

Fokus på klima- og bæredygtighedsopgørelser samt virkemidler, der understøtter landbrugsbedriftens grønne omstilling.

Udgivet 12. december 2023

Drivhusgasopgørelser for grøntsagsafgrøder på mark- og produktniveau

Andreas Jensen, Seniorrådgiver, SEGES Innovation P/S

Indledning og formål

Projektet "Fokus på klima- og bæredygtighedsopgørelser samt virkemidler, der understøtter landbrugsbedriftens grønne omstilling" sigter efter at styrke landbrugsbedriftens handlemuligheder i forhold til at levere på den grønne omstilling. At kunne beregne og oplyse om klimaaftryk fra bedriftens produkter er en vigtig del af dette, bl.a. for at muliggøre at landmanden kan arbejde målrettet på at sænke sine produkters klimaaftryk, og for at kunne oplyse aftagere om produktets klimaprofil. Det at kunne dokumentere et landbrugsprodukts klimaaftryk forventes at blive en konkurrenceparameter, da virksomheder oplever stadigt større krav til at kunne dokumentere klimaaftryk fra hele deres produktkæde.

Formålet med dette notat er at beskrive hvordan klimaaftrykket fra produktionen af danske grøntsager kan opgøres på produktniveau. Som led heri vil der blive redegjort for den danske grøntsagsproduktion, kilderne til drivhusgasudledninger, samt forskellige anvendelige retningslinjer for klimaopgørelser. Der vil også blive redegjort for hvilke bedriftsaktivitetsdata, der kan forventes at være tilgængelige, og hvilke data til beregningerne, som må bero på standardtal eller findes i den videnskabelige litteratur.

Baggrund

Karakteristik af grøntsagsproduktion i Danmark

Det samlede areal med grøntsager i Danmark var i 2022 11.182 hektar, og de mest udbredte grøntsagsafgrøder var gulerødder, løg, salat og spidskål/savoykål (Landbrugsstyrelsen, 2022). Grøntsagsproduktionen udgør under 1 % af det samlede danske landbrugsareal (Danmarks Statistik, 2023), men værdien af produktionen er høj pr. hektar sammenlignet med andre landbrugsafgrøder (Møllenberg & Larsen, 2019). Dyrkning af grøntsagsafgrøder i Danmark er højspecialiseret. En stor del af markedet dækkes af store, specialiserede producenter, og i 2019 fandtes mere end halvdelen af det dyrkede areal med frilandsgrøntsager på de 25 største bedrifter ud af samlet set 787 registrerede bedrifter med frilandsgrøntsager (Møllenberg & Larsen, 2019). Produktionen afsættes primært på det hjemlige marked (Møllenberg & Larsen, 2019), og sammenlignet med andre afgrødekategorier er der en høj andel af økologisk produktion for de enkelte afgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2022).

På de specialiserede brug foregår produktionen typisk med intensiv jordbearbejdning, høj gødskningsstildeling, hyppig ukrudtsbekæmpelse, stor grad af manuelt arbejde ved høst og evt. lugning, samt mulighed for hurtig nedkøling og pakning efter høst.

Kilder til drivhusgasser fra grøntsagsproduktion

Som ved andre fødevarer stammer en stor del af grøntsagers klimaaftryk fra selve dyrkningen og de nødvendige input hertil (Poore & Nemecek, 2018). De største bidrag til grøntsagers klimabelastning stammer fra lattergasudledning fra både den store mængde gødning samt den store mængde kvælstofrige afgrøderester fra særligt kålafgrøder. Derudover er der et højt brændstofforbrug pga. mange overkørsler i marken, samt evt. opvarmet produktion af småplanter til udplantning. Hvis der kræves klimakontrolleret sæsonlagring af afgrøden indtil salg, kan dette også bidrage til den samlede klimabelastning.

Guidelines og standarder til beregning af klimaaftryk

En beregning af klimaaftryk på produktniveau for grøntsager kan foretages efter internationale retningslinjer (guidelines), hvor fremgangsmåde, systemafgrænsning og regler for allokering af aftryk ved multifunktionelle processer er beskrevet. De enkelte guidelines kan være mere eller mindre detaljerede, og have mere eller mindre specifikke krav til modelleringen. Fælles for dem alle er, at de tager udgangspunkt i ISO 14040 og 14044-standarderne, som beskriver hvordan en livscyklusanalyse bør udføres (International Standard Organization, 2006). Eksempler på guidelines til at udregne produktaftryk er Greenhouse Gas Protocol Product Standard (Bhatia et al., 2011), PAS 2050 med tillægget PAS 2050-1 specifikt for hortikultur (British Standard Institute, 2011), Product Environmental Footprint (PEF) (The European Commission, 2021), her opremset efter hvor specifikke anvisninger til modelleringen de angiver, fra mest generelt til mest specifikt.

Beregning af selve dyrkningens udledninger af drivhusgasser er anvist af Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) i reglerne for afrapporteringen af territorialaftryk, hvilke blev revideret i 2019 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). IPCC angiver overordnede retningslinjer og beregningsmetoder, men tilskynder til at de enkelte lande foretager mere detaljerede og specifikke modelberegninger for at bestemme udledningerne. Den anvendte og mere detaljerede metode til at opgøre de danske drivhusgasudledninger er beskrevet i Danmarks nationale drivhusgasopgørelse (Nielsen et al., 2022).

Valg af metode og konkrete anvisninger til beregning af klimaaftryk

For at demonstrere hvordan et produktspecifikt klimaaftryk af grøntsager kan bestemmes er der taget udgangspunkt i afgrøderne salat og løg. Disse er valgt da de repræsenterer afgrøder som hhv. håndhøstes og distribueres umiddelbart efter høst, eller høstes med maskine og lagres på sæsonlager indtil distribution. Disse forskelle i produktkæden kan have betydning for det samlede produktspecifikke klimaaftryk. Der er fokuseret på enårige afgrøder, da disse udgør et langt større landbrugsareal end flerårige grøntsagsafgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2022).

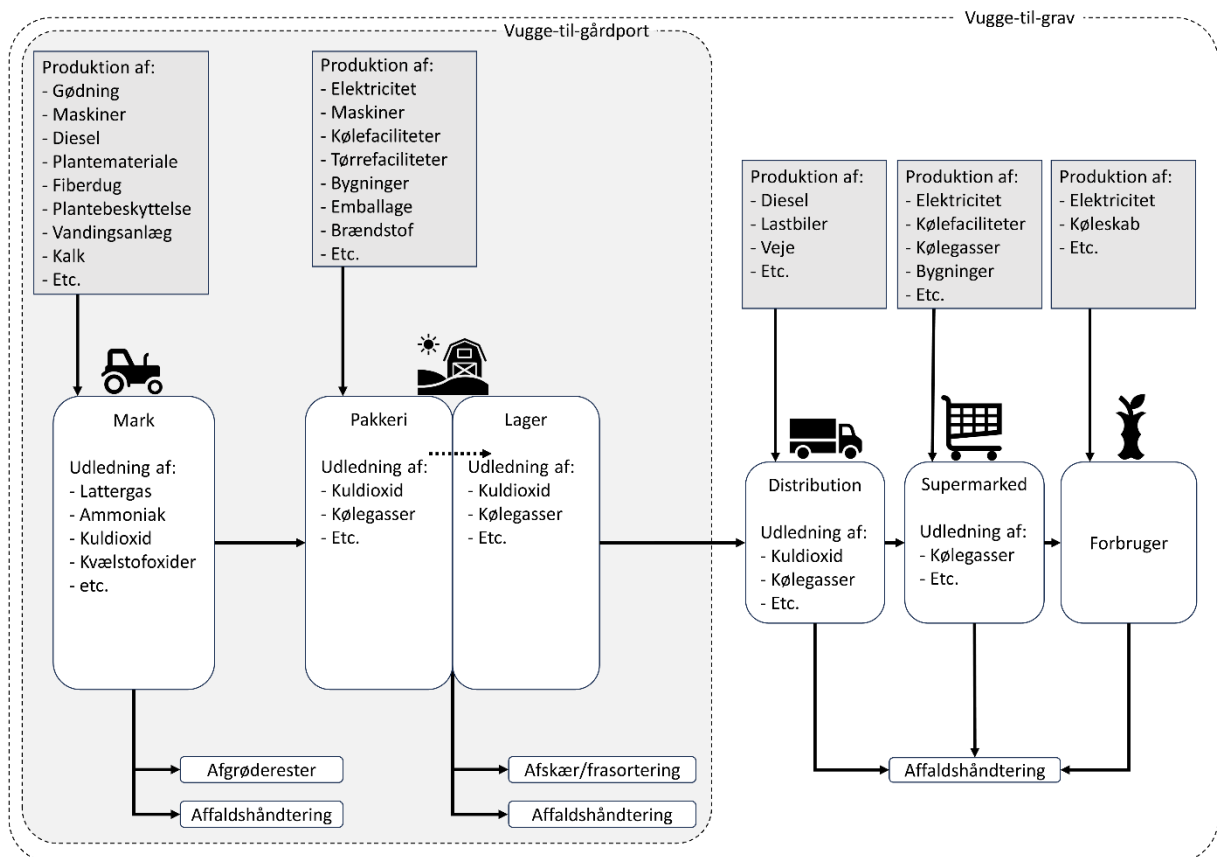
Systemafgrænsning af grøntsagsafgrøder

For de to udvalgte afgrøder er systemafgrænsningen fastsat som vugge-til-gårdport (Figur 1). Disse dele af produktkæden typisk er under grøntsagsproducentens direkte kontrol, og producenten vil derfor kunne iværksætte tiltag til at nedbringe udledningen. I Figur 1 er også vist en afgrænsning fra vugge-til-grav, som er den systemafgrænsning, der dikteres, hvis produktaftrykket skal kortlægges ud fra den europæiske PEF-guideline (The European Commission, 2021). Ud fra producentens perspektiv er det mindre relevant hvad aftrykket fra de senere produktfaser er, selvom alle producenter bør være opmærksom på hvordan deres valg af f.eks. emballage kan påvirke fødevarespild længere nede

af produktkæden, hvilket kan have stor betydning for det samlede aftryk fra vugge-til-grav (Casson et al., 2022).

Bedriftsspecifikke databehov

Det følgende afsnit angiver hvilke data, som der er brug for ved beregning af klimaaftryk for en grøntsagsafgrøde, og som det forventes at producenten har kendskab til for sin produktion.



Figur 1. Systemafgrænsning (vugge-til-gårdport) for opgørelsen af klimaaftryk for salat og løg. Yderligere er vist hvilke dele af produktkæden, som indgår i en systemafgrænsning fra vugge-til-grav, hvilket er påkrævet ifølge bl.a. PEF-guidelinen.

Mark

Klimagasudledninger i marken kommer bl.a. fra lattergasudledninger fra kvælstofgødning og afgrøderester, samt forbrænding af diesel til markoperationer. En oversigt over kilderne til klimagasudledninger fra marken er vist i tabel 1. Beregningerne for udledningen af klimagasser fra marken følger den anviste metode fra IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019).

Tabel 1. Kilder til klimagasudledninger i marken ved grøntsagsproduktion.

Klimagas	Kilde til udledning	Data	Enhed
Lattergas	Handelsgødning	Udbragt mængde	kg N/ha
	Husdyrgødning	Udbragt mængde	kg N/ha
	Kompost, slam, andre organiske gødninger	Udbragt mængde	kg N/ha
	Ammoniak- og kvælstofoxidfordampning fra gødning	Type og mængder af alle udbragte gødninger	kg N/ha per type gødning
	Afgrøderester	Mængden af N i afgrøderester	kg N/ha
	Organiske jorde/kulstofrige lavbundsjarde	Mængden af N mineraliseret fra organiske jorde	kg N/ha
	Jordpuljeforandringer i mineraljord	Forandringen af C i markens jordpulje, samt C:N-forhold	kg N/ha
Kuldioxid	Brændstofforbrug til maskinoperationer	Mængde forbrugt brændstof	kg eller L/ha per type brændstof
	Flammeligugning	Mængde forbrugt gas	kg eller L/ha per type gas
	Organiske jorde/kulstofrige lavbundsjarde	Mængden af kulstof tabt fra jorden ved mineralisering	Kg C mineraliseret/ha
	Jordpuljeforandringer i mineraljord	Forandring af C i markens jordpulje	kg C mineraliseret/ha
	Kalkning	Udbragt mængde	kg CaCO ₃ /ha
	Urea eller anden C-holdig gødning	Udbragt mængde	kg urea/ha

Ud over de direkte udledninger i marken kan der være betydelige bidrag til produktaftrykket af grøntsager, som stammer fra produktionen af input til dyrkningen. For grøntsager knytter disse bidrag sig særligt til produktionen af stiklinger til udplantning, da disse typisk dyrkes i opvarmede væksthuse med sphagnum som voksemedie. Disse udledninger må typisk estimeres ud fra baggrundsdatasæt for udledningen fra produktionen, som så kan kombineres med mængden af anvendt input under dyrkningen. Det er derfor nødvendigt at kende mængden af input til dyrkningen, her benævnt aktivitetsdata. En ikke-udtømmende liste over de vigtigste aktivitetsdata er angivet i tabel 2. Bemærk dog, at listen i tabel 2 ikke er udtømmende, da lokale dyrknings- og forvaltningsvalg kan variere, og derfor nødvendiggøre anden aktivitetsdata. For grøntsager med flere hold afgrøder per år kan aktivitetsdata enten opgøres samlet for sæsonen, eller pr. hold.

Tabel 2. Liste over nødvendige aktivitetsdata for dyrkningen til bestemmelse af produktaftryk for grøntsager. Listen er ikke udtømmende, men angiver de mest almindelige aktivitetsdata for dyrkningen af grøntsager.

Input til dyrkning	Data	Enhed
Mineralsk gødningsproduktion	Mængde udbragt, og type	kg N, P og K/ha per type
Organisk gødningsproduktion (inkl. kompost)	Mængde udbragt, og type	kg N, P og K/ha per type
Kalk	Gennemsnitlig mængde udbragt per år	kg CaCO ₃ /ha per år
Udplantningsplanter/så-sæd	Antal udplantet/mængde sået samt substratsammensætning for udplantningsplanter.	Plantetal, eller kg udsæd/ha. Substratets sammensætning i andele pr. kg tørvægt af substratet.
Markoperationer (input af diesel, maskiner og opbevaringsplads)	Liste med markoperationer fra såning til såning af efterfølgende hovedafgrøde	Antal af hver enkelt maskinoperation i dyrkningen
Plantebeskyttelsesmidler	Mængde udbragt, og typer anvendt	kg aktivt stof pr. hektar per type
Fiberdug og insektnet	Om fiberdug og insektnet anvendes, og hvor mange gange disse genbruges (antal afgrøder som kan afdækkes med det samme stykke fiberdug eller insektnet)	Dækket areal eller kg/ha delt med antal afgrøder det genbruges til.
Gas til flammeligugning	Mængden og typen af gas forbrugt til lugning	kg gas forbrugt/hektar
Vandingsvand	Mængden af vandingsvand samt drivmiddel til pumpen	m ³ vandingsvand/ha eller mm

Ud over aktivitetsdata er der også brug for oplysninger om det potentielle og det realiserede udbytte fra marken. Det er typisk for håndhøstede afgrøder til frisk konsum, at det ikke er alle udplantede planter, som høstes. Skæreprocenten for en afgrøde angiver andelen af udplantede planter, som høstes, og beregnes som angivet nedenfor.

$$\frac{\text{antal høstede hoveder per hektar}}{\text{antal udplantede planter per hektar}} = \text{skæreprocent}$$

Skæreprocenten påvirker produktets klimaaftryk på to måder; jo højere skæreprocent, des flere produktenheder er der at fordele det samlede klimaaftryk på, og jo færre afgrøderester er der efterladt i marken, som bidrager til lattergasudledning. En høj skæreprocent bidrager derfor til et lavere produktaftryk, og en øgning i skæreprocent vil have betydning for det samlede klimaaftryk.

For at kunne udregne et klimaaftryk pr. kg produkt, samt mængden af afgrøderester fra uhøstede hoveder, skal vægten per høstet hoved også rapporteres.

Hvis en afgrøde høstes maskinelt i sin helhed, f.eks. gulerødder eller løg, er skæreprocent ikke relevant, men hvis der frasorteres og efterlades afgrøder i marken ved høst, skal mængden af spild per hektar herfra kendes, da dette spild skal medregnes som afgrøderester.

Pakkeri og lager

Hurtig og effektiv køling af friskhøstet grønt, samt pakning og lagring er en vigtig del af produktkæden for grøntsager. Disse led sikrer høj kvalitet når produktet når frem til forbrugeren.

Brugen af elektricitet til køling udgør det primære bidrag til klimaaftrykket fra pakkeri og lager, især for afgrøder som lægges på sæsonlager, f.eks. løg. Tabel 3 angiver de nødvendige aktivitetsdata for at beregne bidraget til klimaaftrykket fra pakkeri- og lagerprocesserne. Det generelle princip er at fordele det totale ressourceforbrug til pakkeri og lager ud over den mængde grønt som der behandles. Det er selvfølgelig kun de grøntsager som er omfattet af den enkelte proces, f.eks. vask, der skal indgå i opgørelsen for den enkelte proces.

Tabel 3. Liste over nødvendige aktivitetsdata for pakkeri og lager til bestemmelse af produktaftryk for grøntsager. Listen er ikke udtømmende, men angiver de mest almindelige aktivitetsdata for dyrkningen af grøntsager.

Input til pakkeri og lager	Data	Enhed
Kølefaciliteter i pakkeri	Type af køleteknologi, samt elforbrug. Type af kølemiddel, samt årlig mængde påfyldt kølemiddel	kWh eller MJ/ kg grønt. Kg kølemiddel påfyldt/kg grønt pr. år
Lagerfaciliteter i pakkeri	Type af lagerteknologi, samlet energiforbrug til lagring og evt. tørring fra indlagring til tømt lager, samt kapacitet af lager.	kWh elektricitet forbrugt/kg pr. sæson Evt. type af brændstof til tørring og forbrug pr. sæson
Afskær i pakkeri	Mængden af afskær for afgrøden i pakkeri, samt videre behandling af afskær	Kg afskær/kg grønt
Vaskefaciliteter i pakkeri	Vand- og elforbrug til vask	m ³ vand/kg grønt, og kWh/kg grønt
Lagertab	Andelen af tabt afgrøde under lagring, samt videre behandling af lagertab	Kg udtaget grønt/kg indlagret grønt
Emballage	Mængde og type af indpakning	kg emballage/kg grønt per type emballage (pap, PET, PP, etc.)

Produktionsaftryk af indkøb til bedriften fra sekundære kilder

Det kan ikke forventes at grøntsagsproducenter kan oplyse klimaaftrykkene fra produktionen af de nødvendige indkøb til produktionen, som f.eks. brændstof eller udplantningsplanter. Disse data må derfor findes i databaser, den videnskabelige litteratur, eller på andre måder anslås eller beregnes. Kilder, som oplyser klimaaftryk fra produktionen af typiske indkøb til bedriften er angivet i tabel 4.

Tabel 4. Oversigt over anvendelige kilder til klimaaftryk fra produktionen af input til grøntsagsproduktion.

Produktion af	Beskrivelse	Kilde
N, P og K-gødning	Aftrykket fra gødningsproduktion pr. kg næringsstof udbragt	Hoxha et al., 2019; International Sustainability and Carbon Certification System GmbH, 2021
Traktorer og maskiner	Produktion og vedligehold af maskiner, opgjort pr. hektar	Nemecek & Kägi, 2007 Pradel, 2023
Diesel	Produktionsaftryk fra diesel, pr. kg diesel	International Sustainability and Carbon Certification System GmbH, 2021
Småplanter	Produktion af udplantningsplanter	Stoessel et al., 2012
Såsåed	Produktion af såsåed	International Sustainability and Carbon Certification System GmbH, 2021
Fiberdug	Produktionen af fiberdug til landbrug	Hill & Norton, 2018
Plantebeskyttelsesmidler	Produktionen af plantebeskyttelsesmidler	International Sustainability and Carbon Certification System GmbH, 2021
Vandingsvand	Strømforbrug til vandingsanlæg, boring og anden infrastruktur til vanding	SEGES Innovation, 2022.
Kalk	Produktion af kalk til udbringning i marken	International Sustainability and Carbon Certification System GmbH, 2021
El-produktion	Aftrykket af brændsel til produktion af elektricitet (uden infrastruktur)	Energinet, 2023
Emballage	Produktionsaftryk af emballage	Hill & Norton, 2018
Kølemidler	Produktionen af kølemiddel til genfyldning på køleanlæg	Yasaka, et al., 2023

Estimering af afgrøderester i mark

Det forventes heller ikke at producenten kan opgøre mængden af afgrøderester, og derfor må disse vurderes ud fra andre produktionsdata. Mængden af lattergas fra afgrøderester beregnes ud fra afgrødespecifikke tørstofallokeringskoefficienter mellem afgrødens dele samt data for indhold af N i de forskellige plantedele.

I IPCCs guideline til opgørelser af territorialaftryk indgår lattergasudledning fra kvælstof i afgrøderester, og IPCC oplyser koefficienter til at beregne kvælstofindhold i overjordiske og underjordiske

plantedele for globalt udbredte afgrøder, men der er ingen specifikke faktorer for grøntsagsafgrøder (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019).

IPCCs fremgangsmåde til at vurdere mængden af kvælstof i afgrøderester er beskrevet nedenfor:

$$F_{CR} = [AGR_{(T)} * N_{AG(T)} * (1 - Frac_{remove(T)} - (Frac_{Burnt(T)} * C_f))] + [BGR_{(T)} * N_{BG(T)}]$$

Hvor - for afgrøden T - $AGR_{(T)}$ er den totale mængde tørstof i overjordiske afgrøderester (inkl. halm), $N_{AG(T)}$ er kvælstofkoncentrationen i tørstof i overjordiske afgrøderester, $Frac_{Remove(T)}$ er andelen af afgrøderester som bjærges fra marken (halm, hø, etc.), $Frac_{Burnt(T)}$ er andel af afgrødens areal som afbrændes, og C_f beskriver hvor stor en andel af afgrøderester per areal som afbrændes ved markafbrænding.

$BGR_{(T)}$ angiver mængden af underjordiske afgrøderester, og beregnes som følger:

$$BGR_T = (Crop_T + AG_{DM(T)}) * RS_{(T)} * Area_{(T)} * Frac_{Renew(T)}$$

Hvor – for afgrøden T – $Crop_{(T)}$ angiver det primære høstudbytte i mængde tørstof, $AG_{DM(T)}$ angiver mængden af afgrøderester i mængde tørstof, $RS_{(T)}$ angiver forholdet mellem overjordisk og underjordisk tørstofmængde, $Area_{(T)}$ angiver afgrødens areal, og $Frac_{Renew(T)}$ angiver hvor hyppigt afgrøden opløjes.

For enårige grøntsagsafgrøder kan $Frac_{Renew(T)}$ bestemmes til 1. Hvis beregningen af afgrøderester opgøres pr. hektar, kan $area_{(T)}$ også bestemmes til 1. Mængden af underjordiske afgrøderester fra en-årige grøntsager bestemmes da med den forsimplede ligning:

$$BGR_{(T)} = (Crop_{(T)} + AG_{DM(T)}) * RS_{(T)}$$

Der oplyses fra IPCCs side ingen standardtal for den totale mængde af overjordiske afgrøderester ($AGR_{(T)}$). Disse opgøres i Danmarks nationale rapportering til IPCC ved hjælp af C-TOOL, som kan modellere fordelingen af tørstof mellem de forskellige plantedele på baggrund af udbyttotal (Nielsen, et al., 2022). Dette gøres vha. tørstofsallokeringskoefficienter mellem specifikke afgrøders plantedele (Taghizadeh-Toosi, 2015).

C-TOOL kan beregne den totale mængde tørstof pr. hektar for grøntsager hvis mængden af høstet udbytte er kendt (nettoudbytte), skæreprcenten er angivet hvis relevant for afgrøden så det maksimale potentielle udbytte kan beregnes (bruttoudbytte), tørstofindholdet i udbyttet er kendt og der findes anvendelige tørstofsallokeringskoefficienter for grøntsagsafgrøden. Der er brug for at kende andelen af overjordisk biomasse som høstes pr. plante (tørstofhøstindex: α) og hvor stor en andel rod- og rodsudatørstof udgør af den totale tørstofmængde (β). Den totale mængde biomasse pr. hektar kan da estimeres efter følgende formel:

$$Biomasse \text{ pr. hektar} = \frac{1}{(1 - \beta)\alpha} * \text{bruttoudbytte i kg tørstof pr. hektar}$$

Det er vigtigt at kende C og N-indhold i afgrøderester for at kunne beregne lattergasudledning samt returneringen af C til jorden. Den nuværende videnskabelige litteratur angående indholdet af C og N i afgrøderester for forskellige grøntsagsafgrøder er sammenfattet af Thiébeau, et al. (2021). For C og N-indhold i den høstede afgrøde samt efterladte afgrøder kan FRIDA Food databasen anvendes (Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet, 2023).

Estimering af energiforbrug til køling ved ankomst til pakkeri

Hvis det ikke er muligt at lave en meningsfuld fordeling af energiforbrug på bedriften, er der her beskrevet en alternativ metode til at vurdere mængden af energi til køling af grøntsager efter høst. Energiforbruget til køling kan anslås ud fra de enkelte grøntsagers specifikke varmekapacitet, antagelser om temperaturen af grøntsagerne før og efter køling, samt kølesystemets overordnede effektivitet. Specifik varmekapacitet er en fysisk konstant, som beskriver den mængde energi, der skal tilføres ét kg materiale for at temperaturen stiger med én grad. Der er bestemt specifikke varmekonstanter for en lang række grøntsager, herunder løg og salater (The Engineering Toolbox, 2023), se Tabel 5. Ved antagelse om et kølebehov på 15 °C ved ankomst til pakkeri, kan den mængde varmeenergi, som skal fjernes pr. kg produkt beregnes.

For salat kan mængden af varmeenergi som skal fjernes pr. kg for at køle med 15 °C beregnes som

$$4.02 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 15 ^\circ C * 1 kg = 60.3 kJ$$

Det samme gælder for løg:

$$3.77 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 15 ^\circ C * 1 kg = 56.55 kJ.$$

Afhængig af typen af køleteknik og den effektivitet vil det reelle energiforbrug være højere, da ovenstående beregning forudsætter at kølesystemet er 100% effektivt. Den mest simple metode til afkøling er rumkøl, hvor varme produkter stilles ind i et koldt rum, men der findes mere energieffektive metoder som f.eks. vakuum-køling (Horticulture Innovation Australia, 2023). Ved rumkøl er den overordnede effektivitet af kølesystemet anslået til ca. 27 %, mens den for vakuum-køling er anslået til 82 % (samme kilde).

Hvis salat køles vha. rumkøl skal der derfor tilføres $\frac{60.3 kJ}{0.27} = 223 kJ$ pr. kg, mens der vha. vakuum-køling skal bruges $\frac{60.3 kJ}{0.82} = 74 kJ$ pr. kg. Det er derfor meget vigtigt at kende til kølemetoden for at vurdere energiforbruget til køling. Flere kølemetoders effektivitet er beskrevet i kilden ovenfor. Det skal bemærkes at det ikke er alle grøntsager som egner sig til alle slags kølemetode.

Tabel 5. Specifik varmekapacitet for en række grøntsager, som dyrkes under danske forhold. Tilpasset fra www.engineeringtoolbox.com.

Grøntsag	$\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$
Asparges	3.94
Beder	3.77
Bladbeder	3.89
Bladselleri	3.94
Blomkål	3.89
Blåbær	3.64
Broccoli	3.85
Græskar	3.85
Grønkål	3.73
Gulerødder	3.81
Hindbær	3.73
Hvidløg	3.31
Jordbær	3.98
Knudekål/glaskål	3.85
Kål	3.94
Løg	3.77
Majroe	3.89
Peberrod	3.31
Porre	3.81
Rabarber	4.03
Radiser	3.98
Ribs	4.06
Rosenkål	3.68
Salat	4.02
Solbær	3.64
Stikkelsbær	3.60
Surkirsebær	3.68
Tranebær	3.77
Æbler	3.64

Begrænsninger og usikkerheder

Grøntsager er en nicheafgrøde og optager kun et lille samlet landbrugsareal, både i dansk og global sammenhæng. Det afspejles i tilgængeligheden af standardfaktorer til beregning af klimaeffekter, hvilken generelt er lav. IPCCs metoder til opgørelser af lattergas fra afgrøderester er ikke velegnet til at opgøre lattergas fra grøntsagsafgrøder, da der ikke er specifikke faktorer for grøntsagskulturer. Det anbefales derfor at bruge en general værdi, men denne er udarbejdet med henblik på korn- og græs-afgrøder, og da grøntsagsafgrøder generelt har højere kvælstofindhold i afgrøderesterne undervurderes udledningen af lattergas fra afgrøderester. Det er muligt at finde alternative og mere passende beskrivelser for C og N-indhold i afgrøderester fra grøntsagsafgrøder, men det er en udfordring at finde velegnede estimater for tørstofsallokeringskoefficienter til de forskellige plantedele, samt dokumentere tal for rod/top-forholdet for forskellige grøntsagsafgrøder. Afgrøderester udgør potentielt en stor del af den samlede belastning, og derfor bør vurderingen løbende opdateres i takt med den videnskabelige litteratur på området.

Metoden til bestemmelse af afgrøderester baseret på skæreprøver i håndhøstede kulturer tager ikke højde for ufuldstændigt udviklede afgrøder, eller afgrøder som på anden vis ikke høstet pga. for lav kvalitet, da modelleringen forudsætter at alle planter i marken er udviklet ens og ligedan med den høstede afgrøde. Eksempler på årsager til at en plante ikke udvikles optimalt er at marken er lokalt oversvømmet, at transplantationen ikke har hæftet planten godt nok i jorden, at råger eller andre fugle hiver småplanten op, eller at sygdoms- eller skadedyrsangreb har sat planten tilbage i udvikling. Når disse forhold ikke er inkluderet i modelleringen, er der en risiko for at overvurdere mængden af afgrøderester, og derved også lattergasudledningen herfra.

Derudover så er de videnskabeligt bestemte tørstofsallokeringskoefficienter ofte foretaget ved at høste planten når afgrøden er moden, og da bestemme hvor meget tørstof som findes i de forskellige plantedele. I praksis vokser resten af planten i håndhøstede afgrøder videre efter høst af afgrøden, og derfor kan brugen af tal fra litteraturen føre til at mængden af afgrøderester undervurderes. Der bør derfor foretages undersøgelser som bestemmer tørstofsallokeringskoefficienter mellem plantens dele baseret på at resten af planten vokser videre efter høst af selve afgrøden, og bestemme mængden af afgrøderester ved nedmuldning eller anden terminering af afgrøden.

Mængden af afgrøderester påvirker også resten af kvælstof-cirkuleringen i systemet. Hvis den mængde N tilført som gødskning ikke optages i planten, bliver den enten fordampet, udvasket, indbygget i jordpuljen eller en del af det residuale kvælstof i jorden efter dyrkning. Mængden af N som vurderes genfundet i afgrøderester påvirker derfor også vurderingen af klimapåvirkning fra udvaskning.

Mængden af udvaskning kan vurderes ud fra en N-markbalance. Her redegøres for N-tilførsler og fraførsler. Differencen mellem til- og fraførsler af N vurderes da at være den udvaskede mængde N (Mogenssen, et al., 2014).

Der er generelt brug for en mere præcis bestemmelse af N-cirkulering i grøntsagsafgrøder, og en opgørelse af lattergas fra grøntsagsdyrkning vil derfor være behæftet med usikkerhed.

De anvendte tal for forskellige kølesystemers effektivitet er baseret på australske forhold. Forudsætninger for både teknologi, rummets isolation, omgivelsernes temperatur, og mange andre parametre påvirker et kølesystems beregnede effektivitet. Derfor bør der laves undersøgelser som bestemmer hvad effekten af forskellige kølesystemer er under typiske kommercielle forhold i Danmark.

Der er en række bidrag til klimaaftryk som ikke er medregnet ovenfor. Dette gælder bl.a. elforbrug til andet end køling. Derudover er konstruktion og vedligehold af bygninger og indkøbte maskiner ikke medregnet. Derudover så er elproduktion kun inkluderet ved de direkte udledninger fra brændslet, og har ikke nogen bidrag fra el-infrastruktur samt distributionstab. Det bør fremtidigt undersøges hvad bidraget er fra disse udeladte led i produktkæden, og hvad deres betydning for det samlede aftryk er.

Metoden til beregning af klimaaftryk beskrevet ovenfor egner sig til intern brug blandt producenter som ønsker en overordnet vurdering af klimaaftrykket fra deres produkter. Det beregnede produktaftryk kan dog ikke anvendes til markedsføring målrettet forbrugere, da dette stiller større krav til dataoprindelse, datavaliditet, følsomhedsanalyser og allokeringsprocedurer.

Hvis der ønskes at laves markedsføring baseret på klimaaftryk, skal Forbrugerombudsmandens regler følges. Det forventes at retningslinjer for anprisninger af fødevarer bliver omfattet af det kommende Green Claims-direktiv fra Europakommissionen, hvilken omfavner den europæiske Product Environmental Footprint (PEF)-metode til beregning af varers miljøpåvirkning. PEF-metoden stiller meget klare krav til modelleringen af klimaaftryk. Det forventes at der fremover vil være en ensretning i opgørelsen af miljøpåvirkninger med udgangspunkt i PEF-metoden. Det anbefales derfor at løbende vurdere hvordan produktopgørelsen beskrevet ovenfor kan bringes mere i overensstemmelse med PEF-metoden.

Konklusion og videre arbejde

Ovenfor er der anvist en generel metode til beregning af klimaaftryk fra grøntsagsproduktion under danske forhold. Denne inkluderer aktiviteterne på gården, dvs. dyrkning, køl, lagring og pakning. De inkluderede processer er vurderet til at give ophav til hovedparten af klimabelastningen fra produktionen indtil afsendelse fra pakkeriet. Fremover bør det undersøges hvordan de for nuværende udeladte bidrag kan inkluderes i grøntsagers klimaaftryk, samt hvor meget de udeladte produktled bidrager til det samlede klimaaftryk.

Referencer

- Bhatia, P., Cummis, C., Brown, A., Draucker, L., Rich, D., & Lahd, H. (2011). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard GHG Protocol Team*.
- British Standard Institute. (2011). *PAS 2050:2011. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Emissions of Goods and Services*. BSI.
- Casson, A., Giovenzana, V., Frigerio, V., Zambelli, M., Beghi, R., Pampuri, A., Tugnolo, A., Merlini, A., Colombo, L., Limbo, S., & Guidetti, R. (2022). Beyond the eco-design of case-ready beef packaging: The relationship between food waste and shelf-life as a key element in life cycle assessment. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100943>
- Danmarks Statistik. (2023, November 13). <http://statistikbanken.dk/AFG5>.
- DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (2015). Rapport. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Projekttilskud/Landdistrikter/Miljoeteknologi/DCA_rapport_2015.pdf
- Energinet (2023). Rapport. Miljøreddegørelse 2022 – årlig redegørelse for drivhusgasudledninger fra det danske elforbrug og -produktion samt prognose for drivhusgasudledninger fra dansk elproduktion 2023-2032. Udgivet juni 2023. <https://energinet.dk/om-publikationer/publikationer/miljoredegorelse-2022/>
- Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet. (2023). Website. *Fødevaredata, version 5.0*. Tilgået d. 30. november 2023. <https://frida.fooddata.dk>
- Hill, C., & Norton, A. (2018). *LCA database of environmental impacts to inform material selection process*. Horticulture Innovation Australia, 2023. Website. *Cost of cooling – a case study with broccoli*. Tilgået d. 30. November 2023. <https://www.postharvest.net.au/postharvest-fundamentals/cooling-and-storage/cost-of-cooling-a-case-study-with-broccoli/>
- Hoxha, Antione., Christensen, B., & International Fertiliser Society. (2019). *The carbon footprint of fertiliser production : regional reference values*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Decision IPCC-XLIX-9. Adoption and Acceptance of the Methodology Report “2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.”* IPCC.
- International Standard Organization. (2006). *ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. International Organisation of Standardisation.
- International Sustainability and Carbon Certification System GmbH. (2021). *ISCC EU205 Greenhouse Gas emissions*. ISCC System GmbH.
- Landbrugsstyrelsen. (2022). *Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2022. Certificering og Produktion*. www.lbst.dk
- Mogensen, L., Kristensen, T., Nguyen, T. L. T., Knudsen, M. T., Hermansen, J. T. (2014). Method for calculating carbon footprint of cattle feeds – including contributions from soil carbon changes and use of cattle manure. *Journal of Cleaner Production*, vol. 73, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.023>.
- Møllenberg, S., & Larsen, K. (2019). *Flere danske grøntsager*. <https://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/nyt/GetAnalyse.aspx?cid=32703>
- Nemecek, T., & Kägi, T. (2007). *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems*. <https://www.researchgate.net/publication/263239333>
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkaerne, S., Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H. G., Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S. B., Baunbaek, L., & Hansen, M. G. (2022). *Denmark's National Inventory Report 2022*. <http://dce.au.dk/en>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>

- Pradel, M. (2023). Life cycle inventory data of agricultural tractors. *Data in Brief*, 48, 109174. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109174>
- SEGES Innovation (2022). Website. Markvanding betaler sig trods høje elpriser. Tilgået d. 30. november 2023. https://www.landbrugsinfo.dk/public/5/5/7/vanding_draining_markvanding_beta-ler_sig_trods_hoje_elpriser
- Stoessel, F., Juraske, R., Pfister, S., & Hellweg, S. (2012). Life cycle inventory and carbon and water footprint of fruits and vegetables: Application to a swiss retailer. *Environmental Science and Technology*, 46(6), 3253–3262. <https://doi.org/10.1021/es2030577>
- Taghizadeh-Toosi, A. (2015). Teknisk rapport. C-TOOL – a simple tool for simulation of soil carbon turnover. https://agro.au.dk/fileadmin/DJF/Agro/Medarbejderportal_AGRO/Sektioner/KLIMA/C-TOOL_Documentation.pdf
- The Engineering Toolbox (2023). Website. *Food and Foodstuff – Specific heat*. Tilgået d. 30. November 2023. https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html
- The European Commission. (2021). *Commission recommendation of 16.12.2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations: Vol. C(2021)* (Issue 9332 Final). The European Commission. https://environment.ec.europa.eu/system/files/2021-12/Commission%20Recommendation%20on%20the%20use%20of%20the%20Environmental%20Footprint%20methods_0.pdf
- Thiébeau, P., Jensen, L. S., Ferchaud, F., Recous, S. (2021). Dataset of biomass and chemical quality of crop residues from European areas. *Data in Brief*, 37, 107227. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107227>.
- Yasaka, Y., Karkour, S., Shobatake, K., Itsubo, N., Yakushiji, F. (2023). Life-cycle assessment of refrigerants for air conditioners considering reclamation and destruction. *Sustainability*, 15, 473. <https://doi.org/10.3390/su15040473>