

# Klimabelastning af TPV baseret på ærter og hestebønner

Henrik Saxe, dr.agro.

21. maj, 2021 (revideret udgave)

*Mindful FOOD solution*



*Dette notat* er en respons på anmodning fra Ulrich Kern-Hensen den 20. maj 2020 om at revidere en livscyklusvurdering fra 10 februar 2021 af dansk TVP kaldet *Plant Mate*, et plantebaseret tekstureret protein baseret på økologiske ærter og hestebønner.

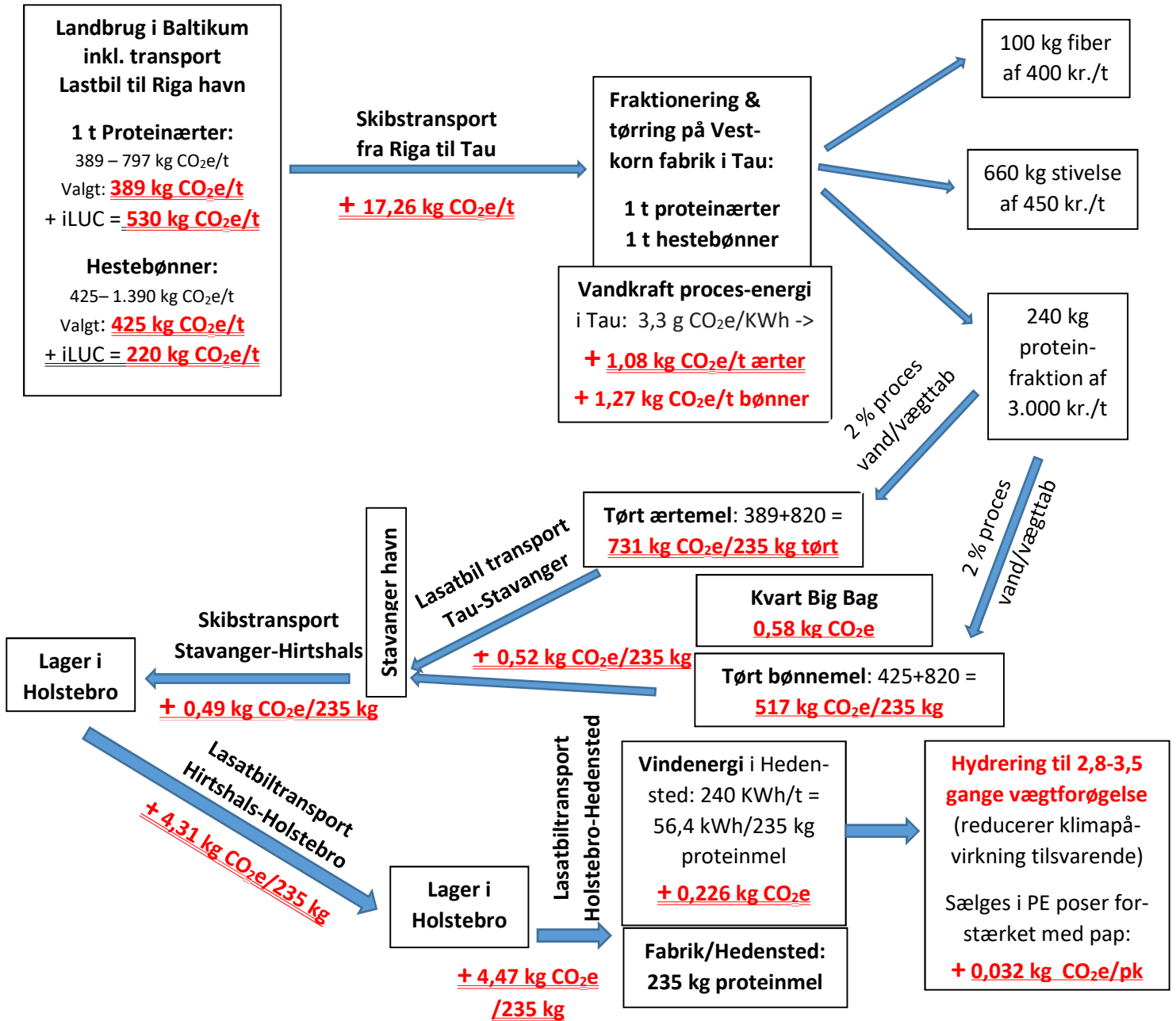
## Indholdsfortegnelse

<i>Resume</i>	4
1. Klimabelastning af planteavl	5
2. Indirekte Land Use Change, iLUC	7
3. Klimabelastning af godstransport	8
4. Norsk vandkraft	9
5. Fraktionering og tørring i TAU	9
6. Big Bags	10
7a. Dansk vindmølleenergi	10
7b. Strøm fra nettet alternativt til vindmølleenergi	10
7c. Strøm fra solceller (pv) alternativt til vindmølleenergi	12
8. Salgsemballage	12
9. Hydrering hos forbrugeren	12
10. Resultat overblik	13
11. Realitets tjek	13
12. Konklusioner	14
13. Litteratur	15

# Resumé

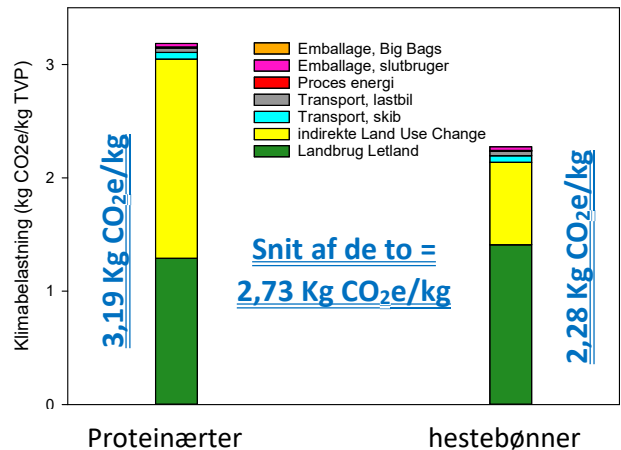
En oversigt over notatets resultater gives nedenfor i figur 1 og figur 2.

**Figur 1. Livscyklus inventory af TVP**



**Figur 2. Klimabelastning af tørt TVP granulat**

Gennemsnitlig klimabelastning af hydreret TVP:  
**0,93 Kg CO<sub>2</sub>e/kg TVP**



## 1. Klimabelastning af planteavl

Forventningen er, at primærproduktionen (aktiviteter på jordbruget) udgør den største belastning i fremstillingen af Textured Vegetable Protein (TVP) fra ærter og hestebønner. Derfor er denne parameter væsentlig. Men da der ikke indenfor rammerne af dette notat kan udføres klimaberegninger for de aktuelle jordbrug, og da produktionen i øvrigt over de kommende år flyttes fra Letland til Danmark, vælges at indhente data fra så mange pålidelige og relevante kilder som muligt, og på det grundlag træffe et kvalificeret bud på primærproduktionens klimabelastning. Der gives i tabel 1 værdier fra Ecoinvent 3 (2020) og Agrifootprint 5 (2020) hentet med nyeste udgave af LCA softwaren Simapro (2.-0 LCA Consultants 2020a) ved brug af nyeste version af Stepwise metoden (2.-0 LCA Consultants 2020b).

**Tabel 1. Data for klimabelastning af proteinærter og hestebønner hentet af Simapro fra de største databaser**

<b><u>Ecoinvent 3-database (including infrastructure and long-term emissions)</u></b>	<b><u>Kg. CO<sub>2</sub>e/kg vare</u></b>
1 kg Protein pea {GLO} marked for Conseq, U (Ecoinvent 3 - consequential - unit)	0,41
1 kg Protein pea, Swiss integrated production {GLO} marked for Conseq, U (Ecoinvent 3 - consequential - unit)	0,484
1 kg Protein pea, organic {GLO} marked for Conseq, U (Ecoinvent 3 - consequential - unit)	0,797
1 kg Fava bean, Swiss integrated production {GLO} marked for Conseq, U (Ecoinvent 3 - consequential - unit)	0,568
1 kg Fava bean, organic {GLO} marked for Conseq, U (Ecoinvent 3 - consequential - unit)	0,77
<b><u>Agri-footprint 5-database, peas (including infrastructure and long-term emissions)</u></b>	
1 kg Peas, dry, market mix, at regional storage/DE Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	0,486
1 kg Peas, dry, market mix, at regional storage/RER Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	0,615
1 kg <b>Peas, dry</b> , market mix, at regional storage/NL Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	0,634
1 kg Peas, dry, market mix, at regional storage/US Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	0,776
1 kg Peas, dry, at farm/DK Economic (Agrifootprint 5 – economic allocation) <b>DANMARK!</b>	<b>0,363</b>
1 kg Peas, dry, at farm/EE Economic (Agrifootprint 5 – economic allocation) <b>ESTLAND!</b>	0,73
<b><u>Agri-footprint 5-database, beans (including infrastructure and long-term emissions)</u></b>	
1 kg Broad beans, market mix, at regional storage/NL Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	0,601
1 kg Broad Beans, at farm/DE Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	<b>0,399</b>
1 kg Broad Beans, at farm/NL Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	0,831
1 kg Broad Beans, at farm/FR Economic (Agri-footprint 5 - economic allocation)	1,39
<b><u>LCA Food database hentet med Simapro 7.3 og Stepwise 1.3, peas (ældre udgaver alle led)</u></b>	
Grønne ærter, sukkerærter ( <i>pisum sativum</i> , mangetout), rå, DK (80 % vandindhold – derfor ikke sammenlignelig)	(0,0633)
Gule ærter ( <i>pisum sativum</i> ), rå, tørre, DK / og ærtemel (1/5,85714 vandindhold)	0,3704

Der gives i tabel 1 ovenfor data i form af 'marked for' modelleret med cLCA (konsekvens LCA modellering), 'marked mix at regional storage' og 'at farm' modelleret med aLCA (allokerings LCA modellering). Endelig er der et par tal fra den ældre danske LCA Food database (2007), der viser god overensstemmelse med de nyere data, og samtidig peger

på betydningen af vandindholdet, når klimabelastningen per kg skal angives. Klimabelastningen af vand er jo ubetydelig, så når en vare tørres eller hydreres, *så henholdsvis stiger og falder dens klimabelastning per vægtenhed!*

Et *'marked for'* datasæt samler alle aktiviteter med det samme referenceprodukt i en bestemt geografisk region – lande, regioner eller globalt. Desuden inkluderes den gennemsnitlige transport af dette produkt inden for det valgte geografiske område samt input af selve produktet til dækning af tab i handel og transport. Med andre ord er de forbrugsblandinger af et bestemt produkt i en bestemt geografisk region.

I datasæt med *'marked mix at regional storage'* er der også inkluderet transport til regionalt lager fra en række forskellige landbrug (deraf betegnelsen *'mix'*), hvor ærterne eller bønnerne stammer fra forskellige lande, hvorfra de er transporteret til det regionale lager. Disse værdier er realistiske men ikke specifikke fra et bestemt lands egenproduktion.

Endelig er der *'at farm'* datasæt, der repræsenterer varen på den gennemsnitlige nationale planteavlsbedrift *uden transport*. Disse klimabelastningstal vil derfor typisk være lavere end klimatal fra *'marked mix'* og *'marked for'* datasæt, men til gengæld mere specifikke. Der er betydelig forskel på klimabelastningen i disse datasæt afhængig af valg af land, hvilket må antages at være forskelle i planteavlernes maskineri, brug af hjælpestoffer, samt klima og jordbund. Fx tilskrives danske proteinærter en klimabelastning på 0,363 kg CO<sub>2</sub>e/kg, mens lettiske proteinærter tilskrives en klimabelastning på 0,73 kg CO<sub>2</sub>e/kg – *dobbelt så klimabelastende som de danske hestebønner!* Da vi ikke kender den gennemsnitlige transportafstand i Letland (frem til Riga), kan vi vælge at gætte på denne, da klimabelastning af transport over en begrænset afstand betyder meget lidt (se næste afsnit) i forhold til selve planteavlens klimabelastning. For hestebønner er der imidlertid hverken danske eller lettiske data *'at farm'* i Agri-Footprint 5 databasen, men også her er land-til-land variationen stor, som fx afspejlet af tyske, hollandske og franske hestebønners klimabelastning på henholdsvis 0,399 kg CO<sub>2</sub>e/kg, 0,831 kg CO<sub>2</sub>e/kg og 1,39 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Her ville det være mest nærliggende at vælge de tyske tal i mangel af lettiske og danske tal.

Om der vælges modellering i form af aLCA (med økonomisk allokering) eller cLCA afhænger af formålet med studiet. aLCA tal kan også anvende masse eller energi som basis for allokeringen, men vi holder os her til økonomisk allokering, når der foretrækkes aLCA, bl.a. fordi der i Norge foretages en fraktionering af ærterne og bønnerne i fiber-, stivelses- og proteinfractioner, der har hver deres meget forskellige økonomiske værdi.

Concito's rapport *'Klimavenlige madvarer'* (Minter, 2019) – nævnt af rekvirenten – indeholder for diffuse data for nærværende beregninger (der citeres en svensk kilde, Røos 2014: bælgplanter 0,2 - 2,0 kg CO<sub>2</sub>e/kg, middelværdi 0,7 kg CO<sub>2</sub>e/kg). Den kommende *'Store Klimadatabase'* fra Concito har endnu ingen data for økologisk ært og hestebønne Den *'Store Klimadatabase'* fra Concito (2021) har ingen data for økologiske ærter og hestebønner, men udelukkende gennemsnitsværdi for gennemsnitlige friske ærter solgt i Danmark, ikke data for hestebønne og ingen for *tørrede* ærter og hestebønner. Disse landbrugsdata er derfor ikke anvendelige i denne sammenhæng.

Skal man i denne undersøgelse vælge cLCA eller aLCA i beregning af klimabelastningen af råvaren? Det afhænger af de spørgsmål producenten stiller. Oftest er cLCA det bedste valg, når det drejer sig om sammenligning mellem

produkter på verdensmarkedet. CLCA modellerer miljøkonsekvenserne af en beslutning eller en foreslået ændring i det undersøgte produktionssystem (rettet mod fremtiden), der indebærer at markeds- og økonomiske forhold af en beslutning skal tages i betragtning. Eller med andre ord, når markedsøkonomi er indblandet (Earles og Halog, 2011).

Så hvilke klimatal bør vi lige nu vælge for planteavl, som de mest retvisende i denne sammenhæng? Og skal vi vælge samme type modellering for begge afgrøder? Det er et valg som kun producenten kan træffe, fordi man her kan stå med et valg mellem at lægge mest vægt på ærter eller hestebønner af økonomiske hensyn, af hensyn til klimabelastningen og formentlig også af andre hensyn.

I dette notat vælges klimabelastningen derfor angivet ved *et interval* taget ud fra samtlige tal i tabel 1, idet 'at farm'-tal tillægges klimabelastningen af en skønnet national transport på 150 km af 0,174 kg CO<sub>2</sub>e/t: 0,026 kg CO<sub>2</sub>e/kg (se næste afsnit).

Som det fremgår af tabel 1 omfatter klimabelastnings-intervallerne angivet i figur 1 både økologisk og konventionelt producerede ærter og bønner. Der er ikke en entydig sammenhæng mellem økologisk dyrkning kontra konventionel dyrkning og afgrødernes klimabelastning, men ofte belaster økologisk dyrkede afgrøder klimaet mere end konventionelt dyrkede afgrøder (Saxe, 2014), hvilket understøttes af data i tabel 1. Der lægges i dette notat ikke vægt på om der er tale om konventionelt eller økologisk dyrkede proteinafgrøder, men rekvirenten har med dette notat selv mulighed for at vælge og indsætte sine egne værdier for planteproduktionens klimabelastning.

Foruden de i tabel 1 angivne intervaller for klimabelastningen af proteinærter og hestebønner vælges dernæst en *repræsentativ værdi*, som forfatteren skønner er den mest realistiske ud fra den nuværende viden. Kun en specifik LCA for de involverede planteavlsbedrifter kan give det *helt* retvisende svar – men dette er en langt større opgave end dette notat søger at belyse. Så her gives blot en foreslået *repræsentativ værdi*, der føres videre igennem hele livscyklussen i figur 1. Der kan gennemregnes værdier for intervallerne for begge afgrøder, om det er ønskeligt.

For proteinærter vælges klimabelastningen angivet 'at farm' i Danmark (her valgt i stedet for Letland, fordi planen er at proteinærterne fremover kommer fra Danmark, tillagt en 150 km gennemsnitlig transport med 16-32 t lastbil fra planteavlerne til Riga (se afsnit om klimabelastning af godstransport), fås en værdi på 0,363 kgCO<sub>2</sub>e/kg + 150 km x 0,000174 kgCO<sub>2</sub>e/kgkm = **0,389 kg CO<sub>2</sub>e/kg**. Tal for Letland kan gennemregnes om det ønskes.

For hestebønner er der valgt 'at farm' værdierne i Tyskland tillagt 150 km transport: 0,399 kgCO<sub>2</sub>e/kg + 150 km x 0,000174 kgCO<sub>2</sub>e/kgkm = **0,425 kg CO<sub>2</sub>e/kg**.

## 2. Indirekte Land Use Change, iLUC

Den 1. februar udgav Concito en ny database for varer solgt i danske supermarkeder. I modsætning til tidligere databaser (fx Ecoinvent (2020), der beregnes bottom-up) er Concito's database en top-down-beregning ved brug af Exiobase (2020), og den fokuserer på klimabelastningen af varer solgt i danske forretninger. Concito databasen har ikke klimatal for proteinærter og hestebønner hverken fra Danmark eller de baltiske lande, men tal for friskvægt af rå ærter og forskellige bønnesorter. Databasen opdeler imidlertid klimaaftrykket i *landbrug + iLUC + forarbejdning +*

*emballage + transport + retail*. Så blandt disse værdier er det kun iLUC-værdien som er nyttig i denne sammenhæng.  $LUC = dLUC + iLUC$ , og dLUC må antages at være ubetydelig.

Her anvendes således iLUC værdier fra Concito (2021), der typisk er 0,12 kg CO<sub>2</sub>e/kg frisk ærter og 0,05 kg CO<sub>2</sub>e/kg friske bønner (Concito 2021), fremfor tidligere valgte værdier (Saxe 2021) fra Audsley et al. (2009). I FRIDA databasen (2021) findes forholdet mellem friske ærter og tørre (gule) ærter til 4,44. iLUC værdierne for friske bælgfrugter multipliceres derfor med denne faktor for at få iLUC for de tørre bælgfrugter. ILUC for tørre ærter regnes således for 0,53 kg CO<sub>2</sub>e/kg og for tørre bønner 0,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Disse værdier bør man fortsat være kritiske overfor dels fordi der er mange muligheder for iLUC modellering (mener her at have valgt den bedste), og dels fordi omregning af iLUC af friske varer til iLUC af tørre varer er en udfordring.

### 3. Klimabelastning af godstransport

Data for godstransport med bulk skib og lastbil er hentet af Simapro (2.-0 LCA Consultants 2020a) med Stepwise metoden (2.-0 LCA Consultants 2020b) fra databasen Ecoinvent 3 (Ecoinvent 2020). Tallene er fra konsekvensmodellering, unit process (Conseq, U).

*Skibstransport* fra Riga havn til Stavanger havn (hvor der ikke landes) er 958 nautiske mil<sup>1</sup> (1 km = 0,6214 nm) = 1.542 km, hvortil kommer anslået 13 km ekstra da der sejles direkte til egen havn i TAU. Der sejles i alt 1,555 km fra Riga til Tau. Ecoinvent databasen angiver<sup>2</sup>, at transport med relevant størrelse oceangående skib belaster klimaet med 0,0111 kg CO<sub>2</sub>e/tkm. Belastningen for 1 kg ærter/hestebønner fra Riga til Stavanger derfor klimaet med 1.555 km x 0,0111 kg CO<sub>2</sub>e/tkm = **17,21 kg CO<sub>2</sub>e per ton** ærter eller bønner.

*Lastbiltransportens* klimabelastning afhænger af lastbilens størrelse, snarere end dens Euronorm. Det er oplyst, at der køres med last på hhv. 26,4 t (Hirtshals-Holstebro) og 24,4 t (Holstebro-Hedensted). I en geografisk afgrænsning svarende til Europa (kaldet {RER}) belaster godstransport i 16-32 t Euronorm 6 lastbil klimaet med 0,174 kg CO<sub>2</sub>e/kg per ton transporteret km. Transporten i Letland frem til Riga havn er inkluderet i planteavlens produktion både for de valgte 'at farm' data (manuelt tillagt), og for de øvrige data i tabel 1 (automatisk inkluderet i modellen).

*Lastbiltransporten* i Norge fra fabrikken i Tau til Stavanger havnesilo er i flg. Google Maps 24 km, der giver en emission på 0,172 kg CO<sub>2</sub>e/tkm x 24 km x (0,235 t proteinmel + 0,0005 t Big Bag) = 0,972 kg CO<sub>2</sub>e/kvart big bag **proteinmel**. Men da prisen for transport til og fra Norge er asymmetrisk fordi Norge importerer mere fra Danmark end de eksporterer, kan der her vælges at foretage en økonomisk allokering af transporten fra Tau til Holstebro. En undersøgelse af priserne til/fra Norge/Danmark danner basis for **en reduktion på 0,5333** af klimabelastningen af transporten fra Tau til Holstebro (og ikke på andre strækninger). Klimabelastningen af Tau-Stavanger ender derfor på **0,518 kg CO<sub>2</sub>e/kvart big bag**.

<sup>1</sup> Link til beregning af afstande til havs: <http://ports.com/sea-route/#/?a=2905&b=2733&c=Freeport%20of%20Riga,%20Latvia&d=Port%20of%20Stavanger,%20Norway>

<sup>2</sup> 1 tkm Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}|market for|Conseq, U (Ecoinvent 3 - consequential - unit)



Skibstransporten fra Stavanger til Hirtshals i Danmark (lastbil føres over med føre, eller bare sættevogn) er  $219 \text{ nm}^3 = 352 \text{ km}$ . Klimabelastningen er derfor  $0,0111 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{tkm} \times 352 \text{ km} \times (0,235 \text{ t proteinmel} + 0,0005 \text{ t Big Bag}) \times 0,5333 = \mathbf{0,49 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kvart big bag proteinmel}}$ .

Lastbiltransporten fra havnen i Hirtshals til lageret i Holstebro er i flg. Google Maps  $197 \text{ km}$ , der giver en emission på  $0,174 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{tkm} \times 197 \text{ km} \times (0,235 \text{ t proteinmel} + 0,0005 \text{ t Big Bag}) \times 0,5333 = \mathbf{8,07 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kvart big bag proteinmel}}$ .

Lastbiltransporten fra Holstebro til fabrikken i Hedensted er i flg. Google Maps  $109 \text{ km}$ , der giver en emission på  $109 \text{ km} \times 0,174 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kg per ton transporteret km} \times (0,235 \text{ t proteinmel} + 0,0005 \text{ t Big Bag}) = \mathbf{4,47 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kvart big bag proteinmel}}$ .

#### 4. Norsk vandkraft

Uden nærmere kendskab til det specifikke vandkraftanlæg, der leverer strøm til det norske anlæg Vestkorn i Tau nær Stavanger, antages en gennemsnitsværdi for norske vandkraftanlæg på  $\mathbf{3,3 \text{ g CO}_2\text{e}/\text{KWh}}$  (Raadal, 2020). 96 % af al elektricitet er i Norge genereret af vandkraftanlæg. Deres klimabelastning stammer dels fra betonkonstruktionerne og deres vedligeholdelse og dels fra metan afgang ved nedbrydning af organisk materiale i reservoirerne, organisk materiale som uden oversvømmelsen i de kunstige reservoirer ville være nedbrudt under dannelse af  $\text{CO}_2$ . Metan er en 25 gange kraftigere drivhusgas end  $\text{CO}_2$ . Dertil kommer, at der kan være problemer med forringelse af biodiversiteten ved etablering af store reservoirer, og forringelse af lokalbefolkningens levevilkår. Energiforbrug til fraktionering og tørring på fabrikken i Tau er angivet til at være hhv.  $420,5 \text{ kWh}/\text{t}$  og  $492,3 \text{ kWh}/\text{t}$  færdigt proteinmel for ærteprotein hhv. hestebønneprotein. Klimabelastningen er derfor  $440,5 \text{ kWh}/\text{t}$  hhv.  $492,3 \text{ kWh}/\text{t} \times 3,3 \text{ g CO}_2\text{e}/\text{KWh} = 1,388 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{t}$  ærter hhv.  $1,625 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{t}$  bønner eller  $\mathbf{1,08 \text{ CO}_2\text{e}/235 \text{ kg ærteproteinfraktion}}$  hhv.  $\mathbf{1,27 \text{ CO}_2\text{e}/235 \text{ kg bønneproteinfraktion}}$ .

#### 5. Fraktionering og tørring i Tau

På fabrikken i Tau tørres og fraktioneres proteinærter og hestebønner i tre fraktioner: 10 % fiber (primært fra bælg) med en anslået markedsværdi af 400 kr. (Henrik Andersen oplyste 3-500 kr.) + 24 % protein (Henrik Andersen oplyste 23-25 %) med en anslået markedsværdi af 3.000 kr./kg (Henrik Andersen) og 66 % stivelse med en anslået markedsværdi af 450 kr. (Henrik Andersen oplyste ca. 70 % og 4-500 kr.). Da ikke andet er oplyst, antages det at disse værdier gælder både proteinærter og hestebønner.

Ved økonomisk allokering af proteinets klimabelastning konstaterer vi først, at det samlede output af produktionen i Tau er  $3.850 \text{ kr.}/\text{t}$ , hvoraf proteinets værdi er  $3.000/3.850 \% = 77,92 \%$  af værdien, og med økonomisk allokering skal  $240 \text{ kg}$  proteinfraktion (24 % af 1 t) derfor tilskrives 77,92 % af råvarernes klimabelastning:  $240 \text{ kg}$  ærteproteinfraktion har en belastning på  $0,7792 \times (389+530+17,26+1,08) \text{ kg CO}_2\text{e} = 730 \text{ kg CO}_2\text{e}/240 \text{ kg}$  ærteproteinmel.  $240 \text{ kg}$  bønneproteinfraktion har en klimabelastning på  $0,7792 \times (425+220+17,26+1,27) \text{ kg CO}_2\text{e} =$

---

<sup>3</sup> <http://ports.com/sea-route/#/?a=2733&b=2996&c=Port%20of%20Stavanger,%20Norway&d=Port%20of%20Hirtshals,%20Denmark>

517 kg CO<sub>2</sub>e/240 kg ærteproteinmel. Det oplyses, at råvaren indeholder 8-10 % vand, mens færdigproduktet (mel) indeholder 6-8 % vand. Der er altså et vandtab og dermed et væggtab på ca. 2 %. Derfor korrigeres klimabelastningen af det tørre mel til **730 kg CO<sub>2</sub>e/235 kg ærteproteinmel** og **517 kg CO<sub>2</sub>e/235 kg bønneproteinmel**.

Dette inkluderer energiforbruget til fraktionering på fabrikken i Tau.

## 6. Big bags

Den typiske Big Bag er lavet af polypropylen (PP, <https://www.gleco.dk/gleco-packaging/storsaekke-big-bags>). Iflg. Ecoinvent har norsk PP en klimabelastning på 1,15 Kg CO<sub>2</sub>e/kg og dansk PP en klimabelastning på 1,20 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Hvis vi antager de anvendte Big Bags vejer 2 kg (<https://www.minibulk.com/en/blog/bid/339710/bulk-bag-economics-102-watch-your-weight>) og rummer 1 t, så kræver det anslået en kvart Big Bag for at transportere proteinmel som stammer fra 1 t proteinærter eller hestebønner, nemlig 235 kg. Klimabelastningen af en kvart Big Bag er derfor 2 kg x 1,15 kg CO<sub>2</sub>e/kg x ¼ = **0,58 kg CO<sub>2</sub>e/235 kg proteinfraktion**. Det antages, at Big Bags af hygiejnemæssige hensyn ikke genanvendes når de kommer frem til Hedensted. Der modregnes ikke forbrændingsgevinst, da den skønnes at være meget ringe.

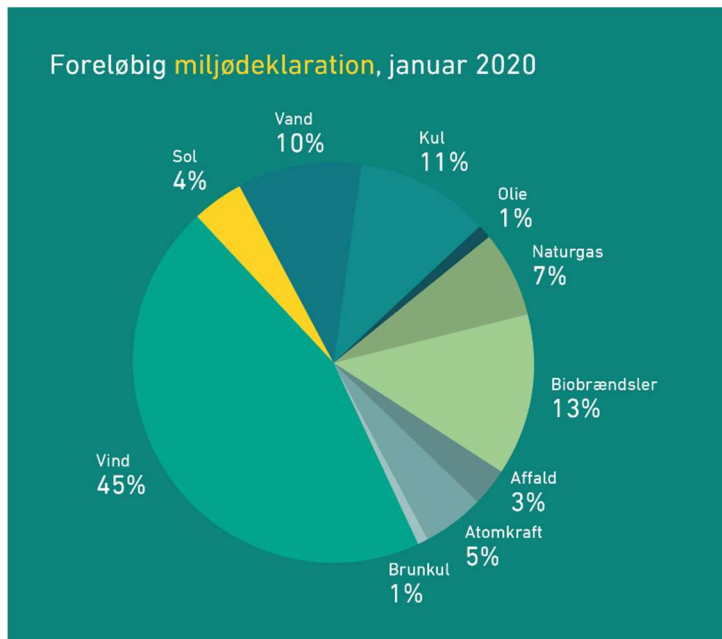
## 7a. Dansk vindmølle energi

Klimabelastningen fra en ny moderne vindmølle fremkommer primært ved fremstillingen – til materialer, bearbejdning og produktion. En stor del af materialerne i vindmøller kan genanvendes. Eksempelvis er det blevet muligt at genanvende glasfiberen fra møllevingerne eller nyttiggøre dele af materialet i forbrændingsanlæg. Genanvendelsen minimerer ifølge Siemens miljøbelastningen i deres nye møller med 19 %. CO<sub>2</sub>-udledningen fra en vindmøllepark med 20 stk. Siemens SWT-3.2-113 vindmøller er **4 g CO<sub>2</sub>/kWh** (Viden om vind, 2020).

Der er købt certifikater for dansk vindmøllestrøm, og det fremgår, at der er tale om strøm fra nye vindmøller. Det er endvidere oplyst, at der anvendes 240 kWh/t = 56,4 kWh/235 kg til granulering af proteinmelet. Klimabelastningen af denne proces er derfor 4 g CO<sub>2</sub>e/kWh x 56,4 kWh = **0,226 kg CO<sub>2</sub>e/235 kg proteinfraktion**.

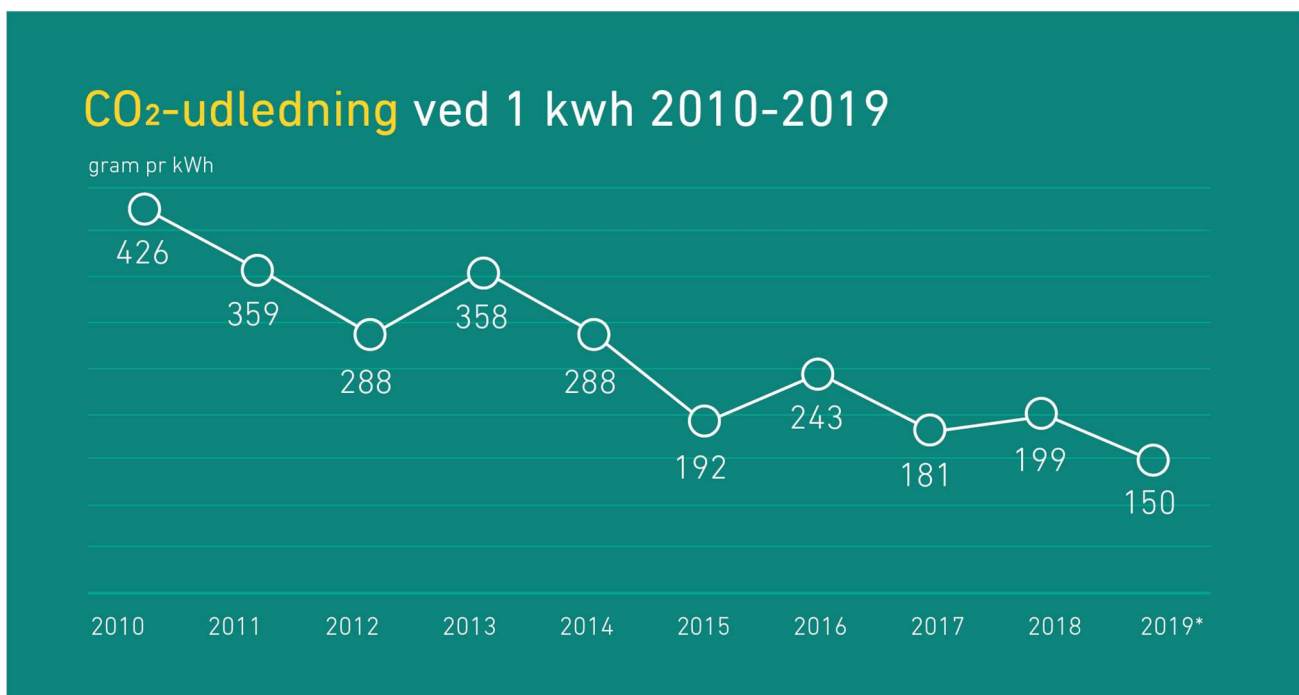
## 7b. Strøm fra nettet alternativt til vindmølleenergi

At finde det korrekte tal for klimabelastningen el er fra lysnettet er ikke nogen enkelt øvelse. Man skelner mellem miljødeklaration og eldeklaration (Energinet 2019, 2020). *Miljødeklarationen* beregnes ud fra det, der faktisk produceres, eksporteres og importeres, og klimabelastningen knytter sig til denne. *Eldeklarationen* beregnes ud fra køb og salg af certifikater, og tager kun højde for hvad der fysisk produceres og anvendes i Danmark i det omfang, at produktionen ikke indgår i certifikatmarkedet (Energinet, 2019). Der er stadig flere vedvarende energikilder i det danske elnet.



**Figur 3.** Lagkagediagrammet viser sammensætningen af en gennemsnitlig dansk kilowatt-time fra 2019. Det samlede danske elforbrug udledte ifølge den foreløbige miljødeklaration i 2019 er 5,1 millioner tons CO<sub>2</sub>, mens det i 2010 var 14,7 millioner tons.

Energinet (2019) angiver udviklingen af CO<sub>2</sub>e emission fra dansk energiforbrug fra 2010-2019 (figur 4), og jeg vælger på den baggrund at anvende en fremskrivning, der for 2021 lidt optimistisk kan *antages* at ligge omkring **125 g CO<sub>2</sub>e/kWh**, fordi der fortsat tilføres flere vedvarende energikilder.



**Figur 4.** Grafen viser CO<sub>2</sub>-udledningen i gram per kWh. Tallene er eksklusiv distributionstab - der skal for almindelige husholdninger, virksomheder mv. lægges fem procent til, da der er et tab undervejs i el nettet, inden strømmen når ud til forbrugerne. \*Tallene for 2019 er foreløbige. (Kilde: <https://energinet.dk/Om-nyheder/Nyheder/2020/01/16/Rekord-lav-CO2udledning-fra-danskernes-elforbrug-i-2019>).

Hvis vi antager fabrikken i Hedensted i stedet for den certificerede vindmøllestrøm der antages at udlede 4 g CO<sub>2</sub>e/kWh, udleder 125 g CO<sub>2</sub>e/kWh i 2021, så stiger klimabelastningen fra processens energiforbrug i Hedensted fra

$0,226 \text{ kg CO}_2\text{e}/235 \text{ kg proteinfraktion til } 125 \text{ g CO}_2\text{e}/\text{kWh} \times 56,4 \text{ kWh}/235 \text{ kg proteinfraktion} = 7,05 \text{ kg CO}_2\text{e}/235 \text{ kg proteinfraktion}$ . Således vil andelen af den samlede klimabelastning for Hedensted processen **stige fra 0,02% til 0,73%** hvis vindmøllestrømmen udskiftes med strøm fra det almindelige el net.

Det vil således betyde ganske lidt om Plant Mate anvender certificeret vindenergi i Hedensted produktionen frem for el fra el nettet, og en stigning på 0,7 % i klimabelastningen fra dette i forvejen meget klimarigtige produkt er ret ubetydelig. Valget af certificeret el fra vindmøller skal derfor ses som et idealistisk bidrag til den grønne omstilling snarere end at det er afgørende for Plant Mates samlede klimaaftryk.

### **7c. Strøm fra solceller (pv) alternativt til vindmølleenergi**

NREL (2012) angiver en klimabelastning på gennemsnitligt 46 g CO<sub>2</sub>e/kWh fra ældre pv-anlæg. Muteri (2020) giver et overblik over 39 LCA studier af PV-anlæg, og rapporterer om værdier fra 3 til 87 g CO<sub>2</sub>e/kWh. Ecoinvent (2020) giver en klimabelastningsværdi på 25,5 g CO<sub>2</sub>e/kWh i et belgisk low voltage photovoltaic anlæg. Et nyere pv-anlæg kan antages at have en klimabelastning på 10-20 g CO<sub>2</sub>e/kWh afhængig af hvor det geografisk er placeret. Hvis det er korrekt, så ligger pv-anlæggs klimabelastning et sted mellem effektiv vindenergi og det gennemsnitlige elnet.

## **8. Salgsemballage**

Kunderne får granulaterne leveret i PE-posere, der antages kun at veje 2 g fordi de kan være ganske tynde, når de forstærkes af karton emballage, der antages at veje 50 g. Data hentet med Simapro angiver PE folies klimabelastning til 2,85 kg CO<sub>2</sub>e/kg PE, mens pap har en klimabelastning på 1,15 kg CO<sub>2</sub>e/kg pap. Den samlede salgsemballage antages derfor at belaste klimaet med 0,063 kg CO<sub>2</sub>e/emballage til 2 kg granulat eller ca. **0,032 kg CO<sub>2</sub>e/emballage til 1 kg granulat**.

## **9. Hydrering hos kunden/forbrugeren**

Hos kunden hydreres det tørre ærte- og bønnegrulat med ca. 180-250 % vand før det anvendes i madlavning, dvs. *1 kg tørt TVP bliver til 2,8 til 3,5 kg hydreret produkt*, som kan erstatte kød. Da vand her regnes for at have nul klimabelastning, skal de endelige klimabelastninger af *Plant Mate* protein granulat divideres med 2,8 til 3,5! Hertil lægges klimabelastningen ovenstående salgsemballage, som kasseres efter brug. Der modregnes ikke forbrændingsgevinst, da den skønnes at være meget ringe.

## 10. Resultat overblik

I dette afsnit gives et overblik over samtlige beregninger, som illustreret i resuméets figur 2.

Aktivitet	Ærte-TVP klimabelastning		Hestebønner-TVP klimabelastning	
	Klimabelastnings - bidrag	Summeret klimabelastning	Klimabelastnings- bidrag	Summeret klimabelastning
Her anføres kun proteinfraktions 77,92% andel				
Landbrug inkl. transport	303 CO <sub>2</sub> e/235 kg	303 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	331 CO <sub>2</sub> e/235 kg	331 CO <sub>2</sub> e/235 kg
Land Use Change, LUC	413 CO <sub>2</sub> e/235 kg	716 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	171 CO <sub>2</sub> e/235 kg	503 CO <sub>2</sub> e/235 kg
Skib Riga-Tau	13,4 CO <sub>2</sub> e/235 kg	730 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	13,4 CO <sub>2</sub> e//235 kg	516 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Fraktionering/tørring, energi	1,08 CO <sub>2</sub> e/235 kg	730 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	1,27 CO <sub>2</sub> e/235 kg	517 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Kvart Big Bag	0,58 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	731 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	0,58 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	518 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Lastbil Tau-Stavanger	0,52 kg CO <sub>2</sub> e	732 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	0,52 kg CO <sub>2</sub> e	518 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Skib Stavanger-Hirtshals	0,49 kg CO <sub>2</sub> e	732 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	0,49 kg CO <sub>2</sub> e	519 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Lastbil Hirtshals-Holstebro	4,31 kg CO <sub>2</sub> e	737 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	4,31 kg CO <sub>2</sub> e	523 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Lastbil Holstebro-Hedensted	4,47 kg CO <sub>2</sub> e	741 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	4,47 kg CO <sub>2</sub> e	528 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
Granulering, vindenergi	0,226 kg CO <sub>2</sub> e	741,2 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg	0,226 kg CO <sub>2</sub> e	527,9 kg CO <sub>2</sub> e/235 kg
<b>Det tørre granulat (grnl.)</b>	Uden salgsemballage	3,154 kg CO <sub>2</sub> e/kg grnl.	Uden salgsemballage	2,246 kg CO <sub>2</sub> e/kg grnl.
<b>+ Salgsemballage</b>	0,032 kg CO <sub>2</sub> e	<b>3,186 CO<sub>2</sub>e/kg grnl.</b>	0,032 kg CO <sub>2</sub> e	<b>2,278 CO<sub>2</sub>e/kg grnl.</b>
<b>Hydreret granulat og kasseret salgsemballage</b>	<b><u>0,96 – 1,19 kg CO<sub>2</sub>e/kg hydreret granulat</u></b>		<b><u>0,70 – 0,60 kg CO<sub>2</sub>e/kg hydreret granulat</u></b>	

Tabel 1. Oversigt over klimabelastningen i de forskellige led i livscyklussen fra jord til køderstatning hos forbrugeren, eksklusiv ukendt sluttransport til disse. Resultatet af tabellen er plottet i figur 2 i resuméet.

Hvis *Plant Mate* består af lige dele ærteprotein og hestebønneprotein, så har salgseballeret *Plant Mate* en klimabelastning på middelværdien af de to intervaller nederst i tabel 2: **2,732 kg CO<sub>2</sub>e per kg tørt *Plant Mate*** forudsat det består af halvt af hver af de to bælgplante proteinfraktioner. Når det hydreres, hvilket giver et produkt som er sammenligneligt med kød, er klimabelastningen nede **0,83 – 1,02 kg CO<sub>2</sub>e per kg hydreret *Plant Mate* (snit 0,93 kg CO<sub>2</sub>e/kg – som anført i resuméet).**

## 11. Realitets tjek

Til slut sammenlignes de i dette notat fremlagte klimabelastningsværdier af proteinafgrøderne og TVP med resultater fra andre studier af tilsvarende produkter.

Klimabelastningerne valgt for proteinært og hestebønne fra landbrug i Danmark (hvortil fremtidige leverancer forventes at komme i stedet for Letland) ligger i den lave ende af intervallet angivet i tabel 1. Dette er rimeligt, fordi der ikke er transport fra en række forskellige landbrug til et centrallager foruden økonomisk drevet import af proteinafgrøder fra andre lande frem til samme centrallager. Den direkte import via Riga og fraktionering i Norge støtter valget af 'at farm' værdier. De danske værdier for tørrede ærter (gule ærter) har i flg. den bedagede danske database LCA-Food (2007) et klimaaftryk på 0,370 kg CO<sub>2</sub>e/kg, hvilket er meget nær den værdi der er gennemregnet for ærteprotein i dette notat. Der er også tal for proteinærter som er lavere, fx Alberta Peas med et klimaaftryk på 0,183 kg CO<sub>2</sub>e/kg 'at farm gate' (Department of Agriculture, 2017). Our World-in-data (2020) angiver ærters klimabelastning til 360 g CO<sub>2</sub>e/kg. Flere værdier rapporteres af Gonzáles et al (2011) og Knudsen *et al.* (2016).

Klimabelastningerne af tilsvarende bælgplante proteinkoncentrater og –isolater (van Veghel 2018) er i god overensstemmelse med de tal der findes for proteinært og hestebønne i dette notat. Nette et al. (2016) finder tilsvarende, at ærte protein mel belaster klimaet med 0,94 kg CO<sub>2</sub>e/kg, en værdi som også ligger meget tæt på resultaterne i dette notat. Data stammer fra Ecoinvent databasen.

## 12. Konklusioner

- Plant Mate har en klimapåvirkning på **2,732 kg CO<sub>2</sub>e per kg tørt Plant Mate** forudsat det består af halvt af hver af de to bælgplante proteinfraktioner. Når det hydreres, hvilket giver et produkt, som er sammenligneligt med kød, er klimabelastningen afhængig af hydreringsgrad nede **0,83 – 1,02 kg CO<sub>2</sub>e per kg hydreret Plant Mate (snit 0,93 kg CO<sub>2</sub>e/kg).**
- Sammenlignet med Concito's klimatal for svinekød (3,0-3,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg udskæringer) og oksekød (31-152 kg CO<sub>2</sub>e/kg udskæringer) ligger *Plant Mate's* klimaaftryk 3 til 160 gange lavere, og vil kunne bidrage væsentligt til at nedsætte Danmarks klimaaftryk, hvis animalsk protein erstattes med dette eller tilsvarende produkter frem mod 2030, hvor den nationale målsætning er en 70 % reduktion af vores klimaaftryk i forhold til 1990, og klimaneutralitet i 2050.
- De væsentligste bidrag til TVP's klimaaftryk stammer fra landbruget (grøn farve i figur 2) og fra iLUC (gule farve i figur 2), som dyrkning af bælgplanterne afstedkommer. De anvendte generiske værdier skønnes forsvarlige og rimelige at anvende her, og er i god overensstemmelse med de værdier angivet af Veghel (2017). De nu anvendte iLUC-værdier fra Concito's Store Klimadatabase er lavere end de hidtil benyttede, og derfor beregnes klimabelastningen til en lavere værdi end i notatet fra februar 2021. Valg af økonomisk allokering af klimabelastning af transport mellem Norge og Danmark har en marginalt reducerende indvirkning på den samlede klimabelastning. Valg af landbrugsdata, iLUC model og omregning af iLUC af tørre produkter ud fra friske produkter har *helt afgørende indflydelse* på det samlede resultat.
- Valg af alternativ el leverandør til den nuværende certificerede vindmøllestrøm i Hedensted (dvs. det almindelige elnet eller pv solceller) gør reelt ingen forskel på den samlede klimabelastning af Plant Mate produkterne.

### 13. Litteratur

- 2.-0 LCA Consultants. 2020a. Simapro. <https://lca-net.com/simapro/>.
- 2.-0 LCA Consultants. 2020b. Stepwise. <https://lca-net.com/services-and-solutions/impact-assessment-option-full-monetarisation/>.
- Agri-footprint. 2020. <https://simapro.com/databases/agri-footprint/>.
- Audsley E, Brander M, Chatterton J, Murphy-Bokern D, Webster C, Williams A. 2009. How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope for reducing them by 2050. WWF-UK, Cranfield University. [https://www.researchgate.net/publication/309309428\\_How\\_low\\_can\\_we\\_go\\_An\\_assessment\\_of\\_greenhouse\\_gas\\_emissions\\_from\\_the\\_UK\\_food\\_system\\_and\\_the\\_scope\\_for\\_to\\_reduction\\_them\\_by\\_2050](https://www.researchgate.net/publication/309309428_How_low_can_we_go_An_assessment_of_greenhouse_gas_emissions_from_the_UK_food_system_and_the_scope_for_to_reduction_them_by_2050).
- Concito. 2021. Den Store Klimadatabase version 1. <https://denstoreklimadatabase.dk/baggrundsinformation>.
- Department of Agriculture. 2017. Measuring the Environmental Footprint of Alberta Peas. [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/info16433/\\$FILE/Measuring-Enviro-Footprint-of-AB-Peas.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/info16433/$FILE/Measuring-Enviro-Footprint-of-AB-Peas.pdf).
- Earles JM, Halog A. Consequential life cycle assessment: a review. 2011. Int. J Life Cycle Assessment 16:445–53. [https://www.researchgate.net/publication/225586964\\_Consequential\\_life\\_cycle\\_assessment\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/225586964_Consequential_life_cycle_assessment_A_review).
- Ecoinvent. 2020. <https://www.ecoinvent.org/home.html>.
- Energinet. 2019. Notat om deklaration af el (beskriver principperne for udarbejdelse af miljødeklaration, eldeklarationer, CO2-data samt forskelle og sammenhænge gældende fra 2018 og frem). <file:///C:/Users/Henrik/Downloads/Eldeklarationer%20metodedokument.pdf>.
- Energinet. 2020. Miljødeklaration. [file:///C:/Users/Henrik/Downloads/Regnskabspraksis%20for%20Milj-%20og%20eldeklaration\\_x.pdf](file:///C:/Users/Henrik/Downloads/Regnskabspraksis%20for%20Milj-%20og%20eldeklaration_x.pdf).
- Exiobase. 2020. <https://simapro.com/products/exiobase-database/>.
- FRIDA database. 2021. <https://frida.fooddata.dk/>.
- LCA Food. 2007. Dansk cLCA database for fødevarer. <http://www.lcafood.dk/>.
- Minter M. 2019. Klimavenlige madvaner, Concito. <https://concito.dk/sites/concito.dk/files/media/document/Klimavenlige%20madvaner%202019.pdf>.
- Muteri V, Cellura M, Curto D, Franzitta V, Longo S, Mistretta M, Parisi ML. 2020. Review on Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic Panels. Energies 13:252. Doi:10.3390/en13010252.
- NREL. 2012. Life cycle greenhouse gas emissions from solar photovoltaics. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>.
- Nette A, Wolf P, Schlüter O, Mayer-Aurich A. 2016. A comparison of carbon footprint and production cost of different pasta products based on whole egg and pea flour. Foods,5, 17; doi:10.339. [https://www.researchgate.net/publication/297607836\\_A\\_Comparison\\_of\\_Carbon\\_Footprint\\_and\\_Production\\_Cost\\_of\\_Different\\_Pasta\\_Products\\_Based\\_on\\_Whole\\_Egg\\_and\\_Pea\\_Flour](https://www.researchgate.net/publication/297607836_A_Comparison_of_Carbon_Footprint_and_Production_Cost_of_Different_Pasta_Products_Based_on_Whole_Egg_and_Pea_Flour).
- Our World in Data. 2020. How does the carbon footprint of protein-rich foods compare? <https://ourworldindata.org/less-meat-or-sustainable-meat>.
- Raadal HL. 2020. How large are emissions from Norwegian hydropower plants? <https://www.theexplorer.no/stories/energy/how-norway-produces-hydropower-with-a-minimal-carbon-footprint/>
- Saxe H. 2014. The New Nordic Diet is an effective tool in environmental protection: it reduces the associated socio-economic cost of diets. **Table 2.** The American Journal of Clinical Nutrition 99:1117-1125. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24670943>.

Knudsen MT, Hermansen JE, Olesen JE, Topp CFE, Schelde K, Angelopoulos N, Reckling M. 2016. Climate impact of producing more grain legumes in Europe. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. [https://www.opia.cl/static/website/601/articles-58891\\_archivo\\_01.pdf](https://www.opia.cl/static/website/601/articles-58891_archivo_01.pdf).

Van Veghel A. 2017. <https://www.blonkconsultants.nl/2017/12/14/revealing-the-environmental-impact-of-plant-proteins/?lang=en>

Viden om vind. 2020. <https://videnomvind.dk/svar-paa-rede-haand/hvor-meget-c02-sparer-en-vindmoelle/>.