



# Klimafreundliche Wohnbauten

Erprobung und Weiterentwicklung von Grundlagen der Ökobilanzierung

# Autoren

**Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf**

Bau-, Energie- und Umweltberatung Weimar (BEU)  
„Methodische Fragen“

**Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger**

**Prof. Dr. Ing. Anton Maas**

**Dr.-Ing. Mario Vukadinovic**

**Dr. Kirsten Höttges**

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH (IBH)  
„LCA – Betriebs-/nutzungsbedingt“

**Dipl. Ing Holger König**

Ascona – Gesellschaft für ökologische Projekte (Asc)  
„LCA – Gebäudebezogen“

**Dipl.-Ing. Georg Lange**

**M.Sc. Frederic Dorff**

Bundesverband Deutscher Fertigbau (BDF)  
„Projektleitung“

# Agenda

- Einleitung
- Methodische Fragen
- Stand der LCA-Bilanzierungsergebnisse
- Klimadaten und 18599 Berechnungen
- Ausblick

# Eckdaten zum Forschungsprojekt



Titel

**Klimafreundliche Wohnbauten**



Zeitraum

**Januar 2023 – Februar 2024**



Forschungskategorie

**Grundlagenforschung**



Fördersumme

**491.557,67 €**



Fördergeber

**Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumentwicklung (BBSR)**



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

**ZUKUNFT BAU**  
FÖRDERN FORSCHEN ENTWICKELN



**BBSR**

# Forschungsgruppe „Klimafreundliche Wohnbauten“



**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Thomas Lützkendorf**  
Bau-, Energie- und  
Umweltberatung Weimar (BEU)  
„Methodische Fragen“



**Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger, Prof. Dr. Ing. Anton Maas  
Dr.-Ing. Mario Vukadinovic und Dr. Kirsten Höttges**  
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH (IBH)  
„LCA – Betriebs-/nutzungsbedingt“



**Dipl. Ing Holger König**  
Ascona – Gesellschaft für  
ökologische Projekte (Asc)  
„LCA – Gebäudebezogen“



**Dipl.-Ing. Georg Lange und M.Sc. Frederic Dorff**  
Bundesverband Deutscher Fertigbau (BDF)  
„Projektleitung“



# Projektziele



Prüfung und **Weiterentwicklung** von Rechen- und **Bilanzierungsregeln** für die Ökobilanzierung von Wohnbauten



**Prüfung** der praktischen **Erreichbarkeit** von aktuellen Anforderungswerten (QNG)



Beantwortung von **methodischen Fragen** der Ökobilanzierung, u.a. zu

- a) Auswahl von Bezugsgrößen
- b) Trends beim Nutzerstrom inkl. Smart building
- c) Umgang mit GWP fossil und GWP biogenic



Entwicklung von **Handlungsempfehlungen** für künftige Anforderungen zur Begrenzung Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus neu zu errichtender Wohnbauten



Förderung des Austauschs von **Informationen** entlang der **Wertschöpfungskette Bau**

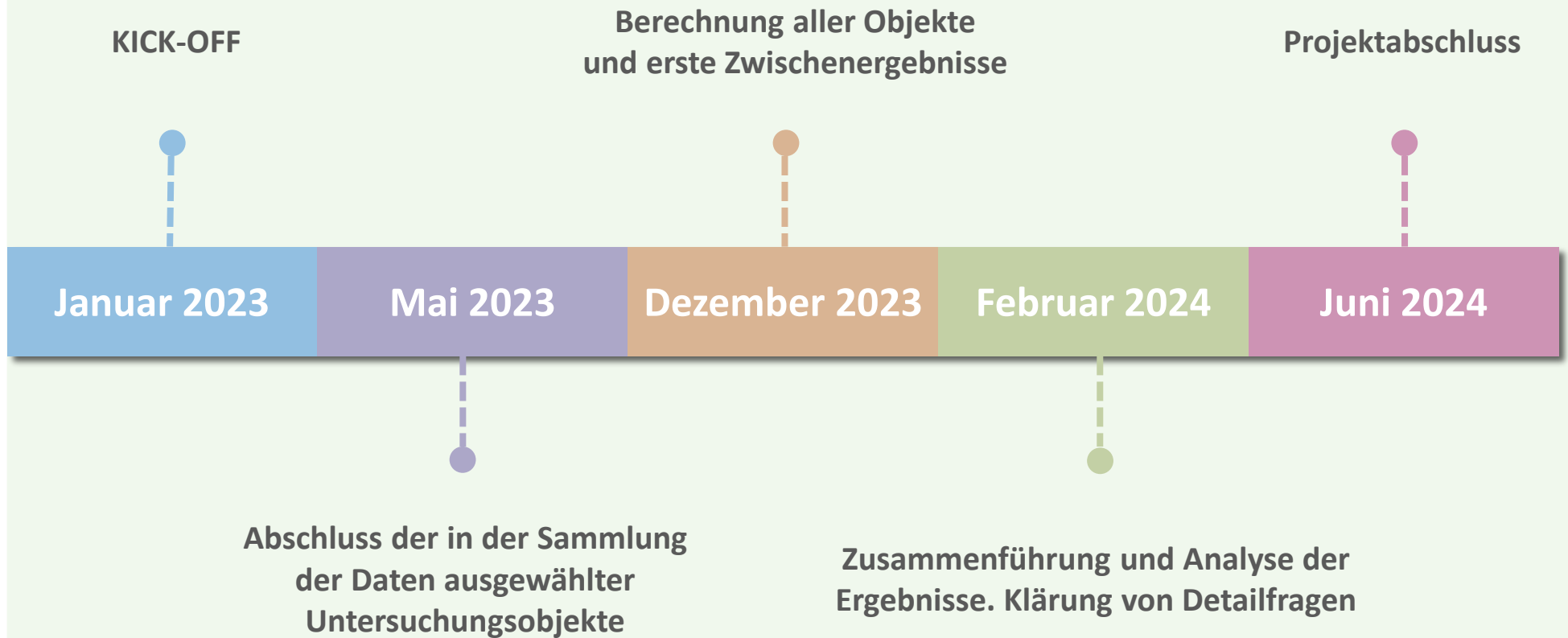
# Forschungsfragen I

- 1 Lassen sich die aktuellen Anforderungsniveaus des QNG zur Begrenzung der THG-Emissionen im Lebenszyklus **in der Planungs- und Baupraxis erreichen?**
- 2 Führen die lokalen **Folgen des Klimawandels** zu einem Anpassungsbedarf bei Berechnungsgrundlagen und künftigen Anforderungswerten?
- 3 Ist bei vorgefertigten Gebäuden mit von Anfang an bekannten Lieferketten ein **Übergang von durchschnittlichen zu hersteller- und produktspezifischen Ökobilanzdaten** zu Bauprodukten aller Art möglich und sinnvoll? In welcher Größenordnung liegen die Unterschiede von hersteller- und produktspezifischen Daten zu generischen bzw. durchschnittlichen Werten?
- 4 Ergeben sich bei der Nutzung von **Daten der ÖKOBAUDAT 2020-II, der ÖKOBAUDAT 2021-II, der Rechenwertetabelle Ökobilanzierung 2023 bzw. noch aktuellerer**, vom BBSR zur Verfügung gestellter Datengrundlagen relevante Unterschiede und damit Konsequenzen für künftige Anforderungswerte?

# Forschungsfragen II

- 5 Wie lässt sich der **biogene Kohlenstoffgehalt** bei Gebäuden ermitteln und interpretieren?
- 6 Welche Erkenntnisse lassen sich aus einer **gesonderten Betrachtung von GWPfossil und GWPbiogenic** gewinnen, soweit dafür geeignete Daten vorliegen?
- 7 Wie hoch ist der **Erstaufwand (upfront)** an Primärenergie, nicht erneuerbar und resultierenden Treibhausgasemissionen? Eignet sich diese Teilgröße für die Formulierung von **Nebenanforderungen**?  
Was wäre dabei zu beachten?
- 8 Wie wirkt sich die **Wahl von Bezugsflächen aus**? Welchen Einfluss hat das **Vorhandensein von Kellern** aus?
- 9 Was sind die Auswirkungen einer gebäudeintegrierten Gewinnung und Nutzung erneuerbarer Energie? Wie ist mit exportierter Energie und wie mit der **anteiligen Zuordnung von grauen Emissionen der BIPV-Systeme** zum Gebäude umzugehen?

# Zeitplan



# Untersuchungsobjekte

Gebäudetypologie und Typvertreter



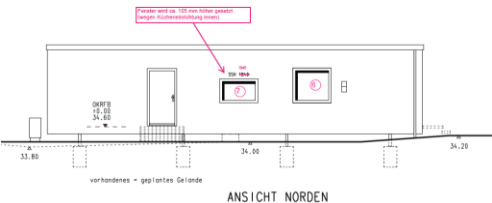
# Gebäudetypologie – Bandbreite von Größen und Bauweisen

Gebäudetyp/ Bauweise	Einfamilienhaus (EFH)	Zweifamilienhaus (ZFH)	Doppelhaushälfte (DHH)	MFH-Klein (< 4 WE)	MFH-Mittel (< 4 X < 6 WE)	MFH-Groß (>6 WE)	Wohnähnliche Nutzung (Wohnheime, Hotels etc.)
Holztafel	4	2	2	4		2	1
	6	1	3				
Massivholz	1			1			1
Hybrid	1			1	1	2	
Modul	1					1	
Ziegel	2		1				
Kalksandstein	1			1	1	3	1
Beton					1	1	

**Gesamtsumme 37**

**nicht nominiert 10**

# Gebäudetypologie – Typvertreter

Bauweise	EFH	ZFH	DHH	MFH-Klein ( $< 4$ WE)	MFH-Mittel ( $4 < X < 6$ WE)	MFH-Groß ( $> 6$ WE)	Wohnähnliche Nutzung (Wohnheime, Hotels etc.)
Holztafelbauweise	06-EFH-1-DG-HT			17-MFH-1-KG-DG-HT		18-MFH-3-KG-HT	
Massivholz Hybridbauweise	23-EFH-1-M			15-MFH-3-KG-HY		21-MFH-4-KG-MH	
Modulbauweise Massiv	05-EFH-1-MB			30-MFH-5-KG-MB		33-MFH-4-KG-KS	

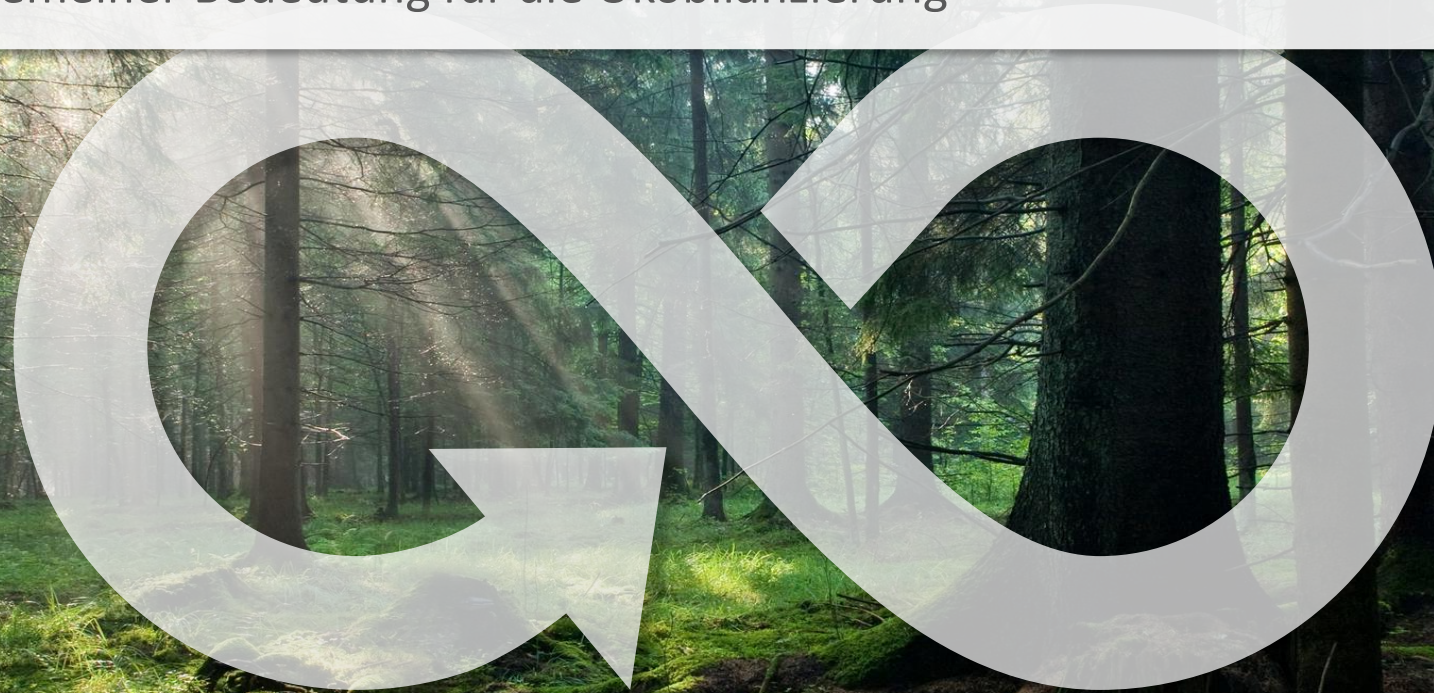
# Zwischenergebnisse

Analyse des gebäudebezogenen und betriebsbedingten Anteils an den Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Wohnbauten

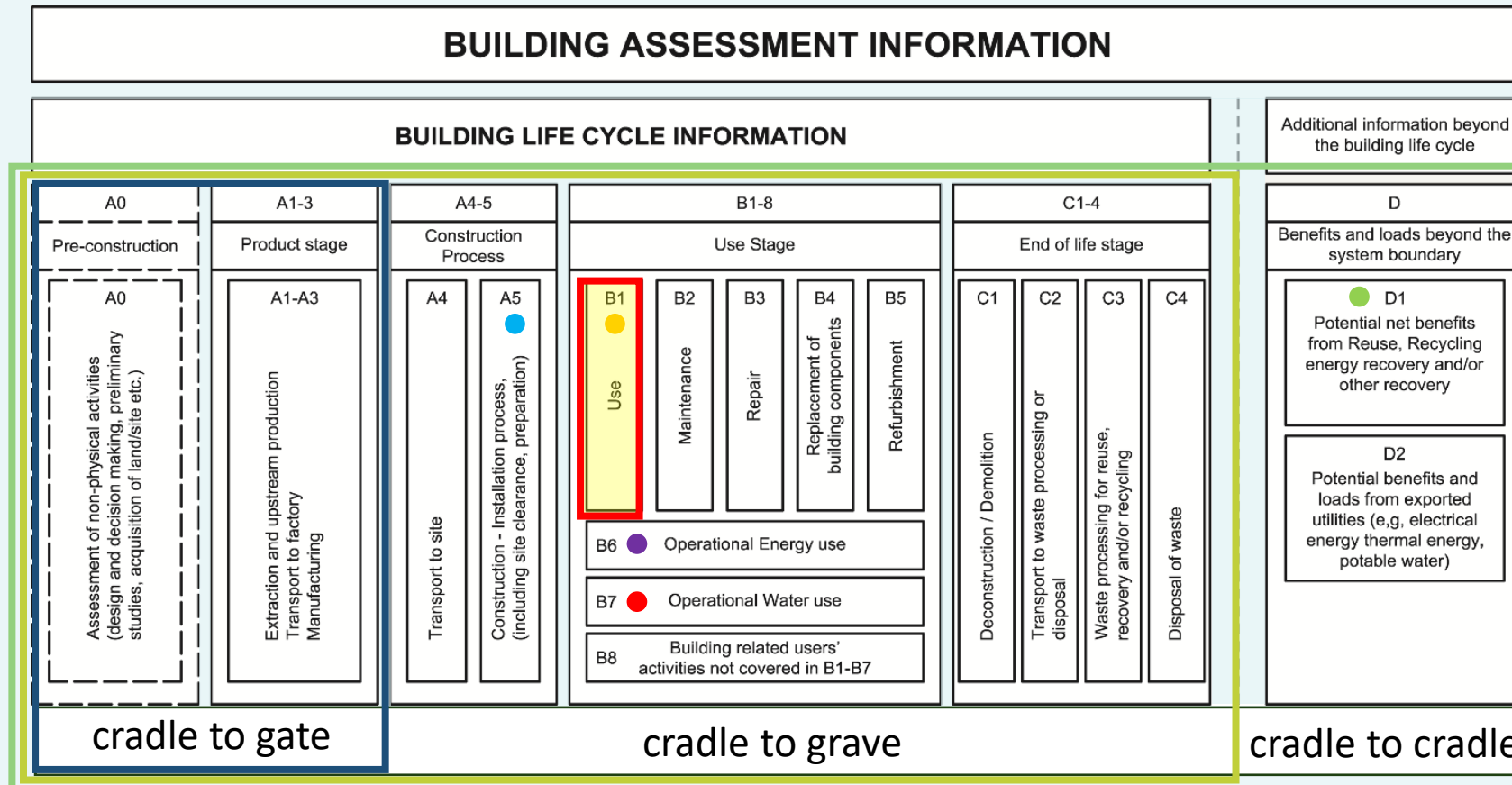


# Ausgewählte Methodische Fragen

Von allgemeiner Bedeutung für die Ökobilanzierung

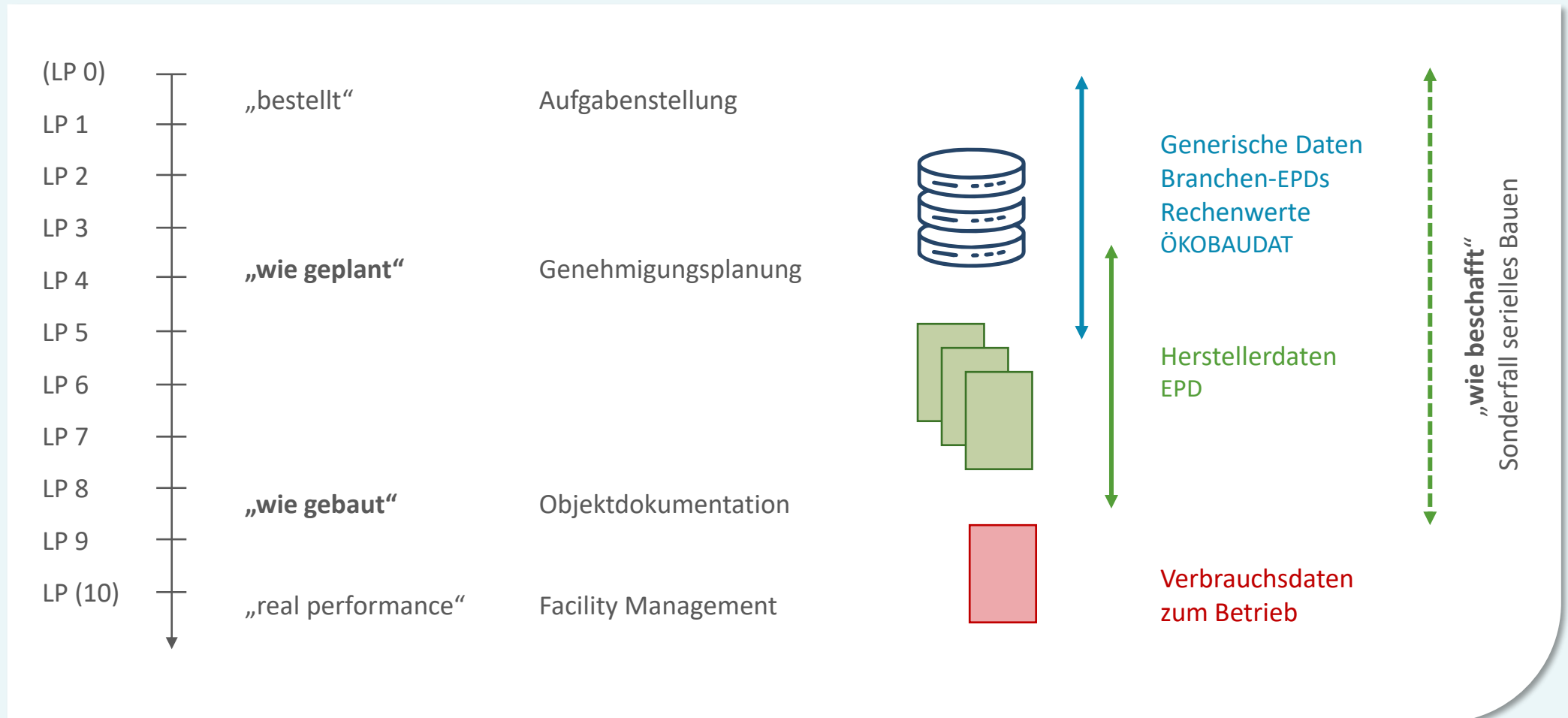


# Weiterentwicklung DIN EN 15978



- A5.1 Pre-construction demolition activities
- A5.2 Construction activities
- A5.3 Waste and waste management
- A5.4 Transport of construction workers
- B1.1 Emissions from products to local environment / carbonatisation
- B1.2 Emissions of F-gases**
- B6.1 Building integrated, regulated
- B6.2 Building integrated, not regulated
- B6.3 User related
- B7.1 Building integr. systems, essential
- B7.2 Building integr. systems, others
- B7.3 non building integr. systems
- D1.1 Reuse
- D1.2 Recycling
- D1.3 Energy recovery

# Datenbedarf & Datenquellen in HOAI Planungsphasen (LP 10)



# Umgang mit Haushaltsstrom (1)

Für Wohnbauten werden im Modul B6.3 für den nutzerbedingten Energiebedarf 20 kWh/m<sup>2</sup>a Haushaltsstrom angenommen.

<https://www.co2online.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Downloads/stromspiegel-tabelle-2023-print.jpg>

Eine Quelle zur Überprüfung des durchschnittlichen Verbrauchs an Haushaltsstrom liefert der regelmäßig veröffentlichte Stromspiegel.

Von Bedeutung für die Untersuchung sind die Fälle

- Einfamilienhaus / Wohnungen im Mehrfamilienhaus
- Haushaltsstrom ohne Nutzung für Warmwasserbereitung

Um unklare Systemgrenzen im EFH zu vermeiden, wurden Kennwerte für MFH verwendet.

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			A	B	C	D	E	F	G
Haus	ohne Strom	1 Person	bis 1.400	bis 1.800	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.400	bis 4.500	über 4.500
		2 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 2.800	bis 3.100	bis 3.500	bis 4.300	über 4.300
		3 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.400	bis 5.200	über 5.200
		4 Personen	bis 2.800	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
	mit Strom	1 Person	bis 1.500	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 4.000	bis 5.500	über 5.500
		2 Personen	bis 2.400	bis 2.900	bis 3.300	bis 3.800	bis 4.500	bis 6.000	über 6.000
		3 Personen	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.100	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500
		4 Personen	bis 3.500	bis 4.200	bis 5.000	bis 5.700	bis 7.000	bis 8.900	über 8.900
Wohnung	ohne Strom	1 Person	bis 800	bis 1.000	bis 1.300	bis 1.500	bis 1.700	bis 2.100	über 2.100
		2 Personen	bis 1.400	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.300	bis 2.500	bis 3.000	über 3.000
		3 Personen	bis 1.700	bis 2.100	bis 2.500	bis 2.900	bis 3.300	bis 3.800	über 3.800
		4 Personen	bis 1.800	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
	mit Strom	1 Person	bis 1.100	bis 1.400	bis 1.600	bis 1.900	bis 2.200	bis 2.800	über 2.800
		2 Personen	bis 1.900	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	über 4.000
		3 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.500	über 5.500
		4 Personen	bis 2.500	bis 3.400	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 6.400	über 6.400
		5 Personen	bis 2.000	bis 3.000	bis 4.000	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500

**A = gering**  
Glückwunsch, Sie verbrauchen viel weniger Strom als vergleichbare Haushalte.

**B = niedrig**  
Sie benötigen weniger Strom als vergleichbare Haushalte. Doch auch Sie können noch sparen.

**C und D = mittel**  
Ihr Verbrauch liegt im Schnitt bzw. leicht darunter. Nutzen Sie alle Möglichkeiten zum Stromsparen aus.

**E und F = hoch**  
Sie verbrauchen mehr Strom als jeder zweite vergleichbare Haushalt. Stromsparen lohnt sich für Sie besonders.

**G = sehr hoch**  
Sie sollten dringend handeln. Sie verbrauchen mehr Strom als 85 % aller vergleichbaren Haushalte.

# Umgang mit Haushaltsstrom (2)

Der Bedarf an Haushaltsstrom wird i.d.R. über personenbezogene Kennwerte zum Ausdruck gebracht.

Die bisherige Annahme eines flächenbezogenen Kennwerts von ca. **20 kWh/m<sup>2</sup>a** für den (zusätzlichen) **Bedarf an Haushaltsstrom** in Wohnbauten trifft nur auf die Kombination von einer Ausstattung mit stromsparenden Haushaltsgeräten und einem sparsamen Verhalten der Bewohner zu.

In der Realität kann der Verbrauch an Haushaltsstrom deutlich über der Annahme liegen.

In der Literatur wird eine Kombination aus flächenbezogenen und personenbezogenen Kennwerten empfohlen.

Aktuell wird die Beibehaltung des Kennwerts empfohlen.

Personen in WE	Klasse A	Fläche pro Kopf in m <sup>2</sup>					
Anzahl	kWh/a	25	30	35	40	45	50
1	800	32,0	26,7	22,9	20,0	17,8	16,0
2	1.400	28,0	23,3	20,0	17,5	15,6	14,0
3	1.700	22,7	18,9	16,2	14,2	12,6	11,3
4	1.800	18,0	15,0	12,9	11,3	10,0	9,0
5	1.500	12,0	10,0	8,6	7,5	6,7	6,0
>5	1.500	12,0	10,0	8,6	7,5	6,7	6,0

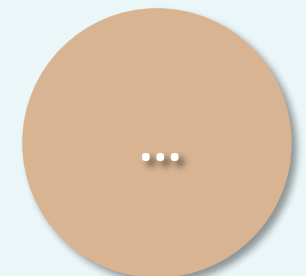
Personen in WE	Klasse C	Fläche pro Kopf in m <sup>2</sup>					
Anzahl	kWh/a	25	30	35	40	45	50
1	1.300	52,0	43,3	37,1	32,5	28,9	26,0
2	2.000	40,0	33,3	28,6	25,0	22,2	20,0
3	2.500	33,3	27,8	23,8	20,8	18,5	16,7
4	2.600	26,0	21,7	18,6	16,3	14,4	13,0
5	2.700	21,6	18,0	15,4	13,5	12,0	10,8
>5	2.700	21,6	18,0	15,4	13,5	12,0	10,8

Personen in WE	Klasse E	Fläche pro Kopf in m <sup>2</sup>					
Anzahl	kWh/a	25	30	35	40	45	50
1	1.700	68,0	56,4	48,6	42,5	37,8	34,0
2	2.500	40,0	33,3	28,6	25,0	22,2	20,0
3	3.300	44,0	36,7	31,4	27,5	24,4	22,0
4	3.600	36,0	30,0	25,7	22,5	20,0	18,0
5	4.100	32,8	27,3	23,4	20,5	18,2	16,4
>5	4.100	32,8	27,3	23,4	20,5	18,2	16,4

# Auswirkungen der Festlegung von Bezugsflächen

In Diskussion und Analyse befindliche Optionen

- (zusätzliche) Beibehaltung „traditioneller“ Bezugsflächen für gebäudebezogene und betriebsbedingte Anteile (geeignet für Nebenanforderung)
- Angabe der Gesamtwerte für mehrere Bezugsflächen (wie BKI)
- Angabe des Gesamtwertes bezogen auf NRF oder Wohnfläche für Anforderungswerte
- Angabe der Gesamtwerte pro Kopf (Normbelegung)

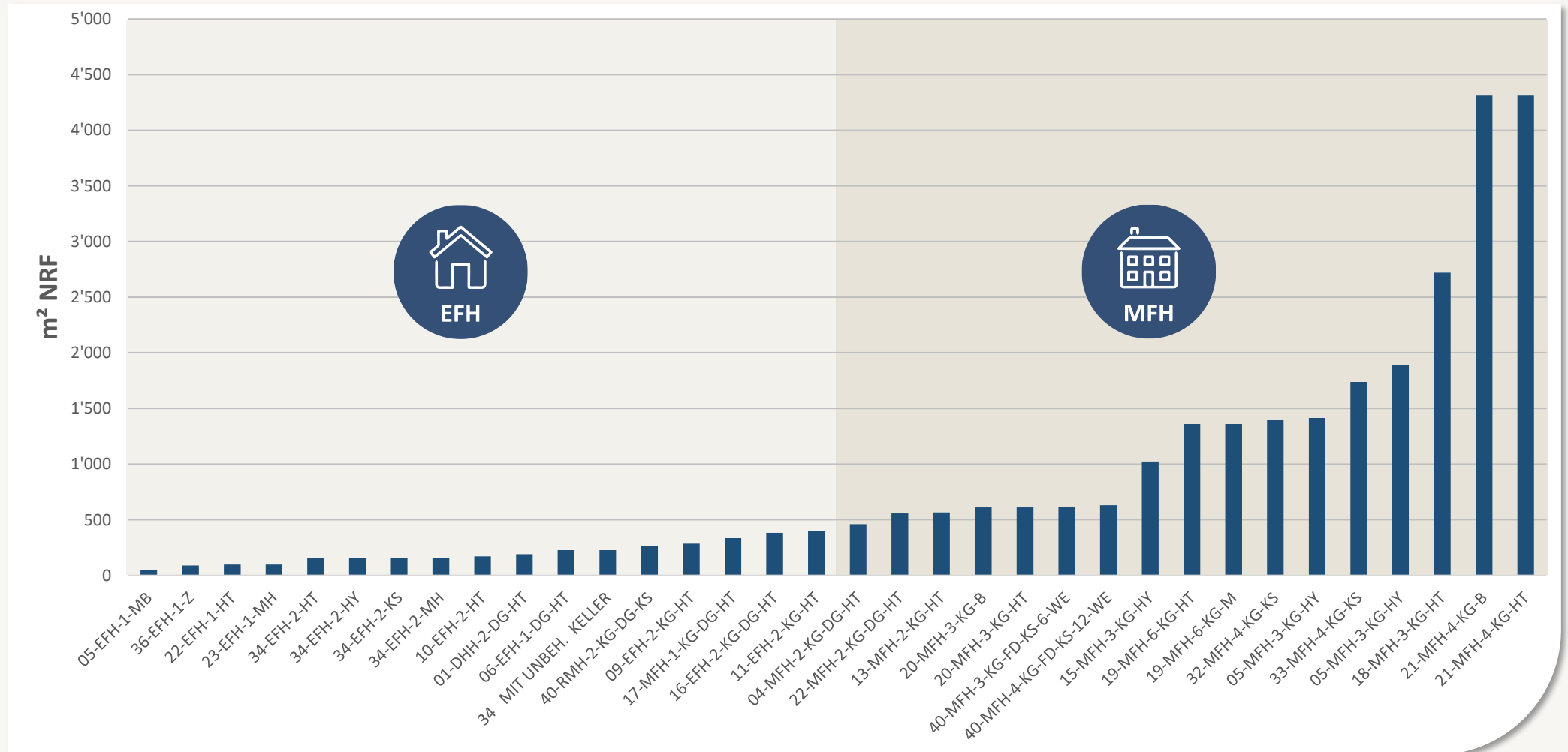


# Stand der Bilanzierungsergebnisse

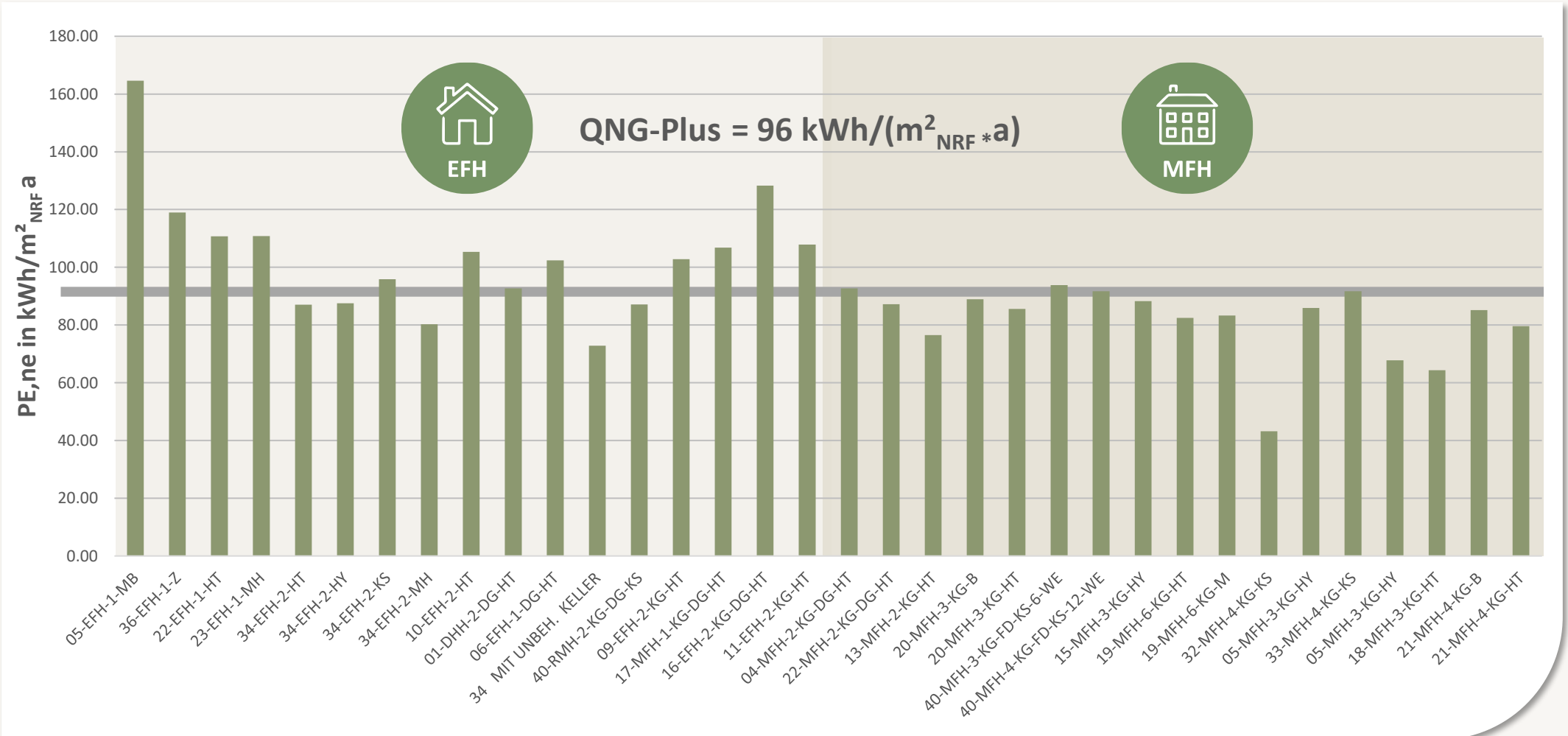
Erste Aussagen zur Erreichbarkeit aktueller Anforderungen von KFN und QNG im Bereich PE,ne und GWP 100 möglich



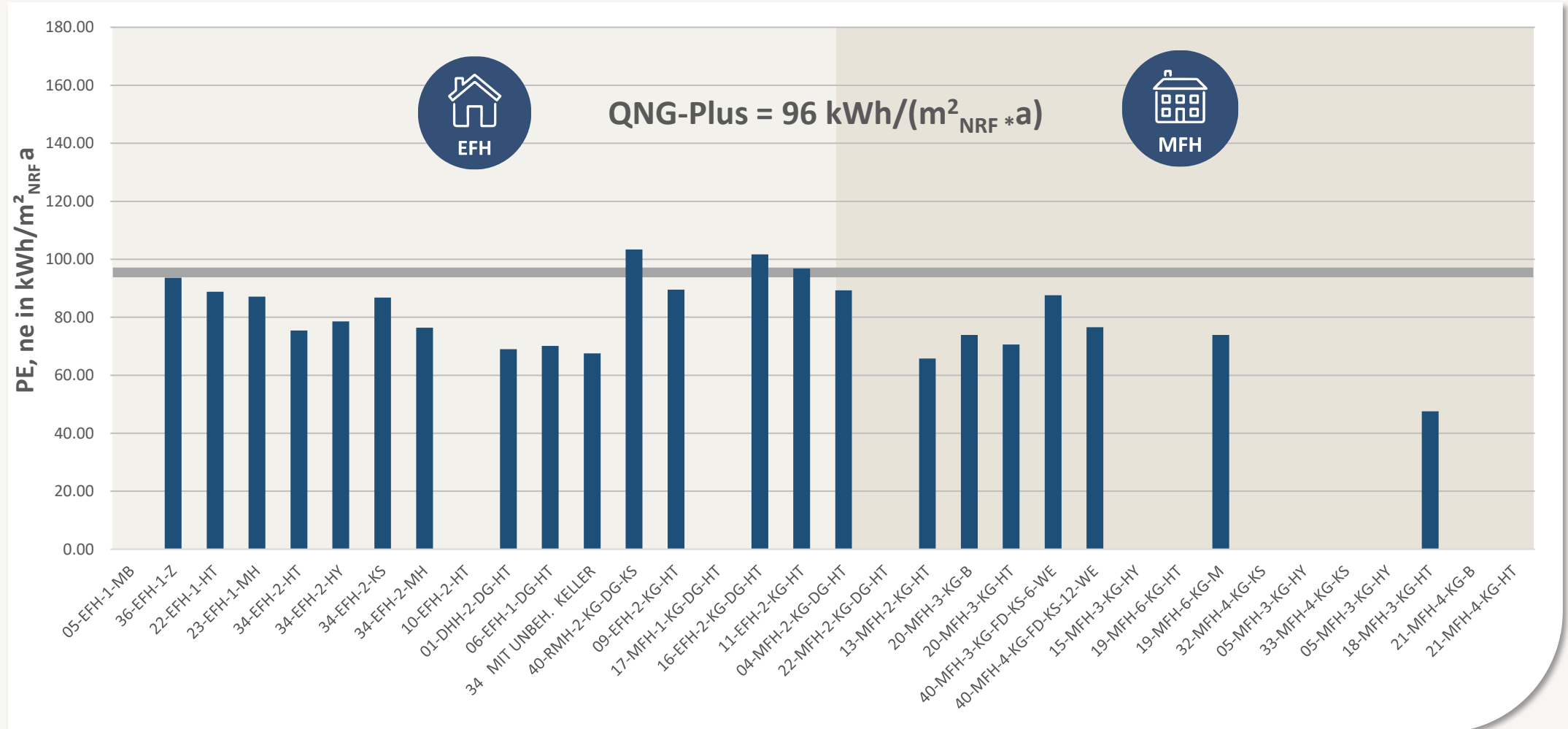
# Bandbreite untersuchter Gebäude nach NRF in m<sup>2</sup>



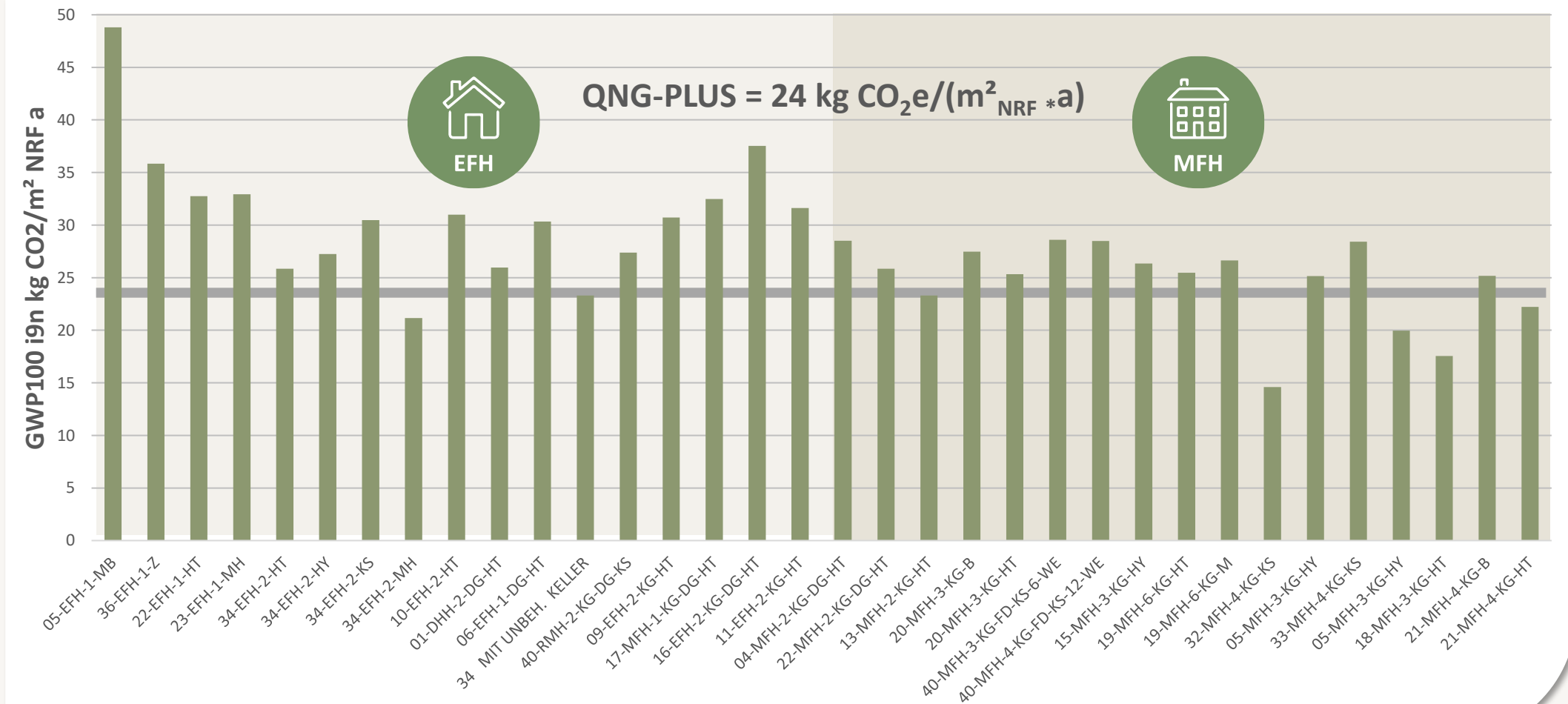
# Erreichbarkeit QNG-Anforderung PE,ne – Gebäude ohne PV



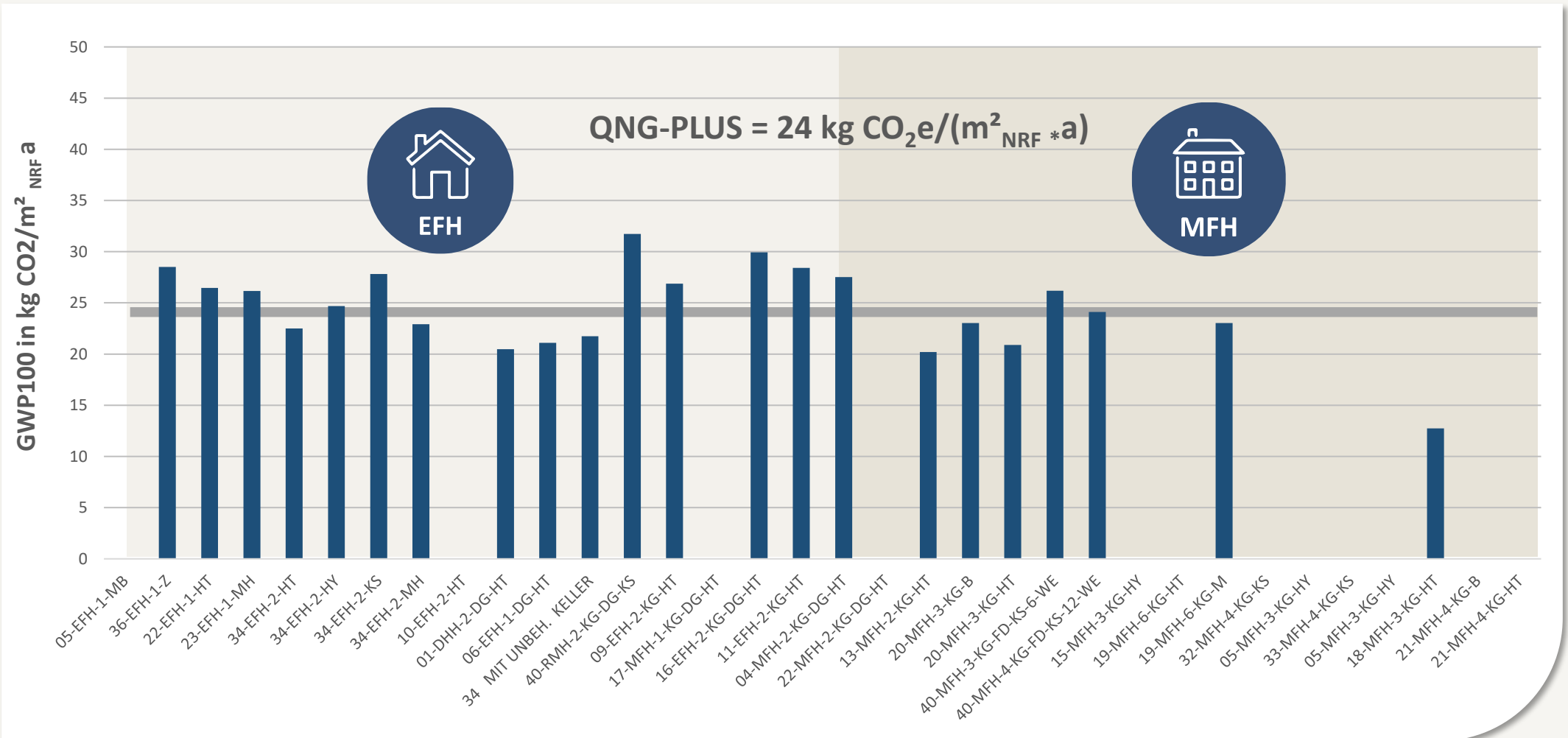
# Erreichbarkeit QNG-Anforderung PE,ne – Gebäude mit PV



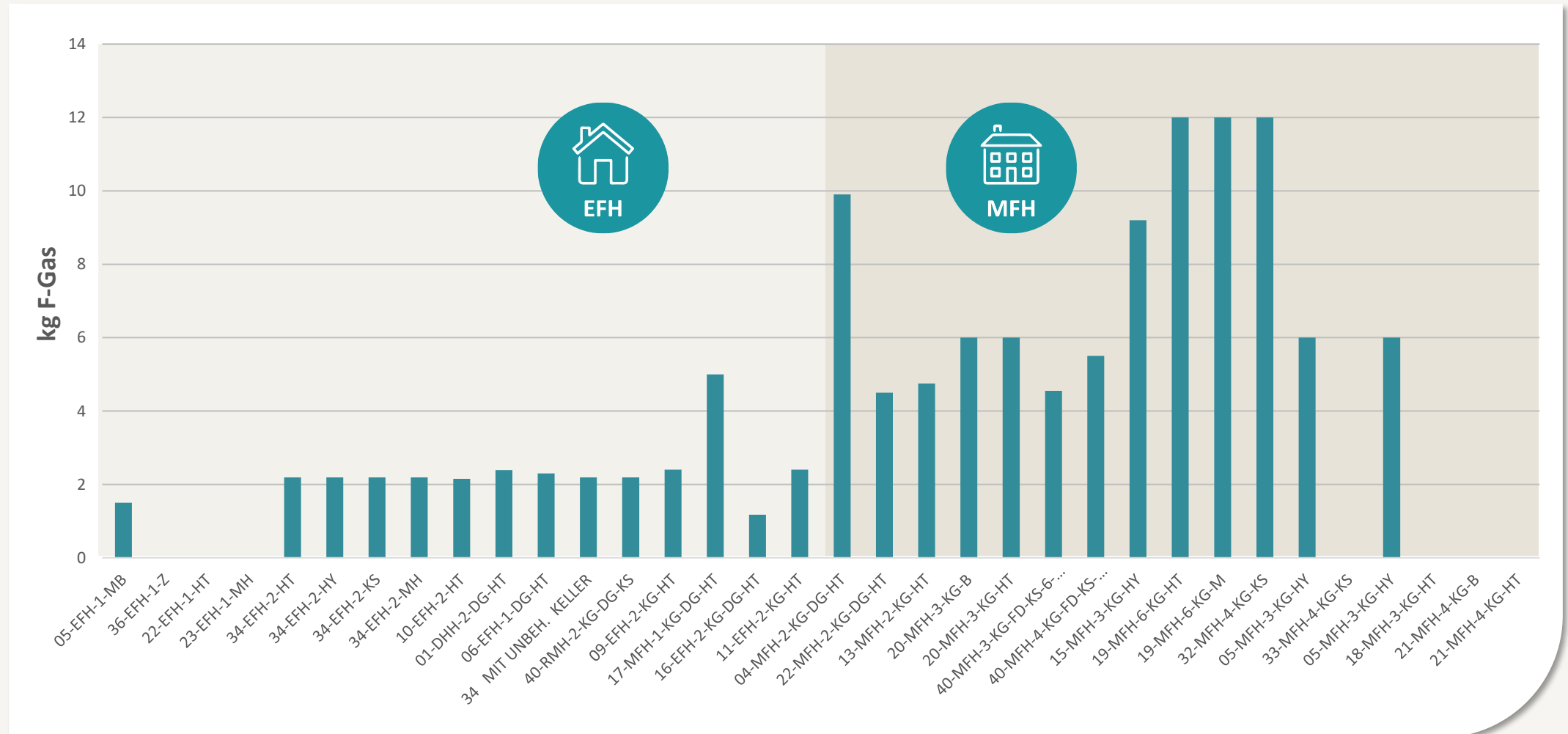
# Erreichbarkeit QNG-Anforderung GWP – Gebäude ohne PV



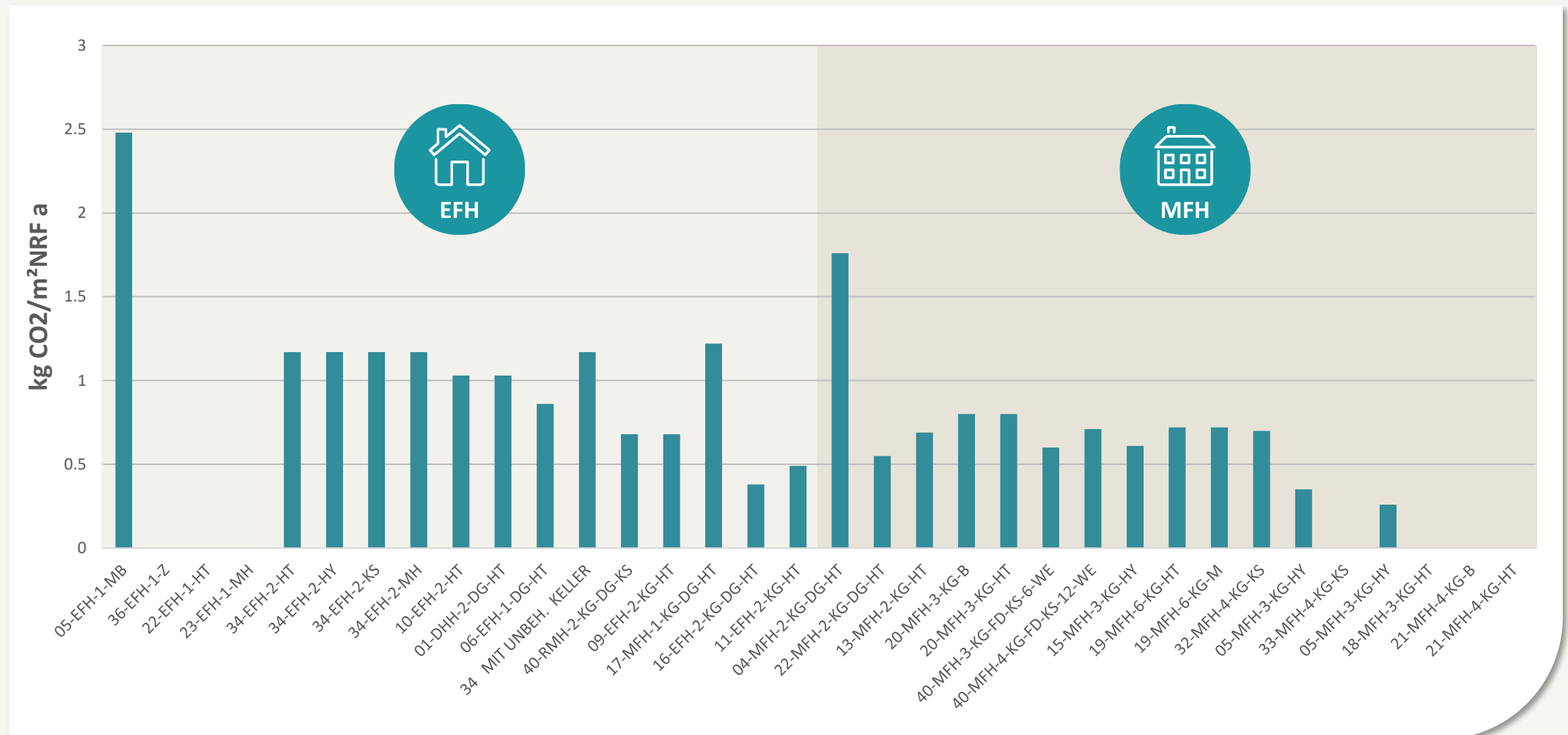
# Erreichbarkeit QNG-Anforderung GWP – Gebäude mit PV



# Menge der eingesetzten F-Gase bei Wärmepumpen in kg



# Zusätzliches GWP in kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> NRF a infolge Kältemittel



# Erste Schlussfolgerungen

- Aktuelle Anforderungen zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar und an Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von neu zu errichtenden Wohnbauten lassen sich unter den gegenwärtigen Bedingungen der Planungs- und Baupraxis erreichen, sind jedoch anspruchsvoll
- Größere Wohnbauten sind gegenüber kleineren Wohnbauten i.d.R. im Vorteil
- Das Vorhandensein von gebäudeintegrierte PV-Anlagen erleichtert die Erfüllung der Anforderungen, die Minderung der Treibhausgasemissionen durch selbstgenutzten PV-Strom übersteigt im Lebenszyklus die dem Gebäude anteilig zugeordneten grauen Emissionen der Anlage
- Der Anteil von Treibhausgasemissionen aus Kältemitteln kann nicht vernachlässigt werden. Auf eine Auswahl von Kältemittel, die sowohl geringe Treibhausgasemissionen verursachen als auch umweltfreundlich sind, ist zu achten.

# Klimadaten und 18599 / Berechnungen

Anpassung an neue Realitäten

# Klimawandel: Anpassung an neue Realitäten

- **Herausforderung:**  
Klimawandel erfordert neue Denkweisen
- **Fokus:**  
Anpassungen im winterlichen Wärmeschutz und sommerliche Hitzeschutz
- **Neue Testreferenzjahre:**  
Veränderte klimatische Bedingungen machen neue Testreferenzjahre für Gebäudeberechnungen notwendig
- **Winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz erfordern integrale Betrachtung**

# Entwicklung der DWD-TRY-Datensätze

Datensatz	Veröffentlichung im Jahr	Bezugszeitraum	Stand Klimawandel	Stationen bzw. Datensätze	Klimaprognosemodelle	Modell klimatische Veränderungen
TRY 1985	1986	1951-1967	1959	1 × 12 (alte Bundesländer)	–	real / gemessen
TRY 2004	2004	1961-1990	1976	3 × 15	–	real / gemessen
TRY 2010	2011	1988-2007	1998	3 × 15	–	real / gemessen
TRY 2035	2011	2021-2050	2035	3 × 15	5	prognostiziert / A1B
TRY 2015	2017	1995-2012	2003	3 × 333.321	–	real / gemessen
TRY 2045	2017	2031-2060	2045	3 × 333.321	12	prognostiziert / RCP4.5 - RCP8.5

Quelle: Vukadinovic 2023 nach Deutscher Wetterdienst (Hg.) 2004, 2014, 2017 und Weller et al. 2016

# Ausgewählte repräsentative TRY 2045



## Vergangenes Klima „1998“:

TRY 2010 „Potsdam“ – Status Quo in allen gegenwärtigen Berechnungen



## Zukünftiges Klima „2045“:

TRY 2045 „Hof“ – entspricht  
Sommerklimaregion A – kühleres Klima



TRY 2045 „Potsdam“ – entspricht  
Sommerklimaregion B – mittleres Klima



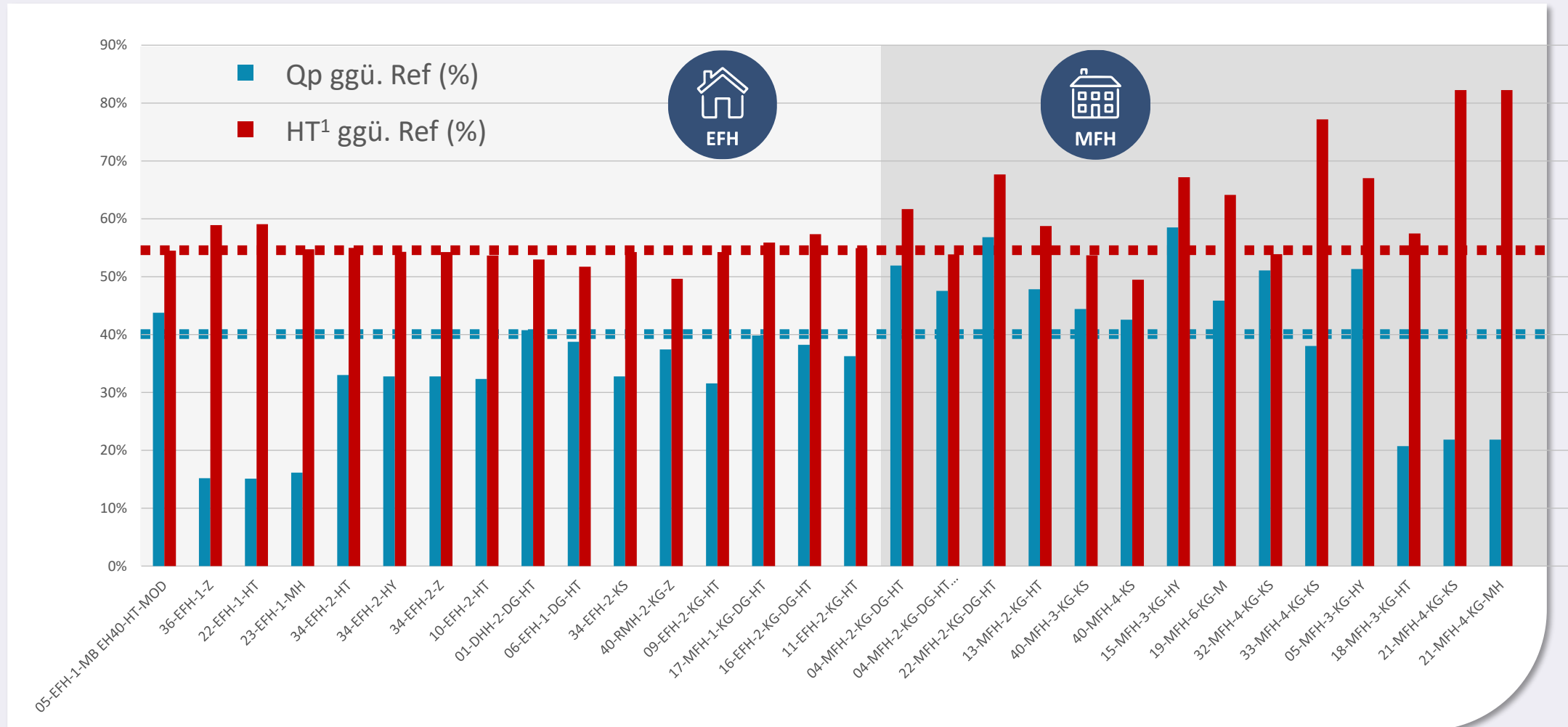
TRY 2045 „Mannheim“ – entspricht  
Sommerklimaregion C – wärmeres Klima

# DWD-TRY Daten für die Gebäudeenergieberechnung

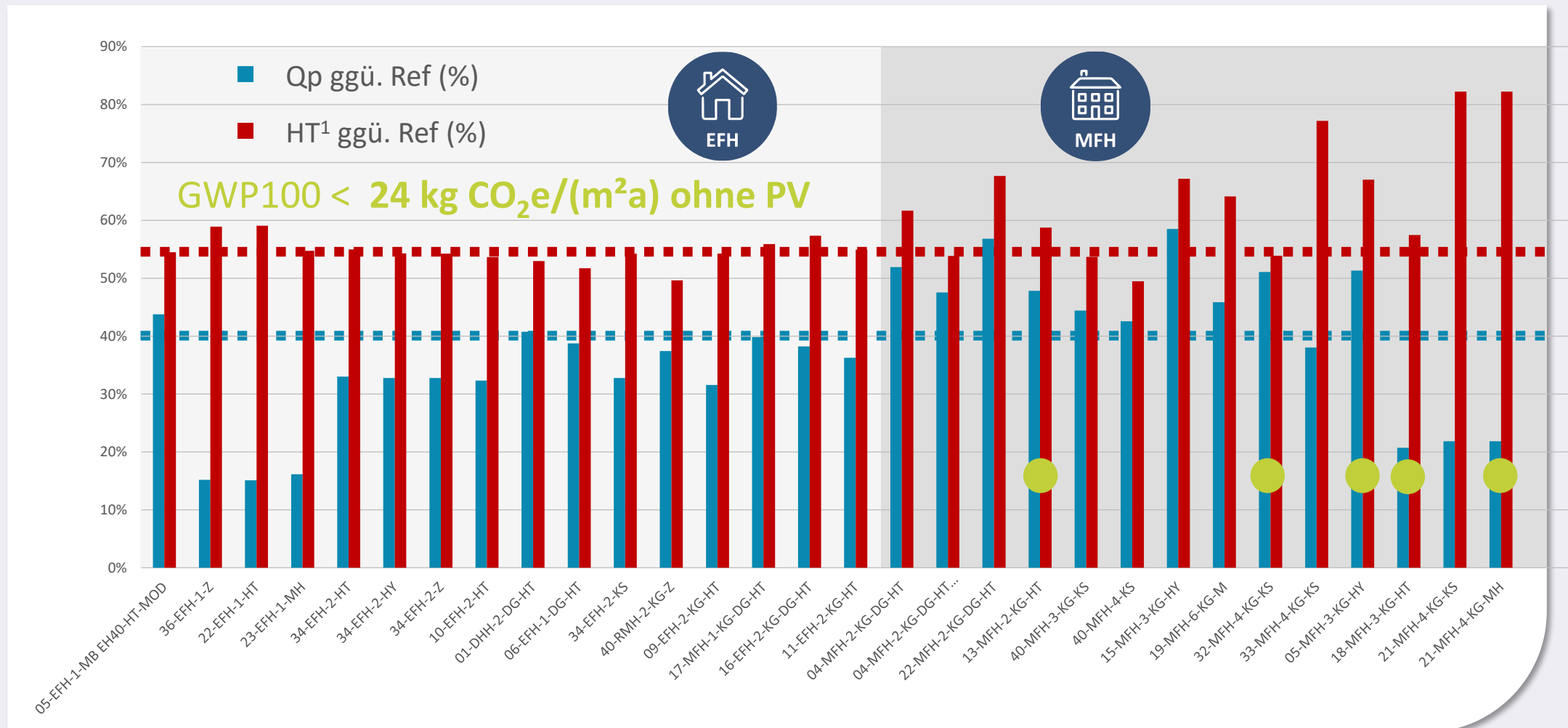
- **Ausgangssituation:**  
DWD-Klimadaten als Stundenwerte (8760 Werte/Jahr) –  
Notwendigkeit der Umrechnung für Gebäudeenergie-  
berechnungen nach DIN 18599
- **Entwicklung von Python-Code:**  
Entwickelt zur Umrechnung der stündlichen Daten in  
Monatswerte unter Aufteilung auf vertikale und  
geneigte Flächen mit verschiedenen Ausrichtungen.  
Da der DWD die Daten als senkrechte Strahlung von  
oben nach unten ausgibt, müssen diese noch auf die  
Neigung von Bauteilen umgerechnet werden
- **Integration der pvlib-Datenbank:**  
Nutzung der pvlib zur präzisen Umrechnung und  
Simulation mit Berücksichtigung atmosphärischer  
Bedingungen und Solarstrahlung bei Anwendung  
des Perez-Modells

```
81 def calculate_irradiation_means(lat,  
82     tilt = np.full(8760, surface_tilt),  
83     timezone = 'CET',  
84     start_date = pd.Timestamp('2023-01-01'),  
85     albedo = np.full(8760, 0.25) #Arr  
86     POA_irradiance = get_irradiance(t  
87     # Anzahl der Stunden pro Monat  
88     hours_per_month = [744, 672, 744,  
89     # Monatsmittelwerte berechnen  
90     month_means = []  
91     start = 0  
92     for i, hours in enumerate(hours_p  
93         end = start + hours  
94         month_mean = sum(POA_irradiar  
95         month_means.append(month_mear  
96         start = end  
97     return month_means, POA_irradianc
```

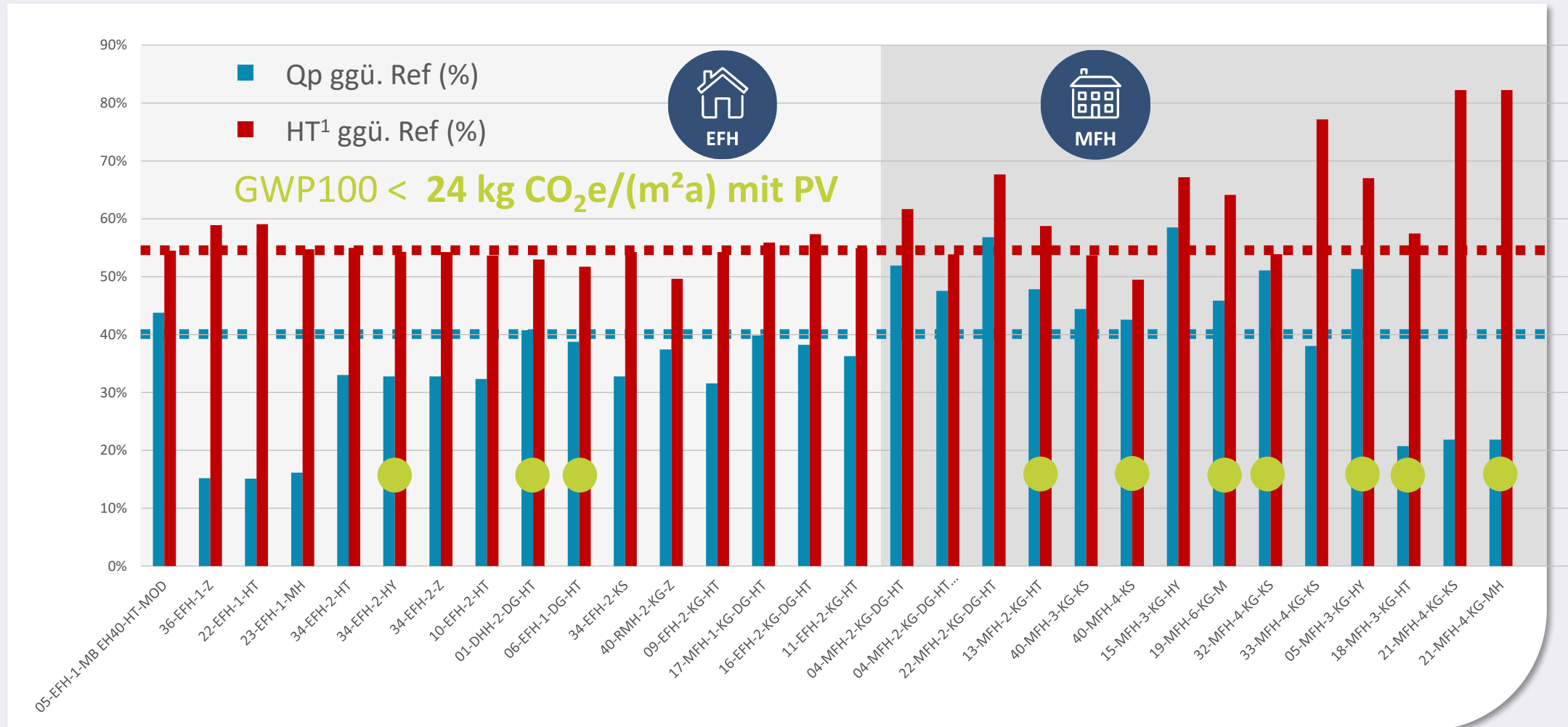
# Gebäude im Vergleich zum jew. Referenzgebäude nach GEG



# Gebäude im Vergleich zum jew. Referenzgebäude nach GEG



# Gebäude im Vergleich zum jew. Referenzgebäude nach GEG



# Gegenüberstellung spez. Endenergiebedarf Heizung mit variablen Klimata Variante 01-DHH-2-DG-HT



# Ausblick

Nächste Schritte und erwartete Effekte



# Erwartete Einflüsse auf künftige QNG-Anforderungswerte

Folgende Aspekte werden sich auf künftige Anforderungswerte im QNG zur Begrenzung des Aufwands an Primärenergie, nicht erneuerbar sowie die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus neu zu errichtender Wohnbauten auswirken.

- Fortschritte in der Dekarbonisierung der Baustoffproduktion (aktualisierte EPDs)
- Fortschritte in der Dekarbonisierung in der Energieversorgung
- Reduzierung des Heizenergiebedarfs durch lokale Auswirkungen des Klimawandels
- Anstieg des Kühlenergiebedarfs durch lokale Auswirkungen des Klimawandels
- Veränderungen im solaren Strahlungsangebot
- Einsatz klima- und umweltfreundlicher Kältemittel
- Klärung methodischer Fragen zu Bezugsflächen
- Klärung methodischer Fragen zu Nebenanforderungen

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit.**

