

# CO<sub>2</sub>- und Energiebilanz des **flexE<sub>h</sub>ome** im Bau und Betrieb

Dr.-Ing. Alex Studniorz | Workshop und Einweihung | 13.Juli 2023

# Technische Universität Berlin in flexEhome



Hermann-Rietschel-Institut – Prof. Dr.-Ing. M. Kriegel  
Fachgebiet für Energie, Komfort und Gesundheit in Gebäuden



Stefan Brandt, Dr.-Ing.



Raik Fahrich, M.Sc.



M. Kriegel, Prof.

Fachgebiet Energietechnik und Umweltschutz – Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G. Tsatsaronis



Alex Studniorz, Dr.-Ing.



Hannes Cramer, M.Sc.



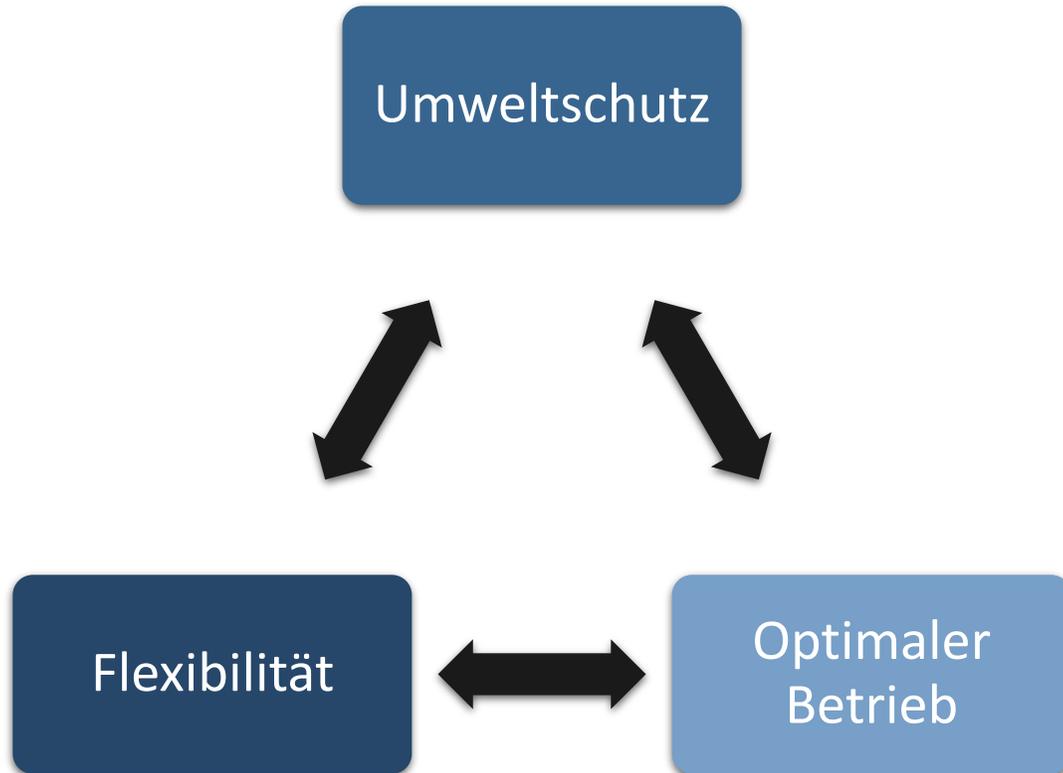
G. Tsatsaronis, Prof.





- Konzeption thermische Gebäudehülle
- Konzeption Wärmeversorgung
- Thermische Gebäudesimulation
- Abwärmenutzung mit picea
- Mitwirkung bei Energie-Monitoring und Auswertung

# Forschungsarbeit ETUS

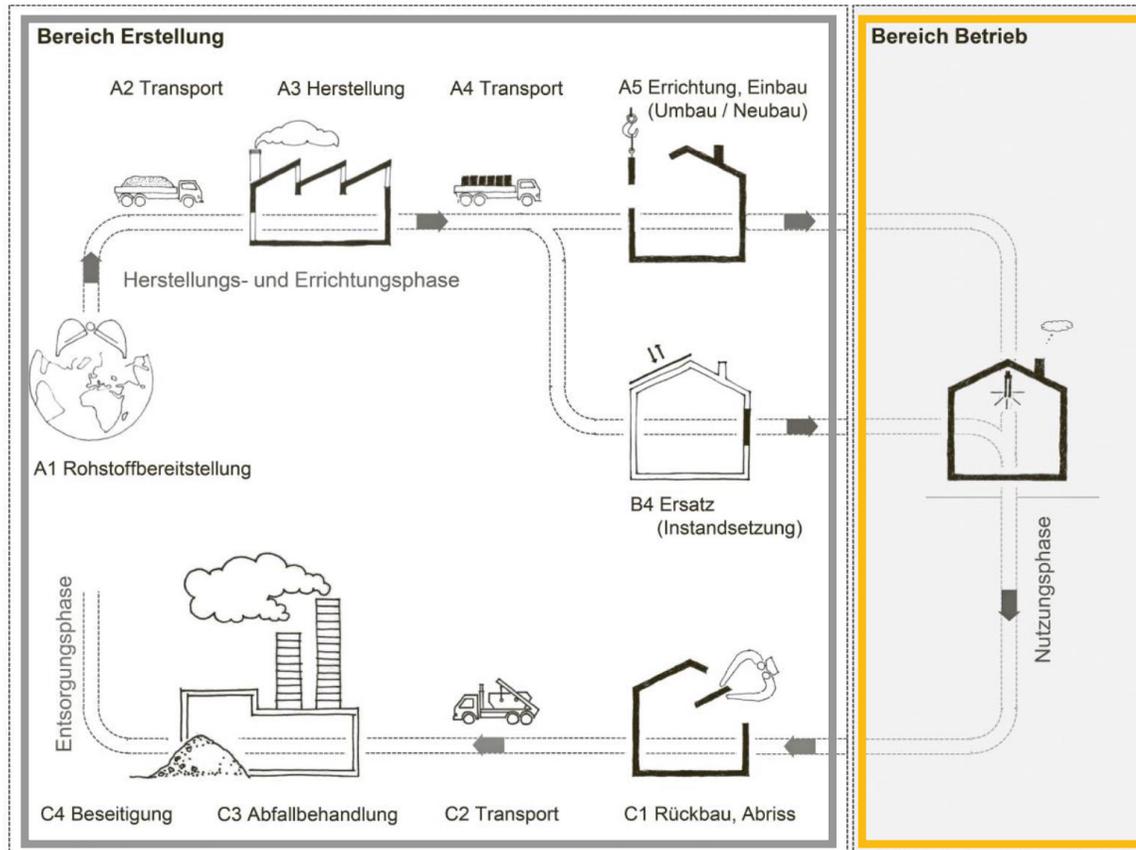


- Exergiebasierte Methoden
- Mathematische Optimierung von Design und Betrieb von Energiesystemen

In **flexE<sub>h</sub>ome**

- CO<sub>2</sub>-Bilanzierung über Lebenszyklusanalyse
- Entwicklung Modellprädiktive Regelung
- Potenzial für Stromnetz-Flexibilitäten

# Was ist Lebenszyklusanalyse? Was ist Global Warming Potential?



## Bereich Erstellung – Graue Emission

Errichtung (inkl. Ersatz)  
Rückbau und Entsorgung

## Bereich Betrieb

Gesamter Strom- und Heizwärmebedarf

## Ergebnis

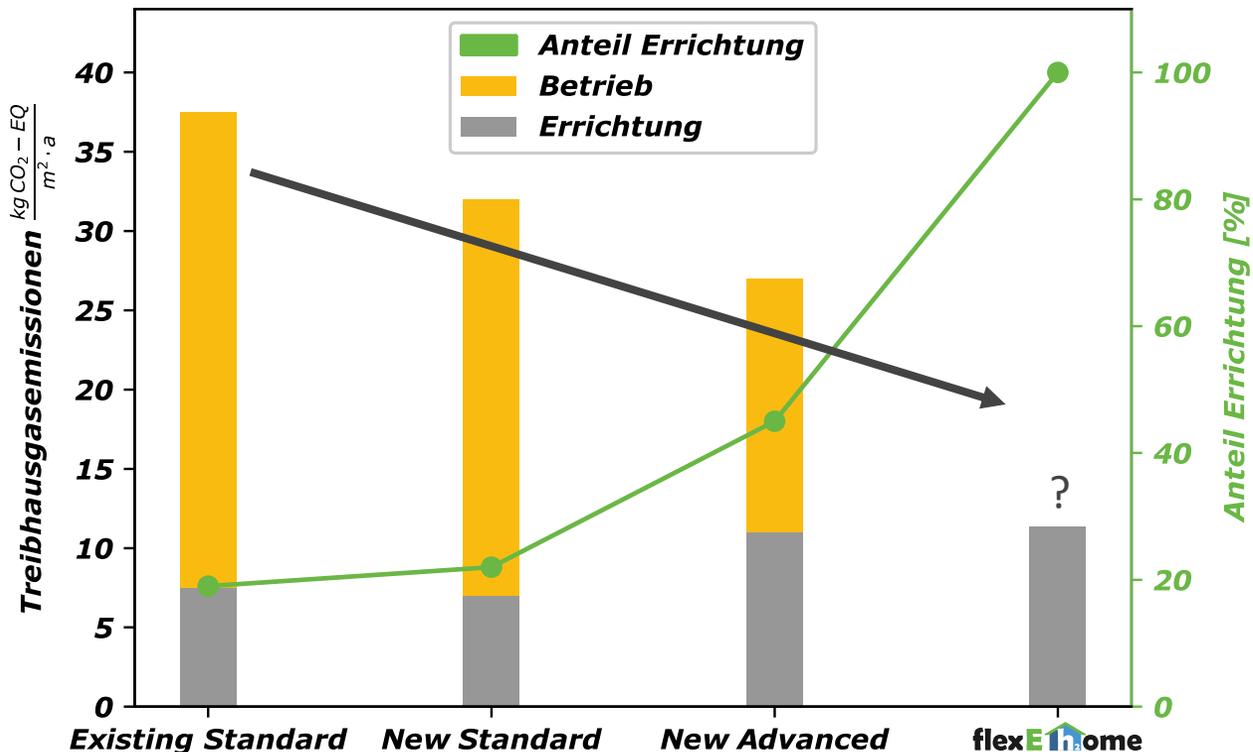
Global Warming Potential (GWP) ist  
Umweltauswirkung in **kg CO<sub>2</sub>-Equivalenten**

## Aussagekräftiger:

GWP bezogen auf m<sup>2</sup> und 50a

 Schweizer Ingenieur und Architektenverein: Merkblatt SIA 2032 Graue Energie von Gebäuden, 2020<sup>1</sup>

# Lebenszyklusanalyse Trends im Gebäudebestand und bei Neubauten



## Klimaneutraler Gebäudebestand

- CO<sub>2</sub> Emissionen von Gebäuden sinken
- Anteil Errichtung (Graue Emission) steigt

## flexEhome Fakten

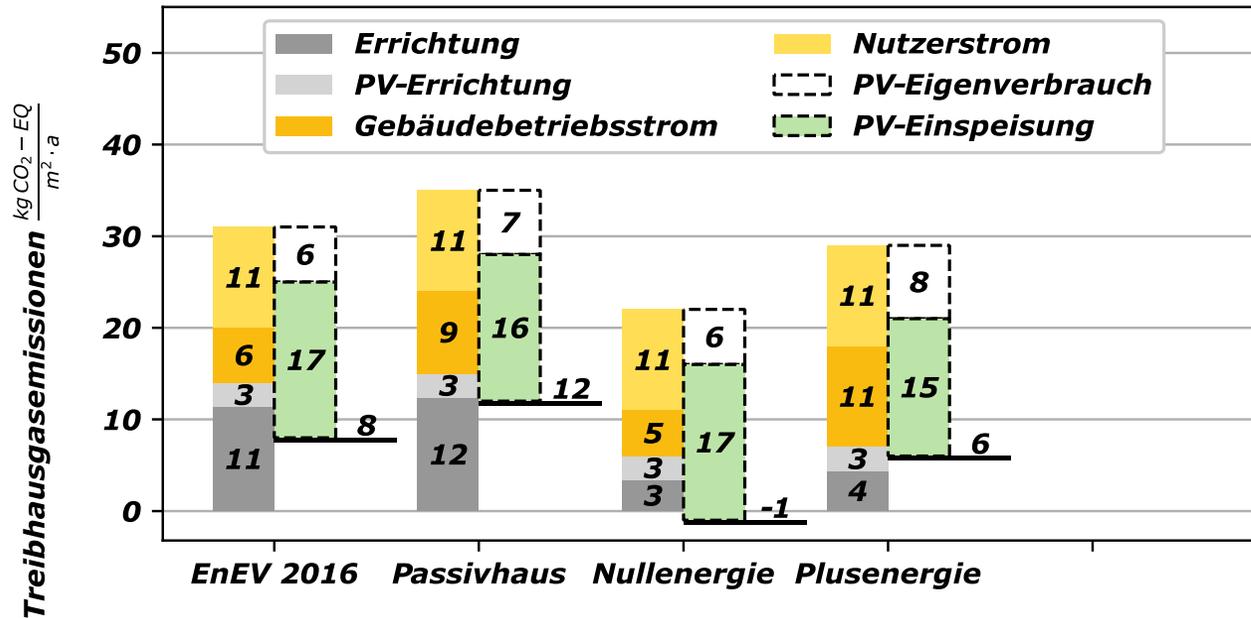
- Keine CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb
- 100 % Anteil Errichtung

## flexEhome Fragen

- Wie hoch sind die Grauen Emissionen?
- Ist das flexEhome ökologischer als andere Einfamilienhäuser?
- Ist es vielleicht sogar „klimaneutral“?

 Röck, M., et. al.: Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation, 2020<sup>1</sup>, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>; eigene Berechnungen

# Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 und „Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Gebäude“



**Deutsche Gebäudestandards**  
0-12 kg CO<sub>2</sub>-EQ/(m<sup>2</sup> WFL·a)

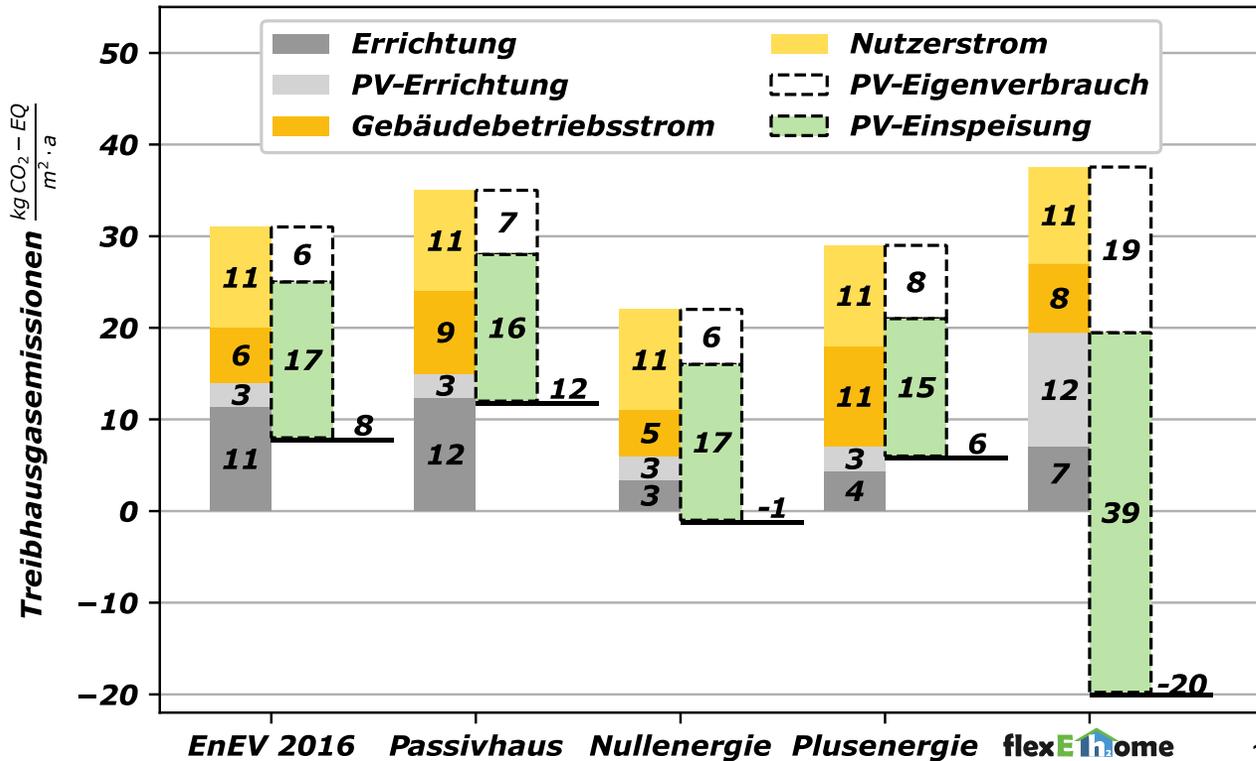
## Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Gebäude

sind „klimaneutral“ bis „klimapositiv“ durch PV-Stromeinspeisung im Betrieb

1

Mahler, B. et al.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Umweltbundesamt, 2019<sup>1</sup>

# Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 und „Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Gebäude“



## Deutsche Gebäudestandards

0-12 kg CO<sub>2</sub>-EQ/(m<sup>2</sup> WFL·a)

## Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Gebäude

sind „klimaneutral“ bis „klimapositiv“ durch PV-Stromeinspeisung im Betrieb

Bisher nicht korrekt bilanzierbar

## Bedarf für

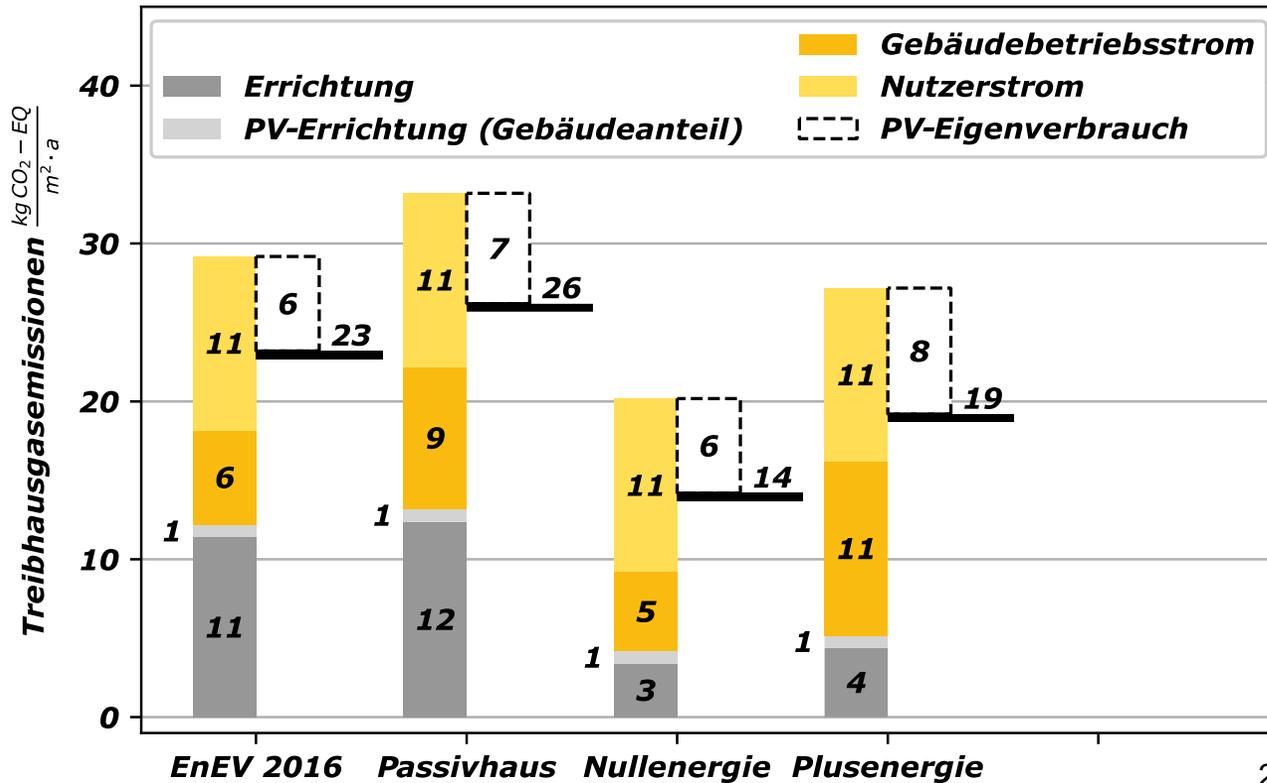
Neue Ökobilanzmethode:

**Potentiell vermiedenes CO<sub>2</sub> ≠ Negatives CO<sub>2</sub>**

CO<sub>2</sub>-Richtwert „klimaneutraler“ Gebäude

Mahler, B. et al.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Umweltbundesamt, 2019<sup>1</sup>; eigene Berechnungen

# Lebenszyklusanalyse nach Bilanzverfahren Qualität Nachhaltiger Gebäude (QNG)



## Deutsche Gebäudestandards nach QNG<sup>1</sup>

Realistische Umweltauswirkung der PV  
Aufteilung der Grauen Emissionen PV  
nach Gebäudeanteil und Netzeinspeisung

## Ergebnis

Kein Netto-Null-Gebäude mehr  
Netto-Emissionen steigen an

## Fragen

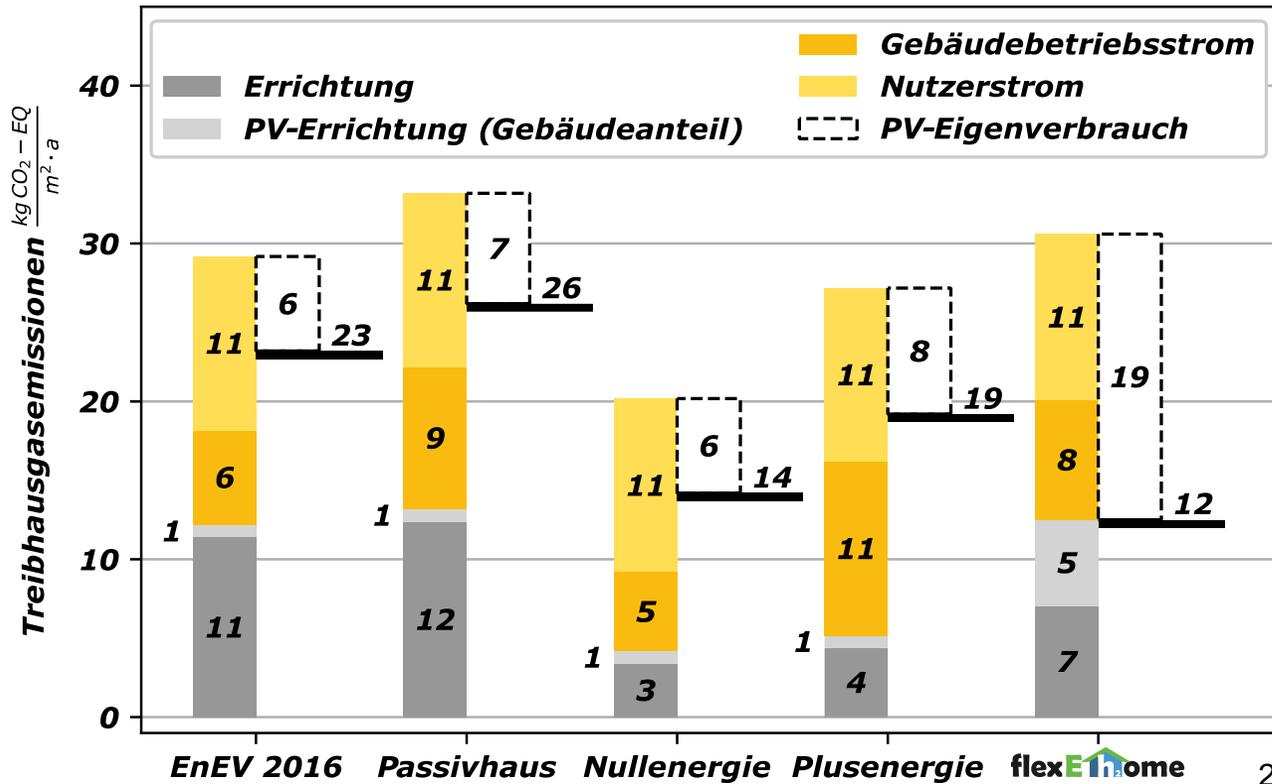
Wie hoch liegt das GWP des **flexE<sub>h</sub>ome**?

- Gebäudehülle
- Systemtechnik
- Photovoltaik

**QNG**, Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude, Stand 01.03.2023<sup>1</sup>

Mahler, B. et al.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Umweltbundesamt, 2019<sup>2</sup>; eigene Berechnungen

# Lebenszyklusanalyse nach Bilanzverfahren Qualität Nachhaltiger Gebäude (QNG)



## Deutsche Gebäudestandards nach QNG<sup>1</sup>

Realistische Umweltauswirkung der PV  
Aufteilung der Grauen Emissionen PV  
nach Gebäudeanteil und Netzeinspeisung

### Ergebnis

Kein Netto-Null-Gebäude mehr  
Netto-Emissionen steigen an  
**flexEhome** hat geringste Umweltauswirkung

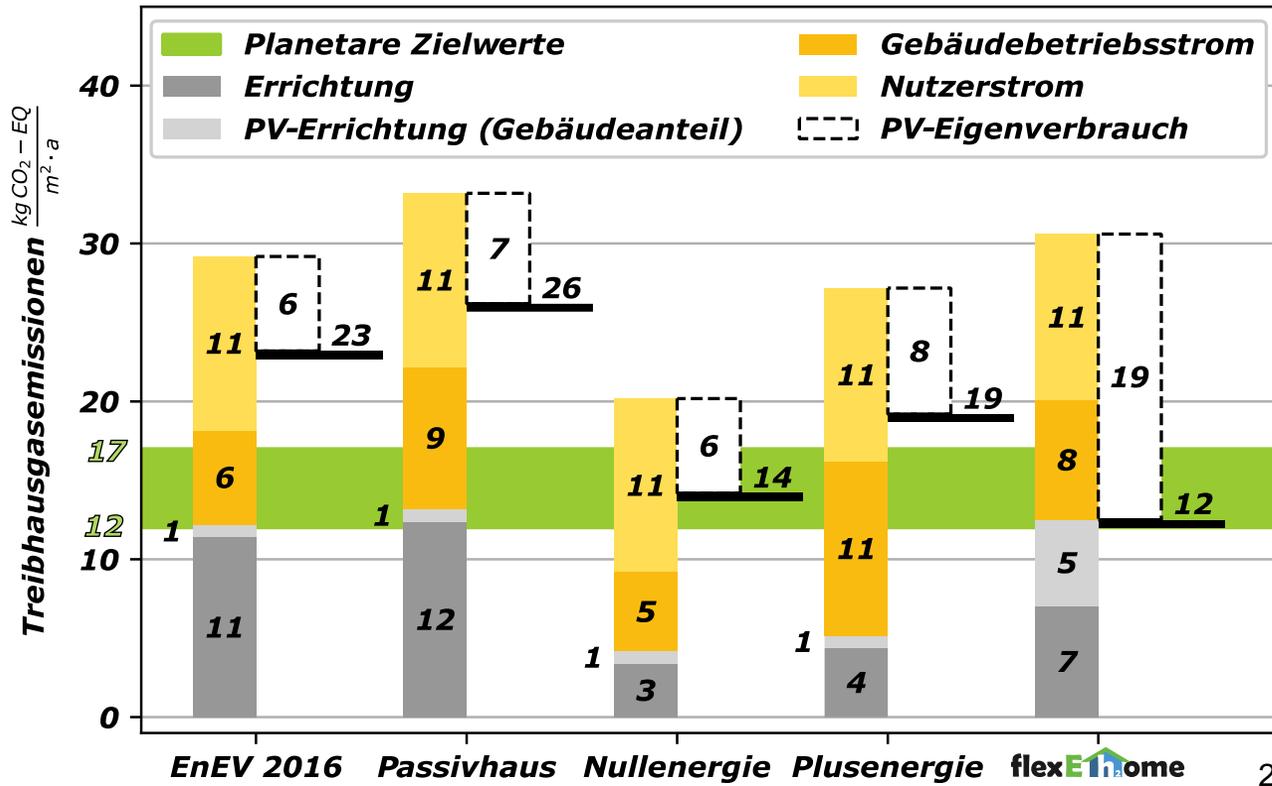
### Fragen

Werden die Planetaren Zielwerte  
Klimaneutraler Gebäude erreicht?

<sup>1</sup> QNG, Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude, Stand 01.03.2023<sup>1</sup>

<sup>2</sup> Mahler, B. et al.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Umweltbundesamt, 2019<sup>2</sup>; eigene Berechnungen

# Lebenszyklusanalyse nach Bilanzverfahren Qualität Nachhaltiger Gebäude (QNG)



## Deutsche Gebäudestandards nach QNG<sup>1</sup>

Realistische Umweltauswirkung der PV  
Aufteilung der Grauen Emissionen PV  
nach Gebäudeanteil und Netzeinspeisung

## Ergebnis

Kein Netto-Null-Gebäude mehr  
Netto-Emissionen steigen an

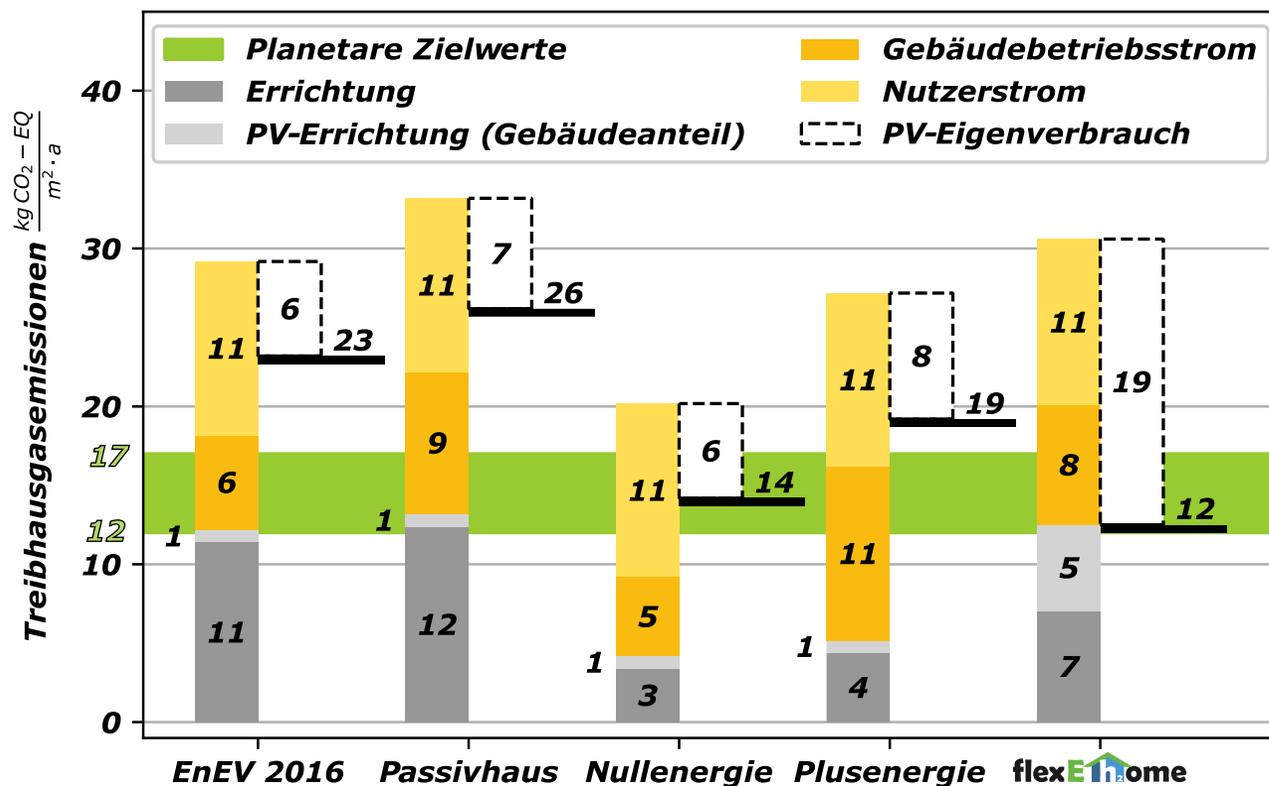
**flexEhome** hat geringste Umweltauswirkung  
2°C-Ziel → 12 – 17 kgCO<sub>2</sub>-EQ./(m<sup>2</sup> Wfl.·a)<sup>3</sup>

<sup>1</sup> QNG, Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude, Stand 01.03.2023<sup>1</sup>

<sup>2</sup> Mahler, B. et al.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Umweltbundesamt, 2019<sup>2</sup>; eigene Berechnungen

<sup>3</sup> Mahler, B. et al.: Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung, Zukunft Bau, 2019<sup>3</sup>

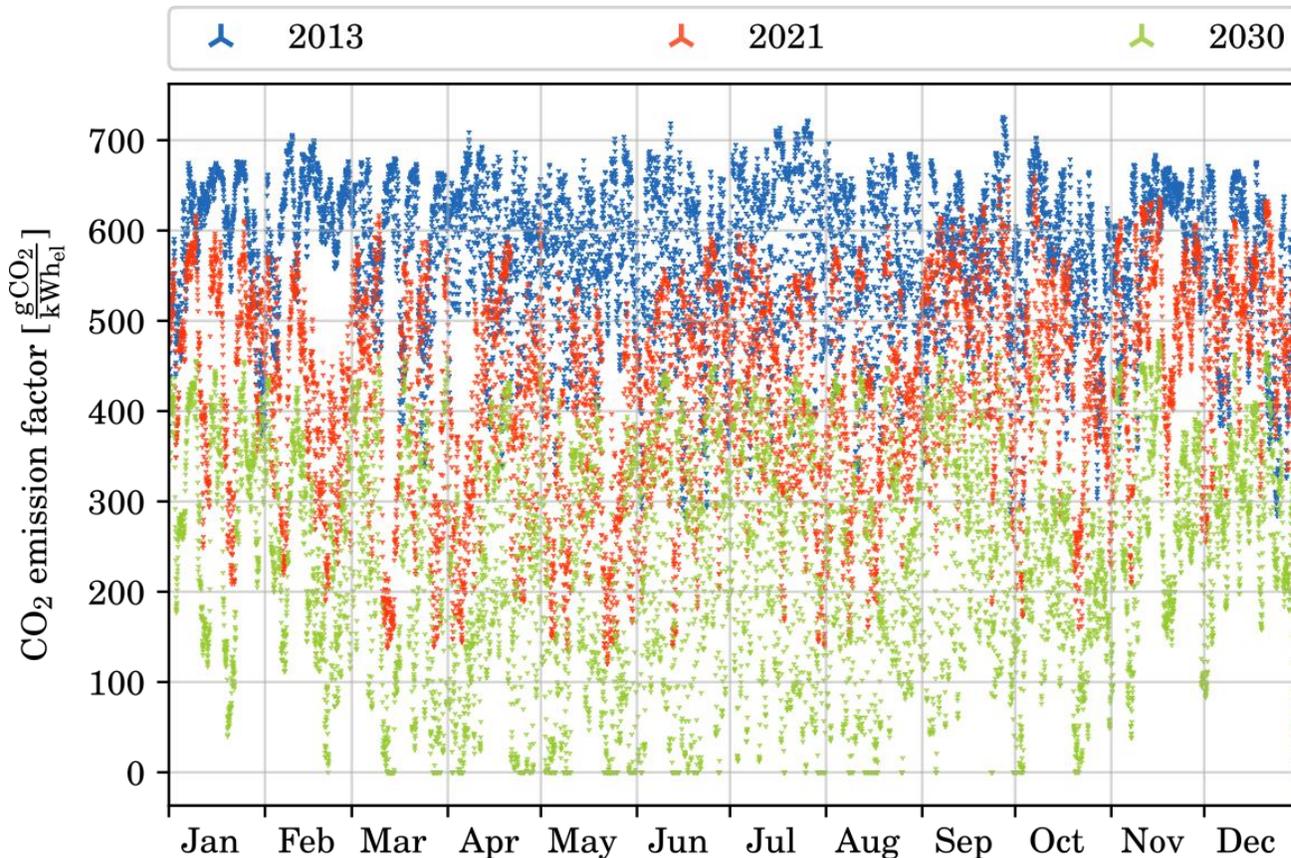
# Zusammenfassung Lebenszyklusanalyse



- Neue Ökobilanzverfahren müssen angewendet werden (QNG, [Annex 72](#))
- Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Gebäude sind nach QNG kaum erreichbar
- **flexEhome** erfüllt die Vorgaben Klimaneutraler Gebäude 2050
- Saisonale H<sub>2</sub>-Speicherung ist bereits auf kleinster Systemgröße (Einfamilienhaus) ökologisch sinnvoll

# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse

## CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms



### In DGNB und QNG

Konstante und gleiche CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Stromimport und –export

### Deutscher Strommix

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor ist instationär, zeitlich variabel

### Untersuchung durch dynamische Simulation

- Minütliche Strombezugs- und Einspeisezeitreihen
- EFH mit PV, Wärmepumpe und Batterie
- EFH mit PV, Wärmepumpe ohne Batterie

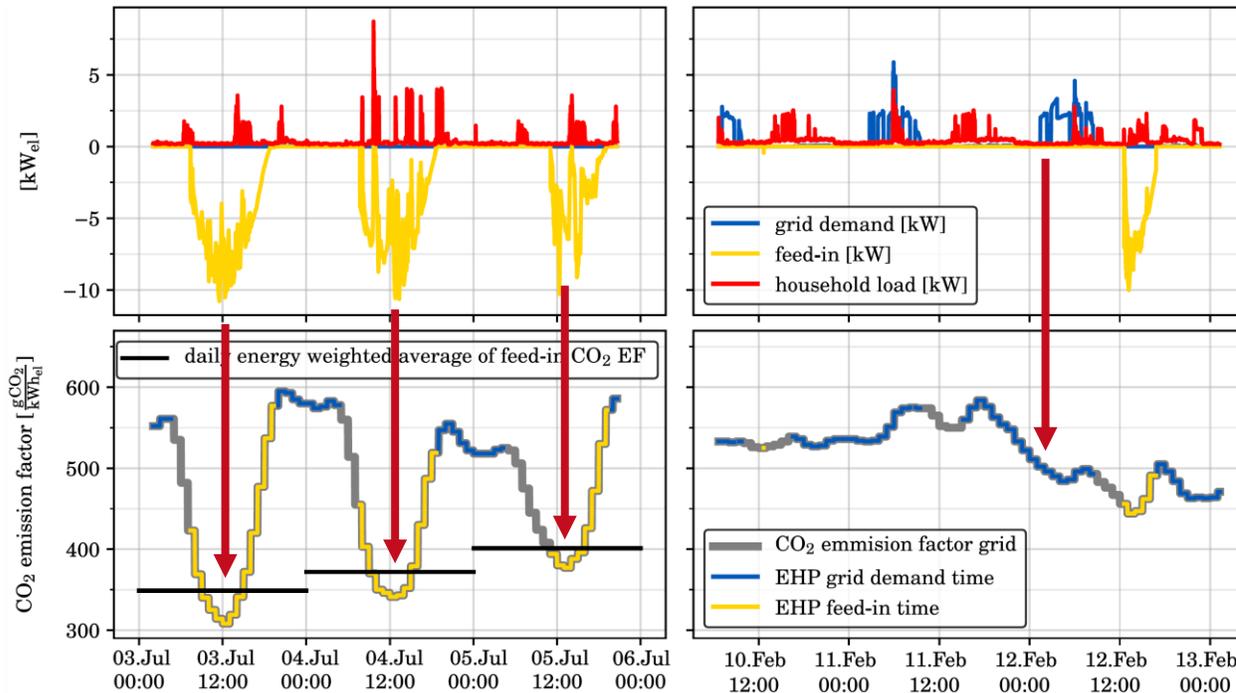
# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse

## CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms



Sommer

Winter



### Untersuchung durch dynamische Simulation

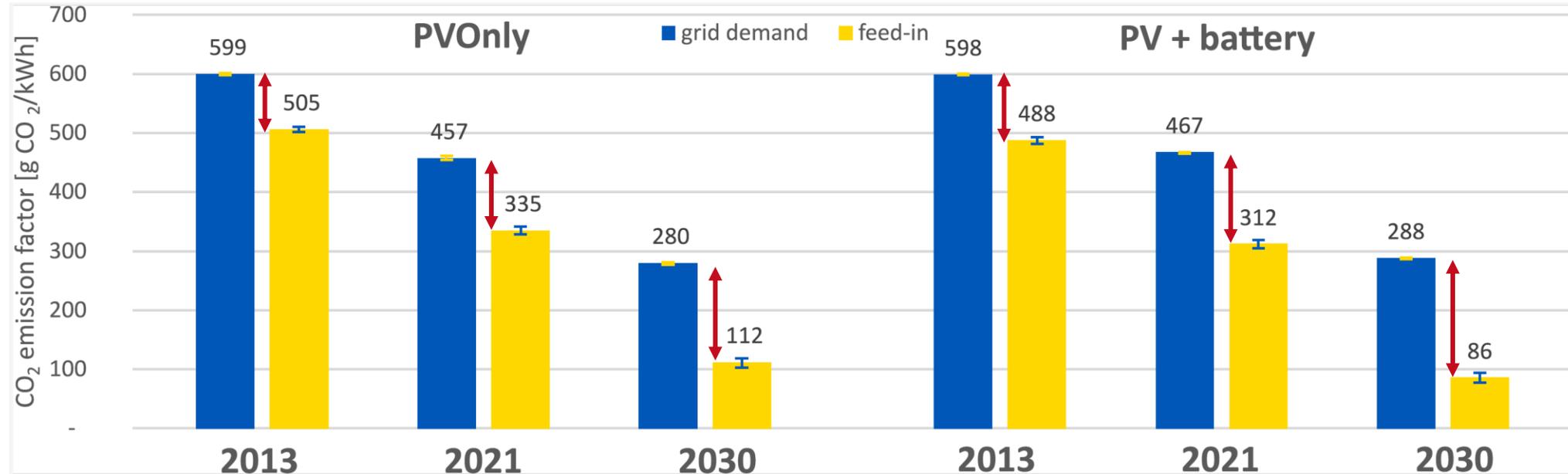
Ganzjahressimulation von Einfamilienhaus mit PV, Wärmepumpe und Batterie  
 mit PV, Wärmepumpe ohne Batterie  
 Minütliche Strombezugs- und Einspeisezeitreihen

Zeitliche Kopplung mit CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren  
 Berechnung gewichteter CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Strombezug und -einspeisung



 Studniorz, A. et. al.: Plus minus zero: carbon dioxide emissions of plus energy buildings in operation under consideration of hourly German carbon dioxide emission factors for past, present and future, IOP, 2022<sup>1</sup> [DOI:10.1088/1755-1315/1078/1/012048](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012048)

# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms

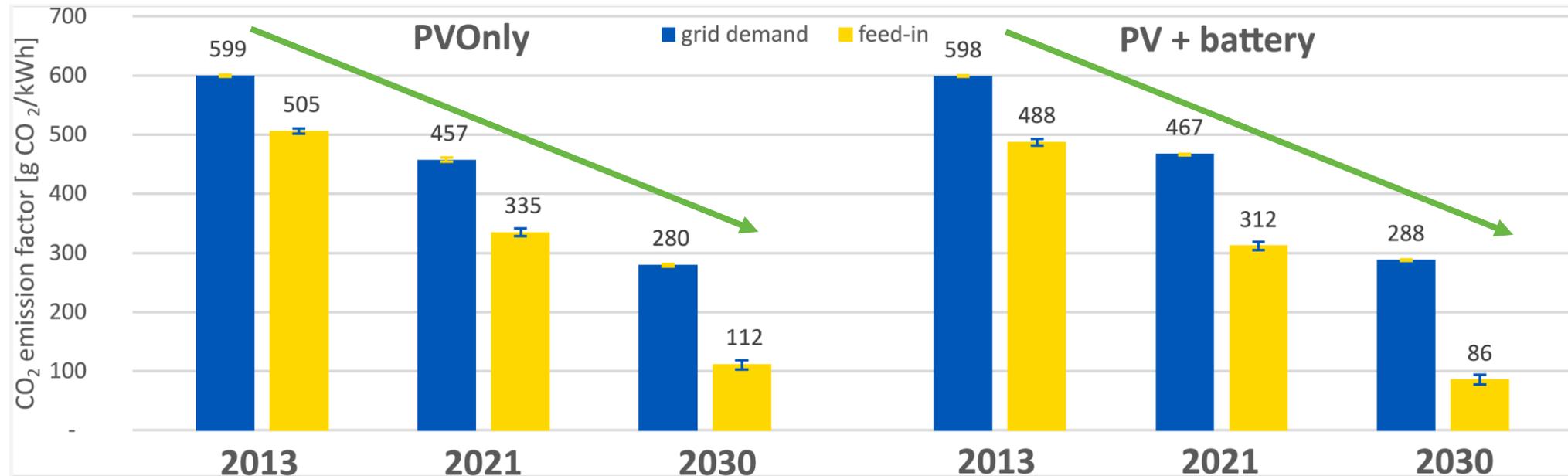


## Ergebnis Jahreswerte

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor Strombezug > CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor Stromeinspeisung



# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms

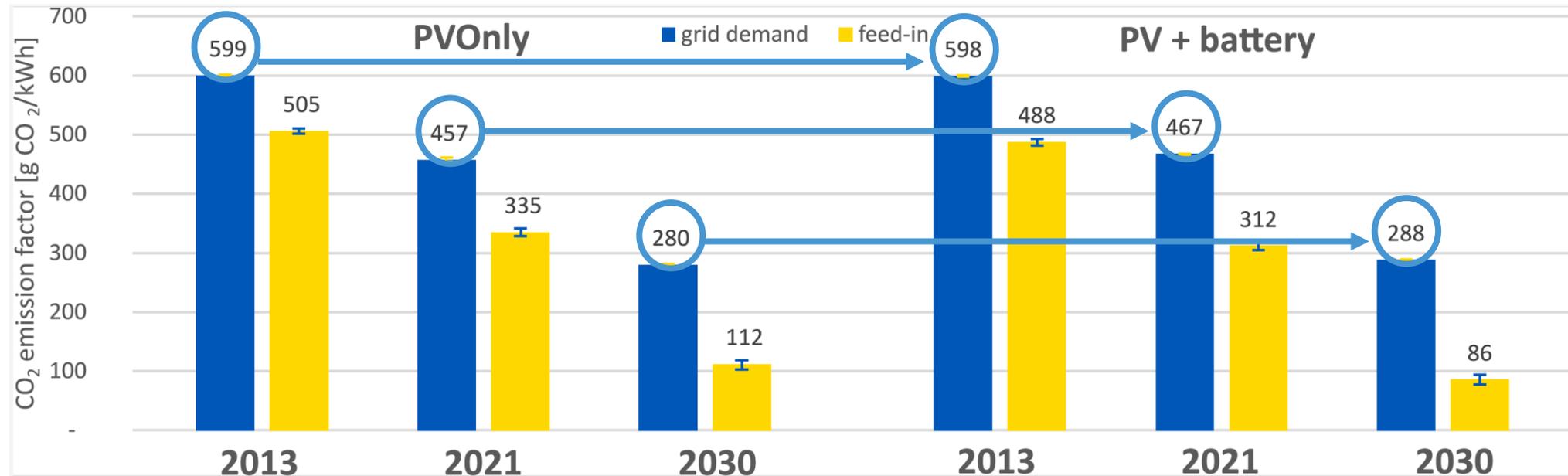


## Ergebnis Jahreswerte

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren sinken bis 2030



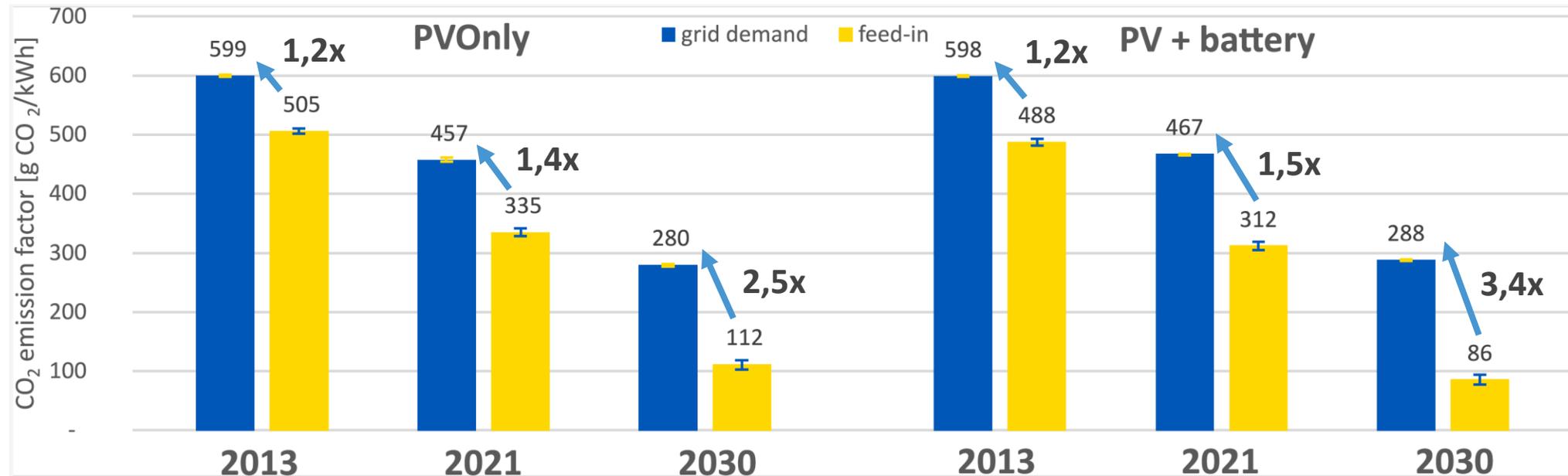
# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms



## Ergebnis Jahreswerte

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor Strombezug beinahe unabhängig vom Vorhandensein einer Batterie

# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms

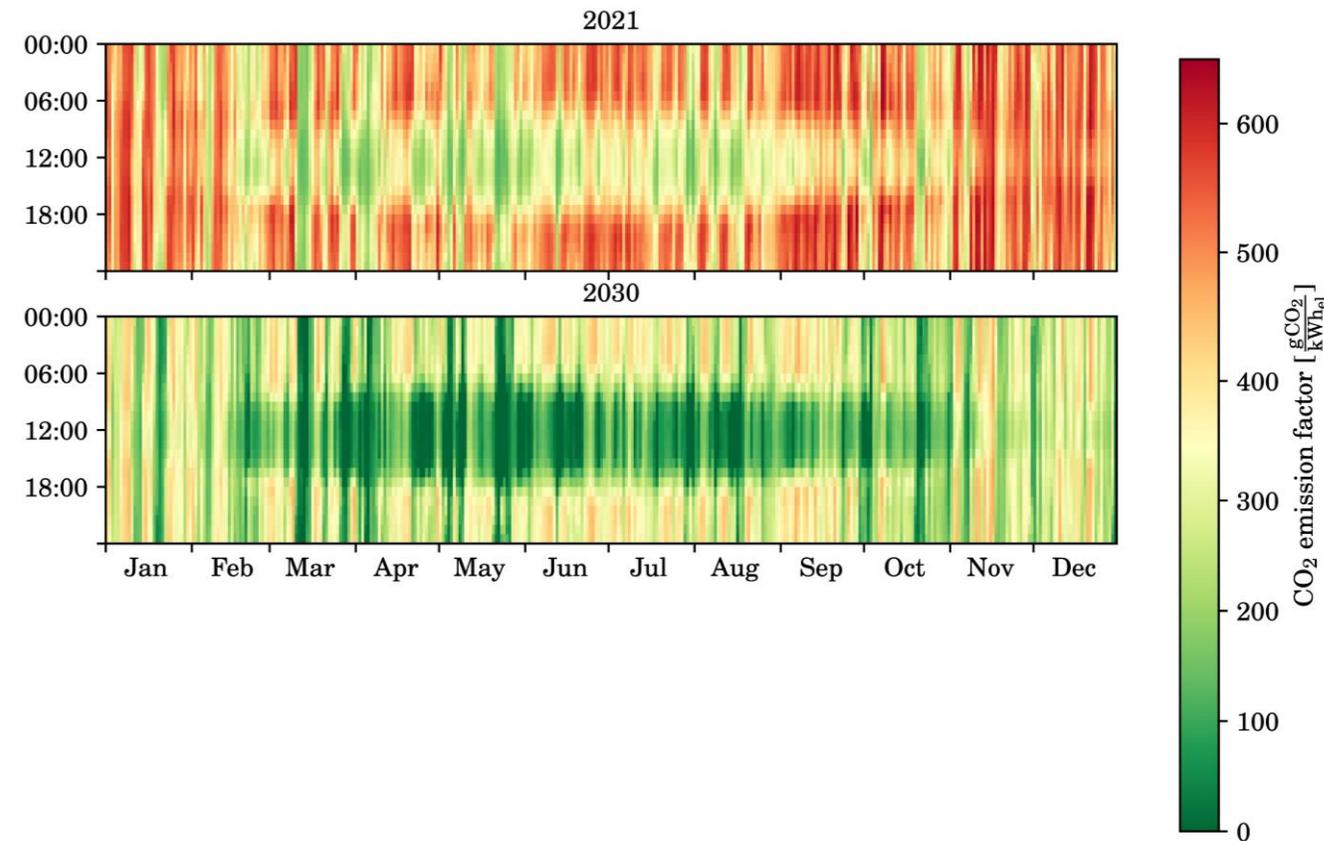


## Ergebnis Jahreswerte

Differenz der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von Bezug und Einspeisung nimmt bis 2030 zu

# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse

## CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms



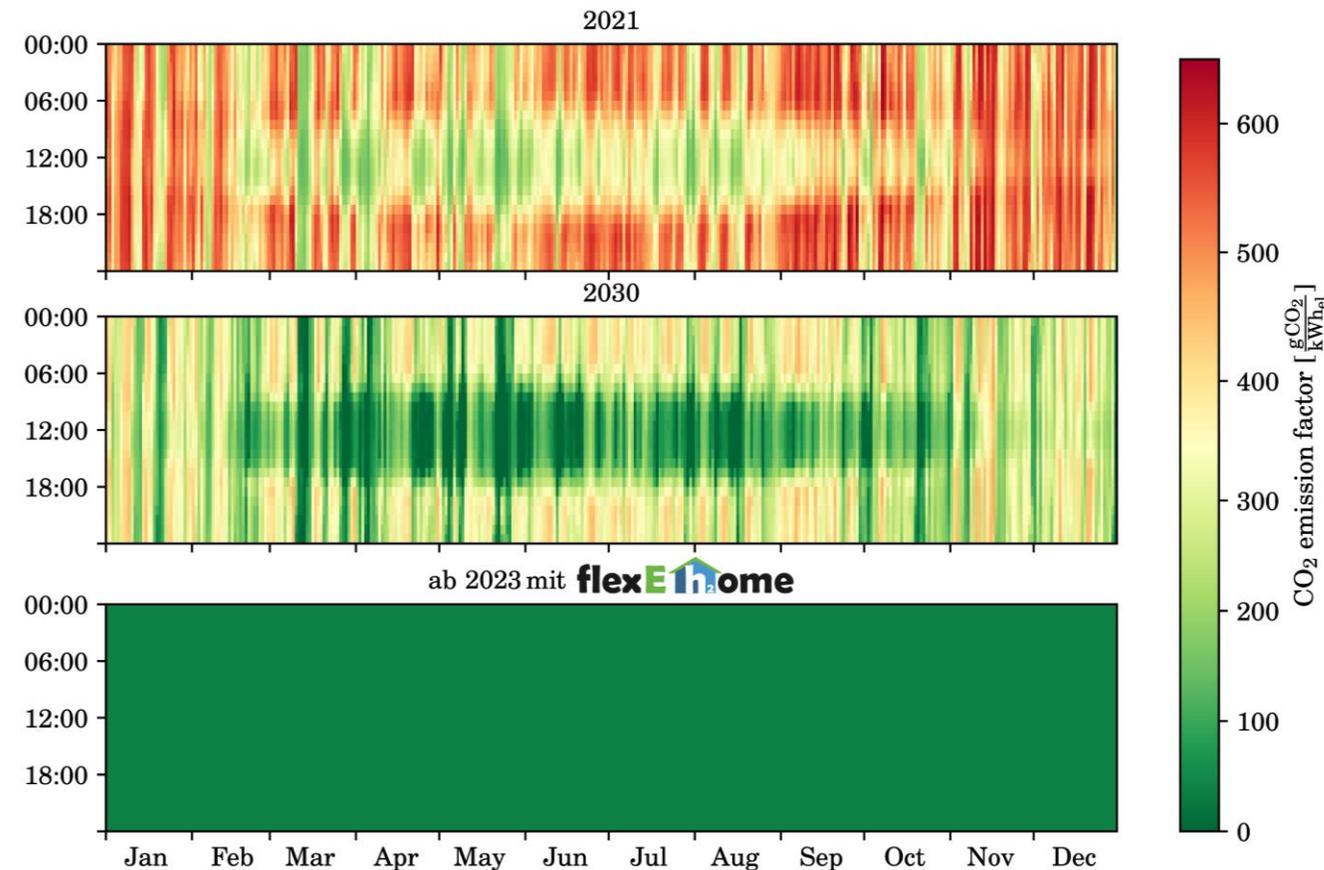
### Erkenntnisse

Zeitliches Strombezugsprofils hat signifikanten Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Intensität der Strom- und Wärmeversorgung mit Wärmepumpe

Der Strommix ist in 2030 zeitweise bereits weitgehend dekarbonisiert. Dennoch verbleibt eine überdurchschnittliche hohe CO<sub>2</sub>-Intensität für den Strombezug der untersuchten Einfamilienhäuser.

# Exkurs importierter Netzstrom in der Lebenszyklusanalyse

## CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Netzstroms



### Erkenntnisse

Zeitliches Strombezugsprofils hat signifikanten Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Intensität der Strom- und Wärmeversorgung mit Wärmepumpe

Der Strommix ist in 2030 zeitweise bereits weitgehend dekarbonisiert. Dennoch verbleibt eine überdurchschnittliche hohe CO<sub>2</sub>-Intensität für den Strombezug der untersuchten Einfamilienhäuser.

**Nur saisonale Speicherfähigkeit** garantiert derzeit ganzjährig niedrige CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren mit **Wärmepumpen als Schlüssel zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung**

# Vielen Dank! Ihre Fragen!

