ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

IWU

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Methodenkonvention zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudebereich

(MeKoWi)

21. Projektetage der Bauforschung
21.09.2022

Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Lehrstuhl für Ökologie und Ökonomie des Wohnungsbaus am KIT

Agenda

- **Projektteam, Projektziele und Arbeitsstand**
- **Darstellung ausgewählter Projektinhalte**
  - Akteursbezug bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen
  - Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Beispiele)
  - Umgang mit externen Kosten und CO2-Preisen
  - Umgang mit Unsicherheiten

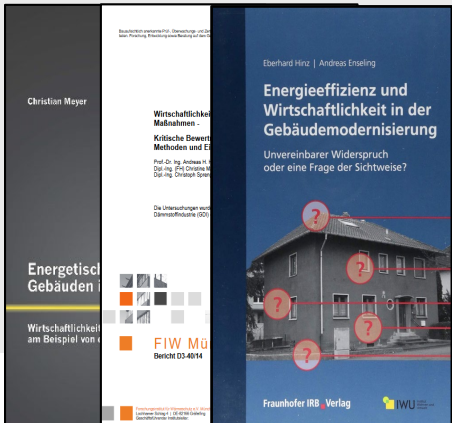
Projektteam

- Institut Wohnen und Umwelt
  - Dr. Andreas Enseling

- Lehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus
  - Prof. Dr. Thomas Lützkendorf
  - Matthias Buchholz

Ausgangssituation

- Diverse Studien zur Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparmaßnahmen mit z.T. widersprüchlichen Ergebnissen, Methoden und Annahmen
- Das „Wirtschaftlichkeitsgebot“ bei der Festlegung gesetzlicher Anforderungen bietet Interpretationsspielräume und eignet sich nicht immer für die spezifische Erfassung von Aufwand und Nutzen aus der Perspektive einzelner Akteursgruppen
- Die Unsicherheit bei Eingangsgrößen in die Wirtschaftlichkeitsrechnung nimmt zu (z.B. Energiepreise, Baukosten)
- Klärungsbedarf bei neuen Eingangsgrößen, Themen und Trends (CO_2 - Preis, externen Kosten etc.)



Bedarf / Ziele Methodenkonvention

- Verbesserung der Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Glaubwürdigkeit
- Berücksichtigung der Akteursperspektiven
- Aufgreifen aktueller Themen und Trends
- Ergänzung/Weiterentwicklung von Methoden, die speziell auf die Berücksichtigung der Perspektive der öffentlichen Hand zugeschnitten sind (u.a. externe Kosten)
- Entwicklung von Ansätzen zum Umgang mit Unsicherheiten und Bandbreiten
- Heranführung weiterer Anwenderkreise an die Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Vorgaben für Forschungsprojekte Dritter

Projektergebnisse

- **Teil 1:** Endbericht mit ausführlicher Beschreibung der wissenschaftlichen Grundlagen (Akteursperspektiven, Methoden, Randbedingungen, Datenunsicherheiten, Handlungsempfehlungen etc.)
- **Teil 2:** Kompakte Methodenkonvention als separater Katalog (Formblätter bzw. Katalog von Fact Sheets)

Arbeitspakete und Zeitplan

- Laufzeit des Projektes: 02/2021 - 12/2022
- 3 Abstimmungstreffen / Workshops mit Vertretern von Ministerien

- AP1: Projektmanagement (laufend)
- AP2: Analyse von Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung (abgeschlossen)
- AP3: Akteurstypologie und Akteurskonstellationen (abgeschlossen)
- AP4: Umgang mit Bandbreiten und Unsicherheiten (abgeschlossen)
- AP5: Erstellung der Methodenkonvention (laufend)

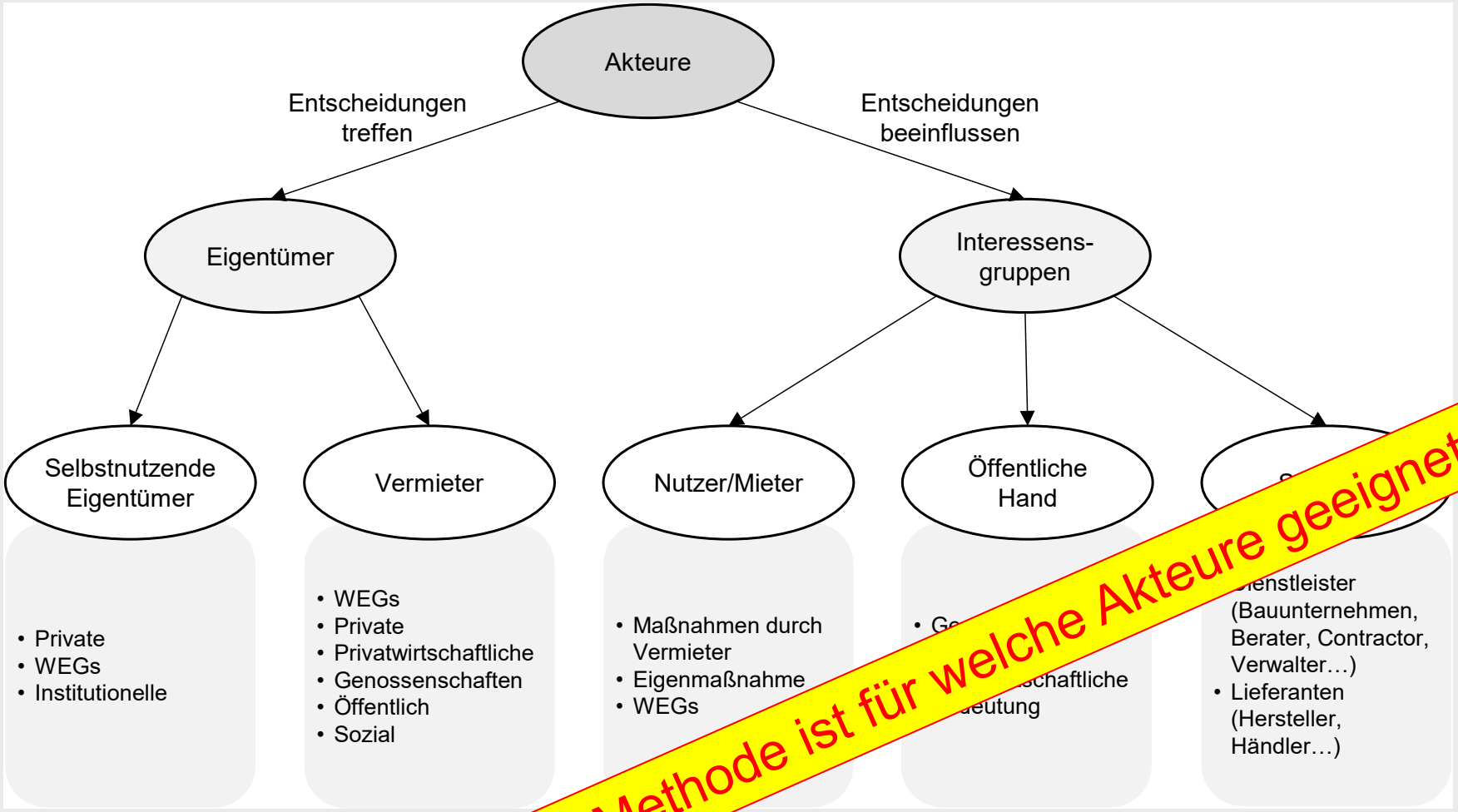
Jahr	2021												2022											
Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Projektmonat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
AP1: Projektleitung, -koordination, und Management, Qualitätskontrolle		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AP2: Analyse und Vergleich von Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren			X	X	X	X	X	X	X	X	X													
AP3: Akteurstypologie und Akteurskonstellationen				X	X	X	X	X	X	X	X	X												
AP4: Risikoanalyse, Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
AP5: Erstellung der Methodenkonvention										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x	
Zwischenbericht																								
Endbericht																								
Abstimmungstreffen/Meilensteine																								

Agenda

- Projektteam, Projektziele und Arbeitsstand
- **Darstellung ausgewählter Projektinhalte**
  - Akteursbezug bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen
  - Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Beispiele)
  - Umgang mit externen Kosten und CO2-Preisen
  - Umgang mit Unsicherheiten

Akteursbezug bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Kategorisierung von Akteuren



Welche Methode ist für welche Akteure geeignet?

Quelle: Eigene Darstellung

Eignung von Methoden für Fragen & Zielgruppen

	Methode	Fragestellung/Interpretation	Eignung für
1	**Dynamische Amortisations-rechnung**	Liegt die Amortisationszeit unterhalb der Lebensdauer der Maßnahme bzw. unterhalb eines definierten Erwartungshorizonts?	Selbstnutzer Öffentliche Hand
2a	**Kapitalwertmethode**	Bei welcher Maßnahme wird der höchste Kapitalwert erreicht (relativ)? Ist der Kapitalwert größer Null (absolut)?	(Selbstnutzer) Vermieter Öffentliche Hand
2b	**Annuitätenmethode**	Sind die Kosten nach einer Verbesserungsmaßnahme (neue Energiekosten + Zins und Tilgung für die Maßnahme) geringer oder höher als die ehemaligen Energiekosten?	Selbstnutzer (Vermieter) Öffentliche Hand
3	**Dynamische Kostenvergleichs-rechnung**	Welche Variante weist den geringsten Barwert der Lebenszykluskosten auf?	Selbstnutzer Öffentliche Hand
4	**Vollständiger Finanzplan**	Welche Variante weist die höchste Eigekapitalrendite bzw. den höchsten Vermögensendwert auf?	(Selbstnutzer) Vermieter Öffentliche Hand
5	**Äquivalenter Energiepreis**	Ist es teurer oder billiger, eine kWh Endenergie einzusparen als eine kWh zu erzeugen bzw. zu beschaffen?	Selbstnutzer Öffentliche Hand
6	**CO2-Vermeidungskosten**	Ist es teurer oder billiger, ein kg CO2 bzw. CO2-Äquivalent zu vermeiden als mit einer Referenzalternative	Selbstnutzer Öffentliche Hand

Erfassung von Aufwand und Nutzen

		Vermieter-Mieter-Konstellation		Selbstnutzender Eigentümer
	Aufwand-/Nutzenkategorie	Vermieter	Mieter	
Aufwand	Bau-/Erwerbskosten	■		■
	Kosten für Instandsetzung	■		■
	Wartungs- und Betriebskosten	□	■	■
	Miethöhe (Kaltmiete)		■	
	Steueraufwendungen	■		■
	CO2-Preis		■	■
Nutzen	Vermiet-/Vermarktbarkeit	■		
	Wert und Wertentwicklung	■		□
	Mieteinnahme/Mietsteigerung	■		
	Energiekosteneinsparung		■	■
	Individueller Komfort		■	■
	Förderung/Steuereinsparungen	■	□	
Zusatznutzen	Dauerhaftigkeit	■		■
	Gestalterische Qualität	■		
	Image	■		
	Mieter-/Nutzerzufriedenheit			
	Energieeinsparung/Ressourcensc nung			□
	Umweltentlastung/		□	□

Aufwand und Nutzen möglichst vollständig erfassen…

…und akteursspezifisch zuordnen!

Agenda

- Projektteam, Projektziele und Arbeitsstand
- **Darstellung ausgewählter Projektinhalte**
  - Akteursbezug bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen
  - Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Beispiele)
  - Umgang mit externen Kosten und CO2-Preisen
  - Umgang mit Unsicherheiten

Beispiel: Factsheet

Name der Methode	Äquivalenter Energiepreis / Kosten der eingesparten Kilowattstunde
Verfahren	dynamisch
Ansatz	Annuität
Fragestellung	Ist es teurer oder billiger, eine kWh Endenergie einzusparen als eine kWh zu erzeugen bzw. zu beschaffen?
Kennwert der Berechnung	Kosten der eingesparten kWh Endenergie (Cent/kWh)
Vergleichsgröße	Mittlerer zukünftiger Energiepreis (Cent/kWh)
Perspektive	einzelwirtschaftlich (mikroökonomisch)
Dimension	ökonomisch / ökologisch
Finanzierungskonditionen	implizit über den Annuitätenfaktor berücksichtigt
Externe Kosten	möglich (in der Vergleichsgröße mittlerer zukünftiger Energiepreis)
absolute Wirtschaftlichkeit	geeignet
relative Wirtschaftlichkeit	nicht (eingeschränkt) geeignet
Eignung für Akteursgruppen	Selbstnutzer (Einzeleigentümer, Eigentümergemeinschaften)
	Öffentliche Hand (zur Definition von gesetzlichen Mindestanforderungen)
Beschreibung (mit Formel)	Die Kosten pro eingesparter Kilowattstunde (kWh) Endenergie bzw. der äquivalente Energiepreis ergeben sich, wenn die annuitätischen (jährlichen) Kosten einer Energiesparmaßnahme (energiebedingte Kapitalmehrkosten gegenüber einer Referenzvariante einschließlich eventueller jährlicher Zusatzkosten für Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Hilfsenergie, ggf. auch Versicherungen) durch die jährliche Energieeinsparung dividiert werden. Berechnungsformel: $P_{ein} = (a \times I + Z) / (E_0 - E_M)$ mit: a = Annuitätenfaktor I = energiebedingte investive Mehrkosten der Maßnahme Z = jährliche Zusatzkosten z.B. für Wartung E_0 = jährlicher Endenergieverbrauch vor Modernisierung E_M = jährlicher Endenergieverbrauch nach Modernisierung Bei Energieträgerwechsel (z.B. von Öl zu Strom) müssen die "Kosten der substituierten kWh Endenergie" berechnet werden. Beschreibung siehe Methodenkonvention/Hintergrundbericht S. ?
Beschreibung Vergleichsgröße	Die Kosten Pein der eingesparten kWh Energie werden mit dem mittleren zukünftigen Energiepreis P verglichen. Eine Energiesparmaßnahme kann unter den getroffenen Annahmen dann als wirtschaftlich bezeichnet werden, wenn gilt: $P_{ein} < P$ d.h. wenn die Kosten der eingesparten kWh Endenergie kleiner sind als der mittlere zukünftige Energiepreis. Der mittlere zukünftige Energiepreis als Vergleichsgröße kann entweder frei gewählt oder berechnet werden. Zur Berechnung wird neben dem Kalkulationszinssatz und

Beispiel: Formblatt

Methode	**Äquivalenter Energiepreis / Kosten der eingesparten Kilowattstunde**			
Name und Jahr der Studie	IWU-EXCEL-Tool (2022)			
Flächenbezug	m² Bauteilfläche			
		J/N	**Beschreibung**	**Begründung**
Unterscheidung Anwendungsfälle	im Kontext des Wirtschaftlichkeitsgebots	☑		
	im Kontext einer individuellen Planungs- und Entscheidungsunterstützung	☐		
Eingenommene Akteurssicht	Selbstgenutzes Eigentum	☑	Einzeleigentümer	
	Öffentliche Hand	☐		
Perspektive der Betrachtung	einzelwirtschaftlich	☑		Empfehlung MeKoWi
	gesamtwirtschaftlich	☐		für diese Methode nicht möglich
Gegenstand der Betrachtung	Einzelmaßnahme	☑	24 cm Dämmung Außenwand WDVS	
	Maßnahmenpakete	☐		
	Neubau	☐		
	Bestand	☑		
	Wohngebäude	☑	EFH	
	Nichtwohngebäude	☐		
Ansatz von Preisen und Zinsen	Differenzkosten (Mehrkosten)	☑	energiebedingte Mehrkosten	Empfehlung MeKoWi (Kopplungsprinzip)
	Vollkosten	☐		
	nominal	☐	nicht inflationsbereinigt	
	real	☑	inflationsbereinigt	Empfehlung MeKoWi (Selbstnutzer)
	brutto	☑	mit MwSt.	Empfehlung MeKoWi (kein Vorsteuerabzug möglich)
	netto	☐	ohne MwSt.	

Methodenkonvention

Formblätter:

Methoden
Aufwand
Nutzen
Randbedingungen
…

			J/N	Wert	Einheit	Datenquellen
	A.1	**Investitionskosten der Maßnahmen**				
	A.1.1	*Bau(werks-)kosten*				
	A.1.1.1	KG 300 Baukonstruktionen (u.a. Wärmedämmung / Fenster / Zusatzkosten)	☐			
	A.1.1.1.1	Ohnehinkosten (Instandsetzungsanteil / Kosten der Referenzvariante)	☐			
	A.1.1.1.2	*Energiebedingte Mehrkosten (Mod.anteil / Mehrkosten geg. Referenz)*	☑	126	€/m²Btf.	IWU-Kosten 2015 mit Regional-faktor (hochgerechnet auf 2022)
	A.1.1.2	KG 400 Technische Anlagen (u.a. Heizung / Lüftung)	☐			
	A.1.1.2.1	Ohnehinkosten (Instandsetzungsanteil / Kosten der Referenzvariante)	☐			
	A.1.1.2.2	Energiebedingte Mehrkosten (Mod.anteil / Mehrkosten geg. Referenz)	☐			
	A.1.2	Planungskosten	☐			
	A.1.3	Kosten für Beratung / Baubegleitung	☐			
	A.1.4	Materialkosten bei Eigenleistung	☐			
	A.1.5	Aufwand zur Erfüllung von Bauherrenaufgaben (z.T. Eigenleistung)	☐			
		...	☐			
Kategorien Aufwand	**A.3**	**Weitere Nutzungs- / Folgekosten**				
	A.3.1	Finanzierungs-/Kapitalkosten	☑	5,26	€/m²Btf.a	annuitätische Kosten f. Zins und Tilgung
	A.3.2	Kosten für Wartung, Inspektion und Instandsetzung	☐			
	A.3.3	Kosten für Ersatzinvestitionen	☐			
	A.3.4	Kosten für Rückbau und Entsorgung	☐			
	A.3.5	Sonstige laufende Kosten (z.B. Versicherungen, Hilfsenergie)	☐			
		...	☐			
	A.5	**Entgangener Restwert vorzeitig ausgebauter Bauteile und Anlagen**				
	A.5.1	Restwert vorzeitig ausgebauter Bauteile (thermische Hülle)	☐			
	A.5.2	Restwert vorzeitig ausgebauter Anlagen (Heizung / Lüftung)	☐			
		...	☐			
	A.6	**Gesamtwirtschaftlicher Aufwand - monetär (optional)**	☐			
	A.6.1	Externe Klima-/Umweltkosten (nicht internalisiert)	☐			
	A.6.2	Externe Kosten z.B. der Bauprodukte (nicht internalisiert)	☐			
		...	☐			

			J/N	Wert	Einheit	Datenquellen
	R.1	**Kalkulationszinssatz und ggf. Finanzierungsrandbedingungen**				
	R.1.1	Kalkulationszinssatz	☑	1,50	%/a real	Empfehlung MeKoWi Hintergrundbericht
	R.1.2	Zinssatz Fremdkapital	☐		%/a	
	R.1.3	Zinssatz Eigenkapital	☐		%/a	
	R.1.4	Anteil Eigenkapital	☐		%	
		...	☐			
	R.2	**Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsrechnung**				
	R.2.1	Betrachtungszeitraum bei Maßnahmenpaketen	☐		Jahre	
	R.2.2	Betrachtungszeitraum bei Einzelmaßnahmen	☑	30	Jahre	Empfehlung MeKoWi Hintergrundbericht
		...	☐			
	R.3	**Lebensdauern der Maßnahmen**				
	R.3.1	rechnerische (technische) Lebensdauern Bauteile Hülle (ggf. aufschlüsseln)	☑	30	Jahre	BBSR Lebensdauertabelle
	R.3.2	rechnerische (technische) Lebensdauern Anlagentechnik (ggf. aufschlüsseln)	☐		Jahre	
		...	☐			
	R.4	**Preissteigerungsraten**				
	R.4.1	Allgemeine Inflationsrate (ggf. zur Berechnung realer Größen)	☑	2,0	%/a	Empfehlung MeKoWi Langfristziel EZB
	R.4.2	Aktualisierung Baukosten (allgemein)	☑	38,0	%	Baupreisindex (pauschale Steigerung seit 2015)
Randbe-dingungen	R.4.3	Anpassung Baukosten (regional)	☑	5,0	%	BKI-Regionalfaktor Stadtkreis X
	R.4.4	Preissteigerungsraten Energie (ggf. für einzelne Energieträger)				
	R.4.4.1	Preissteigerungsrate Energieträger 1	☑	0,50	%/a real	individuelle Annahme (ohne CO2-Preis)
	R.4.5	Preissteigerungsrate CO2-Preis (internalisiert)	☑	2,05	%/a real	Umrechnung CO2-Bepreis-ung in jährliche Rate (real)
	R.4.6	Preissteigerungsraten für Wartung, Inspektion und Instandsetzung	☐		%/a	
	R.4.7	Preissteigerungsraten für Ersatzinvestitionen	☐		%/a	
	R.4.8	Preissteigerungsraten für sonstige laufende Kosten (z.B. Versicherungen)	☐			
	R.4.9	Preissteigerungsrate externe Kosten (noch nicht internalisiert)	☐			
		...	☐			
	R.5	**Heutige Preise**				
	R.5.1	Heutige Energiepreise der eingesetzten Energieträger				
	R.5.1.1	Heutiger Preis Energieträger 1 (Grundpreis)	☐		€/a / €/kW	
	R.5.1.2	Heutiger Preis Energieträger 1 (Arbeitspreis)	☑	8,68	Cent/kWh	nach www.tescon.de (Abfrage 01.01.2022).
	R.5.2	Heutige CO2-Preise der eingesetzten Energieträger				
	R.5.2.1	Heutiger CO2-Preis Energieträger 1	☑	0,95	Cent/kWh	davon-Position vom Arbeitspreis (brutto)
	R.5.3	Externe Klima-/Umweltkosten (nicht internalisiert)	☐			
	R.5.4	Externe Kosten z.B. der Bauprodukte (nicht internalisiert)	☐		€/Einheit	
		...	☐			

Agenda

- Projektteam, Projektziele und Arbeitsstand
- **Darstellung ausgewählter Projektinhalte**
  - Akteursbezug bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen
  - Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Beispiele)
  - Umgang mit externen Kosten und CO_2-Preisen
  - Umgang mit Unsicherheiten

Hinweise auf externe Kosten im Entwurf zur EPBD

"*Article 6 (ex-Article 5) on the* ***calculation of cost-optimal levels*** *is aligned to the Green Deal, specifying that the* ***costs of greenhouse gas allowances*** *as well as* ***environmental and health externalities of energy use*** *are to be considered* ***when determining the lowest costs****. The Commission will revise the cost-optimal methodology by 30 June 2026*."
(Entwurf zur EPBD, 15.12.21)

Wird die EC die Berücksichtigung externer Kosten bei der Entwicklung von Anforderungsniveaus vorgeben?

„Artikel 6 (ex-Artikel 5) über die Berechnung der **kostenoptimalen Niveaus** wird mit den Zielen des Grünen Deals synchronisiert, indem festgelegt wird, dass die **Kosten von Treibhausgasemissionszertifikaten** sowie die **externen Effekte des Energieverbrauchs in den Bereichen Umwelt und Gesundheit** bei der **Bestimmung der niedrigsten Kosten** zu berücksichtigen sind. Die Kommission wird die Methode zur Berechnung der kostenoptimalen Niveaus bis zum 30. Juni 2026 überarbeiten."
(Entwurf zur EPBD, 15.12.21)

Empfehlung zum Einbeziehen externer Kosten

Für den Umgang mit externen Kosten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung ausgewählter Akteursgruppen wird folgender Vorschlag unterbreitet:

Akteurstyp	**Perspektive**	**Einbezug externer Effekte**
Privat	einzelwirtschaftlich	Auf freiwilliger Basis
Institutionell	einzelwirtschaftlich	Empfehlenswert als generelle Zusatzbetrachtung
Öffentlich	gesamtwirtschaftlich	Obligatorisch und handlungsleitend

„Zusätzliche“ Schattenpreise

- Ein Preis für CO_2 stellt bereits eine erste Reaktion auf externe Effekte dar und bezieht Teile der Klimakosten zahlungswirksam ein.
- Ein „zusätzlicher“ Schattenpreis als kalkulatorischer Zuschlag sollte sich an der Differenz zwischen den kompletten Klimakosten und dem jeweiligen CO_2 Preis orientieren. Beide unterliegen einer dynamischen Entwicklung.

Jahr	Klimakosten in €/t CO_2, Zeitpräferenz-rate 1 % (Umwelt-bundesamt 2021)	CO_2-Preis in €/t CO_2 (BEHG § 10)	Differenz als möglicher Wert für einen Schattenpreis
2020	199	-	**199**
2021	201	25	**176**
2022	203	30	**173**
2023	205	35	**170**
2024	207	45	**162**
2025	210	55	**155**
2030	219	?	?
2035	228	?	?
2040	237	?	?
2045	246	?	?
2050	255	?	?

Quelle: Eigene Darstellung

Für Wirtschaftlichkeits-rechnungen entsteht ein Bedarf an einer mittel-fristigen Prognose der CO_2-Preise.

CO_2-Bepreisung (Projektionen; Bsp. Heizöl)

- Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung sind Annahmen zu treffen, wie sich der CO_2-Preis z.B. in den nächsten 25 Jahren entwickelt.
- Szenario 1: keine weitere Steigerung ab 2025 (Preis bleibt bei 55 €/t CO_2)
- Szenario 2: Für die Zeit ab 2027 nimmt der Projektionsbericht 2021 für Deutschland eine jährliche Steigerung um 15 € (nominal) an (bis 275 €/t CO_2 in 2040)
- Für beide Fälle lassen sich konstante jährliche Raten für die Steigerung des CO_2-Preises berechnen.

Jahr	CO_2-Preis in €/t CO_2 (BEHG § 10)	CO_2-Preis in Cent/kWh* (Heizöl; ohne MwSt.)	CO_2-Preis in Cent/kWh* (Heizöl; mit MWSt.)
2020	-	-	-
2021	25	0,67	0,79
2022	30	0,80	0,95
2023	35	0,93	1,10
2024	45	1,20	1,42
2025	55	1,46	1,74
2026	65	1,73	2,06
2030	125	3,33	3,96
2035	200	5,32	6,33
2040	275	7,32	8,70
2045	275	7,32	8,70
2050	275	7,32	8,70

Quelle: Eigene Darstellung

* Umrechnung in Cent/kWh mit CO2-Faktor nach BAFA: 0,266 tCO2/MWh

Energie- und CO_2-Preis (Heizöl; brutto; 1/2022)

8,68 Cent/kWh

CO2-Preis:
0,95 Cent/kWh

Energiepreis
(ohne CO2-Preis):

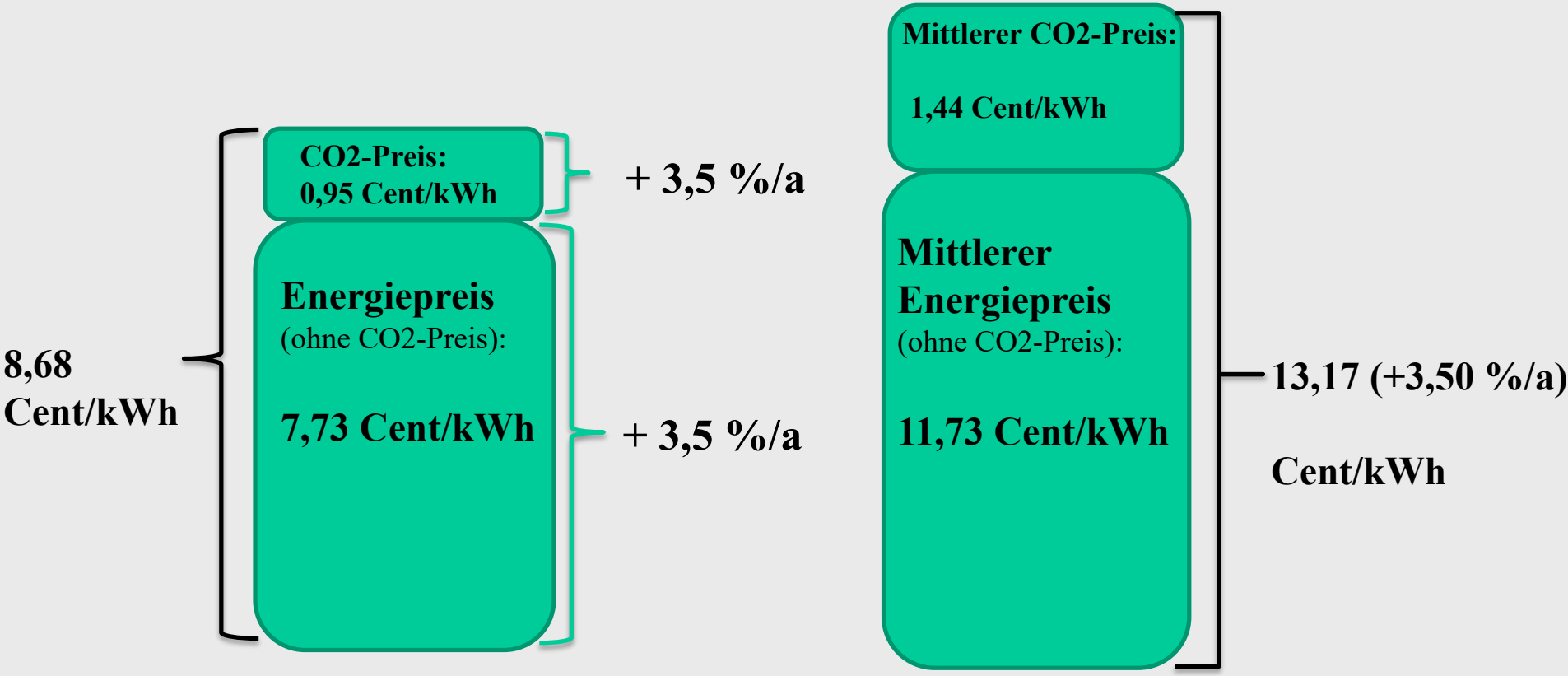
7,73 Cent/kWh

t = 0
2022

Mittlerer Energiepreis (mit CO2-Preis)?

t = ?

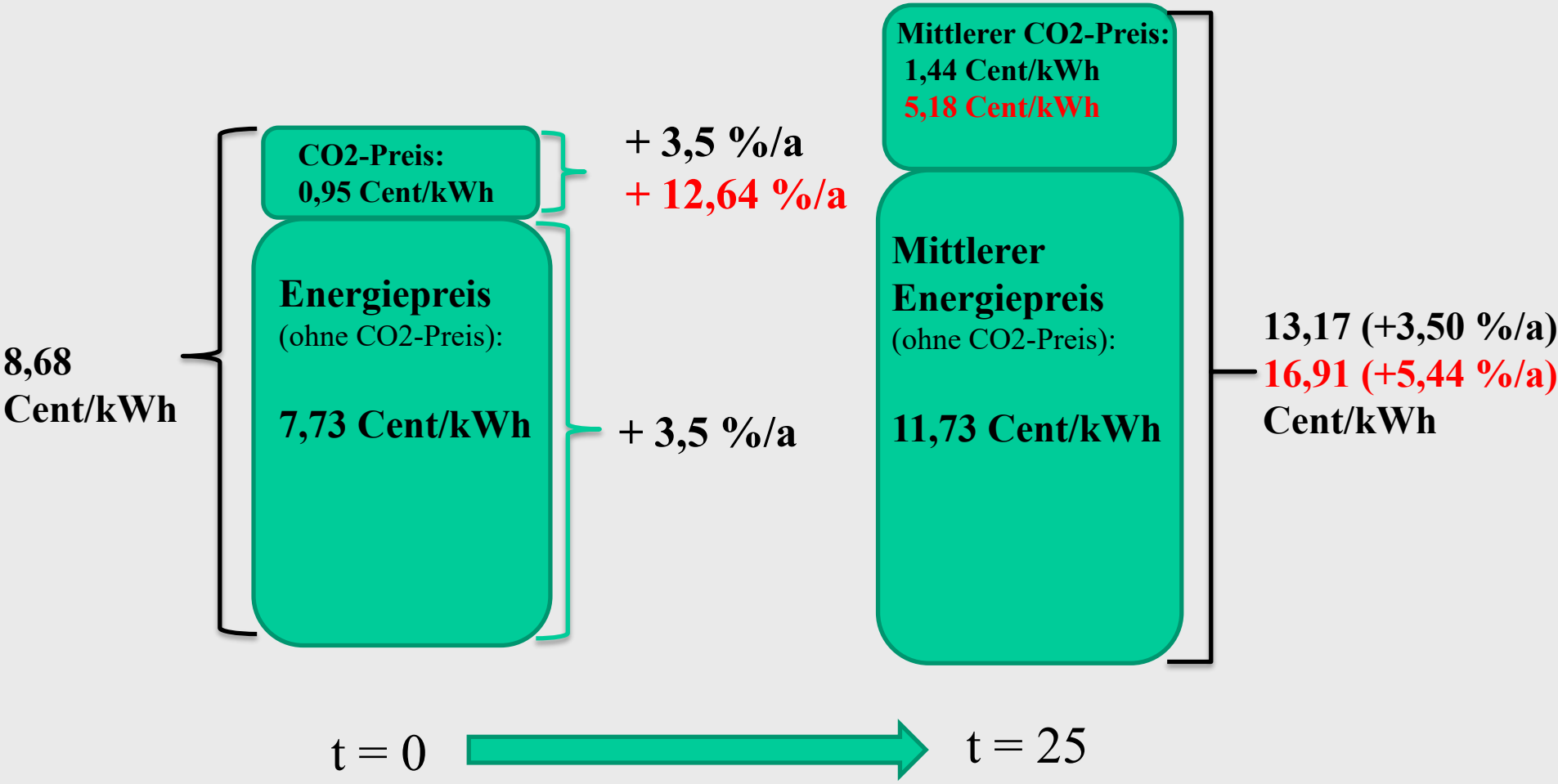
Energie- und CO_2-Preis (Entwicklung)



t = 0 → t = 25

Bei nominaler Betrachtung (Zins: 3,5%/a)

Energie- und CO_2-Preise (Entwicklung; Szenario 2)



Bei nominaler Betrachtung (Zins: 3,5%/a)

Agenda

- Projektteam, Projektziele und Arbeitsstand
- **Darstellung ausgewählter Projektinhalte**
  - Akteursbezug bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen
  - Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Beispiele)
  - Umgang mit externen Kosten und CO2-Preisen
  - Umgang mit Unsicherheiten

Unsicherheiten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen

Beispiele für Eingangsgrößen	Veränderung Unsicherheit	Klassifikation		Berücksichtigung in Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
		Systematisch	Quantifizierbar	
Energiepreise	↗	✓	(✓)	
CO2-Preis	↗	✓	(✓)	
Baupreise	↗	✓	(✓)	
Zinssätze	↗	✓	(✓)	
Förderkonditionen	?	✓	×	
Klimatische Bedingungen	→	✓	(✓)	
Extremwetterereignisse	↗	✓	(✓)	
Emissionsfaktoren	→	✓	(✓)	
Energetische Qualität	→	×	✓	
…				

Gegenstand des Projekts

- ▶ Die Anzahl der Eingangsgrößen bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen nimmt zu
- ▶ Die Unsicherheit bei Eingangsgrößen nimmt zu
- ▶ Wie robust ist das Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsrechnung?

Möglichkeiten zum Umgang mit Unsicherheiten

- Klassische Verfahren zum Umgang mit Unsicherheit z.B.
  - Sensitivitätsanalyse
  - Szenarioanalyse
- Vorteile
  - Einfache Durchführung
  - Wesentliche Einflussparameter können identifiziert werden
- Probleme
  - Hoher Aufwand bei hoher Anzahl von Eingangsgrößen
  - keine Zuweisungen von Wahrscheinlichkeiten

Empfehlung: Monte-Carlo-Simulation

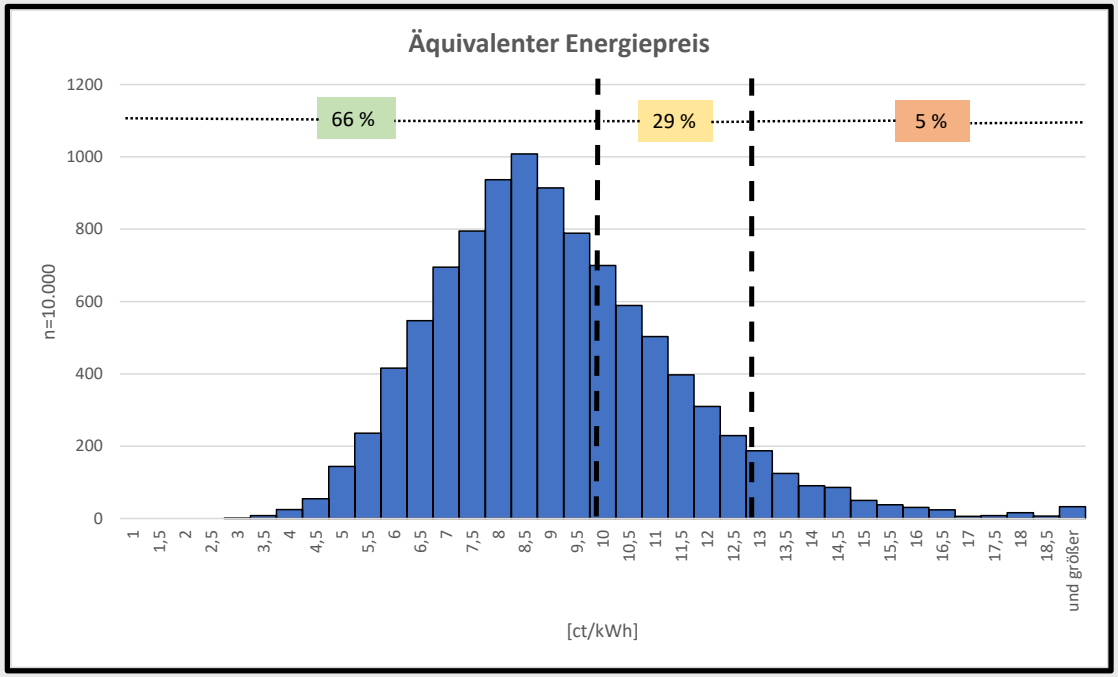
- Alternative: Monte-Carlo-Simulation

> *Eine Monte-Carlo-Simulation entspricht einer stochastischen Szenarioanalyse, bei der für Eingangsgrößen statistische Verteilungen zugrunde gelegt werden. Auf Basis dieser werden für eine Vielzahl von Berechnungsdurchläufen Zufallszahlen gebildet. Das Resultat ist eine Bandbreite von möglichen Ergebniswerten, die unterschiedlich oft eintreten.*

- Einsatz eignet sich insbesondere bei hoher Unsicherheit und hoher Zahl von Einflussgrößen
- Anwendungen in der Praxis: Risikoermittlungen im Finanzmarkt, Klimamodellierung, …
- Anwendung im Kontext der Wirtschaftlichkeits-berechnung wird in erster Linie für die öffentliche Hand empfohlen (evtl. auch institutionelle Akteure)

Vorgehensweise Monte-Carlo-Simulation

Input
- Berechnungsmethode
- Verteilungsart Eingangsgrößen
- Daten: Verteilungsparameter



Möglichkeiten zur Beurteilung der Sensitivität
- Ändern der Verteilungsparameter einzelner Eingangsgrößen und Beobachtung der Ergebnisse
- Ändern der Verteilungsparameter mehrerer Eingangsgrößen und Beobachtung der Ergebnisse
- Berücksichtigung von Korrelationen zwischen Eingangsgrößen (entweder durch Anpassung der Rechenmethodik oder durch Regressionsanalysen)

Handlungsempfehlungen und Ausblick

- Formulierungen des Wirtschaftlichkeitsgebots präzisieren
- Dokumentation in Forschungsberichten ergänzen
- Grundsatzentscheidung zum Umgang mit Schattenpreis
- Daten (u.a. Preissteigerung) bei Finanzministerium anfordern
- Beachtung von Bandbreiten/Unsicherheiten einführen
- Überprüfung bisheriger Wirtschaftlichkeitsaussagen

Es besteht weiterer Forschungsbedarf zum Umgang mit Unsicherheiten und dynamischen Betrachtungen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!