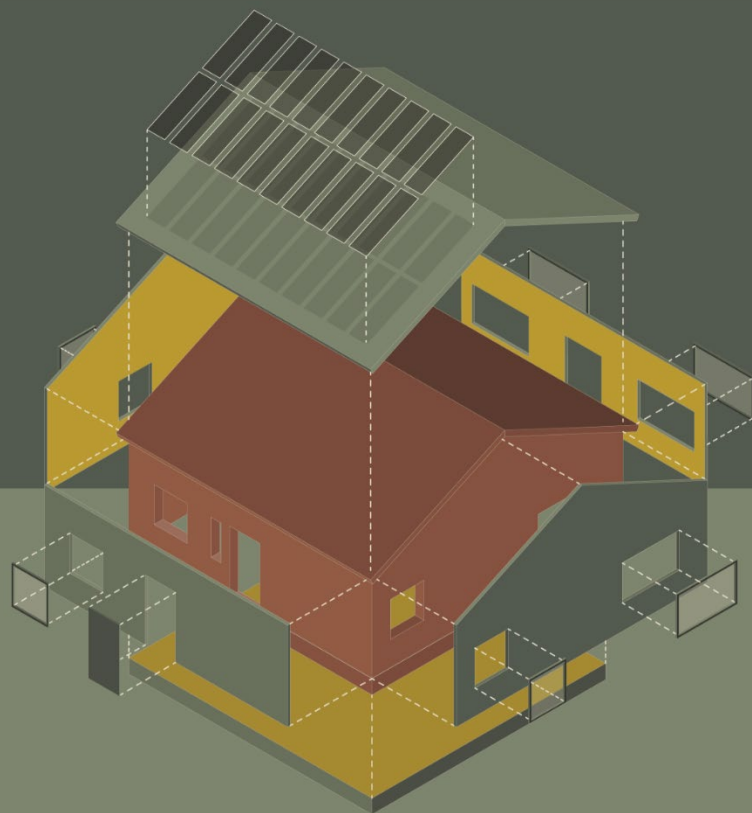


# Klimaeffektiv renovering

## Pixibog

Præsenteret på webinarret om lancering af rapport den 11. november 2021



Rapport ([link](#))

**Klimaeffektiv renovering - Balancen mellem energibesparelse og materialepåvirkninger i bygningsrenovering (BUILD Rapport 2021:24)**

Projekt ([link](#))

**Balancepunkt mellem materialeforbrug og energibesparelser**

Et samarbejde mellem Arkitema og BUILD – Institut for byggeri, By og Miljø  
Støttet af Grundejernes Investeringsfond



**Arkitema**..



# Indhold

Intro  
Side 3

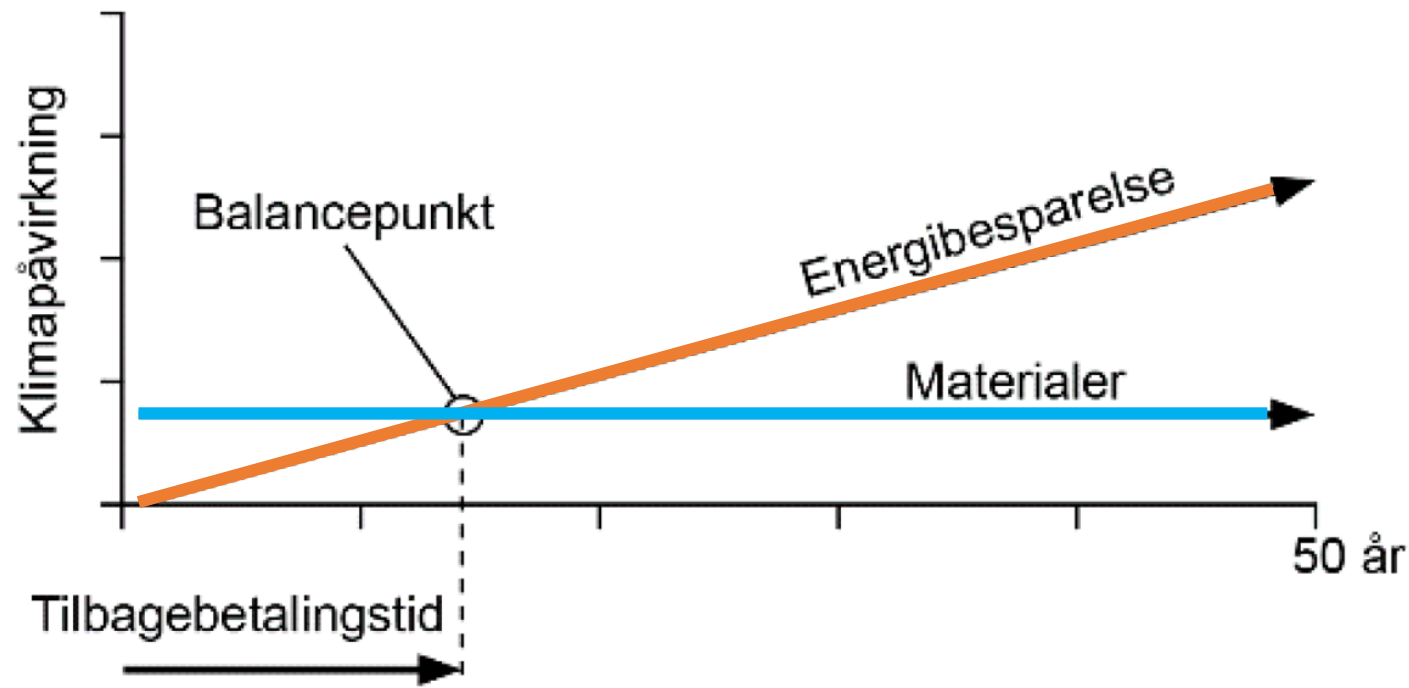
Vinduer  
Side 6

Efterisolering  
Side 22

Solceller  
Side 33

Konklusion  
Side 53

# Projektfokus: Klimaeffektivitet



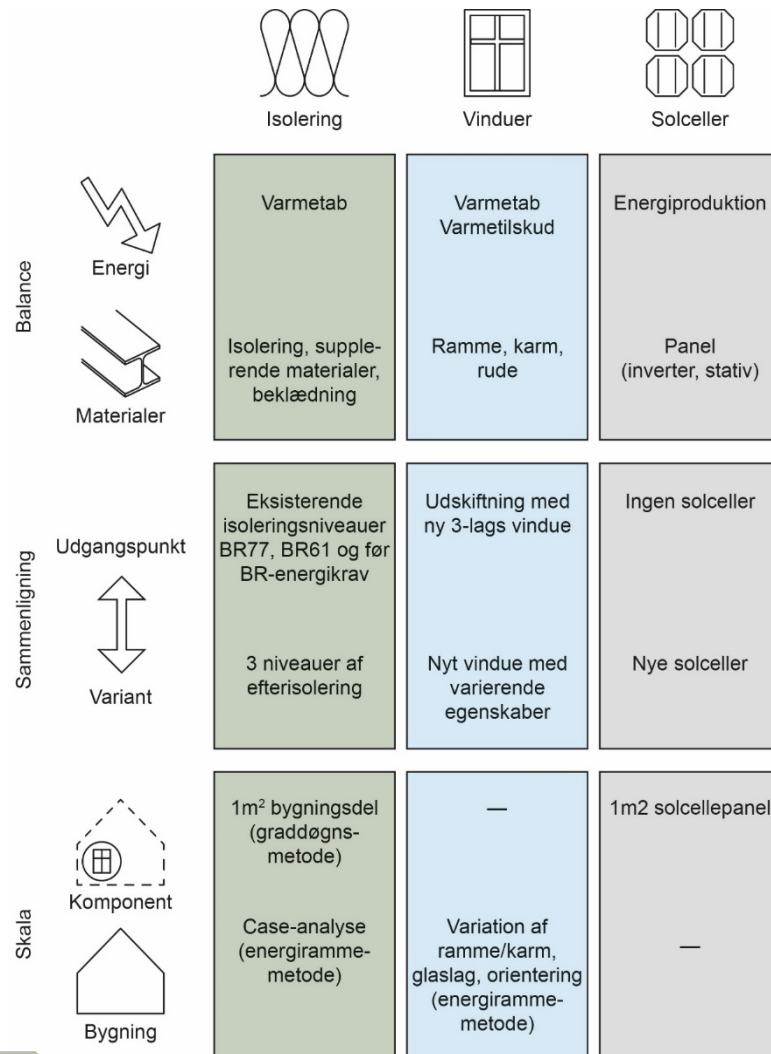
Projektet undersøger balancepunktet mellem klimapåvirkning fra materialer og klimareduktionen fra energibesparelsen i renoveringer. Når en renovering giver en nettobesparelse i klimapåvirkning i løbet af en 50 års livscyklus, regnes den for at være **klimaeffektivt**.

Orange graf: Forskel i energiforbrug før renovering og efter renovering resulterer i en årlig energibesparelse og dermed årlig reduktion af klimapåvirkning.

Blå graf: Klimapåvirkningen af renoveringsmaterialer. Vi antager forsimplet, at alle påvirkninger er sket ved renoveringen.

Ved **balancepunktet** udligner klimareduktionen fra energibesparelsen klimapåvirkningen fra materialer. Balancepunktet giver os det tidsrum, efter det renoveringen er tjent hjem, det vil sige den **klimamæssige tilbagebetalingstid**.

# Overblik over analyser



Projektet undersøger tre renoveringstiltag:

1. Efterisolering af klimaskærm
2. Udskiftning af vinduer
3. Opsætning af solceller

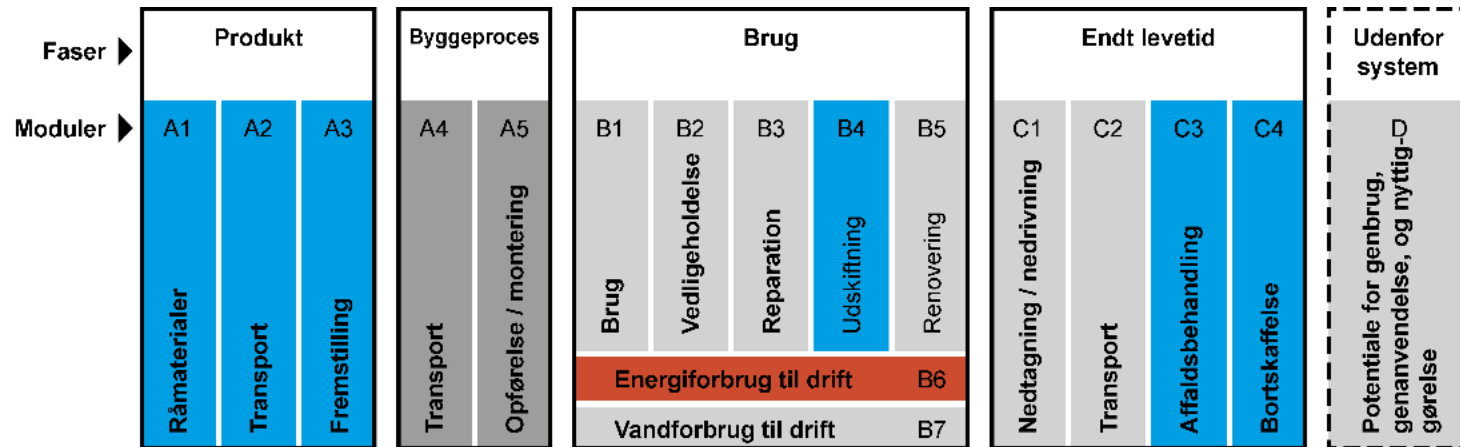
For alle tiltag beregnes der nettopåvirkninger fra materialer og energibesparelse eller henholdsvis – produktion.

**Balance:** Angiver, hvilke materialer der indgår i vurderingen.

**Sammenligning:** Alle beregninger er sammenligninger mellem to varianter. Her bestemmes, hvordan disse varianter er defineret. Bemærk, at vinduesstudiet sammenligner to varianter, som begge indebærer udskiftning af de eksisterende vinduer.

**Skala:** De tre studier undersøger henholdsvis på komponent- eller bygningniveau.

# Livscyklusvurdering: Faser



Metoden for beregning af klimapåvirkning er livscyklusvurdering (LCA). Den indeholder forskellige **faser** i bygningens livscyklus.

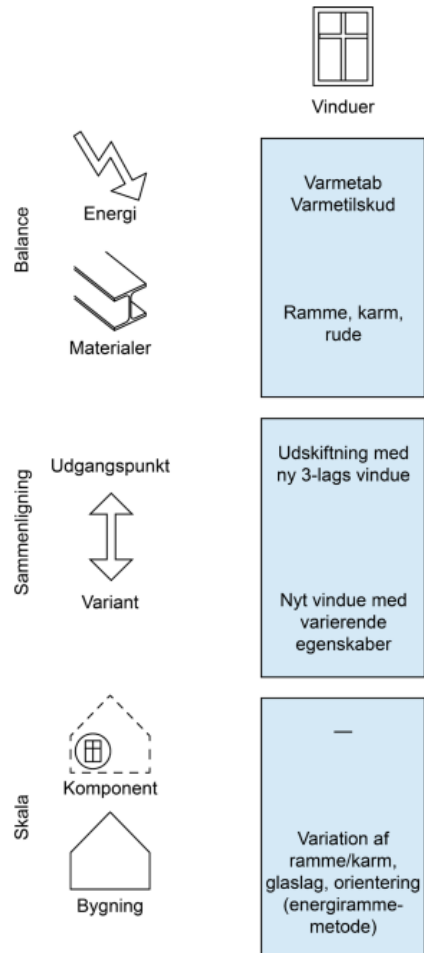
Når man udfører en LCA for bygninger, bør der inkluderes alle **blå (materialer)**, **mørkegrå (byggeproces)** og **røde (driftsenergi)** faser.

Dette studie medtager faser for materialer og energi, men ikke byggeproces (mørkegrå).

Denne form for sammenligning er et specielt tilfælde af LCA, hvorfor der blev foretaget en mere differentieret afgrænsning af faser, som er nærmere beskrevet i rapporten.

Vinduer

# En planlagt vinduesudskiftning



Det forudsættes at alle vinduer skal udskiftes. Beregningerne baseres på en sammenligning mellem en referenceløsning og et variantstudie.

Reference: Alle vinduer udskiftes til nye vinduer med 3-lags ruder

Variant 1: Alle vinduer udskiftes til nye vinduer med 2-lags ruder

Variant 2: Alle vinduer udskiftes med nye vinduer der variere mellem 2-lags ruder mod S, Ø og V og 3-lags ruder mod N.

# Miljødatagrundlag

## Vinduer - EPD

Der er indgået en branchedialog med vinduesproducenter og leverandører til indsamling af repræsentativt miljødata.

Data er adskilt på baggrund af:

- Rude
- Ramme/karm
- Tætningslister etc.

Miljødata er baseret på miljøvaredeklarationer (EPD)

- Branche EPD (ikke 3. parts verificeret)
- Produktspecifik EPD



## Vinduer - Ökobaudat

Klimapåvirkningen af vinduer bliver også afspejlet gennem generisk miljødata. Generiske data anvendes ofte i tidlige projekteringen, hvor produkterne endnu ikke er fastlagt.

Data er adskilt på baggrund af:

- Rude
- Rammekarm / tætningslister

Miljødata er baseret på generisk miljødata

- Ökobaudat





# Eksempler på sammenligning af miljødata og usikkerheder

## Ökobau data i LCA

Bygningsdele	Konstruktioner	Byggevarer	Faser
Afløb	Karm, vinduer, træ-alu	Vinduesramme, aluminium	3-lags-rude (A1-A3)
Altaner og altangange		Vindueskarm, træ	3-lags-rude (C3)
Andet		Vinduesramme, alu	3-lags-rude (C4)
Dæk		Vinduesramme, træ	3-lags-rude (D)
El- og mekaniske anlæg		EPDM-tætning til aluminiumsprofil	
Fundamenter		Beslag til dreje-kip vinduer (aluminium)	
Indervægge			
Søjler og bjælker		3-lags-rude	
Tage			
Terrændæk			
Trapper og ramper			
Udendørs areal			
Vand			
Varme			
Ventilation og køl			
Vinduer, døre, glasfacader			
3 lags vindue Træ-Alu			
Ydervægge			

## Nordan

Materialer	kg	%
Pine timber	16.58	24.66
Triple glazed unit	Glass	41.76
	Spacer	0.74
	Butyl	0.02
	Sealant	1.09
Paint	0.57	0.85
Aluminium	1.80	2.68
Plastic	0.23	0.34
Gasket	0.92	1.37
Metal- Steel alloys	1.07	1.59
Sealant and Glue	0.08	0.12
Additional for alu clad	Aluminium	2.31
	Plastic	0.03
	Metals	0.03
<b>Total weight of the product</b>	<b>67.23</b>	<b>100</b>
Wood packaging	3.1	
Steel packaging	0.05	
Plastic packaging	0.08	
Paper, cardboard packaging		
<b>Total weight with packaging</b>	<b>70.46</b>	

Der er stor forskel på, hvor store dele af vinduet der er medtaget i EPDer / klimadata for de forskellige producenter og data er heller ikke direkte sammenlignelige med generiske data

Til venstre ses detaljering af generiske data hvor ramme, karm, EPDM tætning og glas er adskilt mængde og påvirkningsmæssigt

Øverst i midten ses eksempel hvor der er angivet samlet påvirkning for alle de nævnte dele – herunder spacer, opluk etc. Der er angivet mængde i kg pr. materiale

## Vinduesindustrien

Materiale	Vægt % af deklareret produkt
Glas	61,8%
Træ	20,4%
Plast	7,1%
Aluminium	5,8%
Metalbeslag og -skruer	2,5%
Maling og lak	2,4%

Nederst et andet eksempel hvor der i grovere "opløsning" er angivet % af samlet deklareret produkt men ikke vægt og i øvrigt én samlet påvirkning for alle materialer uanset levetid

# Eksempler på sammenligning af miljødata og usikkerheder

Produkt EPD  
HS Hansen

## Product information

### Product description

Facade elements with 160 mm Al-profiles based on "Hydro 4.0 Aluminium Extrusion Ingot" (REDUXA) covered by the EPD: NEPD-1840-468-EN, and triple glass of the type 6-18-4-18-4 (regarding Fasad-glass). The main product components are shown in the table below. Values are given as intervals covering the three declared product variations. Specific recipes and some input materials (0-2 mass-%) are not shown in this table due to reasons of confidentiality.

Material	Weight-% of declared product
Glass	0-76
Aluminium	20-43
Plastic	4-6
Mineral wool	0-23
Calcium silicate	0-29
Packaging material*	kg per declared unit
PE film	0,61
Pallets	2,8

Der opgives forskellige glas-tykkelser i EPD'erne og data kan derfor ikke sammenlignes 1-1

Nogle opgives som 3 x 4 mm glas andre som i eksemplet 1 x 6mm og 2 x 4 mm

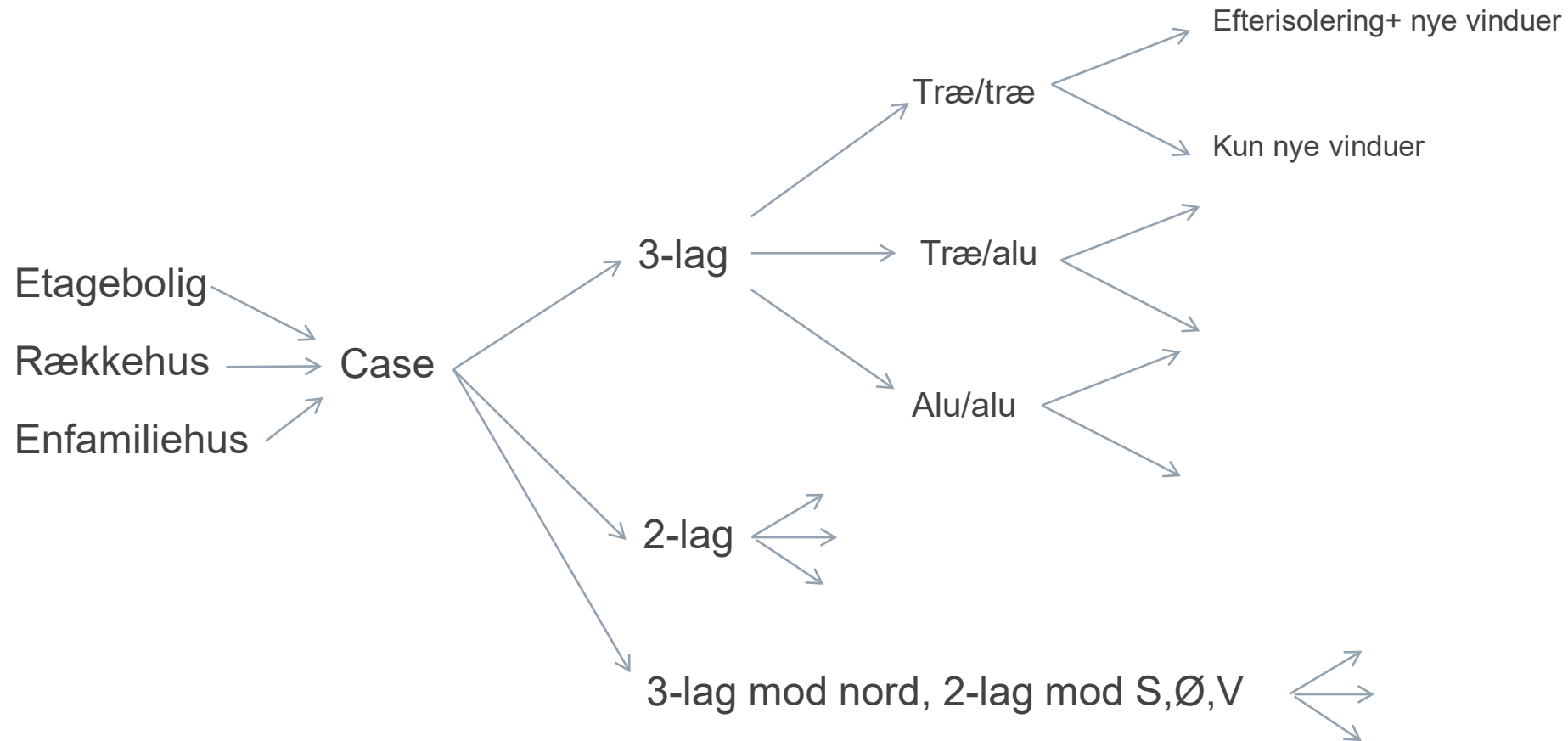
# Sammenligning af miljødata

Det skal bemærkes, at Vinduesindustrien og HS Hansen alene har data for modul A.  
Der er benyttet Ökobaus generiske data for modul B, C og D

Desuden er EPD-data tilpasset således at alle data fremgår med samme glas-typer

		Vægt	Modul A1-A3	Modul B2	Modul B4	Modul C3	Modul C4	Modul D	Resultat inkl D	Resultat ex D
		[kg / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]	[CO <sub>2</sub> eq / m <sup>2</sup> ]
Træ-Træ	LCAbyg 5.1.0.5	36,4	48,5	0,0	87,0	31,5	6,9	-37,1	136,8	173,9
Træ-Træ	NorDan	35,6	44,8	0,0	68,7	19,8	0,3	-8,2	125,3	133,5
Træ-Træ	Vindueindustrien	0,0	65,9	0,0	87,0	31,5	6,9	-37,1	154,2	191,3
Træ-Træ	Lian	36,1	42,0	0,0	63,7	19,5	0,1	-1,9	123,4	125,3
Træ-Alu	LCAbyg 5.1.0.5	39,9	76,9	0,0	65,7	32,6	6,9	-44,7	137,3	182,1
Træ-Alu	NorDan	36,9	56,0	0,0	41,6	19,9	0,3	-16,4	101,4	117,8
Træ-Alu	Vindueindustrien	0,0	106,0	0,0	65,7	32,6	6,9	-44,7	166,5	211,2
Træ-Alu	Lian	37,8	51,9	0,0	22,7	19,3	0,1	-4,9	89,1	94,0
Alu-Alu	LCAbyg 5.1.0.5	30,7	117,6	0,0	53,7	9,3	2,9	-54,0	129,5	183,5
Alu-Alu	Eiler Thomsen Alufacader	33,7	72,7	0,0	49,8	1,5	0,3	-22,7	101,5	124,2
Alu-Alu	Vindueindustrien	0,0	163,0	0,0	53,7	9,3	2,9	-54,0	174,9	228,8
Alu-Alu	HS Hansen (fasad/UnitAl)	38,8	119,6	0,0	53,7	9,3	2,9	-54,0	131,4	185,4

# Overblik over analysemodel



# En planlagt vinduesudskiftning

## VINDUESUDSKIFTNING

Scenarie: Planlagt vinduesudskiftning sammenlignet med variant

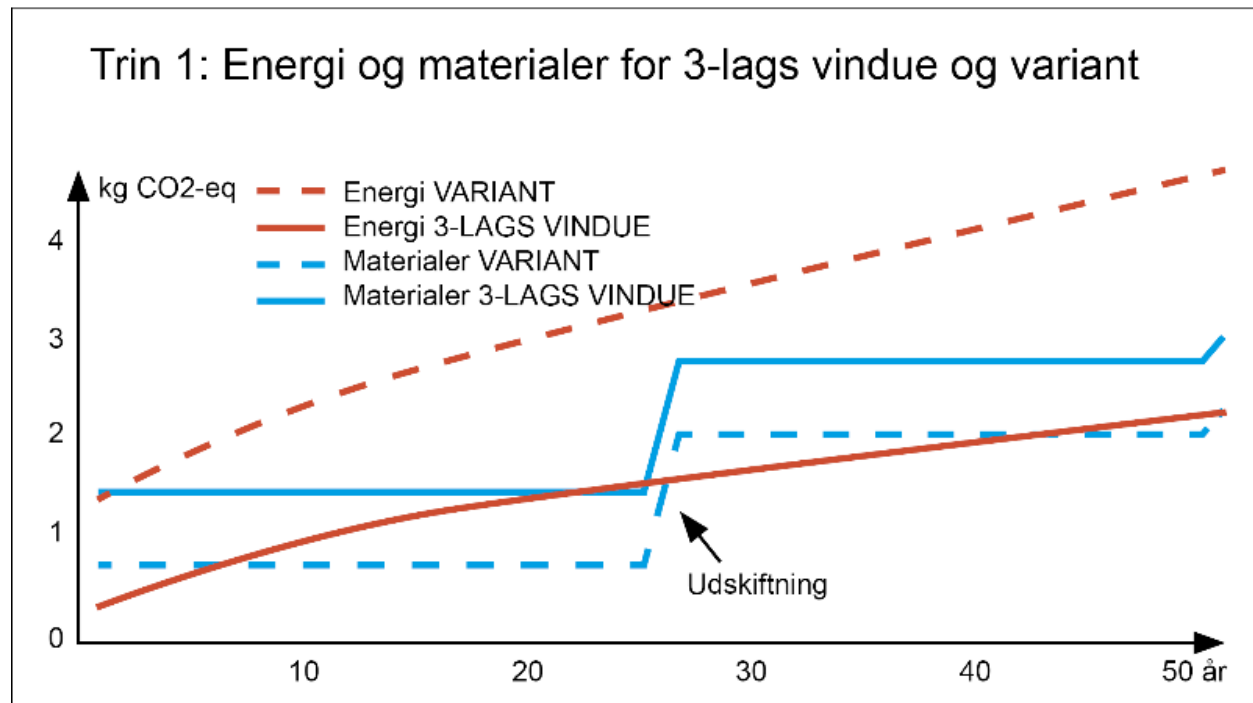
Det forudsættes at alle vinduer skal udskiftes. Beregningerne baseres på en sammenligning mellem en referenceløsning og et variantstudie.

Den blå optrukne linje markerer klimapåvirkning ved produktion og bortskaffelse af 3-lags vinduet (reference-scenarie)

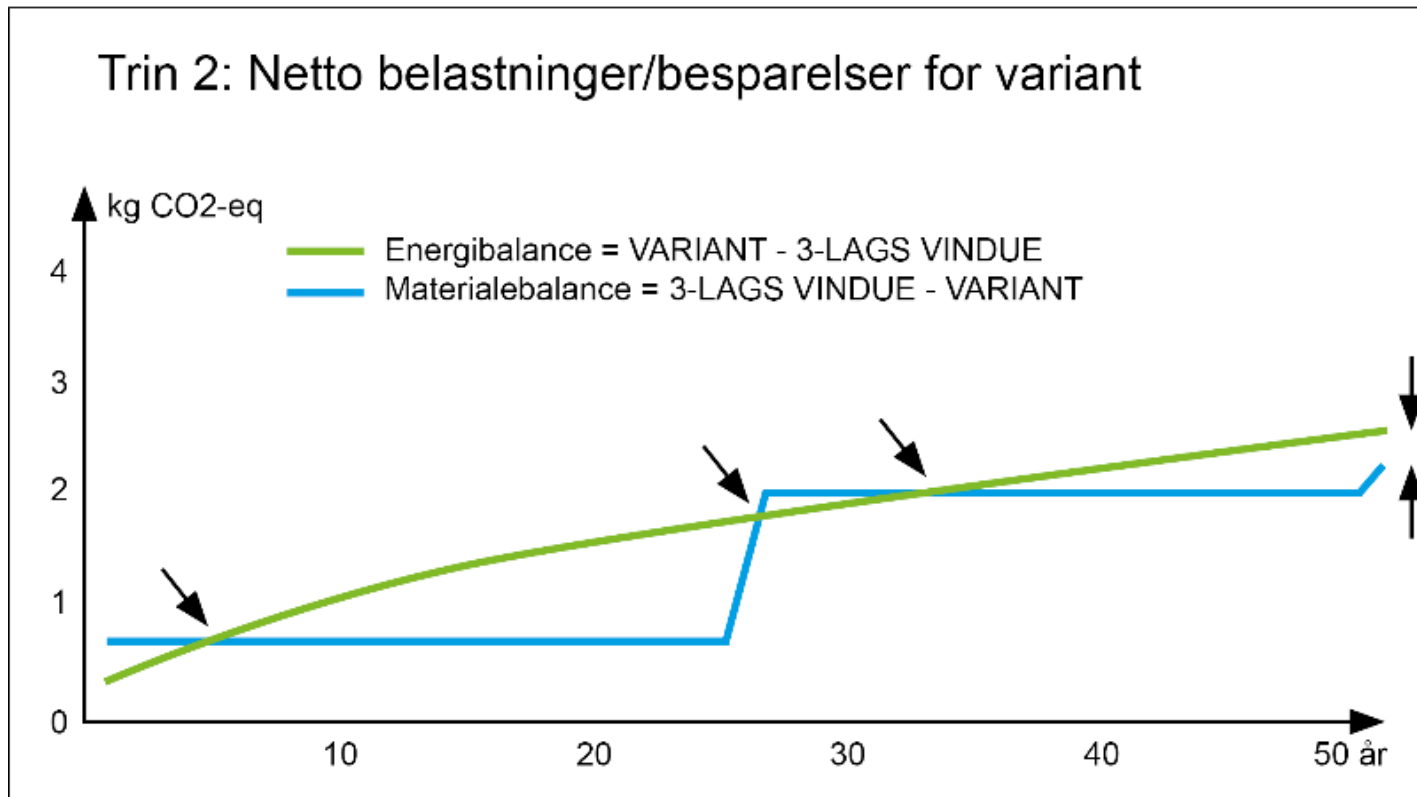
Den stiplede blå linje markerer klimapåvirkning ved produktion og bortskaffelse af variant (f.eks. 2 lags- eller den kombinerede 2-lags og 3-lags løsning)

Den røde optrukne linje markerer klimapåvirkning relateret til bygningens opvarmning ved reference-scenariet

Den røde stiplede linje markerer klimapåvirkning relateret til bygningens opvarmning ved varianten f.eks. 2 lags- eller den kombinerede 2-lags og 3-lags løsning)



# En planlagt vinduesudskiftning



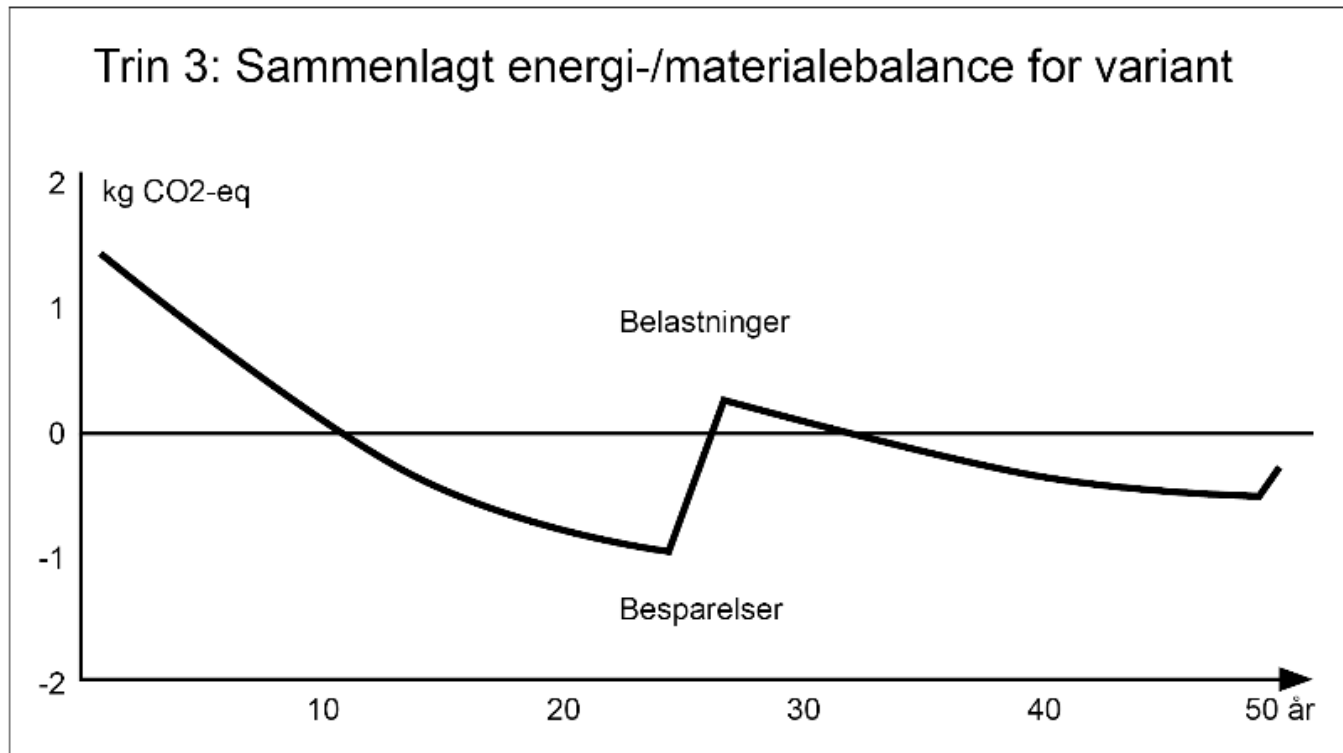
Det forudsættes at alle vinduer skal udskiftes. Beregningerne baseres på en sammenligning mellem en referenceløsning og et variantstudie.

Den blå optrukne linje markerer reduktionen i klimapåvirkning for produktion og bortskaffelse af "varianten" sammenlignet med 3-lags vinduet

Den grønne optrukne linje markerer forøgelsen i klimapåvirkning relateret til bygningens opvarmning som forskellen i opvarmningsbehov mellem varianten og reference-scenariet

Er besparelsen i klimapåvirkning fra materialer højere end den forøgede påvirkning fra opvarmning af bygningen opnås der klimamæssig fordel i variant-løsningen frem for 3-lags løsning.

# En planlagt vinduesudskiftning

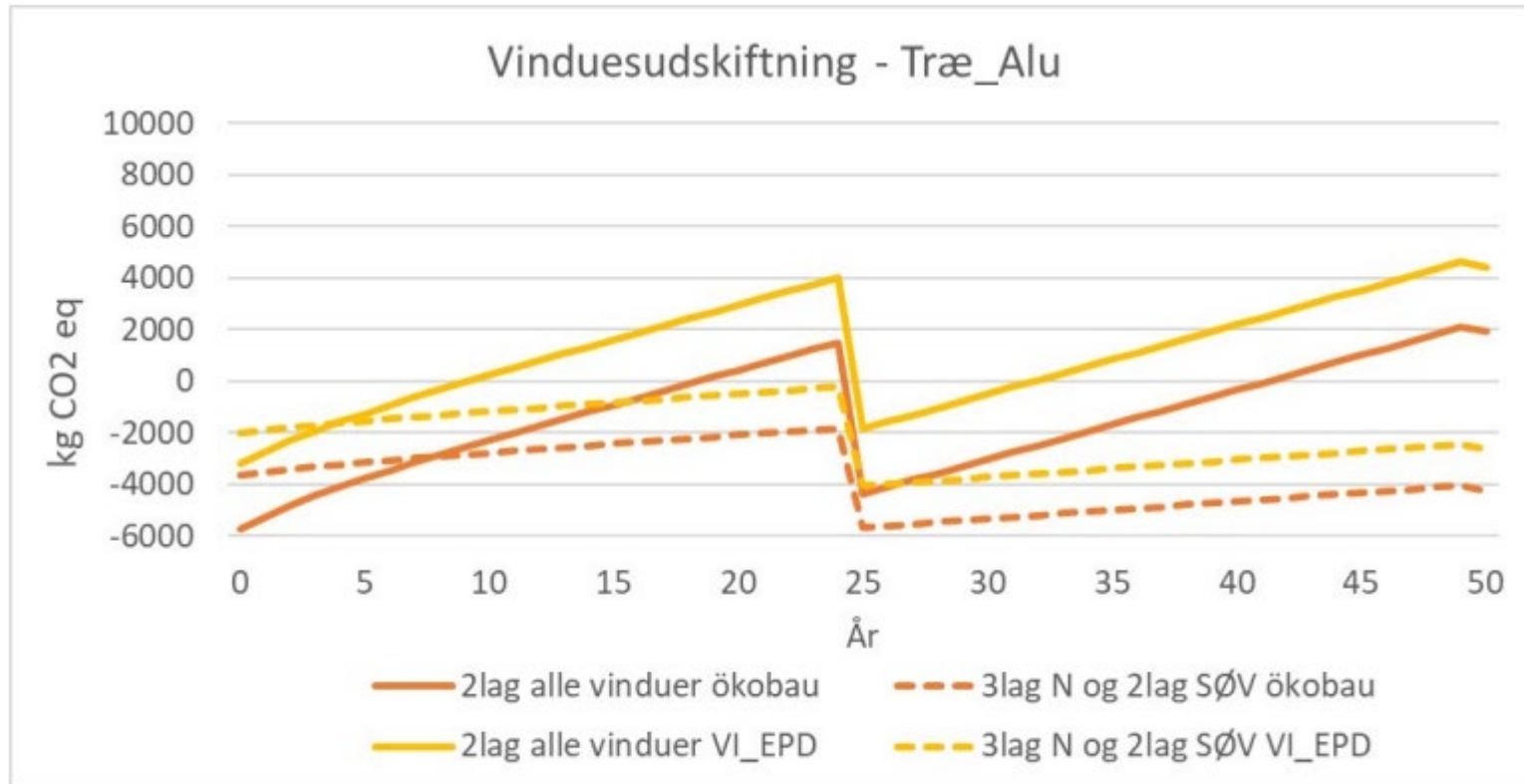


Det forudsættes at alle vinduer skal udskiftes. Beregningerne baseres på en sammenligning mellem en referenceløsning og et variantstudie.

**Den sorte optrukne linje** markerer besparelsen i klimapåvirkning fra materialer sammenholdt med den forøgede påvirkning fra opvarmning af bygningen. Et resultat under "0"-linjen medfører at der samlet set opnås en klimamæssig gevinst ved "varianten" sammenlignet med 3-lags løsningen.

Reduktionen i klimapåvirkning fra produktion og bortskaffelse af vindue er således større end den forøgede klimapåvirkning fra opvarmning set over den 50 årige betragtningsperiode

# Vinduesudskiftning – Etagebolig



**Figur 29.** Etagebolig: Ændring i klimapåvirkning ved udskiftning af træ/alu vinduer til 2-lags vinduer og kombination af 2-lags- og 3-lags vinduer frem for 3-lags vinduer for hhv. økobau.dat data og gennemsnitsdata fra Vinduesindustrien.

**2 variantløsninger sammenholdes med reference-løsningen med 3-lags vinduer**

**De optrukne linjer** viser resultater ved anvendelse af 2-lags vinduer frem for 3-lags vinduer når der anvendes hhv. generiske data og data fra vinduesindustriens "EPD".

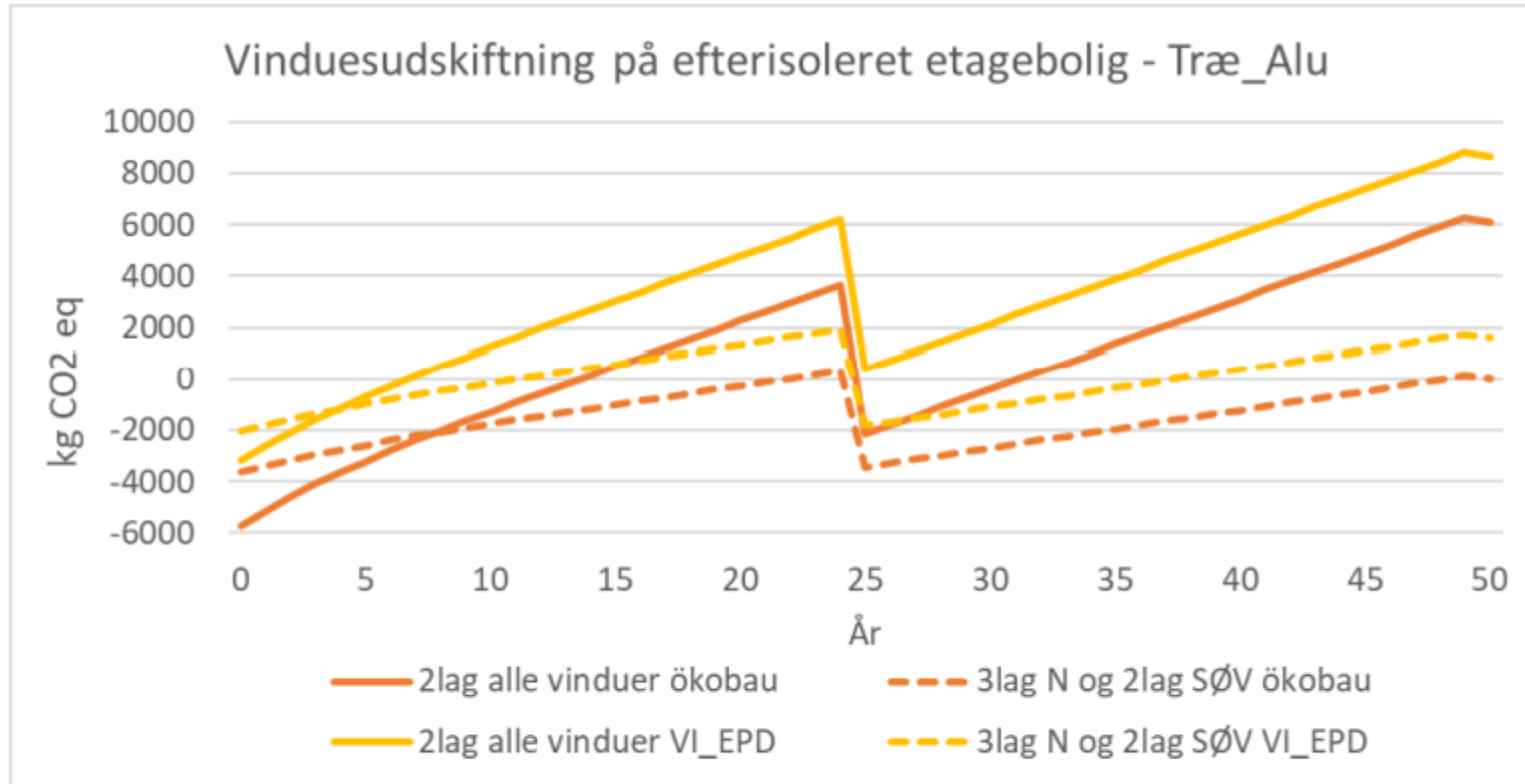
Ved år "0" opnås en negativ værdi da materiale-påvirkningen er lavere end ved den "rene" 3-lags løsning

Ved år 25 udskiftes glasset og ved år 50 ses et samlet "netto-plus" på hhv. ca. 2000 og 4000 kg CO<sub>2</sub> ækv. Der er således en forventet merpåvirkning forbundet med at anvende 2-lags vinduer frem for 3 lags vinduer i den aktuelle case

**De stiplede linjer** viser resultatet ved varianten, hvor der udskiftes til 3-lags vinduer mod nord og 2 lags mod syd. Da der opnås et "netto-negativt" resultat opnås der en klimamæssig besparelse ved den valgte løsning frem for den "rene" 3-lags løsning



# Vinduesudskiftning – Efterisoleret etagebolig



**Figur 30.** Etagebolig: Ændring i klimapåvirkning ved udskiftning af træ/alu vinduer til 2-lags vinduer frem for 3-lags vinduer på en efterisoleret etagebolig for hhv. ökobau.dat data og gennemsnitsdata fra Vinduesindustrien.

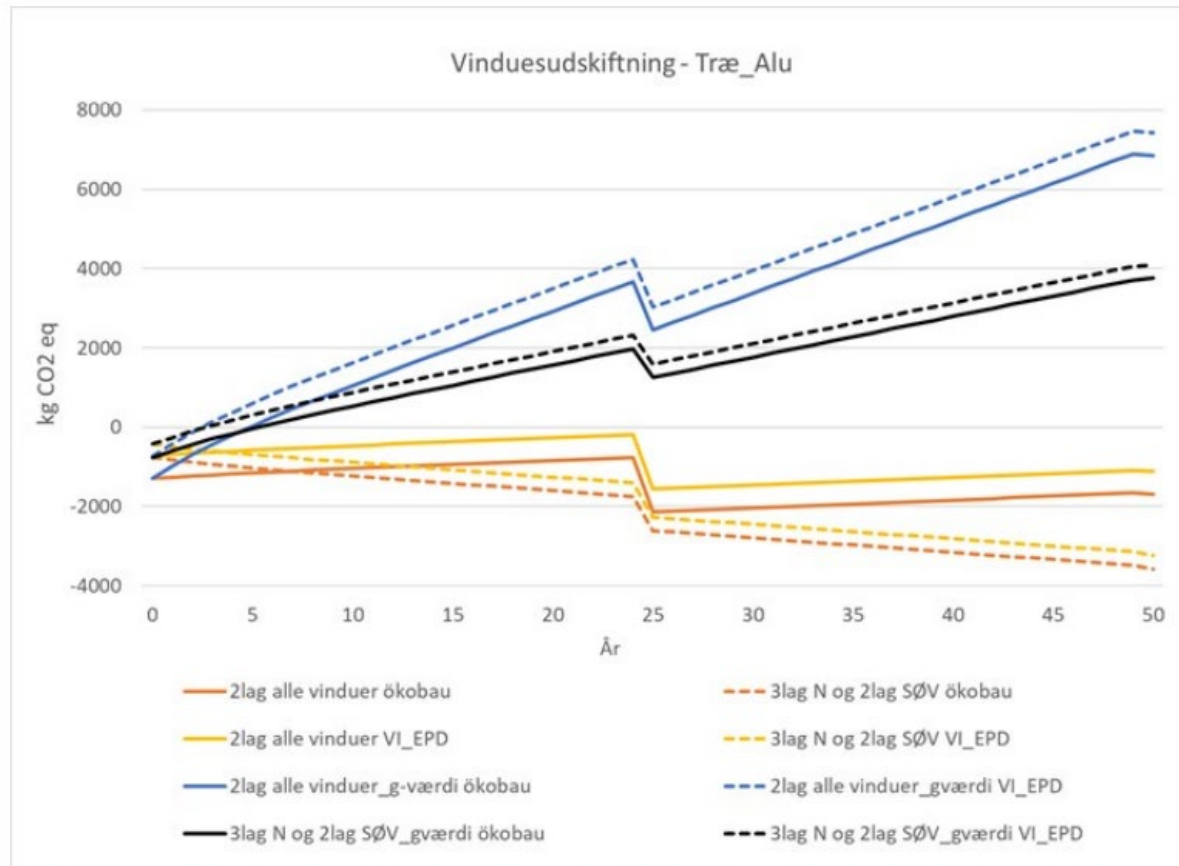
2 variantløsninger sammenholdes med reference-løsningen med 3-lags vinduer

Begge varianter er "netto-plus" i forhold til referenceløsningen ( resultat efter 50 år over "0").

Når der samtidig med udskiftning af vinduer udføres efterisolering opnås der således ikke en klimamæssig gevinst ved de 2 varianter.

En vigtig forudsætning for opnåelse af klimamæssig rentabilitet af de valgte varianter er, at det forøgede mængde passive solvarme fra 2-lags vinduerne kan nyttiggøres i bygningen. Derfor opnås der ringere klimamæssig rentabilitet af varianterne når bygningen samtidig efterisoleres

# Vinduesudskiftning – Rækkehus



**Figur 31.** Rækkehus: Ændring i klimapåvirkning ved udskiftning af træ/alu vinduer til 2-lags vinduer og kombination af 2-lags- og 3-lags vinduer frem for 3-lags vinduer for hhv. Ökobaudat data og gennemsnitsdata fra Vinduesindustrien. Betydningen af ændret g-værdi til eliminering af overophedning er vist som variationer benævnt "g-værdi".

## 2 variantløsninger sammenholdes med reference-løsningen med 3-lags vinduer

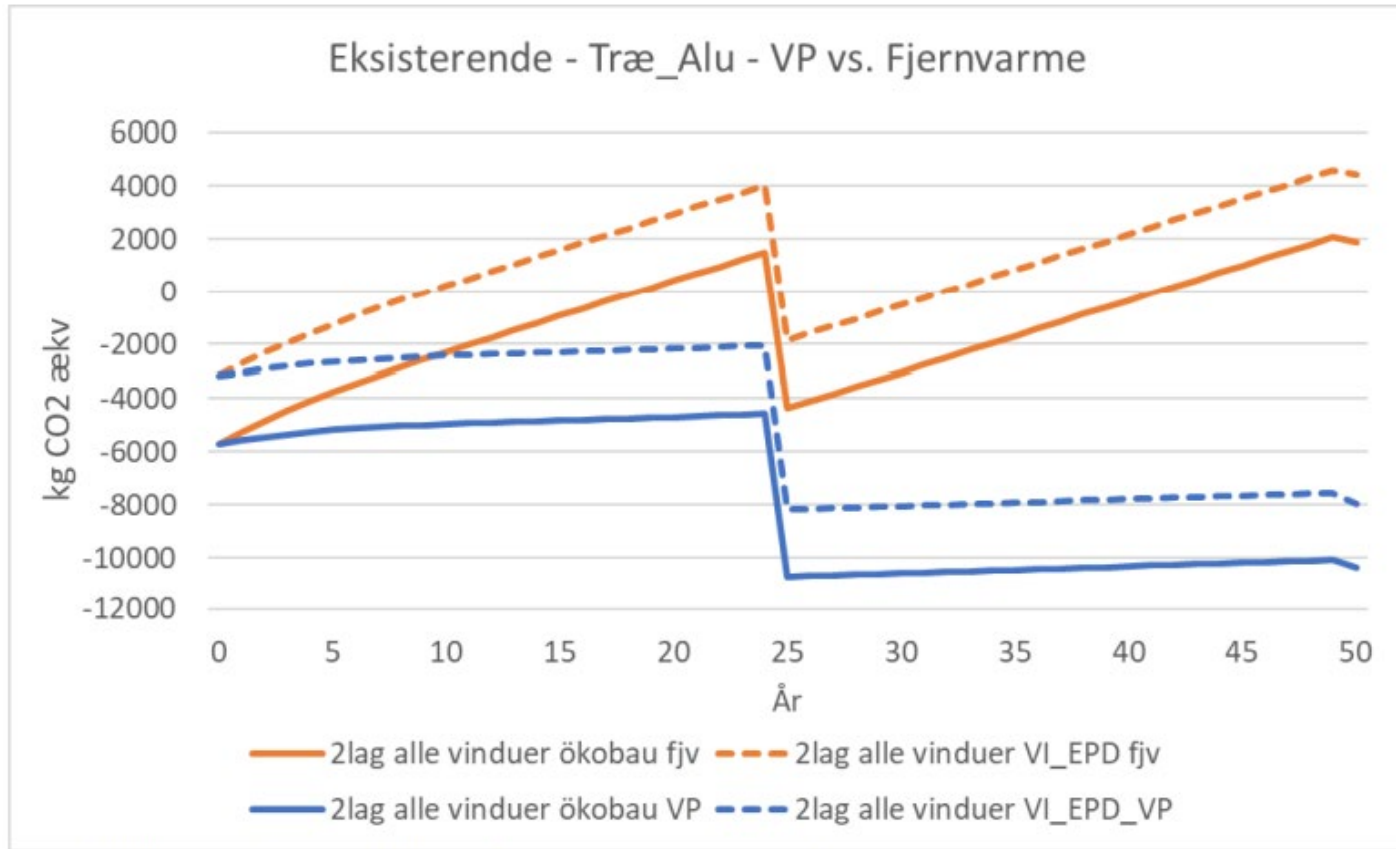
I evaluering med rækkehus-bebyggelsen som case blev det klart at der opstod overophedning ved anvendelse af 2-lags løsningen frem for 3-lags løsningen.

Derfor blev der udarbejdet yderligere analyser hvor g-værdien er reduceret svarende til 3-lags vinduets g-værdi.

**De blå og sorte stiplede linjer** angiver resultater for variationerne hvor g-værdien er reduceret. Det fremgår tydeligt at ingen af disse varianter opnår klimamæssig rentabilitet sammenlignet med 3-lags løsningen (alle har netto-positive resultater)

Modsat opnås der klimamæssig rentabilitet såfremt g-værdien på 2 lags vinduet kan bevares svarende til klart 2-lags glas. Det vil dog kræve andre tiltag mod overophedning.

# Variation i energiforsyning - Vinduesudskiftning i **Etagebolig**

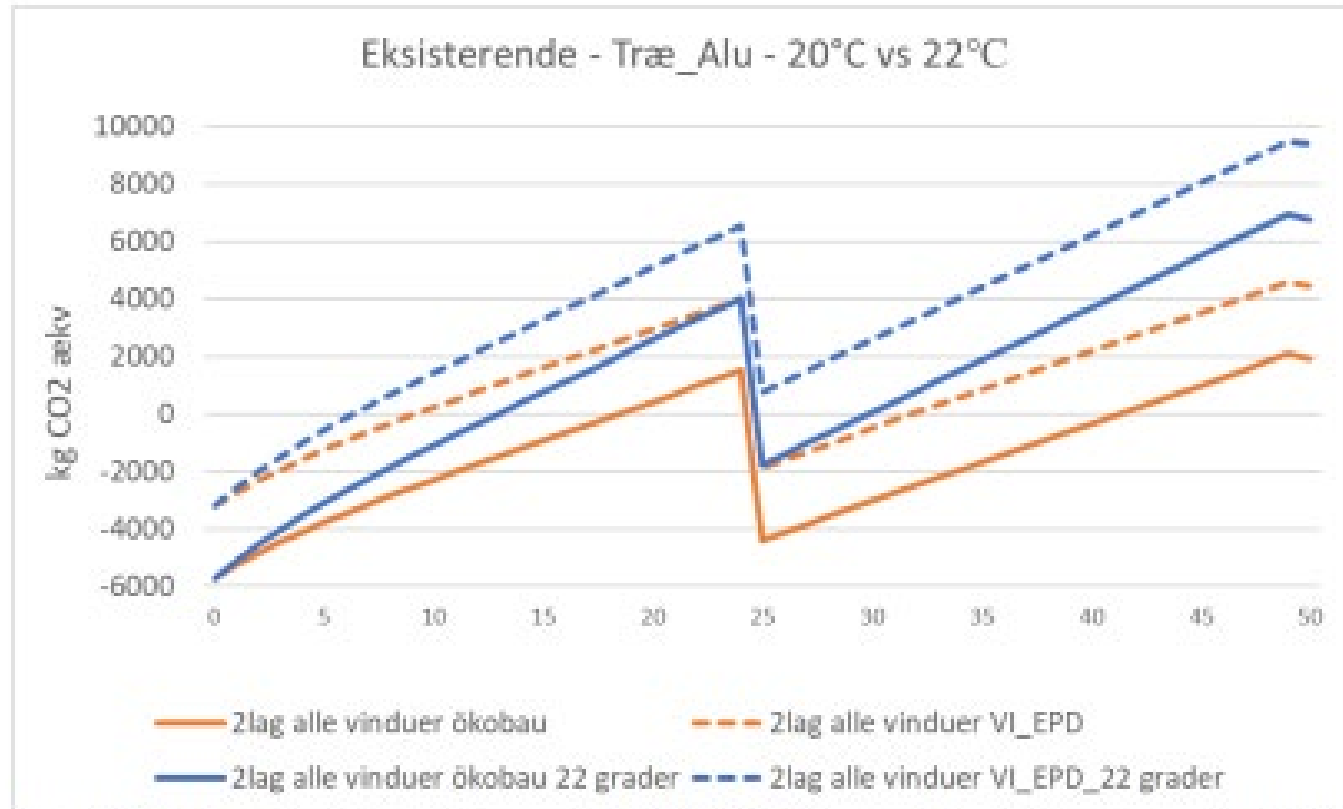


**Figur 34** Klimamæssig rentabilitet af 2-lags vinduer i forhold til 3-lags vinduer med varmforsyning via fjernvarme og varmepumpe

Betydningen af eksisterende varmforsyning (fjernvarme og varmepumpe)

# Variation i energiforsyning - Vinduesudskiftning i **Etagebolig**

Ændring i indetemperatur fra 20 til 22 grader C



Figur 36 Betydning af variation i indetemperatur fra 20C til 22C for anvendelse af 2-lags vinduer for eksisterende etagebolig

## Betydningen af ændret indetemperatur.

I forbindelse med renovering ses det ofte at der efter renovering måles højere indetemperaturer i opvarmningssæsonen end før renoveringen.

Når indetemperaturen ændres fra 20 til 22 grader C forøges varmebehovet i bygningen. Det medfører forholdsmæssigt større klimapåvirkning ved varianter med 2-lags vinduer frem for referencen med 3-lags vinduer.

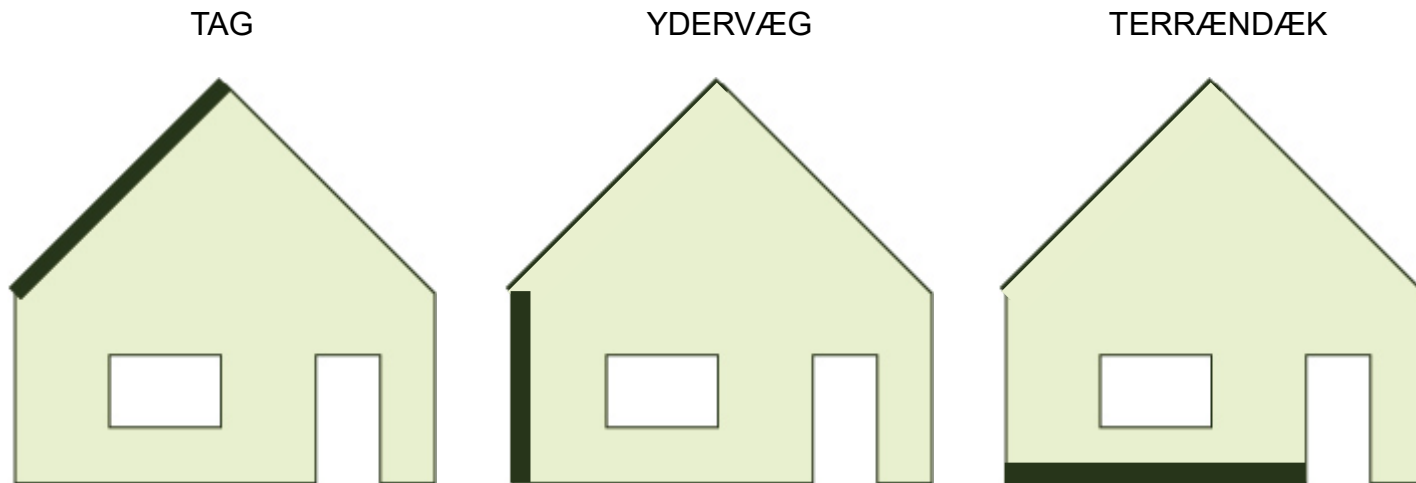
Det ses af forskellen mellem de optrukne røde og blå linjer og de stiplede røde og blå linjer der illustrerer resultaterne for hhv. generiske data og Vindues Industriens "EPD" data.

# Konklusioner

- Ruder har den højeste andel i vinduers klimapåvirkning
- Derfor gælder, jo færre antal ruder og jo tyndere glasset er, jo mindre er vinduets klimapåvirkning
- 3-lagsruder mod nord og 2-lags ruder i resten af facaden kan være løsningen med den laveste klimapåvirkning i nogle bygninger
- Solafskærmning skal tænkes ind i beregning af klimamæssig rentabilitet, da den er god for indeklimaet, men reducerer solvarmebidraget om vinteren
- Der er mangel på Miljøvaredeklarationer på danske vinduer
- Energiforsyningsformen kan have stor betydning for, hvilke løsninger der er klimamæssigt mest optimale

# Efterisolering

# Undersøgelse af bygningsdele



Efterisolering udføres for **tag, ydervægge og terrændæk.**

Klimapåvirkningen inkluderer materialeforbrug til **isolering, beklædning** af bygningsdelen og nødvendige **underkonstruktioner.**

For at spænde bredt over forskellige typer bygninger og renoveringer, er der anvendt et antal tiltag for hver af de tre bygningsdele. Se næste side for en nærmere beskrivelse.

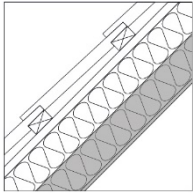
Tag efterisoleres ud fra tre tiltag:  
T1, T2 og T3

Ydervægge efterisoleres ud fra fem tiltag:  
Y1, Y2, Y3, Y4 og Y5

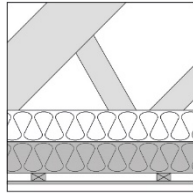
Terrændæk efterisoleres ud fra to tiltag:  
D1 og D2

# 10 efterisoleringstiltag

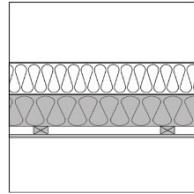
T1  
Isolering mellem skrå tagspær  
Tagbeklædning på lægter



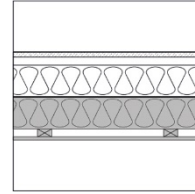
T2  
Isolering af lofttrum



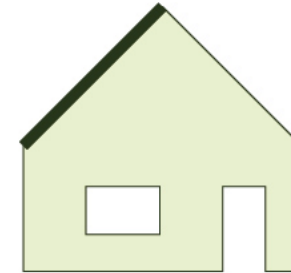
T3<sub>1</sub>  
Trykfast isolering  
Tagpap



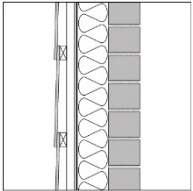
T3<sub>2</sub>  
Ventileret isolering  
Tagpap på undertag



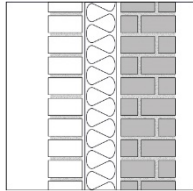
TAG



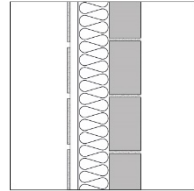
Y1  
Isolering mellem stolper  
Ventileret facadebeklædning



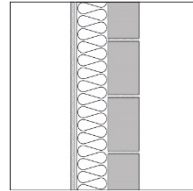
Y2  
Isoleringsbatts  
Formur



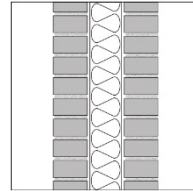
Y3  
Selvbærende isolering  
Ventileret facadebeklædning



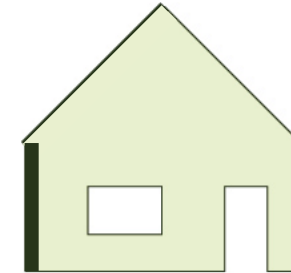
Y4  
Pudsbar isolering  
Puds



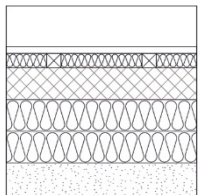
Y5  
Indblæst isolering



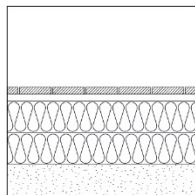
YDERVÆG



T1  
Trykfast isolering  
Tungt terrændæk

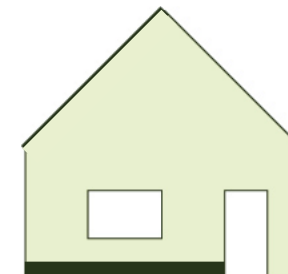


T2  
Trykfast isolering  
Let terrændæk



□ Tilføjede materialer    ■ Eksisterende materialer

TERRÆNDÆK



Intro

Vinduer

Isolering



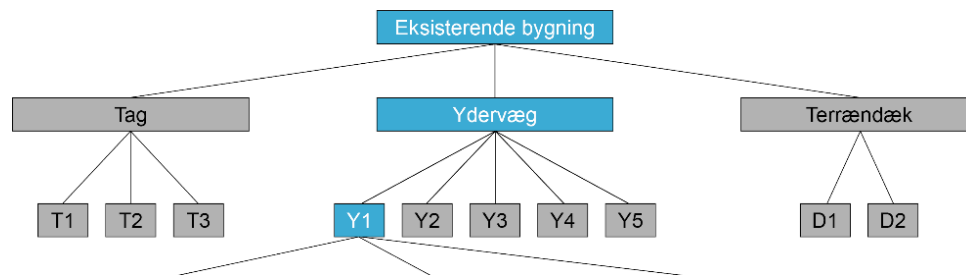
# Overblik over kombinationer

Bygningsdel

---

Isoleringsiltag

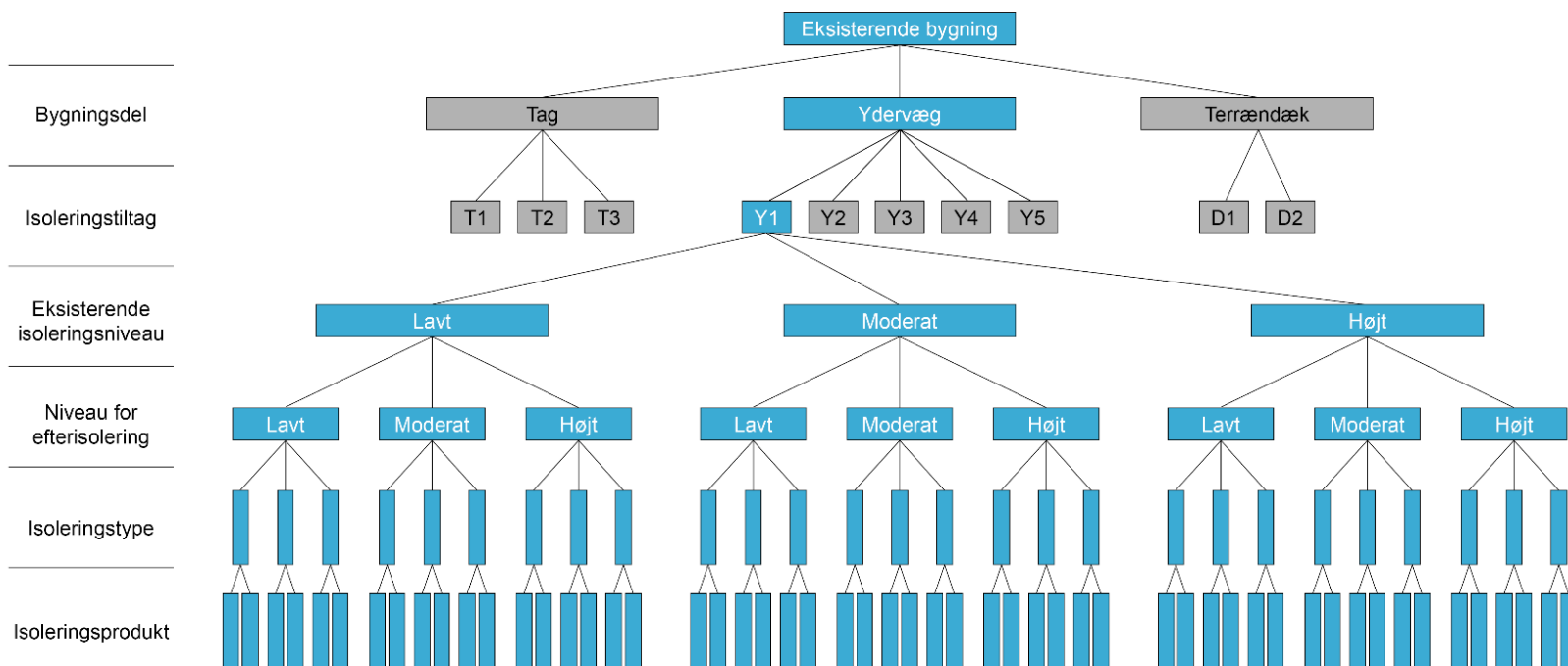
---



Resultaterne er opbygget af forskellige kombinationer af **eksisterende forhold** og **løsningsmuligheder** til efterisolering. Opbygningen sker ud fra **sæks** niveauer

Hver **bygningsdel**, fx ydervæg, kan efterisoleres med en række **isoleringsiltag**, fx Y1 (efterisolering udefra med ventileret beklædning).

# Overblik over kombinationer



Resultaterne er opbygget af forskellige kombinationer af **eksisterende forhold** og **løsningsmuligheder** til efterisolering. Opbygningen sker ud fra **s seks niveauer**

Hver **bygningssdel**, fx ydervæg, kan efterisoleres med en række **isoleringsiltag**, fx Y1 (efterisolering udefra med ventileret beklædning).

Dette tiltag kan anvendes på forskellige eksisterende **isoleringsniveauer** (lavt, moderat, højt).

Dette eksisterende niveau kan så opgraderes til at opnå et af de tre forskellige **efterisoleringsniveauer** (også kaldt lavt, moderat og højt).

Endvidere kan isoleringen foretages ved brug af forskellige **isoleringsstyper** (fx EPS eller træfiber).

Til sidst kan der være et udvalg af **isoleringsprodukter** inden for hver type.

# Anvendte miljødata

## Isolering - EPD

Der er indgået en branchedialog med isoleringsproducenter til indsamling af repræsentative isoleringsprodukter, deres anvendelse i dansk byggeri samt tilhørende miljødata.

Data er adskilt på baggrund af:

- Produkttype
- Anvendelse
- Varmeledningsevne,  $\lambda$
- Styrke

Miljødata er baseret på tredjeparts verificerede miljøvaredeklarationer (EPD)

- Branche EPD
- Produktspecifik EPD



## Isolering - Ökobaudat

Klimapåvirkningen af de udvalgte isoleringstyper bliver også afspejlet gennem generisk miljødata. Generiske data anvendes ofte i tidlige projekteringen, hvor produkterne endnu ikke er fastlagt.

Data er adskilt på baggrund af:

- Produkttype
- Anvendelse
- Densitet

Miljødata er baseret på generiske miljødata

- Ökobaudat



## Beklædning - Ökobaudat

Der medtages klimapåvirkning fra nye beklædninger på bygningsdelen samt nødvendige underkonstruktioner til efterisoleringen.

Data er adskilt på baggrund af:

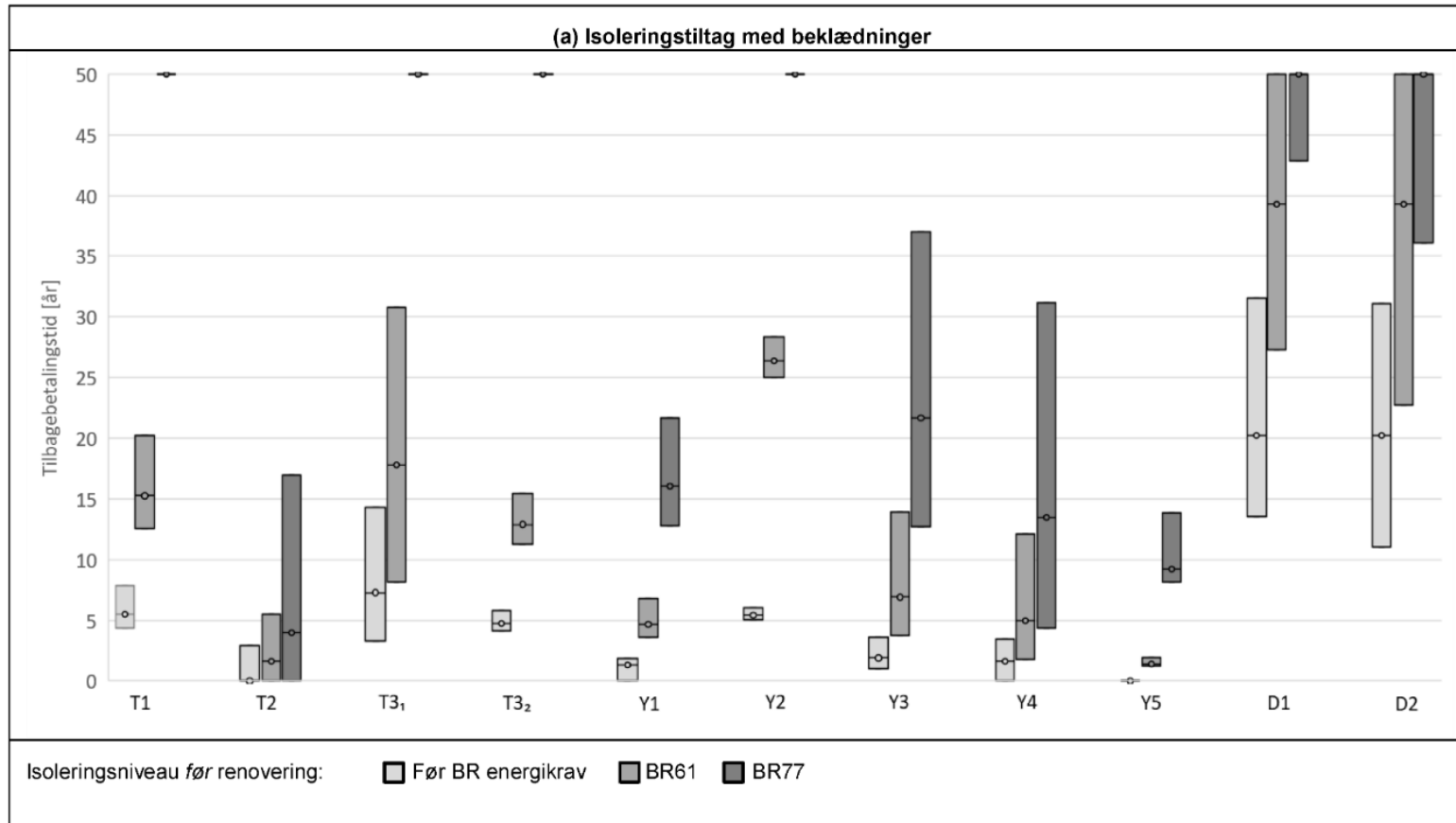
- Produkttype
- Anvendelse

Miljødata er baseret på generiske miljødata

- Ökobaudat

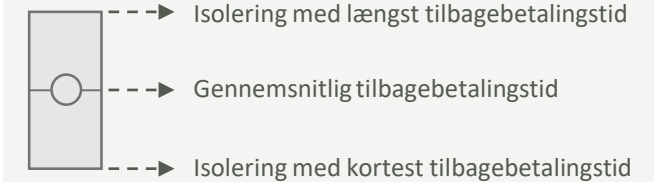


# Spænd af tilbagebetalingstid for alle renoveringstiltag



Grafen viser spændet af den klimamæssige tilbagebetalingstid for samtlige efterisoleringstiltag (jf. side 8) inklusive beklædningsmaterialer.

## Læsevejledning til grafen:



## Anvendt filter af kombinationer:

Eksisterende isoleringsniveau: Alle

Niveau for efterisolering: Moderat

Isoleringstype: De typisk anvendte i det enkelte tiltag

Bemærk: Tilbagebetalingstiden er ikke ensbetydende med den totale CO<sub>2</sub>-besparelse

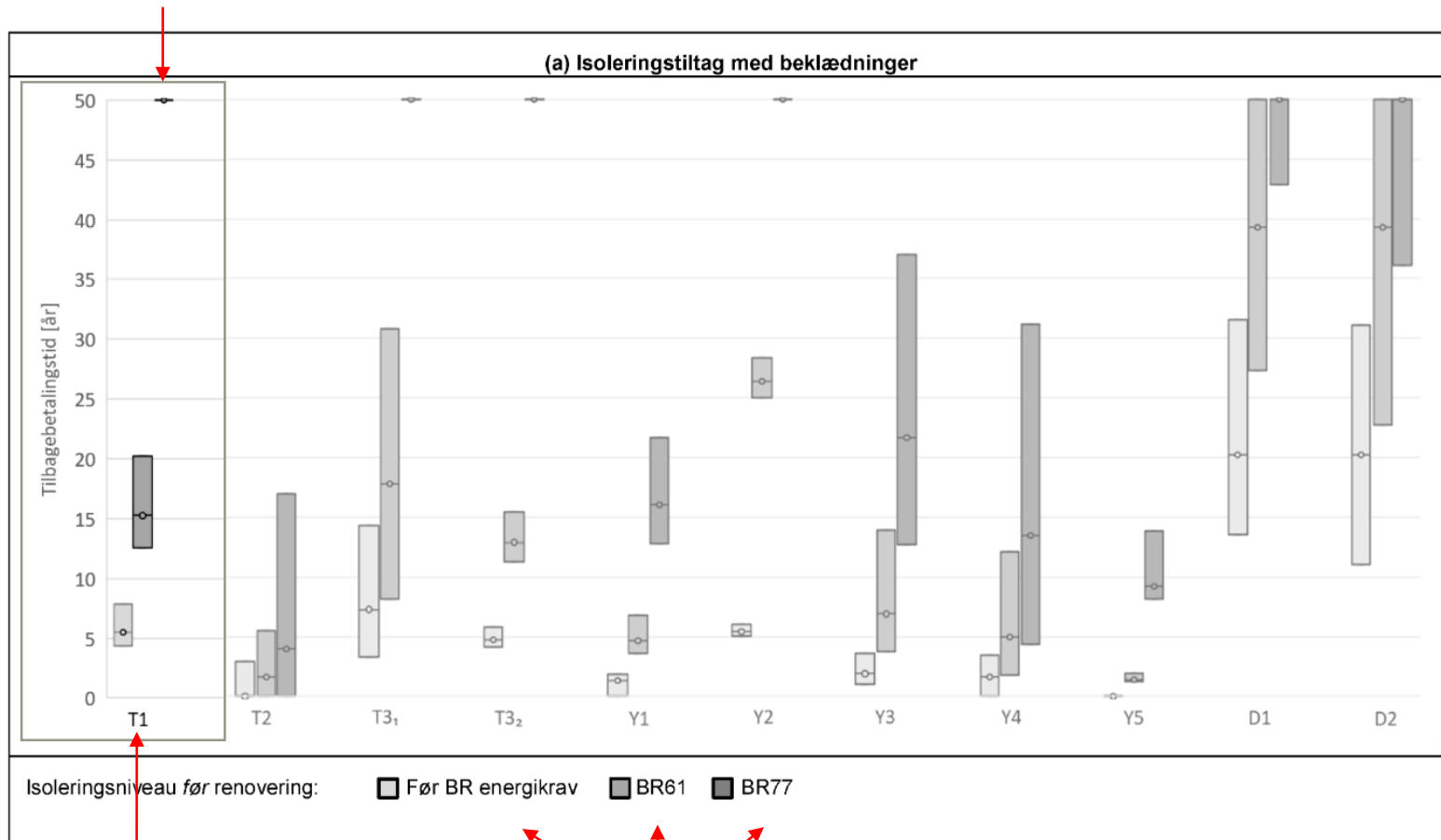
Intro

Vinduer

Isolering

# Spænd af tilbagebetalingstid for alle renoveringstiltag

Rentabelt efter 50 år eller længere



Tiltag

Eksisterende isoleringsniveau

Grafen viser spændet af den klimamæssige tilbagebetalingstid for samtlige efterisoleringstiltag (jf. side 8) inklusive beklædningsmaterialer.

## Læsevejledning til grafen:

- > Isolering med længst tilbagebetalingstid
- ---> Gennemsnitlig tilbagebetalingstid
- > Isolering med kortest tilbagebetalingstid

## Anvendt filter af kombinationer:

Eksisterende isoleringsniveau: Alle

Niveau for efterisolering: Moderat

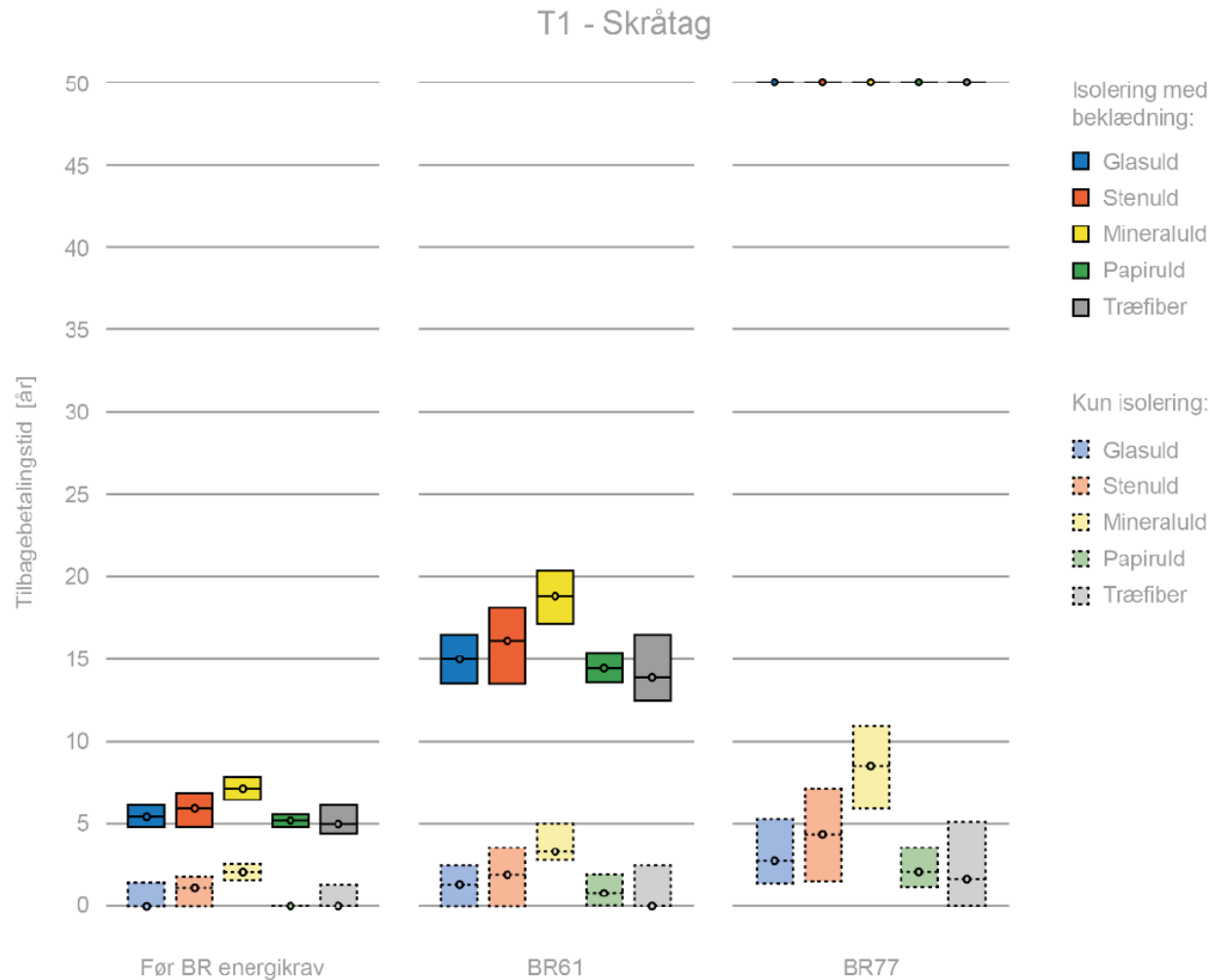
Isoleringstype: De typisk anvendte i det enkelte tiltag

Intro

Vinduer

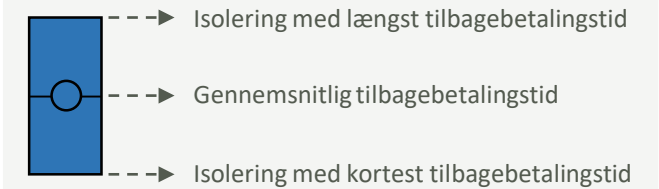
Isolering

# Eksempel af resultater for **tiltaget** skråtagsisolering



Grafen viser resultater af **tiltag T1 – skråtagsisolering** med større detaljeringsgrad. Her ses forskellen mellem isoleringstyper og resultater med/uden beklædninger.

## Læsevejledning til grafen:



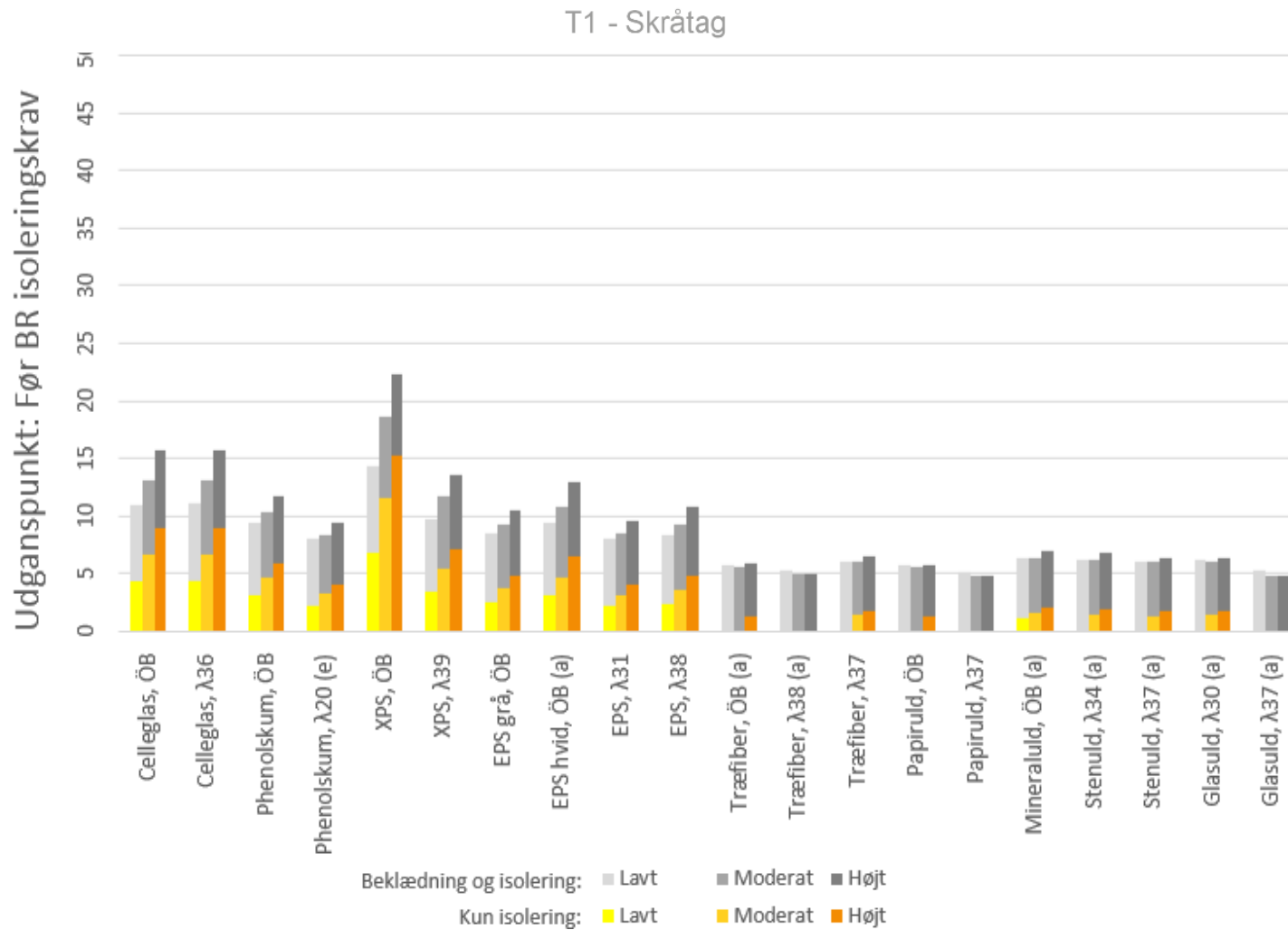
## Anvendt filter af kombinationer:

Eksisterende isoleringsniveau: Alle

Niveau for efterisolering: Moderat

Isoleringstype: De typisk anvendte i det enkelte tiltag

# Udsnit af resultater for isoleringsprodukter



Grafen viser et udsnit af resultater for tiltag T1 – skråtagsisolering med den højeste detaljeringsgrad. Her ses forskellen mellem de specifikke **isoleringsprodukter**.

## Læsevejledning til grafen:

Efterisoleringsniveau



To grafer i ét

Isolering alene  
Isolering + beklædning

## Anvendt filter af kombinationer:

Eksisterende isoleringsniveau: Alle

Niveau for efterisolering: Alle

Isoleringstype: Alle

Isoleringsprodukt: Alle

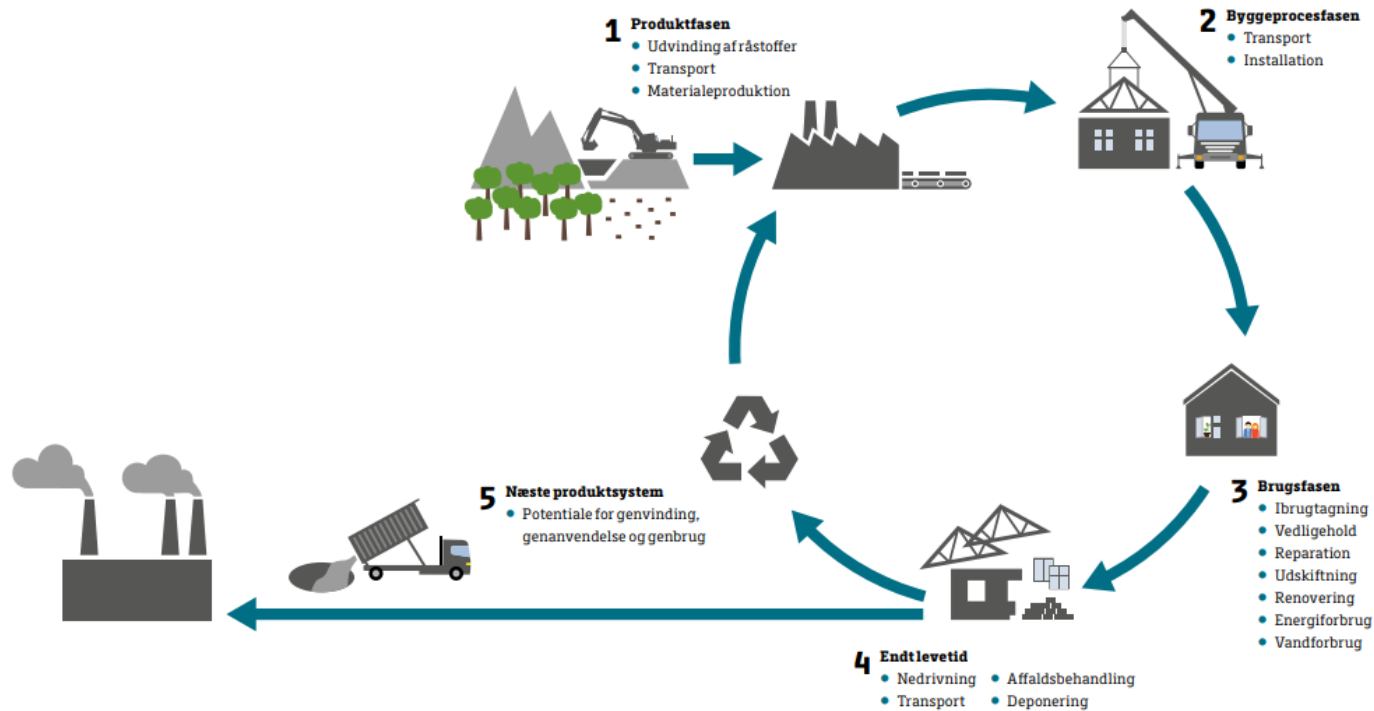
# Konklusioner

- Det er klimamæssigt rentabelt at efterisolere de dele af bygningen, som i forvejen har ingen eller kun moderat isolering
- Man kan reducere eksisterende bygningers klimaaftryk mest ved at vælge isolering og (i givet fald) nyt beklædningsmateriale baseret på en livscyklusvurdering (LCA)
- Man bør tage både hensyn til rentabilitet og den samlede CO<sub>2</sub>-besparelse



Solceller

# Klimamæssig rentabilitet for bygningsmonterede solceller



Klimamæssig rentabilitet beregnes efter samme LCA-metode som anvendes i DGNB og den frivillige bæredygtighedsklasse

Der beregnes ud fra en samlet betragtningsperiode på 50 år

Der tages højde for energistyrelsens forventede fremskrivning af det danske el-mix

Den klimamæssige rentabilitet kan betragtes som:

CO<sub>2</sub> aftryk for produktion + bortskaffelse over 50år sammenholdt med reduktion i CO<sub>2</sub> aftryk ved at erstatte grid-mix med solcellestrøm.

# Betydende faktorer for solcellens klimamæssig rentabilitet



## Solcelles ydelse

- Teknologi
- Effektivitet
- Orientering
- Hældning
- Degradering
- Anlægs effektivitet, herunder inverter
- Skyggeforhold

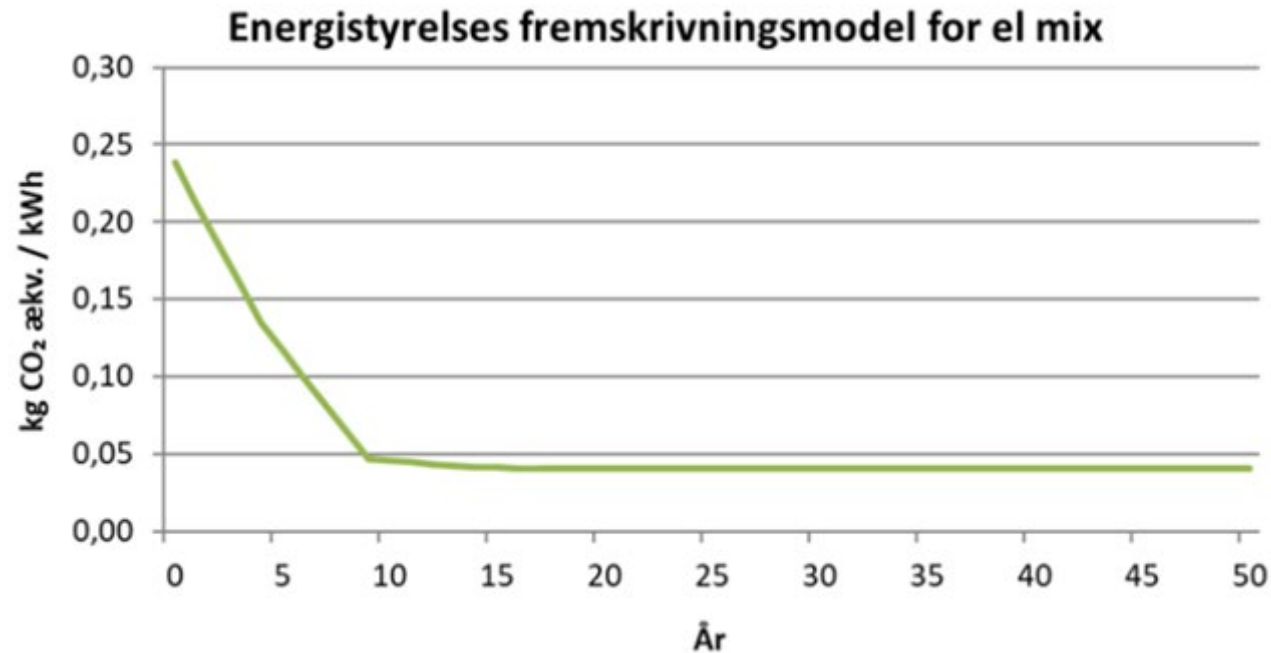
# Betydende faktorer for solcellens klimamæssig rentabilitet



## Produktion af solcellen

- Teknologi, m-Si, CD-TE, CIGS osv..
- Energiforsyning på produktionssted
- Råstof-indvinding for forarbejdning
- Substitution af andre tagmaterialer (tagintegreerede anlæg)

# Betydende faktorer for solcellens klimamæssig rentabilitet



## Produktion af solcellen

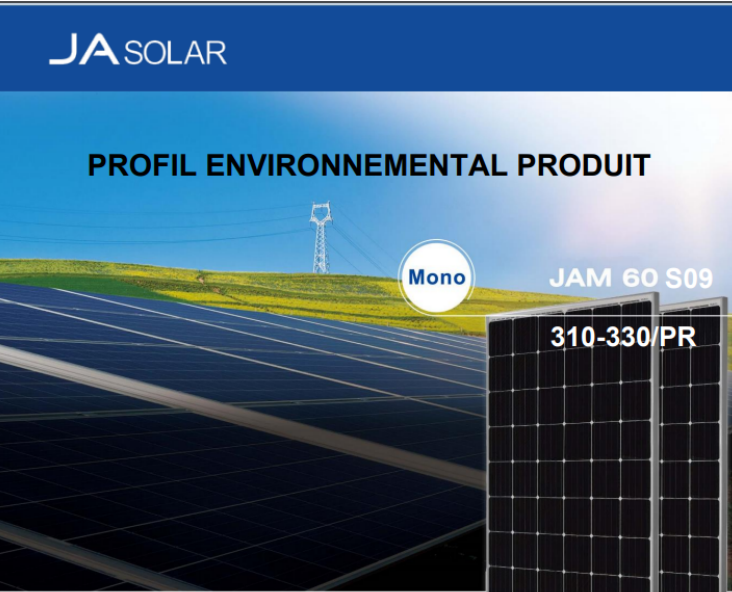
- Teknologi, m-Si, CD-TE, CIGS osv..
- Energiforsyning på produktionssted
- Råstof-indvinding for forarbejdning
- Substitution af andre tagmaterialer (tagintegreerede anlæg)
- Grid-mix hvor solcellen placeres


# Eksempel med JA solar 320

**JA SOLAR**

**PROFIL ENVIRONNEMENTAL PRODUIT**

Mono JAM 60 S09  
310-330/PR



N° enregistrement : JASO-00003-V01.01-FR	Règles de rédaction : « PCR-ed3-FR-2015 04 02 »
N° d'habilitation du vérificateur : VH29	Information et référentiel : www.pep-ecopassport.org
Date d'édition : 12-2019	Durée de validité : 5 ans
Vérification indépendante de la déclaration et des données, conformément à l'ISO 14025 : 2010	
Interne : <input type="checkbox"/> Externe : <input checked="" type="checkbox"/>	
Revue critique du PCR conduit par un panel d'experts présidé par Philippe Osset	
Les PEP sont conformes à la norme XP C08-100-1:2014 Les éléments du PEP ne peuvent être comparés avec les éléments issus d'un autre programme Document conforme à la norme NF EN 14025 : 2010 «Marquages et déclarations environnementaux. Déclarations environnementales de Type III»	
	

PEP ecopassport n° JASO-00003-V01.01-FR Page 1 of 13

**JA SOLAR**

**Informations Générales**

Produit	Unité Fonctionnelle
Produit de référence : <b>JAM60S09 320/PR</b> Famille de produits : JAM60S09-310/PR, JAM60S09-315/PR, JAM60S09-320/PR, JAM60S09-325/PR et JAM60S09-330/PR Tous les produits sont fabriqués par JA SOLAR Co., Ltd. in Bac Giang Province, VIETNAM. Cette déclaration et le rapport d'accompagnement associé sont représentatifs d'un module photovoltaïque monocristallin qui assure la production d'électricité photovoltaïque sur un site <b>exposé au rayonnement solaire</b> . Représentativité géographique	Produire 320 Wc d'électricité photovoltaïque sur 1,650 m <sup>2</sup> de site <b>exposé au rayonnement solaire</b> avec une dégradation maximale de 0,8% de la production sur la base d'une durée de vie de référence de 25 ans avec un module PV Monocristallin.
Domaine d'application Utilisation : EU France Fabrication et assemblage : Le module photovoltaïque est assemblé en Vietnam. Les principaux composants sont fabriqués en Asie. Les cellules photovoltaïques sont fabriquées en Malaisie.	

**Caractéristiques Techniques**

Tous les calculs sont rapportés à l'unité fonctionnelle.  
Les valeurs environnementales déclarées se rapportent à un produit type ayant les caractéristiques définies ci-dessous :

<b>Produit</b>	<b>JAM 60 S09 Monocristallin silicone PV module 60 cellules</b>		
<b>Masse totale pour 1 module photovoltaïque (emballage inclus)</b>	19,08 kg	Masse totale (emballage inclus) rapportée à l'UF	19,08 kg/UF
<b>Masse totale pour 1 module photovoltaïque (hors emballage)</b>	18,90 kg	Masse totale hors emballage rapportée à l'UF	18,90 kg/UF
Technologie monocristallin (JAM60)			
Module 60 Cellules			
<b>Caractéristiques du Produit</b>			
Puissance nominale déclarée : 310 à 330 Wc (En fonction de chaque produit de la famille)			
Rendement (%) : 80% après 25 ans (Mono PERC).			
Dimensions : 1657mmx996mmx35mm			

PEP ecopassport n° JASO-00003-V01.01-FR Page 2 of 13

# Eksempel med JAsolar 320

JA SOLAR



## Impacts Environnementaux

Les résultats d'impacts environnementaux ci-dessous ont été obtenus avec la méthode de calcul conforme à des critères du PCR-ed3-FR-2015 04 02 du Programme PEP ecopassport®. Les impacts déclarés sont correspondant à l'unité fonctionnelle (320 Wc / 1,619 m²). Résultats pour la France.

### Monocristallin

Indicateur	Unité	Total	Fabrication	Distribution	Installation	Utilisation	Fin de vie
<b>Réchauffement climatique</b>	kg CO2 eq	4.56E+02	4.38E+02	6.29E+00	1.65E-01	0.00E+00	1.15E+01
Acidification des sols et de l'eau	kg SO2 eq	2.58E+00	2.46E+00	7.84E-02	2.07E-04	0.00E+00	3.79E-02
Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	7.51E-05	7.31E-05	1.08E-06	6.49E-09	0.00E+00	9.52E-07
Eutrophisation	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	3.60E-01	3.44E-01	7.85E-03	4.42E-05	0.00E+00	7.94E-03
Formation d'ozone photochimique	kg C2H4 eq	3.00E-01	2.90E-01	6.10E-03	2.65E-05	0.00E+00	3.87E-03
Épuisement des ressources abiotiques – éléments	kg Sb eq	1.29E-02	1.28E-02	1.04E-05	1.04E-07	0.00E+00	8.41E-05
Épuisement des ressources abiotiques – combustibles fossiles	MJ, net CV	4.85E+03	4.68E+03	9.03E+01	5.31E-01	0.00E+00	8.25E+01
Pollution de l'eau	m3	2.12E+02	2.07E+02	2.15E+00	2.12E-02	0.00E+00	2.56E+00
Pollution de l'air	m3	6.63E+04	6.44E+04	8.31E+02	4.68E+00	0.00E+00	1.06E+03
Énergie primaire renouvelable, (énergie matière exclue)	MJ, net CV	9.36E+02	9.29E+02	1.68E+00	1.47E+00	0.00E+00	4.20E+00
Énergie primaire renouvelables utilisées en tant que matière première	MJ, net CV	0.00E+00	1.46E+00	0.00E+00	-1.46E+00	0.00E+00	0.00E+00
Énergie primaire renouvelable totale	MJ, net CV	9.36E+02	9.30E+02	1.68E+00	7.87E-03	0.00E+00	4.20E+00
Énergie primaire non renouvelable, (énergie matière exclue)	MJ, net CV	5.46E+03	5.28E+03	9.29E+01	5.40E-01	0.00E+00	8.73E+01
Énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matière première	MJ, net CV	2.85E+01	2.68E+01	0.00E+00	1.73E+00	0.00E+00	0.00E+00
Énergie primaire non renouvelable totale	MJ, net CV	5.49E+03	5.30E+03	9.29E+01	2.27E+00	0.00E+00	8.73E+01
Énergie primaire totale	MJ, net CV	6.42E+03	6.23E+03	9.46E+01	2.28E+00	0.00E+00	9.15E+01
Utilisation de matière secondaire	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ, net CV	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ, net CV	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation nette d'eau douce	m3	1.26E+01	1.25E+01	1.84E-02	3.26E-04	0.00E+00	6.68E-02

PEP ecopassport n° JASO-00003-V01.01-FR

Page 9 of 13

$$456 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} / 1,619 \text{ m}^2 = 284 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} / \text{m}^2$$

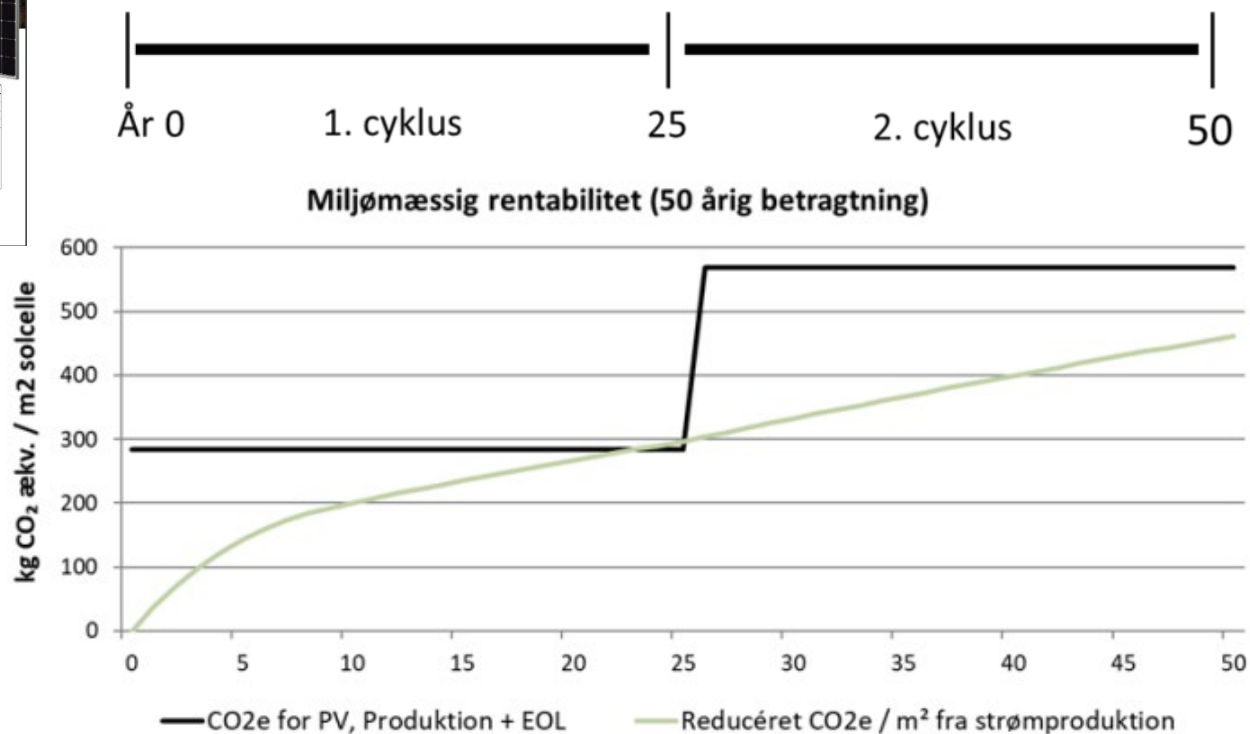
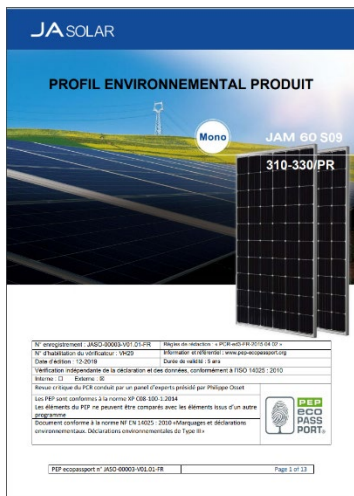
Intro

Vinduer

Isolering

Solceller

# Eksempel med JAsolar 320



## 1.cyklus:

Produktion og bortskaffelse:  
284 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

Fortrængt CO<sub>2</sub> ækv. fra strømproduktion:  
300 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

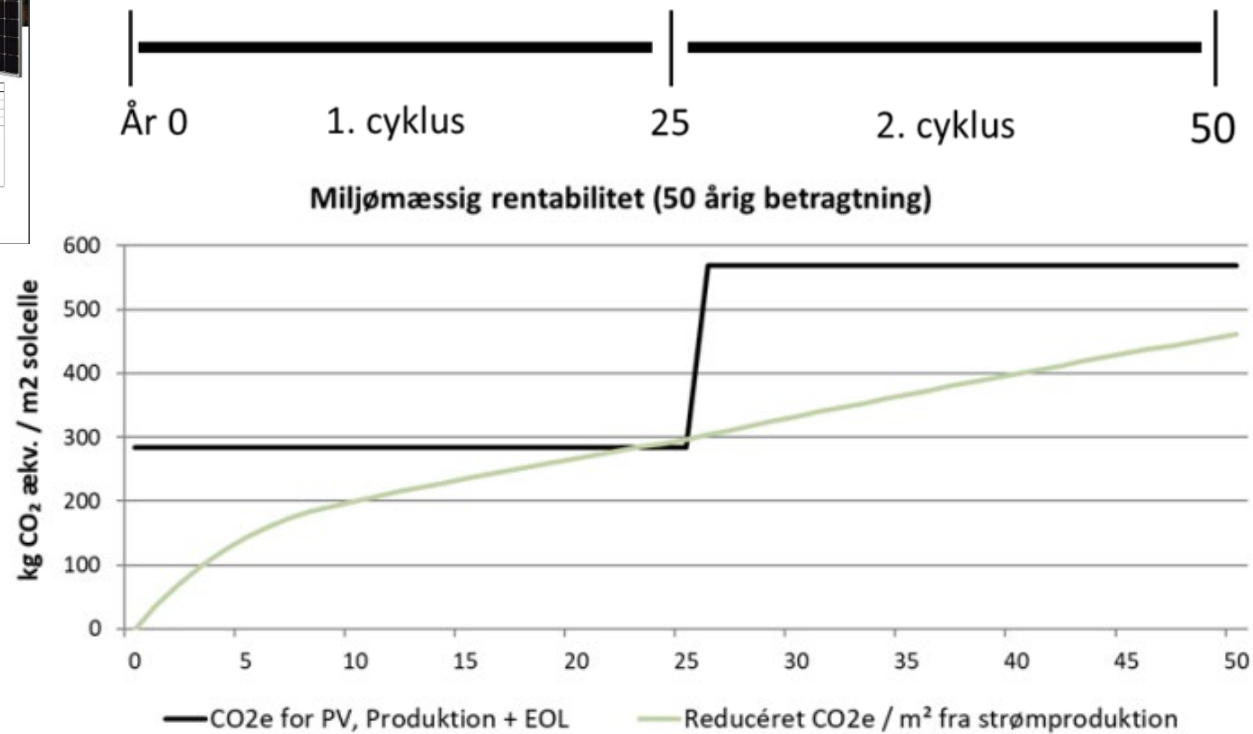
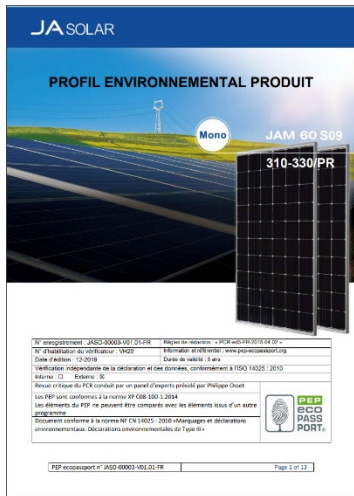
## 2.cyklus:

Produktion og bortskaffelse:  
284 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

Fortrængt CO<sub>2</sub> ækv. fra strømproduktion:  
175 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>



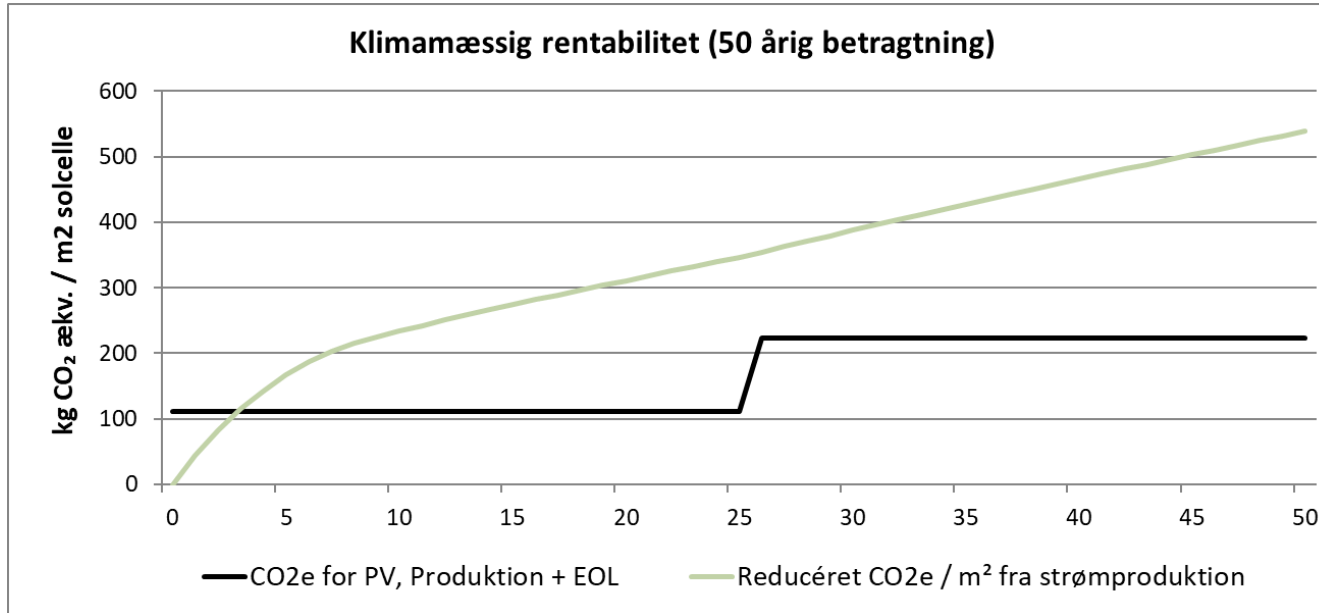
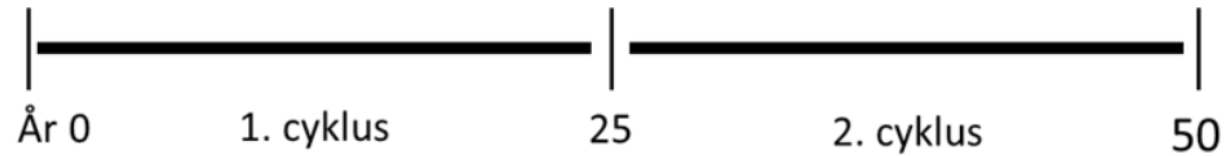
# Eksempel med JAsolar 320



568 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

460 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

# Eksempel med Sunpower Maxeon 3 400wp



## 1.cyklus:

Produktion og bortskaffelse:  
112 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

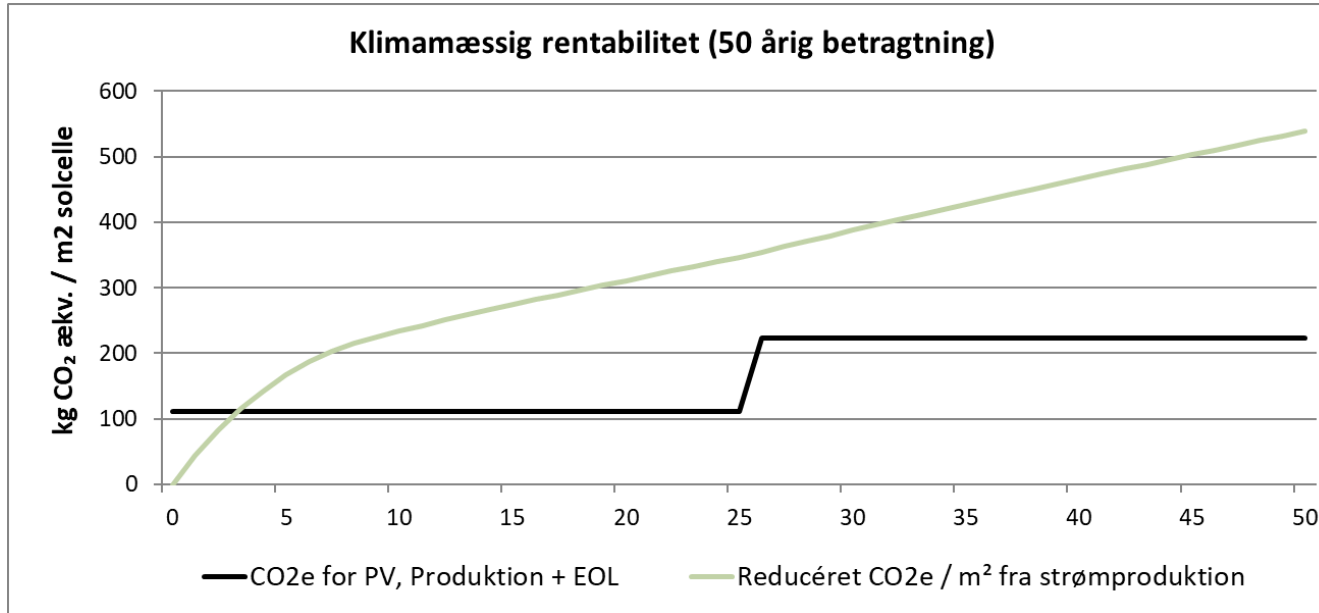
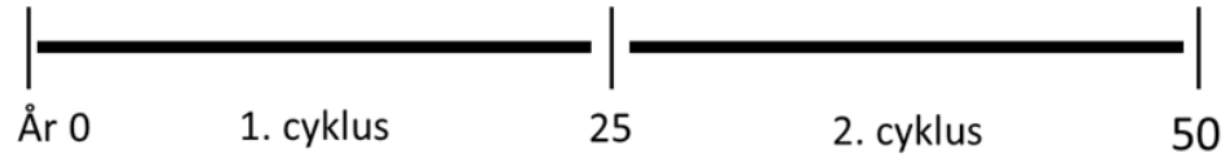
Fortrængt CO<sub>2</sub> ækv. fra strømproduktion:  
339 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

## 2.cyklus:

Produktion og bortskaffelse:  
112 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

Fortrængt CO<sub>2</sub> ækv. fra strømproduktion:  
199 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

# Eksempel med Sunpower Maxeon 3 400wp



538 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>

224 kg CO<sub>2</sub> ækv. / m<sup>2</sup>


# Hvorfor så stor forskel?

epd-norge.no  
The Norwegian EPD Foundation

**ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION**  
in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Owner of the declaration: Program operator: Publisher: Declaration number: Registration number: ECO Platform reference number: Issue date: Valid to:	NorSun AS The Norwegian EPD Foundation The Norwegian EPD Foundation NEPD-2651-1357-EN NEPD-2651-1357-EN - 03.02.2021 03.02.2026
---	--

NorSun mono-crystalline silicon wafer

NorSun AS 

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)

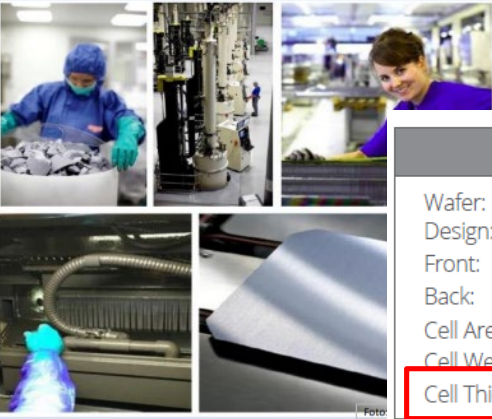


Table 3: Conversion factors for cradle-to-gate carbon footprint for all wafer thicknesses

For modules A1-A3 (cradle-to-gate), ~90% of the Global Warming Potential (GWP) is caused by the consumption of Si ingot. A conversion factor based on Si consumption (kg) per m2 wafer can be used to obtain approximate carbon footprints for different thicknesses.

Wafer thickness	133 μm	130 μm	150 μm	170 μm	180 μm	Comment
Conversion factor	1	0,98	1,22	1,27	1,34	factor * results

Sunpower

Cell Physical Characteristics	
Wafer:	Monocrystalline silicon
Design:	All back contact
Front:	Uniform, black antireflection coating
Back:	Tin-coated, copper metal grid
Cell Area:	Approximately 153cm <sup>2</sup>
Cell Weight:	Approximately 6.5grams
Cell Thickness:	150μm +/- 30μm

JAsolar

Product Characteristics				
Model No.	M6SF-3 4.4	M6SF-3 4.45	M6SF-3 4.47	M6SF-3 4.4
Product Characteristics				
Cell Technology				Monocrystalline
Dimensions				156×156 mm
Cell Thickness				210 ± 30 μm

# Hvorfor så stor forskel?


epd-norge.no  
The Norwegian EPD Foundation

## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Owner of the declaration: Program operator: Publisher: Declaration number: Registration number: ECO Platform reference number: Issue date: Valid to:	NorSun AS The Norwegian EPD Foundation The Norwegian EPD Foundation NEPD-2651-1357-EN NEPD-2651-1357-EN - 03.02.2021 03.02.2026
---	--

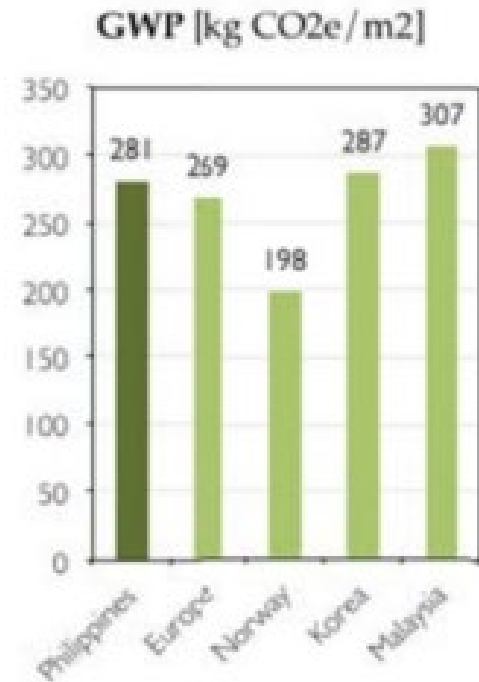
NorSun mono-crystalline silicon wafer

NorSun AS 

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)



Foto: Copyright NorSun



Intro

Vinduer

Isolering

Solceller

# Solcelle teknologi og klimabelastning

epd-norge.no  
The Norwegian EPD Foundation

## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

In accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Owner of the declaration: Program operator: Publisher: Declaration number: Registration number: ECO Platform reference number: Issue date: Valid to:	First Solar The Norwegian EPD Foundation The Norwegian EPD Foundation NEPD-2993-1671-EN NEPD-2993-1671-EN - 06.08.2021 06.08.2026
---	--

Series 6 Photovoltaic Module

First Solar



[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)



epd-norge.no  
The Norwegian EPD Foundation

## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

In accordance with ISO 14025 and EN 15804+A1

Owner of the declaration: Program operator: Publisher: Declaration and registration number: Issue date: Valid to:	SunPower The Norwegian EPD Foundation The Norwegian EPD Foundation NEPD-3087-1726-EN 09.09.2021 09.09.2026
--	---

MAXEON 3 MONO-CRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC MODULE

SunPower

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)

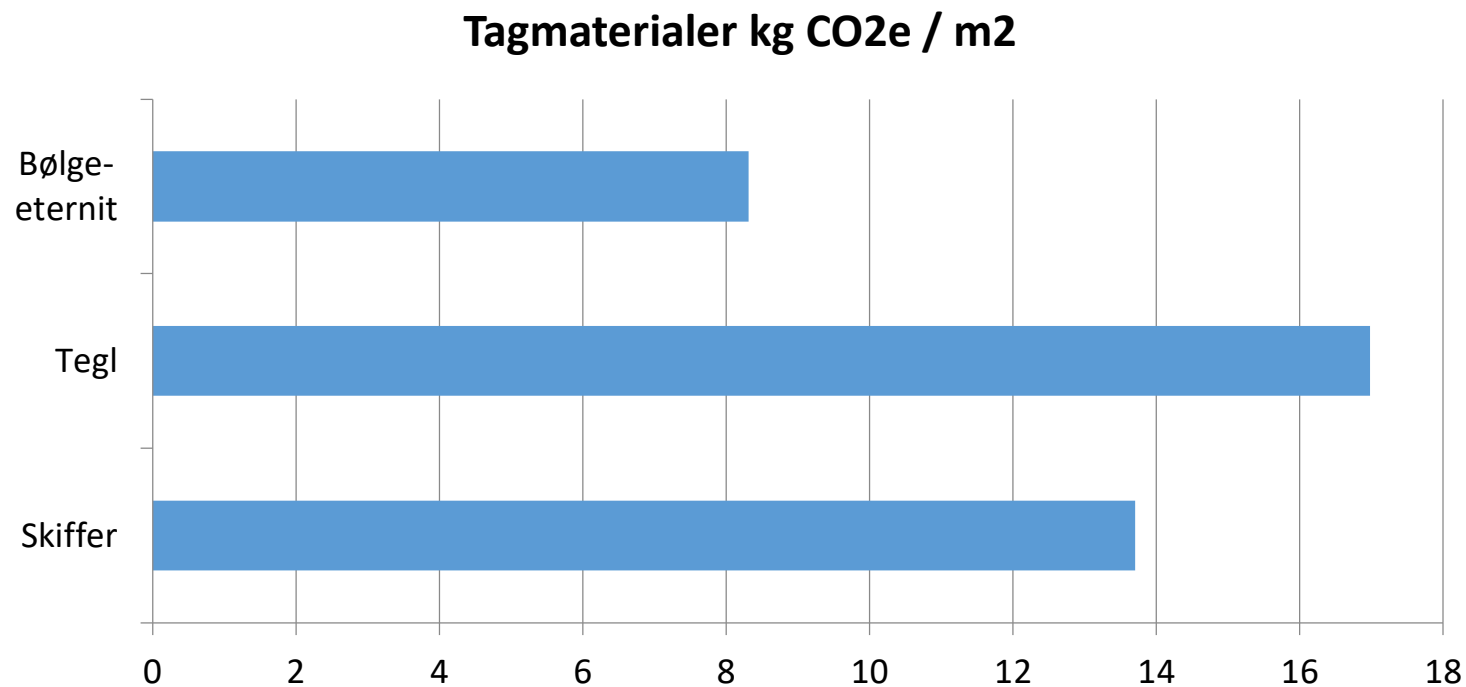


SUNPOWER

Generelt lavere CO<sub>2</sub> belastning for tyndfilm-moduler end for krystallinske moduler (dog med udtagelse af eksempelvis Sunpower)

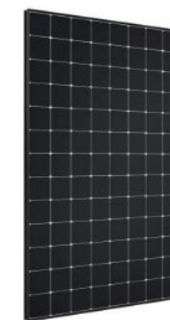
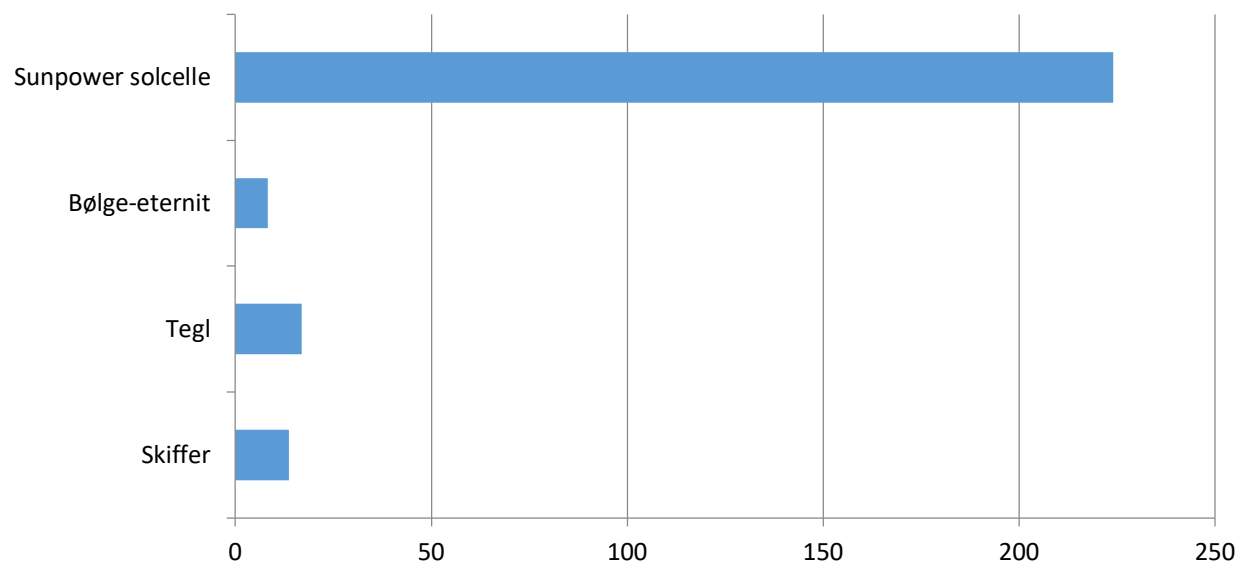
Generelt kortere klimamæssige tilbagebetalingstider for polykrystallinske moduler end monokrystallinske moduler!

# Solceller i stedet for tagmaterialer



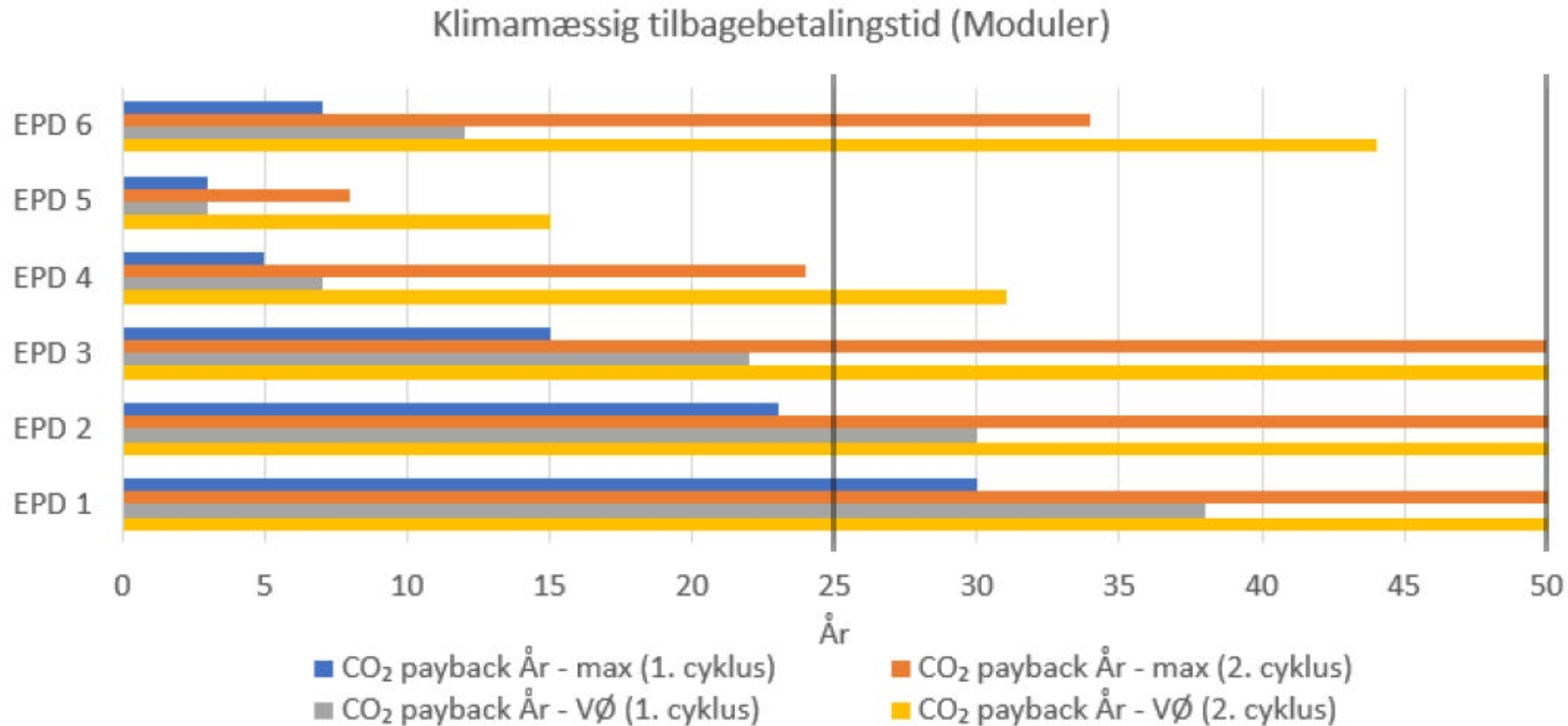
# Solceller i stedet for tagmaterialer

Tagmaterialer kg CO2e / m2





# Rentabilitet i 1. og 2. cyklus (Moduler)



## Første cyklus

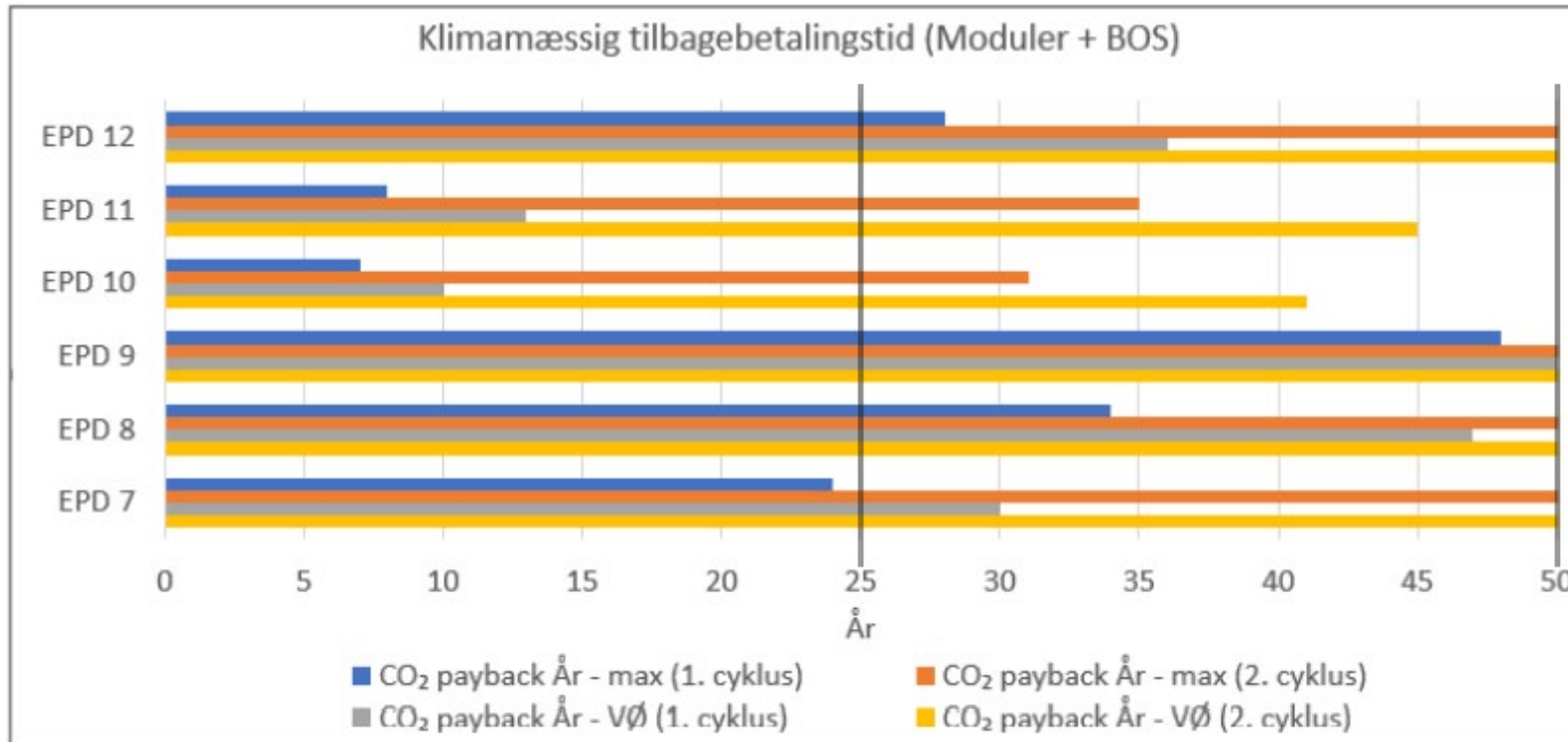
tilbagebetalingstid større eller mindre end 25 år?

## Anden cyklus

tilbagebetalingstid større eller mindre end 50 år?

Maksimal produktion eller vest-øst vendte solceller?

# Rentabilitet i 1. og 2. cyklus (Moduler+BOS)



**Figur 46** Klimamæssig tilbagebetalingstid for 1. og 2. cyklus for datasæt indeholdende solcellemoduler og BOS

Figuren viser den klimamæssige tilbagebetalingstid for 1. og 2. cyklus over 50 år.

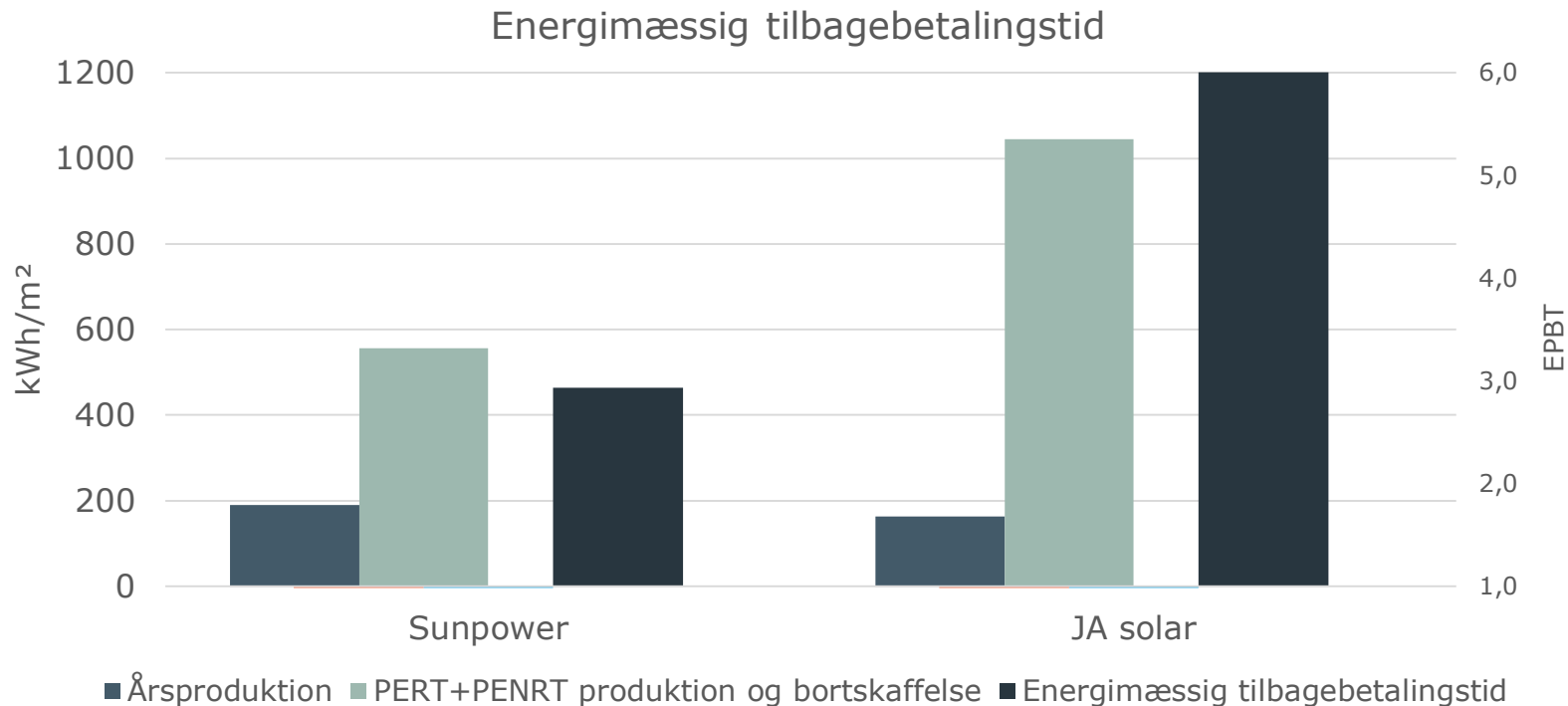
Data er for solcellemoduler og BOS (balance of system) der indeholder inverter, kabling og montagesystem

Første cyklus tilbagebetalingstid større eller mindre end 25 år?

Anden cyklus tilbagebetalingstid større eller mindre end 50 år?

Maksimal produktion eller vest-øst vendte solceller?

# Energimæssig tilbagebetalingstid (EPBT)



## Energimæssig tilbagebetalingstid

Den energimæssige tilbagebetalingstid tager udgangspunkt i en sammenligning af den forbrugt primær-energi til fremstilling og bortskaffelse sammenholdt med den producerede energi fra solcellen

Der er udarbejdet resultater for 2 moduler (JA solar og Sunpower)

Disse data er sammenholdt med studie fra Fraunhofer institut:

*L. Friedrich, S. Nold, A. Müller, J. Rentsch, R. Preu, Global Warming Potential and Energy-Payback Time Analysis of Photovoltaic Electricity by Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) Solar Modules, accepted for publication, to be published 2021*

# Konklusioner

- Langt fra alle solcelletyper kan betale sig rent klimamæssigt, når man betragter deres livscyklus over en 50-års periode og ud fra forudsætningerne der anvendes i bygningsLCAer
- Tyndfilmceller er generelt mere klimaeffektive end krystallinske celler
- Krystallinske celler har forbedret klimaeffektivitet, hvis de er produceret med grøn energi og er minimeret i tykkelse
- De typisk anvendte generiske miljødata er ikke repræsentative for danske forhold og informationerne er svære at gennemskue
- Der mangler miljøvaredeklarationer for de solceller, der anvendes i Danmark

# Konklusioner

# Konklusioner

- Det er klimamæssigt rentabelt at energirenovere
- Bygninger med højt energiforbrug kan opnår nettoreduktion af CO<sub>2</sub>-aftrykket hurtigt
- Klimaeffektivitet sikres / optimeres bedst gennem LCA, som vurderer materialer og energi samlet set
- Overvej en kombination af 2- og 3-lagsruder ved udskiftning
- Vælg solceller på baggrund af deres samlede klimaperformance, som medtager både materialer og strømproduktion



Arkitema ••

