

11.-13. Februar 2026
EnInnov 2026

Heidi Hottenroth
Prof. Dr. Ingela Tietze

Vergleich der Kosten und Umweltwirkungen
verschiedener Dämmstandards am Beispiel
eines Neubauquartiers

Agenda

- Fragestellung
- Methoden
- Fallstudie
 - Parameter und Annahmen
 - Ergebnisse
- Diskussionspunkte und Unsicherheiten
- Schlussfolgerungen

Welcher Dämmstandard bei Neubauten?

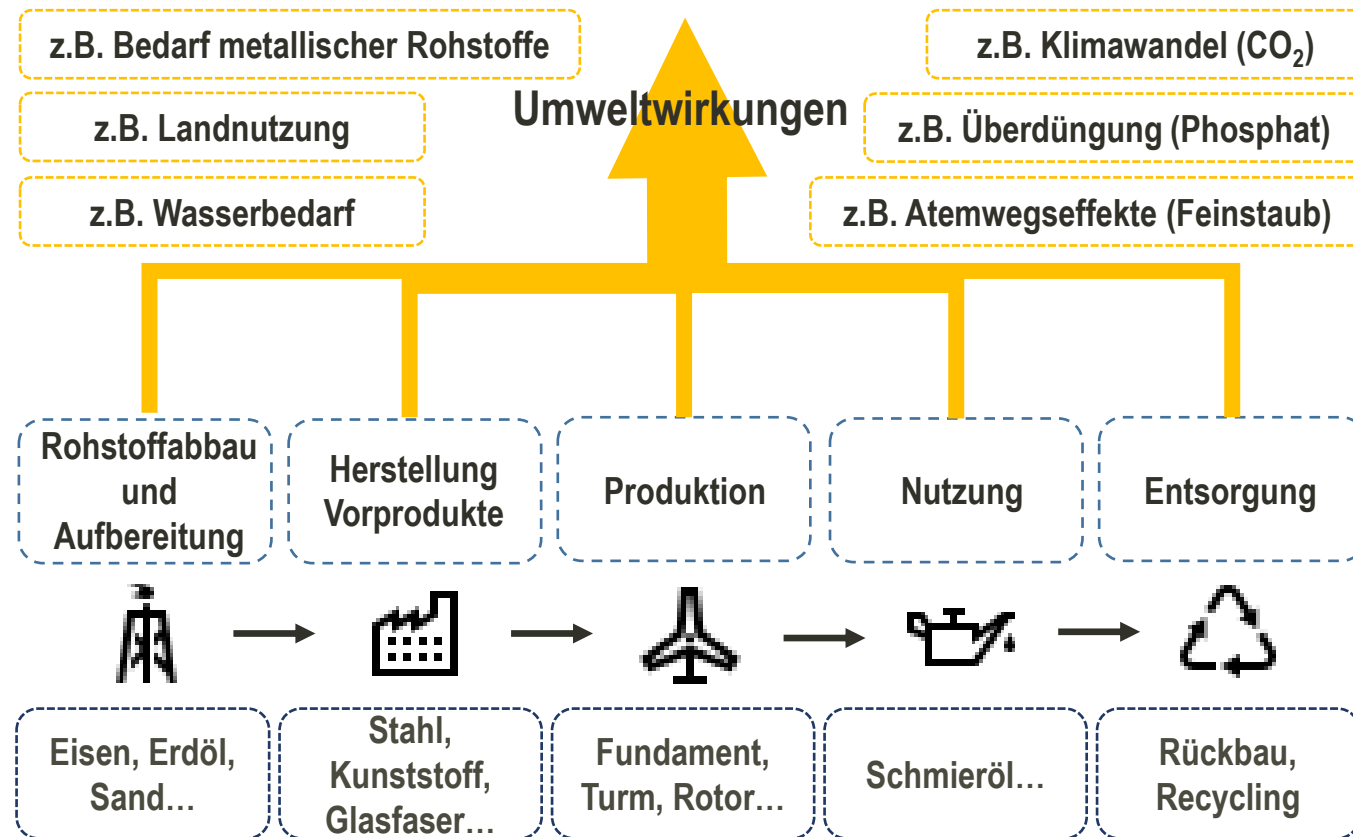
- Deutschland: Gebäude könnten im Effizienzhaus 40- oder 55-Standard errichtet werden → Unterschiede bei Wärmebedarf und Gebäudehülle
- **Effizienzhaus 40 (EH40):**
 - Gebäude darf nur 40 % der Energie eines Referenzgebäudes nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) benötigen
 - Sehr hoher Energiestandard für Neubauten und Sanierungen
- **Effizienzhaus 55 (EH55):**
 - Gebäude darf 55 % der Energie eines Referenzgebäudes nach GEG benötigen
 - Vergleichbar mit österreichischem Niedrigenergiehaus
- Wie unterscheiden sich EH 40 und EH55 über einen Zeitraum von 20 Jahren
 - in Bezug auf die Lebenszykluskosten?
 - in Bezug auf die Gesamtumweltwirkungen?

Überblick Vorgehen und Methoden

Vorgehen

- Ermittlung Kosten und Umweltwirkungen für Wärmeerzeugung für EH40 u. EH55
 - Mehrkriterielle Energiesystemoptimierung mit integriertem Life Cycle Assessment
- Ermittlung Mehraufwand Dämmung für EH40
 - in Bezug auf Umweltwirkungen
 - in Bezug auf Kosten
- Skalierung Mehraufwand Dämmung auf Betrachtungszeitraum (hier 20 Jahre)
- Skalierte Kosten und Umweltwirkungen zu Modellergebnissen für EH40 addieren
- Vergleich von lebenszyklusbasierten Kosten und Umweltwirkungen für EH40 und EH55

Methode 1: Ökobilanzierung/Life Cycle Assessment (LCA)



Umweltwirkungen
über den gesamten
Lebenszyklus
eines Produktes
ermitteln

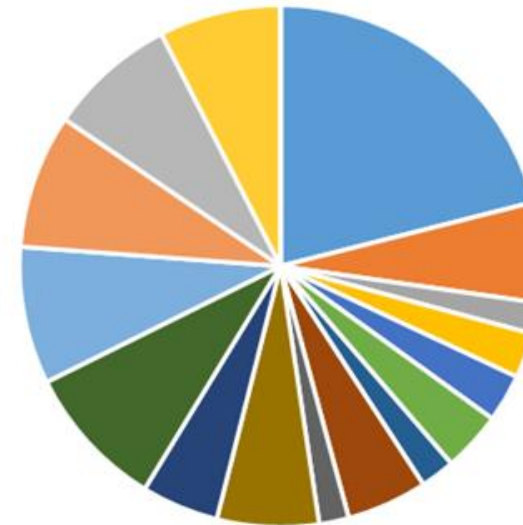
EU Environmental Footprint: Aggregation Umweltwirkungen auf Einzelwert

Normierung

Summe aller weltweiten Umweltwirkungen je Indikator im Jahr 2010		
Indikator	Welt 2010	
Klimawandel/Treibhauspotenzial	8.94E+13	kg CO ₂ -Äq
Versauerung	4.93E+11	mol H ⁺ -Äq
Ökotoxizität	2.66E+13	CTUe
Eutrophierung, Süßwasser	1.59E+10	kg P-Äq
Eutrophierung, Meer	1.99E+11	kg N-Äq
Eutrophierung, Boden	1.57E+12	mol N-Äq
Humantoxizität, kanzerogen	8.67E+04	CTUh
Ionisierende Strahlung	2.63E+13	kBq U-235-Äq
Humantoxizität, nicht-kanzerogen	1.07E+06	CTUh
Ozonschichtzerstörung	1.86E+08	kg CFC-11-Äq
Photochemisches Oxidantienpotenzial	2.85E+11	kg NMVOC-Äq
Atemwegseffekte (Feinstaub)	7.34E+06	Krankheitsfälle
Wasserverbrauch	7.14E+13	m ³ Wasser-Äq
Fossile Ressourcen	5.19E+14	MJ
Landnutzung	8.31E+15	Punkte
Mineralien u. metall. Ressourcen	4.60E+08	kg Sb-Äq

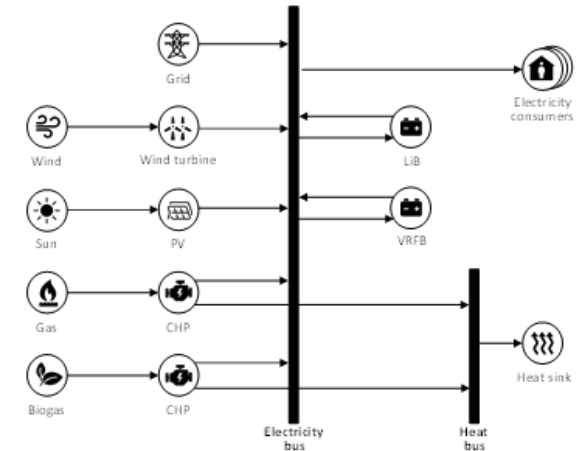
Gewichtung

Env. Footprint (EF)



Methode 2: Energiesystemmodellierung

- Planung eines Energiesystems (mit minimalen Kosten)
- Deckung einer vorgegebenen Strom- und Wärmefachfrage in zeitlicher Auflösung
- Berücksichtigung von
 - technischen Parametern: z.B. Wirkungsgraden
 - zeitlich variierenden Parametern:
 - z.B. geringere Stromnachfrage in der Nacht
 - z.B. Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit
- Methode: lineares mathematisches Modell und mehrkriterielle Optimierung von Umweltwirkungen und Kosten über gewichtete Summe
- Ergebnis:
 - Einsatzplanung von Anlagen: Wann wird welche Anlage wie genutzt?
 - Investitionsplanung: In welche zusätzlichen Anlagen soll investiert werden?



Fallstudie – Eingangsparameter und Annahmen

Rahmenbedingungen

- Innerstädtisches Neubauquartier in Konstanz (in Planung)
- Blockrandbebauung, mehrgeschossig
- Überwiegend Wohnungen (ca. 220 WE)
- 6200 m² Grundfläche
- Ziel: treibhausgasneutrale Wärmeversorgung
- Zeithorizont der Energiesystemmodellierung: 20 Jahre



Eingangsdaten Wärmebedarf für Energiesystemmodell

- Jährliche Wärmebedarfe

		Wohnen EH55	Wohnen EH40	Gewerbe
Nutzfläche	m ²	15428	15428	1277
Raumwärme	MWh	741	571	65
	kWh/m ²	48	37	
Trinkwarmwasser	MWh	386	386	14
	kWh/m ²	25	25	
Quelle		Energiekonzept „Am Horn“ (Konstanz)		www.npro.de

Mehraufwand Dämmmaterial (EPS) für EH40

Gebäudeart/-teil	Hüllfläche (nur Wände inkl. Fenster)	Außenwand (Anteil Fenster = 0,25)	Oberstes Geschoss = Dach	Boden	Gesamt- gebäude
Differenz [m]		0,12	0,18	0,04	
Fläche [m ²]	15.975 [1]	11.981	6.870 [2]	6.870	25.721
Volumen [m ³]		1.438	1.237	275	2.949
Masse [kg] (Dichte = 15 kg/m ³ [3])					44.237
[1] Angaben Planungsbüro					
[2] Ermittelt aus Planungsdaten zur Verfügung gestellt von Herrn Friedrichs, Stadt Konstanz					
[3] Ökologische_Wärmedämmstoffe im Vergleich 2.0, Bauzentrum München, 2013 nach ökobau.dat					

Datensätze aus ecoinvent-Datenbank für Herstellung und Entsorgung:
 market for polystyrene foam slab – GLO (enthält geringen Anteil Sekundärmaterial)
 market for waste expanded polystyrene – CH (Müllverbrennungsanlage)

Mehraufwand Kosten für EH40

Gebäudeart/-teil	Hüllfläche (nur Wände inkl. Fenster)	Außenwand (Anteil Fenster = 0,25)	Oberstes Geschoss = Dach	Boden	Gesamt- gebäude
Differenz [cm]		12	18	4	
Fläche [m ²]	15.975	11.981	6.870	6.870	
spez. Kosten [€ ₂₀₂₁ /cm*m ² Bauteilfläche]		2,73	4,48	3,96	
Kosten [€]		392.139	554.493	108.830	1.055.461
Quelle: Mahler, Idler, Nusser (2019): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Steinbeis-Transferzentrum für Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Fraunhofer IBP, Stuttgart im Auftrag des UBA (Kosten 2015)					

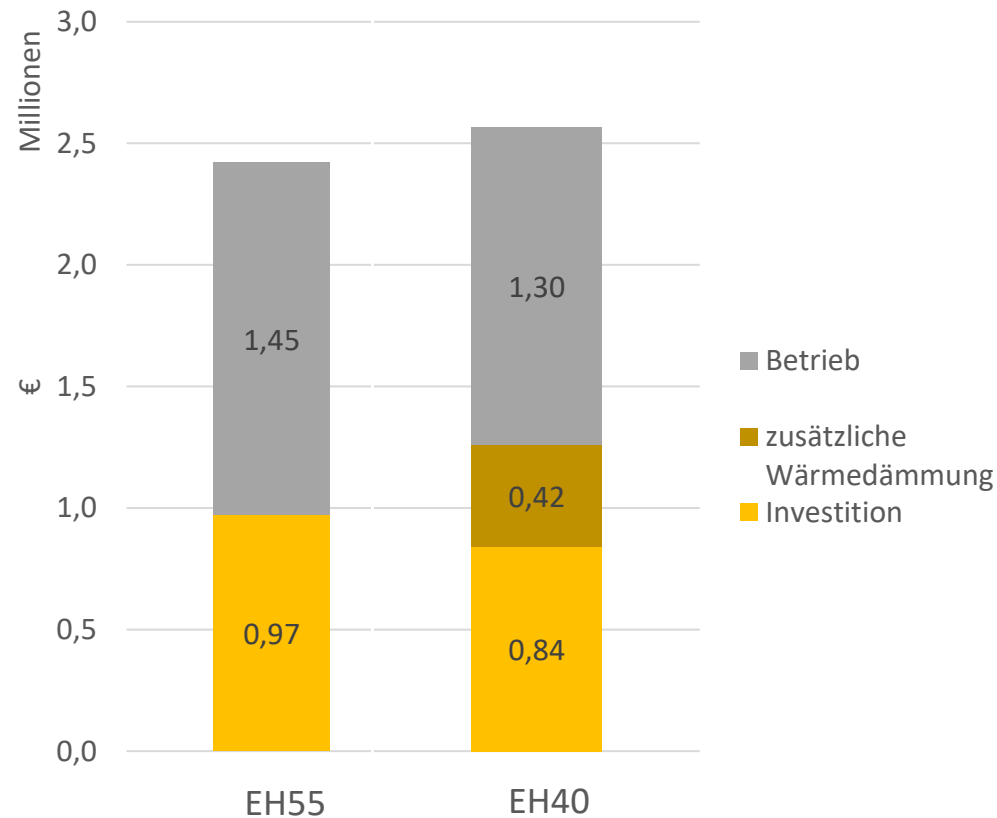
- Quelle für Kosten von 2015
- Umgerechnet auf Preise für 2021
- Keine Kosten für Entsorgung berücksichtigt

Skalierung Kosten und Umweltwirkungen auf Betrachtungszeitraum

- Annahme für Lebensdauer Dämmung: 50 Jahre
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Zusätzliche Kosten für Dämmung:
 $1.055.461 \text{ €} / 50 \text{ a} * 20 \text{ a} = 422.185 \text{ €}$
- Gleiches Vorgehen für Umweltwirkungen:
Beispiel Treibhauspotenzial
 $7,4 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/kg} * 44.237 \text{ kg} / 50 \text{ a} * 20 \text{ a} = 131.437 \text{ kg CO}_2\text{-Äq}$
- Generelle Anmerkung zu Investitionen:
Zeitwert des Geldes bleibt unberücksichtigt,
analog zu Umweltwirkungen, die zum Zeitpunkt der Investition anfallen
und nicht in der Zukunft

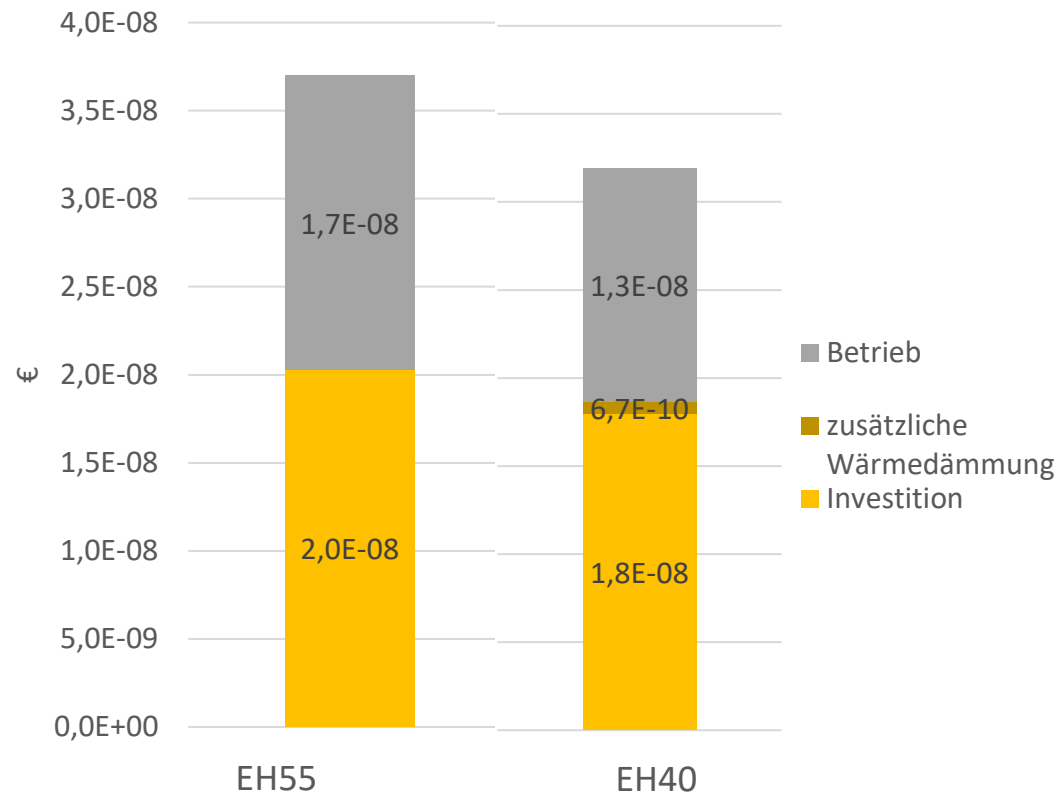
Ergebnisse

Gesamtkostenvergleich Wärmeerzeugung über 20 Jahre



Bei EH40 Investition in Wärmeinfrastruktur und Betriebskosten geringer, aber keine komplette Kompensation der Kosten für zusätzliche Dämmung

Gesamtumweltwirkungen als Environmental Footprint



- Wärmedämmung hat nur geringen Beitrag
- Deutliche Umweltlastung bei EH40

Diskussionspunkte und Schlussfolgerungen

Diskussionspunkte und Unsicherheiten

- Differenz Dämmstärke zw. EH40 und EH55 korrekt gewählt?
 - Eventuell überschätzt → Kosten würden sich annähern
→ Umweltvorteil EH40 würde steigen
- Berücksichtigung der Kapitalwerte der Investitionen
 - Gesamtkosten würden bei EH40 stärker steigen, da höhere Investitionen
→ Kostenvorteil von EH55 würde steigen

Schlussfolgerungen

- Entscheidung zw. Effizienzstandards verursacht Zielkonflikt zwischen Kosten und Umweltwirkungen
- Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus führt zu anderen Schlussfolgerungen als reine Investitionskostenbetrachtung
- höhere Investition gegenüber Mehrkosten Betrieb wird von unterschiedlichen Akteuren getragen
 - Investor vs. Mieter → sozio-ökonomisches Problem
- Klima- und Umweltwirkungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten: bei EH40 höhere Emissionen zu Beginn, bei EH55 kontinuierlich
- Wärmedämmung führt über den Lebenszyklus betrachtet nicht zu höheren Klima- und Umweltwirkungen
- Insgesamt führen sowohl EH40 als auch EH55 in Kombination mit erneuerbaren Energietechnologien zu einer substantiellen Senkung der Klimawirkung

Ausblick

- Integration der Wärmedämmung als Entscheidungsvariable in Energiesystemmodelle
- Ziel: systematische Analyse und Berücksichtigung von Zielkonflikten
- Bedarf an präziseren Daten zu Materialmengen und Kosten der Dämmung und Abhängigkeit von Dämmstärken und Lastkurven
- Berücksichtigung weiterer Unterschiede zwischen verschiedenen Dämmstandards notwendig
- Maßnahmen zur Senkung der Dämmkosten erforderlich, um das Potenzial besser auszuschöpfen

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

heidi.hottenroth@hs-pforzheim.de

Projekt InPEQt - Integrierte kosten- und lebenszyklusbasierte Planung
dezentraler Energiesysteme für eine energie- und
ressourcenschonende Quartiersentwicklung

Ablauf der Energiesystemmodellierung

Eingangsdaten

Nachfragedaten/Lastgänge

- Elektrizität (inkl. Elektromobilität)
- Wärme

Potenzielle erneuerbare Energien

Techno-ökonomische Anlagen-/Materialdaten

- Investition, fixe und variable Kosten
- Technische Parameter (Wirkungsgrad, Lebensdauer,...)

Wetterdaten

- Außentemperatur, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit

Daten zu Umweltwirkungen

Planungsmodell LAEND

Mehrperiodige **Ausbau- und Einsatzoptimierung** unter Minimierung von

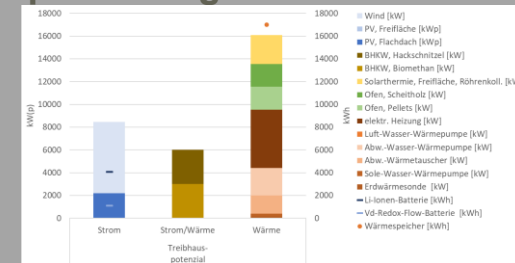
- **Kosten und/oder Umweltwirkungen** mit langfristigem Horizont

Deckung einer vorgegebenen Strom- und/oder Wärmenachfrage in **stündlicher Auflösung**

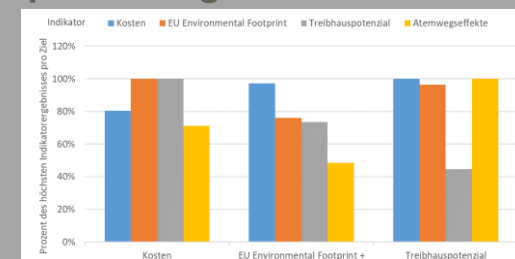
Systemgrenze: Quartier

Ergebnisse

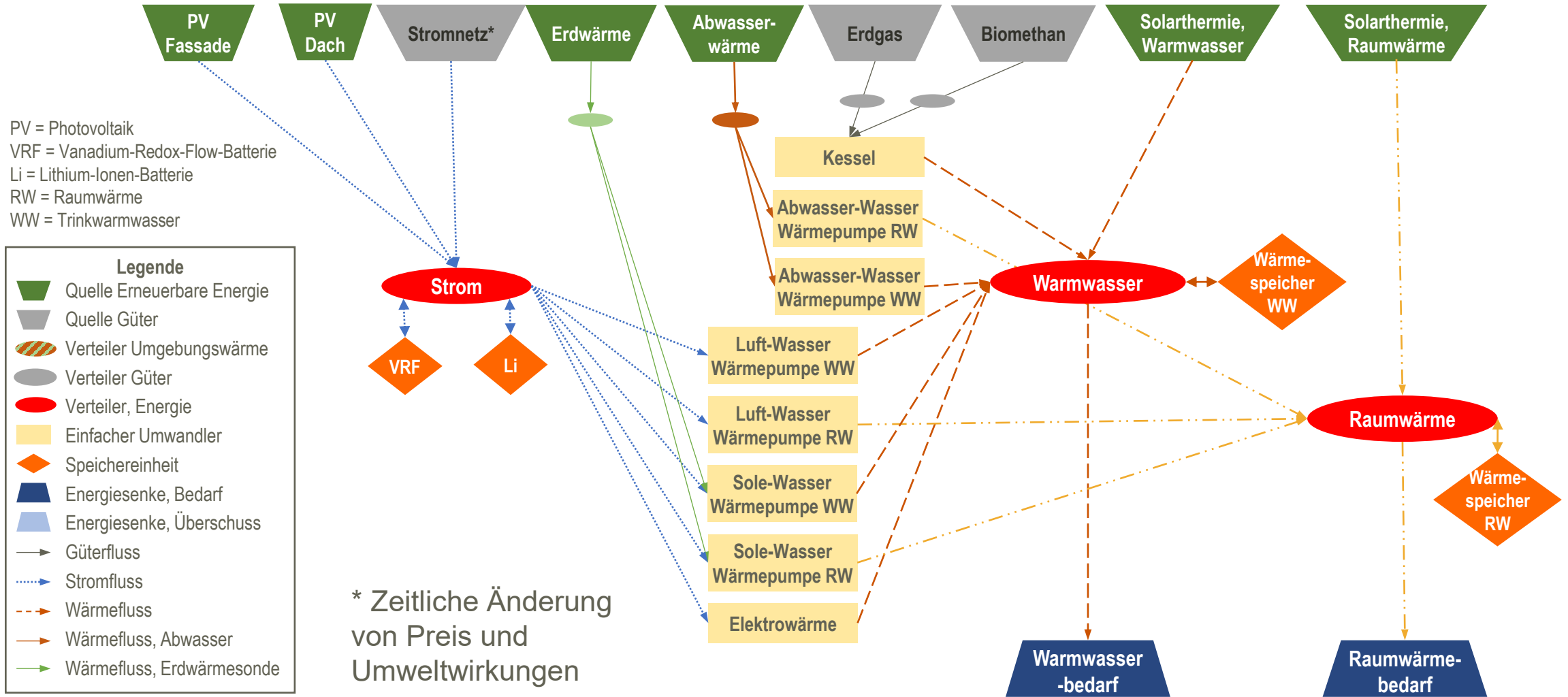
Investitions- und Einsatzplanung der Technologien je Optimierungsziel



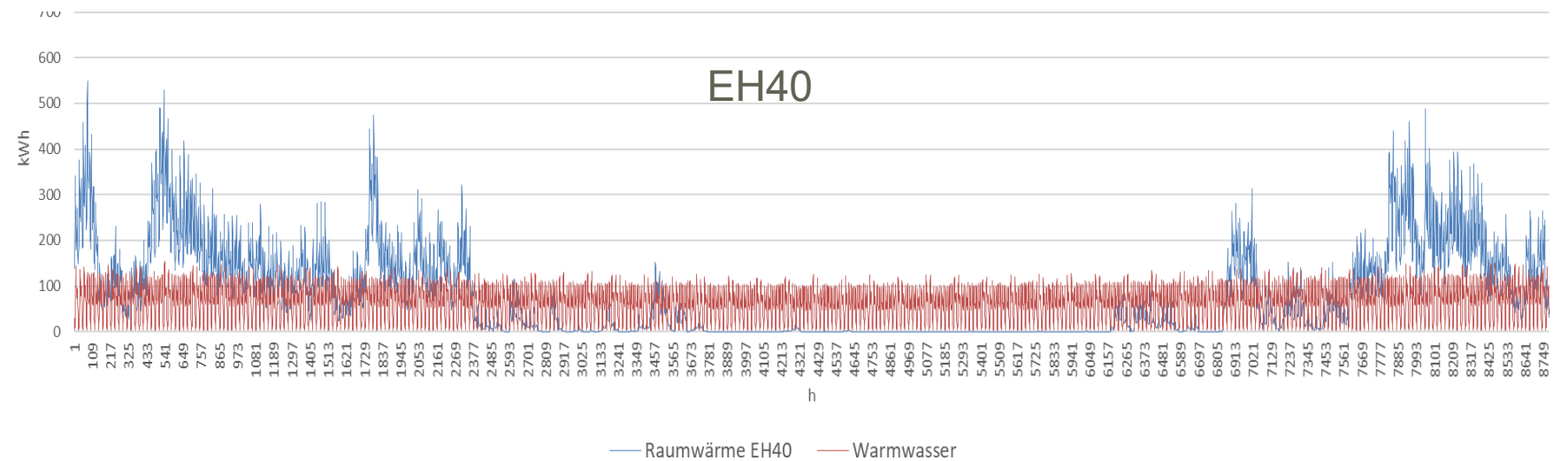
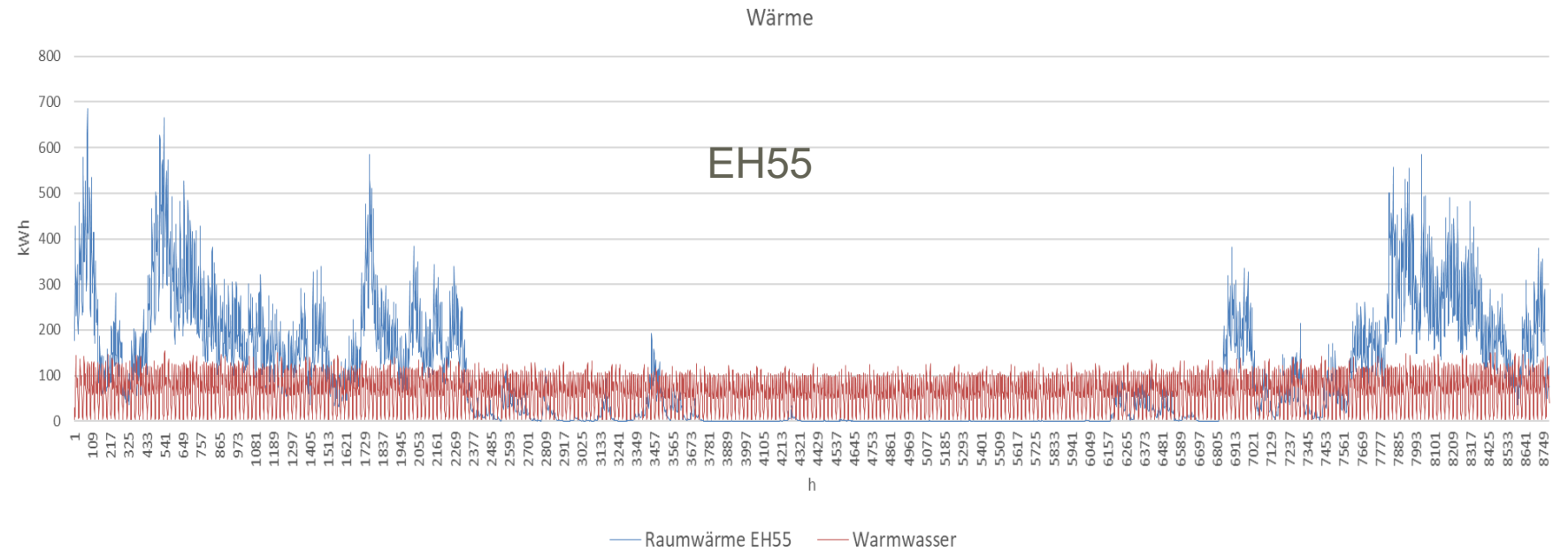
Kosten u. Umweltwirkungen je Optimierungsziel



Modellstruktur/verwendete Technologien



Lastprofile Raumwärme und Warmwasser



generiert mit nPro-Tool

Differenz Dämmmaterial (EPS = Expandiertes Polystyrol) bei Sanierung (Mehrfamilienhaus)

Zusätzliche Dämmungen bei Sanierung	Außenwand [cm]	Oberstes Geschoss [cm]	Boden [cm]
Mittleres Szenario	12	12	8
Fortgeschrittenes Szenario	24	30	12
Differenz	12	18	4
Quelle: Persönliche Mitteilung von Maryam Zirak, HfT Stuttgart und https://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/scientific/BE_TABULA_ScientificReport_VITO.pdf			

Annahme: Differenz = Mehraufwand EH40 im Vergleich zu EH55

Kostenannahmen Strom und Erdgas

	Jahr	Kosten [Euro/kWh]	Quelle
Strom	2023	0,302	[1, 2]
	2028	0,269	[1, 2]
	2033	0,277	[1, 2]
	2038	0,281	[1, 2]
Erdgas	2023	0,122	[3, 4]
	2028	0,086	[3, 4]
	2033	0,097	[3, 4]
	2038	0,113	[3, 4]

[1] https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/heizen-mit-65-prozent-erneuerbaren-energien.pdf?__blob=publicationFile&v=8

[2] www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse, 7/2023

[3] <https://dserver.bundestag.de/btd/20/072/2007290.pdf>

[4] <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-gaspreisanalyse/>, 7/2023

Investitionen

Technologie	Größen- klasse	Einheit	Wartung [€/Einheit]	Investition [€/Einheit]	Umrechnung	Quelle
PV, Flachdach		kWp	26	1309		Fraunhofer ISE (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 11, MW niedrig/hoch (monokristallin)
PV, Fassade		kWp	3	340		Differenzkosten zu Aluminiumfassade nach https://bipv-bw.de/c-bipv-im-planungsprozess/c2-2-wirtschaftlichkeit/
Batterie, Li-Ionen		kWh	25	714		Fraunhofer ISE (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 28, niedrig
Batterie, Vd-Redox-Flow		kWh	25	893		Annahme (20 % höher als Li-Ionen-Batterie)
Luft-Wasser Wärmepumpe	50	kW Heizwärmeleistung	8	548		KEA-BW (2022): Technikkatalog, Tabellen: 3.7.1 Dezentrale_Waermeversorgung_Luft_Wasser_Waermepumpen v1.xlsx, 30 -50 kW (50)
Sole-Wasser-Wärmepumpe	50	kW Heizwärmeleistung	7	478		KEA-BW (2022): Technikkatalog, Tabellen: 3.7.3 Dezentrale_Waermeversorgung_Sole_Wasser_Waermepumpen v1.xlsx, 41-50 kW (50)
Erdwärmesonde	Bis 100	m	0	100	55 W/m	Bosch
Abwasser-Wasser-Wärmepumpe	50	kW Heizwärmeleistung	7	913		Pers. Mitteilung Daniel Siejak, Schäffler-Sinnogy
Abwasserwärmetauscher Flachkollektor		kW	0	1000		Herstellerangabe (Uhrig-Bau)
		m ²	1,5	579		KEA-BW (2022): Technikkatalog, Tabellen v1, 3.9 Dezentrale_Waermeversorgung_Dach-Solarthermie v1.xlsx, 140 kW
Elektrowärme	7	kW	0	362		KEA-BW (2022): Technikkatalog, Tabellen: 3.10 Dezentrale_Waermeversorgung_Stromdirektheizungen v1.xlsx, 7 kW
Erdgas-/Biomethan-Kessel	80	kW	3	107		KEA-BW (2022): Technikkatalog, 3.1 DEzentrale_Waermeversorgung_Gasbrennwertkessel v1.xlsx, 61-80 kW
Pufferspeicher	5000	1000 l	0	750	23 kWh/1000 l (Warmwasser); 103 kWh/ 1000 l (Raumwärme)	KEA-BW (2022): Technikkatalog, Tabellen v1, 5.1 Speichertechnologien_puffer_Tagesspeicher v1.xlsx, 5000l, 15-50a



Überschussstrom aus PV

		0,071 €/kWh
	Überschussstrom [kWh]	Einspeisevergütung über 20 Jahre [€]
EH40	1.841.298	130.732
EH55	2.088.481	148.282

Differenz Dämmmaterial

Zusätzliche Dämmungen nach Medium Szenario (Stärke in cm)						
Gebäudeart/-teil	Außenwand		Fenster	Dachgeschoss	Oberstes Geschoss	Boden
EFH	Expanded polystyrene (EPS 035) 12 cm		Low-E double-glazed window	Glass wool 12 cm - 1958-1968: Glass Wool 8 cm - 1969-1978: Glass Wool 7 cm - 1979-1983: Glass Wool 2 cm - 1984-1994: keine extra Dämmung	Expanded polystyrene (EPS 035) 12 cm	Expanded polystyrene (EPS 035) 8 cm
	vor 1859:	Glass wool 10 cm				
	1949-1957:	Cellulose (loose fill) 6 cm				
RH	Expanded polystyrene (EPS 035) 12 cm					
MFH						
GMH						
HH						
Zusätzliche Dämmungen nach Advanced Szenario (Stärke in cm)						
Gebäudeart/-teil	Außenwand		Fenster	Dachgeschoss	Oberstes Geschoss	Boden
EFH	Expanded polystyrene (EPS 035) 24 cm		Low-E double-glazed window	Glass wool 30 cm - 1958-1968: Glass Wool 26 cm - 1969-1978: Glass Wool 25 cm - 1979-1983: Glass Wool 20 cm - 1984-1994: kein zusätzliche Dämmung	Expanded polystyrene (EPS 035) 30 cm	Expanded polystyrene (EPS 035) 12 cm
RH						
MFH						
GMH						
HH						
Quelle: Persönliche Mitteilung von Maryam Zirak, HfT Stuttgart und https://episclope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/scientific/BE_TABULA_ScientificReport_VITO.pdf						

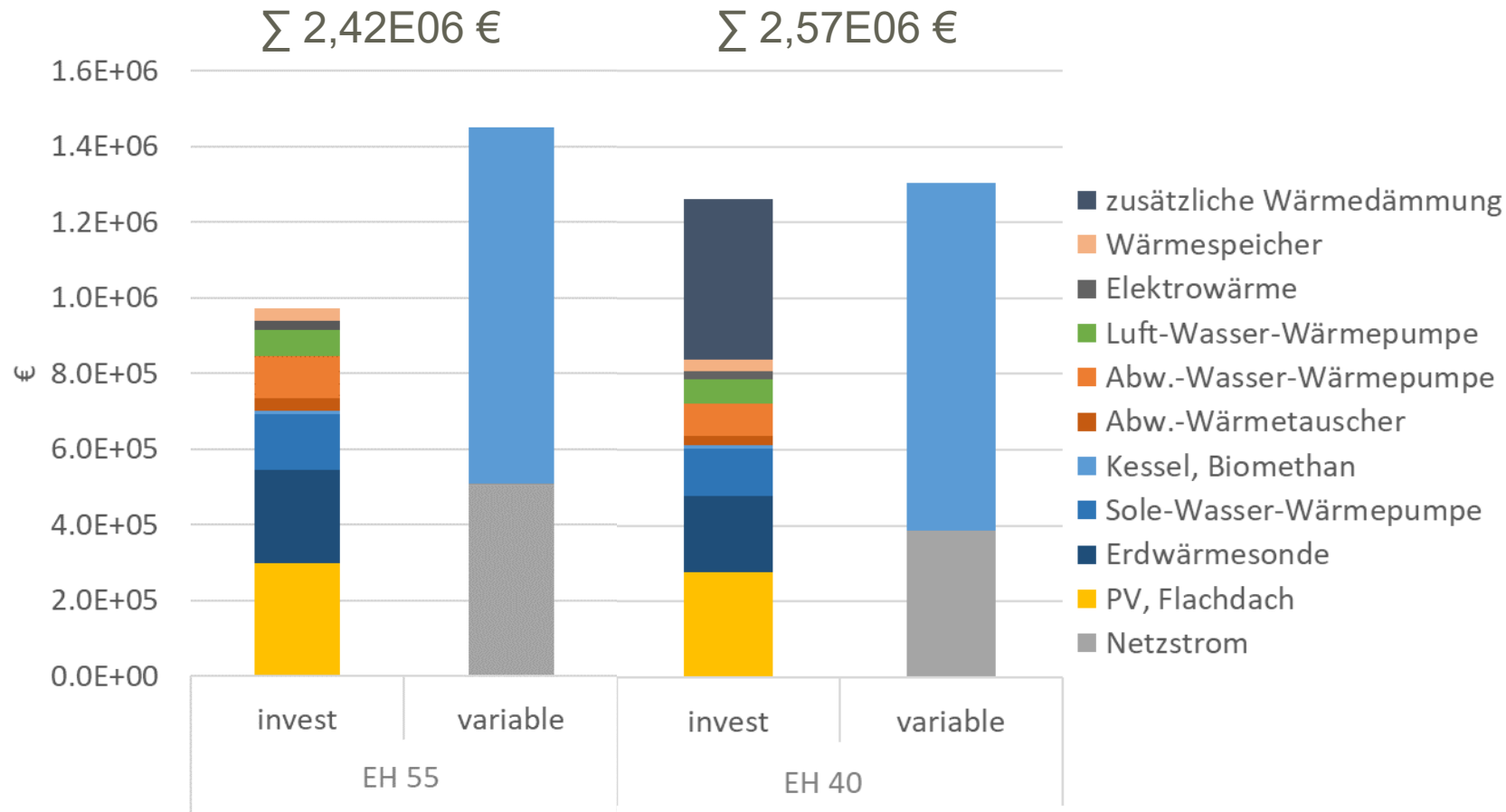
Differenzkosten

- Quelle: Mahler, Idler, Nusser (2019): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Steinbeis-Transferzentrum für Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Fraunhofer IBP, Stuttgart im Auftrag des UBA

	MFH	EFH
	Spezifische Kosten je cm zusätzlicher Dämmschicht [€/cm*m²Bauteilfläche]	
Außenwand	2,50	2,77
Außenwand gg. Erdreich	4,97	-
Dach	2,9 (Aufdachdämmung)	1,12 (Zwischensparrendämmung)
Dachterrasse	4,11	4,11
Boden gegen Erdreich	3,01	3,21
Boden gegen unbeheizt	3,63	-
Wand gegen unbeheizt	3,63	-

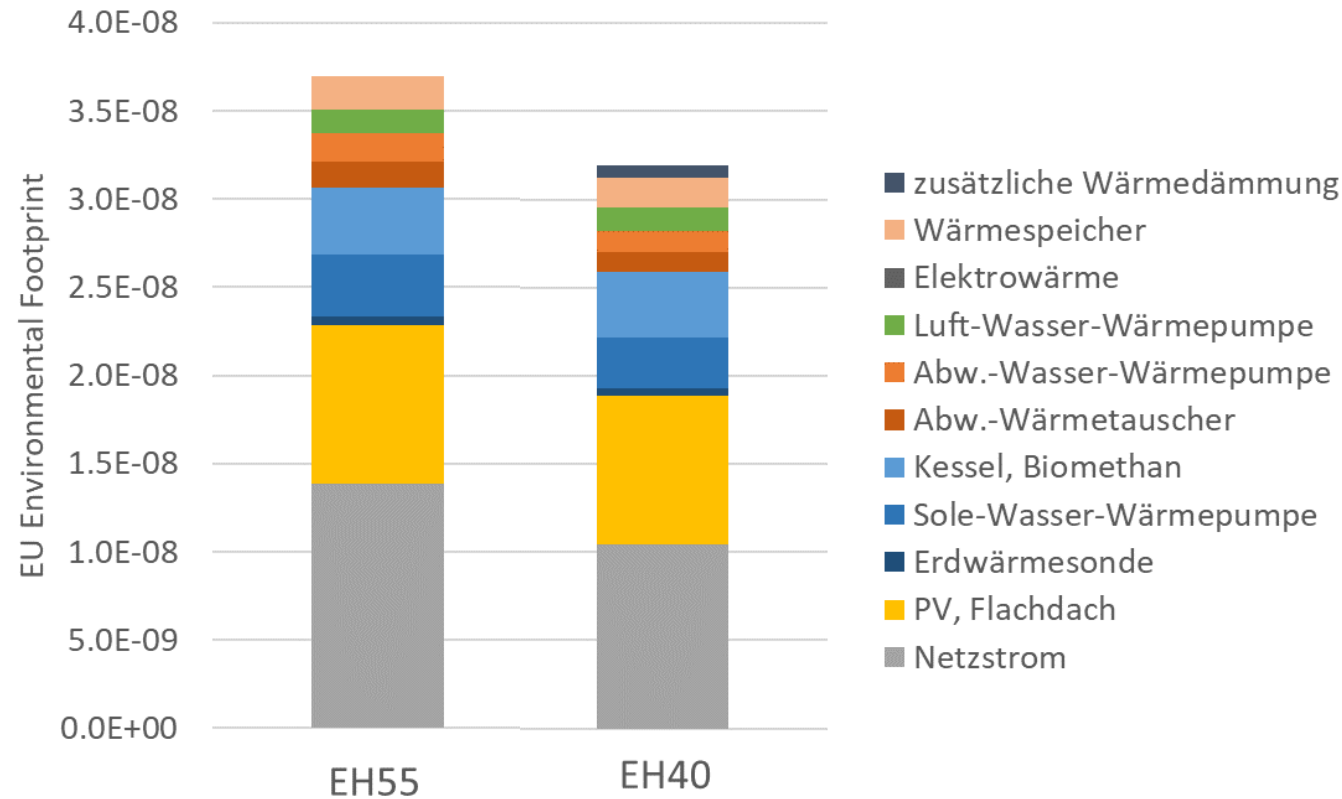
Quelle: sirAdos 2015

Gesamtkostenvergleich Wärmeerzeugung über 20 Jahre



Bei EH40 Investition in Wärmeinfrastruktur und Betriebskosten geringer, aber keine komplette Kompensation der Kosten für zusätzliche Dämmung

Gesamtumweltwirkungen als Environmental Footprint



- Wärmedämmung hat nur geringen Beitrag
- Deutliche Umweltentlastung bei EH40
- PV und Netzstrom größter Einzelbeitrag