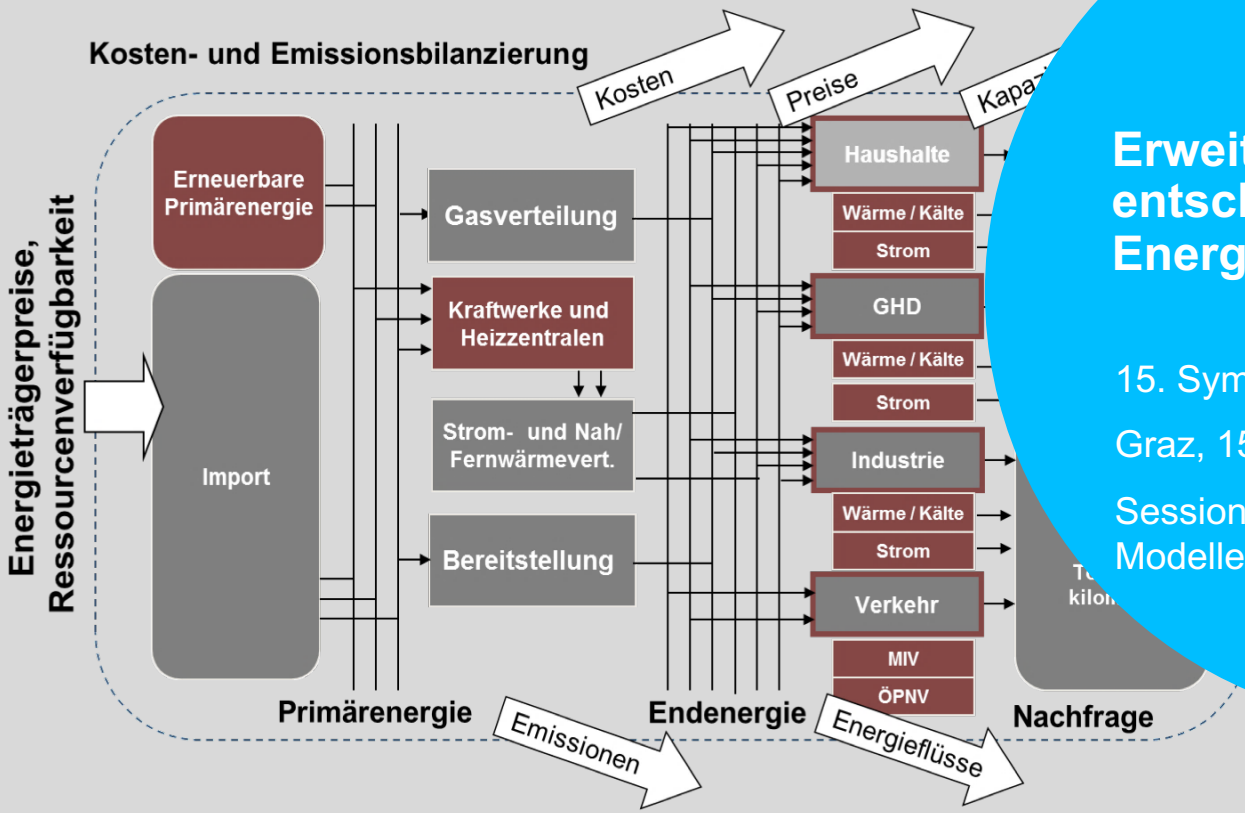
Universität Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)



$$Diskontrate\ i_{Akteur} \neq Diskontrate\ i_{Allgemein}$$

Erweiterung der Investitions-entscheidungen in der Energiesystemmodellierung

15. Symposium Energieinnovation 2018

Graz, 15.02.2018

Session A2: Energiesystem: Modelle und Methoden

Markus Stehle, Markus Blesl

IER

Gliederung

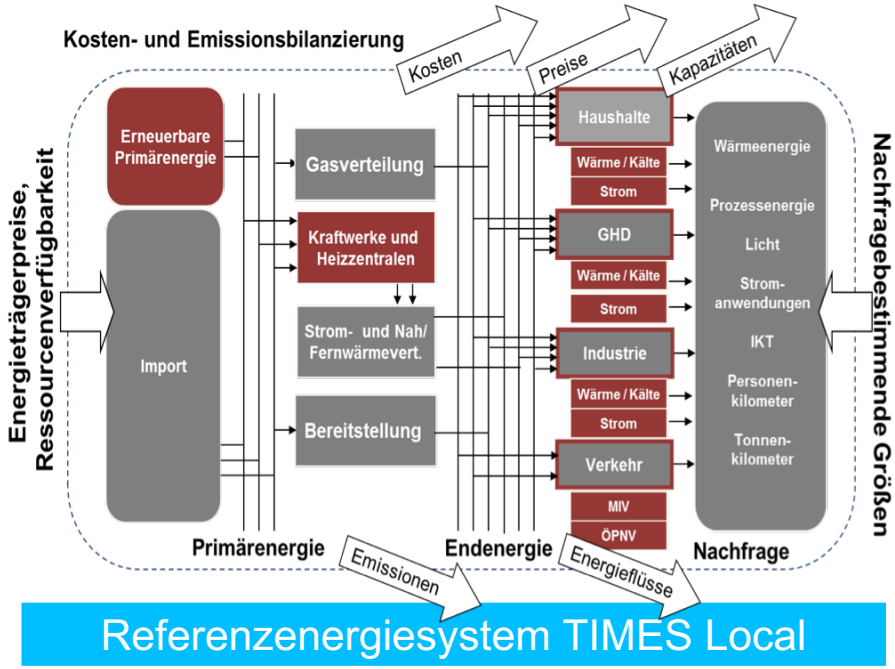
- Motivation & Zielsetzung
- Methodik
  - Lokales Energiesystemmodell
  - Erweiterung der Investitionsentscheidung
- Modellgestützte Szenarioanalyse
- Fazit und Ausblick

Motivation & Zielsetzung

- **Investitionsentscheidungen** in Energiesystemmodellen oftmals **undifferenziert**, d.h. ein- und dasselbe Investitionskalkül für alle zu treffenden Investitionen
- Jedoch: energiewirtschaftliche Handlungsempfehlungen darauf basierend abgeleitet
- **Große Unterschiede** im Investitionskalkül in den **Sektoren** (z.B. Haushalte, GHD) und bei den **Akteuren** (z.B. ob Investor auch Nutzer der Energiedienstleistung (Nutzer-Investor-Dilemma))
- **Ziel**:
  - **Akteursperspektive** in der **Energiesystemmodellierung** einzubringen
  - Vergleichende Analyse zwischen Szenarien mit und ohne Akteurssicht, um **Effekte** auf die Entwicklung des lokalen Energiesystems zu bewerten (u.a. auf CO_2-Emissionen, diskontierten Systemkosten und **spez. CO_2-Vermeidungskosten** und den **Technologiemix** der Wärmeversorgung)

TIMES Local

- Hintergrund: am IER entwickelt [1] mit dem Modellgenerator TIMES [2]
- Modelltyp: **Optimierendes**, ganzheitliches **Energiesystemmodell**, technologieorientiert, bottom-up
- Zielfunktion: Ermittlung der **kostenminimalen Energieversorgungsstruktur** unter Berücksichtigung von Restriktionen (z.B. CO_2-Ziel)
- Fokus: **Lokale Energieversorgungsaufgaben** mit detaillierter Verbrauchsstruktur [3]
- Modellregion: von Quartier bis Region
- Zeitl. Auflösung: 840 Zeitsegmente [4]
- Zeithorizont: 2010-2050



Referenzenergiesystem TIMES Local

[1] (Blesl 2014)
[2] The Integrated MARKAL EFOM System (ETSAP 2002), eine Weiterentwicklung der Modellgeneratoren MARKAL und EFOM-ENV im Rahmen des ETSAP-Programms der IEA
[3] z.B. Wärmeversorgung unterschiedlicher Gebäudetypen
[4] Eine Typwoche je Jahreszeit in stündlicher Auflösung (+ Herbst-Peak-Woche mit hoher EE-Einspeisung)

Investitionsentscheidungen in TIMES

- Methode: **Annuitätenmethode** (Vollkostenbetrachtung)

$$\mathrm{KW}_0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+\boldsymbol{i})^t} \quad \text{und} \quad a = KW_0 \cdot a_f$$

mit KW_0: Kapitalwert, C_t: Barwert zum Zeitpunkt t, i: Diskontrate bzw. interner Zinssatz, n: Betrachtungszeitraum in Jahren, a : Annuität, a_f: Annuitätenfaktor; mit $a_f = \frac{q-1}{1-q^{-n}}$ mit $q = 1 + i$)

- Kostengruppen: Kapitalkosten, Fixkosten für Betrieb und Instandhaltung, Variable Kosten; (Restwerte werden berücksichtigt)
- Entscheid.kriter.: Min. annuitätische Vollkosten
- Investitionsoptionen: Energiewirtschaftliches Technologieportfolio (z.B. Wärmeerzeuger)
- Parameter: **Diskontrate i** (bzw. interner Zinssatz), Nutzungsdauer,…
- Typen von i: **Allgemeine Diskontrate** (engl. social discount rate),

  Technologiespezifische Diskontrate (engl. hurdle rate)

Erweiterung der Investitionsentscheidungen in TIMES

Allgemein

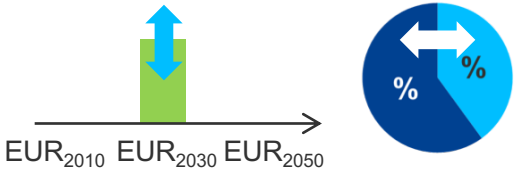
Allgemeine Diskontrate $i_{Allgemein}$

- bestimmt den Wert zukünftiger Zahlungen im Basisjahr
- beeinflusst alle Kostengruppen

Technologie

Technologiespez. Diskontrate $i_{\text{Technologie}}$

- beeinflusst direkt nur die Kapitalkosten einer Technologie; indirekt auch die Gewichtung zu den anderen Kostengruppen
- oft nicht berücksichtigt; daher ist: $i_{\text{Allgemein}} = i_{\text{Technologie}}$

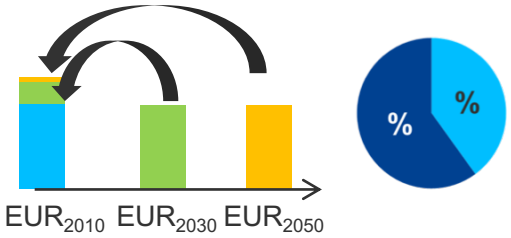


Erweiterung der Investitionsentscheidungen in TIMES

Allgemein

Allgemeine Diskontrate $i_{Allgemein}$

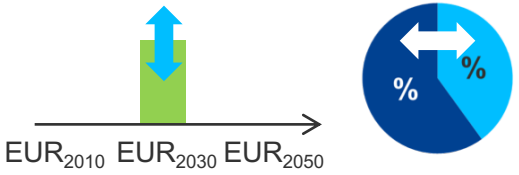
- bestimmt den Wert zukünftiger Zahlungen im Basisjahr
- beeinflusst alle Kostengruppen



Technologie

Technologiespez. Diskontrate $i_{\text{Technologie}}$

- beeinflusst direkt nur die Kapitalkosten einer Technologie; indirekt auch die Gewichtung zu den anderen Kostengruppen
- oft nicht berücksichtigt; daher ist: $i_{\text{Allgemein}} = i_{\text{Technologie}}$



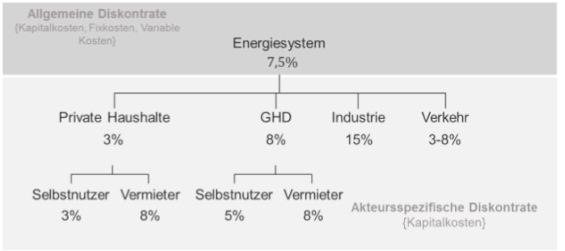
Akteur

Akteursspez. Diskontrate i_{Akteur}

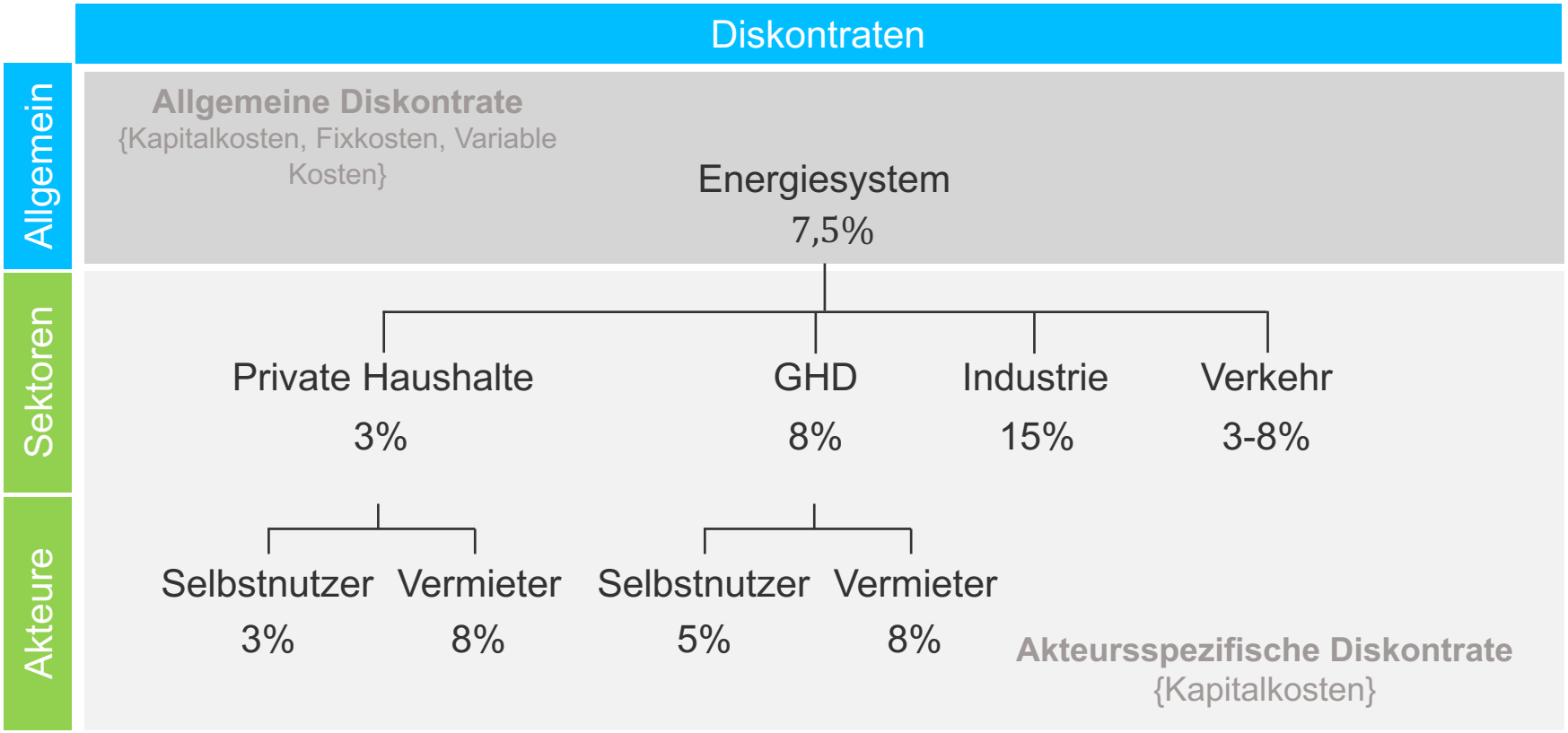
- Ansatz:
  Statt technologieseitige eine akteursseitige Diskontrate
- Akteurs-Diskontrate abweichend von der Allgemeinen:

$$i_{\text{Akteur}} \neq i_{\text{Allgemein}}$$

- Zuordnung zu Gebäudetypen (und Sektoren), die jeweils ein eigenes Technologie-Portfolio besitzen



Erweiterung der Investitionsentscheidungen



- Sektoren unterscheiden sich im Investitionskalkül: Haushalte, GHD, Industrie, Verkehr
- Grundsätzlicher Unterschied im Investitionskalkül, ob ein Investor auch der Nutzer einer Energiedienstleistung ist (sog. Nutzer-Investor-Dilemma) → Unterscheidung von selbstnutzenden Eigentümern und Vermietern von Wohn- und Nichtwohngebäuden

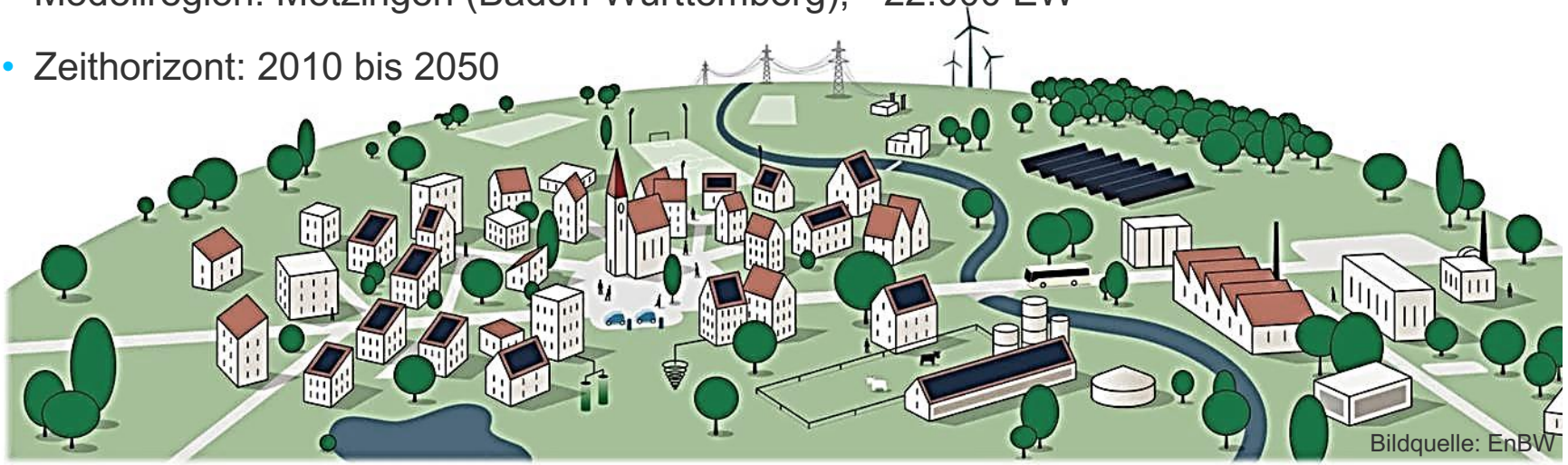
Szenarioanalyse

- Ziel: Analyse des **Effekts der Akteursperspektive** auf…

I.	**CO_2-Emissionen in 2050, diskontierte Systemkosten, spez. CO_2-Vermeidungskosten**	Ganzheitliche Systembetrachtung
II.	Wärmeversorgung von selbstnutzenden Eigentümern **Technologiemix** in 2050 und energetische Gebäudesanierungen	Sektor: Haushalte Selbstnutzer

…im Vergleich zur Systemanalyse ohne Akteurssicht

- Modellregion: Metzingen (Baden-Württemberg), ~22.000 EW
- Zeithorizont: 2010 bis 2050



Bildquelle: EnBW

Definition der Szenarien

	Szenario	Name	CO_2-Ziel[1]	$i_{Allg.}$	i_{Sektor}	i_{Akteur}
ohne	BAU	Business As Usual	-	7,5 %	-	-
	KLIM	Klima	-90%			
mit Akteurssicht						

[1] 90% CO_2-Reduktion bis 2050 gegenüber 1990 angelehnt an die Klimaschutzziele von Baden-Württemberg (50-80-90)

Definition der Szenarien

	Szenario	Name	CO_2-Ziel[1]	$i_{Allg.}$	i_{Sektor}	i_{Akteur}
ohne	BAU	Business As Usual	-	7,5 %	-	-
	KLIM	Klima	-90%			
mit Akteurssicht	BAU_A	BAU mit Akteurssicht	-	7,5 %	HH: 3%, GHD: 8%, Ind.; 15%, Verk.: 3-8%	HH / GHD: Selbstnutzer: 3% / 5% Vermieter: 8% / 8%
	KLIM_A	KLIM mit Akteurssicht	-90%			

[1] 90% CO_2-Reduktion bis 2050 gegenüber 1990 angelehnt an die Klimaschutzziele von Baden-Württemberg (50-80-90)

Definition der Szenarien

	Szenario	Name	CO_2-Ziel[1]	$i_{Allg.}$	i_{Sektor}	i_{Akteur}
ohne	BAU	Business As Usual	-	7,5 %	-	-
	KLIM	Klima	-90%			
mit Akteurssicht	BAU_A	BAU mit Akteurssicht	-	7,5 %	HH: 3%, GHD: 8%, Ind.; 15%, Verk.: 3-8%	HH / GHD: Selbstnutzer: 3% / 5% Vermieter: 8% / 8%
	KLIM_A	KLIM mit Akteurssicht	-90%			
	BAU_A_{Hem}	BAU mit Akteurssicht & Investitions-hemmnissen	-	7,5 %	HH: 15%, GHD: 25%, Ind.: 30%, Verk: 15-25%	HH / GHD: Selbstnutzer: 15% / 20% Vermieter: 25% / 25 %
	$KLIM_A_{Hem}$	KLIM mit Akteurssicht & Investitions-hemmnissen	-90%			

[1] 90% CO_2-Reduktion bis 2050 gegenüber 1990 angelehnt an die Klimaschutzziele von Baden-Württemberg (50-80-90)

Optimierung ohne Akteurssicht

		Ohne Akteurssicht	
		BAU	KLIM
CO_2 – Reduktion gg. 1990	%	- 53	Ziel
Diskontierte Systemkosten	Mrd. EUR_{2010}	1,89	1,92
Ø spez. CO_2-Minderungs-kosten	EUR_{2010}/ t CO_2	Referenz	22,0
	Index KLIM		100

- Benchmark für die Szenarien mit Akteurssicht:
  - Im BAU-Szenario wird das Klimaziel deutlich verfehlt: -53% anstatt -90% CO_2
  - Durchschnittliche, spezifische CO_2-Vermeidungskosten: 22 EUR/t CO_2 [1]

[1] für eine allgemeine Diskontrate von 7,5%

Optimierung ohne und mit Akteurssicht im Vergleich

		Ohne Akteurssicht		Mit Akteurssicht[1]	
		BAU	KLIM	BAU_A	KLIM_A
CO_2 – Reduktion gg. 1990	%	- 53	Ziel	- 56	Ziel
Diskontierte Systemkosten	Mrd. EUR_{2010}	1,89	1,92	1,78	1,81
ø spez. CO_2-Minderungs-kosten	EUR_{2010}/ t CO_2	Referenz	22,0	Referenz	21,7
	Index KLIM		100		98

- **CO_2**-Reduktion: +7% höher (3%-Punkte); diskontierte **Systemkosten**: -6%
- Grund: $i_{\text{ø Akteur}} < i_{\text{Allgemein}}$ →a) begünstigt kapitalintensive Technologien (z.B. erneuerbare Energien); → b) reduziert Kapitalkosten und damit die disk. Systemkosten
- ø **spez. CO_2-Vermeidungskosten** ca. -2%, da ähnliche Relation der Deltas von CO_2-Minderung und diskontierten Systemkosten zwischen beiden Szenarien

→ Fazit: Geringer Effekt der Akteurssicht auf die Ergebnisvariablen der ganzheitlichen Systembetrachtung

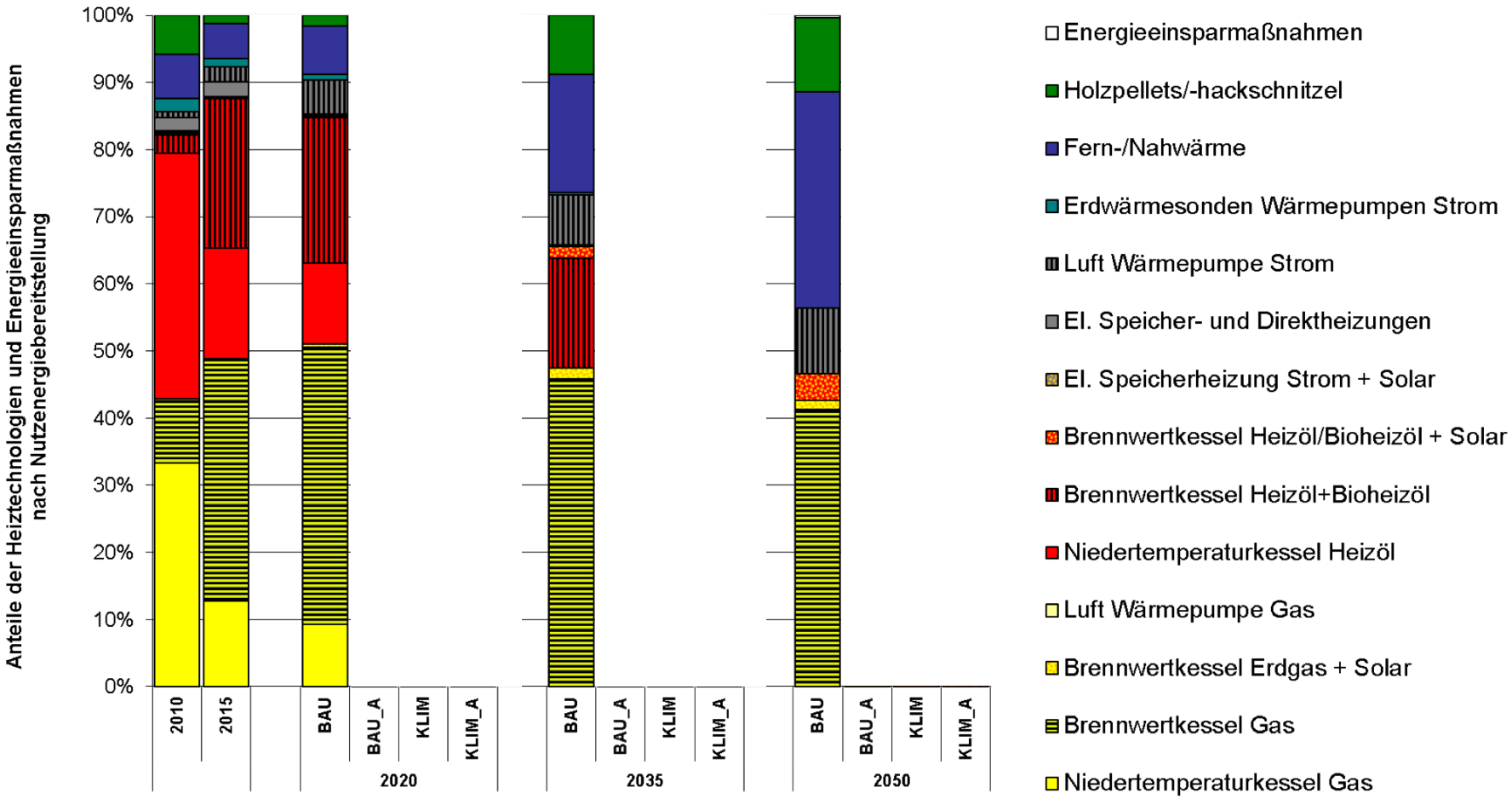
Optimierung ohne, mit Akteurssicht + Investitionshemmnisse

		Ohne Akteurssicht		Mit Akteurssicht[1]		Mit Akteurssicht & Investitions-hemmnissen[2]	
		BAU	KLIM	BAU_A	KLIM_A	BAU_A_{Hem}	KLIM_A_{Hem}
CO_2 – Reduktion gg. 1990	%	- 53	Ziel	- 56	Ziel	- 46	Ziel
Diskontierte Systemkosten	Mrd. EUR_{2010}	1,89	1,92	1,78	1,81	2,22	2,27
ø spez. CO_2-Minderungs-kosten	EUR_{2010}/ t CO_2	Referenz	22,0	Referenz	21,7	Referenz	31,6
	Index KLIM		100		98		143

- **CO_2**-Reduktion: -13%, diskontierte **Systemkosten**: +18%,
- Grund: $i_{\text{ø Akteur}} > i_{\text{Allgemein}}$ →a) benachteiligt kapitalintensive Technologien (z.B. erneuerbare Energien); → b) erhöht Kapitalkosten und damit die disk. Systemkosten
- ø **spez. CO_2-Vermeidungskosten**: +43%

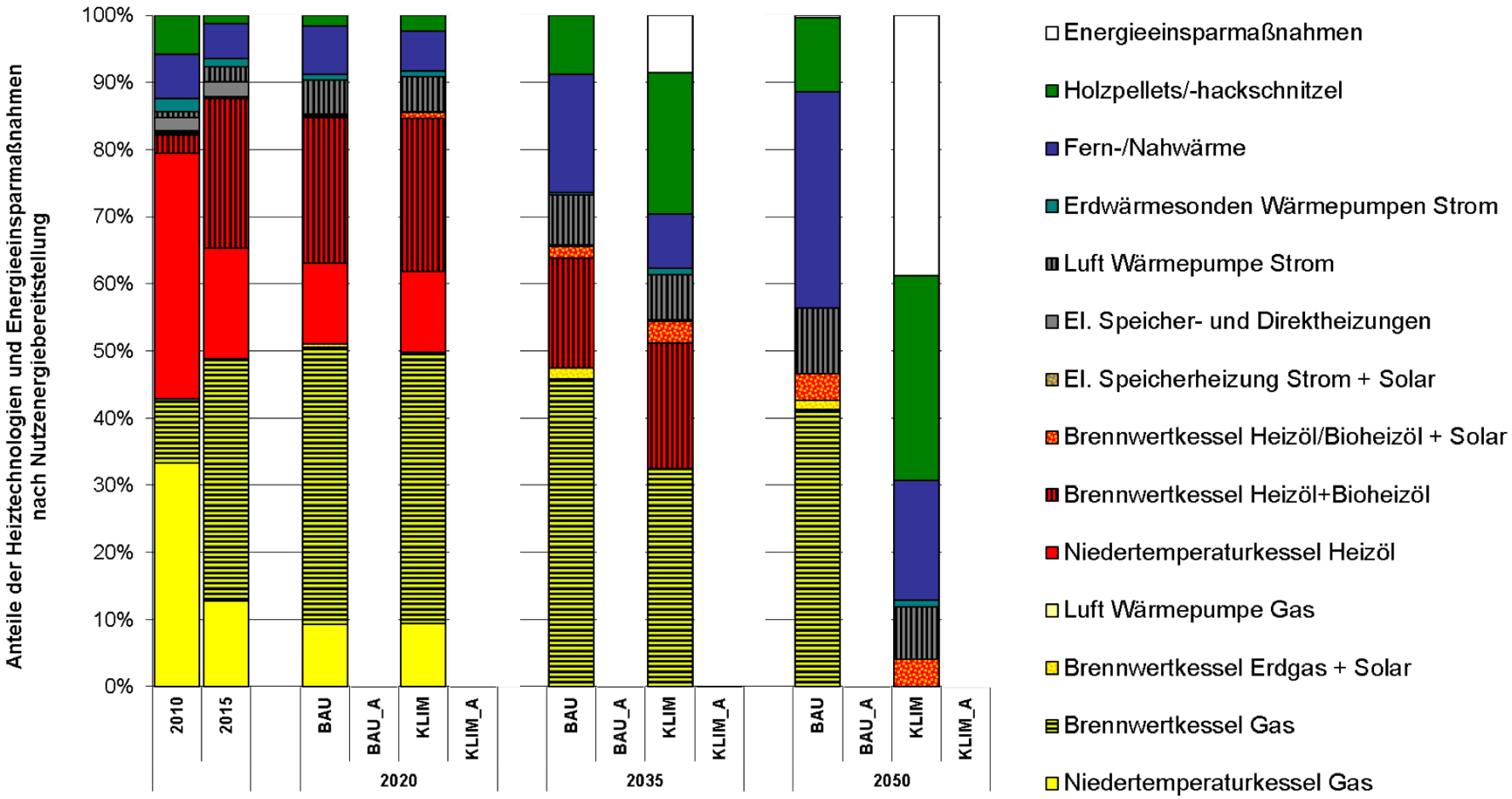
→ Fazit: Ausgeprägter Effekt der Akteurssicht (inkl. Investitionshemmnisse)

BAU-Szenario: Wärmeversorgung des Selbstnutzers (EFH)



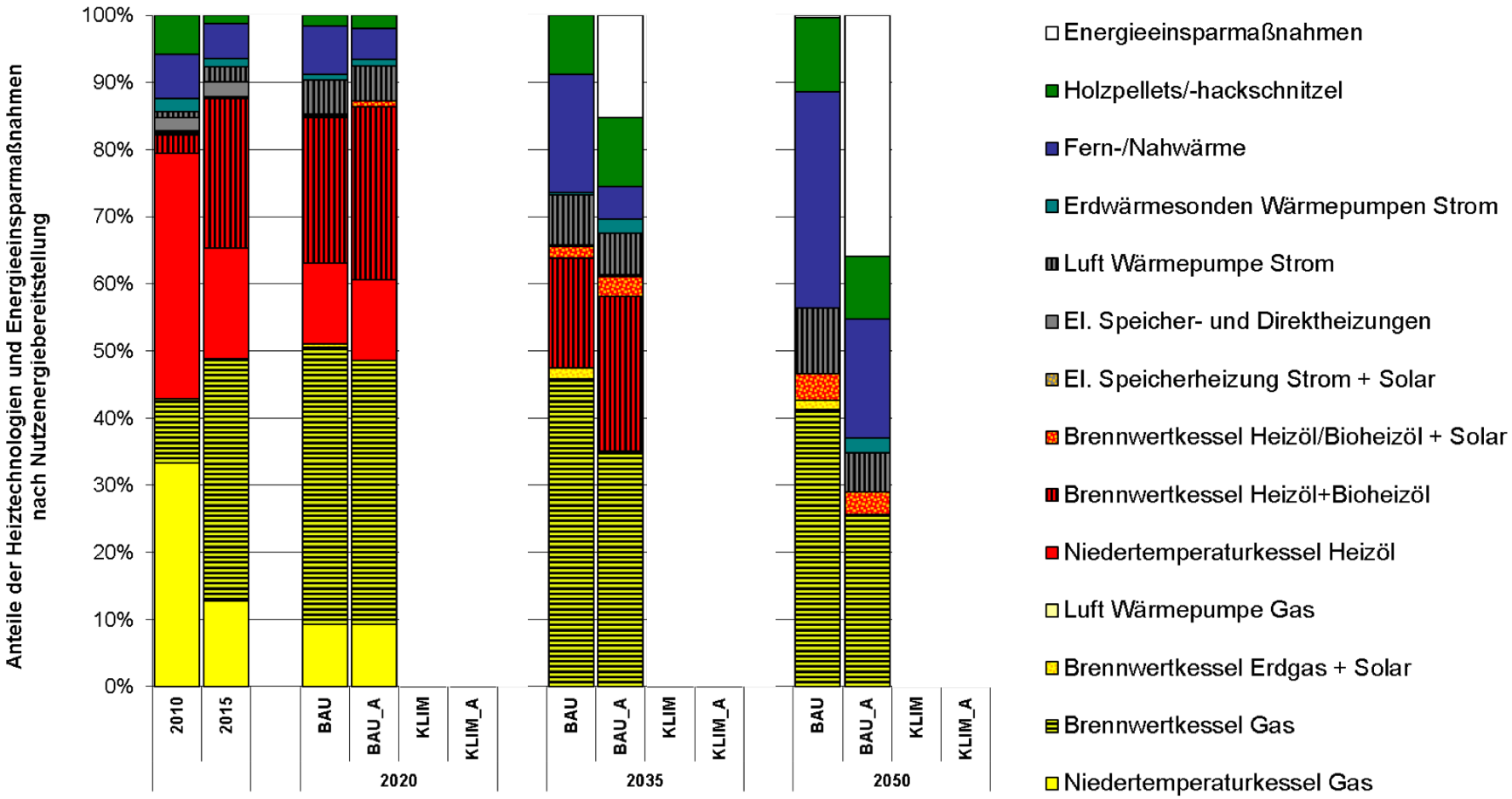
- **BAU**: Anteil Gasversorgung bis 2050 in etwa gleichbleibend (ca. 40%), Heizöl wird verdrängt durch Nahwärme und Holzpelletkessel.

KLIM-Szenario: Wärmeversorgung des Selbstnutzers (EFH)



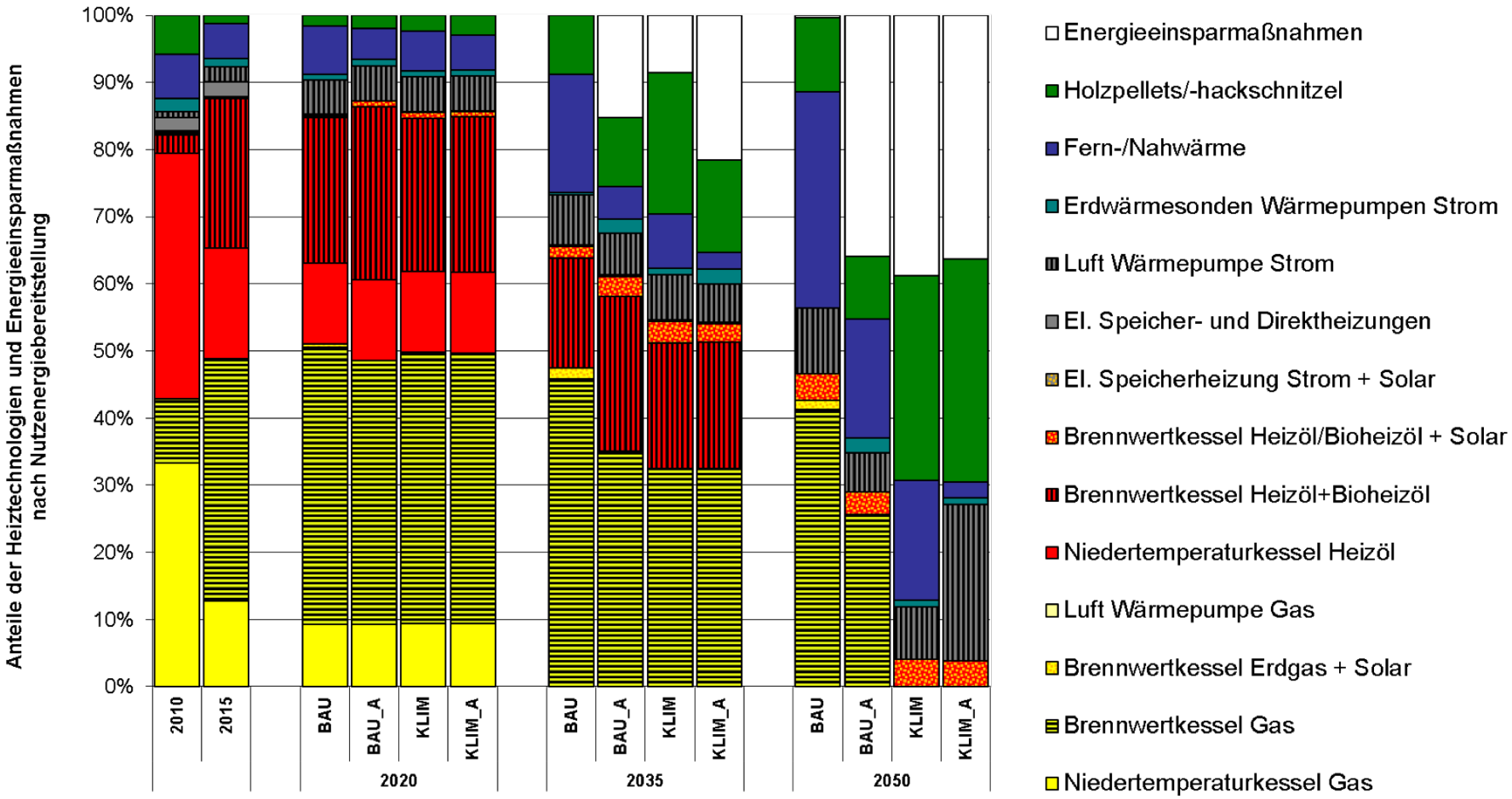
- **KLIM**: Energetische Gebäudesanierung (Energieeinsparmaßnahmen) wird verstärkt gezogen; im Technologiemix ist die Biomasse verstärkt vertreten, um CO_2- Ziel mit 90% Reduktion in 2050 gg. 1990 zu erreichen.

BAU-Szenario: ohne und mit Akteurssicht im Vergleich (EFH)



- **BAU-A**: Abweichender Entwicklungspfad: Energetische Gebäudesanierung reduziert Nutzenergiebedarf um 35%; Technologiemix an Wärmeerzeugern jedoch relativ ähnlich (außer: BAU_A: Erdwärmepumpen anstatt solare Gas-Brennwertsysteme)

KLIM-Szenario: ohne und mit Akteurssicht im Vergleich (EFH)



- **KLIM-A**: Abweichender Dekarbonisierungspfad: Zwar Gebäudesanierung und Pelletkessel ähnlich, aber der Anteil strombetriebener Luft-Wärmepumpe um den Faktor 3 höher zugunsten der Nahwärme[1]

[1] (Nahwärmemix: überwiegend Erdgas; solarunterstützt und Biomasse)

Zusammenfassung der Szenarienergebnisse

I. Ganzheitliche Systemanalyse:

- Akteurssicht ohne Investitionshemmnisse:
  - geringe Effekte auf die CO_2-Emissionen oder spez. CO_2-Vermeidungskosten
- Akteurssicht mit Investitionshemmnissen:
  - CO_2-Minderung im BAU-Szenario kann zu optimistisch projiziert werden:
    + 14% höhere CO_2-Reduktion in 2050
  - Aufwendungen für den Klimaschutz können unterschätzt werden:
    + 43% spez. CO_2-Vermeidungskosten

II. Technologiemix am Beispiel des selbstnutzenden Eigentümers (EFH)

- Akteurssicht ohne Investitionshemmnisse:
  - abweichender Entwicklungspfad: Energetische Gebäudesanierung kommt im BAU-A-Szenario verstärkt zum Zuge
  - abweichender Dekarbonisierungspfad: strombetriebene Luft-Wärmepumpe wird mit Akteurssicht im KLIM-A-Szenario zugunsten der Nahwärme gezogen

Anmerkung:
- Technologiemix des Vermieters (MFH) (BAU_A-Szenario): Nahwärme zugunsten von Gas-Brennwertkessel und energetischer Gebäudesanierung im Vergleich zum selbstnutzenden Eigentümer (EFH) im Zieljahr 2050

Fazit & Ausblick

- **Erweiterung der Investitionsentscheidungen** in der Energiesystemmodellierung um die Akteursperspektive, um…
  - **heterogene Investitionskalküle** der Akteure zu berücksichtigen
  - **Effekte** auf die Ergebnisvariablen (CO_2, Systemkosten, Technologiemix) abzubilden
- Ergebnisse zeigen **Relevanz der Akteurssicht** für die Ableitung von Handlungsempfehlungen:
  - z.B. Unterschiede im Dekarbonisierungspfad mit Akteurssicht (strombetriebene Wärmepumpe statt Nahwärme)
  - z.B. 43% höhere Aufwendungen für den Klimaschutz mit Akteurssicht & Investitionshemmnissen
- Weiterer Forschungsbedarf
  - Wahl und Sensitivitätsanalyse der Parameter: $i_{Allgemein}$, i_{Akteur}
  - Maßnahmenbewertung hinsichtlich der Effekte auf die jeweiligen Akteure (z.B. CO_2-Steuer)
  - Von rein monetärer Betrachtung von Investitionen hin zu mehrdimensionaler Bewertung von Investitionen (z.B. Nutzwertanalyse)

Universität Stuttgart

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen zum Thema?

Markus Stehle

E-Mail markus.stehle@ier.uni-stuttgart.de
Telefon +49 (0) 711 685-87831

Universität Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung (IER)
Heßbrühlstraße 49a
70565 Stuttgart

IER

Literatur

(BBSR 2009) Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Raumbeobachtung, 2009.

(Blesl 2014) Blesl, M.: Kraft-Wärme-Kopplung im Wärmemarkt Deutschlands und Europas - eine Energiesystem- und Technikanalyse, Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart, 2011.

(ETSAP 2002) Energy Technology Systems Anaylsis Program (ETSAP): International Energy Agency Energy Technology Systems Analysis Programme: Contributing to the Kyoto Protocol, Summary of Annex VII (1999-2002), 2002.

(Garcia et al. 2016) Garcia-Gusano, D., Espegren, K., Lind, A., Kirkengen, M.: The role of the discount rates in energy systems optimisation models, Renewable and Sustainable Energy Reviews 59 (2016) 56-72, 2016.

(Loulou et al. 2016) Loulou, R., Lehtilä, A., Kanudia, A., Remme, U., Goldstein, G.: Documentation for the TIMES Model Part II. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), 2016.

(Remme 2006) Remme, U.: Zukünftige Rolle erneuerbarer Energien in Deutschland: Sensitivitätsanalysen mit einem linearen Optimierungsmodell, Dissertation, Stuttgart, 2006.

(Schlesinger et al. 2014)

Schlesinger, Michael et al.: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Basel, Köln, Osnabrück, Studie im Auftrag des Bundeministeriums für Wirtschaft und Technologie, 2014.

(Schrüfer 2010) Schrüfer, K.: Allgemeine Volkswirtschaftslehre, 3. Auflage, Berlin, 2010.

(VDI 2067 2012) Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung. Blatt 1, 2012.

(WEO 2015) International Energy Agency: World Energy Outlook 2015.

(Zangemeister 1976) Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 1976.

(Zensus 2011) [Online] https://www.zensus2011.de/DE/, 2011.