

# Miljøpositivliste for producentorganisationers driftsfonde til støtteberettigede teknologier til frugt- og grøntsagssektoren 2022

---

Rådgivningsrapport fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Dennis Konnerup<sup>1</sup>, Michael Nørremark<sup>2</sup>, Martin Jensen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut for Fødevarer, AU

<sup>2</sup>Institut for Elektro- og Computerteknologi, AU

# Datablad

---

Titel:	Miljøpositivliste for producentorganisationers driftsfonde til støtteberettigede teknologier til frugt- og grøntsagssektoren 2022
Forfatter(e):	Adjunkt Dennis Konnerup og seniorforsker Martin Jensen, Institut for Fødevarer, AU. Seniorrådgiver Michael Nørreemark, Institut for Elektro- og Computerteknologi, AU. Der er angivet forfatter ved de enkelte kapitler.
Fagfællebedømmelse:	Professor Claus Aage Grøn Sørensen, Institut for Elektro- og Computerteknologi, for teknologierne i kapitel 2. Professor Carl-Otto Ottosen, Institut for Fødevarer for teknologierne i kapitel 1 og 3. Adjunkt Dennis Konnerup, Institut for Fødevarer for teknologier Frugtbusk (3.7).
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Susanne Hansen, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)
Dato for bestilling / høring / levering:	01.07.2022 / 08.08.2022 / 11.10.2022
Journalnummer:	2022-0376615
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 6.29 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025".
Ekstern kommentering:	Ja. Rapporten har været i høring, kommentarerne kan findes via dette <a href="#">LINK</a> .
Eksterne bidrag:	Forud for denne bestilling har Landbrugsstyrelsen indhentet input til teknologilisten fra producentorganisationerne, dette materiale modtog AU med bestillingen. I forbindelse med opstart af opgaven deltog AU i et møde med LBST og repræsentanter fra GASA Nord Grønt, GASA Odense og Dansk Gartneri, og i forbindelse med beskrivelse af teknologierne 1.3 og 1.4 er Tvedemose besøgt for en gennemgang af produktionstrinene i svampedyrkning.
Kommentarer til bestilling:	Der er i 2018 publiceret en miljøpositivliste fra AU: <a href="https://pure.au.dk/portal/files/126098304/Milj_aktivitetsliste_2019_2023_130418.pdf">https://pure.au.dk/portal/files/126098304/Milj_aktivitetsliste_2019_2023_130418.pdf</a>
Kommentarer til besvarelse:	Rapporten præsenterer resultater, som ved rapportens udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Citeres som:	Konnerup D, Nørreemark M, Jensen M. 2022. Miljøpositivliste for producentorganisationers driftsfonde til støtteberettigede teknologier til frugt- og grøntsagssektoren 2022. 32 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 11.10.22.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>

## Forord

I forbindelse med Landbrugsstyrelsens arbejde med implementeringen af den nye ordning for Producentorganisationer inden for frugt - og grøntsektoren i CAP-planen, er der et øget fokus på investeringer med positive afledte klima- og miljøeffekter. Efter inddragelse af erhvervet er der fremkommet en liste over investeringer, som Landbrugsstyrelsen har bestilt AU til at vurdere. Landbrugsstyrelsen ønsker at AU tager stilling til de foreslåede investeringer, samt dokumenterer potentialerne for de opnåelige klima- og miljøeffekter.

- Køl/varme/fugt anlæg og opbyggede isolerede rum i eksisterende bygninger til lagring af frugt og grønt
- Udskiftning af delkomponenter (kompressor, fordampere, kondensator mm), i eksisterende køle/klima-anlæg for energioptimering
- Anlæg til teknologisk forbedring af champignondyrkning
- Komposteringsanlæg for champignondyrkning
- elektrificeret udstyr til produktion af frugt og grønt
- Metandrevne traktorer
- Elektriske lastbiler og varevogne til godstransport
- Elektriske terrængående læssemaskiner, traktorer, autonome køretøjer mm.
- Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP anlæg
- Plantning af konventionelle frugttræer (æble, pære, kirsebær, blommer)

Nærværende rapport er efter aftale med Landbrugsstyrelsen afgrænset til at omfatte en tilføjelse til den eksisterende miljøpositivliste med investeringsemner vurderet ift. deres klima- og/eller miljøeffekt. Den eksisterende Miljøpositivliste (Sørensen et al., 2018) videreføres uden opdatering.

# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Teknologier til energi-reduktion.....</b>	<b>5</b>
1.1	Køl/varme/fugt anlæg og opbyggede isolerede rum i eksisterende og nye bygninger til lagring af frugt og grønt samt anlæg til køling af produktionslokaler.....	5
1.2	Udskiftning af delkomponenter og indkøb af nye anlæg (kompressor, fordamper, kondensator mm), i eksisterende køle/klima-anlæg for energioptimering.....	6
1.3	Anlæg til teknologisk forbedring af champignondyrkning: Klimastyring, luft til luft energi ved varmepumpe med ventilatorer og LED lys.....	6
1.4	Komposteringsanlæg for champignondyrkning.....	7
	<b>Referencer.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>Teknologi til reduktion af energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning.....</b>	<b>9</b>
2.1	Metandrevne traktorer.....	9
2.2	Elektriske lastbiler og varevogne til godstransport.....	10
2.3	Elektriske terrængående læsemaskiner, traktorer, autonome køretøjer mm.....	11
2.4	Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP anlæg .....	12
	<b>Referencer.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Teknologier til CO<sub>2</sub>-reduktion.....</b>	<b>16</b>
3.2	Plantning af konventionelle frugttræer - beskrivelse af teknologi.....	16
3.2.1	CO <sub>2</sub> aftryk i æble-pære-kirsebær-blommer plantager, LCA og NECB.....	16
3.2.2	Etablering af plantager, plantedesign, plantetal.....	17
3.2.3	Alder af plantager .....	18
3.2.4	Afgrænsninger og input inddraget .....	18
3.3	Æbler .....	20
3.3.1	Opbygning af C i træbiomasse over og under jorden .....	23
3.3.2	Sammendrag for æbleproduktion .....	23
3.4	Pære.....	24
3.4.1	Sammendrag pære .....	24
3.5	Sødkirsebær .....	25
3.5.1	Sammendrag sødkirsebær .....	26
3.6	Blommer.....	27
3.6.1	Sammendrag blomme.....	27
3.7	Frugtbuske .....	28
3.7.1	CO <sub>2</sub> aftryk pr kg bær og pr ha.....	28
3.7.2	Opbygning af kulstof i bærplantagen.....	28
3.7.3	Konklusion .....	29
	<b>Referencer.....</b>	<b>30</b>

# 1 Teknologier til energi-reduktion

*Dennis Konnerup, Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet*

## 1.1 Køl/varme/fugt anlæg og opbyggede isolerede rum i eksisterende og nye bygninger til lagring af frugt og grønt samt anlæg til køling af produktionslokaler.

Korrekt opbevaringstemperatur er den mest effektive metode til at forlænge holdbarheden og kvaliteten af frisk frugt og grønt efter høst. Optimal køling giver mindre spild og svind, og virkningen af køl afhænger af produkt, modenhed, håndtering og behandling før køl. Den længste holdbarhed efter høst og under håndtering opnås generelt ved at opbevare frisk frugt og grønt ved en så lav temperatur som muligt, forudsat at produktet ikke er kuldefølsomt. (Edelenbos et al., 2010). Energiforbruget til køling af fødevarer er betydeligt og udgør 1 % af den samlede udledning af drivhusgasser på verdensplan (Amber et al., 2018). Ifølge en undersøgelse af kølerum ligger gennemsnitsenergiforbruget på 65,1 kWh pr m<sup>3</sup> pr år (Evans et al., 2014). Ved en højde på 5 m i et typisk kølerum til frugt og grønt giver det et energiforbrug på 325,5 kWh pr m<sup>2</sup> pr år. Energiforbruget varierer, og værdierne har derfor en vis usikkerhed og afhænger af flere faktorer og primært isolering, klima (ydre temperatur) og køleteknologi (kompressorer, ventilatorer, kølemiddel, ventiler og computerstyring), og der kan opnås betydelige reduktioner i energiforbrug ved at opgradere til de nyeste teknologier (Ambaw et al., 2021; Brito et al., 2014). Det vurderes, at energiforbruget vil kunne reduceres med 30 % ved anvendelse af et køleanlæg med de nyeste teknologier i forhold til et anlæg af ældre dato. Det reducerede energiforbrug ved kølingen kan således reduceres med 97,7 kWh pr m<sup>2</sup> årligt svarende til 977 MWh pr ha.

### Køl/varme/fugt anlæg og opbyggede isolerede rum i eksisterende og nye bygninger til lagring af frugt og grønt samt anlæg til køling af produktionslokaler.

Formål: Energoptimeret optimal lagring af frugt og grøn

Anvendelse: Frugt og grønt

Teknologi: Installation med køleteknologi inkluderende nyeste isolering, kompressorer, ventilatorer, kølemiddel, sensorer, befugtningsanlæg og computerstyring

Levetid: 10 år

Miljøeffekt: 977 MWh pr ha pr år ved en samlet energireduktion på 30 %

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 9770 MWh pr ha

## 1.2 Udskiftning af delkomponenter og indkøb af nye anlæg (kompressor, fordamper, kondensator mm), i eksisterende køle/klima-anlæg for energioptimering

Udskiftning af delkomponenter i køleanlæg er baseret på de samme principper som beskrevet under teknologi 1.1. I en større undersøgelse af muligheder for at forbedre energiforbruget i kølerum i seks europæiske lande (Belgien, Bulgarien, Danmark, Italien, Schweiz og Storbritannien) blev det fundet, at der gennemsnitligt kunne opnås reduktioner i energiforbrug på 21-28 % ved at forbedre og udskifte komponenter i eksisterende anlæg (Evans et al., 2014). Det vurderes, at energiforbruget vil kunne reduceres med 25 % ved at udskifte delkomponenter i eksisterende anlæg af ældre dato eller ved nyindkøb af anlæg. Det reducerede energiforbrug ved kølingen kan således reduceres med 81,4 kWh pr m<sup>2</sup> årligt svarende til 814 MWh pr ha.

### Køl/varme/fugt anlæg og opbyggede isolerede rum i eksisterende bygninger til lagring af frugt og grønt

Formål: Energoptimeret optimal lagring af frugt og grønt

Anvendelse: Frugt og grønt

Teknologi: Udskiftning af delkomponenter og indkøb af nye anlæg inkluderende isolering, kompressorer, ventilatorer, kølemiddel, sensorer, befugtningsanlæg og computerstyring

Levetid: 10 år

Miljøeffekt: 814 MWh pr ha pr år ved en samlet energireduktion på 25 %

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 8140 MWh pr ha

## 1.3 Anlæg til teknologisk forbedring af champignondyrkning: Klimastyring, luft til luft energi ved varmepumpe med ventilatorer og LED lys.

Champignon dyrkes primært på en kompostet blanding af hestegødning/kyllingegødning og halm. Dyrkningen foregår i flere faser, som hver kræver monitoring og styring for at få optimalt udbytte (Grimm & Wösten, 2018). Første fase er komposteringen, hvor blandingen af dyregødning og halm placeres i lange rækker for at kompostere, og temperaturen stiger til 70-80°C som følge af den høje mikrobielle aktivitet. Under processen er det vigtigt at have den optimale pH-værdi, kvælstofmængde og iltning. Komposten bliver luftet for at sikre ilt til mikroorganismene, og processen tager 3-10 dage, afhængig af hvor effektivt den styres. Anden fase foregår i tunneler, hvor komposten pasteuriseres ved at blæse luft igennem, temperaturen varieres mellem 45-60°C for at dræbe uønskede svampesporer og bakterier, og til sidst fjernes den fordampede ammoniak ved, at luften passerer en scrubber med svovlsyre. Denne fase tager typisk 5 dage. Dernæst nedkøles komposten, og de ønskede svampesporer tilsættes og blandes med komposten, som efterfølgende ligger i 20 dage ved 25°C for at blive til svampeneringssubstrat. I tredje

fase overføres næringssubstratet så til dyrkningskamre, hvor dyrkningen i moderne systemer optimeres ved at monitere og kontrollere temperatur, luftfugtighed og CO<sub>2</sub> koncentration med computerstyring. På toppen af substratet lægges et lag af dækjerd, som typisk er en blanding af spagnum, kalk og vand. Efter 14-21 dage er champignonerne klar til at blive høstet, og der kan høstes 2-3 hold svampe i et substrat. Efter dyrkning rengøres kamrene ved 70°C og det steriliserede substrat kan bruges som gødning eller til jordforbedring (Robinson et al., 2019). Selve champignondyrkningen i kamrene kan styres optimalt med et moderne anlæg, hvor energiforbruget samtidig reduceres ved brug af nye varmepumper, ventilatorer, vanding, LED lys og computerstyring (Zisopoulos et al., 2016). Derudover indgår den forudgående kompostering som en integreret del af processen, da en god kompostering giver mere ensartet svampevækst, bedre kvalitet af svampe og højere udbytte pr areal. Energiforbruget ved champignondyrkning afhænger af mange faktorer (Zisopoulos et al., 2016), men et tidligere studie er kommet frem til en værdi på 880 kWh per m<sup>2</sup> svampedyrkningsareal (Warwick & Park, 2007). Med de nyeste systemer i f.eks. Holland er flere teknologier blevet indført for at reducere energiforbruget. Det drejer sig bl.a. om computerstyring og mere energieffektive varmepumper og ventilatorer (Buth, 2017). Der indgår mange teknologier, og der er derfor usikkerhed om en præcis værdi af den samlede effekt, men det vurderes, at energiforbruget vil kunne reduceres med 25 % ved anvendelse af et anlæg med de nyeste teknologier i forhold til et system af ældre dato. Energiforbruget i champignondyrkning kan således reduceres med 220 kWh pr m<sup>2</sup> årligt svarende til 2200 MWh pr ha.

Anlæg til champignondyrkning: Klimastyring, luft til luft energi ved varmepumpe med ventilatorer og LED lys

Formål: Energoptimeret optimale dyrkningsrum for champignondyrkning

Anvendelse: Champignondyrkning

Teknologi: Anlæg med de nyeste teknologier til champignondyrkning.

Levetid: 10 år

Miljøeffekt: 2200 MWh pr ha pr år ved en samlet energireduktion på 25 %

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 22000 MWh pr ha

## 1.4 Komposteringsanlæg for champignondyrkning

Ved dyrkning af champignon er fremstilling af kompost bestående af dyregødning og halm en integreret del af processen, da den optimale kompostering giver bedre kvalitet og højere udbytte af champignon (se teknologi 1.3). Det vurderes derfor, at det reducerede energiforbrug ved opgradering til nyeste kompostteknologi især med henblik på ventilatorer vil være 20 % svarende til en årlig miljøeffekt på 176 kWh per m<sup>2</sup> svarende til 1760 MWh pr ha.

### Anlæg til fremstilling af kompost til champignondyrkning

Formål: Energooptimeret fremstilling af kompost

Anvendelse: Champignondyrkning

Teknologi: Anlæg med ventilatorer, blæsere og kompostvending.

Levetid: 10 år

Miljøeffekt: 1760 MWh pr ha pr år ved en samlet energireduktion på 20 %

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 17600 MWh pr ha

## Referencer

- Ambaw, A., Fadiji, T., & Opara, U. L. (2021). Thermo-mechanical analysis in the fresh fruit cold chain: A review on recent advances. *Foods*, 10(6), 1357.
- Amber, K., Ahmad, R., Aslam, M., Kousar, A., Usman, M., & Khan, M. S. (2018). Intelligent techniques for forecasting electricity consumption of buildings. *Energy*, 157, 886-893.
- Brito, P., Lopes, P., Reis, P., & Alves, O. (2014). Simulation and optimization of energy consumption in cold storage chambers from the horticultural industry. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 5(2), 1-15.
- Buth, J. (2017). The Mushroom Industry in the Netherlands. *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, 197-209.
- Edelenbos, M., Kidmose, U., & Berthelsen, M. (2010). Udredning af hvordan kvalitet og holdbarhed af frisk frugt og grønt påvirkes af alder og anvendte metoder efter høst. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet - Aarhus Universitet.
- Evans, J., Hammond, E., Gigiel, A., Foster, A., Reinholdt, L., Fikiin, K., & Zilio, C. (2014). Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 697-705.
- Grimm, D., & Wösten, H. A. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied microbiology and biotechnology*, 102(18), 7795-7803.
- Robinson, B., Winans, K., Kendall, A., Dlott, J., & Dlott, F. (2019). A life cycle assessment of *Agaricus bisporus* mushroom production in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(3), 456-467.
- Warwick, H., & Park, N. (2007). AC0401: Direct energy use in agriculture: opportunities for reducing fossil fuel inputs. University of Warwick, Warwick.
- Zisopoulos, F. K., Ramírez, H. A. B., van der Goot, A. J., & Boom, R. M. (2016). A resource efficiency assessment of the industrial mushroom production chain: The influence of data variability. *Journal of Cleaner Production*, 126, 394-408.



## 2. Teknologi til reduktion af energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning

*Michael Nørremark, Institut for Elektro og Computerteknologi, Aarhus Universitet*

Mange maskiner og udstyr til væskhusgartneri, frilandsgartneri, frugt og bær, samt planteskoler forbruger fossilt brændstof. Der er de senere år markedsført teknologier som udfaser forbruget af fossilt brændstof og som er relevante for gartnerisektoren. De følgende afsnits effekt på CO<sub>2</sub> udledning er baseret på nyere svenske artikler (Gustafsson et al., 2021ab). Artiklerne beskriver en undersøgelse som analyserer transportsektorens energiforbrug og CO<sub>2</sub> ækv. emissioner ved at foretage en bred sammenligning af drivmidler for forskellige tunge køretøjers forbrugsmønstre. Well-to-wheel (WTW) CO<sub>2</sub> ækv. emissioner for bl.a. drivlinjer med elektriske motorer, motorer for komprimeret biometan fra biogasanlæg sammenlignes med dieselmotorer for tunge køretøjer. I modelberegningerne indgik alle rafinaderi- og biogas processer fra oprindelse, naturressourcer, supply chain, batterilevetid, strømforbrug for processerne m.m. (Gustafsson et al., 2021ab). Med udgangspunkt i Energistyrelsens korrigerede CO<sub>2</sub> emission pr. solgt kWh el på 211 g CO<sub>2</sub>/kWh i 2020 (Energistyrelsen) viser de svenske modelberegninger at komprimeret biometan fra biogasanlæg som brændstof for tunge køretøjer reducerer WTW CO<sub>2</sub> emission med ca. 90 %, og for elektrificering af de samme typer af køretøjer er reduktionen ca. 65 %. Disse reduktionspotentialer er i overensstemmelse med modelberegninger foretaget af European Commissions science and knowledge service (Prussi et al., 2020). Reduktionspotentialerne falder i takt med at CO<sub>2</sub> emissionen pr kWh for elektricitet stiger (Gustafsson et al., 2021a).

### 2.1 Metandrevne traktorer

Flere producenter af motorer leverer motorer som kan forbrænde opgraderet biogas, herunder komprimeret biometan (CBM). Motorerne er typisk konstrueret til lastbiler, busser, entreprenørmaskiner og landbrugsmaskiner. Der er markedsført traktorer som kan udføre alle markopgaver og som konstruktionsmæssigt er en helt almindelig traktor som derved kan erstatte en dieseldrevet traktor (Hannukainen & Åman, 2017).

Ved at overgå fra dieseldrevet traktor til CBM drevet traktor forventes det at reducere CO<sub>2</sub> emission med ca. 65 % som nævnt indledningsvist, men afhængigt af motorteknologier (Alamia et al., 2016) og energieffektiviteten af biogasanlæg, som igen afhænger af substratsammensætning, processer og teknologier (Berglund & Börjesson, 2006).

Sammenlignet med diesel under sammenlignelige kørselsforhold kræver gasdrevne køretøjer fra 9 % til 20 % mere energi (Gustafsson et al., 2021; Prussi et al., 2020), selvom forskellen forventes at falde i takt med udviklingen af nye gasmotorteknologier, og motorproducenterne forventer at nyere gasmotorers effektivitet kommer på linje med dieselmotorer (Prussi et al., 2020).

Sverige er et land med lang erfaring med at bruge CBM i transportsektoren. Börjesson et al. (2016) gennemførte undersøgelse af metan baserede køretøjers energieffektivitet. Undersøgelsen fokuserede på

svenske forhold og 2013 data for modelberegninger af komprimeret biometan produktion fra to forskellige biogaskapaciteter og en råvareblanding af madaffald, husdyrgødning, industriaffald og slagteriaffald. Börjesson et al. (2016) fandt et well-to-tank (WTT) energieffektivitet interval på 0,3-0,4 MJ/MJ<sub>komprimeret biometan</sub>, hvilket var omkring 1,3-2,4 gange mere WTT energieffektivitet end for diesel (~0,26 – 0,32 MJ/MJ<sub>diesel</sub>) (Prussi et al., 2020)). Gustafsson et al. (2020b) beregnede WTT for forskellige affaldsbaserede biometan produktioner i en nordisk biogas kontekst og opnåede 0,10-0,15 MJ/MJ<sub>komprimeret biometan</sub>. Moghaddam et al. (2015) fandt, at WTT effektivitet var 0,19 MJ/MJ<sub>komprimeret biomethan</sub>, som også var baseret på et nordisk biogas system.

I forbindelse med de følgende miljøeffektberegninger anvendes der 20 % øget WTW effektivitet på baggrund af vurderinger dannet af ovennævnte litteratur, og forudsat et gns. på 0,15 MJ/MJ<sub>komprimeret biometan</sub> for produktionen af komprimeret biometan og 9-20 % øget brændstofforbrug for biometandrevne køretøjer ifht. dieseldrevne. Ifølge en opgørelse for dieselforbruget ved dyrkning af gulerødder og løg på friland er det gennemsnitlige dieselforbrug 170 l diesel pr ha pr år (Halberg et al., 2006). Ved antagelsen om øget WTW effektivitet som nævnt ovenfor, vurderes miljøeffekten af metantraktorer til at udgøre 0,342 MWh pr ha pr år for dyrkning af grøntsagerne gulerod og løg på friland. For andre afgrøder påkræves færre markopgaver og jordbearbejdnings og derved mindre brændstofforbrug, hvormed miljøeffekten reduceres i MWh pr ha pr år.

#### Metandrevne traktorer

Formål: Energibesparelse

Anvendelse: Grønsager, frugt, bær, og andre gartneriafgrøder på friland

Teknologi: Traktorer hvor brændstof består af komprimeret biometan fra biogasanlæg

Levetid: 10 år

Miljøeffekt: op til 0,342 MWh pr ha pr år

Miljøeffekt i teknologiens levetid: op til 3,42 MWh pr ha frilandsgartneri

## 2.2 Elektriske lastbiler og varevogne til godstransport

Dette afsnit vedrører gartneriernes egen transport af varer til/fra pakkeri, til/fra mark m.v. Elektriske lastbiler er de seneste par år blevet markedsført.

Elektriske lastbiler har for nuværende typisk en rækkevidde på 200-400 km på en opladning (Gudmundsson, 2021). Elektriske motorer udnytter energien minimum 40 % bedre end for dieselmotorer (~ tank-to-wheel (TTW) efficiency) (Huang & Zhang, 2011; Cunanan et al., 2021; Gudmundsson, 2021). Brændstoføkonomi for lastbiler kan beregnes vha. <http://gronberegner.teknologisk.dk/>. En mellemstor lastbil med en totalvægt på 30 tons fuldt lastet har et brændstofforbrug på ca. 3 km/l diesel ved normal fragtkørsel over kortere distancer. For en nyttelast på 24 tons resulterer brændstofforbruget i 0,014 l/ton/km. Det samlede væksthuseareal for produktion af salat, agurk og tomat udgjorde i 2020 75,5 ha og den totale produktion af salat, agurk og tomat fra danske væksthusegartnerier udgjorde samme år 28.110 tons (Danmarks Statistik).

Den årlige produktion af salat, agurk og tomat transporteres af lastbiler fra væksthuse/kølerum til sortering/pakkeri/detailhandel i et omfang som i miljøeffektberegningerne samlet set antages at være 50

km i gennemsnit pr. ton afgrøde. Ved den forbedrede energjudnyttelse ved elektriske lastbiler og varevogne på minimum 40 % opnås der derfor en miljøeffekt på ca. 1.116 kWh pr ha pr år set ift. fortsat godstransport af salat, agurk og tomat fra væksthusegartnerier med dieseldrevne lastbiler og varevogne. Det samlede areal for produktion af frugt, bær og grønt på friland udgjorde 17.791 ha i 2020 ifølge Danmarks Statistik.

Den samlede produktion af frugt, bær og grønt på friland udgjorde samme år 312.730 tons (Danmarks Statistik). Den årlige produktion af frugt, bær og grønt transporteres af lastbiler fra mark/kølerum til sortering/pakkeri/detailhandel i et omfang som i miljøeffektberegningerne samlet set antages at være 50 km i gennemsnit pr. ton afgrøde. Ved den forbedrede energjudnyttelse ved elektriske lastbiler og varevogne på minimum 40 % opnås der derfor en miljøeffekt på ca. 49 kWh pr ha pr år set ift. fortsat godstransport med dieseldrevne lastbiler og varevogne. Ved at overgå fra dieseldrevne lastbiler og varevogne til elektriske køretøjer, forventes det at reducere CO<sub>2</sub> emission med ca. 90 % som nævnt indledningsvist, dog afhængig af CO<sub>2</sub> ækv. emissioner pr kWh for elektricitet.

#### Elektriske lastbiler og varevogne til godstransport

Formål: Energibesparelse

Anvendelse: Godstransport til/fra pakkeri, til/fra mark, grossist m.m.

Teknologi: Elektriske lastbiler og varevogne

Levetid: 8 år

Miljøeffekt: 1,17 MWh pr ha pr år ved en samlet energieffektivisering på 40 %

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 9.32 MWh pr ha (friland- plus væksthuseareal)

### 2.3 Elektriske terrængående læsemaskiner, traktorer, autonome køretøjer mm.

Elektrificerede køretøjer for transport og logistik for lager og i væksthuse er beskrevet under 2018 rapportens afsnit 1.13. Dette afsnit omhandler elektrificerede terrængående køretøjer for anvendelse på marker og andre områder hvor der ikke er fast grund. Dette afsnit omhandler elektrificering af benzin-/diesel-/gasdrevne terrængående køretøjer som er relevant primært for gartnerier med produktion på friland og sekundært for andre gartneriproduktioner hvor terrængående egenskaber er nødvendige. Der vurderes at kunne opnås minimum 40 % bedre virkningsgrad (~ TTW efficiency) for elektrificerede køretøjer i forhold til benzin, gas og dieseldrevne køretøjer. For dyrkning afgrøder på friland indgår der opgaver som kræver trækraft der passer til markedsførte elektriske traktorer, såsom let harvning, såning, sprøjtning/mekanisk ukrudtsbekæmpelse, gødskning (granulat) m.m. Disse opgaver tilsammen udgør ca. 16 l diesel pr ha pr år (Dalgaard et al. 2005, Halberg et al., 2002), som omregnet med en faktor 10.96 kWh pr l diesel svarer til 175 kWh pr ha pr år. Det samlede areal for gartnerier med produktion på friland, af frugt og bær, samt for planteskoler udgjorde i alt 24.990 ha i 2021 (Danmarks Statistik, 2022).

Læsning og håndtering med læsemaskiner af typerne minilæssere, mindre gummigeder (<5 tons) og teleskoplæssere i 2004 for byggeri- og anlægssektoren forbrugte disse typer af maskiner gennemsnitlig 39.199 kWh pr maskine pr år, udledt af Winther og Nielsen (2006). Det svarer til at en læsemaskine forbruger 5 l diesel pr time og en årlig anvendelse og drift på 778 timer. I 2021 blev der registreret i alt 512 gartnerier (gartnerier og friland, frugt og bær og planteskoler) (Danmarks Statistik, 2022). I effektberegningerne antages at hver bedrift anvender en eller anden form for terrængående

læssemaskine, men hvor den årlige anvendelse udgør 70 % af omfanget i byggeri- og anlægssektionen. Dette svarer til ca. 560 kWh pr ha pr år i gns. for de nævnte typer af gartnerier.

Ved den forbedrede energjudnyttelse ved terrængående elektriske læssemaskiner, traktorer og autonome køretøjer på minimum 40 % opnås der derfor en miljøeffekt på 224 kWh pr ha per år set ift. fortsat anvendelse af dieseldrevne typer af de ovennævnte køretøjer.

Ved at overgå fra dieseldrevne til elektriske køretøjer forventes det at reducere CO<sub>2</sub> emission med ca. 90 % som nævnt indledningsvist, dog afhængig af CO<sub>2</sub> ækv. emissioner pr kWh for elektricitet.

Fuld elektriske terrængående læssemaskiner, traktorer, autonome køretøjer mm.

Formål: Energibesparelse

Anvendelse: Grønsager, frugt, bær, og andre gartneriafgrøder på friland

Teknologi: Elektriske terrængående køretøjer til læsning, håndtering og dyrkning af afgrøder

Levetid: 8 år

Miljøeffekt: 0,224 MWh pr ha pr år

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 1,80 MWh pr ha frilandsgartneri

## 2.4 Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP anlæg

Teknologien er energilagringdelen af hybride systemer som består af termiske akkumuleringstanke og/eller batterier ifbm. energilagring fra hybriddelene solcelleanlæg, vindmøller og/eller varme plus strømproduktionsanlæg (CHP anlæg). Hybride systemer giver højere selvforsyningsgrad.

Liao et al (2019) undersøgte de økonomiske fordele og livscyklusanalyse ved et hybrid system bestående af solpaneler og energilagring baseret på batterier. Det blev konkluderet, at værdien af det hybride system med en optimeret konfiguration var højere end værdien af solpaneler alene. Et hybridsystem øger også muligheden for at ventilere og køle lukkede væksthuse hvorved der dels ikke mistes nyttig CO<sub>2</sub>. Også mulighed for at reducere mængden af plantebeskyttelsesmidler er til stede, fordi der ingen skadegørere kan komme ind i de mere lukkede væksthuse ifbm. ventilation og køling med energi fra de alternative energikilder og lagring.

Et modelstudie for et ca. 10 ha stort Venlo-type væksthuse i Ontario, Canada har analyseret effekten af to subsystemer (Naghibi et al., 2021). Subsystemerne bestod dels af solceller integreret med varmepumper til opvarmning af vand i buffertanke og anvendelse af varme fra tankene til opvarmning af væksthuset (ST), og dels solpaneler, invertere og regulatorer koblet til de elektriske installationer og batterienheder á 2.568 kWh (PV-BES) som blev dimensioneret til at strømforsyne fra 6 og op til 10 timer. Venlo-type væksthuset havde en tagrendehøjde på 5,5 m og en taghældning på 25 grader, hvori der blev produceret peberfrugter. Resultatet viste at PV-BES systemet kunne reducere det årlige strømforbrug med 51 %, mens ST systemet kunne dække 36 % af det årlige varmeforbrug (Naghibi et al., 2021). Buffertanke og batterier til henholdsvis lagring af varme og elektricitet fra CHP anlæg kan have en effekt på at øge væksthuseplanternes CO<sub>2</sub> optag (Ridder et al., 2021).

I 2020 var det årlige strømforbrug i danske væksthuse 56 kWh pr m<sup>2</sup>, og det årlige energiforbrug til opvarmning ca. 232 kWh pr m<sup>2</sup> (Dansk Gartneri, 2022). Med udgangspunkt i resultaterne opnået i Naghibi et al. (2021) vil den årlige reduktion være 112 kWh pr m<sup>2</sup> pr år i gennemsnit for danske væksthuse.

Som nævnt ovenfor vil et PV-BES system kunne reducere det årlige strømforbrug med op til 51 %. Et PV-BES system tilsluttet solcellepark, vindmølle eller anden vedvarende energikilde vil også være relevant i forhold til strømforsyning af køl/varme/fugt anlæg og opbyggede isolerede rum i bygninger til lagring af frugt og grønt (se afsnit 1.1 for teknisk beskrivelse af disse). I afsnit 1.1 antages et strømforbrug på gennemsnitlig 325,5 kWh pr m<sup>2</sup> pr år for et typisk kølerum til frugt og grønt med en højde på 5 m. Antages at et PV-BES system kan levere op til 51 % af elektriciteten til disse rum med køl/varme/fugt anlæg vil bidraget fra vedvarende energikilder være op til 166 kWh pr m<sup>2</sup> pr år.

Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP anlæg

Formål: Energibesparelse

Anvendelse: Væksthusgartneri

Teknologi: Termisk energilagring/batterienergilagring fra solcelleanlæg og vindmøller. Lagring af energi/varme samt genanvendelse af CO<sub>2</sub> fra CHP anlæg.

Levetid: 10 år

Miljøeffekt: 2.780 MWh pr ha væksthuseareal plus rumareal for køl/varme/fugt anlæg pr år ved en vurderet mulig energireduktion på op til 51 % og 36 % for henholdsvis PV-BES og ST hybridssystemerne.

Miljøeffekt i teknologiens levetid: 27.800 MWh pr ha

## Referencer

- Alamia, A., Magnusson, I., Johnsson, F., Thunman, H. (2016) Well-to-wheel analysis of bio-methane via gasification, in heavy duty engines within the transport sector of the European Union. Applied Energy 170, 445-454. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.001>.
- Berglund, M., Börjesson, P. (2006) Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. Biomass and Bioenergy 30, 254- 266. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.11.011.
- Börjesson, P., Lantz, M., Andersson, J., Björnsson, L., Fredriksson Möller, B., Fröberg, M., Hanarp, P., Hulteberg, C., Iverfeldt, E., Lundgren, J., Röj, A., Svensson, H., & Zinn, E. (2017). Methane as vehicle fuel – a well to wheel analysis (METDRIV). The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels. [http://f3centre.se/sites/default/files/f3\\_2016-06\\_borjesson\\_et\\_al\\_final\\_170111.pdf](http://f3centre.se/sites/default/files/f3_2016-06_borjesson_et_al_final_170111.pdf)
- Cunanan, C., Tran, M.-K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V., Fowler, M. (2021) A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. Clean Technol. 3, 474-489. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>
- Dalgaard, T., Dalgaard, R., Nielsen, A. (2002). Energiforbrug på økologiske og konventionelle landbrug. Grøn Viden Markbrug 260.
- Danmarks Statistik (2022). Statistikbanken. [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk)
- Dansk Gartneri (2022) Tal om Gartneriet 2022. <https://danskgartneri.dk/publikationer/publikationer/tal-om-gartneriet>
- Energistyrelsen (2022) Danske nøgletal fra 2020 for udviklingen i produktion og forbrug af energi, vedvarende energi, vindkraft, kraftvarme, energiintensitet og CO<sub>2</sub>-udledning. <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/noegletal-og-internationale-indberetninger>
- Gudmundsson, H. (2021). Dekarbonisering af vejgodstransport – Lastbiler. Vol. 27 No. 1: Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University. <https://doi.org/10.5278/ojs.td.v27i1.6174>
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Moller, B.F. (2021a) Well-to-wheel climate performance of gas and electric vehicles in Europe. Transportation Research Part D – Transport and Environment 97, 102911. DOI10.1016/j.trd.2021.102911
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Moller, B.F. (2021b) Well-to-wheel greenhouse gas emissions of heavy-duty transports: Influence of electricity carbon intensity. Transportation Research Part D – Transport and Environment 93, 102757. 10.1016/j.trd.2021.102757
- Halberg, N., Dalgaard, R., & Rasmussen, M. D. (2006). Miljøvurdering af konventionel og økologisk avl af grøntsager: Livscyklusvurdering af produktion i væksthuse og på friland: Tomater, agurker, løg, gulerødder. Miljøstyrelsen. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 5
- Hannukainen, P., & Åman, R. (2017) Biomethane as tractor fuel: Opportunities for customer, manufacturer or climate. In Land.Technik AgEng 2017: Agricultural Engineering Conference. VDI Verlag GmbH. VDI-Berichte Vol. 2300, 355-365. <https://doi.org/10.51202/9783181023006-355>

- Huang, W.-D., Zhang, Y.-HP. (2011) Energy Efficiency Analysis: Biomass-to-Wheel Efficiency Related with Biofuels Production, Fuel Distribution, and Powertrain Systems. PLoS ONE 6(7): e22113. doi:10.1371/journal.pone.0022113
- Liao, Q., Zhang, Y., Tao, Y., Ye, J., Li, C. (2019) Economic analysis of an industrial photovoltaic system coupling with battery storage. Int J Energy Res. 43: 6461– 6474. <https://doi.org/10.1002/er.4482>
- Moghaddam, E.A., Ahlgren, S., Hulteberg, C., Nordberg, AA. (2015) Energy balance and global warming potential of biogas-based fuels from a life cycle perspective. Fuel Process. Technol. 132, 74–82.
- Naghibi, Z., Ekhtiari, S., Carriveau, R., Ting, D-K. (2021) Hybrid solar thermal/photovoltaic-battery energy storage system in a commercial greenhouse: Performance and economic analysis. Energy Storage. 2021; 3:e215. <https://doi.org/10.1002/est2.215>
- Ridder, F., van Roy, J., de Schutter, B., Mazairac, W. (2021) An exploration of shared heat storage systems in the greenhouse horticulture industry. Energy 235,121425. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121425>
- Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards, R. (2020) JEC Well-to-Wheels report v5: Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context (No. EUR 30284 EN), JRC Technical reports. JRC.
- Winther, M., Nielsen, O.-K. (2006). Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985–2004 – and projections from 2005-2030. Environmental Project No. 1092. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2006/87-7052-085-2/pdf/87-7052-086-0.pdf>

## 3 Teknologier til CO<sub>2</sub>-reduktion

*Martin Jensen, Institut For Fødevarer, Aarhus Universitet*

Kapitlet indeholder først en introduktion til og generelle betragtninger om metodiske aspekter af opgørelse af CO<sub>2</sub> aftryk. Derefter gennemgås teknologien, dvs. typiske danske metoder til etablering, plantagedesign, antal træer mv i plantager og en vurdering af levetid for en plantage og særlige aspekter omkring dyrkningsfasen. Anvendelser af afgrænsninger og input af data i livscyklus (LCA) analyser eller NECB (netto ecosystem carbon balance) analyser, herunder processer og perioder, samt import og eksport betragtninger og antagelser diskuteres kort.

Dernæst gennemgås udvalgte dataeksempler fra de fire frugtarter hver for sig, og for hver art laves et sammendrag, hvor der laves en samlet vurdering af CO<sub>2</sub> balancer i plantager for hver art. Vurderingen er for alle arter baseret på et ret spinkelt datagrundlag. Der er derfor stor usikkerheden i teknologierne. Kapitlets konklusioner skal derfor ses som et foreløbigt bedste bud.

Metodisk er vurderingen primært gennemført ud fra en litteratursøgning i Web of Science databasen baseret på en række søgeord relevant for emnet. Artiklerne er vurderet for relevans, men da der for flere af arter er fundet meget begrænset viden er nogle studier inddraget selv om de regionalt, klimatisk eller dyrkningsteknisk afviger noget fra typiske danske dyrkningsmetoder, udbytter og klima. Dette er angivet i teksten. Der er ikke fundet studier, der analyserer samlet CO<sub>2</sub> aftryk af danske frugtplantager, så for at foretage en vurdering er der inddraget resultater fra LCA analyser. Via en samlet vurdering er det forsøgt at give et første bud på CO<sub>2</sub> balancen i danske frugtplantager af de fire arter.

### 3.2 Plantning af konventionelle frugttræer - beskrivelse af teknologi

#### 3.2.1 CO<sub>2</sub> aftryk i æble-pære-kirsebær-blommer plantager, LCA og NECB

Dyrkning af forskellige landbrugsafgrøder eller skov giver forskellige kulstofbalancer, og har derfor forskelligt potentiale til at bidrage til kulstofbinding og især kulstoflagring i relation til CO<sub>2</sub> emissioner og klimaudfordringer. Frugtplantager har typisk en højere akkumulering af stående biomasse i en længere årrække end landbrugsafgrøder, men i kortere tid end i skov. Frugtplantager har typisk en levetid på 15-25 år, men dette afhænger bl.a. af sygdomstryk og behov for nye sorter. I forhold til GHG effekter af produktionssystemets samlede emissioner, indgår både CO<sub>2</sub> balancer (herunder kulstof) og andre relevante GHG gasser, især N<sub>2</sub>O og NH<sub>3</sub> samt energi som CO<sub>2</sub> ækvivalent enheder.

Livscyklus analyser (LCA) for CO<sub>2</sub> balancer inkluderer i princippet alle stadier fra 'cradle to grave', men i mange undersøgelser er der lavet 'cut off' afgrænsninger i delfaser og indholdet medtaget i dem varierer desværre noget mellem forskellige studier, hvilket gør sammenligninger vanskelige (Svanes og Johnsen, 2019). Mange analyser angiver CO<sub>2</sub> balancer fra 'cradle to grave' eller 'cradle to retail' og kun et begrænset antal publikationer giver mulighed for at få tal ud afgrænset til primær produktionen i plantagen (cradle to farm gate). LCA studier angiver oftest GWP (Global warming potential) resultater som CO<sub>2</sub> emissioner/kg frugt høstet, produceret eller spist. Kun få studier udtrykker CO<sub>2</sub> balancen i forhold til ha arealanvendelse.



Da frugtudbytter fra plantager varierer med alderen af plantagen, mellem år i samme plantage og regionalt mellem plantager i Danmark og i andre regioner af Europa eller verden, vil opgørelser/kg frugt typisk vise nogen variation. Et skønnet gennemsnitlig CO<sub>2</sub> aftryk kan derfor dække over betydelige variationer og kun ganske få undersøgelser dækker mange års data f.eks. Vinyes et al (2018). Positive emissionstal anfører en netto udledning af CO<sub>2</sub> mens negative tal henfører til en netto C binding.

NECB (netto ecosystem carbon balance) i frugtplantager som samlet dyrkningssystem kan indeholde C balancer fra planteproduktion, etablering, dyrkning og pasning herunder import af planter, støttesystemer, gødskning, pesticider, vand, samt eksport af frugt og afvikling af plantagen. Ikke alle undersøgelser har alle aspekter med fra pasning, hvilket kan gøre det vanskeligt at sammenligne LCA resultater og NECB resultater. Eksport af produkter fra plantagen dvs. postharvest anvendelsen af frugt og anvendelse af fædede træbiomasse efter afvikling af plantagen (evt. til energiproduktion) opgøres oftest separat fra selve plantagedelen, da det er eksport af C, der normalt omsættes hurtigt til CO<sub>2</sub> igen. CO<sub>2</sub> aftrykket fra etablerings- og afviklingsprocesser og bortskaffelse (bl.a. energiforbrug) er typisk med i LCA analyser, men ikke altid indregnet i NECB plantageopgørelser. NECB opgøres oftest som kg C/ha eller kg CO<sub>2</sub> ækv./ha. Omregningsfaktor mellem C og CO<sub>2</sub> er 3,667 (Gyldenkerne et al 2005). Hvis man har kg CO<sub>2</sub>/kg frugt og kender frugt udbyttet/ha i studiet kan man beregne en estimeret mængde CO<sub>2</sub>/ha/år. Positive NECB værdier angiver netto C (eller CO<sub>2</sub>) binding på arealet mens negative tal angiver netto emission af CO<sub>2</sub>. Eksporterede C puljer i frugt indgår normalt ikke i NECB mens akkumulering af træbiomasse oftest er medtaget. Især opgørelsen af akkumulering af C i stående vedmasse over og under jorden samt øget stabil C i jordens biomasse er interessant at inddrage i samlet vurdering af C balancer i frugtplantager. Der er kun fundet få NECB analyser for frugtplantager.

### 3.2.2 Etablering af plantager, plantedesign, plantetal

Etablering af plantager indebærer en import af materialer med forskellige medfølgende CO<sub>2</sub>aftryk, dels frugttræerne selv (typisk 2 års træer fra planteskoler), dels træer og buske til læhegn og evt. frømateriale til såning af græsstriber i mellem rækkerne. Træer dyrkes i dag med brug af svagtvoksende grundstammer for alle 4 frugtarter, som betinger at træerne støttes. Et dansk støttesystem kan typisk se ud som følger (2022 opdaterede metoder, design og plantetal, AU FOOD interne data):

**For æble og pære** (planteafstand 1 x 3,3 m) benyttes til 1 ha typisk 78 større træpæle (i rækkeende), hertil 78 jordankre af galvaniseret jern, 902 store betonpæle (9x9,5 cm tykkelse), 853 mindre betonpæle (7 x 8 cm tykkelse) med lang holdbarhed og stor styrke, som sættes med afstand i rækker til at fastgøre stålvirer til i rækken i 3 højder. Der anvendes i alt ca. 8889 m stålvirer hertil, hvortil aluminium stokke (stor styrke, lang holdbarhed) fastgøres. Der anvendes 2963 aluminiumstokke, dvs. 2963 træer/ha. Hvert træ bindes op til aluminium stok. CO<sub>2</sub> aftryk af disse materialer kan være betydelige ligesom arbejdsprocesser til denne etablering også har et energifaftryk. Boschiero et al (2018) beskriver energiforbrug til fremstilling af disse moderne støttesystemer og tidsforbruget til håndtering i plantagen og det samlede carbon footprint for udvalgte støttesystemer herunder overdækkede systemer med plast eller insektnetdækning. Svanes og Johnsen (2019) skønner holdbarhed af disse til mindst 18 år.

**For sødkirsebær og blommer** bruges typisk større planteafstande (2 x 4 m) og støttesystem er baseret på træpæle til individuelle træer, da træerne typisk er lidt større end hos æbler og pærer. 1250 kraftige træpæle anvendes pr ha (1250 træer/ha), hvortil træerne fæstnes enkeltvis. I de mest intensive europæiske systemer for sødkirsebær benyttes super slender spindle træer med op til 4-5000 træer/ha. Dette er så vidt vides ikke anvendt i danske plantager. Specielt for sødkirsebær anvendes i dag oftest højt placeret

plastoverdækning over rækken for at undgå regninduceret revning af frugt ved modenhed og disse kan også beskytte mod hagl. Der findes forskellige systemer, men alle involverer etablering af kraftigt støttesystem, wiresystemer og kraftige plastmaterialer med varierende holdbarhed.

I evaluering af data for sødkirsebær er det afgørende om overdækning af kirsebær benyttes. Boschiero et al (2018) angiver carbon footprints (CF) på traditionelle haglnet plast overdækningssystemer på omkring 700 kg CO<sub>2</sub> ækv/ha. mens andre systemer (Keep in touch system) kan have CF op til 1500 kg CO<sub>2</sub> ækv/ha. I moderne midt- og nordeuropæisk produktion af sødkirsebær er overdækning mod hagl og mod regn i høsttiden afgørende for at sikre kvalitet og leveringsevne og vurderes at være det almindeligste system i Danmark ved nyplantning. Der er ikke fundet danske beregninger af CO<sub>2</sub> aftryk af støttesystemer.

I alle intensive frugtplantager etableres normal vanding med udlagte drypslanger eller siveslanger i rækken.

Alle konventionelle plantager dyrkes normalt med anvendelse af kunstgødning, pesticider, evt. herbicider, mekanisk ukrudtsbekæmpelse, slåning af græs, beskæring af træer, knusning af afklip på jorden, transport af høstet frugt og alt dette indebærer brug af energi til produktion og udbringning som indeholder store CO<sub>2</sub> aftryk

Moderne frugtavl anvender træer på svagtvoksende grundstammer og kraftig beskæring f.eks. som spindeltræer eller 'super-slender-spindle' træer, som samlet giver små træer set over tid. Da disse træer plantes med høj tæthed er summen af den stående biomasse i træerne ofte næsten ligeså høj nu som den har været tidligere ved større træer med større afstand (Gyldenkerne et al 2005). Søndergaard (2022) målte overjordisk biomasse af danske Elstar æbletræer fra 10 avlere og fandt at en plantage med 2790 træer/ha og 23 år gammel typisk efter de 23 år havde akkumuleret stående tørstof i stammer og grene på 32,20 tons/ha svarende til 16,1 tons C/ha. Dette svarer til ca. 11,5 kg tørstof per træ, eller 5,8 kg C/træ. Træer i intensive systemer opnår derfor en ret begrænset størrelse. Gyldenkerne et al (2005) estimerede teoretisk stående C biomasse over jorden til 13,6 tons C/ha i æble, 5,6 tons C/ha i pære, og 10,6 tons C/ha ens for kirsebær og blommer. Tallenes validitet for nuværende plantager i Dk er ikke kendt.

### 3.2.3 Alder af plantager

Moderne europæiske frugtplantager med meget højt plantetal, brug af svagtvoksende grundstammer og intensiv dyrkning og et ønske om høj frugtkvalitet betyder at levetiden af plantager ofte kun er 12-15 år, da produktionen af første klasses frugtkvalitet falder med alderen (Alaphilippe et al 2016). Under danske forhold vurderes levetiden at være mellem 15-25 år, 15 år for de allermest intensive systemer og 20-25 år for de lidt mindre intensive. Et gennemsnit på 20 års levetid anføres i denne rapport og er anvendt i mange studier for alle de 4 arter inddraget her.

### 3.2.4 Afgrænsninger og input inddraget

Ved opgørelse af CO<sub>2</sub> effekter af dyrkning af frugtplantager er det almindeligt at opgøre effekter ud fra C balancer separat for markdelen (cradle to gate). Det betyder at CO<sub>2</sub> aftrykket af den frugt der produceres og eksporteres ud af plantagen ikke normalt indgår i en separat CO<sub>2</sub> balanceberegning for markdelen. CO<sub>2</sub> aftrykket ved anvendelsen af træbiomassen efter afvikling af plantagen afhænger af anvendelsen og ofte opgøres CO<sub>2</sub> balancen for plantagedelen med den akkumulerede træbiomasse uden at inddrage eksport af denne ved afvikling. Hvis ved fra nedlagte plantager afbrændes vil CO<sub>2</sub> effekten neutraliseres. I denne rapport inkluderes C i den akkumulerede biomasse som en midlertidig lagring af kulstof. På samme

måde ses et øget indhold af stabil kulstof i jorden under plantagedrift som en midlertidig lagring af kulstof, som hvis plantagen nedlægges vil nedbrydes over en række år.

C balance resultater i plantagen kan beregnes pr år, i afgrænsede perioder, f.eks. opstartsfasen og fuld bæringsfase eller fra etablering til afvikling samlet. Ved årlig opgørelse refereres der til plantage alder, design, management og udbytter. Opstartsfasen har typisk lavere eller ingen frugtudbytter og lavere ressource indsats end under fuld bæring. C balancer ændrer sig derfor markant under levetiden. Opgørelser for hele levetiden er derfor mest valide. Ekstrapolering fra enkeltår indebærer usikkerhed. Særligt i områder med risiko for forårsfrostskafer eller hvor der dyrkes sorter med tendens til vekselbæring, vil usikkerheden potentielt være høj og brugen af ekstrapolering skal gøres med forsigtighed. Opgørelser involverer den årlige producerede total C i forskellige puljer, frugt, blade, vedmasse over jorden (grene og stammer), vedmasse under jorden (rødder, evt. opdelt i store og små rødder), mikrobiel omsætning i jorden af input fra blade, grene fra beskæring, der knuses og bliver på arealet, input fra slåning af græs-kløver-urtevekst mellem rækker og endelig importeret C fra organiske gødninger og kompost. Alle eksterne input især gødning, pesticider, materialer og energiforbrug til mekaniserede operationer indgår.

Næsten alle resultater fra LCA analyser af frugtproduktion angiver positive tal for GWP emissioner af CO<sub>2</sub> dvs. en netto CO<sub>2</sub> udledning for dyrkningssystemet. Akkumulering af C i træbiomasse og i C biomasse i jord er ikke normalt medtaget i LCA, og kan i nogle tilfælde derfor måske bidrage til at reducere CO<sub>2</sub> emissionerne.

NECB tal er positive når der bindes C på arealet og negativt når der frigives CO<sub>2</sub> fra arealet. I de første få år efter plantning er NECB typisk negativ dvs. der netto udledes CO<sub>2</sub>, mens den under fuld bæring kan være positiv, dvs. plantagen har en netto CO<sub>2</sub>-binding. Denne binding er knyttet til C akkumulering i vedmasse og jord. I fuld bæring kan plantagen blive negativ enkelte år ved meget høj eksport af C i frugt. Men typisk er NECB positiv set over en fuld levetid. Undersøgelser for NECB tager i flere tilfælde ikke højde for C tab ved operationel pasning i plantager, hvilket kan betyde at den positive NECB kan blive reduceret af CO<sub>2</sub> tab fra disse processer, hvis de blev indregnet og derved blive negative.

I denne rapport inddrages viden om emission af CO<sub>2</sub>/kg frugt fra LCA analyser. I nogle tilfælde kan disse balancer omregnes til emission af CO<sub>2</sub>/ha. Hvis der anvendes generaliserede udbyttedata i stedet for specifikke data fra forsøgsplantager til omregning skal resultatet anvendes med stor forsigtighed. Akkumulering af stående C i vedmasse i plantager er kun lidt undersøgt, men inddrages hvor data er tilgængeligt eller skønnes her ud fra sammenlignelige arter og forhold med henblik på at tilvejebringe et første skøn. Tons C/ha i vedmasse kan omregnes til tons CO<sub>2</sub>/ha med henblik på sammenholdning med emissioner/ha fra LCA analyser. En skønnet samlet ansættelse af kulstof balancer/ha i frugtplantager er forbundet med en væsentlig usikkerhed, da datagrundlaget ofte er mangelfuldt eller upræcis beskrevet og forskellige antagelser anvendes. Ekstrapolering af årlig C balancer til 20 års levedygtig plantageperiode indeholder derfor tilsvarende stor usikkerhed.

Viden fra en række undersøgelser gennemgås her for hver art med en vurdering af potentialet til slut for hver art. Der er ikke fundet LCA analyser eller NECB analyser for danske frugtplantager, og kun en enkelt måling af kulstofopbygning i stående træmasse i danske æbleplantager. Selvom denne opgave er relateret til konventionelle plantager, er der her medtaget eksempler på balancer i økologiske plantager, dels fordi de bidrager med detailviden som ellers ikke ses, og dels fordi de generelt øger forståelsen af hvad der bidrager til CO<sub>2</sub> balancen. På samme måde er nogle dyrkningssystemer mere eller mindre intensive end danske plantager og er også kun medtaget for helhedens skyld. Endelig er der medtaget resultater

fra klimaer der kan afvige fra dansk klima, da det har bidraget til et lidt bredere grundlag for vurderinger. Disse studier er vægtet mindre i vurderingerne.

Der er her ikke foretaget nogen sammenligning af ændret CO<sub>2</sub> balance fra ændret brug af arealet forud for plantning af plantager eller anden anvendelse efter afvikling af plantagen.

### 3.3 Æbler

**Clune et al (2017)** fandt i meta-review af æbler med afgrænsning fra 'Cradle to regional distribution centre', en gennemsnitlig emission på 0,36 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt, med en variation fra 0,18 til 0,89 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt mellem studier. I alt 21 LCA studier indgik i undersøgelsen. Afgrænsningen til regional distribution centre giver højere CO<sub>2</sub> aftryk end hvis afgrænsningen var til farmgate. Clune et al (2017) angiver ikke at C opbygning i træbiomasse er inddraget. På grund af stor variation i udbytter mellem så mange undersøgelser er det forbundet med stor usikkerhed at forsøge omregning til CO<sub>2</sub>/ha ud fra generaliserede udbytter. Dette kan gøres mere sikkert i enkeltundersøgelser med kendte udbytter, men disse data er ikke altid til stede.

**Davis et al (2011)** undersøgte æbleproduktion i Sverige og fandt en 'cradle to retail' emission på 0,21 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt. Basis for undersøgelsen er ikke fuldt belyst, men indeholder emissioner helt frem til 'retail' stadiet.

**Svane og Johnsen (2019)** undersøgte CO<sub>2</sub> aftrykket af primærproduktionen i norske frugtplantager og fandt at emissionsaftrykket i plantagefasen for æbler udgør lidt under halvdelen af den totale emission/kg konsumeret frugt opgjort for 'Cradle to grave' i æbler. Emissionen for primærproduktionen i plantagen er i størrelsesordenen (aflæst fra figur) 0,19 kg CO<sub>2</sub>/kg æble der blev spist. Han skønner 20 års levetid af plantager og systemet indeholder 3170 træer/ha. Svanes og Johnsen (2019) angiver at æblehøsten i Norge kommercielt gennemsnitlig giver 9,7 tons frugt/ha. De angiver også at kun 71 % af høsten spises, svarende til 6,5 tons /ha der spises. Omsættes 0,19 kg CO<sub>2</sub>/kg spist frugt til kg CO<sub>2</sub>/ha med udgangspunkt i de kommercielle høstudbytter når man til en netto emission i primærproduktion på 1,24 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha for æbleplantagen i studiet.

Der findes kun ganske få undersøgelser fra nordlige klimaforhold. Det skønnes at danske udbytter vil være noget højere pga. af bedre klimadyrkningsforhold og vil ligge et sted mellem disse tal og midteuropæiske tal.

**Keyes et al (2015)** undersøgte konventionelle og økologisk producerede æbler i Nova Scotia, Canada. De fandt en GWP emission på 64,1 kg CO<sub>2</sub> ækv/tons frugt (0,0641 kg CO<sub>2</sub>/kg frugt) fra 'cradle to farm gate' i konventionel dyrkning (inkluderer ikke C i frugt eksport). Ved at benytte angivne udbytter på gns. 23,66 tons/ha beregnes GWP emissionen til 1,514 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha. De angiver højere GWP per kg frugt for økologisk dyrkning, 73,32 kg CO<sub>2</sub> ækv/tons frugt, for 'cradle to farm gate', hvor udbyttet kun var 11,88 tons/ha. Omregnet til ha giver det 0,87 tons CO<sub>2</sub>/ha. altså et mindre aftryk pr ha for økologisk dyrkning.

**Goosens et al (2017)** undersøgte med LCA analyser 64 belgiske konventionelle æble plantager og fandt en emission på 2,69 tons CO<sub>2</sub>/ha/år ved et gns. årligt udbytte på 40,29 tons/ha/år over levetiden. De sammenlignede bl.a. med IPM og økologisk dyrkede plantager.

**Page et al (2011)** fandt en netto CO<sub>2</sub> binding årligt på 5 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha/år i New Zealandsk økologisk æbleproduktion med et lavt antal træer pr ha (1250 træer/ha) og udbytter på 54 tons æbler/ha. C i frugt var ikke medregnet i balance, da det eksporteres ud af system. Såfremt netto binding i plantagen udgøres

af øget C biomasse i træer, kan de 5 tons CO<sub>2</sub> omregnes til C ved  $5/3,667 = 1,36$  tons C/ha/år i netto øget C binding.

**Alaphilippe et al (2016)** undersøgte i Frankrig højintensive moderne æbleplantager (2500 træer/ha, 15 års levetid) og sammenlignede med lidt mindre intensive plantager (1100 træer/ha, 25 års levetid). I den intensive plantage var der meget høj plantetæthed. Intensiv dyrkning forkorter ofte levetiden af plantager fra 25 år i traditionel dyrkningssystem til 12-15 år i det meget intensive system, især da andelen af første klasses frugt reduceres med alderen. De undersøgte 'Cradle to farmgate' aftryk inkl. etableringsfasen, dyrkningsfase og afvikling af plantagen og for både uproduktive perioder i starten og senere fuld produktive perioder i levetiden af plantagen. Der blev høstet i intensive plantager i 3. år efter plantning med 20 tons/ha i udbytter. Der blev regnet med 15 års levetid, og 55,4 tons/ha udbytte i fuld bæring og samlet udbytte på 720 tons på alle 15 år. C i frugt eksporteret og C i afviklet eksporteret træmasse ikke regnet med i balance.

De fandt en netto emission på 4,309 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha i højintensive systemer og 2,733 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha i traditionelle mindre intensive systemer. Højere management input ved høje udbytter og kortere levetid i højintensiv plantager er en udfordring når de væsentlige opstarts CO<sub>2</sub> emissioner skal dækkes i levetiden. Gødning betyder meget for CO<sub>2</sub> aftryk i intensiv dyrkning. I disse beregninger er C bindingen i stående biomasse i træerne ikke indregnet. Da de intensivt dyrkede træer kun når 15 års levetid vil de være relativ små ved afvikling men jo mange træer/ha. Bidraget til C binding skal ses i lyset af dette.

Hvis emissionen på 4,3 tons CO<sub>2</sub>/ha omregnes til C/ha fås en emission på 1,17 tons C/ha/år. Hvis den årlige øgning i akkumuleret træbiomasse og i jordens C pulje er på dette niveau kunne plantagen være CO<sub>2</sub> neutral.

Jævnfør Søndergaards (2022) talmateriale om stående træbiomasse i danske Elstar æbler (se ovenfor) vil en gns. årlig opbygning af C i overjordisk træbiomasse være på (=16 tons/23 år, forudsat ens årlig opbygning i hele levetiden) 0,7 tons C/ha/år (gns. over 23 år). Det vurderes derfor at akkumuleringen af C i overjordisk træbiomasse ikke helt kan udligne CO<sub>2</sub> emissioner for dyrkningsfasen. Bidrag fra binding af C i rødder og i jordens biomasse kan evt. bidrage til at udligne denne forskel men er ikke kendt.

**Demestihis et al (2018)** fandt i Franske plantager at opbygning af kulstof i den stående træbiomasse over jorden samlet over 10 år i en æbleplantage var på 8,3 tons C/ha, dvs. gennemsnitligt øgning på 0,83 tons C/ha/år (svarende til 3,04 tons CO<sub>2</sub>/ha/år). De fandt også at den akkumulerede C pulje varierede mellem plantager.

**Scandellari et al (2016)** undersøgte NECB balancer for æbler i nordlige Italien, bl.a. Sydtyrol, som er stort æbledyrkningscentrum. De inkluderer ikke C foot print af management mm, og derfor er ikke alt relevant med i analysen. 6 års studie i to plantager, henholdsvis 2632 træer/ha (40 tons frugt/ha) og 3300 træer/ha (61 tons frugt/ha). De fandt en stående biomasse i træ og træerødder på 22-28 tons tørstof/ha. og fandt en samlet øget årlig tørstof biomasse i træer på 2,82 tons tørstof/ha/år (2632 træer/ha). Ved antagelse af 50 % C i tørstof giver det en tilvækst på 1,41 tons C/ha/år i træer. De beregnede NECB ved at trække C i frugt fra NEP (netto ecosystem production). NECB var positiv (netto C binding) i begge plantager, men kun lige over nul i den ene. NECB var 4,5 tons CO<sub>2</sub>/ha/år i plantagen med 40 tons udbytte/ha, og 0,5 i plantagen med 61 tons udbytte/ha). Meget høj C eksport i frugt giver mindre NECB. Da ikke alle relevante input i CO<sub>2</sub> balancen fra almindelig plantagedyrkning er inkluderet, kan resultater her ikke bruges til at konkludere at de undersøgte plantager reelt samlet udviser netto binding af CO<sub>2</sub>. Da netop mange arbejdsprocesser og input er CO<sub>2</sub> tunge vil deres bidrag trække emissionen op.

**Cerutti et al (2013)** undersøgte Golden Delicious æbler i Norditalien med et udbytte på 40 tons /ha. og 2200-3000 træer/ha. De estimerede en emission på 6,2 til 6,5 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha. (beregnet ud fra oplysninger at 6,5 kg frugt svarer til 1 kg CO<sub>2</sub> emission, og ud fra udbytte på 40000 kg/ha omregnet til 6,2 tons CO<sub>2</sub>/ha).

**Zanotelli et al (2015)** fandt i NECB studie som gennemsnit af 3 års målinger i økologisk æbleplantage i Bolzano, Norditalien med typisk udbytte på 60 tons frugt/ha/år, at den årlige producerede totale kulstofmængde inklusiv import af organiske gødning og græsdekke mellem rækker (9,53 tons C/ha/år), omsættes dels til eksport af frugt (4,18 tons C/ha/år), dels til opbygning af øget stående biomasse i træerne (0,58 tons C/ha/år), dels øgning af jordens stabile C fraktion (0,11 tons/ha/år) og endeligt mistes der en stor C andel (4,66 tons C/ha/år) via emission af C ved heterotrof respiration fra planterne og fra mikrobiel nedbrydning i jorden af døde blade, grenafklip der bliver på arealet, nedfaldsfrugt, græsafklip, døde rødder og tilført organisk materiale via organisk gødning og kompost. Netto øgning af C var således kun 0,69 tons C/ha/år svarende til 2,53 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha/år. C i frugt er ikke inkluderet.

CO<sub>2</sub> aftryk fra management af plantagen, herunder ved brug af maskiner til forskellige processer, herbicider og pesticider er ikke medtaget i alle undersøgelser. Gødskning, plantebeskyttelse og energi til mekaniserede processer bidrager netop væsentligt til CO<sub>2</sub> aftryk (Vinyes et al 2018).

**Tagliavini og Zanotelli (2020)** konkluderer overordnet at CO<sub>2</sub> emissioner ved etablering og pasning af æblefrugtplantager i markfasen kompenseres af C binding og lagring i øget biomasse og derfor netto oftest er neutral, dvs. ingen netto CO<sub>2</sub> bindings- eller udledningseffekt af systemet, når kulstof i eksporteret frugt ikke er inkluderet). Zanotelli vurderer at der er ret bred konsensus blandt forskere om denne opfattelse af neutral balance.

**Vinyes et al (2017)** undersøgte æbler i Catalonien, Spanien, og fandt en emission for plantage delen (Cradle to farm gate) på 0,111 kg CO<sub>2</sub>/kg frugt, som udgjorde 36,8 % af hele 'Cradle to grave' emissionen, som var på 0,302 kg CO<sub>2</sub>/kg frugt. Ved et gennemsnitligt angivet udbytte på 48,81 tons frugt/ha, kan der beregnes en emission på 5,42 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha. (C i frugt og opbygning i træer ikke medregnet).

**Vinyes et al (2018)** undersøgte CO<sub>2</sub> balancer i æbleproduktion i Catalonien i Nordspanien i konventionel æbleplantage fra plantning til 9 årsalderen og fandt at emission af CO<sub>2</sub> var på gennemsnitlig 0,20 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt/år i central axis træsystemer mens 'fruiting walls' var på 0,195 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt/år. I de første år hvor frugtudbyttet er lavt bliver CO<sub>2</sub> emissionen høj per kg frugt, mens den ved fuldt udbytte efter 5 år i central axis træer (48,6 tons æbler/ha) og 7 år i fruit wall system (51,7 tons æbler/ha) kommer ned på et stabilt niveau på omkring 0,12 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt. For central axis systemet med 48,6 tons udbytte/ha/år kan beregnes en emission på 9,72 tons CO<sub>2</sub>/ha/år.

Flydende gødskning udgjorde en meget høj andel af CO<sub>2</sub> emissionen. Opbygning af kulstof i træer eller jord var ikke medtaget i opgørelse.

**Yan et al (2016)** undersøgte 10 små æbleplantager i Kina fra 'Farm to farm gate', og fandt emissioner på 8,2 ± 0,7 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha/år. (0,24 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt). Kinesiske plantager anføres at bruge meget høj N gødskning som påvirker emissioner markant. Anslåede udbytter på 23-51 tons frugt/ha og gennemsnit udbytte på 37 tons/ha.

**Wu et al (2012)** undersøgte udviklingen i kulstof opbygning i den stående træbiomasse med alderen af æbleplantager i Kina (Beijing) og fandt at C emissionen fra plantagepasningen i unge plantager frem til ca. 8 års alderen var større end C binding i unge træer, men at ældre træer over 8 år fungerede som netto

C sinks og at æbletræer først omkring 18 års alderen opnåede den maksimale C bindingsevne/år. Dette viser tydeligt at dynamikken i udviklingen i C balancer over tid er vigtig at inddrage i forhold til plantagens levealder. Da danske og kinesiske dyrkningsmetoder og forhold kan være væsentlig forskellige skal man tolke denne viden forsigtigt, men det indikerer også at varigheden i år fra plantning kan være vigtig for vurdering af samlede CO<sub>2</sub> effekter.

### 3.3.1 Opbygning af C i træbiomasse over og under jorden

Ud fra data i Søndergaard (2022), der målte overjordisk biomasse af danske Elstar æbletræer kan man estimere at en plantage med 2790 træer/ha og 23 år gammel typisk efter de 23 år havde akkumuleret stående tørstof i overjordisk stammer og grene på 32,20 tons/ha svarende til 16,1 tons C/ha. Forudsat ens årlig opbygning i hele levetiden var den gennemsnitlige årlige tilvækst på 0,7 tons C/ha/år (2,57 tons CO<sub>2</sub>/ha/år). Da rødder ikke er medtaget vil den totale C binding i træer i plantagen være lidt højere.

På baggrund af data fra Demestihis et al (2018) i Franske plantager var den stående træbiomassen over jorden samlet over 10 års levetid i en æbleplantage på 8,3 tons C/ha, dvs. gennemsnitligt øgning på 0,83 tons C/ha/år (svarende til 3,04 tons CO<sub>2</sub>/ha/år).

Ud fra data fra Sydtyrol i Italien fra Scandellari et al (2016) fra intensive plantager kan beregnes en årlig tilvækst i træbiomassen på 1,41 tons C/ha/år i træer (svarende til 5,17 tons CO<sub>2</sub>/ha/år). NECB viste netto C binding fra 0,5 til 4,5 tons CO<sub>2</sub>/ha/år i plantagen men indeholder ikke alle CO<sub>2</sub> aftryk fra plantagen.

Ud fra data fra Zanotelli et al (2015) i Norditalien kan beregnes en netto C binding i træer og jord på tilsammen 2,53 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha/år.

Årlig CO<sub>2</sub> binding i træer varierer i disse 4 cases fra 2,57 til 5,17 tons CO<sub>2</sub>/ha/år med gennemsnit på 3,32 tons CO<sub>2</sub>/ha/år (inklusiv metodiske forskelle i studier).

### 3.3.2 Sammendrag for æbleproduktion

Det vurderes det at den gennemsnitlige emission fra æblefrugtplantageproduktion er på 0,36 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt, med en variation fra 0,18 til 0,89 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt. Afgrænsningen til regional distribution centre forventes at give lidt højere CO<sub>2</sub> aftryk end hvis afgrænsningen var til farmgate. Netto emissionen angivet her forventes derfor at være let overestimeret i forhold til 'cradle to farmgate'. Kun få analyser har angivet CO<sub>2</sub> aftrykket pr ha og i denne rapport er der derfor også medtaget eksempler på egen omregning fra CO<sub>2</sub>/kg frugt til CO<sub>2</sub>/ha ud fra viden om frugtudbytter. Dette er et estimat der kan indebære usikkerhed. Hvis udbyttedata er fra samme forsøg vurderes metoden for valid og acceptabel mens anvendelse af udbytte tal f.eks. fra kommercielle udbytter indebærer usikkerhed i estimering. Netto CO<sub>2</sub> emission/ha beregnet for 8 studier af konventionelle plantager fra 6 lande (Norge, Belgien, Canada, Frankrig, Nordspanien, Norditalien) dækker over et interval fra 1,2 til 9,7 tons CO<sub>2</sub>/ha/år med et gennemsnit på 4,37 tons CO<sub>2</sub>/ha/år. Data der stammer fra LCA analyser har oftest ikke opbygning af C i træer og jord indregnet.

Sammenholdes den gennemsnitlige CO<sub>2</sub> emission/ha fra LCA analyser typisk opgjort uden bidrag fra C binding i træer og jord (4,37 tons CO<sub>2</sub>/ha/år) med den gennemsnitlige binding af CO<sub>2</sub> i træer og træerødder på 3,32 tons CO<sub>2</sub>/ha/år, vurderes det at frugtplantager med æbler forventes at have en mindre netto emission/ha på 0,92 tons CO<sub>2</sub>/ha/år, men kan være tæt på at være neutrale for CO<sub>2</sub>, dvs. der hverken bindes eller frigives CO<sub>2</sub> i plantagefasen. Da de gennemsnitlige tal varierer må det også forventes at der kan være plantager der opnår en lille netto binding af kulstof, men også plantager hvor der omvendt er en netto CO<sub>2</sub> udledning fra plantagedelen. Opbygningen og lagring af kulstof i træmassen øges med

plantagens levetid, men er altid en tidsbegrænset lagring, da træmassen ved afvikling typisk afbrændes og dermed mister sit midlertidige positive CO<sub>2</sub> aftryk.

Med udgangspunkt i denne analyse sættes CO<sub>2</sub> reduktionen for frugtplantager med æbler til -0,9 tons CO<sub>2</sub>/ha. (netto udledning af CO<sub>2</sub>)

Forventet levetid sættes til gennemsnitlig 20 år. Samlet CO<sub>2</sub> reduktion -18 tons CO<sub>2</sub>/ha.

### 3.4 Pære

Der er kun fundet få studier for pære.

**Clune et al (2017)** angiver i sin meta-analyse (4 studier) af GWP fra udvalgte LCA artikler en gennemsnitlig CO<sub>2</sub> emission på 0,33 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt, med afgrænsning fra 'Cradle to regional distribution centre'. Resultater varierede mellem studier fra 0,19 til 0,63 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt. Da 'transport til distribution centre' indgår i tallet her vil det reelle CO<sub>2</sub> aftryk for plantagedelen forventes at være lidt lavere.

**Figueiredo et al (2013)** fandt i Portugal en emission på beregnet 5,2 tons/CO<sub>2</sub>/ha/år i konventionel pæreplantage med gennemsnitlig udbytte på 40 tons/ha/år for plantagefasen.

**Yan et al (2016)** gav resultater for pære emission i 'Farm to farm gate' afgrænsning, for 10 mindre plantager i Kina med udbytter mellem 43 og 65 tons frugt/ha. (gns. 48 tons/ha.). Den beregnede emission var 8,6 ± 0,7 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha/år. Emission angivet i forhold til kg pære var 0,18 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt høstet. Yan et al (2016) angiver at der i Kina bruges meget høje N gødsknings tilførsler på over 400 kg N/ha. og at CO<sub>2</sub> belastningen fra N gødsningen udgjorde en stor post i emissionen. Akkumuleret C i den stående vedbiomasse var ikke inkluderet.

**Jo et al (2016)** undersøgte CO<sub>2</sub> emissioner og C opbygning i træbiomassen i pæreplantager i Kina og fandt at træer med stammediameter på 10 cm havde en årlig C tilvækst på 0,6 kg C/træ/år (samlet 8,75 tons stående C/ha ved 16 års alder) og fandt en årlig samlet emission (uden træbiomasse) på 3,86 tons C/ha/år (svarende til 14,15 tons CO<sub>2</sub>/ha/år), - CO<sub>2</sub> opbygningen i træbiomassen var 0,61 tons C/ha/år (2,24 tons CO<sub>2</sub>/ha/år) og altså 6 gange mindre end emissionen, og derfor en negativ samlet C balance i plantagen (ingen C binding) på 3,25 tons C/ha/år (omregnet til CO<sub>2</sub> = 11,9 tons CO<sub>2</sub>/ha/år).

**Wang et al 2022** (Kina) fandt en netto emission på 15,45 tons CO<sub>2</sub>/ha/år i pærer, mens **Liu et al (2010)** fandt en emission på 130 kg CO<sub>2</sub>/tons pære frugt ved 15 tons frugt/ha i konventionel dyrkning, svarende til 1,95 tons CO<sub>2</sub>/ha/år.

#### 3.4.1 Sammendrag pære

Resultater for pære udviser meget stor variation men oftest med ret høje emissioner. I de 5 studier ovenfor varierer emissionen per ha fra 1,95 til 15,45 tons CO<sub>2</sub>/ha/år, og den gennemsnitlige emission fundet i disse LCA analyser var på 8,54 tons CO<sub>2</sub>/ha/år. De 4 af studierne referer til kinesiske undersøgelser og den sidste til portugisiske forhold. Det er usikkert hvor danske plantager vil ligge i forhold til disse, men gennemsnittet af de 5 studier anvendes her til at opnå et første bud på hvordan CO<sub>2</sub> balancen er i pæreplantager. Hvis man valgte at basere et skøn på det ene studie fra Portugal, ville den samlede konklusion være den samme, at der ikke netto bindes CO<sub>2</sub> men i stedet udledes CO<sub>2</sub> fra pæreplantager.

En gennemsnitlig netto emission på 8,54 tons CO<sub>2</sub>/ha/år skønnes for intensive pæreproduktion ud fra LCA analyser.



Der er kun fundet én beregning for tilvækst af stående C i træbiomasse over og under jorden for produktionsfasen for pærer på 0,61 tons C/ha/år (Jo et al 2016) svarende til 2,24 tons CO<sub>2</sub>/ha/år. Dette studie er fra Kina. Det er svært at vurdere om træernes tilvækst vil ligne et dansk system, men i den tidligere estimering af stående C biomasse i danske plantager (Gyldenkærne et al 2005) anslog de en stående C biomasse over jorden til 5,6 tons C/ha i pære under danske forhold og i Jo et al (2016) anslog de 8,75 tons C/ha i Kina, så stående biomasser er ikke så forskellige.

Fratrækkes skønnet CO<sub>2</sub> binding i træer (2,24 tons CO<sub>2</sub>/ha/år) fra LCA emissionen (8,54 tons CO<sub>2</sub>/ha/år) fås en netto emission (CO<sub>2</sub> udledning) på 6,3 tons CO<sub>2</sub>/ha/år i pæreplantager. Dvs. opbygning af C i træmassen kan ikke medføre en netto binding af CO<sub>2</sub>.

Da skønnet er baseret på få studier, og kun et europæisk, må det anføres at det samlede skøn for et tal er ret usikkert, men det vurderes at være sandsynligt at C balancen er negativ.

En gennemsnitlig netto emission på 6,3 tons CO<sub>2</sub>/ha/år anføres for pære. Forventet levetid af plantagen 20 år. Total CO<sub>2</sub> emission for 20 år er 126 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha.

### 3.5 Sødkirsebær

I evaluering af data her er det afgørende om overdækning af kirsebær benyttes. Boschiero et al (2018) angiver emission for traditionelle haglnet plast overdækningssystemer på omkring 700 kg CO<sub>2</sub> ækv/ha. mens andre systemer (Keep in touch system©) kan have emissioner op til 1500 kg CO<sub>2</sub> ækv/ha. I moderne midt- og nordeuropæisk produktion af sødkirsebær er overdækning mod regn i høsttiden og eller haglnet afgørende for at sikre kvalitet og leveringsevne og vurderes at være det almindeligste system i Danmark ved nyplantning. Emissions belastningen skal ses i lyset af dette.

**Clune et al (2017)** fandt i meta review af sød- og surkirsebær (4 studier) en gennemsnitlig emission på 0,48 ±0,40 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt afgrænset til 'Cradle to regional distribution centre'. Emissioner varierede fra 0,26 til 0,88 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt forskellige studier. Der angives i litteratur frugt udbytter i sødkirsebær fra ca. 6 til 20 tons/ha. Hvis 0,48 kg CO<sub>2</sub>/kg frugt omregnes til kg CO<sub>2</sub>/ha ved 20 tons frugtudbytte/ha = 0,48 \*20000 = 9,6 tons CO<sub>2</sub>/ha/år (192 tons CO<sub>2</sub> for 20 år).

**Svanes og Johnsen (2019)** undersøgte CO<sub>2</sub> emissioner i sødkirsebær i Norge for plantagedelen (Cradle to farmgate) og beregnede emissioner på 0,3 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg sødkirsebær frugt. Plantagen havde 1480 træer/ha og der anføres generelle udbytter på gns. kun 0,39 tons/ha. Omregnes CO<sub>2</sub>/kg frugt til CO<sub>2</sub>/ha får man en emission på 0,117 tons CO<sub>2</sub>/ha. Udbyttet/ha er her meget lavere end i andre lande og emissionen/ha forventes ikke at være repræsentativ for andre lande. Plantagen var overdækket med plast og dette var inkluderet i beregningen af emissioner.

**Tassielli et al (2018)** undersøgte sødkirsebærplantage i Italien med lav plantetæthed, et traditionel dyrkningssystem og forventet 25 års levetid (5 år start fase lidt frugt – 20 års fuld bæring). Udbyttet var samlet på 160 tons frugt i hele 25 års perioden, dvs. gennemsnitlig 6,4 tons frugt/år (i fuld bæring 8 tons/år). For plantageproduktionsfasen estimerer han 0,20 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt. Ved et udbytte på 8 tons/ha i fuld bæring kan man beregne emissionen per areal til 1,612 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha. Han finder at bidraget til CO<sub>2</sub> emissionen over tid er langt størst i den periode hvor plantagen giver fuldt udbytte, dvs. fra alderen 6 til 25 år, hvor operationelle indsatser og ressource forbrug er størst. Han anfører at plantageproduktionsfasen udgør ca. 50 % af total GWP CO<sub>2</sub> aftryk inklusiv transport og industriel forarbejdning.

**Tricase et al (2017)** Beskriver sødkirsebær plantagesystem i Italien som senere er analyseret af Rana et al (2019). Beskriver systemet men angiver kun få data og ingen CO<sub>2</sub> emissioner. Har detaljer af type input i forskellige faser. Angiver frugt høst samlet i 20 års levetid på 228 tons/ha. Afvikling af plantagen anføres at give 190 tons træbiomasse/ha til brændeformål.

**Rana et al (2019)** undersøgte NECB i Italienske traditionelle sødkirsebær plantager med 3 x 5 m planteafstand. Analyserer NECB ændringer med alder af plantage og i relation til produktivitet. Der er ikke indregnet CO<sub>2</sub> emissioner fra en række pasningsfaktorer og tallene er derfor mest interessant i forhold til opbygning af C i stående vedmasse.

I ungdomsfase anføres en negativ NECB balance, idet der frigøres mere C fra respiration i jord end der netto bindes i ny plantevækst og frugt. I ældre plantager i fuld bæring er pasningsindsatsen meget større pga. af høj sætning. Studiet angiver omsætning og NECB for tre faser i levetiden af plantagen på 20 år, år 1-3 (ingen frugt), år 4-6 (lav-mellem frugtsætning og fuld bæring fra 6 til 20 år (fuld sætning)). De anfører negativ NECB (CO<sub>2</sub> udledning) for de to første faser og positiv NECB i 3. fase.

Samlet for 20 års levetid var NECB 63,418 tons C/ha (3,117 tons C/ha/år gennemsnitligt), vedmasse totalt 32,678 tons C/ha (1,633 tons C/ha/år); Rodmasse total 16,105 tons/ha (0,805 tons C/ha/år).

Netto akkumulering af C i stående vedmasse (top og rod) er på 48,44 tons efter 20 år (179 tons CO<sub>2</sub>/ha) (øgning af træbiomassen med 2,44 tons C/ha/år gennemsnitligt svarende 8,9 tons CO<sub>2</sub>/ha/år), og udgør sammen med øget C i jord normalt den akkumulerede lagrede C pulje i frugt plantager. Det akkumulerede respirationstab var 62,12 tons C/ha og eksport af frugt var 17,460 tons C/ha. Omregnet til CO<sub>2</sub> emission bliver NECB (3,667 x 3,117 tons/ha = 11,4 tons CO<sub>2</sub> ækv/ha/år,

**Bravo et al (2017)** Fandt CO<sub>2</sub> emission for sødkirsebær i Chile fra Cradle to farmgate på 0,41 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt høstet. Forbrug af diesel og gødning havde størst impact. Detaljer i system ikke beskrevet og udbytter ikke angivet.

**Audsley et al (2009)**, (i Tassielli et al 2018) fandt for sødkirsebær i England en CO<sub>2</sub> emission på 0,32 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt, og sammenlignede med EU produktion med et gennemsnit på 0,43 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt, og produktion Ikke Europæiske lande på 0,88 kg CO<sub>2</sub> ækv/kg frugt. Emissioner er ikke angivet pr ha.

### 3.5.1 Sammendrag sødkirsebær

Forskelle i CO<sub>2</sub> aftryk per kg frugt afhænger meget af udbytteneiveauet, der ofte angives fra ca. 7 tons/ha/år til over 20 tons/ha i sødkirsebær og desuden af mængden og typen af gødningsstoffer samt energi til maskinelle operationer.

Nyplantning af danske sødkirsebærplantager forventes at svare til intensive europæiske systemer med ret høj plantetæthed (2 x 4 m) eller tættere og udbytter mellem 10 og 20 tons/ha. Med baggrund i gns. emission fra Clune et al (2017) og beregning pr ha ud fra skønnede udbytter (10 eller 20 tons/ha) forventes heraf en netto emission på mellem 4,8 til 9,6 tons CO<sub>2</sub>/ha/år og samlet 96 -192 tons CO<sub>2</sub> for 20 år. Det er ikke angivet i Clune et al (2017) at akkumulering af C i stående biomasse er indregnet i C balancer for de indgående studier, det formodes derfor at den ikke er indregnet. Akkumulering af C i den stående biomasse som opgjort af Rana et al (2019) svarende til binding af 8,9 tons CO<sub>2</sub>/ha/år eller samlet 179 tons/ha i 20 år vil potentielt kunne udligne noget af den anførte emission fra LCA analyser hos Clune et al (2017) og gøre plantagedelen næsten neutral i CO<sub>2</sub> udledning for sødkirsebær. Det vurderes at planteafstanden, træstørrelsen og tilvækst pr år i træbiomassen i Rana et al (2019) er større end i typiske moderne danske

intensive sødkirsebær plantager og at opbygningen af træbiomassen derfor er mindre i danske plantager. Her vurderes derfor samlet derfor samlet at plantagefasen for sødkirsebær er neutral for CO<sub>2</sub>, dvs. hverken netto binding eller udledning. Antagelsen er behæftet med en stor usikkerhed, da der kun er fundet få studier (herunder et studie af surkirsebær indblandet i Clune et al studie), da baggrundsdata og metodisk baggrund ikke er velbeskrevet og kun et enkelt studie med opbygning af C i træmassen er fundet. Levetiden forventes at være 20 år, men sødkirsebær er dog mere udsat for sygdomme end f.eks. æbler, som kan forkorte levetiden, så 20 år må anses for lidt usikker men er anvendt i flere undersøgelser.

Sødkirsebær plantager ansættes til at være CO<sub>2</sub> neutral (ingen netto binding eller emission). Levetiden ansættes til 20 år. Samlet klimaeffekt er 0.

## 3.6 Blommer

Kun et studie er fundet i blommer. **Svane og Johnsen (2019)** fandt en emission på 0,52 kg CO<sub>2</sub>/kg frugt i plantagedelen i Norske blommeplantager. Blommetræer plantes på større afstand end æbler, da der er øget risiko for sygdomme som spreder sig i plantagen. Blommer er plantet med 1670 træer/ha. Udbyttet angives som 2,77 tons frugt/ha fra norske kommercielle arealer. Omregnes CO<sub>2</sub>/kg frugt til CO<sub>2</sub>/ha med udbyttet på 2,77 tons/ha får man en emission på 1,44 tons CO<sub>2</sub>/ha/år og 28,8 tons CO<sub>2</sub>/20 år ved 20 års levetid af plantagen. Svane og Johnsen (2019) anfører 20 års levetid i blommer. Opbygning af stående C i vedmasse i blommer er ikke beskrevet.

### 3.6.1 Sammendrag blomme

Med baggrund i at der kun er fundet et studie og ingen data for opbygning af C i træbiomassen er det ikke muligt at foretage en samlet vurdering af om blommeplantager kan have en netto binding af CO<sub>2</sub> eller de har en emission af CO<sub>2</sub>.

#### Binding og lagring af CO<sub>2</sub> i frugtplantager af æble, pære, sødkirsebær og blommer

Formål: At binde og lagre CO<sub>2</sub> i træmasse og jorden i frugtplantager af æble, pære, sødkirsebær og blommer

Anvendelse: Frugtavl med æble, pære, sødkirsebær og blommer

Teknologi: Etablering, dyrkning og afvikling af frugtplantager med henblik på midlertidig binding og lagring af CO<sub>2</sub>

Levetid: 20 år

Miljøeffekt: Æble ( emission af 0,9 tons/CO<sub>2</sub>/ha/år ), pære ( netto emission af 6,3 tons CO<sub>2</sub>/ha/år ), kirsebær ( 0 ), blomme ( ukendt )

Miljøeffekt i teknologiens levetid: Æble ( emission af 18 tons CO<sub>2</sub>/ha ), pære ( emission af 126 tons CO<sub>2</sub>/ha ), kirsebær ( 0 ), blomme ( ukendt )

## 3.7 Frugtbuske

Frugtbuske i Danmark omfatter en række arter (data fra 2021, Håndbog for frugt og bæravlere, Hortiadvice), Solbær (330 ha), ribs (132 ha), hybenrose (111 ha), storfrugtet blåbær (97 ha), stikkelsbær (42 ha), surbær (38 ha), havtorn (36 ha), hindbær (27 ha), brombær (2 ha). I nogle tilfælde omtales hyld, hassel også som buske, men da væksten oftest bedre karakteriseres som mindre træer, medtages de ikke her under frugtbuske.

De forskellige arter af frugtbuske har forskellige vækstform og opnår typisk forskellige buskstørrelser. Surbær, havtorn og hybenroser kan blive tætte buske op til 2-3 m højde, mens solbær, ribs og stikkelsbær er mindre buske fra 1 - 1,5 m højde. Brombær og hindbær har toårige skud, hvor 2. årsskuddet efter blomstring og frugtsætning dør væk. Forskellene i vækst, beskæring og pasning gør at det ikke vurderes relevant at beskrive alle frugtbuske under ét. Kun produktion på friland er omfattet her, og ikke tunnel produktion.

Der er fundet ganske få internationale eksempler på beregning af CO<sub>2</sub> aftryk fra bærproduktioner (og ingen fra Danmark).

### 3.7.1 CO<sub>2</sub> aftryk pr kg bær og pr ha.

I New Zealand blev solbær til IQF (individual quick frozen) bær undersøgt og ud af det samlede CO<sub>2</sub> aftryk inklusiv, processering, køling, lagring og transport til nærmarkeder på 0,6 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg solbær udgjorde produktionsfasen i plantagen 39 %, dvs. 0,234 kg CO<sub>2</sub> ekv /kg solbær (Hume et al., 2010).

Audsley et al (2009) listede CO<sub>2</sub> aftryk fra udvalgte afgrøder/produkter produceret i England, herunder solbær og stikkelsbær (0,84 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg bær), hindbær og andre bær (0,84 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg bær) og for importerede storfrugtede blåbær og tranebær til England (1,39 kg CO<sub>2</sub> ekv /kg bær). Hvis 0,84 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg bær fra Engelsk produktion anvendes til et skøn og udbyttet pr ha i Danmark anslås til gennemsnitlig 5 tons solbær/ha fås et skønnet aftryk pr ha på 4200 kg CO<sub>2</sub> ekv/ha/år. Lignende tal skønnes for ribs.

Perez et al (2022) fandt et carbon footprint på mellem 0,32 kg og 1,66 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg blåbær hos mindre avlere i Nordlige Spanien og refererer andre resultater fra Chile (Cordes et al 2016) på mellem 0,23 kg til 1,22 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg blåbær (gennemsnitlig 0,44 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg blåbær) og Girgenti et al. (2013) fra Italien på 0,18 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg blåbær (farmgate). Plantagerne i Perez et al (2022) havde udbytter på fra 2500 kg/ha til 6000 kg blåbær/ha og aftryk/ha kan beregnes til mellem 747 kg CO<sub>2</sub> ekv/ha til 2106 kg CO<sub>2</sub> ekv/ha. Cordes et al (2016) fandt ud fra variation i udbytter mellem plantager at aftrykket/ha var fra ca. 2500 kg CO<sub>2</sub> ekv/ha/år til over 7000 kg CO<sub>2</sub> ekv/ha/år.

For hindbær fandt Vasquez-Ibarra et al. (2021) et aftryk på gns 0,52 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg hindbær (35 plantager), Peano et al. (2015) 0,42 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg hindbær og Girgenti et al. (2013) kun 0,13 kg CO<sub>2</sub> ekv/kg hindbær.

Kun for hindbær i Chile var tallet omregnet pr ha og den gennemsnitlige CO<sub>2</sub> aftryk/ha fra 35 plantager var på 4000 kg CO<sub>2</sub> ekv/ha/år, hvor gennemsnittet dækker over en meget stor variation (Vasquez-Ibarra et al., 2021).

### 3.7.2 Opbygning af kulstof i bærplantagen.

Frugtbuske som solbær, ribs og blåbær når ofte fuld bærproduktivitet efter 4-7 års dyrkning hvorefter foryngelses-udtynding og -beskæring betyder at buskenes grenantal, busk højde og dermed biomasse ikke øges markant derefter. Dvs. efter starttilvækst i de første år forventes den årlige øgede akkumulering af kulstof i stående biomasse både top og i rod at være meget lav i resten af plantagens driftsperiode på skønnet 15 -20 år afhængig af art. Afskårne grene bliver oftest på arealet, knuses og nedmuldes til kompostering i marken. Denne biomasse omsættes i løbet af få år og bunden kulstof frigøres derfor over få år og forventes kun at bidrage marginalt til akkumulering af kulstof i jorden.

I Gyldenkærne et al (2005) er den stående biomasse i henholdsvis solbær og andre bærbuske estimeret ud fra modellerede data (4500 solbær buske/ha, busk højde 1 m, sum af stammediametre mv), og de skønnede en stående biomasse på 4,19 tons/ha og med 50 % kulstof indhold et skøn på 2,09 tons kulstof/ha svarende til 7,66 tons CO<sub>2</sub> ekv/ha. Hvis levetiden skønnes til 15 år vil den gennemsnitlige binding af CO<sub>2</sub> /ha/år være 0,51 tons/CO<sub>2</sub> ekv/ha /år. Det samme tal er skønnet for øvrige bærafgrøder i Gyldenkærne et al (2005).

Dvs. opbygning af CO<sub>2</sub> i biomassen på 0,51 tons/CO<sub>2</sub> ekv/ha/år er meget lavere end CO<sub>2</sub> emissionen/ha/år i plantageproduktionen på 4,2 tons/ha/år i solbær og 4 tons/ha/år i hindbær jævnfør ovenstående resultater og også for blåbær med emissioner på mellem 2,5 og 7 tons CO<sub>2</sub> ekv/ha/år.

### 3.7.3 Konklusion

Det vurderes derfor samlet at der for etablering og dyrkning af frugtbuske inklusiv den akkumulerede stående biomasse ikke vurderes at være en netto CO<sub>2</sub> binding i plantagerne, men i stedet en netto CO<sub>2</sub> emission.

På grund af de store variationer mellem plantager i undersøgelserne og mellem frugtbuskearterne og generelt få undersøgelser, er angivelse af en gennemsnitlig emission pr år eller over en hel levetid for frugtbuske plantager generelt ikke relevant.

## Referencer

- Alaphilippe, A., Boissy, J., Simon, S., & Godard, C. (2016). Environmental impact of intensive versus semi-extensive apple orchards: use of a specific methodological framework for Life Cycle Assessments (LCA) in perennial crops. *Journal of Cleaner Production*, 127, 555-561.
- Audsley, E., Brander, M., Chatterton, J. C., Murphy-Bokern, D., Webster, C., & Williams, A. G. (2010). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system end and the scope to reduce them by 2050. Report for the WWF and Food Climate Research Network. Online: [https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/6503/How\\_Low\\_can\\_we\\_go-Report-2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/6503/How_Low_can_we_go-Report-2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Accessed on 1 august 2022.
- Boschiero, M., Casera, C., & Kelderer, M. (2018). Carbon footprint of innovative plastic covers used as insect and pest control system in organic apple orchards. In *Proceedings of the 18th International Conference on Organic Fruit-Growing* (pp. 71-77).
- Bravo, G., López, D., Vásquez, M., & Iriarte, A. (2017). Carbon Footprint Assessment of Sweet Cherry Production: Hotspots and Improvement Options. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(2).
- Cerutti, A. K., Bruun, S., Donno, D., Beccaro, G. L., & Bounous, G. (2013). Environmental sustainability of traditional foods: the case of ancient apple cultivars in Northern Italy assessed by multifunctional LCA. *Journal of Cleaner Production*, 52, 245-252.
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766-783.
- Cordes, H., Iriarte, A., & Villalobos, P. (2016). Evaluating the carbon footprint of Chilean organic blueberry production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(3), 281-292.
- Davis, J. (2011). Emissions of greenhouse gases from production of horticultural products: Analysis of 17 products cultivated in Sweden. Report SR828, SIK Institutet för livsmedel och bioteknik, Sweden..
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., de Cortazar-Atauri, I. G., Launay, M., Ripoche, D., ... & Lescourret, F. (2018). Analyzing ecosystem services in apple orchards using the STICS model. *European Journal of Agronomy*, 94, 108-119.
- Figueiredo, F., Castanheira, É. G., Feliciano, M., Rodrigues, M. Â., Peres, A. M., Maia, F., ... & Freire, F. (2013). Carbon footprint of apple and pear: orchards, storage and distribution. *Energy for Sustainability 2013. Sustainable Cities: Designing for People and the Planet*, 1-5. Coimbra, Portugal.
- Girgenti, V., Peano, C., Bounous, M., & Baudino, C. (2013). A life cycle assessment of non-renewable energy use and greenhouse gas emissions associated with blueberry and raspberry production in northern Italy. *Science of the Total Environment*, 458, 414-418.
- Goossens, Y., Annaert, B., De Tavernier, J., Mathijs, E., Keulemans, W., & Geeraerd, A. (2017). Life cycle assessment (LCA) for apple orchard production systems including low and high productive years in conventional, integrated and organic farms. *Agricultural Systems*, 153, 81-93.
- Gyldenkærne, S., Münier, B., Olsen, J.E., Olesen, S.E., Petersen, B.M. & Christensen, B.T. 2005: Opgørelse af CO2-emissioner fra arealanvendelse og ændringer i arealanvendelse. LULUCF (Land Use, Land

- Use Change and Forestry). Metodebeskrivelse samt opgørelse for 1990 – 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 81 s. – Arbejdsrapport fra DMU nr. 213. <http://arbejdsrapporter.dmu.dk>.
- Hume, A., Mithraratne, N., Sinclair, R.J., Snelling, C., Deurer, M., Barber, A., East, A. 2010. "Greenhouse gas footprinting and berryfruit production: blackcurrant project summary". Landcare Research Contract Report LC0020 prepared for the Ministry of Agriculture and Forestry Sustainable Farming Fund and Blackcurrants NZ Ltd, and the New Zealand Boysenberry Council, Wellington, New Zealand.
- Jo, H., Kim, J., & Park, H. (2016). Effects of pear orchards on carbon reduction. *Journal of the American Pomological Society*, 70(2), 63-73.
- Keyes, S., Tyedmers, P., & Beazley, K. (2015). Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 104, 40-51.
- Liu, Y., Langer, V., Høgh-Jensen, H., & Egelyng, H. (2010). Life cycle assessment of fossil energy use and greenhouse gas emissions in Chinese pear production. *Journal of Cleaner Production*, 18(14), 1423-1430.
- Page, G., Kelly, T., Minor, M., & Cameron, E. (2011). Modeling carbon footprints of organic orchard production systems to address carbon trading: an approach based on life cycle assessment. *Hortscience*, 46(2), 324-327.
- Peano, C., Baudino, C., Tecco, N., & Girgenti, V. (2015). Green marketing tools for fruit growers associated groups: Application of the Life Cycle Assessment (LCA) for strawberries and berry fruits ecobranding in northern Italy. *Journal of Cleaner Production*, 104, 59-67.
- Pérez, R., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2022). Environmental behaviour of blueberry production at small-scale in Northern Spain and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 339, 130594.
- Rana, R. L., Andriano, A. M., Giungato, P., & Tricase, C. (2019). Carbon footprint of processed sweet cherries (*Prunus avium* L.): From nursery to market. *Journal of Cleaner Production*, 227, 900-910.
- Scandellari, F., Caruso, G., Liguori, G., Meggio, F., Palese, A. M., Zanutelli, D., ... & Tagliavini, M. (2016). A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *Eur. J. Hort. Sci.*, 81(2), 106-114.
- Svanes, E., & Johnsen, F. M. (2019). Environmental life cycle assessment of production, processing, distribution and consumption of apples, sweet cherries and plums from conventional agriculture in Norway. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117773.
- Søndergaard, A.H. (2022) Allometric on and Carbon Storage Quantification in Apple Trees. Master thesis, University of Copenhagen, Department of Plant and Environmental Sciences.
- Tagliavini, M. and Zanutelli, D. (2020) The carbon footprint of the apple. PPT PDF. Bozen-Bolzano, Interpoma Congress 2022. UNIBZ, Faculty of science and Technology. [https://treeecophysiology.unibz.it/wp-content/uploads/2021/03/Interpoma-2020-Tagliavini\\_Zanutelli\\_website-version.pdf](https://treeecophysiology.unibz.it/wp-content/uploads/2021/03/Interpoma-2020-Tagliavini_Zanutelli_website-version.pdf). Accessed 1 august 2022.
- Tassielli, G., Notarnicola, B., Renzulli, P. A., & Arcese, G. (2018). Environmental life cycle assessment of fresh and processed sweet cherries in southern Italy. *Journal of Cleaner Production*, 171, 184-197.

- Tricase, C., Rana, R., Andriano, A. M., & Ingraio, C. (2017). An input flow analysis for improved environmental sustainability and management of cherry orchards: a case study in the Apulia region. *Journal of Cleaner Production*, 156, 766-774
- Vásquez-Ibarra, L., Iriarte, A., Rebolledo-Leiva, R., Vásquez, M., Angulo-Meza, L., & González-Araya, M. C. (2021). Considering the influence of the variability in management practices on the environmental impacts of fruit production: A case study on raspberry production in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127609.
- Vinyes, E., Asin, L., Alegre, S., Muñoz, P., Boschmonart, J., & Gasol, C. M. (2017). Life Cycle Assessment of apple and peach production, distribution and consumption in Mediterranean fruit sector. *Journal of Cleaner Production*, 149, 313-320.
- Vinyes, E., Asin, L., Alegre, S., Gasol, C. M., & Muñoz, P. (2018). Carbon footprint and profitability of two apple cultivation training systems: Central axis and Fruiting wall. *Scientia Horticulturae*, 229, 233-239.
- Wang, J., Zhang, L., He, X., Zhang, Y., Wan, Y., Duan, S., ... & Shi, X. (2020). Environmental mitigation potential by improved nutrient managements in pear (*Pyrus pyrifolia* L.) orchards based on life cycle assessment: A case study in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121273.
- Wu, T., Wang, Y., Yu, C., Chiarawipa, R., Zhang, X., Han, Z., & Wu, L. (2012). Carbon sequestration by fruit trees-Chinese apple orchards as an example. *PloS one*, 7(6), e38883.
- Yan, M., Cheng, K., Yue, Q., Yan, Y., Rees, R. M., & Pan, G. (2016). Farm and product carbon footprints of China's fruit production—life cycle inventory of representative orchards of five major fruits. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), 4681-4691.
- Zanotelli, D., Montagnani, L., Manca, G., Scandellari, F., & Tagliavini, M. (2015). Net ecosystem carbon balance of an apple orchard. *European Journal of Agronomy*, 63, 97-104.