



Global Afrapportering 2022 (GA22):

Danmarks forbrug af biomasse – fokus på træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme

Baggrundsnotat nr. 3

Indholdsfortegnelse

1. Rammesætning	2
2. Hovedresultater	4
2.1 Nøgletal	4
2.2 Indsatser	16
3. Metode og antagelser	17
3.1 Metodebeskrivelse	18
3.2 Værktøjer/modeller	19
3.3 Overordnede forudsætninger og afgrænsninger	19
3.4 Primære datakilder	21
4. Supplerende og uddybende resultater og analyse	23
4.1 Delresultater	23
4.2 Årsagssammenhænge - kulstofkredsløb	27
4.3 Sammenligning med GA21	28
5. Kvalificering	29
5.1 Usikkerhed	29
5.2 Følsomhedsberegninger	30
6. Perspektivering	31
6.1 Kulstofdynamikken i et fortsat forbrug	31
6.2 Andre analyser af biomassens klimaeffekt	33
6.3 Mulige udviklingsveje	35
7. Kilder	36

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



1. Rammesætning

I dette notat analyseres udledninger forbundet med Danmarks forbrug af biomasse. Fokus ligger på træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme.

Danmark har siden 1990 udskiftet en stor del af forbruget af fossile brændsler til produktion af el og varme med faste biobrændsler (biomasse) (ENS, 2020). Træ er dominerende. Over halvdelen (61 pct.) af træbrændslerne var i 2020 importeret (ENS, 2021).

Det danske forbrug af træbiomasse til energiformål påvirker isoleret set atmosfærens indhold af CO₂. Den primære påvirkning er, at forbrændingen fremrykker de udledninger, der ville ske naturligt. Samtidigt påvirkes kulstofkredsløbet i skoven. Kulstofkredsløbet bestemmer, hvor meget kulstof fra CO₂ i luften, der bindes i eller frigives fra skovens kulstofpuljer af levende og dødt træ mv.

Når der produceres bioenergi af træbiomasse fjernes træet fra skoven og forbrændes i fx et varmekværk. Uden efterspørgslen til bioenergiproduktion ville træbiomassen være blevet efterladt i skoven til naturligt forrådnelse, brændt lokalt uden energiudnyttelse, brugt til andre træprodukter eller slet ikke høstet. Dermed resulterer forbruget i en ændring i tidspunktet for de biogene CO₂-udledninger fra senere (alternativ forrådnelse m.m.) til øjeblikkelig (bioenergi).

Forskellen i størrelsen af skovens kulstoflagre, som følge af denne tidsforskydning, bestemmer den biogene nettoudledning af biomasseforbruget. Den biogene nettoudledning fra et enkelt års forbrug falder over tid til nul, når træbiomassen stammer fra langsigtet forvaltede skove¹.

Forbruget af træ til energiformål påvirker også skovenes biodiversitet. Det er ikke belyst her, men se fx JRC (2021).

Ændringer i skoves kulstofpuljer er et af de elementer, som af metodemæssige årsager ikke indgår i udregningen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk jf. baggrundsnotatet *Forbrug*, og heller ikke beregningen af udledninger fra ændringer i arealanvendelse knyttet til Danmarks forbrug jf. baggrundsnotatet *Ændringer i arealanvendelse*.

Nærværende notat søger derfor at kaste nyt lys over, hvordan den samlede nettoudledning af CO₂ fra Danmarks forbrug af biomasse til energi kan vurderes og kvantificeres ud fra konkrete data. Fokus i dette notat ligger på forbruget af træpiller

¹Der er ikke noget i data, som tyder på egentlig skovrydning, hvor skoven ikke genetableres, i forbindelse med forbruget af biomasse til dansk produktion af el og fjernvarme i 2020 (IGN, 2022). Se også Boks 2.

og træflis til produktion af el og fjernvarme, og hvilken effekt forbruget har på atmosfærens indhold af CO₂.

Energistyrelsen har bestilt og modtaget en analyse af disse forhold fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet. Der er tale om modelberegninger baseret på konkrete data fra 12 varme- og kraftvarmeværker, som dækker ca. 84 pct. af det samlede danske forbrug af træflis og træpiller til produktion af el og fjernvarme².

Analysemetoden beskrives nærmere i afsnit 3. Det belyses, hvordan den ekstra mængde af CO₂ i atmosfæren fra forbruget af træbiomasse varierer over tid samt mellem forskellige typer af biomasseinput mm. For at kvalificere resultaterne belyses usikkerheder og følsomhedsanalyser i afsnit 5. I afsnit 6.2 redegøres der som en del af perspektiveringen for andre studier af CO₂-udledninger knyttet til forbrug af træbiomasse.

Notatet er udarbejdet af Energistyrelsen.

² Vægtet gennemsnit af 96 pct. af træpilleforbruget på 34,4 PJ og 69 pct. af flisforbruget på 29,9 PJ (IGN, 2022).



2. Hovedresultater

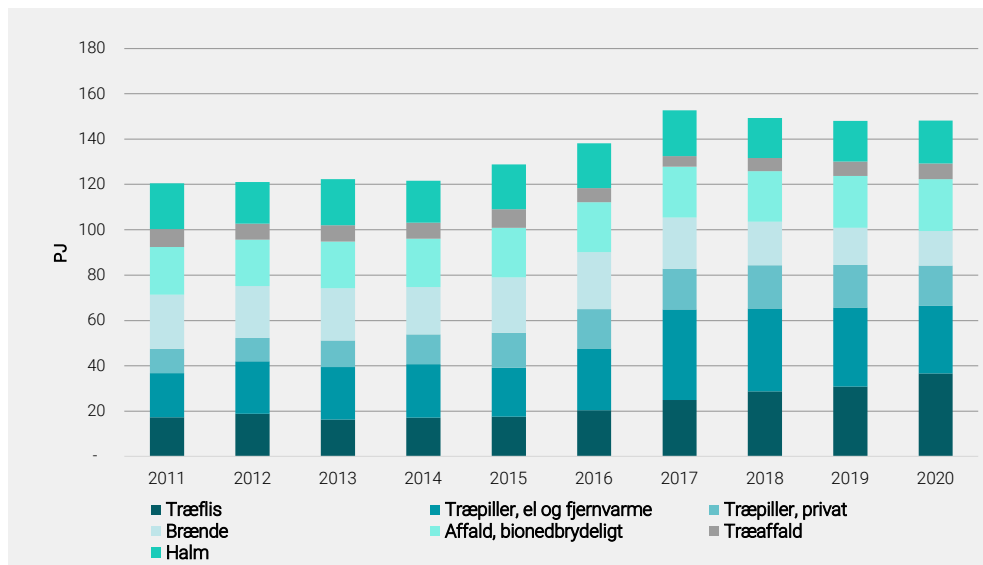
I dette afsnit gives først et overblik over Danmarks samlede forbrug af faste biomassebrændsler. Derefter belyses den geografiske oprindelse af træpiller og flis til produktion af el og fjernvarme i Danmark. Med udgangspunkt i resultater af den udarbejdede analyse fra IGN (2022) belyses derefter nettoudledningen over tid fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020. Resultaterne er foldet yderligere ud i afsnit 4.

2.1 Nøgletal

Forbruget af faste biobrændsler er steget over de seneste ti år

Danmarks forbrug af faste biomassebrændsler til produktion af el og varme i 2011 var 120 PJ jf. Figur 1. Fra 2014 til 2017 var forbruget stærkt stigende til 153 PJ, hvorefter det er faldet svagt. I 2020 havde Danmark et forbrug af energi fra faste biomassebrændsler på 148 PJ, svarende til 57 pct. af hele det danske forbrug af vedvarende energi i 2020 (ENS, 2021).

Figur 1: Danmarks forbrug af faste biomassebrændsler 2011-2020



Kilde: ENS 2021

De faste biobrændsler omfatter forbruget af træ, halm og bioaffald til produktion af el og varme i husholdninger, industri og den kollektive forsyning (el og fjernvarme). Det stigende forbrug skyldes bl.a., at en række centrale kraftvarmeværker er blevet ombygget til helt eller delvist at kunne anvende biomasse til produktion af el og varme frem for naturgas og kul.



Træ er dominerende. Træbaserede brændsler i form af træpiller, træflis³, brænde og træaffald udgjorde 72 pct. af energiproduktionen fra faste biomassebrændsler (106 PJ) i 2020. Heraf udgjorde træpiller, efterfulgt af træflis, den største del. Tilsammen udgjorde det samlede forbrug af træpiller og træflis i både kollektiv forsyning, industri og husholdninger 84 PJ, hvilket er på samme niveau som de foregående tre år. Specifikt var der i 2020 et forbrug på 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme, som der er fokus på i nærværende notat.

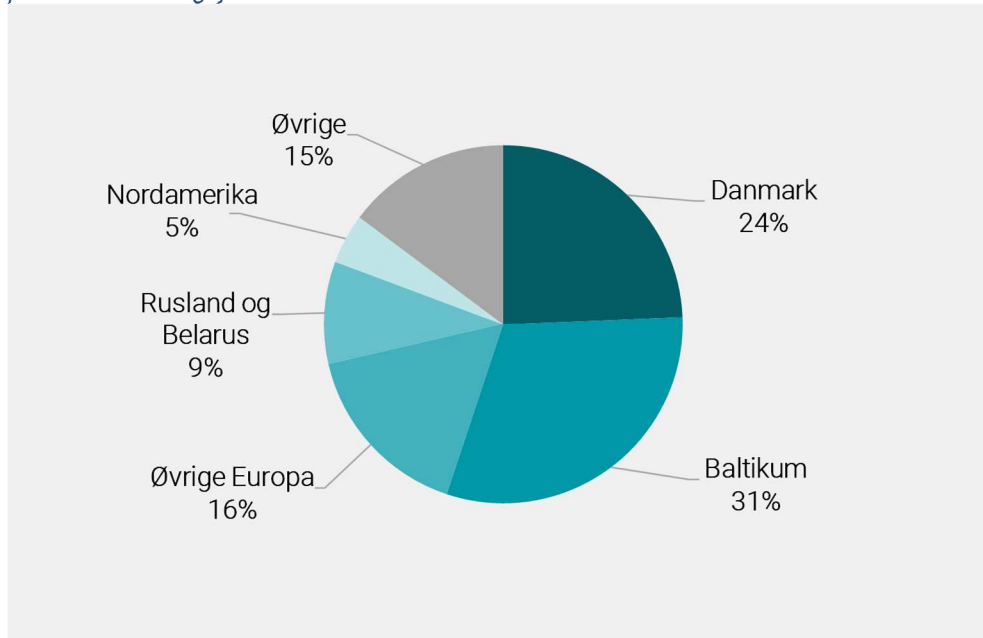
Danmark importerer tre fjerdedele af forbruget af træpiller og træflis

Hovedparten af træet er importeret. 39 pct. af den totale mængde træ, som blev anvendt til produktion af el, fjernvarme og individuel varme i Danmark i 2020, havde dansk oprindelse, mens 61 pct. var importeret (ENS, 2021).

Ses der udelukkende på forbruget af træpiller og træflis havde knap en fjerdedel af den samlede mængde af træpiller og træflis, som blev brugt til produktion af el og fjernvarme i Danmark i 2020 dansk oprindelse, dvs. træet stammer fra danske skove m.v. Baltikum tegner sig for næsten en tredjedel af den samlede mængde, og resten stammer fra et bredt udsnit af lande bl.a. det øvrige Europa, Rusland og USA. Der er væsentlig forskel på den geografiske oprindelse af henholdsvis træflis og træpiller. Således er 51 pct. af flisforbruget til produktion af el og fjernvarme i 2020 af dansk oprindelse, men det kun gælder for 4 pct. af træpilleforbruget (Danmarks Statistik, 2022).

³ Træflis betegnes "skovflis" i Energiproducenttællingen og Energistatistikken. Flisen kan dog i praksis komme fra flere forskellige biomassekategorier, ikke blot skov. Der kan fx også være tale om træflis fra haveparkaffald eller fra energitræ på landbrugsarealer.

Figur 2: Geografisk oprindelse af det samlede forbrug af 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i Danmark i 2020



Kilde: Danmarks Statistik 2022

Anmærkning: Kategorien Øvrige indeholder bl.a. Brasilien. Den her viste landfordeling er baseret på data fra Danmarks Statistik om national produktion og import. Den adskiller sig lidt fra de geografiske modeldata, som er indhentet fra værker og danner grundlag for opgørelsen af nettoudledning i indeværende notat jf. IGN (2022)

Klimaeffekten af Danmarks forbrug af træpiller og træflis afhænger af det anlagte tidsperspektiv

Udledningerne fra Danmarks forbrug af biomasse kan opgøres på flere måder. I dette notat er der fokus på at opgøre nettoudledningerne forbundet med Danmarks forbrug af biomasse. Se Boks 1 for en definition af nettoudledninger og andre anvendte begreber.

Resultaterne er baseret på en analyse af det faktiske forbrug af træpiller og træflis til el- og varmeproduktion i danske varmekværker og kraftvarmekværker i 2020 (IGN, 2022). Analysen er bestilt af Energistyrelsen.

Opgørelse af den samlede nettoudledning bruges til at tegne et mere komplet billede af udledningerne fra det danske forbrug af træbiomasse, end hvis der alene blev set på bruttoudledninger fra skorstene m.m. eller på ændringer af skovens kulstoflager, hvor træbiomassen høstes.

Den samlede nettoudledning omfatter følgende tre elementer af udledningerne:

- *Biogene udledninger fra energiproduktion:* Det kulstof som frigives fra skorstenen til luften i form af CO₂ fra det afbrændte træ i stedet for at være bundet i skovens kulstofpuljer af dødt og levende træ m.m.
- *Procesudledninger:* Udledninger forbundet med produktion og transport af biomasse. Kan både være fossile og biogene.
- *Udledninger fra indirekte effekter:* Udledninger knyttet til ændringer i arealanvendelsen, herunder fældning af hele træer til energiformål, eller i brugen af træ som følge af forbruget af biomasse til energiformål jf. Boks 1.

Boks 1: Nøglebegreber

- Samlet nettoudledning: Svarer til det ekstra CO₂-indhold i atmosfæren fra det pågældende forbrug af biomasse; isoleret set. Omfatter nettoudledning fra selve energiproduktionen, fra forarbejdning og transport af biomassen samt fra indirekte effekter af biomasseforbruget (jf. indirekte effekter).
- Alternativ skæbne: Hvad biomassen ville være blevet brugt til, hvis den pågældende biomasse ikke var blevet brugt til produktion af bioenergi.
- Biogen bruttoudledning: Udledning fra skorstene, udstødningsrør m.v. ved forbrænding af biobrændsler og biobrændstoffer. Omfatter den biogene del af direkte udledninger og af udledninger forårsaget af indirekte effekter.
- Biogen nettoudledning: Biogen bruttoudledning fraregnet den udledning, som *alternativt* (jf. alternativ skæbne) ville være sket i fravær af forbruget af biomasse til energiproduktion. Heri indgår eventuelle forskelle mellem det faktiske og det alternative kulstofoptag i skoven efterfølgende.
- Indirekte effekter: Indirekte effekter på arealanvendelse, indirect Land-Use Change, og på brugen af træ, indirect Wood-Use Change (jf. iLUC og iWUC).
- iLUC: 1) Ekstra hugst af hele træer til energi, dvs. fældning af træer udelukkende på grund af efterspørgslen efter energi, 2) udvidelse af det forvaltede skovareal ind i naturskov, hvilket sænker kulstoflageret der og 3) ændret forvaltningspraksis i skovene som følge af biomasseefterspørgslen, herunder øget brug af hjælpetræer, som øger tilvæksten på arealet.
- iWUC: Markedsændringer, der sker, når mere træ forbruges til energiproduktion, og der dermed er mindre træ til rådighed til træmaterialer. Når det antages, at efterspørgslen på materialer er konstant, så medfører det mindskede udbud af træ til materialer enten 1) en øget hugst et andet sted (medregnet i iLUC nr. 2) eller 2) et øget forbrug af andre billigere materialer, når det mindskede udbud får prisen på træmaterialer til at stige. Fx beton, som har en højere samlet nettoudledning end træ.
- Halveringstid: Den tid, det tager for halvdelen af det bundne kulstof i træet at blive frigivet til atmosfæren som CO₂, fx ved gradvis forrådnelse af træ, der efterlades i skovbunden eller ved den gradvise afvikling af træprodukter gennem affaldsforbrænding.
- Biogen kulstofgæld: Svarer til den biogene nettoudledning. Gælden skyldes en tidsforskydning (typisk fremrykning) fra gradvis udledning via den *alternative*

forrådelse af træ i skovbunden til øjeblikkelig udledning ved forbrænding i kraftværker m.m.

- Udledningsfaktor: Udledning per enhed energi i biomassen. Opgøres i kg CO₂ per GJ.
- Ægte rester: De trærester fra skovbrug og fra træindustri, som ikke giver anledning til indirekte effekter. Det er altså træ, som i den givne situation ikke kunne bruges til andre træprodukter, ikke har medført ekstra hugst, ikke har ført til ændret skovforvaltning m.v.

Danmarks forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 resulterede i en samlet bruttoudledning på 6,9 mio. ton CO₂. Udledningen er ligeligt fordelt mellem forbruget af træpiller og træflis.

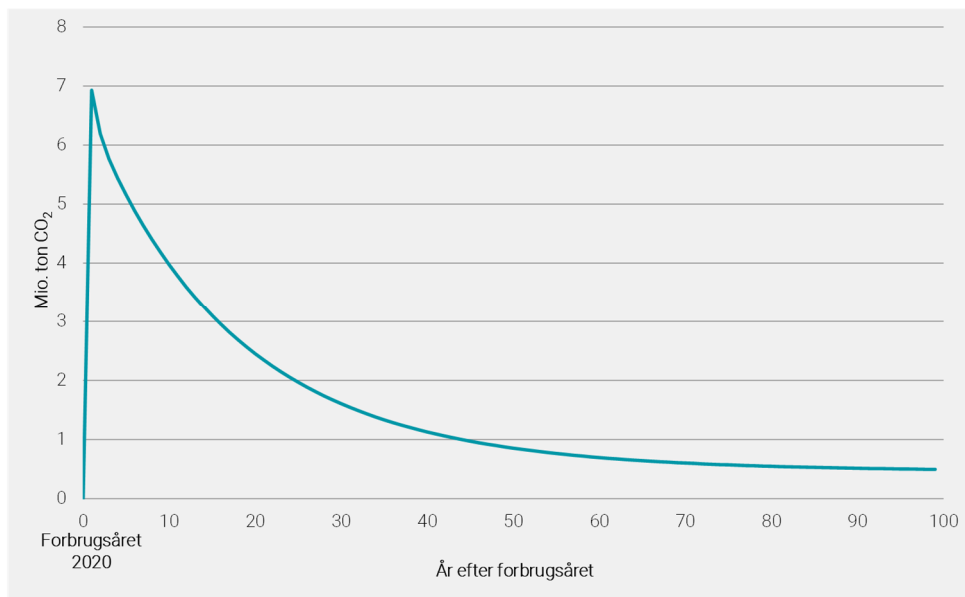
Hovedparten af bruttoudledningen skete i form af biogen bruttoudledning fra skorstenene hos energiproducenterne. Hertil kom mindre mængder fossile og biogene udledninger fra bl.a. industrier, som fremstiller træpiller, transport og diverse indirekte effekter. De samlede biogene bruttoudledninger knyttet til forbruget udgjorde 6,6 mio. ton, svarende til 94 pct. af de samlede udledninger, mens fossile bruttoudledninger udgjorde 0,3 mio. ton CO₂, svarende til 6 pct. (IGN, 2022). Tilsvarende er der fjernet 6,6 mio. ton CO₂ fra skovenes kulstoflagre i forbindelse med forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020.

Bruttoudledning giver dog ikke i sig selv svaret på, hvor meget forbruget af biomasse til energiproduktion i Danmark isoleret set påvirker det globale klima på sigt. Over tid modsvares den biogene del af bruttoudledningen af den udledning fra nedbrydning af træbiomassen, som alternativt ville have fundet sted i skoven eller ved træindustrien, hvis rester i form af grene, stammer mv. var blevet efterladt, i stedet for at blive brændt af i varmekærnerne, jf. Boks 2.

Når man ser på forbruget i et enkelt år (2020) isoleret set, fremgår det af

Figur 3 og Tabel 1, at den samlede *nettoudledning* fra det danske forbrug af træpiller og træflis til el og fjernvarme i 2020 i år 1 var på 6,9 mio. ton CO₂ (svarende til bruttoudledningen). Men som det også fremgår af figuren, falder nettoudledningen, altså det ekstra indhold af CO₂ i atmosfæren knyttet til forbrugsåret, over tid på grund af skovens kulstofkredsløb, jf. Figur 10. Specifikke nettoudledningstal afhænger dermed af tidsperspektivet.

Figur 3: Samlet nettoudledning fra forbruget af 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 set over tid



Kilde: IGN 2022

Anmærkning: Figuren illustrerer udledningerne fra det forbrugsmix og den mængde af træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til produktion af el og fjernvarme i forbrugsåret 2020

Tabel 1 viser den samlede nettoudledning i tabelform. Efter ti år er mængden af CO₂ i atmosfæren, der er knyttet til det konkrete forbrug i 2020, faldet til 4,0 mio. ton (et fald på 43 pct.), efter 20 år til 2,5 mio. ton (et fald på 65 pct.) og efter 30 år er nettoudledningen faldet til 1,6 mio. ton (et fald på 77 pct.). Efter 50 år er det primært fossile udledninger forbundet med proces og transport, der udgør nettoudledningen.

Tabel 1: Samlet nettoudledning fra forbruget af 64 PJ træpiller og træflis i 2020 til produktion af el og fjernvarme set over tid

År efter forbrugsåret	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Nettoudledning (mio. ton CO₂)	6,9	4,0	2,5	1,6	1,1	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5

Kilde: IGN 2022

Boks 2: Grundlæggende viden om det danske forbrug

Resultaterne er baseret på data om biomasseforbrug og antagelser om skovforvaltning, træmarkedet mv. (IGN, 2022).

Baseret på den bedst tilgængelige viden er det bl.a. antaget, at næsten hele det danske forbrug af træpiller og træflis til dansk produktion af el og fjernvarme kommer fra træer, der fældes af andre grunde end energiproduktion (min. 95 pct.). Træerne fældes, fordi den mest værdifulde del af træet kan sælges til byggematerialer, papir og andre træprodukter. Den anvendte træbiomasse består hovedsageligt af grene, toppe og stammedele af dårlig kvalitet samt rester fra træindustrien.

Ligeledes er det antaget, at ekstra fældning af træer alene med energiproduktion som formål omfatter max. 5 pct. af forbruget, samt at skoven (træbevoksningen) genetableres efter fældning, så der vokser nye træer op⁴.

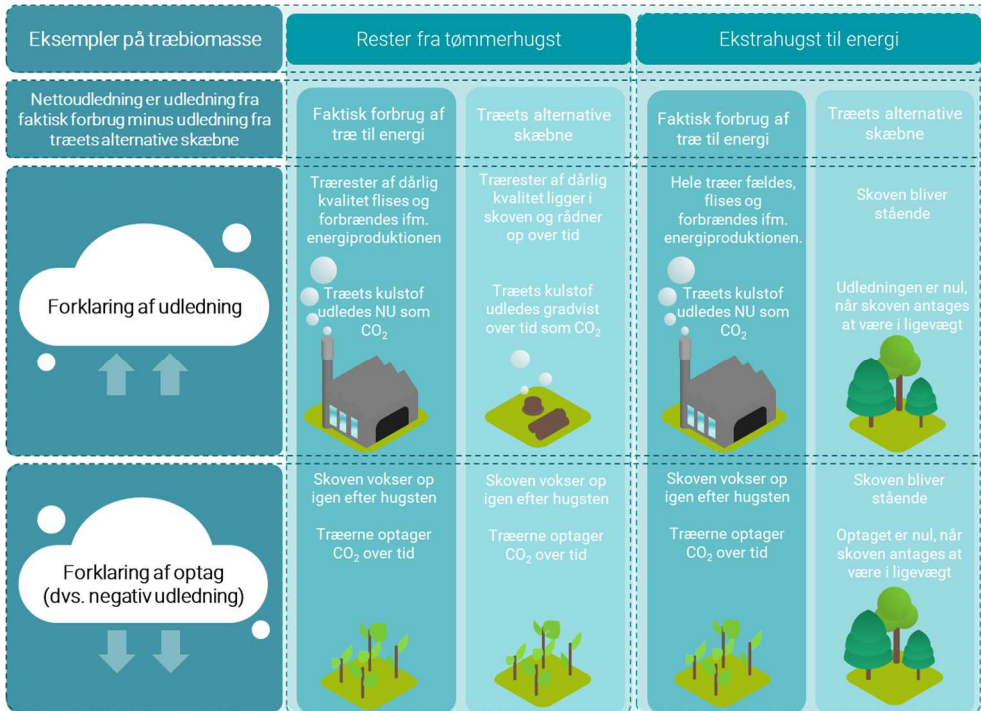
Aspektet omkring træets alternative skæbne, hvis det ikke blev anvendt til produktion af bioenergi, er vigtigt for at kunne beregne biomassens nettoudledning. Beregningen af den biogene nettoudledning sker ved, at den alternative udledning trækkes fra den faktiske udledning⁵.

Figur 4 viser to eksempler på faktisk forbrug (skæbne) af biomasse og biomassens respektive alternative skæbner i de to eksempler. I det første eksempel bestående af rester fra tømmerhugst er alternativet, at resterne (fx grene og toppe) efterlades i skoven til gradvis naturlig nedbrydning, hvorved der frigives CO₂. I det andet eksempel bestående af træer, som er fældet ekstra til energiformål, er alternativet, at træerne bliver stående med bibeholdt kulstoflager, hvis der ikke havde været efterspørgsel på træ til energiformål.

⁴ Genetablering af skov efter hugst har været et krav i den frivillige brancheaftale fra 2016 (Dansk Energi, 2016) og er fra 30. juni 2021 et lovkrav i de danske bæredygtighedskriterier for træbiomasse til produktion af el og varme (Bekendtgørelse 1352).

⁵ Der er ikke her indregnet udledninger fra alternative energikilder til produktion af den el og fjernvarme, som i 2020 blev produceret ved forbrænding af træ.

Figur 4: Princip for beregning af biogen nettoudledning fra skovbiomasse til energiproduktion – to eksempler



Anmærkning: Beregningen af den biogene nettoudledning sker ved, at den alternative udledning trækkes fra den faktiske udledning, og det alternative optag trækkes fra det faktiske optag (som negative udledninger)

Forskellene i biogen nettoudledning mellem de faktiske forbrug og biomassens alternative skæbner skyldes en tidsforskydning af udledninger og optag, dvs. en biogen kulstofgæld. I det første eksempel sker der faktisk en udledning nu, mens den alternative udledning først ville være sket senere. I det andet eksempel sker der en faktisk udledning nu, hvilket leder til et gradvist senere optag, som alternativt ikke ville være sket.

Eksemplet med rester fra tømmerhugst udgjorde ca. 57 pct. af det samlede forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020⁶. Eksemplet med ekstra hugst til energi udgjorde skønsvis max. 5 pct. af forbruget i 2020 (IGN, 2022).

Udledningsfaktorer viser nettoudledning per enhed energi i biomassen

Når nettoudledningen, som viser det ekstra CO₂-indhold i atmosfæren, opgøres per energienhed, kan udledningen beskrives uafhængigt af, hvor stort forbruget af biomasse er. Desuden bliver det lettere at sammenligne udledninger fra biomasse med udledninger fra fx fossile brændsler som kul og gas.

⁶ 100 pct. af hugstresterne (47 pct. af forbruget) plus 90 pct. af stammerne (15 pct. af forbruget).



Nettoudledningerne fra biomasseforbruget falder også over tid, når de opgøres per enhed energi i biomassen. Som det fremgår af Figur 5 og

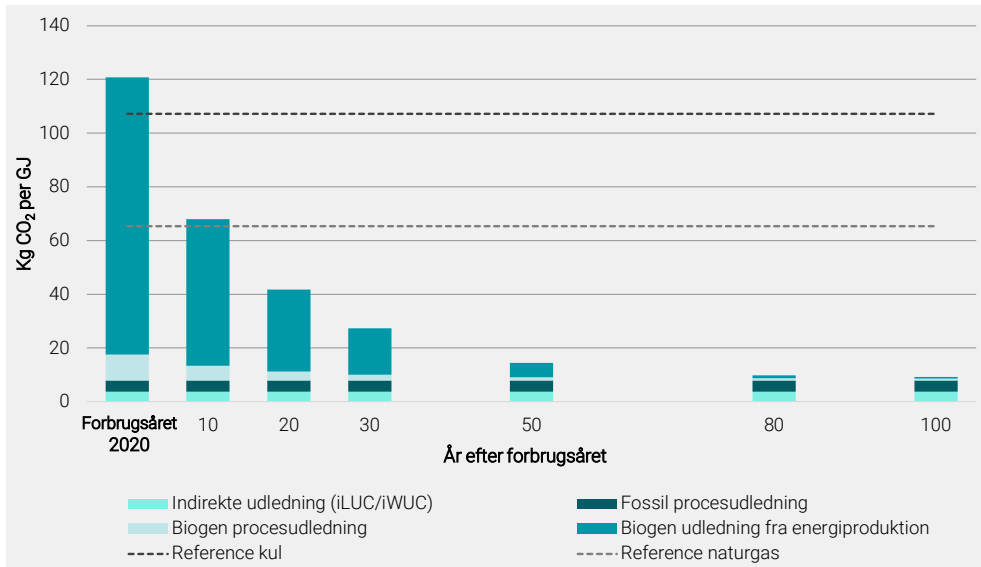
Tabel viser resultaterne for nettoudledning per energienhed i tabelform. Tabellen viser de tidsspecifikke udledningsfaktorer, dels som totaler og dels opdelt på de enkelte dele af den samlede nettoudledning per energienhed i biomassen. Desuden vises de fossile brændselsreferencer.

Tabel, ligger den samlede nettoudledning i år 1 fra den anvendte biomasse i forbrugsåret 2020 på 121 kg CO₂ per GJ. Det er højere end udledningen fra forbrug af kul til produktion af samme mængde energi⁷. 10 år efter forbrugsåret 2020 ligger nettoudledningen fra dette års forbrug, målt per energienhed, på 68 kg CO₂/GJ. Det er på niveau med udledningen fra fossil naturgas til produktion af samme mængde energi. 30 år efter forbrugsåret 2020 ligger nettoudledningen, målt per energienhed, på 27 kg CO₂/GJ.

Efter 70-80 år efter forbrugsåret 2020 består den samlede nettoudledning fra forbruget næsten blot af de fossile udledninger (fx relateret proces og transport), som ikke reduceres over tid

⁷ Bruttoudledningen fra forbrænding af biomasse er højere end for kul ved en tilsvarende mængde produceret energi. Det skyldes primært en lavere energitæthed i biomasse per kulstofmolekyle, men også udledninger fra tørring af træpiller og fra indirekte effekter af biomasseforbruget (IGN, 2022).

Figur 5: Nettoudledning per enhed energi i biomassen (udledningsfaktor) fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 set over tid



Kilde: IGN 2022

Anmærkning: Figuren illustrerer nettoudledningerne fra det forbrugsmix af træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til produktion af el og fjernvarme i 2020

Tabel viser resultaterne for nettoudledning per energienhed i tabelform. Tabellen viser de tidsspecifikke udledningsfaktorer, dels som totaler og dels opdelt på de enkelte dele af den samlede nettoudledning per energienhed i biomassen. Desuden vises de fossile brændselsreferencer.

Tabel: Nettoudledning per enhed energi i biomassen (udledningsfaktor) fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 set over tid

År efter forbrugsåret	1	10	20	30	50	80	100
Udledningsfaktor (kg CO₂/GJ)	120,7	67,9	41,8	27,3	14,5	9,8	9,3
Biogen udledning fra energiproduktion	103,1	54,5	30,5	17,2	5,4	1,1	0,7
Biogen procesudledning	9,7	5,4	3,3	2,2	1,2	0,7	0,7
Fossil procesudledning	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Indirekte udledning	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Reference kul	107,1	107,1	107,1	107,1	107,1	107,1	107,1
Reference naturgas	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4

Kilde: IGN 2022

Biomasseressourcer fra skove og træets alternative skæbne

Indholdet i træpillerne og træflisen kan deles op i henholdsvis stammer, industrirester og hugstrestre jf. Figur 6. Træflis består primært af stammer og



hugstrestre, mens træpiller primært består af industrirester og stammer. Det vægtede gennemsnit består af 47 pct. stammer, 37 pct. industrirester og 15 pct. hugstrestre, dvs. grene og toppe.

Stammer er defineret som træstammer fra bevoksninger (skovområder), hvor træerne er klar til salg som tømmer, men som typisk har for dårlig kvalitet eller består af træarter, som der ikke findes afsætning for. Den alternative skæbne for stammer antages at være, at de fældede stammer efterlades i skoven og nedbrydes naturligt med en halveringstid på 15 år jf. Tabel 2.

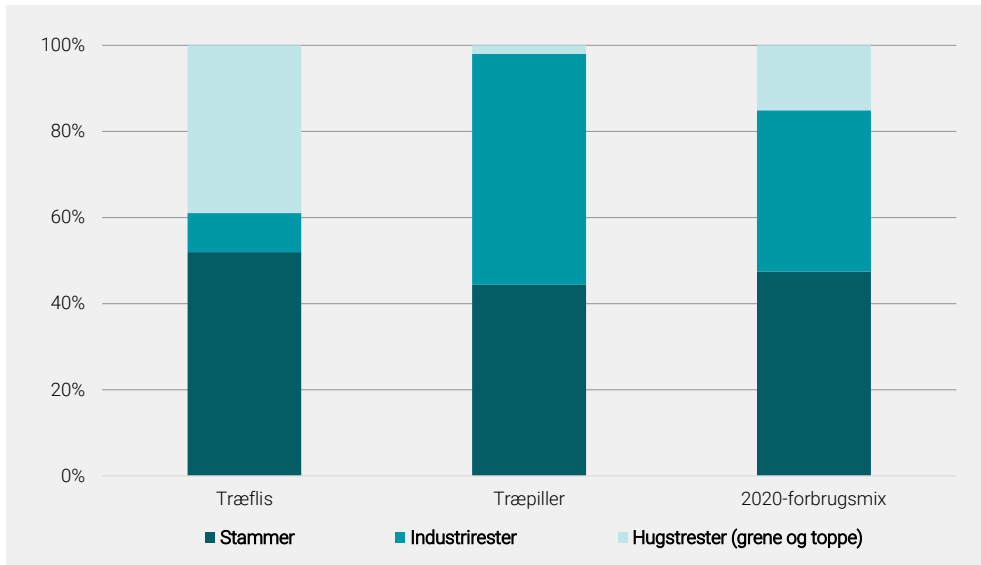
Industrirester er savsmuld, bark, fraskær m.v. som skabes, når træstammer saves op til brædder osv. på savværket eller videre forarbejdes til møbler mm. Den alternative skæbne for industrirester antages at være, at savsmuldet m.v. brændes af lokalt uden energiudnyttelse eller efterlades i stakke til naturlig nedbrydning med en samlet gennemsnitslig halveringstid på 5 år jf. Tabel 2.

Hugstrestre fra skovbrug er grene og toppe fra hugst af træer til tømmer mv. eller fra udtynding, dvs. pleje af skovbevoksninger. Den alternative skæbne for hugstrestre antages at være, at grenene og toppene enten brændes af lokalt uden energiudnyttelse (halveringstid 0,5 år) eller knuses eller stakkes og efterlades til naturlig nedbrydning (halveringstid hhv. 5 og 10 år)⁸ jf. Tabel 2.

For 90 pct. af stammerne og industriresterne antages det, at der ikke fandtes et kommercielt alternativ til at sælge træet til energiproduktion, og at forbruget dermed ikke har resulteret i indirekte effekter (iLUC/iWUC), jf. Boks 1. Denne antagelse hviler på den nuværende prisstruktur, som medfører at betydeligt bedre betalt konstruktionstræ m.m. har lav sandsynlighed for at blive anvendt til energi. Kun 10 pct. af både stammer og industrirester pålægges dermed ekstra udledninger fra indirekte effekter i beregningerne af nettoudledningen fra biomasseforbruget. Hugstrestre antages i den nuværende markedssituation at bestå 100 pct. af såkaldte "ægte rester", som ikke giver anledning til indirekte effekter (IGN, 2022).

⁸ Det antages endvidere, at den alternative skæbne for 30 pct. af hugstrestre er lokal afbrænding, mens den for 70 pct. af hugstrestre er stakning og naturlig nedbrydning.

Figur 6: Fordelingen mellem indholdet af stammer, industrirester og hugstrester i henholdsvis træflis og træpiller i 2020 samt et vægtet gennemsnit for forbrugsmixet i 2020



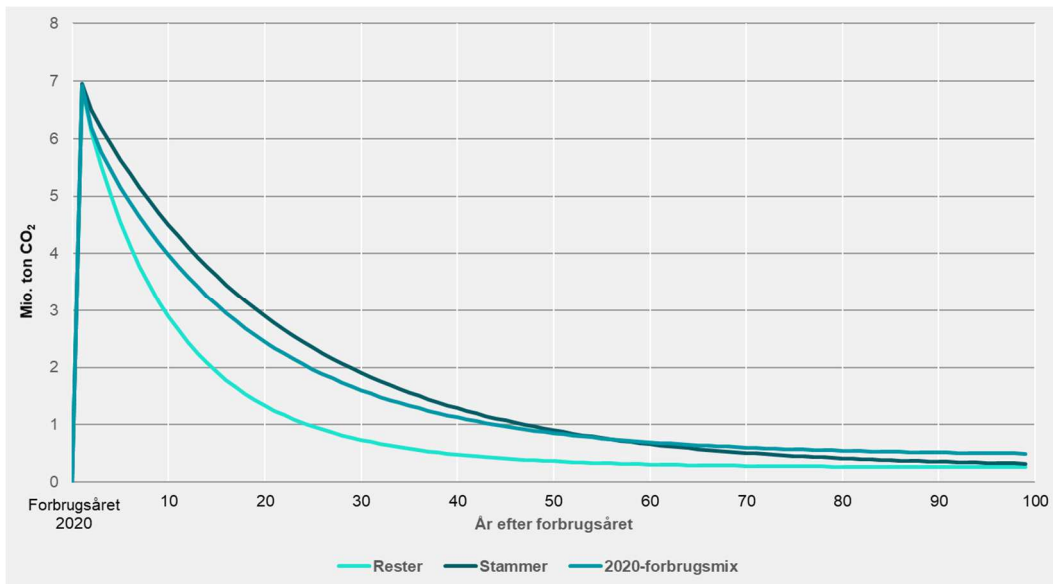
Kilde: IGN 2022

Typen af biomasse og dens alternative skæbne er nogle af de faktorer, som har stor betydning for den samlede nettoudledning fra forbruget af træpiller og træflis til el- og fjernvarmeproduktion. Nettoudledningen afhænger også på flere måder af biomassens oprindelse, se afsnit 4. CO₂-udledninger fra forbruget af biomasse til energi påvirkes således af mange forskellige faktorer jf. Tabel 3.

Det ses af Figur 7, at stammer og rester har forskellige udledningsprofiler over tid. I denne figur vises nettoudledning fra stammer og rester, som ikke har resulteret i indirekte effekter. Stammernes alternative skæbne er dermed, ligesom for resterne, at blive efterladt til naturlig nedbrydning. Nettoudledningen fra rester reduceres hurtigere end for stammer, fordi den alternative udledning, som trækkes fra den faktiske udledning (jf. Figur 4) er højere fra små træstykker i form af grene mv., som nedbrydes hurtigere end tykkere stammer (dvs. har kortere halveringstid).

Som det fremgår af Figur 7, ligger kurven over 2020-forbrugsmixet mellem de to andre kurver, eftersom forbruget består af en blanding af stammer og rester. På lang sigt ligger nettoudledningen fra forbruget i 2020 dog over de andre kurver, fordi det indeholder en andel fossile udledninger fra fx transport og indirekte effekter, som ikke reduceres over tid. Se en mere detaljeret opdeling af biomassetyper og deres alternative skæbner og halveringstider i afsnit 4.

Figur 7: Samlet nettoudledning set over tid for det samlede forbrugsmix i 2020, samt fra hhv. stammer (HL15) og rester (HL5) uden indirekte effekter, hvis hele forbruget af 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 bestod af denne type input



Kilde: IGN 2022

Anmærkning: Kurven for forbrugsmixet illustrerer nettoudledningerne fra træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til el- og fjernvarmeproduktion i 2020

2.2 Indsatser

Lovkrav om bæredygtighed af biomasse til energi trådte i kraft 30. juni 2021⁹. Kravene implementerer EU-direktivet om vedvarende energi fra 2018 (VEII-direktivet) samt den politiske aftale om træbiomasse¹⁰ fra oktober 2020, som går længere end kravene i EU-direktivet. Bæredygtighedskravene skal i videst mulige omfang begrænse risikoen for, at der anvendes biomasse med en høj klima- eller biodiversitetsbelastning. Kravene er samtidig formuleret fleksibelt af hensyn til forsynings sikkerheden og forbrugernes varmepriser. Bæredygtighedskriterierne følges op af en analyse i 2023, der overordnet skal vurdere bæredygtigheden af energisektorens forbrug af biomasse og evaluere kravene¹¹.

Mængden og typen af biomasse, som bruges til energiproduktion i Danmark, kan påvirkes direkte og indirekte af mange forskellige indsatser. Eksempler på nationale tiltag er nedsættelse af elvarmeafgiften, støtte til varmepumper samt udfasning af tilskud til elproduktion på biomasse ("15-øren"). Eksempler fra EU er revision af VEII-direktivet, Skovstrategien og Biodiversitetsstrategien. Der er mange politiske processer i gang både nationalt i Danmark og i EU-regi, bl.a. som følge af EU-Kommissionens udspil i juli 2021 til en samlet klimapakke kaldet "Fit for 55" (Europa-Parlamentet 2022).

⁹ Bekendtgørelse om Håndbog om opfyldelse af bæredygtighedskrav og krav til besparelse af drivhusgasemissioner for biomassebrændsler til energiformål (HB 2021)

¹⁰ Træbiomasse er i aftalen biomasse fra skov, fra træindustri samt fra såkaldt ikkeskov, hvilket er levende hegn og andre mindre bevoksninger i det åbne land.

¹¹ "[Opfølgende aftale ifm. Klimaftale for energi og industri mv.](#)"



3. Metode og antagelser

Metode til kvantificering af biomassens klimaeffekt

Nettoudledningen fra anvendelse af biomasse til energiformål består af den udledning, som sker ved forbruget af biomasse set i forhold til, hvordan udledningen ville have været uden den pågældende høst eller fjernelse af biomasse til energiformål. Nærværende notats opgørelse af udledninger fra forbrug af biomasse er dermed rent metodemæssigt en marginal analyse, som ser på konsekvensen af det pågældende biomasseforbrug, men ikke på alternativerne til dette biomasseforbrug. Det analyseres altså ikke, hvilke konsekvenser i energisystemet et eventuelt fravær af biomasseforbrug ville have, og hvilke udledninger der fx ville være koblet til energiproduktion baseret på andre energikilder.

Opgørelsen af udledninger relateret til biomasse til energiformål er forbundet med væsentlig kompleksitet. Det skyldes, at det ikke er tilstrækkeligt at se på selve energiproduktionen på kraftværkerne og varmegværkerne, men at der også må indregnes påvirkningen fra det dynamiske kulstofkredsløb, som træbiomassen indgår i, dvs. udledninger og optag over tid i skove og jorde jf. Figur 10.

Dette notat belyser gennem en kvantitativ analyse, hvordan atmosfærens indhold af CO₂ påvirkes af det danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020. Resultaterne er tidsafhængige, eftersom kulstofpuljerne i skoven er dynamiske.

Beregningen af den samlede nettoudledning sker ved, at den alternative udledning trækkes fra den faktiske udledning, og det alternative optag trækkes fra det faktiske optag (som negative udledninger) jf. Figur 4.

Global Afrapportering er et supplement til den årlige klimastatus og –fremskrivning

Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivning redegør for Danmarks nationale udledninger, dvs. udledningerne inden for Danmarks grænser, jf. FN's opgørelsesmetoder. CO₂-udledning fra forbrænding af biomasse skal ifølge FN-reglerne ikke medregnes, der hvor biomassen forbruges. Det skyldes en forventning om, at udtaget af biomasse i stedet opgøres i produktionslandenes klimaregnskab for landsektoren, LULUCF¹² (IPPC, 2006). På denne baggrund medregnes udledninger fra forbruget af importeret biomasse ikke i opgørelsen af Danmarks nationale udledninger. Se fx JRC (2021) for en vurdering af LULUCF-regnskabernes kvalitet. I stedet belyser Global Afrapportering i nærværende notat

¹² Land Use, Land Use Change, and Forestry (overlapper med AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Use)

hvordan og i hvilket omfang det danske forbrug af fast biomasse til energi påvirker atmosfærens indhold af CO₂.

Forskelle til beregning af det forbrugsbaserede klimaaftryk

I beregningen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk (se baggrundsnotatet *Forbrug*) indgår klimaeffekter relateret til ændringer i kulstofpuljerne for arealer dyrket til landbrugsformål¹³, men ikke for skove. Fossile procesudledninger indgår også i det forbrugsbaserede klimaaftryk, mens biogene procesudledninger¹⁴ og udledninger fra indirekte effekter ikke indgår. Baggrunden for denne tilgang er de metodemæssige udfordringer forbundet med udledninger fra skovbrug samt med ændringer i anvendelsen af arealer. Der er således kun et lille overlap mellem dette notats udledninger fra biomasseforbruget og Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk.

Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk er baseret på en opgørelse af alle verdens udledninger fordelt til produktkategorier og derefter koblet til Danmarks forbrug af disse produkter; en såkaldt "attributiv top-down-tilgang". Energistyrelsen er ikke bekendt med studier, der har forsøgt at opgøre dette separat og i sin helhed for træbiomassens vedkommende. Landenes klimaregnskaber for landsektorerne, herunder for skov, er i sig selv svære at opgøre, og dertil kommer udfordringen med at adskille effekterne koblet til den biomasse, som anvendes til energiproduktion, fra den biomasse, som bliver til træprodukter.

I et separat baggrundsnotat (*Ændringer i arealanvendelse*) opgøres udledninger fra ændringer i arealanvendelse (LUC) knyttet til dansk forbrug. LUC-notatet benytter samme metode som ved beregningen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk, men ser alene på afskovning som konsekvens af forbruget. Dermed er der ikke overlap til indeværende notat, fordi skoven, der indgår i træbiomasse til dansk produktion af el og fjernvarme, genetableres efter hugsten, jf. Boks 2 (IGN 2022).

3.1 Metodebeskrivelse

Metoden bag resultaterne i nærværende notat om biomassens nettoudledning bygger på en videreudvikling af et arbejde præsenteret i IGN (2020) samt en række analyser bygget på et udvidet materiale (IGN, 2022).

Modelberegningerne omfatter både de direkte og indirekte CO₂-udledninger samt ændringerne i kulstofpuljerne, jf. afsnittet om Værktøjer/modeller nedenfor.

Klimapåvirkningen kan udtrykkes på mange måder. Udover alle de faktorer, som afgør nettoudledningen, så bestemmes resultatet af, hvorvidt der ses på effekten over tid af et enkelt års forbrug eller af et fortsat forbrug, samt om der er tale om

¹³ LU-kategoriene "grassland" og "cropland"

¹⁴ Fx forbrænding af træ i forbindelse med tørring af træpiller, dvs. som en del af den samlede procesudledning til høst, forarbejdning og transport.



den samlede nettoudledning eller en udledningsfaktor per enhed energi i biomassen. IGN's analyse (2022), som resultaterne i nærværende notat bygger på, beskriver alle disse dimensioner af klimaeffekten.

Sidst, men ikke mindst, afhænger den specifikke klimaeffekt (formuleret som ét tal) i de fleste typer af analyser af biomasse af det valgte tidsperspektiv.

3.2 Værktøjer/modeller

IGN (2022) har opstillet en model, som fastsætter størrelsen af de samlede CO₂-udledninger fra forbruget af biomasse. Modellen beregner kulstoflagre og strømme af kulstof koblet til alle led i forsyningskæden fra skovforvaltningen til produktionen af el og fjernvarme. Modellen omfatter ikke CO₂-udledninger fra konstruktion af de forskellige værker.

De direkte udledninger er de udledninger, som sker ved forbrænding i energiproduktionen og i forbindelse med høsten, transporten m.v. af biomassen. Indirekte udledninger stammer fra markedsbestemte konsekvenser af biomasseforbruget, herunder ændringer i arealanvendelse og træanvendelse.

Der indgår ikke en alternativ, fossil energikilde i analysen. De alternative elementer omhandler alene træets alternative skæbne, dvs. hvad der ville være sket med træbiomassen, hvis den ikke var blevet anvendt til energiproduktion. Fx efterladelse i skoven til naturlig nedbrydning eller brug i andre træprodukter.

3.3 Overordnede forudsætninger og afgrænsninger

Nogle overordnede afgrænsninger og forudsætninger for resultaterne om nettoudledning fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 blev præsenteret i afsnit 2, se Boks 2. Disse udbygges og suppleres i dette afsnit.

Brænde, halm og privat forbrug af træpiller omfattes ikke

Kvantificeringen af biomassens nettoudledning er afgrænset til forbrændingen af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020, hvilket sammenlagt udgjorde 42 pct. af forbruget af faste biomassebrændsler i 2020 (ENS, 2021). Således er forbruget af brænde, træaffald, biogent affald og halm ikke omfattet.

Analysen er desuden begrænset til at dække forbruget på fjernvarmeværker og kraftvarmeværker. Forbruget i de private husholdninger eller til eget brug i industrien er altså ikke omfattet. Husholdningernes forbrug af træbiomasse udgjorde i 2020 30 PJ, ligeligt fordelt mellem træpiller og brænde.

Forbruget af halm på fjernvarmeværk og kraftvarmeværk udgjorde i 2020 14 PJ. Hertil kom et forbrug af halm i husholdninger på knap 3 PJ. Halm bruges også til



opvarmning i halmfyr på landbrug og gartnerier, hvor der i 2020 blev forbrugt knapt 2 PJ (ENS, 2021).

Antagelser om kulstofpuljerne i skoven m.m.

Kulstofindholdet i alle skovens levende og døde træer medregnes, også rødderne. Puljen af kulstof i jorden antages dog, at være uændret i løbet af modelperioden på 100 år og som følge af biomasseforbruget. Det antages, at 90 pct. af hugstresterne udnyttes. Dvs. at 10 pct. efterlades i skoven, selv i det faktiske forløb, hvor biomassen udnyttes til energiproduktion. Der ses for enkelhedens skyld alene på strømmene af CO₂, ikke af andre klimagasser (IGN, 2022 – Table 3).

Træbiomassen er primært "ægte rester" som ikke medfører fx øget hugst

Hugstrestre fra skovbrug i form af grene og toppe er 100 pct. "ægte rester", fordi biomassen ville være blevet fremstillet, selv hvis der ikke havde været en efterspørgsel til energiproduktion. Træerne fældes, fordi man gerne vil sælge tømmeret, og hugstresterne opstår som resultat af fældningen. Konkret antages det altså, at træerne alligevel ville være blevet fældet, fordi stammerne generelt repræsenterer en markant højere økonomisk værdi end resterne. Det antages dog, at 10 pct. af stammerne ikke er "ægte rester", men derimod foranlediger indirekte effekter, som resulterer i ekstra udledninger (IGN, 2022) jf. Boks 1.

På samme måde producerer træindustrien savsmuld og fraskåret affaldstræ uanset forbruget af disse rester til bioenergi, fordi planker m.v. repræsenterer en væsentlig højere værdi end resterne. Det antages dog, at 10 pct. af industriresterne ikke er "ægte rester", fordi de kunne være blevet anvendt til andre træprodukter. Dermed resulterer denne del i indirekte effekter og deraf følgende ekstra udledninger (IGN, 2022) jf. Boks 1.

Træets alternative skæbne bestemmer halveringstid og klimapåvirkning

Den alternative skæbne af de forskellige typer af input til træpiller og træflis, hvis biomassen ikke var blevet brugt til produktion af bioenergi fremgår af Tabel 2. Halveringstider m.m. er også angivet i tabellen. Se Boks 1 for en forklaring af halveringstid og indirekte effekter i form af iLUC og iWUC.

På grund af forskellige alternative skæbner for biomassen og disse skæbners forskellige halveringstider, dvs. nedbrydningshastigheder, er nettoudledningen forskellig fra en type input til en anden type input. Figur 8 viser kurver over nettoudledning for forskellige typer af input til træflis, hvis hele energiproduktionen bestod af denne type input. På samme figur vises også kurven for det samlede 2020-forbrugsmix af træflis. Figur 9 viser kurverne over nettoudledning fra forskellige typer af input til træpiller samt kurven for forbrugsmixet.

Tabel 2: Den alternative skæbne af de forskellige typer af input til træpiller og træflis, hvis biomassen ikke var blevet brugt til produktion af bioenergi. Halveringstider m.m. er også angivet i tabellen

Input til træpiller og træflis	Mulige <u>alternative</u> skæbner for træbiomassen	Halveringstid (år) knyttet til den alternative skæbne
Rester fra skovbrug, fx grene og toppe	Afbrænding i skoven	0,5
Rester fra skovbrug, fx grene og toppe	Knusning og efterladelse i skoven til naturlig nedbrydning	5
Rester fra skovbrug, fx grene og toppe	Stakning og efterladelse i skoven til naturlig nedbrydning	10
Stammer	Nedbrydning i skoven	15
Stammer, hvoraf en andel resulterer i indirekte effekter (iLUC/iWUC)	Nedbrydning i skoven samt en andel til træprodukter fx byggematerialer	15 (plus ekstra faktisk udledning fra iLUC/iWUC)
Rester fra træindustri, fx savsmuld og bark	Nedbrydning i stakke ved savværket	5
Rester fra træindustri, hvoraf en andel resulterer i indirekte effekter (iLUC/iWUC)	Nedbrydning i stakke ved savværket samt en andel til træprodukter fx byggematerialer	5 (plus ekstra faktisk udledning fra iLUC/iWUC)
Hele træer fra ekstra hugst til energiformål, hvorefter skoven genetableres*	Træerne ville ellers være blevet stående med antaget stabilt kulstoflager	Nettoudledningen reduceres over tid, afhængig af tilvæksthastighed

* Kun for denne type input antages det ikke, at træerne ville være blevet fældet alligevel
Kilde: IGN 2022

Der er andre klimapåvirkninger fra forbruget af biomasse end CO₂-udledning

Modellen til vurdering af nettoudledning fra biomasseforbrug giver ikke det fulde overblik over klimaeffekterne af høsten, fjernelsen og forbrændingen af træet. Eksempler på udeladte klimafaktorer er partikeludledning og albedoeffekt¹⁵ af ændret arealforvaltning. Det er således ikke en altomfattende klimamodel, men en afgrænset CO₂-model.

Forbruget af træ til energiproduktion påvirker også skovenes biodiversitet. Det er ikke belyst her, men se fx JRC (2021).

3.4 Primære datakilder

IGN (2022) har indhentet data fra en bred stikprøve af danske kraftvarme og varmeværker jf. afsnit 5.1. Data dækker brændselsforbrug, brændselstype, oprindelse, skovtype, biomassetype, transportmiddel, værkets produktion af el og varme samt energiforbrug til træpilleproduktion (IGN, 2022 – Table 1). Detaljeringsniveauet for data angives i IGN (2022 – Table 2).

¹⁵ Albedo er et mål for refleksion af lys og bruges her om refleksion af energien i solstrålingen. Ændret arealforvaltning kan fx føre til mørkere arealer, som reflekterer mindre solenergi og derved absorberer mere energi, hvilket medvirker til global opvarmning.



I forbindelse med udarbejdelsen af rapporten fra IGN (2022) blev der udført en supplerende dataindsamling fra danske varme- og kraftvarmeværker, der bruger flis og træpiller. Analysen omfatter opdaterede data frem til 2020. Flere af de mindre værker kunne dog ikke levere 2020-data inden for den givne tidsramme af analysen. Derfor stammer data til indeværende notat for de mindre værker fra IGN (2020).

I alt deltog 12 værker i dataindsamlingen. Forbruget til energiproduktion på de 12 værker dækker 67 pct. af det samlede danske forbrug af træflis til el og fjernvarme og 96 pct. af det tilsvarende forbrug af træpiller. Data er ekstrapoleret til at dække hele det danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme.

Data er aggregeret til et vægtet gennemsnit for træpiller og træflis. Derefter er data skaleret op fra modeldatainput til det samlede danske forbrug ifølge ENS (2021).



4. Supplerende og uddybende resultater og analyse

Dette afsnit supplerer og uddyber resultaterne i afsnit. 2. Afsnittet indeholder en oversigt over faktorer, som påvirker klimaeffekten fra et specifikt forbrug af træbiomasse til energiformål. Forskellene mellem træflis og træpiller foldes ud, og der sættes fokus på træets kulstofkredsløb fra skov til atmosfære. Til sidst sammenlignes indholdet i nærværende notat kort med Global Afrapportering 2021.

4.1 Delresultater

Overblik over faktorer, som påvirker klimaeffekten

Biomassens samlede nettoudledning afgøres – foruden mængden – af træets oprindelse og type, som tilsammen har betydning for, hvor hurtigt eller langsomt de naturlige processer med tilvækst og nedbrydning sker, samt for antagelserne om, hvilken alternativ skæbne træet ville have haft, hvis det ikke blev brugt til energi.

Hertil skal lægges procesudledninger, som afgøres af, om det er flis eller træpiller samt hvordan træet tørres (til piller) og transporteres. Hertil skal også lægges udledninger forårsaget af indirekte effekter af biomasseforbruget, som afgøres af træets kvalitet og den lokale markedssituation m.v. I Tabel 3 gives en række eksempler på faktorer, som påvirker nettoudledningen fra træbiomasse.

Tabel 3: Eksempler på faktorer, som kan påvirke nettoudledningen fra forbruget af træbiomasse til energiproduktion

Overordnet faktor	Specifik faktor	Kommentar
Mængde		Mindre mængde giver lavere udledning og omvendt
Oprindelse	Nedbrydningshastighed	Klimazonen påvirker nedbrydningshastigheden. Høj nedbrydningshastighed giver hurtigere forrådnelse og dermed frigivelse af den bundne CO ₂ i træet (lav halveringstid)
	Tilvæksthastighed	Klimazonen påvirker tilvæksthastigheden. Høj væksthastighed medfører, at udledningerne fra ekstra hugst af hele træer til energi hurtigere kompenseres af et tilsvarende optag, samt at positive indirekte effekter af ændret skovforvaltning hurtigere øger kulstoflageret
	Transportafstand og transportmiddel	Længere transport giver højere udledning. Lastbiltransport giver højere udledning end skibstransport per km
	Tørveindhold i drænet jord	Udledninger fra nedbrydning af organisk materiale i allerede drænede tørvejorde. Hvis produktion opgives kan dræning ophøre, hvormed nedbrydningen ophører. Dog ikke specifikt knyttet

		til biomasse til energi, men til al produktion på arealet
Type	Dimension	Tyndere og mindre trædele nedbrydes hurtigere på grund af en større overflade i forhold til volumen, hvormed kulstoffet frigives hurtigere
	Kvalitet	Hvis træ bruges til energiformål i stedet for til træprodukter (iWUC), så udledes kulstoffet dels hurtigere, fordi træprodukter har en længere "levetid" (halveringstid) og dels kan forbruget af erstatningsmaterialer med en højere udledningsprofil øges. (Kvalitet er også koblet til forvaltning.)
	Restprodukt eller hovedprodukt	Et hovedprodukt bærer den største del af den samlede udledning fra arealanvendelsen. Biomasse er et hovedprodukt, hvis træet fældes dedikeret til energiformål. Som restprodukt bærer biomassen kun den del af udledningen, som direkte kan knyttes til fjernelsen af biomasse til energiformål
	Primær biomasse eller sekundær/tertiær biomasse	Primær biomasse i form af fx rester fra skovbrug (grene og toppe) kan ofte efterlades i skoven og bevare eller opbygge en større kulstofpulje der. Sekundær og terciær biomasse i form af fx savsmuld og træaffald vil i nogle tilfælde blive brændt af uanset om energien udnyttes eller ej
Forvaltning	Kulstoflager og kontinuitet	Mange uforstyrrede skove indeholder mere kulstof end produktionsskove. Ved udtynding og plukhugst ("naturnær skovdrift") bibeholdes det enkelte areals lager mere konstant og udledning fra jordbunden minimeres set i forhold til skovdyrkning, hvor alle træer fældes samtidig (renafdrift). Modsætningsvist kan renafdrift give mulighed for at plante andre træer med et større tilvækstpotentiale og derved større mulighed for at optage CO ₂ .
	Genetablering af bevoksning	Hvis bevoksningen genetableres medvirker det til en tilbagebetaling af den biogene kulstofgæld, dvs. den biogene nettoudledning går mod nul, modsat hvis skoven blot ryddes og arealet overgår til anden anvendelse. Sidstnævnte er ikke er tilladt i de danske lovkrav til bæredygtigheden af biomasse.



Træflis og træpiller har forskellige input med forskellige alternative skæbner

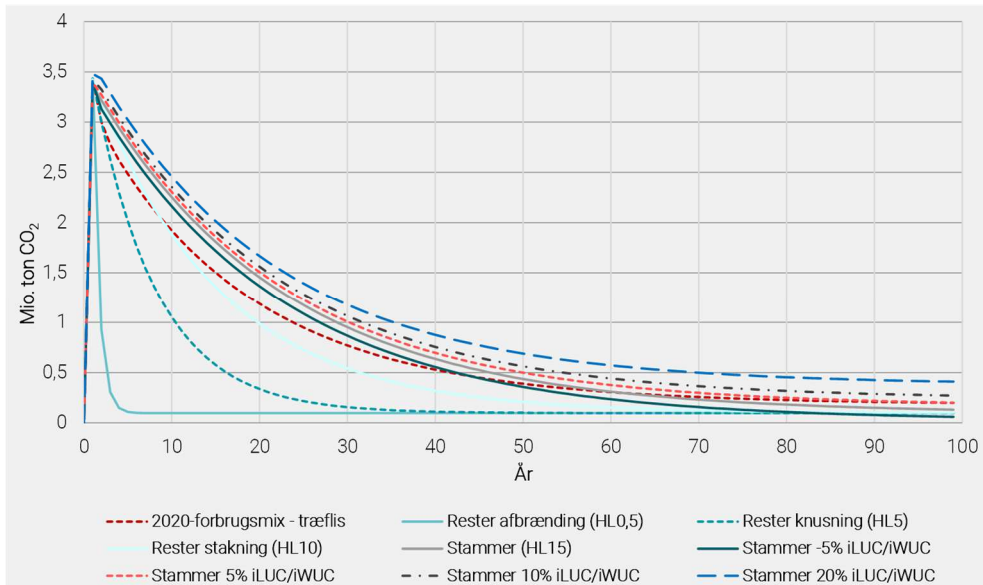
I dette afsnit ses der adskilt på træflis og træpiller. Det er delvis forskellige typer af biomasse, med forskellige alternative skæbner, som indgår i hhv. træflis og træpiller. Ved at dele resultaterne for samlet nettoudledning op, er det desuden muligt at gå mere i dybden med forskellene i udledningsprofiler mellem de forskellige typer af input. Udledningsprofilerne (kurverne) afhænger bl.a. af halveringstid for biomassetypen og i hvilken grad, typen anses at indeholde træ, der medfører indirekte effekter (iLUC/iWUC).

Figur 8 viser nettoudledningskurver for det samlede forbrug af træflis i 2020, hvis det bestod udelukkende af de enkelte typer af biomasseinput. Desuden vises kurven for 2020-forbrugsmixet af træflis til produktion af el og fjernvarme.

Kurven for stammer, hvoraf 20 pct. af stammerne har resulteret i indirekte effekter (iLUC/iWUC), ligger øverst med den højeste nettoudledning gennem hele tidsperioden på 100 år fra forbrugsåret. Det skyldes både udledningerne fra de indirekte effekter, men også at stammer har en relativt lang halveringstid i modellen på 15 år¹⁶ på grund af langsom alternativ naturlig nedbrydning i skoven. Kurven for rester (fra hugst), som har den alternative skæbne at blive brændt af lokalt i skoven med en antaget halveringstid på et halvt år uden at resultere i indirekte effekter, falder meget hurtigt til et meget lavt niveau under de andre kurver. Kurven over nettoudledning fra det aktuelle 2020-forbrugsmix af træflis ligger i midten, men der er de første 50-60 år efter forbrugsåret stor spredning på kurverne for de forskellige typer/alternative skæbner.

¹⁶ Det gælder stammer fra den tempererede zone, hvilket er langt de fleste relevante oprindelseslande. Stammer fra tropene antages have en halveringstid på 10 år på grund af hurtigere naturlig nedbrydning i varmere og vådere klima, mens stammer fra den boreale zone har en halveringstid på 20 år.

Figur 8: Nettoudledning fra træflis set over tid fra forskellige typer af input, hvis hele forbruget af 30 PJ træflis til el og fjernvarme i 2020 bestod af denne type input



Kilde: IGN 2022

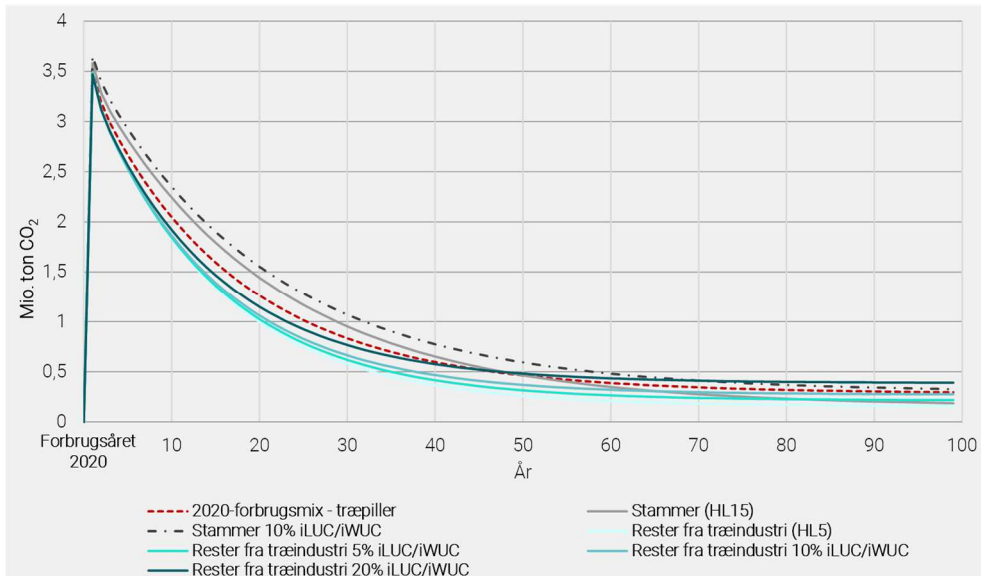
Figur 9 viser nettoudledningskurver for det samlede forbrug af træpiller i 2020, hvis det bestod udelukkende af de enkelte typer af biomasseinput. Desuden vises kurven for 2020-forbrugsmixet af træpiller til produktion af el og fjernvarme.

Kurven for stammer, hvoraf 10 pct. af stammerne har resulteret i indirekte effekter (iLUC/iWUC), ligger her øverst med den højeste nettoudledning gennem hele tidsperioden på 100 år fra forbrugsåret¹⁷, efterfulgt af stammer uden indirekte effekter. Det skyldes både udledningerne fra de indirekte effekter, men også at stammer har en relativt lang halveringstid i modellen på i gennemsnit 15 år¹⁸ på grund af langsom alternativ naturlig nedbrydning i skoven. De forskellige kurver for rester fra træindustri, som har den alternative skæbne at blive nedbrudt i stakke ved træindustrien med en antaget halveringstid på 5 år, ligger nederst i diagrammet. Allernederst af de forskellige typer af input til træpillerne, ligger resterne fra træindustri, som ikke resulterer i indirekte effekter. Kurven over nettoudledning fra det aktuelle 2020-forbrugsmix af træpiller ligger i midten, men der er generelt en lille spredning på kurverne for de forskellige typer/alternative skæbner.

¹⁷ Der indgår ikke i IGN (2022) en analyse af et input af stammer til træpiller med 20 pct. iLUC/iWUC, som der gør for træflis.

¹⁸ Det gælder stammer fra den tempererede klimazone, hvilket omfatter langt de fleste relevante oprindelseslande. Stammer fra tropene antages have en halveringstid på 10 år på grund af hurtigere naturlig nedbrydning i varmere og vådere klima, mens stammer fra den nordlige, boreale klimazone har en halveringstid på 20 år.

Figur 9: Nettoudledning fra træpiller set over tid fra forskellige typer af input, hvis hele forbruget af 34 PJ træpiller til el og fjernvarme i 2020 bestod af denne type input

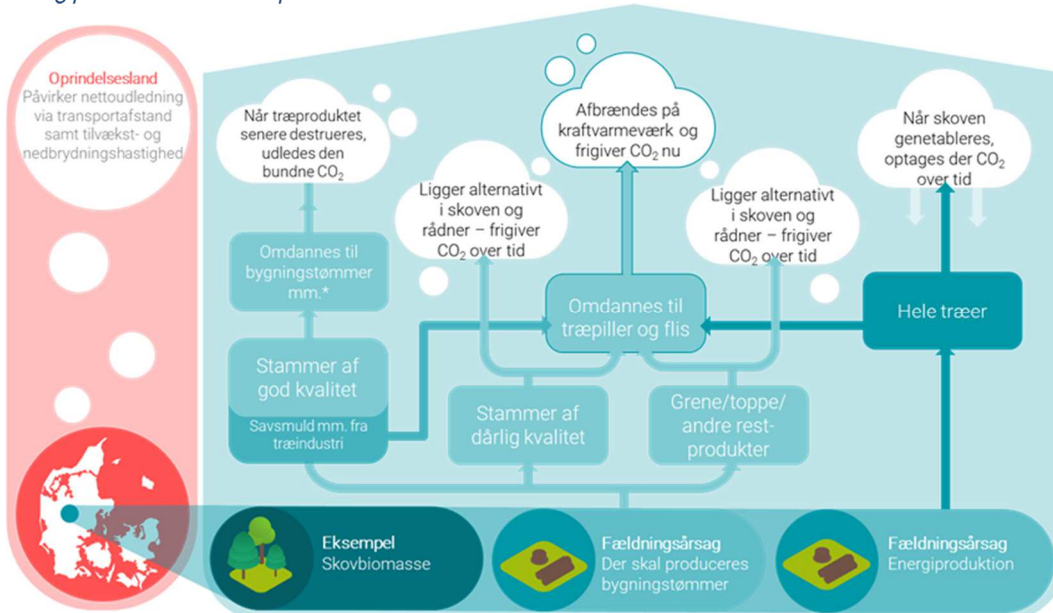


Kilde: IGN 2022

4.2 Årsagssammenhænge - kulstofkredsløb

En oversigt over skovens og træbiomassens kulstofkredsløb, herunder udledninger og optag, er vist i Figur 10. Her illustreres det, at nettoudledningen fra forbruget af træ til production af el og varme ikke blot afhænger af den CO₂, som udledes fra kraftvarmeværket (skyen øverst i midten på figuren), men også af den geografiske oprindelse (til venstre), fældningsårsagen (forneden) og træets faktiske og alternative vej gennem forsyningskæden. Midt i figuren omdannes træ til træpiller og flis, som kan bestå af grene og toppe, stammer af dårlig kvalitet, savsmuld, stammer af god kvalitet, der ellers kunne være brugt til tømmer (hvilket leder til iWUC) eller ekstra fældning af hele træer til energiformål (hvilket leder til iLUC).

Figur 10: Træ- og kulstofredsløbet fra skoven til atmosfæren i forbindelse med energiproduktion baseret på træ



*Træprodukter kan spare CO₂, hvis de erstatter udledningstunge materialer som fx beton

Anmærkning: De blå pile illustrerer strømmen af træ, og dermed strømmen af det kulstof, som er bundet i træet. De hvide skyer illustrerer frigivelse og optagelse af kulstof i form af CO₂.

Bioenergi produceres i modsætning til fossil energi af fornybare ressourcer. Planter kan under de rette forudsætninger vokse op igen og på ny binde kulstof gennem lagring af CO₂ fra luften. Skov indeholder desuden et stort kulstoflager i bl.a. levende træ. Lageret i et større skovareal påvirkes kun langsomt af tilvækst og hugst/nedbrydning. Rester fra landbrug og skovbrug ville ofte rådne væk naturligt over en årrække. For træ sker det forholdsvis langsomt. Der sker derfor en tidsforskydning, som giver et ekstra CO₂-indhold i atmosfæren over år, årtier eller århundreder, selv om den biogene udledning fra biomasseforbruget som sådan er reversibel. Tidsaspektet er betydningsfuldt for biomassens påvirkning på det globale klima, fordi opvarmningen sker løbende i kraft af det nuværende indhold af CO₂ i atmosfæren.

4.3 Sammenligning med GA21

Kvantificering af klimaeffekten af dansk forbrug af biomasse er nyt i GA22. Det er således første gang, at effekterne foldes ud kvantitativt ud fra specifikke data om et enkelt års forbrug. Biomassens klimaeffekter blev i GA21 beskrevet kvalitativt i et selvstændigt tema. Beskrivelsen henviste til et kvantitativt studie om den samlede klimaeffekt af 30 års forbrug efter omlægning af centrale varmeværker fra kul og naturgas til biomasse (IGN, 2020).



5. Kvalificering

5.1 Usikkerhed

Der er stor sikkerhed omkring størrelsen af det samlede danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme. Disse data stammer fra Energiproducenttællingen. Data om typer, oprindelse m.m. i modellen stammer direkte fra energiproducenterne via en spørgeskemaundersøgelse (IGN, 2022).

Data fra spørgeskemaundersøgelsen dækker ca. 84 pct. af det samlede forbrug af træflis og træpiller på fjernvarme og kraftvarmeværker¹⁹. Det er en stor stikprøve, men der er en overvægt af store anlæg blandt respondenterne. De store værker importerer en større del af deres biomasseforbrug end de små værker. Det giver en afvigelse på data om geografisk oprindelse mellem de indsamlede oplysninger fra energiproducenterne og de data om import og indenlandsk produktion, som kan hentes fra Danmarks Statistik. Der er redegjort for begge fordelinger i IGN (2022). Opgørelsen af nettoudledning anvender fordelingen fra spørgeskemaundersøgelsen. Forskellen formodes dog ikke at ændre væsentligt ved nettoudledningen, bl.a. fordi udledninger fra transport udgør en lille del af de samlede udledninger, se næste afsnit.

De store værker i spørgeskemaundersøgelsen har erfaring i at redegøre for fordelingen af hhv. stammer, rester fra skovbrug og rester fra træindustri fra reglerne i den frivillige brancheaftale om bæredygtig biomasse (Dansk Energi, 2016). Der er derfor større usikkerheder om denne fordeling mellem biomassetyper knyttet til de mindre værker. De mindre værkers samlede forbrug udgør til gengæld en relativt lille del af den samlede modeldata sammenlignet med de store værkers samlede forbrug.

Forskerne påpeger, at der er behov for yderligere forskning i blandt andet halveringstider for nedbrydning af efterladt dødt træ i skoven, for træ, der ender i træprodukter, samt for kvantificeringen af indirekte effekter af biomasseforbruget på arealanvendelse og brug af træ, og de heraf afledte udledninger (IGN, 2022). Antagelserne i rapporten om disse forhold er baseret på eksisterende forskning samt kvalificerede skøn.

Det ses af Figur 8 og Figur 9, at det har stor betydning for de samlede nettoudledninger, om fx rester fra skovbrug ellers (alternativt) ville blive brændt af lokalt, knust eller stakket, eftersom det giver forskellige halveringstider.

Hovedscenariet i rapporten, dvs. 2020-forbrugsmixet, indeholder en antagelse om at - som alternativ til udnyttelsen til bioenergi - brændes 30 pct. af hugstresterne fra skovbrug af lokalt med en halveringstid på 0,5 år og 70 pct. af hugstresterne fra

¹⁹ 96 pct. af træpillerne og 69 pct. af træflisen (IGN, 2022)



skovbrug stakkes og efterlades med en halveringstid på 10 år. Antagelserne i rapporten om disse forhold er baseret på eksisterende forskning samt kvalificerede skøn.

Transportafstand (oprindelsesland) samt kvantificering af indirekte effekter er belyst gennem følsomhedsberegninger jf. afsnit 5.2.

5.2 Følsomhedsberegninger

IGN (2022) viser i en følsomhedsberegning, at udledninger fra transport udgør mellem 1 og 7 pct. af de samlede bruttoudledninger fra forbruget af træpiller og træflis til el- og varmeproduktion. Det gælder også for træpiller og træflis hver for sig. Konkret udgør transportudledninger for træflis fra Danmark 1 pct. af bruttoudledningen fra forbruget af træflis, træflis fra Baltikum 2 pct. og træflis fra USA 7 pct. I det vægtede gennemsnit af det samlede analyserede biomasseforbrug udgør transport ca. 2,2 pct. af bruttoudledningen.

Som angivet i afsnit 5.1 er der ifølge IGN (2022) en vis diskrepans mellem de konkrete indsamlede data fra værkerne om geografisk oprindelse og de tilsvarende data, som IGN har hentet fra Danmarks Statistik. Den samlede bruttoudledning kan derfor reelt være lidt lavere end modelresultaterne viser, eftersom en lidt større del af biomassen sandsynligvis stammer fra Danmark og dermed har lavere transportudledning (IGN, 2022). Følsomhedsanalysen viser dog, at udledninger fra transport kun udgør en relativt lille del af den samlede bruttoudledning knyttet til forbruget af træpiller og træflis til el og fjernvarme²⁰.

IGN (2022) viser gennem følsomhedsberegninger, at størrelsen af de indirekte effekter på arealanvendelse og brug af træ er væsentlig for den samlede udledning fra biomasseforbruget, både bruttoudledning og nettoudledning.

Hovedscenariet i rapporten er en antagelse om, at 10 pct. af stammerne og 10 pct. af resterne fra træindustri har resulteret i indirekte effekter (iLUC og/eller iWUC). Der er lavet beregninger for stammer og industrirester med hhv. 5, 10 og 20 samt minus 5 pct. iLUC/iWUC. Det ses af Figur 8 og Figur 9, at det ville påvirke udledningerne, hvis en større del af biomassen, fx 20 pct. af stammerne i stedet for 10 pct., resulterede i indirekte effekter. Det er dog ikke en forskel, som ændrer markant på niveauet af nettoudledning de første årtier efter forbrugsåret. På lang sigt, 100 år, er forskellen i nettoudledning mellem fx stammer med 10 pct. og 20 pct. indirekte effekter markant eftersom en del af bruttoudledningen fra indirekte effekter er fossil udledning, som ikke reduceres over tid.

²⁰ Eftersom transportudledningerne i 2020 var fossile, så reduceres de ikke over tid.

Transportudledningerne vil dermed over tid udgøre en større og større del af nettoudledningen knyttet til biomasseforbruget (det ekstra indhold af CO₂ i atmosfæren).



IGN (2022) har også beregnet to ekstreme scenarier. Et ekstremscenarie hvor 100 pct. af stammerne har resulteret i udledninger fra indirekte effekter, hvilket fører til en markant større nettoudledning både set i år 1 og år 100, faktisk en forøgelse fra hovedscenariet med groft regnet 50 pct. Samt et ekstremscenarie hvor forbruget af biomasse og den deraf genererede efterspørgsel giver alle skovejere incitament til at plante hjælpetræer fremadrettet, såkaldte ammetræer, og derved øge produktionen på arealerne. Det fører i scenariet til et 20 pct. højere kulstoflager i skoven på sigt og resulterer i, at biomasseforbruget i 2020 totalt set leder til negative nettoudledninger efter ca. 50 år, altså et nettooptag af CO₂.

6. Perspektivering

6.1 Kulstofdynamikken i et fortsat forbrug

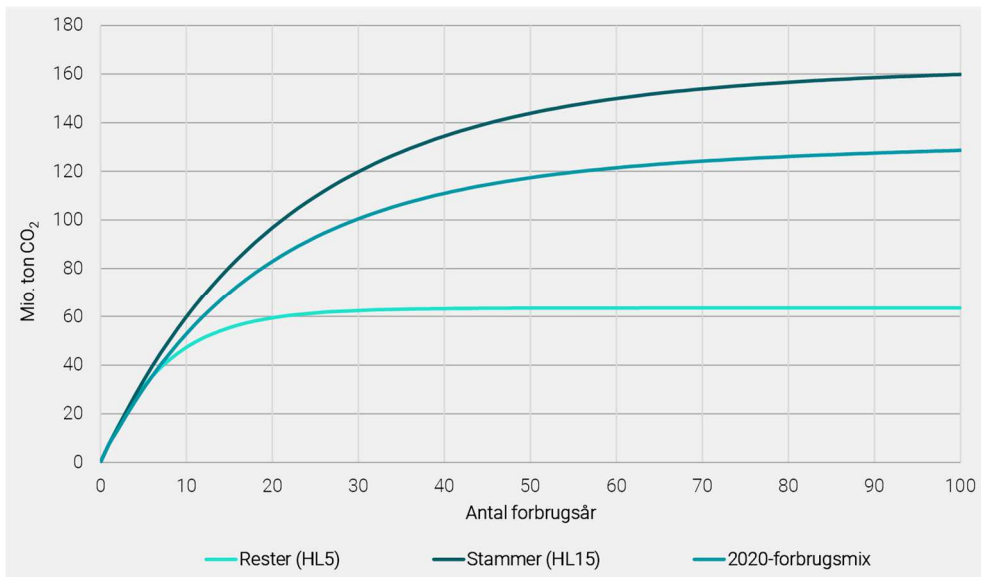
Total biogen nettoudledning fra et hypotetisk fortsat årligt forbrug som i 2020

IGN (2022) har lavet en supplerende analyse af den totale biogene nettoudledning over tid fra et fortsat forbrug af biomasse. Formålet er at anskueliggøre effekten på skovens kulstofkredsløb over tid ved et hypotetisk fortsat årligt forbrug svarende til forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020. De fossile udledninger fra bl.a. transport er ikke inddraget, fordi de ikke er knyttet til skovens kulstofkredsløb.

Hvis man rent hypotetisk antager, at 2020 var startåret for et forbrug af biomasse, og at det forbrug fortsætter uforandret i en årrække, så vil der akkumuleres mere og mere CO₂ i atmosfæren som konsekvens af biomasseforbruget jf. *Figur 11*. Figuren viser nettoudledningen fra et fortsat hypotetisk forbrug af biomasse til produktion af el og varme i form af samme forbrugsmix som i 2020 samt et fortsat forbrug bestående udelukkende af hhv. rester eller stammer.

Den løbende ophobning skyldes, at den naturlige løbende kompensation i skovens kulstofpuljer til at starte med ikke kan matche bruttoudledningen fra skorstenene. Jo større areal, som der er høstet biomasse på, jo større areal er i spil til kompensation. Efter et vist tidsrum flader kurven således ud og nettoudledningen fra det fortsatte forbrug er da konstant, jf. *Figur 11*.

Figur 11: Biogen nettoudledning set over tid fra et hypotetisk fortsat årligt forbrug som i 2020, samt fra stammer og rester, hvis hele forbruget af 64 PJ træpiller og træflis til den årlige produktion af el og fjernvarme bestod af denne type input



Kilde: IGN 2022

Anmærkning: Kurven for 2020-forbrugsmixet illustrerer de biogene nettoudledninger fra det mix af træbiomasse, der konkret blev anvendt i 2020, hvis det hypotetisk fortsættes på samme niveau og med samme sammensætning

Tidspunktet, hvor kurven flader ud, og det nye stabile niveau af ekstra CO₂ i atmosfæren, afhænger begge af størrelsen på forbruget og typen af biomasse. Når kurven flader ud, har kulstoflageret i skoven stabiliseret sig på et lavere niveau, fordi en mængde kulstof har flyttet sig fra at være bundet i skovens økosystem til at findes som et forhøjet indhold af CO₂ i atmosfæren. Med andre ord er indholdet af CO₂ i atmosfæren tilsvarende højere end før biomasseforbruget startede²¹.

Hvis forbruget bliver mindre eller ophører, eller hvis det konkrete mix af biomasse ændrer sig til en lavere udledning per energienhed, så vil kurven begynde at falde (eller stige langsomt). Således er nettoudledningen og dermed klimaeffekten af ét års forbrug af biomasse den samme uanset om "den akkumulerede nettoudledning" har stabiliseret sig eller ej.

Total biogen nettoudledning fra et hypotetisk uendeligt fortsat forbrug

For et fortsat årligt forbrug som 2020-forbrugsmixet, og med den samme årlige energiproduktion baseret på 64 PJ træbiomasse, ville nettoudledningen stabilisere sig på totalt 128 mio. ton CO₂ efter ca. 100 år. Dette niveau kaldes de totale biogene nettoudledninger fra et uendeligt fortsat forbrug. Et forbrug baseret udelukkende på rester (med en halveringstid på 5 år) ville stabilisere sig på en total nettoudledning på 62 mio. ton CO₂ efter ca. 30 år, mens det for et forbrug baseret

²¹ Til sammenligning ville de tilsvarende udledninger fra en årlig hypotetisk energiproduktion af samme størrelse baseret på kul over 100 år have øget indholdet af CO₂ i atmosfæren med 640 mio. ton.



udelukkende på stammer (med en halveringstid på 15 år) ville stabilisere sig på en total nettoudledning på 160 mio. ton CO₂ efter mere end 100 år. Til sammenligning ville den totale nettoudledning fra en fossil energikilde være uendelig stor.

Total biogen nettoudledning per enhed energi i det årlige forbrug af biomasse

Hvis den totale biogene nettoudledning fra et fortsat forbrug, efter ovenstående betragtning, deles med det årlige biomasseforbrug, så får man en tidsafhængig total biogen udledningsfaktor for et uendeligt forbrug. Denne faktor er beregnet til ca. 2 ton CO₂ per GJ på baggrund af den totale biogene nettoudledning (stabiliseringsniveauet) på 128 mio. ton CO₂ for 2020-forbrugsmixet og årsforbruget i 2020 på 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme (IGN, 2022).

6.2 Andre analyser af biomassens klimaeffekt

I dette afsnit redegøres der kort for eksempler på andre analyser af, hvordan forbrug af træ til energiformål påvirker klimaet. Listen er ikke udtømmende.

Energistyrelsens Biomasseanalyse 2020

Energistyrelsens Biomasseanalyse (ENS, 2020) redegjorde bl.a. for, hvilke faktorer der kan have betydning for klimaeffekterne ved at anvende biomasse til energiformål. Analysen belyste endvidere størrelsen af den nationale og globale biomasseressource.

IGN 2020: Fortrængning af udledning gennem omlægning til andet brændsel på danske kraftvarme- og varmeværker

Institut for Geovidenskab og Naturressourcer ved Københavns Universitet (IGN) udarbejdede i 2020 rapporten 'CO₂ emission mitigation through fuel transition on Danish CHP and district heat plants' for Dansk Energi (IGN, 2020). Studiet blev efterfølgende publiceret videnskabeligt i IGN (2021).

Rapporten beregnede den samlede klimaeffekt af omlægning af et typisk dansk værk fra hhv. kul eller naturgas til biomasse, set ud fra en livscyklusbetragtning. Klimaeffekten omfattede her de lavere nettoudledninger ved 30 års forbrug af biomasse set i forhold til 30 års forbrug af hhv. kul eller naturgas. Modelberegningen var baseret på faktiske data fra ti værker.

I regnestykket indgår udledninger fra produktionskæden og fra afbrændingen af hhv. det fossile brændsel og de konkret anvendte typer af biomassen. For biomassen fratrækkes de alternative udledninger, som primært ville være sket gennem forrådnelse af resttræ, hvis det ikke var blevet brændt af ifm.



energiproduktionen. Desuden indgår udledninger fra de indirekte effekter iLUC²², iWUC²³ og iFUC²⁴.

EA/CONCITO 2021: Optimeret biomasseanvendelse til el- og fjernvarmeproduktion

EA Energianalyse udgav i 2021 rapporten: "Optimeret biomasseanvendelse til el- og fjernvarmeproduktion mod 2040 TEKNISK OG ØKONOMISK ANALYSE" (EA, 2021). Analysen var rekvireret af CONCITO og viste bl.a. udviklingen over tid af nettoudledningen, dvs. det ekstra indhold af CO₂ i atmosfæren som konsekvens af et enkelt års forbrænding af træ til energi.

Modellen, som byggede på tal fra IGN (2020), omfattede ikke procesudledninger. Indirekte effekter blev heller ikke opgjort specifikt, men var indarbejdet i et højt skøn for biomassens alternative halveringstid (20 år). Nettoudledningen fra et års forbrug, opgjort i forhold til energiindholdet i biomassen, kaldtes i rapporten for en koefficient med dynamisk tidshorisont. Der var hovedsageligt fokus på nettoudledningen fra et enkelt års forbrug af biomasse, set 30 år efter forbrugsåret.

Energistyrelsen 2021: Biomassens rolle i Power-to-X

I forbindelse med regeringens Strategi for Power-to-X i 2021 udarbejdede Energistyrelsen et baggrundsnotat om biomassens rolle (ENS, 2021b). Notatet indeholder bl.a. overordnede analyser af 1) hvor meget kulstof der forventes at være behov for til Danmarks forbrug af PtX-brændstoffer i 2030 og 2050 2) hvor meget biogent kulstof, der forventes at være til rådighed for kulstoffangst fra større danske CO₂-punktkilder i 2030, og 3) de danske og globale biomasseressourcer sat i forhold til forbrug og indbyggertal, dvs. tilgængeligheden af biogene kulstoffressourcer.

JRC-rapport 2021: The use of woody biomass for energy production in the EU

EU-Kommissionens Joint Research Centre (JRC) gennemgik i JRC (2021) al tilgængelig viden – og mangel på samme – om brugen af træbiomasse til energiproduktion i Europa gennem en årrække. De analyserede de samlede træstrømme, typer af træbiomasse og de overordnede træressourcer i skovene. Rapporten redegør også for kvaliteten af de opgørelser, der finder sted om kulstofbalancer, herunder LULUCF-regnskab. Sidste halvdel af rapporten omhandler synergier og trade-offs mellem klimaeffekter ved brug af træ til energiformål og biodiversitet. De kommer frem til et antal win-win typer af træbiomasse til energi, en række loose-loose typer og alt derimellem.

²² Skift i arealanvendelse fx fra naturskov til produktionsskov

²³ Skift i anvendelse af træet fx fra spånplade til energiproduktion

²⁴ Skift i anvendelse af brændslet fx fra at producere el og varme til kun varme



Skytt 2021: Climate mitigation forestry—temporal trade-offs

I den publicerede forskningsartikel Skytt (2021) analyserede en gruppe svenske forskere kulstofbalancen i fem skovområder. Skovene er fordelt over en stor klimagradiant fra syd til nord i Sverige. De analyserede for hvert skovområde fem scenarier af forskellig hugstintensitet, dvs. hvor stor en del af et skovområdes årlige tilvækst af træ, som årligt høstes.

Fokus i artiklen ligger på atmosfærens indhold af CO₂ i en afvejning (trade-off) mellem at opspare kulstof i skovene ved at høste mindre træ, eller at høste mere træ til brug for energiformål, byggematerialer m.m. som kan erstatte andre ressourcer. De viser bl.a. at områdets produktivitet, dvs. frugtbarhed, spiller en stor rolle for resultatet, sammen med tidsaspektet og antagelserne om, hvordan træ kan erstatte andre materialer og energikilder.

6.3 Mulige udviklingsveje

Resultaterne, som er præsenteret i afsnit 1 og 4, kan eventuelt nuanceres og justeres i evt. fremtidige analyser i takt med, at der fremkommer ny viden om emnet, fx om halveringstider og indirekte effekter.

Ny lovgivning om bæredygtighedskriterier for biomasse vil i de kommende år resultere i mere data om forbruget af forskellige typer af biomasse, som sandsynligvis vil kunne nuancere resultaterne²⁵. Energiproducenterne skal indberette til Energistyrelsen første gang i 2022, men først fra 2023 vil indberetningerne dække hele det foregående års forbrug.

Forbruget af træpiller til el og varme i industrien og private husholdninger, samt forbruget af brænde vil også kunne analyseres. Det vil dog bl.a. kræve yderligere dataindsamling.

Halm vil eventuelt kunne omfattes af en selvstændig beregning i en evt. fremtidig analyse. Halm er en rest fra en etårig landbrugsafgrøde og har derfor en anden profil for nettoudledning end træ.

I evt. kommende analyse kan vurderingen af klimaeffekten evt. udvides fra kun at dække CO₂ til også at dække andre klimafaktorer, som fx partikeludledning.

Det kan også være relevant, om muligt, at analysere hvordan tidsforskydningen i form af den biogene kulstofgæld - dvs. at udlede CO₂ nu i stedet for senere - påvirker klimaet, herunder på grund af øget risiko for at passere klimamæssige tærskler (tipping points), som kan udløse selvforstærkende mekanismer med øgede udledninger fra økosystemerne til følge.

²⁵ Bekendtgørelse (nr. 1352) om Håndbog om opfyldelse af bæredygtighedskrav og krav til besparelse af drivhusgasemissioner for biomassebrændsler til energiformål.



7. Kilder

Danmarks Statistik (2022): *Tabel KN8Y: Im- og eksport KN (EU Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed.* CN nr. 44012100 og 44012200 for træflis og 44013100 for træpiller. Download 2022-02-10.

www.statistikbanken.dk

Dansk Energi (2016): *Brancheaftale om sikring af bæredygtigt biomasse (træpiller og træflis).* Download 2022-02-16.

https://www.danskenergi.dk/sites/danskenergi.dk/files/media/dokumenter/2017-09/Brancheaftale_Biomasse-20160623.pdf

ENS (2020): Biomasseanalyse maj 2020. Energistyrelsen

ENS (2021): Energistatistik 2020. Energistyrelsen

ENS (2021b): Biomassen rolle i Power-to-X. Energistyrelsen.

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/biomassens_rolle_i_ptx_opdateret.pdf

Europa-Parlamentet (2022): *Legislative train schedule – Fit for 55 package under the European Green Deal.* Download 2022-02-17.

<https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/package-fit-for-55>

IGN (2020): CO₂ emission mitigation through fuel transition on Danish CHP and district heat plants. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet

IGN (2021): Nielsen et. al. CO₂ emission mitigation through fuel transition on Danish CHP and district heat plants. In: GCB Bioenergy. 2021;13: 1162-1178

IGN (2022): CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet²⁶

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

JRC (2021): The use of woody biomass for energy production in the EU. Joint Research Centre. EU-Commission.

Skytt (2021): Climate mitigation forestry—temporal trade-offs. Torbjörn Skytt et al 2021 Environ. Res. Lett. 16 114037.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac30fa>

²⁶ Videnskabelig citering: Nielsen, Anders Tærø, Bentsen, Niclas Scott, Nord-Larsen, Thomas 2022. CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark. IGN report, Frederiksberg. 44 pp.