

## Kulstoflagringspotentiale i alternative dyrkningssystemer

Af Tove Mariegaard Pedersen, Majken Husted, Julie Rohde Birk, og Arne Grønkjær Hansen

I denne oversigtsartikel gives et overblik over forskellige alternative dyrkningssystemer.

Der er mange tiltag i planteavl, du kan anvende til at forbedre CO<sub>2</sub> regnskabet og øge kulstoflagringen i jorden, og der forskes i disse år intenst på at finde og dokumentere effekterne af forskellige klimavirkemidler – det gælder både metoder fremme af kulstoflagring og metoder til begrænsning af dannelse og tab drivhusgasser. Denne artikel giver ikke et fuldstændigt billede af alle metoder, der fremmer kulstoflagring, men beskriver kort nogle udvalgte metoder samt baggrunden og nogle begreber, der anvendes i arbejdet med disse. Det er således ikke et forsøg på at rangliste metoder efter effekter, da dette (endnu) er umuligt på grund af de mange faktorer, der har betydning for hvor meget kulstof der lagres, og hvor hurtigt organisk materiale bliver nedbrudt og frigivet til atmosfæren.

### Kulstoffets vigtige funktioner i jorden

Kulstoffet i jorden kan have form af både let og svært tilgængeligt kulstof. Noget af det kulstof, som er i det organiske materiale, vil blive frigivet til atmosfæren som kuldioxid ved omsætningen, en del vil findes i jorden som små partikler af planterester, og endelig er en af de nyere teorier, at en del vil blive mikrobielt stabiliseret, og denne del vil kunne lagres i jorden i mange år.

Både det let- og det svært tilgængelige kulstof har vigtige funktioner i jorden. Kulstofindholdet i jorden er helt afgørende for, at vi har en velfungerende dyrkningsjord, idet kulstofindholdet har betydning for både jordbiologi, jordfysik og jordkemi.

Livet i jorden er afhængigt af tilførsel af organisk materiale for at opretholde en række vigtige funktioner i jorden. Det organiske materiale er samtidig kilde til plantenæringsstoffer. Når kulstof lagres i jorden, er det med til at opbygge jordstrukturen i stabile aggregater, som sikrer en god bæreevne, beluftning og vandholdende evne og modvirker erosion. Samtidig bindes næringsstoffer til overfladen af jordpartikler og modvirker udvaskning til vandmiljøet.

Indlejringen af kulstof i jorden er desuden medvirkende til at modvirke klimaforandringer, når kuldioxid fra atmosfæren bindes i kulstofforbindelser med lang nedbrydningshastighed.

### Kulstoflagring i konventionelle dyrkningssystemer.

Selv inden for det konventionelle markbrug er der meget stor forskel på praksis omkring fjernelse af kulstof fra marken, og dermed på hvilket niveau af C-lagring, der kan opnås. Resultater fra flere års forsøg siden 1981 ved Askov forsøgsstation med sammenligning af forskellige mængder af nedmuldet halm kontra fjernelse af halmen viser, at det er muligt at opnå betydelige forøgelser af kulstofindhold i jorden, blot ved at nedmulde halmen. Forsøgene viste forøgelser af C-indhold i jorden på hhv. 3.9 6.7 og 9.3 Mg C pr ha., når der blev efterladt halm i mængder på hhv. 4, 8 og 12 Mg halm pr. ha. Desuden var behandlinger hhv. i form af gylletilførsel eller rajgræs som efterafgrøde medtaget i sammenligningen. Cirka 11 % af det tilførte kulstof via gyllen gennem de 13 år blev tilbageholdt i jorden. Når græs indgik i sædskiftet med ca 25 % var det muligt at øge C indhold i jorden med 3,2 Mg/ha i løbet samme periode. Rajgræs i sædskiftet som efterafgrøde kunne øge kulstof til 3.3. Mg C pr. ha og derved kunne man altså næsten kompensere for fjernelse af 4 Mg halm pr ha alene med den metode (Jensen et al. 2022).

### Kulstoflagringspotentiale i alternative dyrkningssystemer

Med alternative dyrkningssystemer menes systemer, som er alternativer til det traditionelle konventionelle dyrkningssystem. Grundelementerne eller principperne i de alternative dyrkningssystemer beskrives, med vægt på det, der adskiller sig fra de traditionelle konventionelle dyrkningssystemer, sammen med en forventet effekt på kulstoflagring. Kulstoflagringspotentialet afhænger dog af en række uafhængige forhold, som udgangspunktet for kulstofindhold i jorden – altså om der er et højt eller lavt indhold i jorden, jordtype, klimatiske forhold, management/udbytter, forholdet mellem næringsstofferne i jorden mv.

Der kan være sammenfald mellem dyrkningssystemerne, fx er der sammenfald mellem skovlandbrug og regenerativt landbrug, og mellem pløjefri dyrkning og Conservation Agriculture, men der er også forhold, som adskiller systemerne – også i forhold til kulstoflagringspotentiale.

### Hvilke dyrkningsparametre påvirker kulstofindholdet i jorden

Der er en række forhold, der kan bidrage til kulstoflagring i jorden, på tværs af dyrkningssystemer. En øget afgrødediversitet med fokus på sorts-/artsblandinger, efterafgrøder og sædskifter med grønt plantedække kan bidrage med tilførsel af organisk materiale til jorden via planterødderne og planterester. Der pågår flere undersøgelser, som skal afdække, hvordan man undgår lattergasudledning, når planterester efterlades i marken. Jordbearbejdningen og forstyrrelser af jorden har også betydning for kulstoflagringspotentialet, idet jordbearbejdning øger mineralisering. Der er i flere studier fundet, at ved reduceret jordbearbejdning øges kulstofindholdet i de øverste jordlag, men samtidig kan der være et reduceret indhold i dybere lag, dog i nogle tilfælde en lille positiv effekt af reduceret jordbearbejdning. Nedmuldning af halm, tilførsel af husdyrgødning, have/parkaffald, kompost og andre restprodukter kan også tilføre kulstof til jorden.

**Tabel 1. Dyrkningsparametres påvirkning af kulstofindholdet i jorden.**

Tærer på jordens C-indhold:	Opbygger jordens C-indhold:
Majs, roer og kartofler	Kløvergræs
Kornsædskifte, lavt udbyttensniveau	Frøgræs
Grønsagsdyrkning	Flerårige afgrøder
Jordbearbejdning	Efterafgrøder
Bortførsel af halm	Halmnedmuldning
Omlægning af vedvarende græs	Husdyrgødning, andre organiske gødninger
Dyrkning af organiske jorder	Alsidigt sædskifte, høje udbytter, tidlig såning

Kilde: Vejledning til forbedring af jordens frugtbarhed, LandbrugsInfo

### Pløjefri dyrkning og minimal jordbearbejdning (min-till)

Pløjefri dyrkning er en af de mest udbredte alternative metoder som især anvendes i det konventionelle landbrug til at øge kulstoflagring, nyttedyr som regnorme og det mikrobielle liv i jorden,. Metoden går ud på at der kun foretages overfladisk jordbearbejdning efter høstmed det formål at få spildkorn og ukrudt til at spirre og så harves der i 5-15 cm dybde inden såning Ved min-till harves der kun overfladisk før såning. I marker hvor der efterlades afgrøderester som sammen med afgrøden sikrer minimum 30 % afgrødedække betegner man metoden som Conservation Tillage.

I **No-till** system går man endnu længere bearbejder kun jorden med skiveskær i forbindelse med såning. Det er en overfladisk jordbearbejdning med mindre der samtidig placeres gødning. Danske undersøgelser af pløjefri dyrkning viser at det kun er muligt at reducere kulstoffabet med ca. 100 kg kulstof/ha. Alle metoder til reduceret jordbearbejdning har den sidegevinst at der anvendes mindre fossil energi men i mange tilfælde desværre mere kemi til bekæmpelse af ukrudt.

### **Økologisk og biodynamisk landbrug**

I økologisk landbrug er der en målsætning om helhedsorienteret og bæredygtig fødevarerproduktion under hensyntagen til miljø, natur og dyrevelfærd, og hvor man holder hus med og recirkulerer næringsstoffer. Økologisk produktion er bl.a. kendetegnet ved at der arbejdes med bevarelse og forbedring af jordens frugtbarhed, ingen anvendelse af kunstgødning og kunstige pesticider, og husdyrene har mulighed for at komme ud i det fri og udøve deres naturlige adfærd. Anvendelsen af sædskifter med flerårigt kløvergræs, efterafgrøder og husdyrgødning og organiske restprodukter tæller positivt på kulstofkontoen. Men samtidig er udbytterne typisk lavere i økologisk produktion end i konventionel produktion, og der laves en del jordbearbejdning for at komme ukrudtet til livs, hvilket tæller i en negativ retning.

Det biodynamiske landbrug adskiller sig bl.a. fra det økologiske ved at der anvendes biodynamiske præparater for at øge sundhed, og det man i det biodynamiske landbrug kalder livskræfter, i kompost, gødning, jord og planter. Husdyr skal indgå som en del af bedriften, idet gødningen anses som væsentlig for jordens frugtbarhed. Kompost med biodynamiske præparater styrker jordens kvalitet og planternes sundhed. 10 % af gårdens areal skal være med stor biodiversitet som skov, hegn, eng e.l.

Langtidsforsøg (DOKK-forsøgene) med økologisk, biodynamisk og konventionel dyrkning har vist at parceller med den biodynamiske dyrkningsmetode binder mere kulstof, og at der er en større mangfoldighed af liv end ved den økologiske og konventionelle metode.

### **Regenerativt landbrug**

Regenerativt er et begreb, som betyder genopbygning eller genskabelse, og i landbrugsmæssig sammenhæng er der tale om en genopbygning af den frugtbare jord. Tanken er, at man ved regenerative dyrkningspraksis binder mere kulstof i jorden og dermed modvirker klimaforandringer.

Regenerativt jordbrug er et relativt nyt begreb, og der findes ikke en stram definition, det er derimod snarere et koncept, der bygger på en idé om, at der ikke findes et "one-size-fits-all", og man arbejder i stedet med udviklingsmål ud fra en helhedsorienteret tilgang, der er specifikke for det pågældende system. Selve principperne er dog ikke nye, da de går langt tilbage i landbrugets historie.

Der eksisterer flere definitioner og opstillinger af principper for regenerativt landbrug. Der henvises dog ofte til følgende fem principper for regenerativt landbrug:

- Minimal forstyrrelse af jorden
- Jorddække året rundt
- Levende rødder året rundt
- Maksimal diversitet
- Integration af planteavl og husdyrhold

De regenerative dyrkningspraksis inkluderer pløjefri dyrkning, reduceret eller intet input af handelsgødning og pesticider, skovlandbrug, holistisk afgræsning, flerårige afgrøder, efterafgrøder, anvendelse af kompost m.m. Flere af de angivne dyrkningspraksis ved vi har en positiv effekt på jordens indhold af kulstof. Men det kan være svært at kvantificere den kulstoflagrende effekt af systemet som helhed. Vi ved at efterafgrøder, kløvergræs i sædskiftet og anvendelse af kompost opbygger kulstofindholdet i jorden, men i hvor høj grad man kan forvente en systemisk effekt, og hvor stor effekten i så fald vil være, ved at implementere flere af

tiltag i sammenhæng, er svært at kvantificere. Ydermere, så kan der være meget stor forskel på, hvilke regenerativt dyrkningspraksis der er implementeret på de enkelte landbrug og effekten på kulstoflagring og på klimaet kan derfor variere meget.

### FAOs definition på Conservation Agriculture (CA)

Kilde: [Conservation Agriculture | Food and Agriculture Organization of the United Nations \(fao.org\)](https://www.fao.org/convention-agriculture/)

FAO, der er FN's fødevare og landbrugsorganisation, promoverer Conservation Agriculture og har følgende definition af CA:

1. Minimal fysisk forstyrrelse af jorden - år efter år  
pløjefri dyrkning, direkte såning og/eller placering af gødning
2. Permanent dække af jorden med organisk stof  
(Mindst 30 % af jorden dækket af afgrøde rester og/eller dækafgrøder)
3. Arts diversificering Dyrkning af mange (mindst 3) forskellige plantearter, gerne samtidigt ellers i sædskifte

Målet er at fremme biodiversitet og naturlige biologiske processer over og under jordoverfladen, hvilket bidrager til øget vand- og næringsstofudnyttelse og øget bæredygtig planteproduktion.

Tre principper i conservation agriculture:



Divers afgrødesammensætning



### Holistisk afgræsning

Græs i sædskiftet har som nævnt ovenfor en meget positiv effekt på C lagring, men med mere permanente græsmarker hvor man samtidig flytter dyrene oftere er det muligt at nå endnu længere.

Holistisk planlagt afgræsning er en forvaltningsmetode, hvor man arbejder langsigtet og med øje for dyretryk på arealet. Idéen baserer sig fra observationer af Allan Savory, hvor idéen er, at man efterligner den

naturlige afgræsning fra dengang hvor græssende dyr gik i store flokke og migrerede, uden hindring. Der var således en balance imellem hvor stor en andel af græsset der blev trådt ned, ædt eller efterladt på areaerne. I et holistisk planlagt afgræsningssystem følger man en forvaltningspraksis hvor man inddeler markerne i mindre parceller, øger dyretrykket ved at have flere dyr på et mindre areal ad gangen og flytter dyrene oftere. På denne måde giver man græsset længere restitutionsperioder og forlænger dermed perioden hvor græsset kan vokse uden forstyrrelse. Man får med denne forvaltningsmetode også græsningsarealer, hvor græsset er længere, når dyrene bliver lukket ud på arealet. Dette fremmer en afgræsning, hvor en del af græsset trædes ned, en del ædes og en del efterlades når dyrene rykkes til et nyt areal.

Holistisk planlagt afgræsning fremhæves som en metode der kan øge kulstoflagringen i græsarealer. Årsagen til at holistisk afgræsning menes at have en høj kulstoflagring er følgende;

- at et højt græsningstryk stimulerer planterne til at sætte dybe rødder, hvorved der sker en større afsætning af kulstof dybere i jorden når planterne dør, og at der dermed er en større sandsynlighed for at det afsatte kulstof omdannes til stabilt kulstof.
- at dyrenes nedtrampning af græsset understøtter "begravelse" af kulstof i jorden, hvorved kulstoffet gøres mindre udsat for at blive udledt igen.

Der er blandet evidens for at holistisk afgræsning øger kulstoflagringen og der er ikke fundet belæg for at konkludere at metoden binder mere kulstof i jorden end andre afgræsningsmetoder under danske forhold.

## Kulstoflagring i skovlandbrug

Kulstofopbygningen er højere i et skovlandbrug end i et landbrugssystem uden træer. Træerne omdanner via fotosyntese CO<sub>2</sub> fra atmosfæren til ilt, som frigives og til kulstof, som opbygges i træernes vedmasse. Herved fungerer træerne som kulstoflagre ('CO<sub>2</sub>-sinks'), og hjælper til at reducere indholdet af CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Hvor meget kulstof et træ opbygger over en årrække svinger meget og afhænger af flere forhold. Alt fra jordtyper, træart og antal til klima og nedbørsforhold har indflydelse på træernes vækst. Samtidig spiller det en rolle, hvilket produktionssystem træerne indgår i, at de kan være i konkurrence eller symbiose med naboafgrøder. Ud over opbygning af kulstof i træernes vedmasse, bindes der også en betydelig del kulstof i jorden omkring træet som følge af blandt andet nedfald.

Overordnet set er der meget begrænset viden og danske træ- og buskarters tilvækst. Dette gør sig især gældende for arter, som indgår i et skovlandbrug. Derfor arbejdes der stadig med grove estimater, som er baseret på en kombination af konservative skøn af specifikke arters tilvækst, normal for tilvækst for træer i skovbrug, allometriske modeller (mere eller mindre tilpasset en dansk kontekst) og stedsspecifikke vedmassemålinger. I tillæg er meget af det vedmassedata, der findes, kun udtryk for den del af planten, som er over jordens overflade. Træernes underjordiske vedmasse tages derved ikke med i de fleste regnestykker, hvilket kraftigt underestimerer træernes kulstofopbyggende potentiale. Gennemsnitligt udgør den underjordiske vedmasse typisk 20-40% af den overjordiske vedmasse.

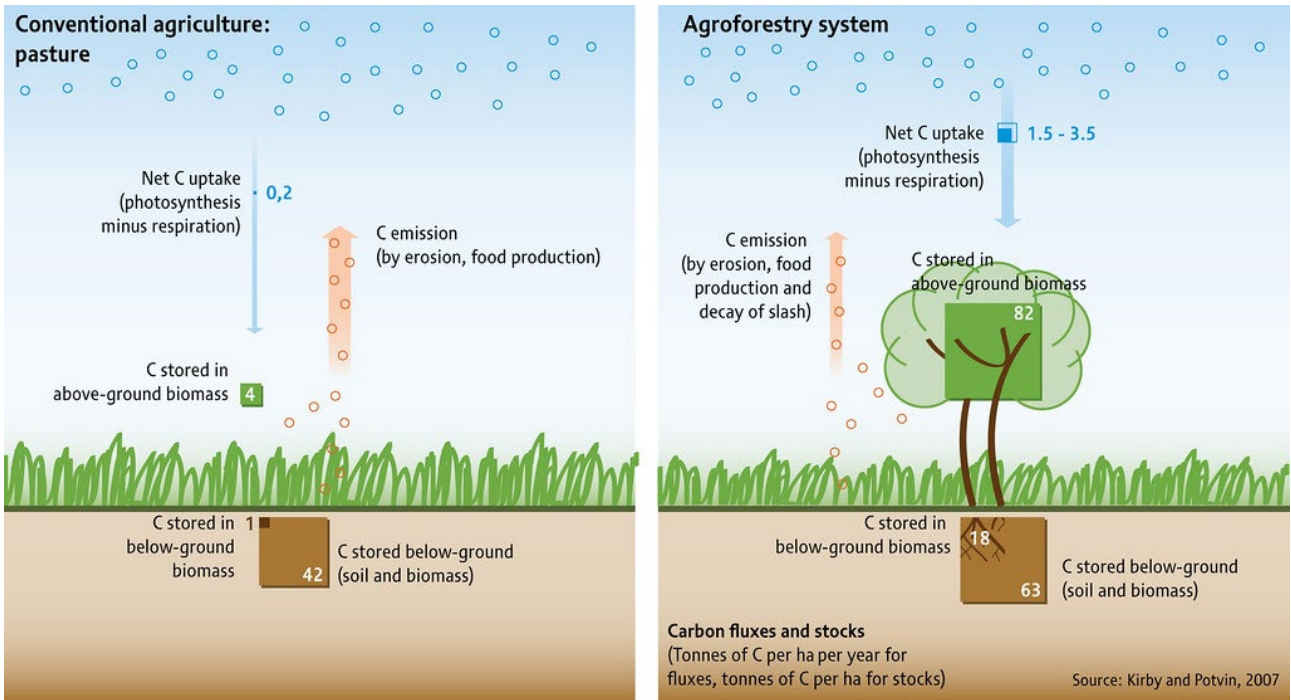


Fig. Estimeret lagring af kulstof C i hhv. græsmark og i skovlandbrug, ton/ha. Kilde: Kirby og Potvin, 2007.

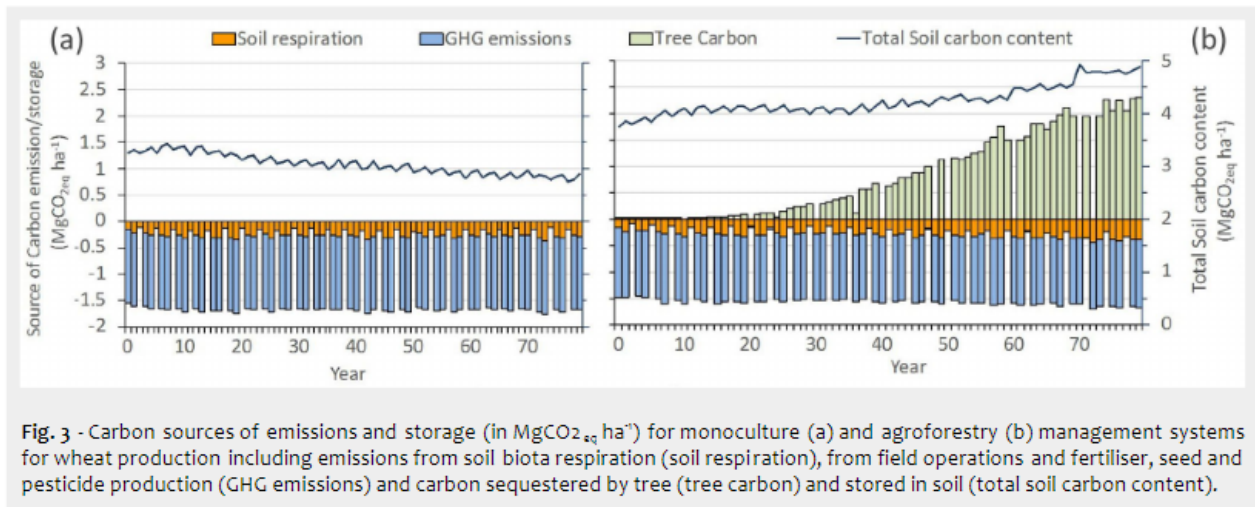


Fig. 3 - Carbon sources of emissions and storage (in  $\text{MgCO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ) for monoculture (a) and agroforestry (b) management systems for wheat production including emissions from soil biota respiration (soil respiration), from field operations and fertiliser, seed and pesticide production (GHG emissions) and carbon sequestered by tree (tree carbon) and stored in soil (total soil carbon content).

iForest 12: 85-91

Fig? Kulstofkilder, emissioner og lagring målt i  $\text{mg CO}_2\text{-eq pr. ha}$  for henholdvis monokultur (a) og skovlandbrug (b: "agroforestry") Kilde: Crous-Duran et al. 2017

## Det permakulturelle landbrug – en kort en introduktion

Permakultur er i Danmark stadig for mange et relativt ukendt planlægningssystem inden for jordbruget. Og for de der allerede har kendskab til begrebet så medfører de mange elementer som tilsammen udgør permakulturelt jordbrug ofte at jordbrugssystemet bliver for uoverskueligt at implementere i praksis på bedrifterne hvorfor det desværre ofte bliver forbigået og betragtet som noget der evt. kan anvendes i hobbylandbrug. Permakultur-begrebet, som blev udviklet i midt 1970'erne af de to australske økologer Bill Mollison (1928-2016) og David Holmgren (1955-) er egentlig en sammensætning af de to ord "permanent" og "agriculture," hvor udgangspunktet således er at skabe forudsætningerne for produktive og vedvarende dyrkningssystemer bestående af polykulturelle afgrøder, som tager udgangspunkt i naturens egne mønstre, og hvor bebyggelse og bymiljøer samtidig forsøges at blive indpasset heri. For indfri disse målsætninger baserede Mollison og Holmgren det permakulturelle landbrug på tre hovedtemaer: 1. de tre etikker: "earth care", "fair share" og "people care"<sup>1</sup>, som sidenhen også er afspejlet i de tre underliggende bundlinjer eller etikker i FN's verdensmål (prosperity, society og environment), 2. tolv økologiske principper for jordbrugsbearbejdning, som er funderet på en helhedsorienteret og en nøgtern iagttagelse af naturens egne mønstre<sup>2</sup> (også kendt som bionik eller biomimetik, eng. biomimicry) og 3. de designværktøjer og fremgangsmåder<sup>3</sup> som kan tages i brug for at realisere etableringen og vedligeholdelsen af det permakulturelle dyrkningssystem.

Med udgangspunkt i disse tre tematikker er sigtet i det permakulturelle jordbrug således at samarbejde med naturen frem for at bekæmpe den for derved at omlægge til landbrugsbaserede økosystemer, som både har et større udbytte af forskellige produkter samtidig med at det bidrager med den samme diversitet, stabilitet og modstandskraft som de naturlige økosystemer. Det permakulturelle landbrugssystem og dets relation til kulstoflagring er i den forbindelse meget godt beskrevet i følgende citat fra bogen "The Carbon Farming Solution" af Eric Toensmeier:

*Permaculture is based on a set of design principles, including two that are related to multifunctionality.*

*The first is that "each element performs many functions."*

*In the context of carbon farming, this means that the strategies we use to sequester carbon should also perform other functions, such as producing food and stabilizing slopes.*

*Indeed, as long as humanity is investing a titanic effort in mitigating climate change (which we are not doing yet, but must), we should derive as many benefits from it as possible.*

*The second principle is that "each important function is supported by many elements." This means the critical function of carbon sequestration should be supported by a diversity of tactics, including*

<sup>1</sup> Se mere her fx: [Permakulturens 3 etikker og 12 principper \(naturplanteskolen.dk\)](http://naturplanteskolen.dk)

<sup>2</sup> 1. Observer og interager, 2. Fang og opbevar energi, 3. Få et højt udbytte, 4. Anvend selvregulering og accepter feedback, 5. Brug og værdsæt vedvarende ressourcer og tjenester, 6. Fremstil ingen affald, 7. Design fra mønster til detalje, 8. Integrere i stedet for at adskille, 9. Brug små og langsomme løsninger, 10. Brug og værdsæt mangfoldighed, 11. Brug kanter og værdsæt margineffekter, 12. Brug kreativitet og reagere på forandringer

<sup>3</sup> Der er mange måder at anvende permakulturelle designs på sin matrikel eller jordarealer som fx input-output analyse, areal- og landskabsobservationer, flowdiagrammer mv. Se fx [Permaculture Methodologies v2 \(fsnnetwork.org\)](http://fsnnetwork.org)

*a diverse and productive mosaic of perennial farming systems and perennial crops. This principle builds resilience into a system with a network of interwoven relationships, rather than a putting-all-your-eggs-in-one-basket approach to complex problem solving.*  
(Toensmeier, Eric: 2016)

Eksempler på permakulturelle landbrug i Norden omfatter bl.a. Ridgedale farm i Sverige v. Richard Perkins (kommerciel skala) i Sverige, og Øm Klostergaard v. Anders Højlund Andersen samt Frilandshaven v. Tycho Holcomb og Karoline Nolsø Aaen (primært egen produktion) i Danmark.

## Referencer:

### Litteratur:

Crous-Duran, J. & Graves, A.R. & García de Jalón, Silvestre & Paulo, Joana & Tomé, Margarida & Palma, Joao. (2019). Assessing food sustainable intensification potential of agroforestry using a carbon balance method. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 12. 85-91. 10.3832/ifer2578-011. ([PDF](#)) [Assessing food sustainable intensification potential of agroforestry using a carbon balance method \(researchgate.net\)](#)

Fao. 2009. [Conservation Agriculture | Food and Agriculture Organization of the United Nations \(fao.org\)](#)

Galacho, Camilla Brodam, Århus Universitet, 2022 [Kan vi øge kulstofindholdet i landbrugsjorden? \(au.dk\)](#)

Jensen, J. L., Eriksen, J., Thomsen, I. K., Munkholm, L. J., & Christensen, B. T. (2022). Cereal straw incorporation and ryegrass cover crops: The path to equilibrium in soil carbon storage is short. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13173.

Jensen, Johannes L., Beucher A.M., Eriksen, J., 2022 *Geoderma*, volume 424. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706122003299?via%3Dihub>)

Mollison, B. (1988) *Permaculture: A Designers' Manual*, Tagari Publications, Sisters Creek, Tasmania 2<sup>nd</sup> ed. ISBN 0 908228 01 5

Toensmeier, E. (2016) *The Carbon Farming Solution – A Global Toolkit of Perennial Crops and Regenerative Agriculture Practices for Climate Change Mitigation and Food Security*. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing, 1<sup>st</sup> ed. ISBN 9781603585729