidigare markanvändning och lokalt klimat (Poeplau et al., 2011). Varje kolförråd och utgångsläge är unikt och vilket utfall åtgärden får skiljer sig åt. Samtliga artiklar är dock eniga om att åtgärden bidrar till en ökad kolinlagring. Dessutom understryks vikten av att omvandla åkermarker, vilka ofta agerar kolkällor, till betesmarker vilka agerar kolsänkor (Poeplau et al., 2011; Kätterer et al., 2008; Post och Kwon, 2000).

#### *Vallodling och Perenna växter*

En av de identifierade åtgärderna är vallodling vilket beskriver den odling av flerårig betes-, slåtter, eller frövall som kan sås på åkermark (VISS, 2019). Vallen består vanligtvis av flera arter och kan antingen vara en gräsvall eller blandvall vilken karakteriseras av en blandning mellan gräs och baljväxter (Fogelfors, 2015). Cirka 45% av Sveriges åkermark består av vallodling vilken syftar till att producera foder (Hellstedt, 2017).

Att vallodling bidrar till ökad kolinlagring i åkermark beror på flera saker. En av anledningarna är att vallodlingar kräver mindre markberedning än andra grödor, vilket förhindrar att kol släpps ut vid exempelvis plöjning (Formas, 2010). Dessutom plöjs vanligtvis markerna endast vart tredje år, vilket resulterar i att grödorna utvecklar ett gediget rotsystem (VISS, 2019). Detta bidrar till minskad jorderosion, förbättrad vattenhållning samt bördigare marker vilka har en högre kolinlagring. Att kolinlagringen tilltar förklaras av att växternas rotsystem transporterar luftburen koldioxid till rhizosfären, vilket är det jordlager som omger rötterna (Kell, 2012). I rhizosfären omvandlar sedan mikroorganismer och mykorrhiza koldioxiden till markbundet kol. Ju större rotsystemet är, desto mer koldioxid kan sättas i omlopp och till slut lagras som organiskt kol i marken (ibid).

Att perenna växter kan lagra in mer kol i marken förklaras även det av att de tack vare flerårig odling tillåts utveckla ett större rotsystem (Ledo et al., 2019).

#### *Växtrotation*

Om en åkermark alltid odlas med monokulturer, dvs. samma grödor, riskerar den att utarmas (Kleemola, 2013; Yang och Kay, 2001; Bolinder et al., 2012). För att motverka detta kan jordbrukaren använda sig av växtrotation, även kallat växelbruk. Vid användande av växtrotation tas hänsyn till grödors behov av och påverkan på näring och mullhalt (Kirchmann et al., 2014). Som exempel tillför baljväxter mycket kväve till marken medan potatis är ytterst kvävekrävande. Således bör potatis planteras efter baljväxter för att säkerställa en god skörd (ibid). Vanligtvis sker en rotation mellan stråsåd, trindsåd, rotfrukter och vall där odlingsperioderna varierar mellan 2 – 6 år (Weidow, 2004).

Den vetenskapliga litteraturen har sedan 1800-talet fastslagit att användandet av växtrotation har en tydligt positiv inverkan på markens bördighet och avkastning (McDaniel et al., 2014; Börjesson et al., 2018). Däremot finns ännu ingen förklaring till hur växtrotationen resulterar i ökad kolinlagring (King och Blesh, 2018; Kong et al., 2019). En återkommande teori är dock att rotationen leder till en ökad mängd organiskt material i marken. Detta organiska material (eng. soil organic matter) består av diverse näringsämnen, däribland kol, vilket av mikroorganismer binds in i marken och resulterar i ökad bördighet såväl som tilltagande kolinlagring (Kong et al., 2019; Holeplass et al., 2004).

#### *Gödsling av åkermark*

I Sverige gödslas åkermarker i genomsnitt med 107 kilo kväve, 24 kilo fosfor och 107 kilo kalium per hektar (Andersson och Palme, 2012). Av dessa grundämnen påverkar främst kvävet markens kolinlagring och det är kvoten mellan kvävegödsling och inbindning av kol som belyses i litteraturen (Kätterer et al., 2012; Bolinder et al., 2017). För mer information om hur kväve påverkar kolinlagring se stycke *Gödsling av betesmark*.

Vidare skriver litteraturen att 1 kilo tillfört kväve motsvarar 1,5 kilo inlagrat kol vilket skapar en kol/kvävekquot på 1,5/1,0 (Lal och Stewart, 2018). Vilken mängd kväve som tillförs åkermarken bestäms bland annat av vilka grödor som odlas, och hänsyn tas till deras behov av näringsämnet i syfte att minska risken för kväveläckage (Jordbruksverket, 2019). Dessutom bör hänsyn tas till åkermarkens belägenhet i relation till vattendrag för att minska risken av eutrofiering (ibid).

Av den insamlade litteraturen beskrivs användandet av olika sorters gödsel. Fyra av fem analyserade artiklar undersöker stallgödsels inverkan på kolinlagring medan en artikel i stället analyserar rötslam. Denna sistnämnda artikel påvisar den noterbart lägsta kolinlagringen motsvarande 0,08 ton C/ha/år (Bolinder et al., 2017).

#### *Fånggröda*

Då en mark inte är växtbevuxen befinner den sig i träda (Weidow, 2004). Vid träda ökar risken för kväveutlakning då den bara marken svårare kan bibehålla kvävet vid kraftig nederbörd (ibid). Vid långvarig träda, så kallad svartträda, bryts dessutom organiskt bundet kol motsvarande en mängd på 0,1 t/ha/år ned vilket gör att åkermarken riskerar att agera kolkälla (IVA, 2019). I syfte att förhindra detta kan fånggrödor, även kallat mellangrödor, sås in tillsammans med den huvudsakliga grödan (Weidow, 2004; Quenum et al., 2004). I Sverige är de vanligaste förekommande fånggrödorna: engelskt rajgräs (*Lolium perenne*), rödklöver (*Trifolium pratense*) och rödsvingel (*Festuca rubra*) (ibid).

Genom att plantera in fånggrödor förlängs perioden av fotosyntes på åkermarken och systemets nettoproduktion tilltar (Poeplau et al., 2015a). Tack vare detta bidrar fånggrödor till ökad kolinlagring så väl som att bibehålla en god

jordstruktur och biodiversitet. Hur mycket kol som lagras varierar beroende på vilken fånggröda som används; Samtliga grödor har olika kolinlagringspotential beroende på om de är perenna, har ett utvecklat rotsystem samt om de är kvävefixerande eller ej (ibid).

Några potentiella nackdelar med fånggrödor vilka bör belysas är att de kan minska skörden av den huvudsakliga grödan (Weidow, 2004). Dessutom blir det svårare att uppskatta en korrekt gödslingsnivå och åtgärden kan öka risken för vissa växtsjukdomar (ibid).

#### *Kvarlämnande av skörderester*

Skörderester i form av stubb, halm och rötter utgör vitala delar av åkermarkernas humuslager (Formas, 2010; Lu, 2015). Vid nedbrytning av skörderester skapas detta näringsrika jordlager som förser kommande skörd med kväve, fosfor och kol. Vidare kan ett humuslager bestå av uppemot 50% kol. Därav spelar det en avgörande roll i den mängd kol som slutligen lagras i marken (Berg et al., 2005). Förutom att bidra till en ökad näringsreservoar i humuslagret kan kvarlämnande av skörderester även gynna markens vattenhållningsförmåga (Scarlat och Dallemand, 2019). Dessutom visar litteraturen att åtgärden även resulterar i en förbättrad jordkvalité vilket ökar åkermarkens produktion (ibid).

Som kan ses i figur 4 verkar åtgärden dock inte bidra till större mängder kolinlagring. Däremot vittnar litteraturen om att avlägsnande av skörderester kan bidra till en minskad kolinlagring (Muth et al., 2013). Då forskare i Kanada avlägsnade 22% av skörderesterna under en period på 50 år minskade åkermarkens kolhalt med 13% (Lemke et al., 2009).

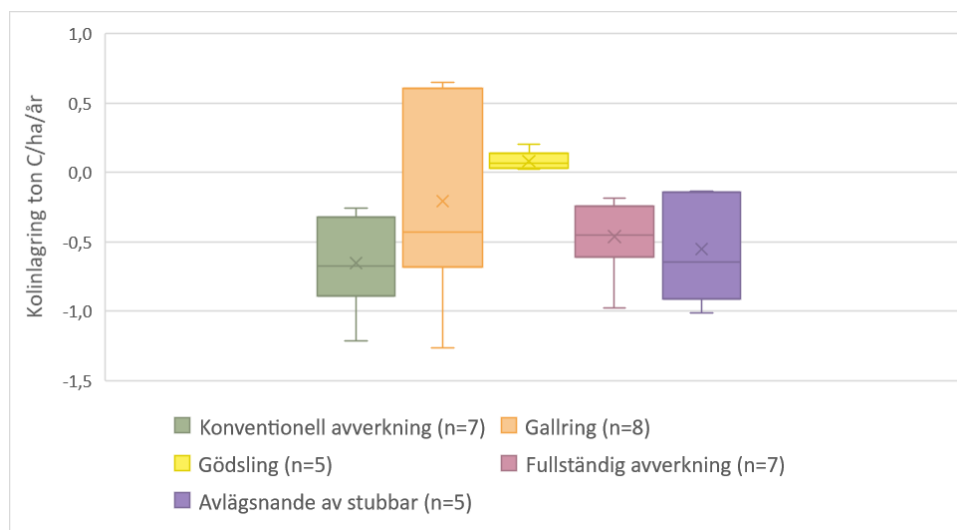
### **Åtgärder för ökad kolinlagring i skogsmark**

Vid insamlandet av litteratur som behandlar åtgärder för ökad kolinlagring i skogsmark framgick att området är relativt nytt. Den mängd studier som undersöker organiskt bundet kol i skogsmark är därför ytterst begränsad och ett fokus ligger ofta i stället på kolinlagring i skogens träd och biomassa. Frey et al. (2014) skriver:

” Forest soils represent an important but understudied carbon sink”

Av den litteratur som insamlats identifierades avverkningsmetoder och deras påverkan på markbundet kol, snarare än åtgärder som kan öka kolinlagringen. De avverkningsmetoder som identifierats är: gallring, avlägsnande av stubbar, konventionell avverkning samt fullständig avverkning vilka har en genomsnittlig kolinlagring på -0,2, -0,55, -0,65 samt -0,46 ton C/ha/år (se figur 5). Vidare definierar litteraturen gödsling som enda åtgärd för att öka kolinlagring i skog

(LUSTRA, 2007). Tillförsel av gödsel anses öka kolinlagringen 0,08 ton C/ha/år (se figur 5).



Figur 5: Sammanställning av åtgärder i skogsmark samt deras respektive kolinlagring uttryckt i ton C/ha/år. Medelvärden är markerat med x och de antal studier som använts som dataunderlag definieras med n. Vid utförd ANOVA och Tukey's test påvisades att gödsling skiljer sig signifikant från avlägsnande av stubbar.

Efter att samtlig data sammanställs testades åtgärdernas signifikans med hjälp av ett ANOVA test följt av ett Tukey's post hoc test. Testerna påvisade en signifikant skillnad ( $p=0,02$ ) mellan gödsling och avlägsnande av stubbar. I övrigt påvisades ingen statistiskt signifikant skillnad åtgärderna emellan ( $f=28$  och  $fg=3,5$ ).

#### *Konventionell avverkning*

Konventionell avverkning (eng. conventional stem harvest) beskriver den avverkningsmetod där grenar och toppar, även kallat grot, lämnas kvar på marken (Skogsstyrelsen, 2017). Däremot skördas hela stammen och ofta tas större delar av trädbeståndet ned, vilket skapar ett så kallat kalhygge (ibid). Litteraturen är enig om att konventionell avverkning leder till en minskad kolinlagring och förklarar fenomenet med att den markberedning som krävs vid avverkning vältrar jorden och frigör kol (Achat et al., 2015; Johnson et al., 2010; James och Harrison, 2016). Dessutom kommer marken att agera kolkälla efter avverkning då marken ligger bar och inte längre innehåller några kolbindande träd. Detta kolutsläpp avtar först när ny skog planteras (Johnson et al., 2010).

Litteraturen är dock oeniga om hur länge marken agerar kolkälla och när den återfår sitt ursprungliga kolförråd. Georgiadis (2011) skriver i sin studie att kolinlagringen minskar exponentiellt under en 15-årsperiod för att därefter stiga igen, förutsatt att ny skog planteras. Georgiadis menar även att skogen först 64 år

efter avverkning når sitt optimala kolförråd igen. Achat et al. (2015) menar däremot att marken återhämtar sig redan 50 år efter avverkning. Vidare skriver Diochon et al. (2009) att marken agerar kolkälla i hela 30 år och att den återhämtar sig först efter 100 år. Frågan om hur länge konventionell avverkning påverkar markens kolinlagring och kolförråd är således omdebatterad.

Avslutningsvis fastslår Diochon et al. (2009) även att kolinlagring vid konventionell avverkning inte signifikant skiljer sig åt från den vid gallring eller fullständig avverkning.

### *Gallring*

Gallring är en vanligt förekommande avverkningsmetod som syftar till att glesa ut trädbeståndet. Genom att göra så ökar tillväxten hos de kvarvarande träden, en god växtstruktur behålls och markens tillgång på vatten och viktiga näringsämnen tilltar (Jurgensen et al., 2012; Garzia-Gonzalo et al., 2007; Chen et al., 2016). Dessutom är gallring ett värdefullt verktyg då det tillåter skogsbrukaren att forma sin skog samtidigt som det ger en frekvent inkomst i form av virke (Agestam, 2015). I Sverige gallras skogen vanligtvis 1–2 gånger per livscykel och den första gallringen sker då träden når en höjd motsvarande 10–15 meter (ibid). Den mängd träd som tas ned vid en gallring beskrivs av gallringsstyrkan vilken oftast motsvarar 20–40% av det totala trädbeståndet.

Av den insamlade litteraturen beskriver författarna hur en semiintensiv gallring (eng. moderate thinning) med en gallringsstyrka motsvarande 30% kan öka skogens kolinlagring med 16% (Ma et al., 2018; Tian et al., 2010). Att så är fallet förklaras av att en begränsad gallring inverkar positivt på de kvarvarande trädens tillväxt av rotsystem såväl som biomassa (ibid). Dessutom bidrar gallringen till en tillförsel av organiskt material i form av skörderester, vilket också bidrar till en ökad kolinlagring (Ma et al., 2018).

Den vetenskapliga litteraturen visar dock även att gallring kan resultera i en reducerad kolinlagring, vilket bland andra styrks av Hoover (2011), Gross et al. (2018) och He et al. (2018). Författarna påpekar att den största minskningen av kolinlagring beror på den markberedning som sker i samband med röjning, vilken luckrar jorden och därmed frigör det bundna kolet. Dessutom samlas mycket skörderester in i syfte att producera bioenergi och därmed minskar även tillförseln av organiskt material, vilket ytterligare reducerar tillväxten av organiskt kol (Achat et al., 2015). Hoover (2011) fastslår vidare att gallring har en negativ påverkan oavsett gallringsstyrka, något även Gross et al. (2018) fastslår i sin studie.

Det bör dock belysas att den vetenskapliga litteraturen bestyrker det faktum att forskningen kring kolinlagring i skogsmark till följd av gallring är ytterst begränsad. Dessutom påpekar Hoover (2011) såväl som Gross et al. (2018) hur komplicerat skogens kolinlagringssystem är och hur viktigt det är att forskningen fortskrider. De beskriver i sina studier hur kolinlagringen influeras av klimat,

säsong, nederbörd, temperatur med mera och de är noga med att poängtera att all insamlad data gällande kolinlagring varierar i stor grad.

### *Gödsling*

I Sverige gödslas produktiv barrskog vanligtvis vart tionde år med 150kg N/ha. Syftet är att öka produktionen och således även den ekonomiska vinningen (Hyvönen et al., 2008). Som tidigare förklarats leder ökad tillförsel av kväve till att mer koldioxid via fotosyntesen binds in i ekosystemets växtligheten, vilket senare även ökar markens kolförråd (För mer information se gödsling av betesmark). När det gäller just skogsmark verkar dock en annan process vara mer avgörande för markens kolinlagring. Frey et al. (2014) skriver i sin studie där svensk skog undersöks hur kvävetillförsel minskar mängden mykorrhiza och ökar halten lignin i jorden. Då lignin består till stor del av kol leder detta till en ökad koltillförsel (Frey et al., 2014; Wang et al., 2018). Detta i kombination med en ökad fotosyntes anses i litteraturen kunna förstärka skogens roll som kolsänka (De Vries et al., 2009).

Som tidigare nämnts kan gödning resultera i flera miljönegativa konsekvenser så som övergödning, kväveläckage och en minskad biodiversitet. Utöver detta kan gödning av skog även öka andelen sjuka och döda träd, vilket ytterligare skadar ekosystemet samt skogsbrukarens ekonomi. Med hänsyn till detta bör därför skogsgödsling ske i begränsad utsträckning och inte överstiga 150 kg per år. (Frey et al., 2014)

### *Fullständig avverkning*

Fullständig avverkning (eng. whole-tree harvesting) blir allt vanligare inom svenskt skogsbruk till följd av ett ökat intresse för bioenergi (Olsson et al., 1996). Metoden beskriver den slutavverkning som till skillnad från konventionell avverkning inkluderar insamlandet av grot, vilket kan användas för att producera exempelvis biobränsle (Thiffault et al., 2011; Peltoniemi et al., 2004). Vid fullständig avverkning insamlas vanligtvis 60 – 80% av skogens grot (Clarke et al., 2015).

Även här förklaras den reducerade kolinlagringen av markberedning och avsaknaden av kolbindande träd till följd av avverkning (Thiffault et al., 2011; Taylor et al., 2008). Olsson et al. (1996) skriver att avlägsnandet av organiskt material, i form av grot, ytterligare reducerar mängden kol som binds in och förlänger markens återhämtningsprocess. Författaren menar att skogsmarkens kolhalt reduceras under 20 år och att den är fullt återhämtad först 60 år efter avverkning. Även Taylor et al. (2008) redovisar ett liknande resultat där den maximala mängden kol observerats 60–70 år efter avverkning.

Vidare är det viktigt att belysa att skogsmarkens kolinlagring i relation till avverkning är ett nytt och relativt utforskat forskningsområde. Clarke et al. (2015) påvisar detta och menar att ytterligare studier krävs för att fastslå hur skogens potential som kolsänka faktiskt påverkas över tid av olika sorters avverkning.

### *Avlägsnande av stubbar*

Avlägsnande av stubbar kan kopplas till fullständig avverkning och insamlandet av grot. Avverkningsmetoden syftar nämligen till att samla in stubbar från en redan avverkad skog för att producera bioenergi (Clarke et al., 2015; Zabowski et al., 2008). Metoden erhöll ett intresse först på 2000-talet och på grund av dess korta historia finns relativt lite om information om dess påverkan på kolinlagring (Persson och Egnell, 2018). Dock är den insamlade litteraturen enig om att avlägsnandet av stubbar kan resultera i stora utsläpp av kol till följd av omfattande markberedning (Clarke et al., 2015; Persson och Egnell, 2018; Lindholm et al., 2011).

I den studerade litteraturen påvisas vidare hur metoden kan orsaka kolutsläpp motsvarande 17–24% av markens ursprungliga kolförråd (Ortiz et al., 2014). I en av studierna som undersöker svensk skogsmark beskrivs detta motsvara ett utsläpp på 0,22 ton C/ha/år (ibid). Markens utsläpp av kol börjar omgående efter det att stubbarna extraherats och fortgår i uppemot 20 år (Persson och Egnell, 2018; Lindholm et al., 2011).

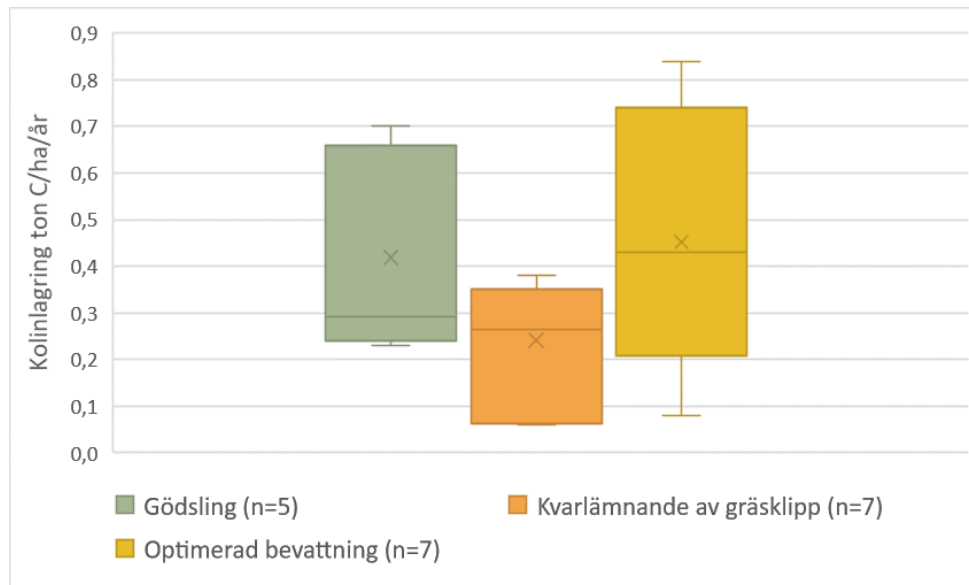
Förutom att avlägsnandet av stubbar drastiskt minskar markens kolinlagring påverkar åtgärden även skogens biodiversitet negativt (Persson och Egnell, 2018). Då många insekter är beroende av stubbar för sin fortlevnad hotas de vid en extensiv extraktion. Dessutom innebär avverkningen ofta att små och medelstora buskage tas bort, vilket ytterligare påverkar de levande djur och insekter som bor i skogen (ibid).

### **Åtgärder för ökad kolinlagring i urbana parker**

Lagring av organiskt kol i urbana parker är ett nytt forskningsområde som behöver vidare studier (Poeplau et al., 2016; Braun och Bremer, 2019; Qian et al., 2010). Vid insamling av litteratur uppdagades att urbana parker är viktiga biologiska kolsänkor men att en stor ovisshet råder kring deras kolinlagringspotential (Kaye et al., 2005, Kramberger et al., 2015). Vidare finns lite information att tillgå inom området varpå insamlandet av artiklar kom att begränsas. Totalt insamlades 21 vetenskapligt granskade artiklar och 2 böcker, varav merparten hade ett amerikanskt perspektiv (för komplett litteraturlista se bilaga 3).

Av den insamlade litteraturen påvisas hur bevattning, gödsling och kvarlämnande av gräsklipp är avgörande åtgärder vilka har en kolinlagringspotential motsvarande 0,4 t, 0,42 samt 0,24 ton C/ha/år (se figur 6). Vid utfört ANOVA-test påvisades dock ingen signifikant skillnad ( $p=0,19$ ,  $f=1,8$  och  $fg=2$ ).





Figur 6: Sammanställning av åtgärder i urbana parker samt deras respektive kolinlagring uttryckt i ton C/ha/år där medelvärdet är markerat med x. Antal studier som använts som dataunderlag definieras i figuren som n. Egen illustration.

Vidare skriver Poepflau et al. (2016) att en högtintensiv klippningsfrekvens, motsvarande 8 klippningar per säsong, kan öka kolinlagringen med 0,12 ton C/ha/år. Kramberger et al. (2015) och Kaye et al. (2005) fastslår ett liknande samband i sina artiklar. Författarna påpekar dock att ytterst få studier undersöker klippningsfrekvensens påverkan på urbana parkers kolinlagring, vilket även är anledningen till att åtgärden inte vidare diskuteras i denna studie; dataunderlaget var för begränsat för att uppnå statistisk säkerhet.

#### *Gödsling av urbana parker*

Tillgången av kväve begränsar urbana parkers såväl som andra ekosystems nettoproduktion (Selhorst och Lal, 2013). I syfte att bibehålla gröna och estetiskt tilltalande grönytor gödslas därför ofta grönytor (Lal och Augustin, 2012; Blanco-Canqui et al., 2010). Vanligtvis gödslas parker med 150 kg N/ha/år, vilket över en femtioårsperiod ökar markens kolförråd med 11–25% (Lal och Augustin, 2012; Qian et al., 2003). Litteraturen beskriver dock hur tillförseln av kväve inte bör överstiga 75 kg/ha/år i syfte att minska risken för kväveläckage och begränsa klimatavtrycket som produktionen av konstgödsel medför (Thompson och Kao-Kniffin, 2019; Kong et al., 2014). Vidare belyser litteraturen hur även en halverad gödseltillförsel kan öka urbana parkers kolinlagring med 0,6 ton C/ha/år förutsatt att gräsklipp lämnas kvar (Qian et al., 2003).

### *Kvarlämnande av gräsklipp*

Kvarlämnande av gräsklipp beskrivs vara en effektiv och miljövänlig åtgärd för att öka urbana parkers kolinlagring (Qian et al., 2003; Lal och Augustin, 2012; Gu et al., 2015; Yao et al., 2009). Åtgärden innebär att gräsklipp lämnas kvar efter klippning vilket ökar tillförseln av organiskt material, kväve och kol (Qian et al., 2003). Litteraturen skriver hur gräsklipp kan ersätta behovet av gödseltillförsel med uppemot 73% och dessutom öka kolinlagringen med i genomsnitt 0,24 ton C/ha/år (Law och Patton, 2017). Det är dock viktigt att belysa att en viss tillförsel av kväve behövs för att en fullgod nettoproduktion, och således även en gräsklippsproduktion kan skapas (Lal och Augustin, 2012).

Avslutningsvis skriver litteraturen hur åtgärdens effekt på kolinlagringen kan mätas först 10 år efter det att den implementerats (Law och Patton, 2017). Det är därför viktigt att ha ett långsiktigt perspektiv vid planering av urban markskötsel.

### *Optimerad bevattning*

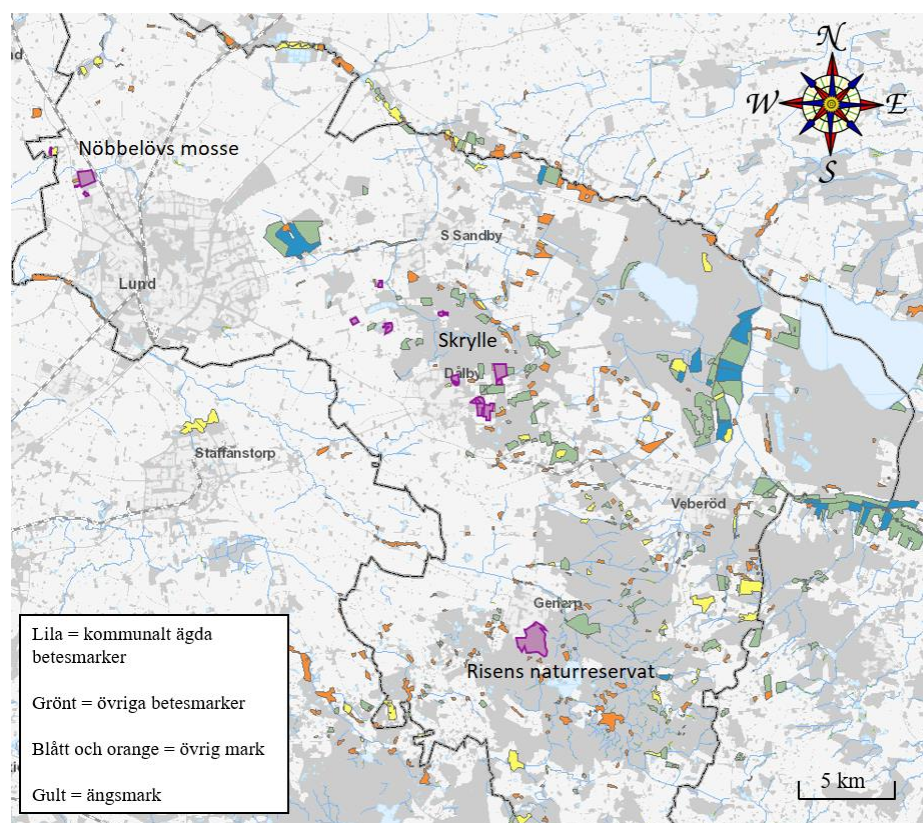
Tillgången på vatten begränsar grönytors nettoproduktion och påverkar markant kolinlagringen i markens övre 20 cm (Qian et al., 2010; Qian et al., 2002; Zirkle et al., 2011). För optimal nettoproduktion och tillförsel av organiskt material bör gräsytor förses med 2,54 cm vatten i veckan (Robinson et al., 2013; Milesi et al., 2012). Bevattningen främjar även rotsystemens tillväxt vilket är avgörande för en positiv kolinlagring (Qian et al., 2002).

Om gräsyornas vattenbehov kan tillgodoses via nederbörd bör extern bevattning dock undvikas, vilket understryks i litteraturen. Anledningen är att vatten är en bristvara som bör tas till vara på, samt att bevattning med sprinklersystem och pumpar kräver energi motsvarande 0,53 ton C/ha/år (Townsend-Small och Czimczik, 2010). En intensiv bevattning kan således motverka åtgärdens effekt på kolinlagringen vilken uppgår till cirka 0,4 ton C/ha/år (se figur 6).

## Kartläggning av Lunds biologiska kolsänkor

För att besvara frågeställning 3 följer här en kartläggning över de fyra MAO:na inom Lunds kommun. Syftet är att påvisa vilka marker som ägs av den kommunala organisationen samt var dessa är belägna.

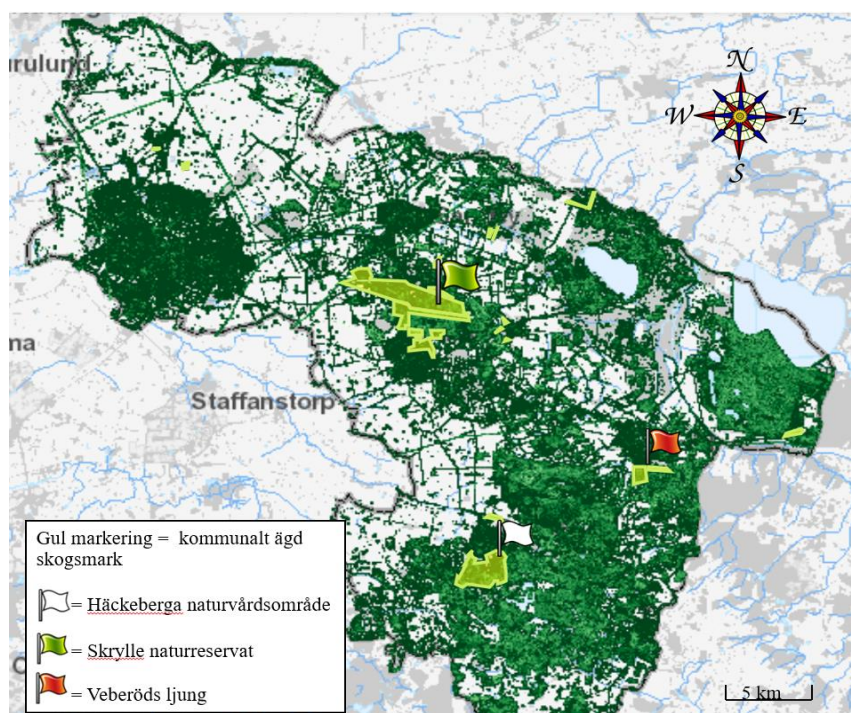
Lunds kommun äger 180 ha betesmark vilket motsvarar cirka 5% av den totala betesmarken inom Lunds geografiska område vilken uppgår till 3739 ha. I figur 7 presenteras samtlig betesmark samt de områden som ägs av kommunen. De kommunala betesmarkerna är markerade med lila medan övrig betesmark är markerat med grönt och ängsmark med gult. Blått och orange är enligt Lunds intrakartor klassat som övrig mark och kommer därför inte diskuteras vidare i denna studie. Inte heller ängsmark kommer vidare diskuteras då MAO:t inte inkluderas i SCB:s. (2015) kartläggning av markanvändning i Lunds kommun.



Figur 7: Betesmark inom Lunds kommun där lila, grönt och gult representerar den totala ytan betesmark inom Lunds kommun vilken uppgår till cirka 180 ha. Karta framtagen med hjälp av ArcGIS. Egen illustration.

Av den kommunalt ägda betesmarken återfinns större delar kring Nöbbelövs mosse i nordvästra Lund samt i Risens naturreservat vid Genarp. Dessutom finns en del betesmarker i Skrylles naturreservat vid Dalby. Gemensamt för nämnda marker är således att de befinner sig inom naturreservatsområden vilka ägs av kommunen (Lunds kommun, 2019a; Lunds kommun, 2020a). Markerna är även populära besöksmål.

Vidare äger kommunen även 546 ha skogsmark (P. Johnsen, personlig kommunikation, mars 06, 2020) vilket motsvarar 5% av den totala skogsmarken inom Lunds kommun vilken uppgår till cirka 10 500 ha. Av denna skogsmark återfinns större delar i de tre områdena Häckeberga naturvårdsområde, Skrylle naturreservat och Veberöds ljung (se figur 8). Även de kommunala skogsområdena finns således inom naturreservat vilka skyddar särskilt viktiga naturvärden så som den gamla ekskogen i Veberöds ljung (Lunds kommun, 2019b).

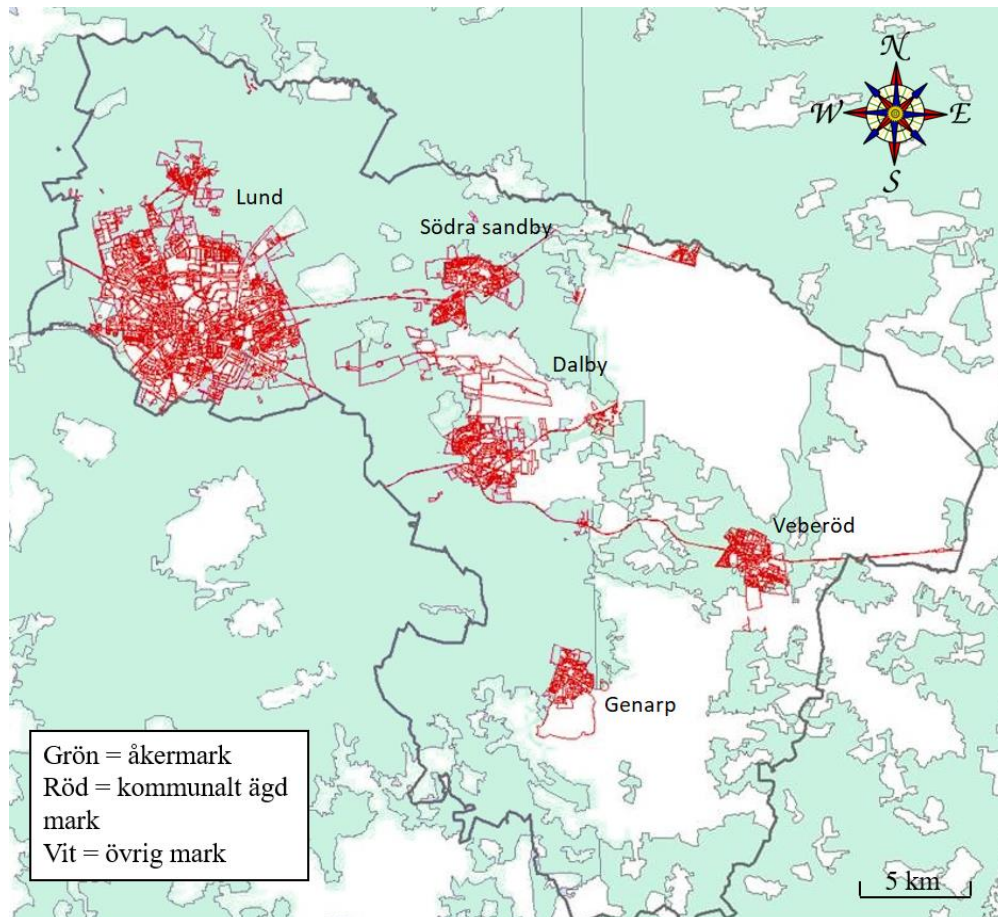


Figur 8: karta över skogsmark inom Lunds kommun där grönt markerar all skog i kommunen och gult markerar den kommunalt ägda skogen. Framtagen med hjälp av ArcGIS, egen illustration.

Lunds kommun äger dessutom omkring 800 ha åkermark vilket motsvarar 4% av den totala åkermarken inom det geografiska området vilken uppgår till 20 700 ha. Den kommunala åkermarker består främst av arrende och syftar till att agera framtida exploateringsområden (Svensson, personlig kommunikation, mars 04,



2020). Således är nästintill samtliga kommunalt ägda åkermarker belägna runt kommunens städer och samhällen (se figur 9)



Figur 9: Karta över åkermark i Lunds kommun där grön mark omringad av röda linjer visar kommunalt ägd åkermark. Framtagen av Svensson, O. (personlig kommunikation, mars 04, 2020).

Avslutningsvis finns 60 ha grönytor i form av urbana parker i Lunds kommun varav den kommunala organisationen äger samtlig mark (O. Svensson, personlig kommunikation, mars 04, 2020). Parkerna är i huvudsak fördelade mellan Lund, Veberöd, Södra Sandby, Genarp och Dalby (se figur 10). Samtliga parker, till skillnad från övriga MAO, ägs av kommunen och sköts av olika entreprenörer. De flesta gräsmattorna klipps varannan vecka med undantag för stadsparkerna där klippning sker en gång i veckan (Lunds kommun, 2020b).

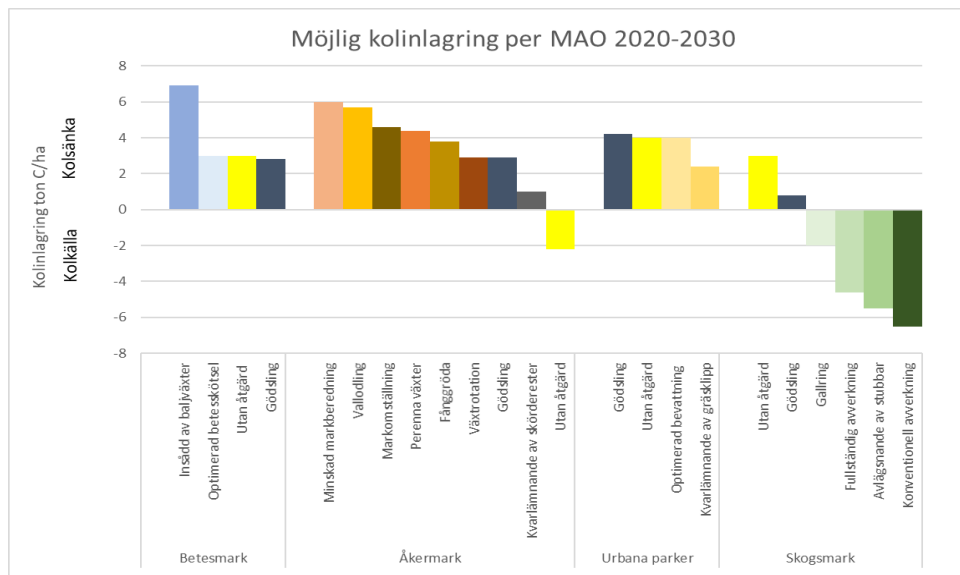


Figur 10: kartor över urbana parker inom Lunds kommun fördelat mellan Södra Sandby, Dalby, Lund, Veberöd och Genarp. Grön mark markerar kommunalt ägda parker medan röd, gul och orange markerar övrig kommunalt ägd mark. Egen illustration framtagen med ArcGIS.

## Sammanfattning av kolinlagring vid och utan åtgärder

Här presenteras en sammanfattning över respektive MAO:s kolinlagring vid uteblivande och vidtagande av studiens identifierade åtgärder. Dessutom redovisas varje områdes potentiella kolinlagring sett ur ett tioårsperspektiv. Att så är fallet motiveras av att resultatet ska vara applicerbart på Lunds kommun, vilka vill veta hur mycket kol kommunen som organisation kan lagra till 2030. Informationen i figur 11 sammanfattar dock studiens resultat gällande kolinlagring och åtgärder i stort och presenterar en övergripande bild av det stundande kunskapsläget. Därav är resultatet användbart även för andra kommuner samt övriga intressenter som befinner sig i ett tempererad klimat likt det i Lund.

Som kan ses i figur 11 är den effektivaste åtgärden per hektar insädd av baljväxter i betesmark vilket under en tioårsperiod kan resultera i en kolinlagring motsvarande 7 ton C/ha. Därefter följer minskad markberedning, vallodling och markomställning i åkermark vilka har en potentiell kolinlagring på 6, 5,7 respektive 4,6 ton C/ha. Viktigt att notera är att samtliga åtgärder i åkermark bidrar till att omvandla MAO:t till en kolsänka. Om inga åtgärder vidtas beräknas åkermarken i stället släppa ut cirka 2 ton C/ha. Vidare bedöms gödsling av urbana parker ge en kolinlagring på 4,2 t/ha vilket dock enbart är 0,2 ton mer än vid uteblivande av åtgärd.



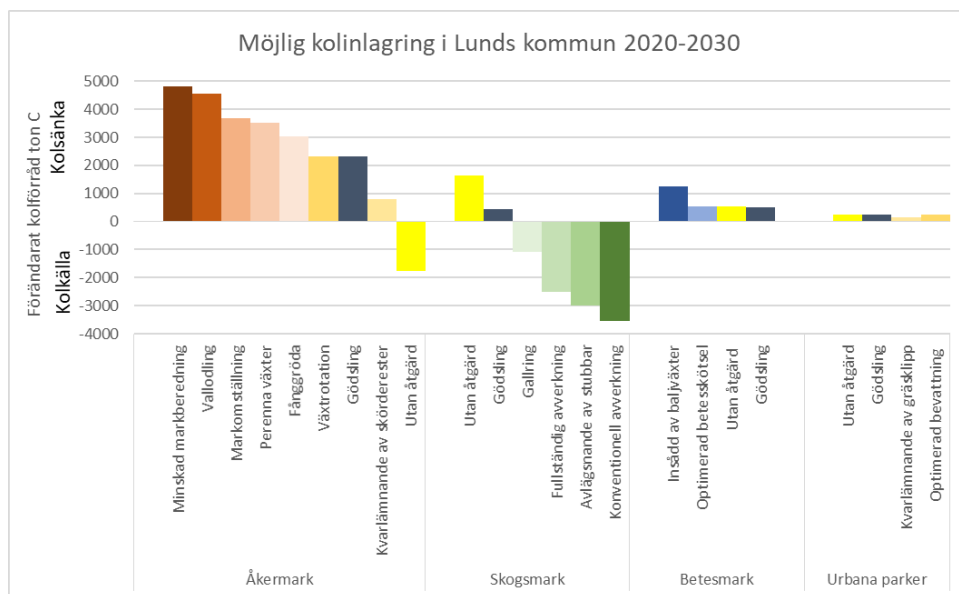
Figur 11: Sammanfattande diagram över möjlig kolinlagring per hektar och MAO mellan åren 2020–2030 vid vidtagande och uteblivande av åtgärder. Samtliga beräkningar är baserade på tidigare presenterad data gällande åtgärders och MAO:ns kolinlagring vilka multiplicerats med 10 för att vara förenligt med tidsperspektivet. Negativa data indikerar att MAO:t agerar kolkälla medan positiv data påvisar att kol lagras in. Samtlig data presenteras i ton C/ha.

Avslutningsvis presenterar figur 11 hur samtlig skogsavverkning resulterar i utsläpp av kol från skogsmark. Störst utsläpp på 6,5 ton C/ha orsakas av konventionell avverkning, tätt följt av avlägsnandet av stubbar och fullständig avverkning vilka släpper ut 5,5 respektive 4,6 ton C/ha vardera. Tillförsel av gödsel bedöms öka skogsmarkens kolförråd men enbart med 0,8 ton C/ha. Störst kolförråd erhålls om skogsmarken får stå orörd utan yttre påverkan.



## Applicering på Lunds kommun

Genom att multiplicera Lunds kommunalt ägda yta (800 ha åkermark, 180 ha betesmark, 546 ha skogsmark och 60 ha urbana parker) med tio samt respektive åtgärds kolinlagring beräknades den potentiella kommunala kolinlagringen till 2030. Likt tidigare beräknades samtlig data utifrån att eventuella åtgärder vidtas år 2020 och att arbetet med dem fortskrider till 2030 samt att inlagringen av kol är lika stor över hela tidsperioden. Baserat på detta bedöms åtgärder i åkermark resultera i de största kolinlagringarna, där minskad markberedning, vallodling, markomställning och insådd av perenna växter till 2030 kan lagra 4800, 4560, 3680 respektive 3520 ton C (se figur 12). Fånggrödor ökar kolförrådet med 3040 ton medan gödsling och växtrotation båda resulterar i en kolinlagring motsvarande 2320 t. Kvarlämnande av skörderester har en begränsad inverkan på åkermarkers kolförråd. Vidare bedöms produktiv skogsmark utan vidtagen åtgärd lagra uppemot 1638 ton C medan samtlig avverkning resulterar i ett läckage av organiskt kol; Konventionell avverkning, avlägsnande av stubbar, fullständig avverkning och gallring beräknas släppa ut 3550, 3003, 2500 respektive 1090 ton C.



Figur 12: Sammanfattande diagram över möjlig kolinlagring på de kommunalt ägda MAO:erna mellan åren 2020–2030 vid vidtagande och uteblivande av åtgärder. Samtliga beräkningar är baserade på tidigare presenterad data gällande åtgärders och MAO:ns kolinlagring vilka multiplicerats med 10 för att vara förenligt med tidsperspektivet. Negativa data indikerar att MAO:t agerar kolkälla medan positiv data påvisar att kol lagras in. Samtlig data presenteras i ton C.

Trots att insådd av baljväxter i betesmark tidigare fastslogs vara den effektivaste åtgärden bidrar den i Lund enbart till en kolinlagring motsvarande 1200 ton C till

följd av att en begränsad yta av MAO:t ägs av den kommunala organisationen. Även urbana parker ägs i liten utsträckning varpå dess inlagring av kol är ytterst begränsad. I figur 12 kan ses hur gödsling ökar kolförrådet med 252 ton C och att urbana parker utan yttre påverkan lagrar 240 ton C. Kvarlämnande av gräsklipp och optimerad bevattning bedöms inte ha någon markant påverkan på MAO:ts förmåga att agera biologisk kolsänka.

I ett scenario där Lunds kommun vidtar de åtgärder vilka redovisats som effektivast per hektar och MAO kan en kolinlagring på cirka 7900 ton erhållas till 2030. Denna siffra baseras således på att åtgärden minskad markberedning vidtas på de kommunala åkermarkerna, att skogen bevaras, betemarkerna förses med baljväxter och de urbana parkerna med gödsel. Vidare är beräkningen baserad på att åtgärdsarbetet vidtas år 2020 och att det fortgår till 2030. Förutsatt att 1 ton kol motsvarar 3,7 ton koldioxid bidrar en sådan kolinlagring till att 29 230 ton av växthusgasen lagras in i de kommunala markerna. Om inga åtgärder vidtas beräknas Lunds kommun enbart lagra cirka 658 ton kol vilket motsvarar 2400 ton koldioxid.

# Diskussion

## Biologiska kolsänkor: ett komplext system

Efter utförd litteraturstudie framgår att samtliga MAO:n innehåller kolförråd. Däremot varierar deras kolinlagring där betesmark, skogsmark och urbana parker generellt sett agerar kolsänkor medan åkermark släpper ut kol i form av koldioxid. Hur stora markernas kolförråd och kolinlagring är skiljer sig åt i stor utsträckning och av den studerade litteraturen framgår att forskningsområdet är komplext så väl som ofta utforskat. Som exempel kan ses hur varje kolförråd är unikt samt att de påverkas av bland annat tidigare markanvändning, lokalt klimat samt markberedning (Chenu et al., 2019). På grund av detta är det svårt att uppskatta en generell kolhalt per MAO, vilket även belyses i litteraturen samt återspeglas i studiens statistik vilken flertalet gånger påvisar en icke-signifikant skillnad mellan såväl MAO:n som åtgärder (Kätterer et al., 2008). Till följd av att markernas kolhalt förändras mycket långsamt är det även svårt att bekräfta ett områdes kolinlagring. Som Sindhøj et al. (2006) skriver bör provtagningar genomföras i minst 30 år innan åtgärdens resultat kan bedömas. Få studier sträcker sig över en så lång period vilket gör att den breda litteraturen ofta baseras på uppskattningar, simuleringar eller kortare mätningar.

Denna studie påvisar hur skogsmark och åkermark i svenskt tempererat klimat innehåller de största kolförråden på 81 respektive 78 ton C/ha. Betesmark och urbana parker bedöms ha genomsnittliga kolförråd motsvarande 65 och 64 ton C/ha (se figur 2). Detta resultat skiljer sig något från litteraturen vilken beskriver hur skogsmark och betesmark typiskt innehåller de största kolförråden (Ortiz et al., 2011; Conant et al., 2017). En förklaring till denna skillnad bedöms vara att kolförråden i betesmark skiljer sig mycket åt beroende på tillförsel av gödsel (Karlton et al., 2010). Då svenska betesmarker gödslas i mindre utsträckning jämfört med många andra länder i Europa innehåller de generellt sett lägre kolförråd. Även Karlton et al. (2010) belyser detta faktum och påvisar att svenska betesmarker innehåller 61 ton C/ha medan kolhalten i europeiska marker kan uppgå till 100 ton C/ha. Då studiens dataunderlag gällande kolförråd i betesmark i huvudsak baseras på svenska studier är det därför rimligt att det beräknade medelvärdet är något lägre än de som uppges i internationella studier. Det är vidare viktigt att notera att Karlton et al. (2010) uppger att även svenska betesmarker kan lagra uppemot 87 ton C/ha. Så höga

kolhalter beskrivs dock endast förekomma då marken tidigare brukats som åkermark.

Att urbana parker har ett relativt lågt kolförråd överensstämmer med den breda litteraturen. Däremot skriver både Edmondson et al. (2014) och Lindén et al. (2020) att kolhalterna i England och Finland kan uppgå till cirka 100 ton C/ha, vilket skulle innebära att MAO:ts kolförråd överstiger de i exempelvis skogsmark. Forskningsområdet är dock nytt såväl som omdebatterat och litteraturen är enig om att mer forskning krävs för att fastslå hur väl urbana parker agerar biologiska kolsänkor och hur stora deras kolförråd är (Yoon et al., 2016; Pouyat et al., 2002).

Vidare visar studien hur urbana parkers kolinlagring kan uppgå emot 0,4 ton C/ha/år. Således bedöms MAO:t ha den i genomsnitt största kolinlagringen, tätt följt av skogs- och betesmark vilka båda lagrar cirka 0,3 ton C/ha/år. Detta är en intressant observation då skogsmark generellt anses ha den största kapaciteten till att binda in kol (Berg et al., 2007; Clemmensen et al., 2013). Resultatet överensstämmer dock med litteraturen vilken påvisar att urbana grönytor spelar en avgörande roll i världens klimatarbete. Vidare skriver Weissert et al (2016) hur parker kan ha en tidigare oanad förmåga att lagra kol, och att mer forskning krävs för att bevisa MAO:ts stora potential att agera kolsänka. Fortsättningsvis bedömer studien att åkermark i huvudsak släpper ut kol och därför agerar kolkälla. Som tidigare nämnts i arbetet påvisar Poepflau et al (2015) att MAO:t även kan lagra kol förutsatt att åkermarken förses med vallodling. Detta är dock ett undantag sett ur ett globalt perspektiv och fortsatta studier krävs för att fastslå åtgärdens potentiella kolinlagringseffekt.

Vid bedömning av de olika MAO:rnas förmågor att agera kolsänka bör ett tidsperspektiv tas i beaktande. Även om urbana parker årligen lagrar stora mängder kol beräknas markens kolinlagring vara som störst de första 0–25 åren efter det att grönytan etablerats (Huh et al., 2008). Detta är att jämföra med skogs- och betesmark som har en positiv kolinlagring i närmare 40 år (Berg et al., 2007; Ammann et al., 2007). Sett ur ett längre perspektiv tycks det således vara mer fördelaktigt att investera i skogs- och betesmark vilka har stora möjligheter till långvarig kolinlagring. Det är dock viktigt att poängtera att urbana parker är betydande kolsänkor trots det kortare tidsintervallet. Då de även erbjuder många mervärden så som svalka, ökad biodiversitet och en estetiskt tilltalande miljö bör de inte förringas vid planering av staden (Eriksson och Wikholm, 2019).

## **En kort diskussion om åtgärder**

Genom att enbart undersöka data presenterar studien att insådd av baljväxter i betesmark är den mest effektiva åtgärden per hektar för att uppnå ökad kolinlagring. Därefter följer minskad markberedning, vallodling, markomställning och insådd av perenna växter i åkermark. Slutligen visar studien också att skogsmark bör få stå

orörd med gödsel som enda positiva åtgärd. Det bedöms inte finnas några ingripande som markant kan öka kolinlagringen i urbana parker.

Huruvida en åtgärd är effektiv och bra avgörs dock av fler aspekter än dess kolinlagringspotential. I denna del av diskussionen presenteras därför potentiella nackdelar och komplikationer som ett vidtagande kan medföra. Syftet är att påvisa områdets komplexitet samt redogöra vilka åtgärder som är fördelaktiga sett ur ett kolsänke- och helhetsperspektiv.

Som första exempel kan ses hur gödsling har en liten positiv inverkan på urbana parkers kolinlagring. Dock riskerar åtgärden att resultera i kväveläckage, övergödning och minskad biodiversitet (Thompson och Kao-Kniffin, 2019). För att minimera denna risk kan gräsklipp lämnas kvar vilket reducerar behovet av att tillföra konstgödsel. Detta belyses i litteraturen och Law och Patton 2017 menar att kvarlämnade av gräsklipp kan sänka gödselbehovet från 150 till 41 kg N/ha/år. På detta sätt kan gräsklipp ses som en betydande åtgärd även om den i sig inte bidrar till en avsevärt högre kolinlagring enligt den analyserade datan.

Som andra exempel kan ses hur gallring har en negativ inverkan på skogsmarkens kolförråd. En semiintensiv gallring där maximalt 30% av träden avverkas kan dock ha en positiv inverkan då åtgärden resulterar i en stor tillförsel av organiskt material i form av grot (Ma et al., 2018). Dessutom är gallring en essentiell del av markägarens skötsel då åtgärden bland annat bidrar till en ökad tillväxt samt formger skogen. Då gallring därför sällan går att undvika i produktionsskogar bör vikt läggas vid att utföra åtgärden på ett sätt som reducerar risken för kolutsläpp. För att uppnå detta bör som nämnts maximalt 30% av trädbestånden avverkas. Dessutom bör den markberedningen som följer vid gallring tydligt planeras och minimeras (ibid).

Som tredje och sista exempel belyses hur markomställning av åkermark till betesmark anses vara en avgörande åtgärd, vilket också understryks i den vida litteraturen (Kätterer et al., 2008; McLauchlan et al., 2006). Guo och Gifford (2002) menar att åtgärden är av yttersta vikt då åkermarker är jordens största kolkällor; att omvandla MAO:t och på så sätt skapa kolsänkor samt öka markernas kolförråd med uppemot 19% anses vara betydande i det globala klimatarbetet. Även Kätterer med flera (2008) understryker vikten av att ställa om åkermark till betesmark men menar att åtgärdens effektivitet går att diskutera. Författarna påpekar att kolinlagring är komplext och att det är svårt att uppskatta hur stora mängder inlagrat kol en omställning kan medföra. Till följd av detta påpekar Kätterer med flera att vidare studier inom området krävs samt att vikt också bör läggas vid att säkerställa att betesmark inte omvandlas till åkermark.

Att omställning av åkermark till betesmark är positivt sett ur ett kolinlagringsperspektiv kan således fastslås. Däremot måste beslutsfattare ha i åtanke att åkermark erbjuder en viktig ekosystemtjänst i form av livsmedelsproduktion (Dänhardt et al., 2013). Således kan stora omställningar medföra konsekvenser i form av försämrade livsmedelssäkerhet vilket bör undvikas.

På grund av detta vidtas åtgärden främst där åkermarker blivit degraderade i syfte att ge området en ny produktionsmöjlighet (Gosling et al., 2017).

## Kolinlagring i Lunds kommun till 2030

En femtedel av den mark Lunds kommuns organisation äger består av åkermark. Således äger de cirka 800 ha mark vilken troligtvis agerar kolkälla. Då kommunen vill nå ett nollutsläpp av växthusgaser till år 2050 samt arbeta med kolinlagring bör åtgärder vidtas för att omvandla MAO:t till biologisk kolsänka. Förutsatt att minskad markberedning påverkar åkermarkers kolinlagring i nordiskt klimat bedöms åtgärden vara den effektivaste följt av vallodling. Därefter följer insådd av perenna växter och fånggrödor, växtrotation samt kvarlämnande av skörderester är att rekommendera. Gödsling ökar också kolinlagringen och bidrar till en tilltagande nettoproduktion men kommunen bör ha i åtanke att åtgärden kan medföra komplikationer i form av bland annat kväveläckage och övergödning.

Vidare är det intressant att notera att Lunds kommun främst äger åkermark i exploateringssyfte. Således kommer marken i framtiden användas för att expandera staden vilket troligtvis medför att stora delar av MAO:t hårdläggs. Detta är ett vanligt förekommande fenomen som dessutom är nödvändigt då städer växer. Dock medför en hårdläggning av åkermark, såväl som annan mark, att jorden inte längre kan lagra kol (Haselbach och Thomas, 2014; Cambou et al., 2018). Därav minskar eventuella stadsexpansioner möjligheten att använda den kommunalt ägda åkermarken som biologisk kolsänka. Om åkermarken omställs till stadsmiljö bör fokus läggas på att plantera och bibehålla växtlighet och träd för att därigenom binda in kol i vegetationen (Nowak et al., 2013). Dessutom kan Lunds kommun, likt Stockholm, använda sig av biokol (restprodukter som omvandlats via förkolning) för att på så sätt långsiktigt binda in kol i stadens rabatter och odlingar (Dahllöf, 2020).

Utöver att omvandla åkermark till kolsänkor bör Lunds kommun fortsatt behålla merparten av sin skogsmark i naturreservat. På så sätt bevaras skogen och ingen extensiv avverkning påverkar den. Dessutom är det en god strategi att investera i ytterligare skogsmark och om möjligt utöka de kommunalt ägda naturreservaten. Detta är något som bland annat utförts i Region Halland där produktions-skogskog köpts upp i syfte att minska de regionala kolutsläppen och i stället öka kolinlagringen (Björheden et al., 2019). En sådan investering gynnar även den biologiska mångfalden och det lokala friluftslivet (Naturvårdsverket 2020). Om ny skog ska planteras bör en prioritering läggas vid ek- och bokskog då de trädslagen har den högsta kolinlagringspotentialen (Berg et al., 2005; Ortiz et al., 2013).

Fortsättningsvis rekommenderas att Lunds kommun sår in baljväxter i sina betesmarker samt om möjligt utvidgar och investerar i fler urbana parker. I studiens resultat visas hur urbana parker har en stor potential i att binda in kol sett ur ett 25-årsperspektiv. Då Lunds kommun enbart äger cirka 60 ha park varav flera parker, däribland stadsparken, kan antas vara äldre än 25 år är den lokala kolinlagringen dock liten. Vid framtida planering av staden skulle därför en bra strategi vara att utöka de urbana parkerna för att på så vis öka kolinlagringen och dessutom skapa estetiskt tilltalande ytor vilka bjuder in till rekreation och en god vistelse i staden. Vidare minskar grönytor också risken för urbana värmeböljor samt reglerar de lokala vattenflödena (Algretawee et al., 2019).

I denna studie diskuteras varje åtgärd för sig. Avslutningsvis kan det dock noteras att flera åtgärder per MAO stundom kan vidtas tillsammans. Som Freibauer et al. (2004) skriver ökar minskad markberedning tillsammans med vallodling, fånggrödor och odling av perenna växter åkermarkers kolinlagring. Där så är möjligt kan därför flertalet åtgärder vidtas samtidigt i syfte att öka markernas roll som biologiska kolsänkor. Då denna studie inte undersöker åtgärdernas synergieffekt presenteras här inga vidare rekommendationer angående vilka åtgärder som bör kombineras. Vid framtida studier kan det därför vara intressant att utforska området och undersöka vilka initiativ som är applicerbara på Lunds kommun.

## Sammanfattande rekommendationer och möjlig påverkan

Sammanfattningsvis listas här de åtgärder vilka studien bedömer vara mest avgörande för Lunds kommuns arbete med biologisk kolinlagring:

Åkermark	Skogsmark	Betesmark	Urbana parker
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Minskad markberedning</li> <li>• Vallodling</li> <li>• Perenna växter</li> <li>• Fånggrödor</li> <li>• Begränsad gödsling och kvarlämnande av skörderester</li> <li>• Växtrotation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevara skogen</li> <li>• Begränsad gödsling (max 150 kg N/ha/år)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insådd av baljväxter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begränsad gödsling (max 75 kg N/ha/år)</li> <li>• Kvarlämnande av gräsklipp</li> </ul>

Figur 14: Sammanfattning över de mest avgörande åtgärderna för kolinlagring i Lunds kommun. Listan är baserad på studiens resultat samt diskussion där hänsyn tagits till åtgärdernas eventuella konsekvenser.

Denna sammanfattning baseras på studiens resultat och diskussion där hänsyn tagits till åtgärdernas potentiella nackdelar och komplikationer. Dessutom är minskad markberedning särskilt markerad då åtgärdens effektivitet i nordiskt klimat är omdebatterat i litteraturen. Då Kätterer et al. (2012) belyser att åtgärdens inverkan på kolinlagring i svenska åkermarker är ett outforskat område som kräver mer studier understryks att det råder en ovisshet i huruvida den är optimal för Lunds kommun eller ej. I och med att den övriga litteraturen som använts i detta arbete understryker vikten av att vidta minskad markberedning kvarstår den dock som betydande åtgärd i denna studie.

Att inte markomställning av åkermark till betesmark inkluderas i sammanfattningen motiveras av att åtgärden främst är aktuell då degraderad åkermark ska återställas. Däremot bör kommunen ha i åtanke att åtgärden är fördelaktig och om möjlighet ges bör den vidtas. Vikt bör även läggas vid att bevara betesmarker och förhindra att de omvandlas till åkermark eller övrig jordbruksmark då en sådan handling troligtvis skulle resultera i stora kolutsläpp.

## Framtida studier

Då Lunds kommun i dagsläget (våren 2020) inte arbetar med biologiska kolsänkor finns många förslag på framtida forskning och projekt inom området. Eftersom denna studie enbart presenterar genomsnittlig data på kolförråd och kolinlagring baserat på litteratur vore ett bra första steg att genomföra mätningar i kommunens marker. På detta sätt kan referenspunkter för olika MAO:ns kolförråd fastslås. Därefter kan åtgärder vidtas varvid årliga mätningar kan undersöka huruvida kolhaltererna tilltar eller ej. Genom kontinuerliga mätningar kan en god bild över Lunds kommuns potentiella kolsänkor presenteras, vilket skulle kunna inkluderas i exempelvis kommunala årsrapporter och miljöredovisningar.

Vidare bör det belysas att denna studie endast identifierar åtgärder vilka återfinns i den vetenskapliga litteraturen. Lite fokus har lagts på åtgärdernas mervärden och huruvida de medför komplikationer eller ej. Dessutom undersöker studien inte den ekonomiska, sociala eller tekniska möjligheten i att vidta åtgärder. Om Lunds kommun vill påbörja ett arbete med biologiska kolsänkor bör därför vidare tid läggas på att undersöka sagda aspekter, vilket också rekommenderas av Cederberg med flera (2012). Därtill bör synergieffekten av att vidta flera åtgärder samtidigt undersökas.

Fortsättningsvis undersöker studien fyra MAO:n vilka valts ut i samråd med Lunds kommun baserat på SCB:s (2015) kartläggning av kommunal markanvändning. Vid framtida studier hade det varit intressant att studera huruvida resterande MAO:n, det vill säga vatten och övrig mark, agerar biologiska kolsänkor



eller ej. På detta sätt kan en helhetsbild över kolinlagringen i Lunds kommuns marker erhållas och nya slutsatser och rekommendationer presenteras.

Avslutningsvis hade det varit intressant att undersöka hur Lunds kommun och andra kommuner kan samarbeta med privata aktörer för att öka kolinlagringen även på ickekommunal mark. Framtida studier skulle därför kunna undersöka hur en kommunal organisation via exempelvis informativa styrmedel kan influera till en ökad satsning på biologiska kolsänkor hos olika markägare.

## Utvärdering av studiens metod

Som första felkälla bör noteras att enbart författaren till denna studie letat efter, samt granskat och analyserat, det material som ligger till grund för resultat såväl som diskussion. Således har urvalet av referenser baserats på en enskild individs bedömning av relevans. På grund av detta är det möjligt att viktig information inom forskningsområdet hamnat utanför denna studies datainsamling. Även om författaren försökt utföra en fullgod litteraturstudie bör läsaren därför vara medveten om att det finns fler artiklar om biologiska kolsänkor, vilka kan innehålla information som uteblivits från detta arbete. För att få en heltäckande bild över kolförråd och kolinlagring behöver en mer systematisk litteratursökning utföras, något som på grund av tidsbrist inte bedömdes vara möjligt vid detta arbete.

Att ett visst antal referenser kommit att användas influerar även studiens dataunderlag och resultat. Totalt användes 174 artiklar för att beräkna de olika MAO:ernas kolförråd och kolinlagring, vid och utan vidtagande av åtgärder. Detta är en begränsad provstorlek (eng. sample size) vilket kan ha påverkat studiens statistiska säkerhet; Vid bedömning av medelvärdet för kolförråd i åkermark användes exempelvis endast ton 5–7 (se figur 2). Att ett fåtal studier använts som dataunderlag kan ha vinklat resultatet och skapat felaktiga slutsatser. För att minska denna risk behövs ett större antal studier samlas in och fler datapunkter jämföras. Rekommenderat är att provstorleken för litteraturstudier uppgår till åtminstone 10 värden, vilket dessvärre inte är fallet i denna studie (Shetty, 2019). Det bör även noteras att flera artiklar vilka använts som dataunderlag är skrivna av samma författare. Anledningen är att forskningsområdet är relativt nytt och att få artiklar finns att erhålla. På grund av detta influerar ett fåtal forskare tydligt den befintliga litteraturen vilket även kan ha påverkat denna studies resultat och slutsatser. Att litteraturen är begränsad har även resulterat i att en del studier, vilka undersöker andra klimat än svensktempererade, inkluderas i litteraturstudien. Då kolförråd och kolinlagring skiljer sig åt mycket beroende på lokalt klimat kan detta ha medfört att studiens resultat inte är fullt ut applicerbart på Lunds kommun. Att så är fallet bör läsaren vara medveten om innan eventuella beslut om åtgärder tas.

Som sista felkälla noteras att studien inte diskuterar jordarters påverkan på kolförråd och kolinlagring. Detta trots att litteraturen påvisar hur exempelvis leriga organogena jordar i tempererat klimat har en högre kolbindningsförmåga än sandiga jordar (Chenu et al., 2019). Att jordarters inverkan exkluderats motiveras av att få artiklar undersöker fenomenet samt att merparten av de studerade artiklarna inte drar paralleller mellan sina resultat och jordarter. Därför bedömdes det svårt att dra en slutsats om vilka jordarter som lagrar mest kol och vilka som är vanligast i Skåne och Lund. Vid framtida studier vore det därför intressant att undersöka området vidare samt se vilka jordarter som dominerar i Lund och hur deras kolförråd skiljer sig åt.

## Etisk reflektion

I vetenskapliga studier är det ofta viktigt att inkludera en etisk reflektion. Vid intervjustudier är det exempelvis grundläggande att vara medveten om, och säkerställa att, de intervjuades anonymitet bevaras och att de inte påverkas negativt. Det är vidare viktigt att samtliga studiedeltagare samtycker till att den information de uppger förs vidare. Då detta är en litteraturstudie och inga personer kommit att rådfrågas är det i stället betydande att belysa att arbetets insamlade data granskats och återgetts på ett transparent och korrekt sätt. Genom detta återspeglar studien det aktuella vetenskapliga kunskapsläge vilket undersöker MAO:n samt deras kolförråd och kolinlagring. Förhoppningsvis kan denna skildring ge en god kunskapsgrund, vilken Lunds kommun kan använda sig av i sitt framtida arbete med biologiska kolsänkor. Om kommunen drar inspiration från denna studie bör organisationen dock vidare reflektera över huruvida åtgärder kan komma att påverka natur, miljö, ekonomi och invånare (Cederberg et al., 2012).

Som sista reflektion belyses vikten av att inte missbruka denna studies resultat; Tänkbart är att en kommun som äger mycket åkermark, vilka typiskt sett agerar kolkällor, säljer av denna mark för att minska den kommunala organisationens utsläpp av koldioxid. Genom att dessutom köpa upp skogs- eller betesmark skulle en kommun i sin årsredovisning kunna påvisa en betydande kolinlagring och på så vis framstå i god dager gällande sitt klimatområde. Givetvis bör detta scenario undvikas då problemet med åkermarkernas utsläpp av kol kvarstår, om än hos andra markägare.

## Slutsats

Avslutningsvis kan slutsatsen dras att skogsmark, betesmark och urbana parker i svenskt tempererat klimat är biologiska kolsänkor medan åkermarker typiskt avger kol och således agerar kolkällor. Störst kolförråd innehar skogsmark följt av åkermark och betesmark. Vidare innehar nyetablerade urbana grönytor den största kolinlagringen på 0,4 ton C/ha/år, följt av skogs och betesmark vilka årligen lagrar 0,3 ton C/ha/år. Studien identifierar insådd av baljväxter i betesmark som den effektivaste åtgärden för ökad kolinlagring per hektar och MAO. Därefter följer minskad markberedning, vallodling, insådd av perenna växter och fånggrödor samt växtrotation i åkermark. Där så är möjligt bör åkermark även omställas till betesmark. Skogsmarkens kolinlagring tilltar vid bevarande av skogen med en begränsad gödsling vilken inte överstiger 150 kg N/ha/år som enda åtgärd. Även urbana parker kolförråd gynnas av gödsling men tillförseln bör ej överstiga 75 kg N/ha/år. För att minska behovet av kvävetillförsel kan gräsklipp lämnas kvar.

Då Lunds kommun äger 3800 ha mark varav en femtedel består av åkermark bör ett lokalt fokus läggas på att vidta åtgärder för att minska utsläppen av kol från markanvändningsområdet samt omvandla det till en biologisk kolsänka. Därtill rekommenderas att de åtgärder vilka identifierats i denna studie appliceras på resterande områden för att optimera den kommunala kolinlagringen. Förutsatt att åtgärdsarbetet påbörjas år 2020 beräknas Lunds kommun till 2030 lagra 7900 ton kol vilket motsvarar 29 230 ton koldioxid. Genom att påbörja ett arbete med biologisk kolinlagring kan således de antropogena utsläppen reduceras, vilket behövs för att hålla jordens temperaturökning väl under 2°C. Då forskningsområdet är komplext så väl som ofta utforskat kan ett kommunalt arbete även bidra med värdefull information om biologiska kolsänkor i svenskt tempererat klimat och hur de påverkas av eventuella åtgärder.

# Tack

Som avslut på mitt examensarbete vill jag rikta ett stort tack till mina handledare Kimberly Nicholas, Kristina Fontell och Linda Birkedal. Ni har varit ett fantastiskt stöd under denna skrivperiod. Jag vill även skicka ett stort tack till Ola Svensson som så vänligt hjälpt mig med alla kartor och som såg till att jag fick rätt information.

Avslutningsvis vill jag även tacka min kära Tage som alltid stöttar mig och finns där när kreativiteten så väl som kaffet tagit slut.

# Referenser

- Achat, D. L., Fortin, M., Landmann, G., Ringeval, B., & Augusto, L. (2015). Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. *Scientific Reports*, 5, 15991. <https://doi.org/ludwig.lub.lu.se/10.1038/srep15991>
- Agestam, E. (2015). *Gallring*. (Skogsskötselserien nr 7). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotselserien-7-gallring.pdf>
- Akselsson, C., Berg, B., Meentemeyer, V., & Westling, O. (2005). Carbon Sequestration Rates in Organic Layers of Boreal and Temperate Forest Soils: Sweden as a Case Study. *Global Ecology and Biogeography*, 14(1), 77. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjrs&AN=edsjrs.3697419&site=eds-live&scope=site>
- Al-Hanbali, H. (2019, December 13). *Utsläppen av växthusgaser från jordbrukssektorn minskar långsamt*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk/>
- Algretawee, H., Rayburg, S., & Neave, M. (2019). Estimating the effect of park proximity to the central of Melbourne city on Urban Heat Island (UHI) relative to Land Surface Temperature (LST). *Ecological Engineering*, 138, 374–390. <https://doi.org/ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.ecoleng.2019.07.034>
- Allard, V., Soussana, J. F., Falcimagne, R., Berbigier, P., Bonnefond, J. M., Ceschia, E., D'hour, P., Hénault, C., Laville, P., Martin, C., & Pinarès-Patino, C. (2007). The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>) of semi-natural grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(1/2), 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.004>
- Ammann, C., Flechard, C. R., Leifeld, J., Neftel, A., & Fuhrer, J. (2007). The carbon budget of newly established temperate grassland depends on management intensity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121(1), 5–20. <https://doi.org/ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.agee.2006.12.002>
- Andersson, B., Andersson, S., Berggren Kleja, G., Ericsson, E., Fröberg, M., Grelle, A., Hyvönen, R., Johansson, M-B., Johansson, T., Karlton, E., Langvall, O., Lundin, L., Majdi, H., Nilsson, T., Nylund, J-E., Olsson, M., Persson, T., Rosenqvist, L., Stendahl, J & Ågren, G. (2008). *Kolet, klimatet och skogen – så kan skogsbruket påverka*. LUSTRA. [https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/10/LUSTRA\\_Sa%CC%8AKanSkogsbruketPa%CC%8Averka2008.pdf](https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/10/LUSTRA_Sa%CC%8AKanSkogsbruketPa%CC%8Averka2008.pdf)
- Andersson, P., & Palme, U. (2012). *Markanvändningens effekter på växthusgaser, biologisk mångfald och vatten*. (Rapport 6505). Naturvårdsverket, <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6509-6.pdf?pid=3818>
- Baresel, C., Ek, M., Bengtsson, L., & Rybczynski, H. (2012). *Energi- och resurshushållningsanläggning (ERA) En förstudie*. (B2114). IVL, Svenska Miljöinstitutet. <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b7666/1454339614615/B2114.pdf>
- Berg, B., Gundersen, P., & Meentemeyer, V. (2005). *Kolfastläggning uppskalad till svensk skogsmark – en sänka för koldioxid*. (Sammanfattar aktuell forskning, Rapport Nr 6). SLU.

- <https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forskn/popvet-dok/faktaskog/faktaskog05/fs05-06.pdf>
- Berg, B., Gundersen, P., Akselsson, C., Johansson, M.-B., Nilsson, A., & Vesterdal, L. (2007). Carbon sequestration rates in Swedish forest soils - a comparison of three approaches. *SILVA FENNICA*, 41(3), 541–558. <https://doi.org/10.14214/sf.288>
- Berglund, Ö., Berglund, K., & Sohlenius, G. (2009). *Organogen jordbruksmark i Sverige 1999-2008*, (Rapport nr. 12). SLU. [https://pub.epsilon.slu.se/4020/1/berglund\\_et\\_al\\_091005.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/4020/1/berglund_et_al_091005.pdf)
- Björheden, R., Sonesson, J., Berlin, M., & Karlsson, B. (2019). *Hallands skogar ur ett klimatperspektiv*. Skogforsk. <https://www.regionhalland.se/app/uploads/2019/12/Hallands-skogar-ur-ett-klimatperspektiv3.pdf>
- Blanco-Canqui, H., Klocke, N. L., Schiegel, A. J., Stone, L. R., & Rice, C. W. (2010). Impacts of Deficit Irrigation on Carbon Sequestration and Soil Physical Properties under No-Till. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), 1301–1309. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.2136/sssaj2009.0364>
- Boerner, R. E. J., Huang, J., & Hart, S. C. (2008). Fire, thinning, and the carbon economy: Effects of fire and fire surrogate treatments on estimated carbon storage and sequestration rate. *Forest Ecology and Management*, 255(8), 3081–3097. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2007.11.021>
- Bolinder, M., André, O., Kätterer, T., & Etienne Parent, L. (2012). Estimating carbon inputs to soil in forage-based crop rotations and modeling the effects on soil carbon dynamics in a Swedish long-term field experiment. *Canadian Journal Of Soil Science*, 92(6), 821–833. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.4141/CJSS2012-036>
- Bolinder, M.A., Freeman, M., & Kätterer, T. (2017). *Sammanställning av underlag för skattning av effekter på kolinlagring genom insatser i Landsbygdsprogrammet*. (På uppdrag av Jordbruksverket org.nr. 202100-4151). SLU, [http://www.jordbruksverket.se/download/18.3421fb8e1634d8e3920b1d48/1526305320843/Rapport\\_kolinlagring.pdf](http://www.jordbruksverket.se/download/18.3421fb8e1634d8e3920b1d48/1526305320843/Rapport_kolinlagring.pdf)
- Braun, R.C., & Bremer, D.J. (2019). Carbon Sequestration in Zoysiagrass Turf under Different Irrigation and Fertilization Management Regimes. *Agrosystems, Geoscience and Environment*, 1, 1-8. [https://www.researchgate.net/publication/331945150\\_Carbon\\_Sequestration\\_in\\_Zoysiagrass\\_Turf\\_under\\_Different\\_Irrigation\\_and\\_Fertilization\\_Management\\_Regimes](https://www.researchgate.net/publication/331945150_Carbon_Sequestration_in_Zoysiagrass_Turf_under_Different_Irrigation_and_Fertilization_Management_Regimes)
- Briske, D. D., Sayre, N. F., Huntsinger, L., Fernandez-Gimenez, M., Budd, B., & Derner, J. D. (2011). Origin, Persistence, and Resolution of the Rotational Grazing Debate: Integrating Human Dimensions into Rangeland Research. *Rangeland Ecology & management* 64 (4): 325-334. DOI: 10.2111
- Börjesson, G., Bolinder, M. A., Kirchmann, H., & Kätterer, T. (2018). Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations. *Biology & Fertility of Soils*, 54(4), 549. <https://search-ebscohost-com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=129371040&site=eds-live&scope=site>
- Cambou, A., Shaw, R. K., Huot, H., Vidal-Beaudet, L., Hunault, G., Cannavo, P., Nold, F., & Schwartz, C. (2018). Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Science of the Total Environment*, 644, 452–464. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.scitotenv.2018.06.322>
- Canedoli, C., Ferrè, C., El Khair, D. A., Padoa-Schioppa, E., & Comolli, R. (2019). Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks. *Urban Ecosystems*, 23(1), 159–171. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00901-6>
- Cederberg, C., Landquist, B., & Berglund M. (2012). *Potentialer för jordbruket som kolsänka*. (SIK-Rapport Nr 850) Naturskyddsföreningen. [https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/sik\\_rapport\\_850\\_snf\\_potentialer\\_for\\_jordbruket\\_som\\_kolsanka.pdf](https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/sik_rapport_850_snf_potentialer_for_jordbruket_som_kolsanka.pdf)

- Chenu, C., Angers, D. A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., & Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188, 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>
- Chen, X., Chen, H. Y. H., Chen, X., Wang, J., Chen, B., Wang, D., & Guan, Q. (2016). Soil labile organic carbon and carbon-cycle enzyme activities under different thinning intensities in Chinese fir plantations. *Applied Soil Ecology*, 107, 162–169. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.apsoil.2016.05.016>
- Cintas, O., Berndes, G., Hansson, J., Poudel, B. C., Bergh, J., Börjesson, P., Egnell, G., Lundmark, T., & Nordin, A. (2017). The potential role of forest management in Swedish scenarios towards climate neutrality by mid century. *Forest Ecology and Management*, 383, 73–84. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2016.07.015>
- Clarke, N., Gundersen, P., Jönsson-Belyazid, U., Kjønnaas, O. J., Persson, T., Sigurdsson, B. D., Stupak, I., & Vesterdal, L. (2015). Influence of different tree-harvesting intensities on forest soil carbon stocks in boreal and northern temperate forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 351, 9–19. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2015.04.034>
- Clemmensen, K.E., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R.D., Wardle, D.A., & Lindahl, B.D. (2013). Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest. *Science*, 339(6127), 1615. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1126/science.1231923>
- Conant, R.T., Paustian, K., & Elliot, T. E. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Society of America*, 11(2). 343-355. DOI: 10.2307/3060893.
- Conant, R.T., Cerri, C.E.P., Osborn, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662. ISSN:10 510 761
- Conant, R.T., Paustian, K., Del Grosso, & William J. Parton. S.J (2005). Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71(3), 239. <https://search-ebscohost-com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=20144253&site=eds-live&scope=site>.
- de Vries, W., Solberg, S., Dobbertin, M., Sterba, H., Laubhann, D., van Oijen, M., Evans, C., Gundersen, P., Kros, J., Wamelink, G. W. W., Reinds, G. J., & Sutton, M. A. (2009). The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and heathlands. *Forest Ecology and Management*, 258(8), 1814–1823. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2009.02.034>
- Dahllöf, J. (2020, 01 20). *Biokol för ett grönare Stockholm*. Stockholm vatten och avfall. <http://www.stockholmvattnochavfall.se/aktuellt/utvecklingsprojekt/biokol2/>
- Diochon, A., Kellman, L., & Beltrami, H. (2009). Looking deeper: An investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 413–420. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2008.09.015>
- Dänhardt, J., Hedlund, K., Birkhofer, K., Brady, M., Brönmark, C., Lindström, S., Nilsson, L., Olsson, O., Rundlöf, M., Stjernman, M., Smith, H. G., & Jørgensen, H. B. (2013). *Ekosystemtjänster i det skånska jordbrukslandskapet*. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet. [https://utveckling.skane.se/siteassets/publikationer\\_dokument/rapport\\_ekosystemtjanster\\_lagupplöst.pdf](https://utveckling.skane.se/siteassets/publikationer_dokument/rapport_ekosystemtjanster_lagupplöst.pdf)
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McCormack, S. A., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2014). Land-cover effects on soil organic carbon stocks in a European city. *Science of the Total Environment*, 472, 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.025>
- Eriksson, J., Mattsson, L., & Söderström, M. (2010). *Tillståndet i svensk åkermark och gröda Data från 2001-2007*. (Rapport nr 6349). Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6349-8.pdf>

- Eriksson, E. (2006). *The Potential for Forestry to Reduce Net CO<sub>2</sub> Emissions*. [Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences] Department of Bioenergy, Uppsala. [https://www.researchgate.net/publication/34432636\\_The\\_potential\\_for\\_forestry\\_to\\_reduce\\_net\\_CO\\_emissions](https://www.researchgate.net/publication/34432636_The_potential_for_forestry_to_reduce_net_CO_emissions)
- Eriksson, M., & Wikholm, M. (2019). *Vegetation som ett värmereducerande verktyg i den urbana miljön*. SLU. [https://stud.epsilon.slu.se/14191/1/eriksson\\_m\\_wikholm\\_m\\_190110.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/14191/1/eriksson_m_wikholm_m_190110.pdf)
- Europaparlamentet (2017). *Klimatförändringar: Att använda EU:s skogar för att kompensera utsläpp av koldioxid*. <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/society/20170711STO79506/klimatet-att-anvanda-skog-for-att-kompensera-utslapp-av-koldioxid>
- Diochon, A., Kellman, L., & Beltrami, H. (2009). Looking deeper: An investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 413–420. <https://doi.org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2008.09.015>
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat – odling av åker- och trädgårdsgrödor*. (Upplaga 1). Lund: Studentlitteratur
- Formas. (2010). *Jordbruk som håller i längden*. (Upplaga 1). Edita AB. [https://www.formas.se/download/18.462d60ec167c69393b9a1d0/1549956100364/jordbruk\\_som\\_haller\\_i\\_langden.pdf](https://www.formas.se/download/18.462d60ec167c69393b9a1d0/1549956100364/jordbruk_som_haller_i_langden.pdf)
- Frankow-Lindberg, E. Bodil. (2003). *Kvantifiering av kvävefixering via baljväxter i fält - förslag till ny modell i rådgivningsprogrammet STANK*. (Rapport Nr 5, Institutionen för ekologi och växtlära). SLU. <http://www.jordbruksverket.se/download/18.1298d43a15345c26aa0b33ae/1457346234914/Kv%C3%A4vefixering%20kvantifiering.pdf>
- Freibauer, A., Rounsevell, M. D. A., Smith, P., & Verhagen, J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
- Foster, V., & Bedrosyan, D. (2014). *Understanding CO<sub>2</sub> Emissions from the Global Energy Sector*. Live Wire, World Bank, Washington. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17143>
- Frey, S.D., Ollinger, S., Nadelhoffer, K., Bowden, R., Brzostek, E., Burton, A., Caldwell, B.A., Crow, S., Goodale, C.L., Grandy, A.S., Finzi, A., Kramer, M.G., Lajtha, K., LeMoine, J., Martin, M., McDowell, W.H., Minocha, R., Sadowsky, J.J., Templer, P.H., & Wickings, K. (2014). Chronic nitrogen additions suppress decomposition and sequester soil carbon in temperate forests. *Biogeochemistry*, 121, 305. <https://www.jstor.org.ludwig.lub.lu.se/stable/24717580>
- Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H., Briceño-Elizondo, E., & Kellomäki, S. (2007). Changed thinning regimes may increase carbon stock under climate change: A case study from a Finnish boreal forest. *Climatic Change*, 81(3/4), 431–454. <https://doi.org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s10584-006-9149-8>
- Georgiadis, P. (2011). *Accumulation of carbon and nitrogen in Swedish forest soils over stand age*. SLU. [https://stud.epsilon.slu.se/3633/1/georgiadis\\_p\\_111121.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/3633/1/georgiadis_p_111121.pdf)
- Ghadge, A., Wurtmann, H., & Seuring, S. (2020). Managing climate change risks in global supply chains: a review and research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(1), 44–64. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629670>
- Gustafson, G. (2009). *Forestry and Climate Change Mitigation - Climate change mitigation potential for different rotation lengths in Norway spruce forests, Götaland, Sweden with a short and a long term perspective*. (Master thesis no. 135). SLU. [https://stud.epsilon.slu.se/11522/1/gustafson\\_g\\_171003.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/11522/1/gustafson_g_171003.pdf)



- Gosling, P., van der Gast, C., & Bending, G.D. (2017). Converting highly productive arable cropland in Europe to grassland: –a poor candidate for carbon sequestration. *Scientific reports*, 7(10493), DOI:10.1038/s41598-017-11083-6
- Grace, J. (2004). Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, 92, 189-202. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.0022-0477.2004.00874.x>
- Gross, C.D., James, J.N., Turnblom, E.C., & Harrison, R.B. (2018). Thinning Treatments Reduce Deep Soil Carbon and Nitrogen Stocks in a Coastal Pacific Northwest Forest. *Forests*, 5, 238. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.3390/f9050238>
- Gu, C., Crane, I. J., Hornberger, G., & Carrico, A. (2015). The effects of household management practices on the global warming potential of urban lawns. *Journal of Environmental Management*, 151, 233–242. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.jenvman.2015.01.008>
- Guo, L.B., & Gifford, R.M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8, 345-360. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Bracht Jørgensen, H., & Söderström, B. (2015). What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems? *Environmental Evidence*, 1. <https://doi.org/10.1186/s13750-015-0049-0>
- Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., & Isberg, P-E. (2017). *Inverkan av reducerad jordbearbetning på organisk kol i åkermark*. (Sammanfattning av Systematisk utvärdering SR10). EviEM. <http://eviem.se/wp-content/uploads/2018/03/SR10-sammanfattning-for-web.pdf>
- Haselbach, L., & Thomas, A. (2014). Carbon sequestration in concrete sidewalk samples. *Construction and Building Materials*, 54, 47–52. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.055>
- He, Z., Chen, L., Du, J., Zhu, X., Lin, P., Li, J., & Xiang, Y. (2018). Responses of soil organic carbon, soil respiration, and associated soil properties to long-term thinning in a semi-arid spruce plantation in northwestern China. *Land Degradation & Development*, 29(12), 4387. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3196>
- Hellstedt, E. (2017). *Precisionsodling av vall – Sensormätning som analysredskap för proteininnehåll och skörd*. [Kandidatuppsats, SLU]. [https://stud.epsilon.slu.se/12831/1/hellstedt\\_e\\_171031.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/12831/1/hellstedt_e_171031.pdf)
- Hoover, C.M. (2011). Management Impacts on Forest Floor and Soil Organic Carbon in Northern Temperate Forests of the US. *Carbon Balance & Management*, 6(1), 17–24. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1186/1750-0680-6-17>
- Holeplass, H., Singh, B. R., & Lal, R. (2004). Carbon sequestration in soil aggregates under different crop rotations and nitrogen fertilization in an inceptisol in southeastern Norway. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70(2), 167. <https://search-ebscohost-com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=22116366&site=eds-live&scope=site>
- Huh, Y.K., Deurer, M., Sivakuruman, S., McAuliffe, K., & Bolan, N.S. (2008). Carbon sequestration in urban landscapes: the example of a turfgrass system in New Zealand. *Australian Journal of Soil Research* 46(7), 610-616 <https://doi.org/10.1071/SR07212>
- Hultgren, B. (2019). *Statistik om formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsyto r samt improduktiv skogsmark*. (Rapport nr. 2019/18). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2019/rapport-2019-18-statistik-om-formellt-skyddad-skogsmark-frivilliga-avsattningar-hansynsytor-improduktiv-skogsmark.pdf>
- Hyvönen, R., Persson, T., Andersson, S., Olsson, B., Ågren, G.I., & Linder, S. (2008). Impact of Long-Term Nitrogen Addition on Carbon Stocks in Trees and Soils in Northern Europe. *Biogeochemistry*, 89(1), 121. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s10533-007-9121-3>

- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. ISBN 978-0-521-70598-1
- IPCC. (2018). *Global warming of 1,5 C°*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on Climate Change and Land*. I print. [https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/ipcc\\_land\\_and\\_climate\\_change\\_summary\\_for\\_policy\\_makers.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/ipcc_land_and_climate_change_summary_for_policy_makers.pdf)
- IVA. (2019). *Så klarar det svenska jordbruket klimatmålen*, (En delrapport från IVA-projektet Vägval för klimatet). Stockholm. <https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201910-iva-vagval-for-klimatet-delrapport5-g.pdf>
- James, J., & Harrison, R. (2016). The Effect of Harvest on Forest Soil Carbon: A Meta-Analysis. *Forests*, 12, 308. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.3390/f7120308>
- Janssens, I.A., Freibauer, A., Schlamadinger, B., Ceulemans, R., Ciais, P., Dolman, A.J., Heimann, M., Nabuurs, G.-J., Smith, P., Valentini, R., & Schulze, E.-D. (2005). The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – a European case study. *Biogeosciences*, 1, 15. <https://search-ebSCOhost-com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.8309f17dd17b4060af2b1252ba4a3663&site=eds-live&scope=site>
- Johnson, D. W., & Curtis, P. S. (2001). Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology & Management*, 140(2/3), 227. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00282-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00282-6)
- Johnson, K., Scatena, F.N., & Pan, N. (2010). Short- and long-term responses of total soil organic carbon to harvesting in a northern hardwood forest. *Forest ecology and management*, 259, 1262-1267. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.06.049
- Jones, M.B & Donnelly, A. (2004). Carbon Sequestration in Temperate Grassland Ecosystems and the Influence of Management, Climate and Elevated CO<sub>2</sub>. *The New Phytologist*, 164(3), 423. <https://search-ebSCOhost-com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edsjsr&AN=edsjsr.1514751&site=eds-live&scope=site>
- Jordbruksverket. (2018). *Kolla Klöver*. <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/jordbruksgrador/vall/kollaklovern.4.23f3563314184096e0d7e01.html>
- Jordbruksverket. (2019). *Sprida gödsel i nitratkänsliga områden i Skåne, Blekinge och Halland*. <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/spridagodsmedel/nitratkansligaomradeniskaneblekingeochhalland.4.207049b811dd8a513dc80002742.html>
- Jurgensen, M., Tarpey, R., Pickens, J., Kolka, R., & Palik, B. (2012). Long-term Effect of Silvicultural Thinnings on Soil Carbon and Nitrogen Pools. *Soil Science Society of America Journal*, 76(4), 1418–1425. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.2136/sssaj2011.0257>
- Kartlun, E. Jacobson, A & Lennartsson, T. (2010). *Inlagring av kol i betesmark*. (Rapport nr. 2010:25). Jordbruksverket.
- Kaye, J. P., McCulley, R. L., & Burke, I. C. (2005). Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems. *Global Change Biology*, 11(4), 575–587. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1111/j.1365-2486.2005.00921.x>
- Kell, B. D. (2012). Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *The Royal Society Publishing*, 367(1595), 1589-1597. DOI: :10.1098/rstb.2011.0244
- King, A.E., & Blesh, J. (2018). Crop rotations for increased soil carbon: perennality as a guiding principle. *Ecological Applications*, 28(1), 249–261. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eap.1648>
- Kirchmann, H., Kätterer, T., Bergström, L., & Andersson, R. (2014). *Den ekologiska drömmen*. (Uppgå 1). Fri tanke förlag. ISBN: 978-91-87513-53-4

- Kleemola, J. (2013). *Gröngödslingsguide*. (Rapport nr 5). TEHO Plus.  
[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95522/TEHO\\_Plus\\_Grongodslingsguide\\_2013.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95522/TEHO_Plus_Grongodslingsguide_2013.pdf?sequence=2)
- Kong, D., Liu, N., Wang, W., Akhtar, K., Li, N., Ren, G., Feng, Y., & Yang, G. (2019). Soil respiration from fields under three crop rotation treatments and three straw retention treatments. *PLoS ONE*, *14*(9), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219253>
- Kong, L., Shi, Z., & Chu, L. M. (2014). Carbon emission and sequestration of urban turfgrass systems in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, *473–474*, 132–138. <https://doi.org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.scitotenv.2013.12.012>
- Kramberger, B., Podvršnik, M., Gselman, A., Šuštar, V., Kristl, J., Muršec, M., Lešnik, M., & Škorjanc, D. (2015). The effects of cutting frequencies at equal fertiliser rates on bio-diverse permanent grassland: Soil organic C and apparent N budget. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *212*, 13–20. <https://doi.org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.agee.2015.06.001>
- Kätterer, T. (2019). *Kolinlagring i jordbruksmark*. Sveriges lantbruksuniversitet.  
[https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/vagval-for-klimatet/nr-2--kolsankor-i-mark-katterer\\_iva\\_29jan2019.pdf](https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/vagval-for-klimatet/nr-2--kolsankor-i-mark-katterer_iva_29jan2019.pdf)
- Kätterer, T., Bolinder, M.A., Berglund, K & Kirchmann, H. (2012). Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, *62*(4), 181-198, DOI: 10.1080/09064702.2013.779316
- Kätterer, T., Börjesson, G., & Kirchmann, H. (2014). Changes in organic carbon in topsoil and subsoil and microbial community composition caused by repeated additions of organic amendments and N fertilisation in a long-term field experiment in Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *139*(1), 110-118. DOI: 10.1016/j.agee.2014.03.025
- Kätterer, T., Andersson, L., Andrén, O., & Persson, J. (2008). Long-term impact of chronosequential land use change on soil carbon stocks on a Swedish farm. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *81*(2), 145. <https://search-ebSCOhost.com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=33025450&site=eds-live&scope=site>.
- Kätterer, T., Börjesson, G., & Bolinder, M.A. (2020). Odlingssystemens effekter på kolinlagring i jordbruksmark. *Vallkonferens 2020, Konfere nsrapport 4-5 februari 2020, Uppsala*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi, Rapport nr 30, sidor 13-16. ISBN: 978-91-576-9712-7
- Lal, R., Stewart, B.A. (2018). *Soils and Climate*. (Upplaga 1). CRC Press.  
<https://books.google.se/books?id=0whpDwAAQBAJ&pg=PT175&lpg=PT175&dq=K%C3%A4tterer+2012&source=bl&ots=3Yq9QzS8dZ&sig=ACfU3U0bX6bmlhrnVetXxchwJZXblB7pQ&hl=sv&sa=X&ved=2ahUKewjRturs55ToAhUaAxAIHX7RAVoQ6AEwCHoECAkQAQ#v=onepage&q=fertilization&f=false>
- Lal, R., & Augustin, B. (2012). *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Springer Netherlands. <https://search-ebSCOhost.com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=cat07147a&AN=lub.6097676&site=eds-live&scope=site>.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, *220*(1), 242–258. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>
- Law, Q. D., & Patton, A. J. (2017). Biogeochemical cycling of carbon and nitrogen in cool-season turfgrass systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, *26*, 158. Law, Q. D., & Patton, A. J. (2017). Biogeochemical cycling of carbon and nitrogen in cool season turfgrass systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, *26*, 158. <https://search-ebSCOhost.com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=125545547&site=eds-live&scope=site>
- Ledo, A., Hillier, J., Smith, P., Aguilera, E., Blagodatskiy, S., Brearley, F. Q., Datta, A., Diaz-Pines, E., Don, A., Dondini, M., Dunn, J., Feliciano, D. M., Liebig, M. A., Rong Lang, Llorente,

- M., Lopes Zinn, Y., McNamara, N., Ogle, S., Zhangcai Qin, ... Zerihun, A. (2019). A global, empirical, harmonised dataset of soil organic carbon changes under perennial crops. *Scientific Data*, 6(1), 57. <https://doi.org/DOI: 10.1038/s41597-019-0062-1>.
- Lemke, R.L., VandenBygaart, A.J., Campbell, C.A., Lafond, G.P., & Grant, B. (2009). Crop residue removal and fertilizer N: Effects on soil organic carbon in a long-term crop rotation experiment on a Udic Boroll. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134, 42-51. DOI: 10.1016/j.agee.2009.08.010
- Lindén, L., Riikonen, A., Setälä, H., & Yli-Pelkonen, V. (2020). Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry and Urban Greening*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>
- Lindholm, E.-L., Stendahl, J., Berg, S., & Hansson, P.-A. (2011). Greenhouse gas balance of harvesting stumps and logging residues for energy in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 6, 586. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1080/02827581.2011.615337>
- Lu, F. (2015). How can straw incorporation management impact on soil carbon storage? A meta-analysis. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8), 1545–1568. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s11027-014-9564-5>
- Lunds kommun. (2017). *LundaEko II Lunds kommuns program för ekologiskt hållbar utveckling 2014-2020*. Kommunfullmäktige. [https://www.lund.se/globalassets/regelsamling/miljo\\_och\\_halsa/lundaeko-ii-antagen-kf-2017-10-26.pdf](https://www.lund.se/globalassets/regelsamling/miljo_och_halsa/lundaeko-ii-antagen-kf-2017-10-26.pdf)
- Lunds kommun. (2019a). *Risen*. Idrott, motion och friluftsliv. <https://www.lund.se/uppleva--gora/Idrott-och-motion/Parker-lek-natur/naturomraden-naturreservat/risen-genarp/>
- Lunds kommun. (2019b). *Veberöds ljung*. Idrott, motion och friluftsliv. <https://www.lund.se/uppleva--gora/Idrott-och-motion/Parker-lek-natur/naturomraden-naturreservat/veberods-ljung/>
- Lunds kommun. (2020). *Dalby Fäläd no 5*. Skrylle motion & friluftsliv. <https://skrylle.se/att-gora/upptack-naturomraden/dalby-falad-no-5/>
- Lunds kommun. (2020). *Park- och naturskötsel*. Natur, naturvård. <https://www.lund.se/bygga-bo--miljo/natur/park-och-naturskotsel/>
- Lunds universitet. (2020, maj 05). *Arbetsterapi: Skriva litteraturöversikt*. <https://libguides.lub.lu.se/arbetsterapi/litteraturoversikt>
- LUSTRA. (2007). *Kolet klimatet och skogen – Så funkar det*. (Rapport nr 1). Mistra. [https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/10/LUSTRA\\_Sa\\_CC%8AFunkarDet2007.pdf](https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/10/LUSTRA_Sa_CC%8AFunkarDet2007.pdf)
- Ma, J., Kang, F., Cheng, X., & Han, H. (2018). Moderate thinning increases soil organic carbon in *Larix principis-rupprechtii* (Pinaceae) plantations. *Geoderma*, 329, 118–128. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.geoderma.2018.05.021>
- McCosker, T. (2000). Cell Grazing – The first 10 years in Australia. *Tropical Grasslands*, 34(1), 207-218. [https://www.researchgate.net/publication/279603668\\_Cell\\_grazing\\_-\\_The\\_first\\_10\\_years\\_in\\_Australia](https://www.researchgate.net/publication/279603668_Cell_grazing_-_The_first_10_years_in_Australia)
- McDaniel, D.M., Tiemann, L.K., & Grandy, A.S. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24(3), 560-570. [https://www.researchgate.net/publication/260415879\\_Does\\_agricultural\\_crop\\_diversity\\_enhance\\_soil\\_microbial\\_biomass\\_and\\_organic\\_matter\\_dynamics\\_A\\_meta-analysis](https://www.researchgate.net/publication/260415879_Does_agricultural_crop_diversity_enhance_soil_microbial_biomass_and_organic_matter_dynamics_A_meta-analysis)
- Milesi, C., Elvidge, C.D., Dietz, J.B., Tuttle, B.T., Nemani, R.R., & Running, S.W. (2012). A strategy for Mapping and Modeling the Ecological Effects of US Lawns. [https://www.researchgate.net/publication/228337532\\_A\\_strategy\\_for\\_Mapping\\_and\\_Modeling\\_the\\_Ecological\\_Effects\\_of\\_US\\_Lawns](https://www.researchgate.net/publication/228337532_A_strategy_for_Mapping_and_Modeling_the_Ecological_Effects_of_US_Lawns)
- McLaughlan, K.K., Hobbie, S.E., & Post, W.M. (2006). CONVERSION FROM AGRICULTURE TO GRASSLAND BUILDS SOIL ORGANIC MATTER ON DECADAL TIMESCALES. *Ecological Applications*, 16(1), 143-153. <https://doi.org/10.1890/04-1650>

- Muth, D.J., Bryden, K.M., & Nelson, R.G. (2013). Sustainable agricultural residue removal for bioenergy: A spatially comprehensive US national assessment. *Applied Energy*, 102(1), 403-417. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0306261912005508?token=06B55CD727BBEF9D48EE4CFE0CBC259E6F2D042F9269322723C6B92D697ECA68EDCD02A5AF2D3871D2EA11EF05EF82D4>
- Nair, R., Mehta, C. R., & Sharma, S. (2015). Carbon sequestration in soils-A Review. *Agricultural Reviews*, 36(2), 81–99. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.5958/0976-0741.2015.00011.2>
- Naturvårdsverket. (2015). *Guide för värdering av ekosystemtjänster*. (Rapport 6690) <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6690-1.pdf?pid=15998>
- Naturvårdsverket. (2018). *National Inventory Report Sweden 2018: Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2016*. <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/FN/national-inventory-report-2018.pdf>
- Naturvårdsverket. (2019). *Utsläpp av växthusgaser från jordbruk*. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk/>
- Naturvårdsverket. (2020). *Naturresevat – vanlig och stark skyddsform*. <https://www.naturvardsverket.se/Var-natur/Skyddad-natur/Naturresevat/>
- Neal, J. S., Eldridge, S. M., Fulkerson, W. J., Lawrie, R., & Barchia, I. M. (2013). Differences in soil carbon sequestration and soil nitrogen among forages used by the dairy industry. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 542–548. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.soilbio.2012.09.019>
- Nordborg, M. (2016). *Holistic management – a critical review of Allan Savory’s grazing method*. SLU. [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244566/local\\_244566.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244566/local_244566.pdf)
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- Olson, K. R., Al-Kaisi, M. M., Lal, R., & Lowery, B. (2014). Experimental Consideration, Treatments, and Methods in Determining Soil Organic Carbon Sequestration. *Soil Science Society of America Journal*. 78, 348-360. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.09.0412>
- Olsson, B. A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtsson, J., & Kaj, R. (1996). Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management*, 82(1), 19–32. [https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/0378-1127\(95\)03697-0](https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/0378-1127(95)03697-0)
- Olsson, M.T., Erlandsson, M., Lundin, L., Nilsson, T., Nilsson, Å., & Stendahl, L. (2009). Organic Carbon Stocks in Swedish Podzol Soils in Relation to Soil Hydrology and Other Site Characteristics. *Silva Fennica*, 2, 209. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsswe&AN=edsswe.oai.sp1.slu.b.se.27655&site=eds-live&scope=site>
- Ontl, T. A. & Schulte, L. A. (2012) Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 35. [https://www.researchgate.net/publication/313189912\\_Soil\\_carbon\\_storage](https://www.researchgate.net/publication/313189912_Soil_carbon_storage)
- Ortiz, C. A., Lundblad, M., Lundström, A., & Stendahl, J. (2014). The effect of increased extraction of forest harvest residues on soil organic carbon accumulation in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 70, 230–238. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.biombioe.2014.08.030>
- Ortiz, C. A., Karlton, E., Stendahl, J., Gärdenäs, A. I., & Ågren, G. I. (2011). Modelling soil carbon development in Swedish coniferous forest soils—An uncertainty analysis of parameters and model estimates using the GLUE method. *Ecological Modelling*, 222(17), 3020–3032. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.034>
- Ortiz, C. A., Liski, J., Gärdenäs, A. I., Lehtonen, A., Lundblad, M., Stendahl, J., Ågren, G. I., & Karlton, E. (2013). Soil organic carbon stock changes in Swedish forest soils—A comparison of uncertainties and their sources through a national inventory and two



- simulation models. *Ecological Modelling*, 251, 221–231.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.12.017>
- Oostra, S., Hoosang, M., & Olsson, M. (2006). Impact of tree species on soil carbon stocks and soil acidity in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5, 364.  
<https://doi.org/10.1080/02827580600950172>
- Patel, R., & Davidson, B. (2019). *Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning* (Femte upplagan). Studentlitteratur.  
<http://ludwig.lub.lu.se/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cab07147a&AN=lub.5400602&site=eds-live&scope=site>
- Peltoniemi, M., Mäkipää, R., Liski, J., & Tamminen, P. (2004). Changes in soil carbon with stand age— an evaluation of a modelling method with empirical data. *Global Change Biology*, 10(12), 2078–2091. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1111/j.1365-2486.2004.00881.x>
- Persson, T., & Egnell, G. (2018). Stump harvesting for bioenergy: A review of climatic and environmental impacts in northern Europe and America. *WIREs: Energy & Environment*, 7(6), N.PAG. <https://onlinelibrary-wiley-com.ludwig.lub.lu.se/doi/epdf/10.1002/wene.307>
- Petersson, G. (2006). *Kemisk Miljövetenskap*. (6:e upplagan). Chalmers Universitet. ISBN: 91-7197-753-8
- Poeplau, C., Don, A., Gensior, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., & Schumacher, J. (2011). Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*, 17(7), 2415–2427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>
- Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å., & Kätterer, T. (2015a). Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional*, 4, 126-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.01.004>
- Poeplau, C., Bolinder, M.A., Eriksson, J., Lundblad, M., & Kätterer, T. (2015b) Positive trends in poorganic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeoscience*, 12, 3241-3251. [www.biogeosciences.net/12/3241/2015/](http://www.biogeosciences.net/12/3241/2015/)
- Poeplau, C., Marstorp, H., Thored, K., & Kätterer, T. (2016). Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage – a case study on public lawns in three Swedish cities. *SOIL*, 2, 175. <https://doi.org/10.5194/soil-2-175-2016>
- Pouyat, R., Groffman, P., Yesilonis, I., & Hernandez, L. (2002). Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. *Environmental Pollution*, 116(Supplement 1), S107–S118.  
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00263-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00263-9)
- Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6(3), 317–327. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- Proposition 2016/17:16. *Godkännande av klimatavtalet från Paris*. Regeringen.  
<https://www.regeringen.se/4a75ca/contentassets/618f83b8918f4f34bb1ae06b62aae8f2/go-dkannande-av-klimatavtalet-fran-paris-prop.-20161716>
- Qian, Y., Follett, R. F., & Kimble, J. M. (2010). Soil Organic Carbon Input from Urban Turfgrasses. *Soil Science Society of America Journal*, 74(2), 366–371. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.2136/sssaj2009.0075>
- Qian, Y., Follett, R. F., & Kimble, J. M. (2002). Soil Organic Carbon Input from Urban Turfgrasses. *SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL*, 74(2), 366–371.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0075>
- Quenum, M., Giroux, M. & Royer, R. (2004). E'tude sur le bilan humique des sols dans des syste`mes culturaux sous prairies et sous cultures commerciales selon les modes de fertilisation [Humic balance of soil for hay and cash crop systems under different fertilization practices]. *Agrosol*, 15(2). <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs60403>

- Reif, J., & Hanzelka, J. (2016). Grassland winners and arable land losers: The effects of post-totalitarian land use changes on long-term population trends of farmland birds. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.007>
- Qian, Y. L., Follett, R. F., & Kimble, J. M. (2010). Soil Organic Carbon Input from Urban Turfgrasses. *SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL*, 74(2), 366–371. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.2136/sssaj2009.0075>
- Qian, Y. L., Bandaranayake, W., Parton, W. J., Mecham, B., Harivandi, M. A., & Mosier, A. R. (2003). Long-Term Effects of Clipping and Nitrogen Management in Turfgrass on Soil Organic Carbon and Nitrogen Dynamics: The CENTURY Model Simulation. *Journal of Environmental Quality*, 32(5), 1694, <https://search-ebSCOhost-com.ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=11034766&site=eds-live&scope=site>.
- Richard, T. C., Carlos, E. P. C., Brooke, B. O., & Keith, P. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662. <http://ludwig.lub.lu.se/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjsr&AN=edsjsr.44203434&site=eds-live&scope=site>
- Robinson, D. T., Sun, S., Hutchins, M., Riolo, R. L., Brown, D. G., Parker, D. C., Filatova, T., Currie, W. S., & Kiger, S. (2013). Effects of land markets and land management on ecosystem function: A framework for modelling exurban land-change. *Environmental Modelling and Software*, 45, 129–140. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.envsoft.2012.06.016>
- Rytter, R.-M. (2012). The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 36, 86–95. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.biombioe.2011.10.012>
- Römkens, P.F.A.M., van der Plicht, J., & Hassink, J. (1999). Soil organic matter dynamics after the conversion of arable land to pasture. *Biology and Fertility of Soils*, 28, 277–284. DOI: 10.1007/s003740050494
- Savory, A. (2008). A Global Strategy for Addressing Global Climate Change. <https://soilcarboncoalition.org/files/globalstrategy.pdf>
- Scarlat, N., & Dallemand, J-F. (2019). Chapter Ten - Future Role of Bioenergy. *Resources, Technologies, Sustainability and Policy*, 1, 435–547. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128130568000108?via%3Dihub>
- Schulp, C. J. E., Nabuurs, G.-J., & Verburg, P. H. (2008). Future carbon sequestration in Europe—Effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(3), 251–264. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.agee.2008.04.010>
- Selhorst, A., & Lal, R. (2013). Net Carbon Sequestration Potential and Emissions in Home Lawn Turfgrasses of the United States. *Environmental Management*, 51(1), 198–208. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s00267-012-9967-6>
- Shetty, S. (2019). DETERMINING SAMPLE SIZE FOR QUALITATIVE RESEARCH: WHAT IS THE MAGICAL NUMBER? InterQ. <https://interq-research.com/determining-sample-size-for-qualitative-research-what-is-the-magical-number/>
- Sindhøj, E., André, O., Kätterer, T., Gunnarsson, S., & Pettersson, R. (2006). Projections of 30-year soil carbon balances for a semi-natural grassland under elevated CO<sub>2</sub> based on measured root decomposability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(2), 360–368. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.agee.2005.11.011>
- Skiba, U., Hargreaves, K.J., & Smith, K.A. (1997). Fluxes of nitric and nitrous oxides from agricultural soils in a cool temperate climate. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(14), 2477–2488. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(92\)90100-Y](https://doi.org/10.1016/0960-1686(92)90100-Y)
- Skogsstyrelsen. (2017, 17 mars). *Skogsbränsle, grot*. <https://www.skogsstyrelsen.se/bruks-skog/skogsbransle/>

- SLU. (2003). Ekologiskt lantbruk – Vågar, Val, Visioner. *Sammanfattningar av föredrag och postrar, Ultuna, 18-19 november 2003*. [https://orgprints.org/2803/1/konfrapport\\_2003.pdf](https://orgprints.org/2803/1/konfrapport_2003.pdf)
- SLU. (2002). Odlad jord. *Miljötrender*. [https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/miljo/hall-dig-uppdaterad/miljotrender-arkiv/2002/mt3-4\\_02.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/miljo/hall-dig-uppdaterad/miljotrender-arkiv/2002/mt3-4_02.pdf)
- SLU. (2017). *SKOGSDATA 2017: Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. (Institutionen för skoglig resurshushållning). [https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata\\_2017.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2017.pdf)
- Smith, P., Powlson, D., Smith, J., Falloon, P., & Coleman, K. (2000). Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY*, 6(5), 525–539. <https://www-jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/pdf/3547426.pdf?refreqid=excelsior%3Ad8fb0ec60fdaa954557db94c25c3ea72>
- Smith, P., Andrén, O., Karlsson, T., Perälä, P., Regina, K., Rounsevell, M., & Van Wesemael, B. (2005). Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biology*, 11(12), 2153–2163. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1111/j.1365-2486.2005.01052.x>
- Soussana, J.F., Tallec, T., & Blanfort, V. (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Cambridge University Press*, 4(3), 334–350. DOI: 10.1017/S1751731109990784
- Soussana, J. F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., Ceschia, E., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., & Raschi, A. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(1/2), 121–134. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.agee.2006.12.022>
- Spehn, E.M., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Hector, A., Caldeira, M.C., Dimitrakopoulos, P.G., Finn, J.A., Jumpponen, A., O' Donovan, G., Pereira, J.S., Schulze, E-D., Troumbis, A.Y., & C. Körner, C. (2002). The Role of Legumes as a Component of Biodiversity in a Cross-European Study of Grassland Biomass Nitrogen. *Oikos*, 98(2), 205. [https://www-jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/3547426?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www-jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/3547426?seq=1#metadata_info_tab_contents)
- Statistiska centralbyrån. (2015). *Kommuner i siffror*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/kommuner-i-siffror/#?region1=1281&region2=>
- Stendahl, J. (2020, maj 08). *Kolhalt*. SLU. <https://www.slu.se/miljoanalys/statistik-och-miljodata/miljodata/webbtjanster-miljoanalys/markinfo/markinfo/markkemi/kolhalt/>
- Takahashi, T., Amano, Y., Kuchimura, K., & Kobayashi, T. (2008). Carbon content of soil in urban parks in Tokyo, Japan. *LANDSCAPE AND ECOLOGICAL ENGINEERING*, 4(2), 139–142. <https://doi.org/10.1007/s11355-008-0043-6>
- Taylor, A. R., Wang, J. R., & Kurz, W. A. (2008). Effects of harvesting intensity on carbon stocks in eastern Canadian red spruce ( *Picea rubens*) forests: An exploratory analysis using the CBM-CFS3 simulation model. *Forest Ecology and Management*, 255(10), 3632–3641. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.foreco.2008.02.052>
- Thiffault, E., Kirsten D. Hannam, K.D., Paré, D., Titus, B.D., Hazlett, P.W., Maynard, D.G., & Brais, S. (2011). Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests — A review. *Environmental Reviews*, 19, 278. <https://www-jstor-org.ludwig.lub.lu.se/stable/envirevi.19.278>
- Thompson, G.L. & Kao-Kniffin, J. (2019). Urban Grassland Management Implications for Soil C and N Dynamics: A Microbial Perspective. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.3389/fevo.2019.00315>
- Tian, D-L, Peng, Y-Y., Yan, W-D., Fang, X., Kang, W-X., Wang, G-J., & Chen, X-Y. (2010). Effects of Thinning and Litter Fall Removal on Fine Root Production and Soil Organic Carbon Content in Masson Pine Plantations. *Pedosphere*, 20(4), 486–493. [https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/S1002-0160\(10\)60038-0](https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/S1002-0160(10)60038-0)



- Tidåker, P., Wesström, T., & Kätterer, T. (2017). Energy use and greenhouse gas emissions from turf management of two Swedish golf courses. *Urban Forestry & Urban Greening*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.009>
- Townsend-Small, A., & Czimczik, C. I. (2010). Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. *Geophysical Research Letters*, 37(2). <https://search.ebscohost.com/ludwig.lub.lu.se/login.aspx?direct=true&db=edsch&AN=edsch.oai%3aescholarship.org%2fark%3a%2f13030%2fqt4nr822dt&site=eds-live&scope=site>
- Vandenbygaart, A.J., Gregorich, E.G., & Angers, D.A. (2003). Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and assessment of Canadian studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 83(4), 363. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=ejs10091334&site=eds-live&scope=site>.
- Van Kessel, C., & Hartley, C. (2000). Agricultural management of grain legumes: Has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crops Research*, 65(2), 165-181. DOI:10.1016/S0378-4290(99)00085-4
- Van Kooten, G.C. (2009). Biological carbon sinks: transaction costs and governance. *The Forestry Chronicle*, 85(3), 372-376. <https://doi.org/10.5558/tfc85372-3>
- VISS. (2019). *Vallodling i Slättlandskapet (Enligt miljöstödet)*. Vatteninformationsystem Sverige. <https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000900>
- Wang, J.-J., Bowden, R. D., Lajtha, K., Washko, S. E., Wurzbacher, S. J., & Simpson, M. J. (2019). Long-term nitrogen addition suppresses microbial degradation, enhances soil carbon storage, and alters the molecular composition of soil organic matter. *Biogeochemistry*, 142(2), 299-313. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s10533-018-00535-4>
- Weidow, B. (2004). *Växtodlingens grunder*. (Upplaga 2:2). AB Boktryck, Helsingborg. DOI: 91-27-34925-x
- Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2016). Variability of soil organic carbon stocks and soil CO<sub>2</sub> (sub 2) efflux across urban land use and soil cover types. *Geoderma*, 271, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.014>
- Wennman, P. (2009). *Kolförråd och inlagring av kol i skogar och på andra vegetationsytor i Sollentuna kommun: Nuläge och potential för inlagring i vegetation och mark*. Vascaia AB. [https://carbonn.org/uploads/tx\\_carbonndata/Kolinlagring%20i%20det%20gr%C3%B6na%20Sollentuna%20%C3%B6studie%2009.10.01.pdf](https://carbonn.org/uploads/tx_carbonndata/Kolinlagring%20i%20det%20gr%C3%B6na%20Sollentuna%20%C3%B6studie%2009.10.01.pdf)
- West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1930. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.2136/sssaj2002.1930>
- Yang, X., & Kay, B. (2001). Rotation and tillage effects on soil organic carbon sequestration in a typical Hapludalf in Southern Ontario. *Soil & Tillage Research*, 59(3), 107-114. [https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/S0167-1987\(01\)00162-3](https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/S0167-1987(01)00162-3)
- Yao, H., Bowman, D., Ruffy, T., & Shi, W. (2009). Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: Implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(7), 1425-1432. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.soilbio.2009.03.020>
- Yoon, T. K., Seo, K. W., Park, G. S., Son, Y. M., & Son, Y. (2016). Surface Soil Carbon Storage in Urban Green Spaces in Three Major South Korean Cities. *FORESTS*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/f7060115>
- Zabowski, D., Chambreau, D., Rotramel, N., & Thies, W. G. (2008). Long-term effects of stump removal to control root rot on forest soil bulk density, soil carbon and nitrogen content. *Forest Ecology and Management*, 255, 720-72. [https://www.researchgate.net/publication/248428315\\_Zabowski\\_D\\_Chambreau\\_D\\_Rotramel\\_N\\_Thies\\_WG\\_Long-](https://www.researchgate.net/publication/248428315_Zabowski_D_Chambreau_D_Rotramel_N_Thies_WG_Long-)

term effects of stump removal to control root rot on forest soil bulk density soil carbon and nitrogen content Forest Ecol Manag 55 720-727

Zirkle, G., Lal, R., & Augustin, B. (2011). Modeling carbon sequestration in home lawns. *HortScience*, 46(5), 808–814.

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.2-52.0-79957803141&site=eds-live&scope=site>.

# Bilagor

## Bilaga 1: Litteratursammanställning av kolförråd per markanvändningsområde

**Tabell 2. Sammanställning av den insamlade litteratur vilken använts för att beräkna kolförråd i betesmark.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolförråd ton C/ha
Karlton et al.	2010	Litteratur och provtagning	Södra Sverige	Nej	87
Sousanna et al.	2004	Litteratur	Norra Europa	Ja	64
Sindhøj et al.	2006	Provtagning	Uppsala, Sverige	Ja	35
Conant et al.	2005	Litteratur	Tempererat klimat	Ja	48
Poeplau et al.	2015	Provtagning	Sverige	Ja	66
Kätterer et al.	2012	Litteratur	Sverige, Uppsala	Ja	80
Nordborg, M.	2016	Litteratur	Globalt	Nej	80

**Tabell 3. Sammanställning av den insamlade litteratur vilken använts för att beräkna kolförråd i åkermark.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolförråd t C/ha
Eriksson et al.	2010	Provtagning	Sverige	Nej	125
Berglund et al.	2009	Litteratur	Sverige	Nej	75
Chenu et al.	2019	Litteratur	Tempererat klimat	Ja	50
Cederberg et al.	2012	Litteratur	Sverige	Nej	75
Smith et al.	2000	Litteratur	Europa	Ja	53

Poeplau et al.	2015	Provtagning	Södra Sverige	Ja	89
Bolinder et al.	2012	Provtagning	Sverige	Ja	88
SLU	2002	Litteratur	Sverige	Nej	75

**Tabell 4. Sammanställning av den insamlade litteratur vilken använts för att beräkna kolförråd i skogsmark.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolförråd ton C/ha
Andersson och Palme	2012	Litteratur	Sverige	Nej	85
Clemmensen et al.	2013	Provtagning	Tempererat klimat	Ja	62
Ortiz et al.	2013	Provtagning och simulering	Sverige	Ja	73
Ortiz et al.	2011	Provtagning och simulering	Södra Sverige	Ja	140
Olsson et al.	2009	Provtagning	Sverige	Ja	97
Oostra et al.	2006	Provtagning	Helsingborg, Sverige	Ja	93
Garzia-Gonzalo et al.	2007	Provtagning	Finland	Ja	81
Hultgren, G.	2019	Litteratur	Skåne	Nej	65
Eriksson, E.	2006	Litteratur	Sverige	Ja	80
Gustafsson, G.	2006	Litteratur	Sverige	Nej	85
SLU	2017	Litteratur	Sverige	Nej	82
Lal, R.	2005	Litteratur	Tempererat klimat	Ja	96

**Tabell 5. Sammanställning av den insamlade litteratur vilken använts för att beräkna kolförråd i urbana grönytor. Samtliga artiklar definierar urbana grönytor som parker i staden.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolförråd ton C/ha
Weissert et al.	2016	Provtagning	Nya Zeeland	Ja	48
Cambou et al.	2018	Provtagning	Paris, Frankrike	Ja	44
Canedoli et al.	2019	Provtagning	Milano, Italien	Ja	69
Edmondson et al.	2013	Provtagning	Leicester, UK	Ja	99
Yoon et al.	2016	Provtagning	Syd Korea	Ja	22

Pouyat et al.	2012	Provtagning	New York, USA	Ja	50
Lindén et al.	2020	Provtagning	Helsingfors, Finland	Ja	104
Takahashi et al.	2008	Provtagning	Tokyo, Japan	Ja	82

## Bilaga 2: Litteratursammanställning av kolinlagringspotential per markanvändningsområde

**Tabell 6. Sammanställning av den insamlade litteratur som använts för att beräkna kolinlagringspotential i åkermark.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolinlagringspotential t C/ha/år
Schulp et al.	2008	Litteratur	Sverige	Ja	-0,065
Janssen et al.	2005	Litteratur	Sverige	Ja	-0,065
Freibauer et al.	2004	Litteratur	Norra Europa	Ja	-0,5
Smith et al.	2005	Litteratur	Norra Europa	Ja	-0,8
Poeplau et al.	2015	Provtagning	Sverige	Ja	0,31

**Tabell 7. Sammanställning av den insamlade litteratur som använts för att beräkna kolinlagringspotential i betesmark.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolinlagringspotential t C/ha/år
Jones och Donnelly	2004	Litteratur	Europa	Ja	0,54
Soussana et al.	2007	Provtagning och litteratur	Europa	Ja	0,04
Schulp et al.	2008	Litteratur och simulering	Sverige	Ja	0,012
Soussana et al.	2010	Litteratur	Globalt	Ja	0,25
Janssens et al.	2005	Simulering	Sverige	Ja	0,6
Ammann et al.	2007	Provtagning	Schweiz	Ja	0,2

**Tabell 8. Sammanställning av den insamlade litteratur som använts för att beräkna koninlagringspotential i skogsmark.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolinlagringspotential ton C/ha/år
Akselsson et al.	2005	Provtagning	Södra Sverige	Ja	0,3
Schulp et al.	2008	Provtagning	Sverige	Ja	0,68
Berg et al.	2007	Provtagning	Södra Sverige	Ja	0,3
Janssens et al.	2005	Litteratur	Globalt	Ja	0,3
Berg et al.	2005	Litteratur	Sverige	Nej	0,18
Schrumpf et al.	2014	Litteratur	Tempererat klimat	Ja	0,25

**Tabell 9. Sammanställning av den insamlade litteratur som använts för att beräkna koninlagringspotential i urbana parker.**

Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolinlagringspotential ton C/ha/år
Poeplau et al.	2016	Provtagning	Sverige	Ja	0,12
Tidåker et al.	2017	Provtagning	Sverige	Ja	0,3
Qian et al.	2002	Provtagning	USA	Ja	0,9
Pouyat et al.	2009	Provtagning	USA	Ja	0,18
Huh et al.	2008	Provtagning	Nya Zeeland	Ja	0,7
Zirkle et al.	2011	Provtagning	USA	Ja	0,51

## Bilaga 3: Litteratursammanställning av åtgärder för ökad kolinlagring

### Åtgärder i åkermark

**Tabell 10. Sammanställning av den litteratur som använts för att beräkna åtgärders kolinlagring i åkermark.**

<b>Gödsel</b>					
<b>Författare</b>	<b>Årtal</b>	<b>Metod</b>	<b>Geografisk position</b>	<b>Vetenskapligt granskad</b>	<b>Kolinlagring ton C/ha/år</b>
Kätterer et al.	2012a	Litteratur och provtagning	Sverige	Ja	0,25
Skiba et al.	1992	Litteratur och provtagning	Europa	Ja	0,85
Lal & Stewart	2018	Litteratur	Globalt	Ja	0,16
Jordbruksverket	2012	Litteratur	Sverige	Nej	0,54
Bolinder et al.	2017	Litteratur	Sverige	Nej	0,08
<b>Perenna växter</b>					
Freibauer et al.	2004	Europa	Litteratur	Ja	0,6
Poeplau et al.	2015	Sverige	Provtagning	Ja	0,52
Kätterer et al.	2012b	Boreo-tempererade klimat	Litteratur	Ja	0,33
VandenBygaart et al.	2003	Boreo-tempererade klimat	Litteratur och provtagning	Ja	0,4
Yang & Kay	2001	Boreo-tempererade klimat	Litteratur	Ja	0,33
<b>Fånggröda</b>					
Kätterer	2019	Sverige	Provtagning	Ja	0,3
IVA	2019	Sverige	Litteratur	Nej	0,33
Bolinder	2017	Världen	Litteratur	Nej	0,333
Poeplau et al.	2015	Södra Sverige	Provtagning	Ja	0,32
Larsson et al.	2008	Sverige	Litteratur	Ja	0,45
Rytter	2011	Sverige	Litteratur	Ja	0,41



<b>Kvarlämnande av skörderester</b>					
Kätterer et al.	2012	Litteratur och provtagning	Sverige	Ja	0,1
Bolinder et al.	2017	Litteratur	Sverige	Nej	0,05
Lu	2015	Litteratur	Globalt	Ja	0,053
Nair et al.	2014	Litteratur	Globalt	Ja	0,21
Meurer et al.	2018	Litteratur och provtagning	Sverige	Ja	0,1
Kätterer et al.	2014	Provtagning	Sverige	Ja	0,09
<b>Minskad markberedning</b>					
Freibauer et al.	2004	Litteratur	Europa	Ja	1,4
Kätterer	2020	Litteratur och provtagning	Sverige	Nej	0
Nair et al.	2014	Litteratur	Globalt	Ja	0,34
Kätterer et al.	2012	Litteratur	Europa	Ja	0,8
West et al.	2002	Litteratur och provtagning	Globalt	Ja	0,54
<b>Vallodling</b>					
IVA	2019	Litteratur	Sverige	Nej	0,645
Bolinder	2017	Litteratur	Världen	Nej	0,56
Kätterer	2020	Litteratur	Sverige	Nej	0,6
Poeplau et al.	2012	Litteratur	Sverige	Ja	0,52
Kätterer et al.	2013	Litteratur	Sverige	Ja	0,52
<b>Markomställning</b>					
Kätterer et al.	2008	Litteratur och provtagning	Sverige	Ja	0,4
Post och Kwon	2000	Litteratur	Globalt	Ja	0,35
McLauchlan et al.	2006	Provtagning	USA	Ja	0,62
Poeplau et al.	2011	Litteratur	Globalt	Ja	0,46
Guo och Gifford	2002	Litteratur	Globalt	Ja	0,32
West et al.	2002	Provtagning	Globalt	Ja	0,38
<b>Växtrotation</b>					
Quenum et al.	2004	Litteratur och provtagning	Norra Sverige	Ja	0,5

West et al.	2002	Litteratur	Globalt	Ja	0,2
Bolinder et al.	2012	Provtagning	Norra Sverige	Ja	0,12
Börjesson et al.	2018	Provtagning	Södra Sverige	Ja	0,52
Holeplass	2004	Provtagning	Södra Sverige	Ja	0,12

## Åtgärder i betesmark

**Tabell 11. Sammanställning av den litteratur som använts för att beräkna åtgärders kolinlagring i betesmark.**

<b>Optimerad betesskötsel</b>					
Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolinlagring ton C/ha/år
Freibauer et al.	2004	Litteratur	Globalt	Ja	0,46
Jordbruksverket	2010	Litteratur	Sverige	Nej	0,35
Conant et al.	2001	Litteratur	Globalt	Ja	0,35
Jones et al.	2004	Litteratur	Europa	Ja	0,2
Sousanna et al.	2010	Litteratur	England	Ja	0,1
Nordborg	2016	Litteratur	Globalt	Nej	0,35
Conant et al.	2017	Litteratur	Globalt	Ja	0,47
<b>Insådd av baljväxter</b>					
Karlton et al.	2010	Litteratur	Sverige	Nej	0,75
Jones et al.	2004	Litteratur	Tempererat klimat	Ja	0,75
Conant et al.	2001	Litteratur	Globalt	Ja	0,75
Nordborg	2016	Litteratur	Globalt	Nej	0,75
Ogle et al.	2004	Litteratur och provtagning	Globalt	Ja	0,5
Conant et al.	2017	Litteratur	Globalt	Ja	0,66
<b>Gödsel</b>					
Cederberg et al.	2012	Sverige	Litteratur	Nej	0,05
Karlton et al.	2010	Sverige	Litteratur	Nej	0,3
Kätterer et al.	2012	Sverige	Litteratur	Ja	0,18

Conant et al.	2001	Globalt	Litteratur	Ja	0,3
VandenBygaart et al.	2003	Globalt	Litteratur o	Ja	0,29
Nordborg	2016	Globalt	Litteratur	Nej	0,3
Conant et al.	2017	Globalt	Litteratur	Ja	0,54

## Åtgärder i skogsmark

**Tabell 11. Sammanställning av den litteratur som använts för att beräkna åtgärders kolinlagring i betesmark.**

<b>Konventionell avverkning</b>					
Författare	Årtal	Metod	Geografisk position	Vetenskapligt granskad	Kolinlagring ton C/ha/år
Georgiadis	2011	Litteratur	Sverige	Nej	-0,26
Olson et al.	1996	Provtagning	Sverige	Ja	-0,86
Achat et al.	2015	Litteratur	Globalt	Ja	-0,89
Johnson et al.	2010	Simuleringar	USA, tempererat klimat	Ja	-0,32
Diochon et al.	2009	Provtagning	USA, tempererat klimat	Ja	-1,22
James & Harrison	2016	Litteratur	Globalt	Ja	-0,36
Clarke et al.	2015	Litteratur	Globalt, tempererad skog	Ja	-0,67
<b>Gallring</b>					
Achat et al.	2015	Litteratur	Globalt	Ja	-0,61
Tian et al.	2010	Provtagning	Kina, tempererad	Ja	0,65
Chen et al.	2016	Provtagning	Kina, tempererad	Ja	-0,70
Ma et al.	2018	Provtagning	Kina, tempererad	Ja	0,65
Boerner et al.	2008	Provtagning	USA	Ja	0,49
He et al.	2018	Provtagning	Kina, tempererad	Ja	-0,49
Gross et al.	2018	Provtagning	USA, tempererad tallskog	Ja	-1,26
Hoover	2011	Provtagning	USA, tempererad tallskog	Ja	-0,38
<b>Fullständig avverkning</b>					
Johnson & Curtis	2001	Litteratur	Globalt	Ja	-0,53

Peltoniemi	2004	Simulering och provtagning	Finland	Ja	-0,45
Olsson et al.	1996	Provtagning	Sverige	Ja	-0,98
Taylor et al.	2008	Provtagning	Kanada, tempererad zon	Ja	-0,24
Achat et al.	2015	Litteratur	Globalt	Ja	-0,19
Clarke et al.	2015	Litteratur	Globalt, tempererad skog	Ja	-0,24
Thiffault et al.	2011	Litteratur	Kanada, tempererad zon	Ja	-0,61
<b>Gödsel</b>					
Wennman	2009	Litteratur och provtagning	Sverige	Nej	0,02
Hyvönen et al.	2008	Provtagning	Södra Sverige	Ja	0,06
Wang et al.	2018	Provtagning	Kina	Ja	0,03
De Vries et al.	2009	Simuleringar	Globalt	Ja	0,08
Frey et al.	2014	Litteratur	Sverige	Ja	0,20
<b>Avlägsnande av stubbar</b>					
Zabowski et al.	2008	Provtagning	Tempererad zon, USA	Ja	-0,15
Persson & Egnell.	2018	Litteratur	Globalt	Ja	-0,81
Lindholm et al.	2011	Litteratur	Sverige, Uppsala	Ja	-0,65
Ortiz et al.	2014	Simuleringar	Sverige, Uppsala	Ja	-0,14
Clarke et al.	2015	Litteratur	Globalt, tempererad skog	Ja	-1,01

## Åtgärder i urbana parker

**Tabell 12. Sammanställning av den litteratur som använts för att beräkna åtgärders kolinlagring i urbana parker.**

<b>Gödsel</b>					
<b>Författare</b>	<b>Årtal</b>	<b>Metod</b>	<b>Geografisk position</b>	<b>Vetenskapligt granskad</b>	<b>Kolinlagring t C/ha/år</b>
Thompson & Kao-kniffin	2019	Litteratur	USA	Ja	0,29
Qian et al.	2003	Simulering	USA	Ja	0,62
Lal & Augustin	2012	Litteratur	Globalt	Ja	0,23
Kong et al.	2014	Provtagning	Kina	Ja	0,25
Selhorts och Lal	2013	Provtagning	USA	Ja	0,7
<b>Kvarlämnande av gräsklipp</b>					
Gu et al.	2015	Provtagning	USA	Ja	0,06
Law och Patton	2017	Provtagning	USA	Ja	0,27
Brown	2012	Litteratur	USA	Nej	0,22
Qian et al.	2003	Simulering	USA	Ja	0,35
Yao et al.	2009	Litteratur	USA	Ja	0,35
Lal och Augustin	2012	Litteratur	Globalt	Nej	0,38
Poeplau et al.	2016	Provtagning	Sverige	Ja	0,06
<b>Optimerad bevattning</b>					
Qian et al.	2010	Provtagning	USA	Ja	0,74
Zirkle et al.	2011	Provtagning	USA	Ja	0,08
Blanco-Canqui et al.	2010	Provtagning	USA	Ja	0,208
Townsend-Small & Czimczik	2010	Provtagning	USA	Ja	0,53
Qian et al.	2002	Provtagning	USA	Ja	0,84
Robinson et al.	2013	Provtagning	USA	Ja	0,34

Milesi et al.	2012	Provtagning	USA	Ja	0,43
---------------	------	-------------	-----	----	------