



Systemintegrierte Analyse konkurrierender Energieversorgungsoptionen auf kommunaler Ebene

EnInnov2016 – TU Graz – 10.-12.02.2016

Maria Gröger und Thomas Bruckner

Professur für Energiemanagement und Nachhaltigkeit
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement - IIRM
Universität Leipzig



AGENDA

- **Motivation**
- **Methodik**
- **Fallstudie und Szenariendefinition**
- **Ergebnisse**
- **Fazit**



Motivation: Herausforderungen

“Buildings represent a critical piece of any global low-carbon future.”

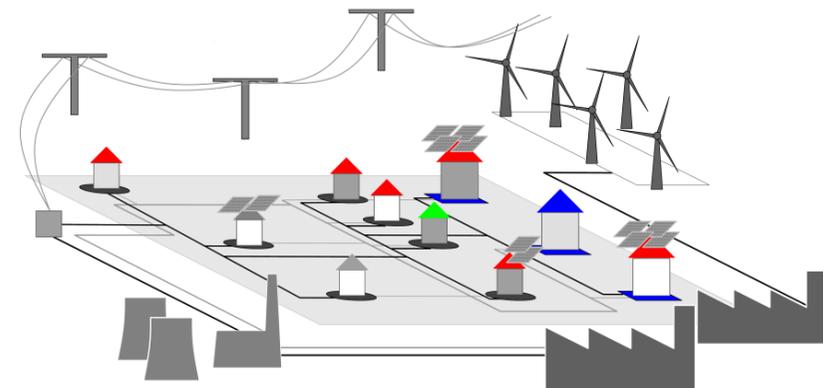
Quelle: IPCC 2014

- ▶ Die energetische Sanierung und die Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudebestands besitzen eine Schlüsselfunktion in der europäischen Klimaschutzpolitik
 - Der Gebäudesektor der europäischen Union ist
 - ▶ für 40 % des Gesamtenergieverbrauchs verantwortlich und
 - ▶ Hauptemittent von Treibhausgasen
 - Geringe Neubauraten und jährliche Ersatzquoten von 0,2—0,3 % des Wohnungsbestandes
- ▶ Hohe Komplexität der Transformation des städtischen Energiesystems aufgrund von Interdependenzen zwischen Gebäuden und Energieversorgungsnetzen

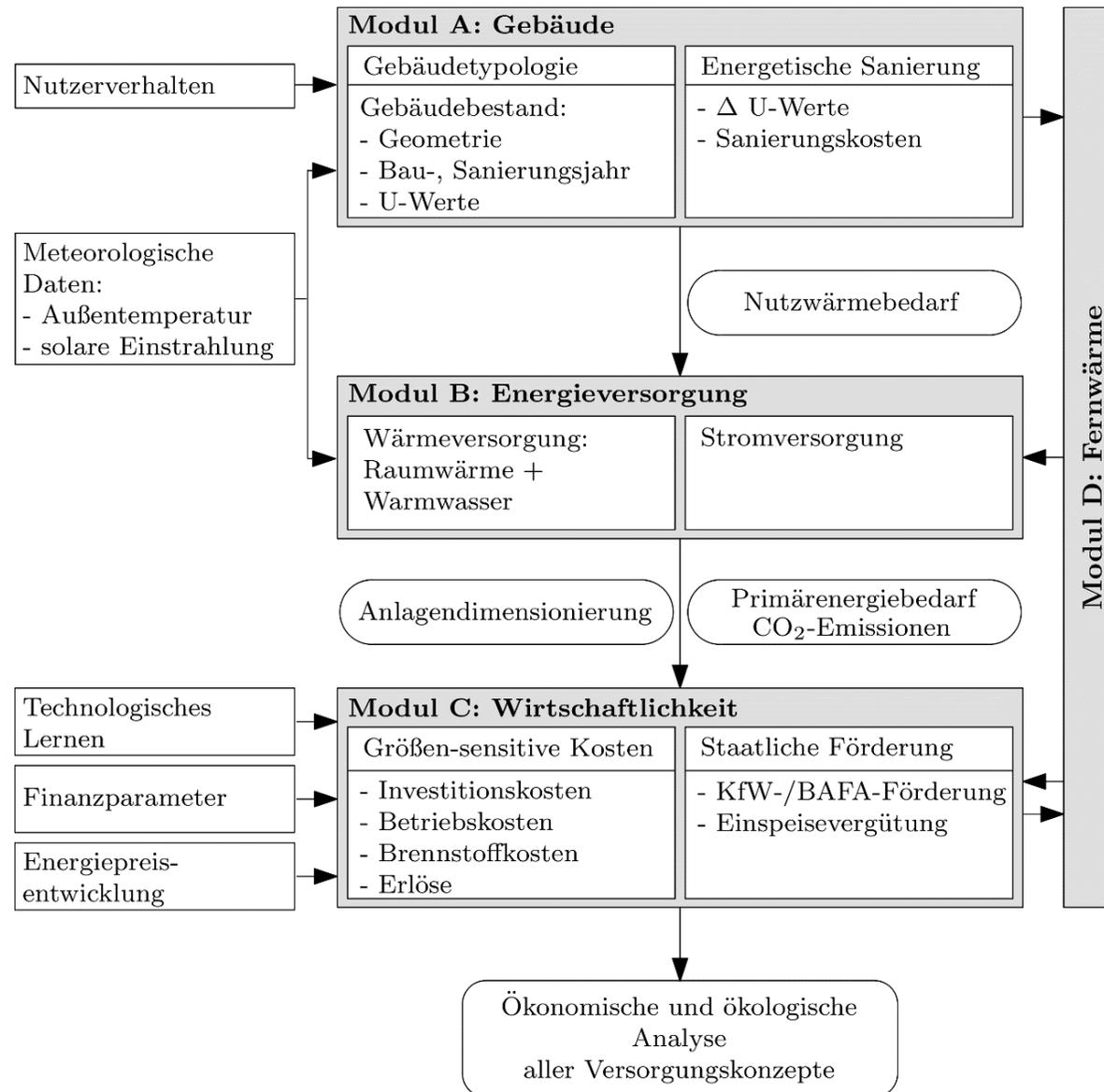


Motivation: Forschungsansatz

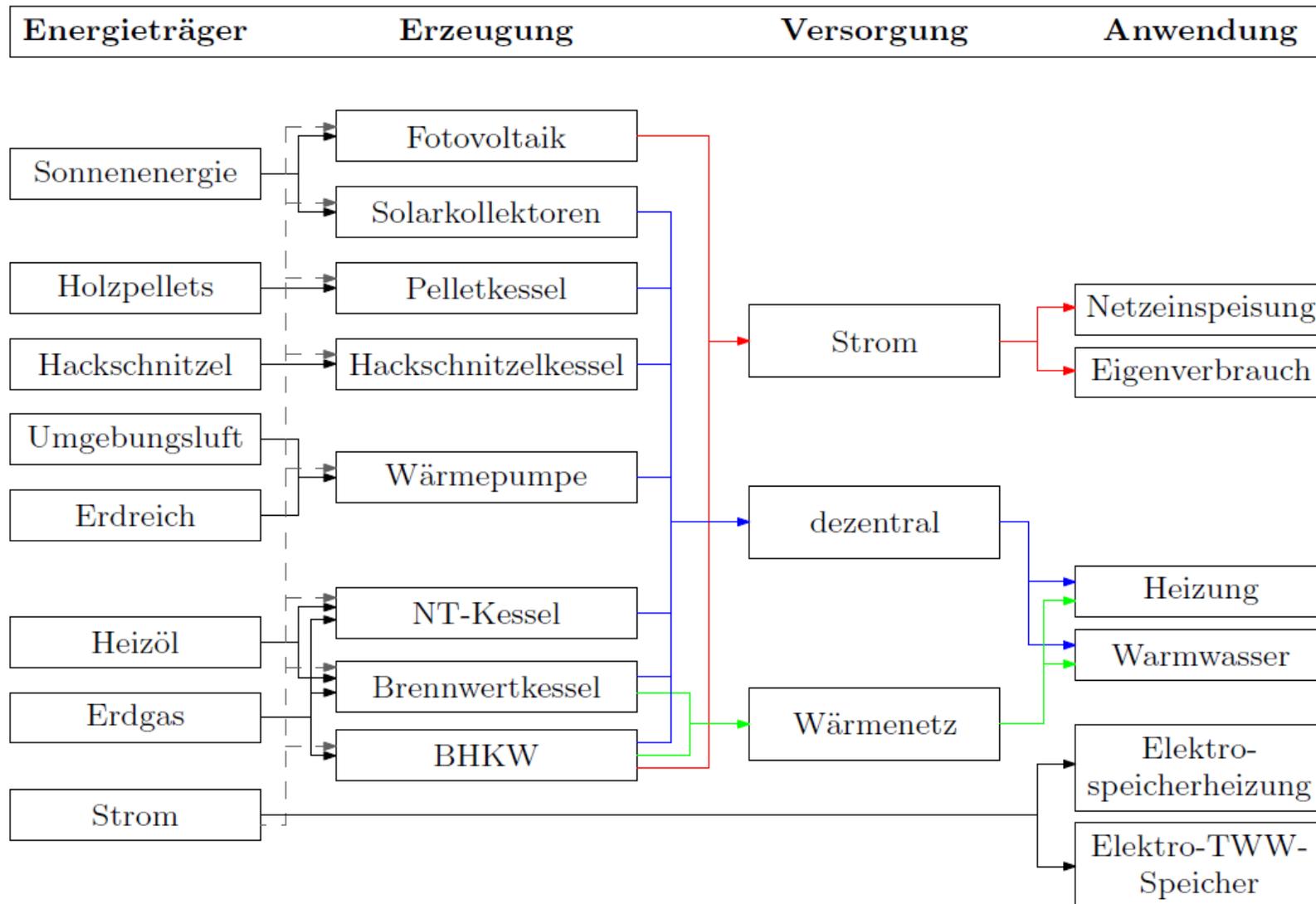
- ▶ Entwicklung eines technologieorientierten Simulationsmodells zur integralen Betrachtung von energieeffizienter Sanierung und Energieversorgungssystemen
 - Mehrskaliger, interdisziplinärer Modellansatz durch Integration verschiedener räumlicher Dimensionen in der Modellierung von Energieversorgungssystemen (*multi scale approach*):
Zusammenführen einer hinreichend genauen Modellierung auf Gebäudeebene und der notwendigen Aggregation auf Stadtebene in einem dynamischen Systemmodell
- ▶ Evaluation der Energieeffizienzoptionen unter energetischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten



Methodik: DESCoM

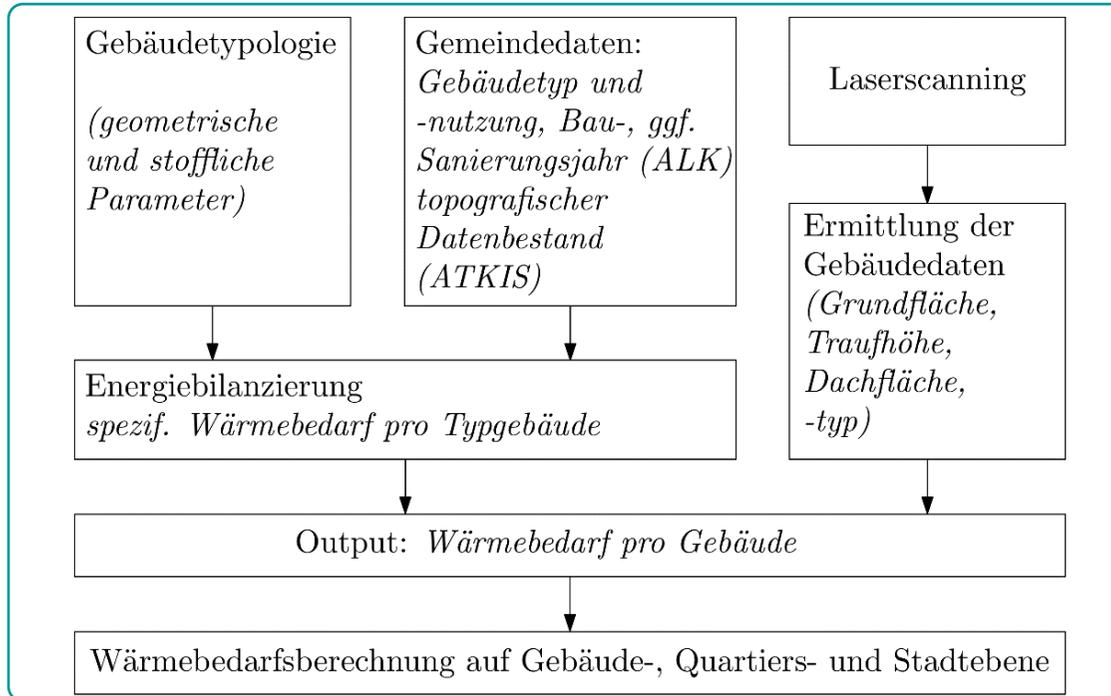


Methodik: Energieversorgungsoptionen



Methodik: Wärmebedarfsermittlung

Räumlich hoch aufgelöste Wärmebedarfsermittlung



Grundlagen:

- 3D-LIDAR-Daten (Light Detection and Ranging) und Orthofotos liefern Infos zur Gebäudegeometrie

$$V_e = A_{GF} \cdot h_{Traufe}$$

- V_e beheiztes Gebäudevolumen [m³]
 A_{GF} Gebäudegrundfläche [m²]
 h_{Traufe} Traufhöhe [m]

$$A_N = 0,32 \frac{1}{m} \cdot V_e$$

- Attributdaten zum Gebäudebestand (Baujahr, Gebäudenutzung)

- Berücksichtigung des Sanierungsstandes:

1. Vor-Ort-Begehung
2. Liegenschaftskataster
3. Sanierungszyklus

Tab. 6.1.: Bauteilspezifische U-Werte nachträglicher Dämmmaßnahmen.

	Außenwand	Fenster	Dach		o. Geschossdecke	Kellerdecke
			Steil	Flach		
WSchV1977	1,45 ¹		0,45		0,45	0,8
WSchV1982	0,6	3,1	0,45		0,45	0,7
WSchV1995	0,4	1,8	0,3		0,3	0,5
EnEV2002	0,35	1,7	0,3	0,25	0,3	0,5
EnEV2009	0,24	1,3	0,24	0,2	0,24	0,3

¹ Außenwände einschl. Fenster und Fenstertüren.



Fallstudie



Fallstudie

▶ Modellquartier 1:

- Siedlungstyp 1
- klassische Einfamilienhaussiedlung am Stadtrand
- dichtes geometrisch angelegtes Erschließungsnetz

▶ Modellquartier 2:

- Siedlungstyp 8
- mittelalterliche Altstadt in zentraler Lage
- hohe Bebauungsdichte, geschlossene Bebauung und verwinkelte Straßen

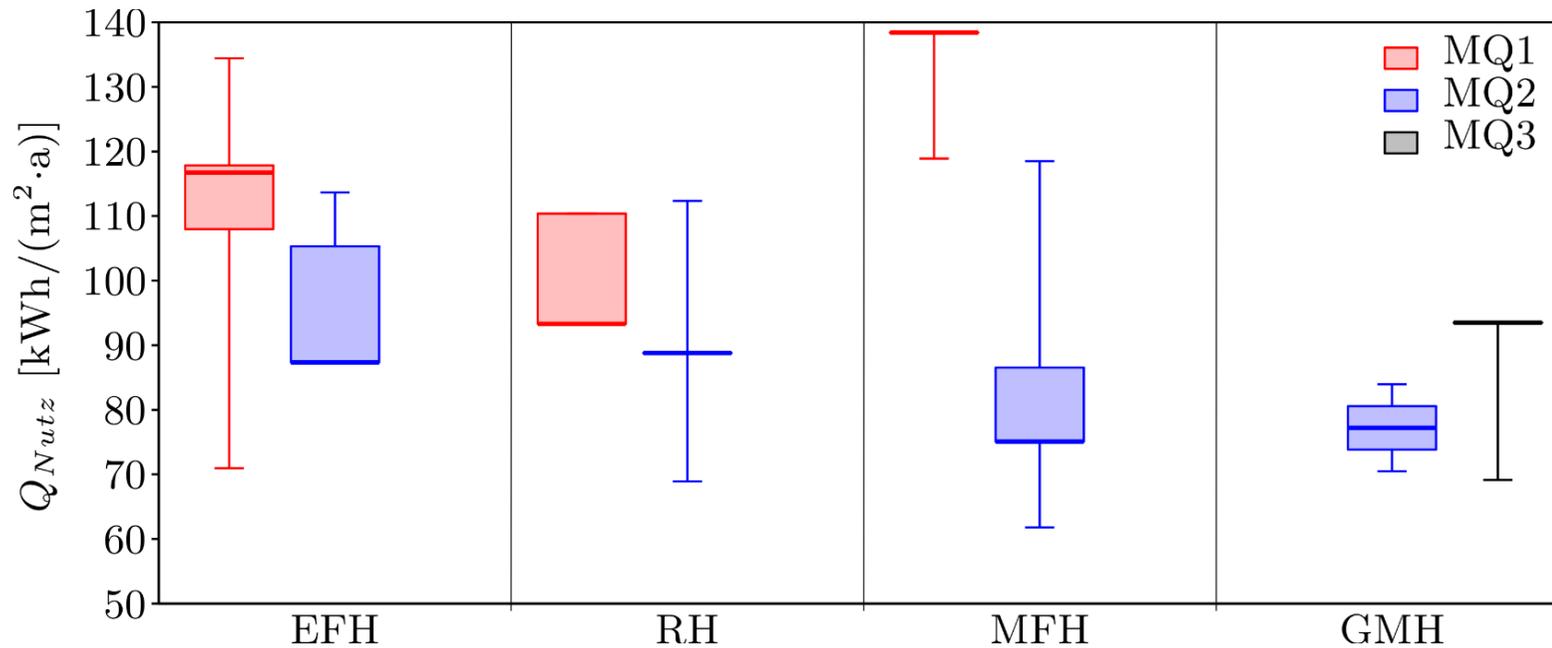
▶ Modellquartier 3:

- Siedlungstyp 5
- meist in Stadtrandlage angeordnet
- aus großen Mehrfamilienhäusern mit großen Gebäudeabständen und grobmaschigem Erschließungsnetz zusammengesetzt



Fallstudie

Verteilung des spezifischen Nutzwärmebedarfs in den Modellquartieren



EFH = Einfamilienhaus

RH = Reihenhaushaus

MFH = Mehrfamilienhaus

GMH = großes Mehrfamilienhaus

Fallstudie: Szenariendefinition

Rahmenannahmen

Szenario	Energiepreis-entwicklung	Staatliche Förderinstrumente	Gebäude-Effizienzstandard
1	mäßig	nein	Ist-Zustand
2	deutlich	nein	Ist-Zustand
3	mäßig	ja	Ist-Zustand
4	mäßig	nein	Vollsanierung EnEV 2014

- ▶ Energiepreisentwicklung der BMU-Leitstudie
- ▶ Haushaltsstrompreise basieren auf einer Projektion der Spotmarktpreise, berechnet mit dem Strommarktmodell MICOES-Europe
- ▶ Förderinstrumente umfassen:
 - Fördermaßnahmen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt für Solarthermie-, Biomasseanlagen und Wärmepumpen
 - BAFA-Investitionszuschüsse für KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 20 kW_{el}
 - Förderdesign des KWKG
 - EEG-Vergütung für PV-Stromerzeugung



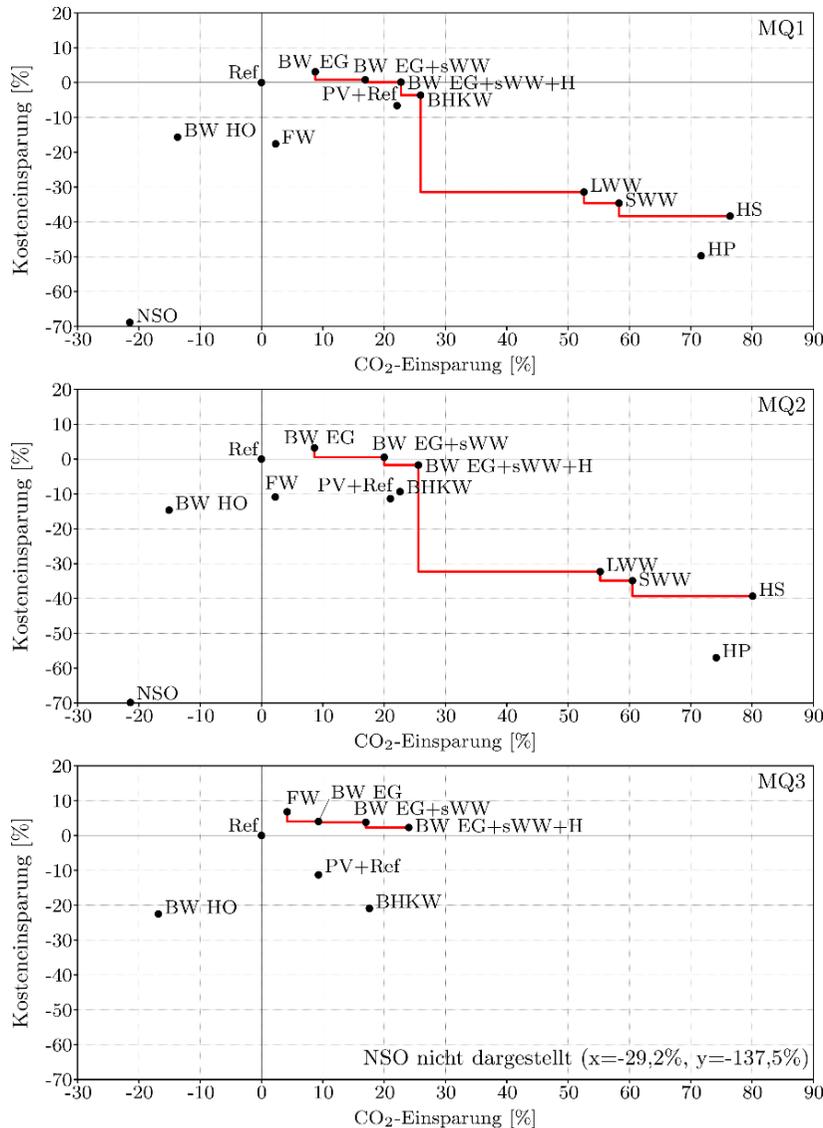
Fallstudie: betrachtete Versorgungskonzepte

Variante	Wärmeversorgung	Stromversorgung
Ref	Erdgas-Niedertemperaturkessel	Stromnetz
BW HO	Heizöl-Brennwertkessel	Stromnetz
BW EG	Erdgas-Brennwertkessel	Stromnetz
BW EG sWW	Erdgas-Brennwertkessel mit solarer Warmwasserbereitung	Stromnetz
BW EG sWW+H	Erdgas-Brennwertkessel mit solarer Warmwasserbereitung & Heizungsunterstützung	Stromnetz
BHKW	Mikro-/Mini-KWK	Stromnetz
FW	Fernwärme	Stromnetz
LWW	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Stromnetz
SWW	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Stromnetz
HP	Holzpelletkessel	Stromnetz
HS	Hackschnitzelkessel	Stromnetz
NSO	Nachtstromspeicherofen	Stromnetz
PV+Ref	Erdgas-Niedertemperaturkessel	netzgekoppelte PV-Anlage

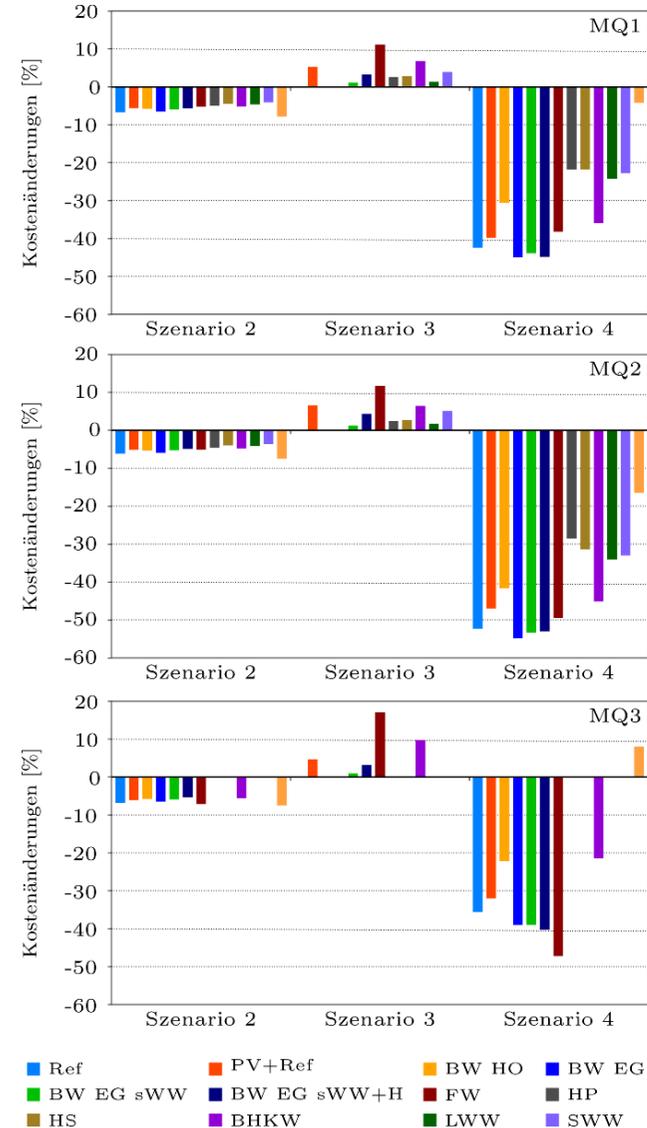


Ergebnisse

Szenario 1: Trade-off der Kosten- und Emissionseinsparung



Potenzielle Kostenänderung durch Szenariovariation



Fazit

- ▶ **Kostenoptimale Wärmeversorgung:**
 - in Versorgungsgebieten geringer Wärmedichte durch Erdgas-Brennwertkessel
 - in Versorgungsgebieten höherer Wärmedichte durch Fernwärme
- ▶ Emissionsoptimale Wärmeversorgung durch dezentrale Biomassekessel
- ▶ Effiziente Versorgungssysteme sind aufgrund des geringeren Energieaufwands robuster ggü. Preisschwankungen als konventionelle Systeme
- ▶ **Ex-post Evaluation der deutschen Förderpolitik:**
 - Das Förderdesign des KWKG ist von entscheidender Bedeutung für die betriebswirtschaftliche Rentabilität der zentralen Wärmeversorgung
 - Die Investitionsanreize im Bereich der dezentralen Energieversorgung können nicht dazu beitragen, die wirtschaftlichen Nachteile der erneuerbaren Energien zu kompensieren
- ▶ **Wechselwirkungen zwischen Versorgungssystem und Gebäudesanierung:**
 - Aus der Kombination resultiert eine Emissionsreduktion, die teilw. erheblich von der Summe der Emissionsreduktionswerte abweicht, die durch getrennte Maßnahmen erzielt wird



Kontakt

Prof. Dr. Thomas Bruckner

Professur für Energiemanagement und Nachhaltigkeit

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät

Universität Leipzig

Grimmaische Str. 12

D-04109 Leipzig

Tel.: 0049 (0)341/97 33517

bruckner@wifa.uni-leipzig.de

www.wifa.uni-leipzig.de/iirm

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Maria Gröger

Tel.: 0049 (0)341/97 33522

mgroeger@wifa.uni-leipzig.de



Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
in der Grimmaischen Straße



BACK-UP



Erzeugung

Erzeugerart	Kostenfunktion		Gültigkeitsintervall [kW _{th}]		Referenzjahr
	k	e	A	B	
EG BW	1171,20	-0,4411	10	2500	2010
BHKW	3976,10	-0,2497	0 kW _{el}	100 kW _{el}	2010
BHKW	9332,60	-0,4611	100 kW _{el}	2500 kW _{el}	2010

$$I_0 = k \cdot \left(\frac{\Phi}{\text{kW}} \right)^{1+e} \quad \text{gültig für } \Phi \in [A, B]$$

- I_0 Investitionskosten [€]
- k Fitparameter [€]
- e Exponent zur Beschreibung des Degressionsverhaltens
 $e \leq 0$ [-]
- Φ Heizlast [kW]
- $[A, B]$ Gültigkeitsintervall

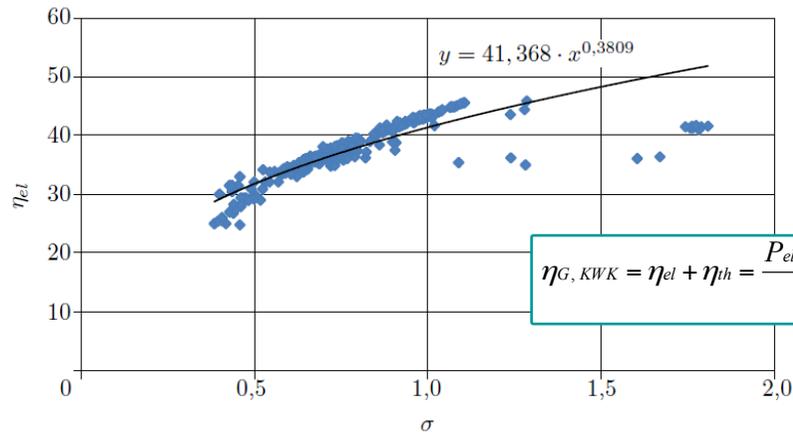


Abb. A.2.: Elektrische Wirkungsgrade von Erdgas-BHKW.

$$\eta_{G, KWK} = \eta_{el} + \eta_{th} = \frac{P_{el} + \dot{Q}_{KWK}}{\dot{Q}_{fuel}}$$

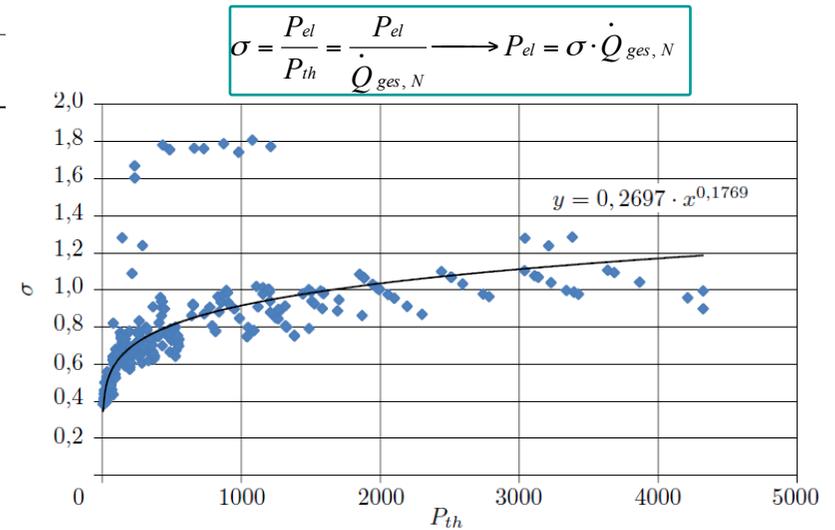


Abb. 4.2.: Stromkennzahlen von Erdgas-BHKW.

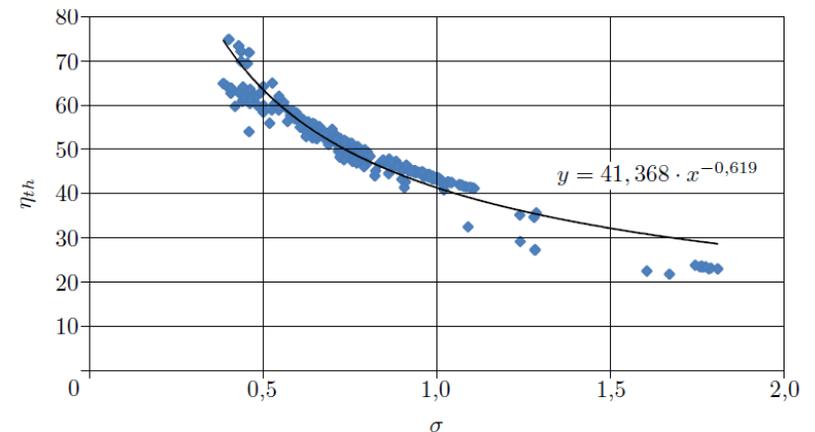


Abb. A.3.: Thermische Wirkungsgrade von Erdgas-BHKW.

Bemessung des FW-Systems

- ▶ Anschlussleistung Abnehmer

$$\dot{Q}_{An}$$

- ▶ Anschlussleistung Trasse

$$\dot{Q}_{Trasse} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{An,i}$$

- ▶ Wärmehöchstleistung Netz

$$\dot{Q}_{\max,N} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{Trasse,i}$$

- ▶ Wärmeverlustleistung Netz

$$\dot{Q}_{Verl,N} = NV \cdot \dot{Q}_{\max,N}$$

- ▶ Gesamtwärmeleistung Netz

$$\dot{Q}_{ges,N} = \dot{Q}_{\max,N} + \dot{Q}_{Verl,N}$$

Netzverluste in Funktion der Anschlussdichte

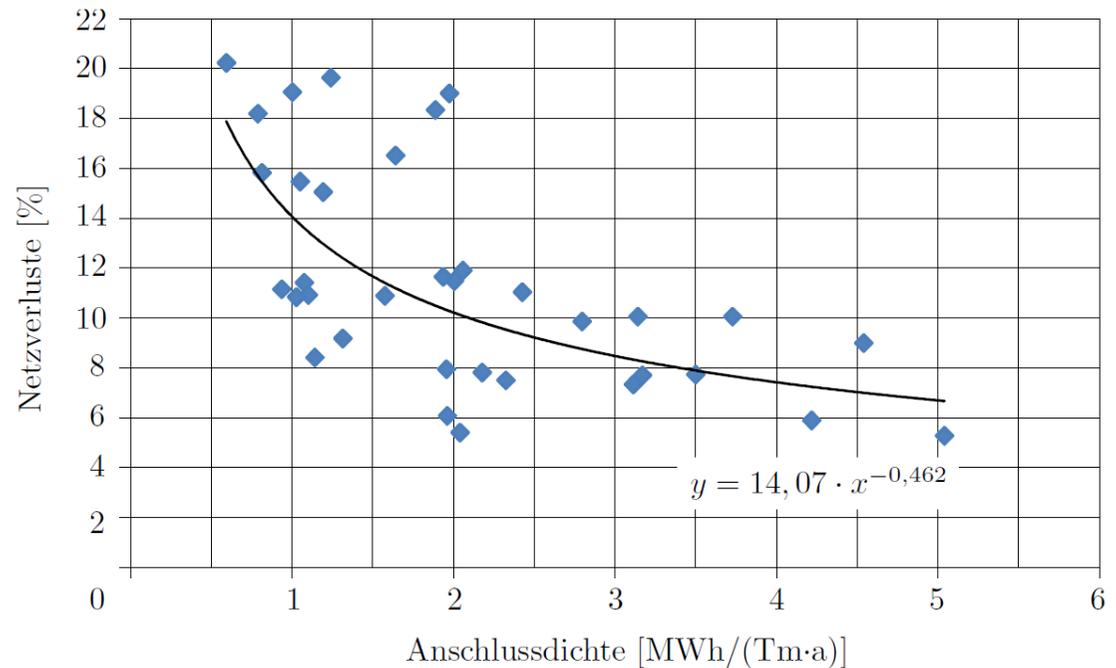


Abb. 4.5.: Netzverluste als Funktion der Anschlussdichte ermittelt aus Untersuchungsdaten nach [106].

Wärmenetz

Dimensionsabhängige
Netzbaukosten bestimmt durch:

- 1) Trassenlänge der Rohrleitungen,
- 2) deren Nennweite

$$\dot{m}_{Trasse} = \frac{\dot{Q}_{ges, Trasse}}{c_p \cdot \Delta T}$$

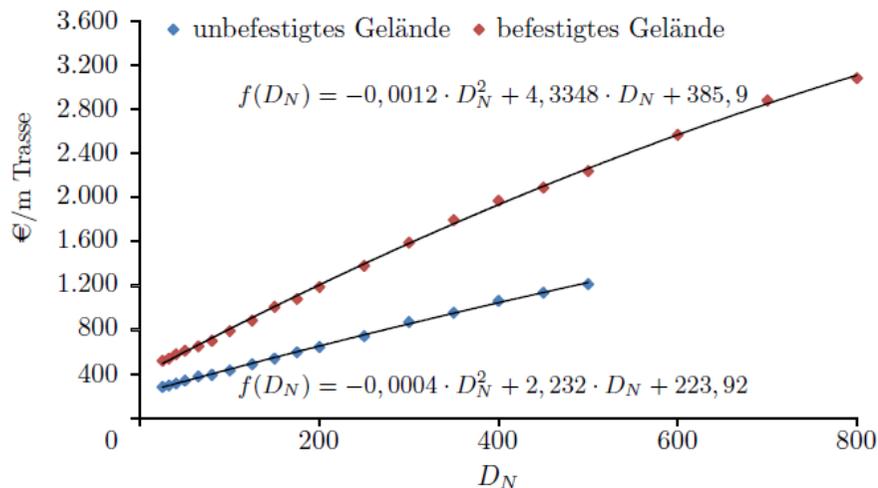


Abb. 4.5.: Verlegekosten für Kunststoffmantelrohre nach [32]. Die dargestellten Brutto-Kosten beziehen sich auf das Jahr 2012.

Tab. A.12.: Nennweite in Abhängigkeit des zulässigen Massestroms bei einem Druckverlust von 60-80 Pa/m Rohrlänge. Gemäß Herstellerangaben nach [81].

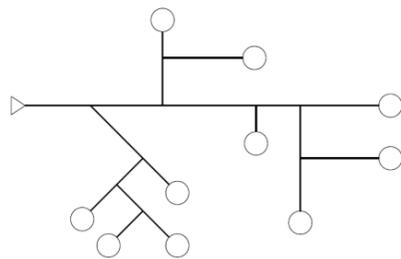
Nennweite D_N	Wandstärke s mm	Innendurchmesser d_i mm	Massenstrom \dot{m} t/h
20	2,6	21,7	0,65
25	3,2	27,3	1,35
32	3,2	36,0	2,25
40	3,2	41,9	3,85
50	3,2	53,9	7,40
65	3,2	69,7	12,75
80	3,2	82,5	22,50
100	3,6	107,1	41,50
125	3,6	132,5	70,00
150	4,0	160,3	131,00
200	4,5	210,1	246,50
250	5,0	263,0	410,00
300	5,6	312,7	578,50
350	5,6	344,4	783,50
400	6,3	393,8	1090,0
450	6,3	444,6	1470,0
500	6,3	495,4	2170,0
600	7,1	595,8	3345,0
700	8,0	695,0	4880,0
800	8,8	795,4	6820,0
900	10,0	894,0	9200,0

Quelle: <http://www.isoplus.de/de/download/planungshandbuch/>

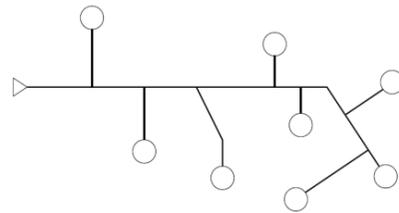
Netzdimensionierung / Trassierung

► Einflussfaktoren:

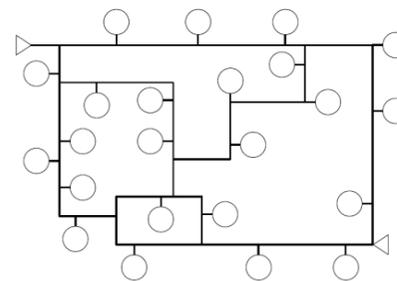
- zu übertragende Wärmeleistung
- gewünschte Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf



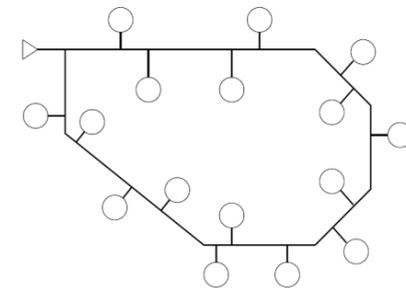
(a) Strahlennetz mit einer Einspeisung.



(b) Liniennetz mit einer Einspeisung.



(c) Maschennetz mit zwei Einspeisungen.



(d) Ringnetz mit einer Einspeisung.

► Hauptverteilungsleitungen

- Verlegung der Hauptverteilungsleitungen auf Basis des Verkehrswegenetzes
- Zur Erstellung eines Trassenmodells werden die Straßenmittellinien aus dem digitalen Straßenkataster extrahiert und in Graphen umgewandelt, Graph $G = (V;E)$

► Hausanschlussleitungen

- Basierend auf einer räumlichen Abfrage (spatial join) wird der Schnittpunkt zwischen Gebäude und Verteilungsleitung ermittelt, der dem kürzesten Abstands zwischen Gebäudekante und Straßenabschnitt (Trasse) entspricht
- Längenberechnung der Hausanschlussleitung: euklidischer Abstand zweier Punkte

Definition des FW-Untersuchungsgebietes

