

Analyse des Energie-Autarkiegrades unterschiedlich großer Bilanzräume mittels integrierter Energiesystemmodellierung

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (**IER**), Universität Stuttgart

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (**IFK**), Universität Stuttgart

Lehrstuhl für Bauphysik, Abt. Ganzheitliche Bilanzierung (**LBP-GaBi**), Universität Stuttgart

Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung der Universität Stuttgart (**ZIRIUS**)

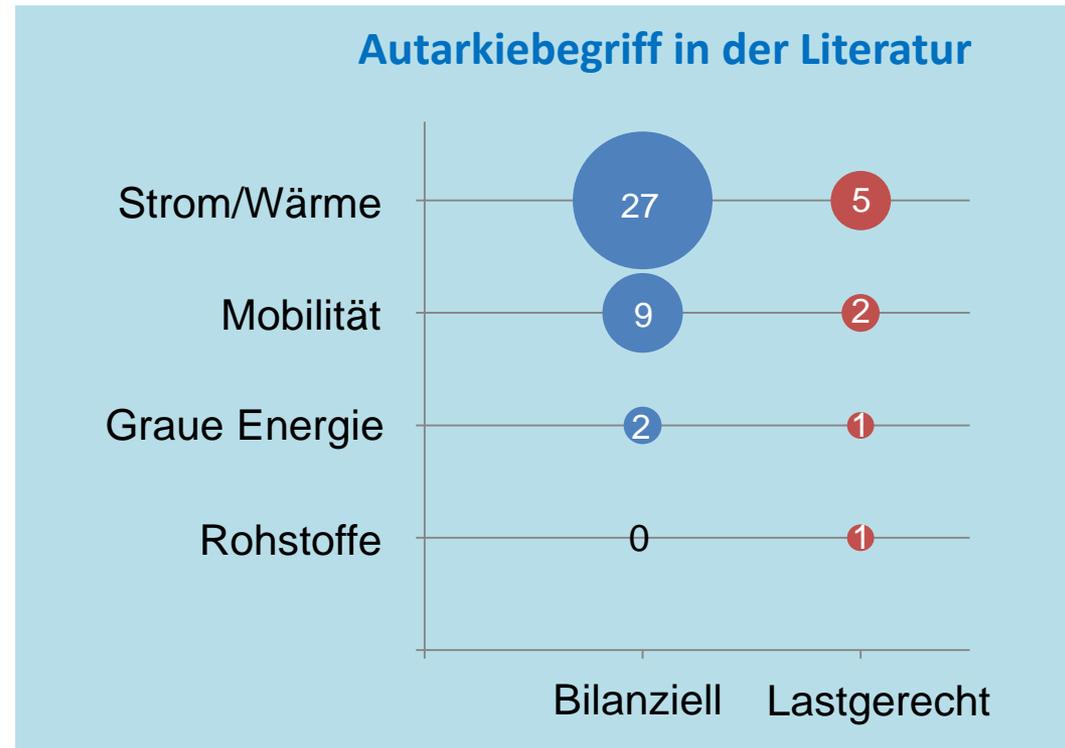
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt in der Helmholtz Gemeinschaft (**DLR**), Stuttgart

Bürgergutachten - Metzingen

Metzingen, 21. September 2015

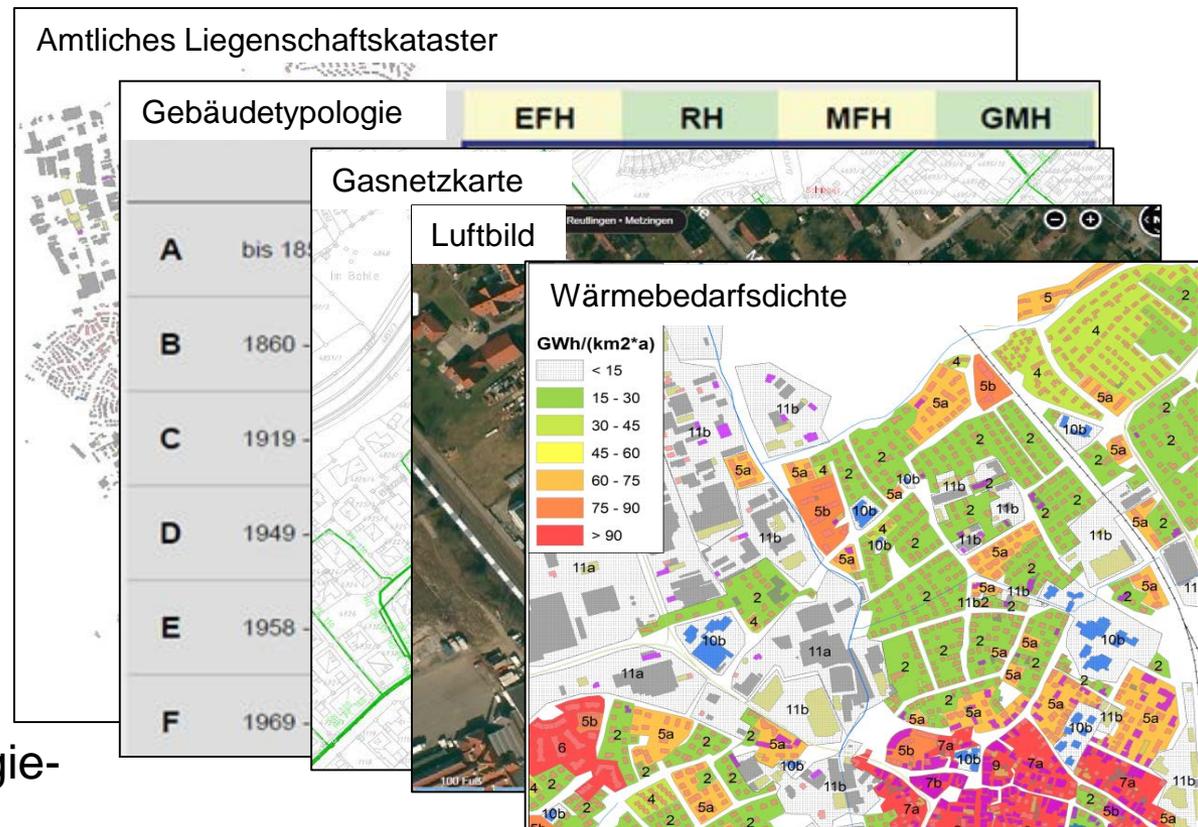
- Systemare Analyse der **Auswirkungen unterschiedlicher Energie-Autarkiegrade** auf das Energieverbrauchs niveau und seine Struktur, die Ausgestaltung der notwendigen Infrastruktur (Speicher, Netze usw.), die Treibhausgas-emissionen und die wirtschaftlichen Belastungen
- Projektlaufzeit vom **1.12.2013** bis zum **31.5.2016**.
- Teilfragen:
 - Ist auf Ebene eines **Bundeslandes (BaWü)** / einer größeren Gemein-de (**Metzingen**) Autarkie im Energiebereich **möglich und sinnvoll**?
 - Welche **Speicherdimensionen / -technologien** sind in welchen Bereichen nötig, welche sinnvoll und möglich?
 - **Partizipation** (Stakeholder und Experten), **Akzeptanz** (Bürgerschaft) und **Aktivitätspotenzial** (Stadtwerke, Energiegenossenschaften, Lokale Agenda Gruppen usw.)

- Begriff Energie-Autarkie ist in Literatur nicht genau erfasst
→ Vermischung von Autarkie und Autonomie
- Mögliche Bestandteile der Autarkie Betrachtung
 - i. Strom
 - ii. Wärme
 - iii. Treibstoffe
 - iv. Graue Energie
 - v. Rohstoffe
- Verschiedene Ausprägungen der Energie-Autarkie
 - i. Bilanzielle Autarkie
 - ii. Lastgerechte Autarkie



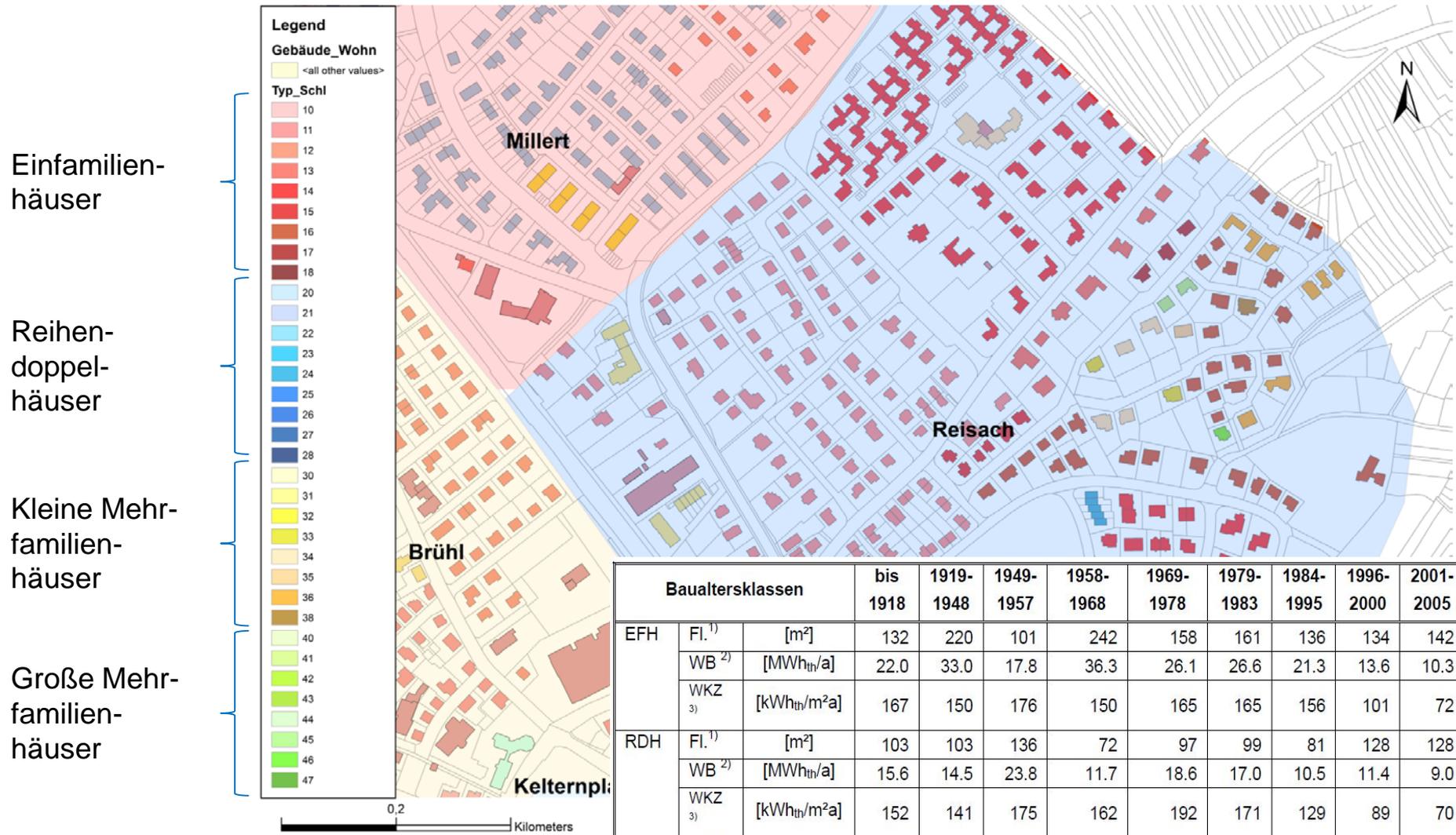
Geographisches Informationssystem (GIS)

- Quartierweise Wärmebedarfsermittlung anhand eines Wärmeatlas
- Definition des Siedlungstyps
- Trennung von Wohnhäusern, GHD, städt. Liegenschaften und Industrie
- Zusammenfassung gleicher Bautypen
- Berücksichtigung von Altersstruktur, Sanierungszustand und Wohnflächen
- Ergebnis stellt eine „Energie-Karte“ Metzingens dar



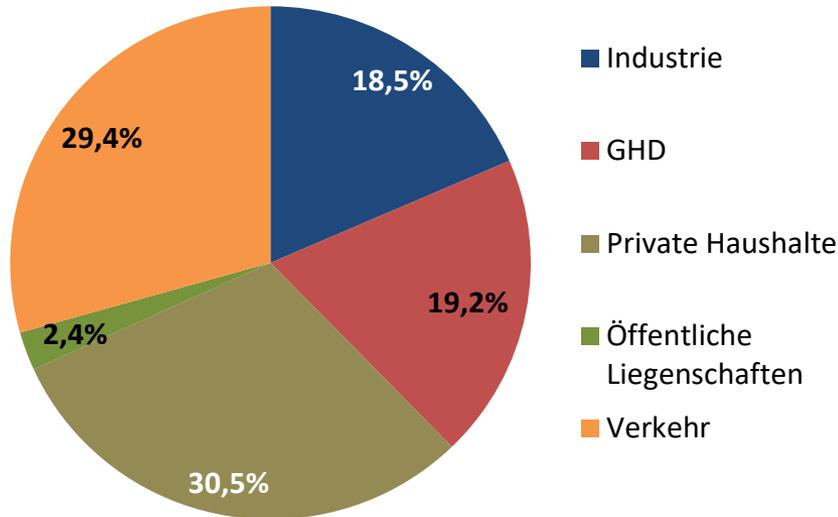
Beispiel: Gebäudetyp nach Alter strukturiert

Quartier Reisach

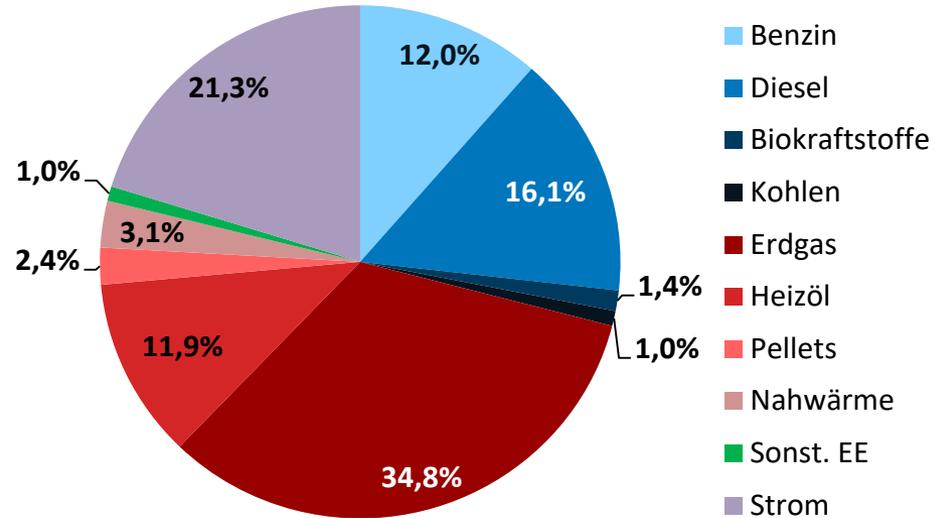


Endenergiebedarf Metzingsens 2012 - Übersicht

Endenergiebedarf nach Sektoren



Endenergiebedarf nach Energieträgern

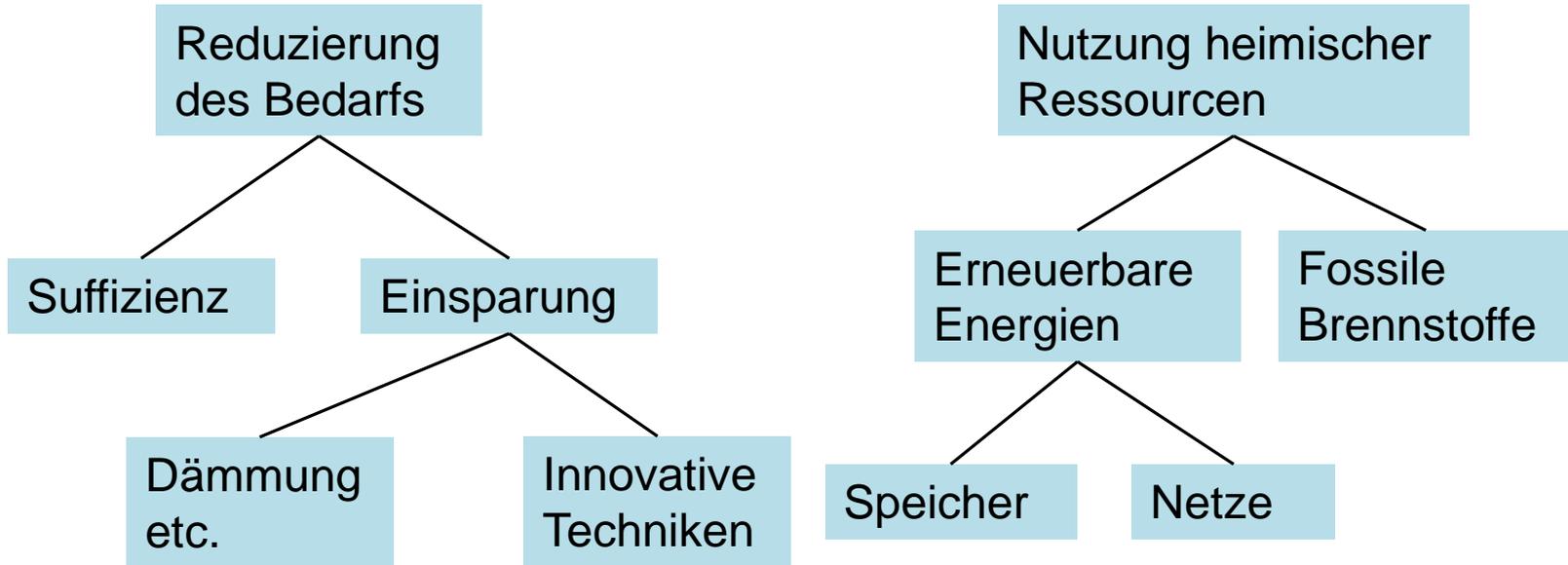


Summe: 564,5 GWh

Quellenbilanz	Metzingen	BW	Deutschland
Einwohner	21.129	10.510.000	80.620.000
Energiebedingte CO ₂ Emissionen pro Kopf [t/pers.]	5,14	6,25	9,11

➔ Bilanzierter Autarkiegrad 2,5 % für das Gesamtsystem Metzingen

Erreichung von lastgerechter / bilanzieller Autarkie auf verschiedenen Pfaden möglich

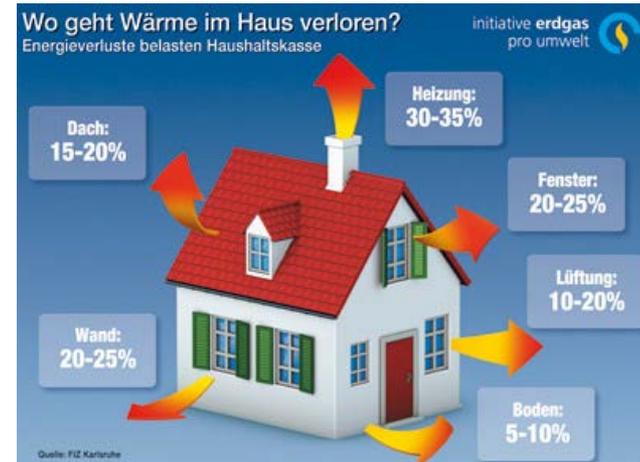


→ auch auf Einzelobjekte übertragbar, z. B. Gebäude

Effizienz und Suffizienz – Gebäudesanierung und Einsparung

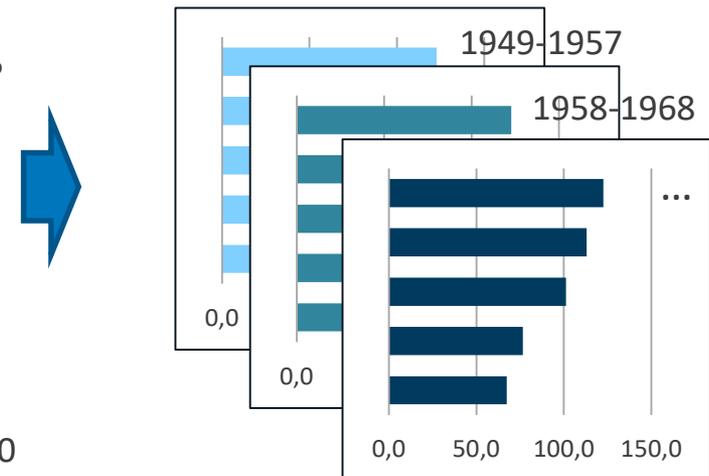
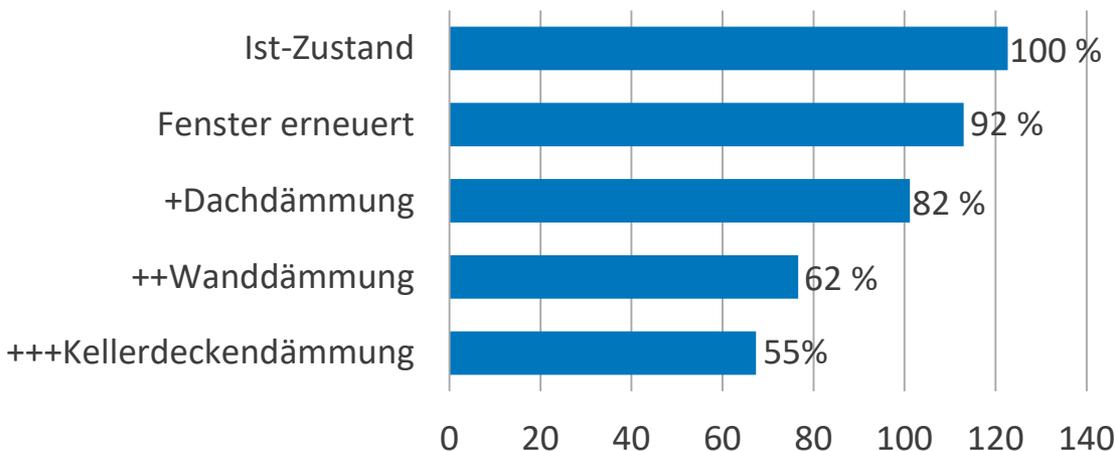
Maßnahmen zur Gebäudesanierung → Optionen zur Raumwärmebedarfsreduktion

- Erneuerung der Fenster
- Dachdämmung
- Außenwanddämmung
- Kellerdeckendämmung
- Heizungssanierung
- Perimeterdämmung



Raumwärmebedarf in kWh je m² und Jahr

Maßnahmenkatalog je Bautyp und Altersklasse

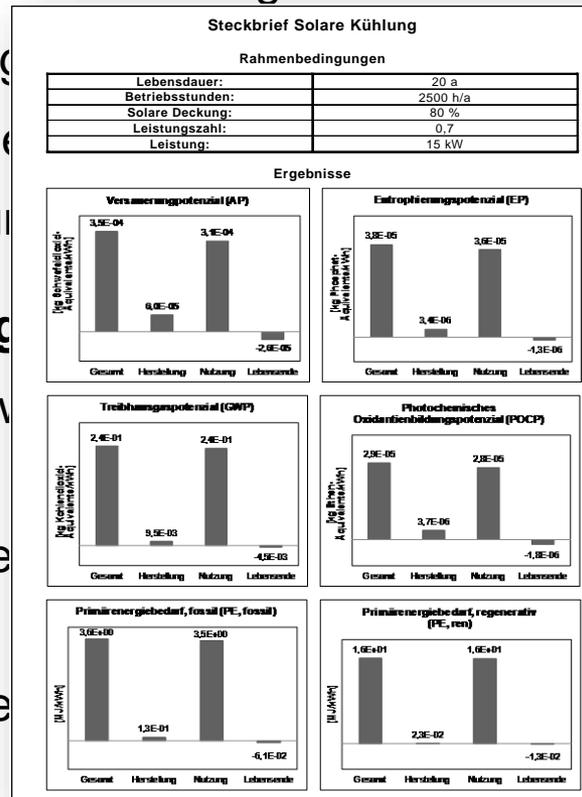


Auswahl verschiedener Technologien / Optionen

- Technische-ökonomische Bewertung
- Wirkungsgrade, Leistung
- Investitionskosten, Betrieb
- Lokale Potenzialermittlung

Ganzheitliche Bilanzierung

- Analyse der Umweltauswirkungen einer Ökobilanz
- Unterscheidung zwischen Umweltauswirkungen
- Unterscheidung zwischen Umweltauswirkungen

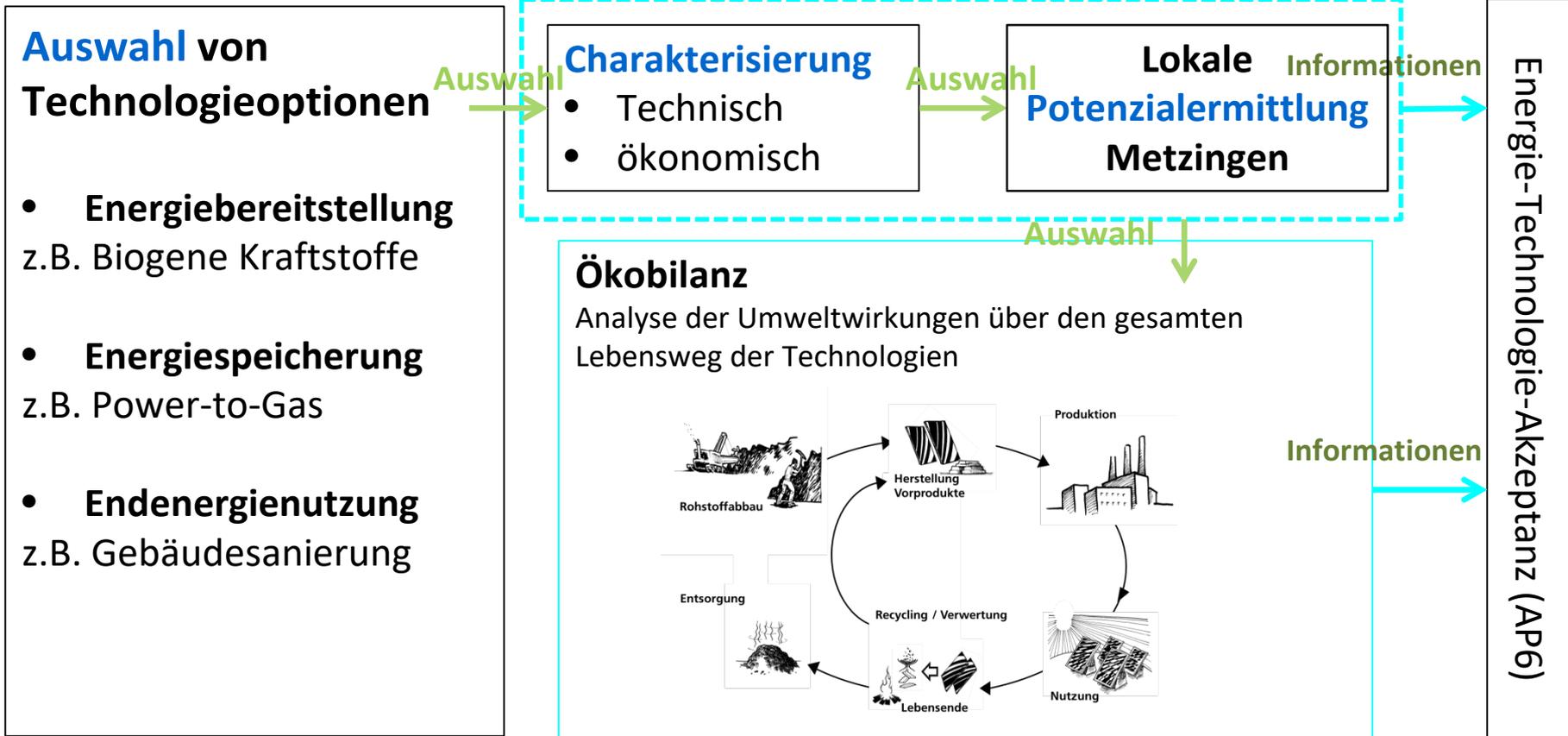


Fazit

Die Ergebnisse der Solaren Kühlung zeigen in allen Kategorien eine deutliche Dominanz der Nutzungsphase. Das ist zurückzuführen auf die Stromaufwendungen, die für den Betrieb und die Regelung aufgebracht werden müssen. Außerdem wird zur sicheren Bereitstellung von Kühlenergie zusätzlich eine konventionelle Technik eingesetzt, die durch den Verbrennungsvorgang ebenfalls Umweltwirkungen hervorruft. Der hohe regenerative Primärenergiebedarf wird fast ausschließlich von der Solaranlage verursacht, was durch die Nutzung von Sonnenenergie zu begründen ist. Die Aufwendungen der Herstellung und die Gutschriften der Entsorgungsphasen nehmen eine untergeordnete Rolle ein.

→ **Technologie-Steckbriefe**

- Betrachtung des ganzen Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung, Lebensende)



- Auswertungen für verschiedenen Umweltwirkungskategorien

Beispielhafte Ökobilanz-Ergebnisse

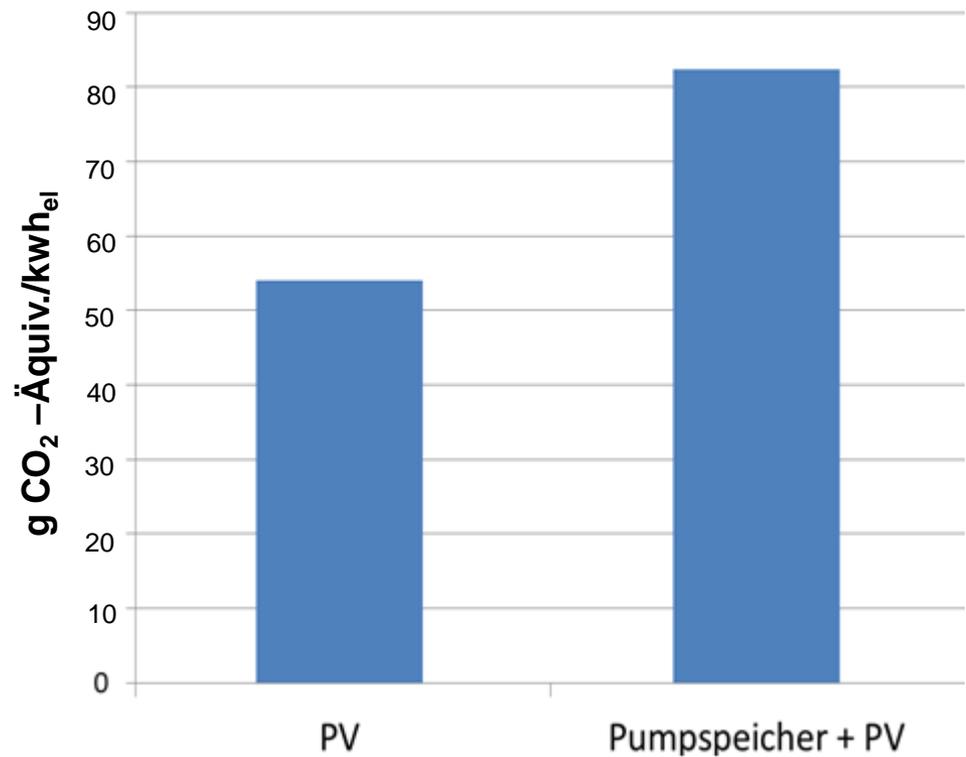
Photovoltaikanlage:

- 100 % Dachinstallation
- 100 % Monokristalline Module
- Moduleffizienz: 14 %
- Modullebensdauer: 30 Jahre
- Einstrahlung in Metzingen: 1257 kWh/a/m²

Pumpspeicherkraftwerk:

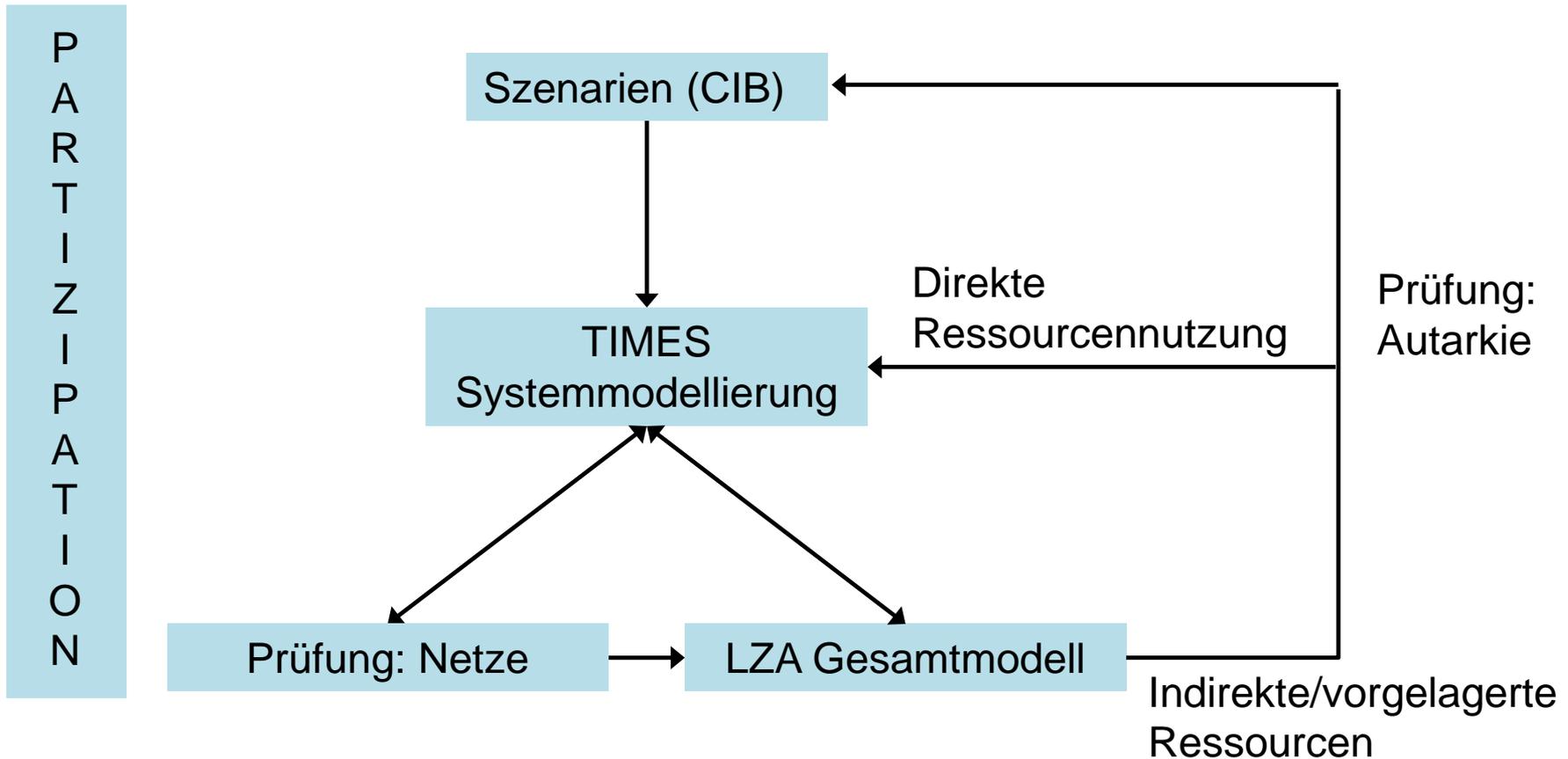
- Lebensdauer Kraftwerk: 90 Jahre
- Gesamtwirkungsgrad: 75 %

Treibhausgasemissionen (Global Warming Potential)

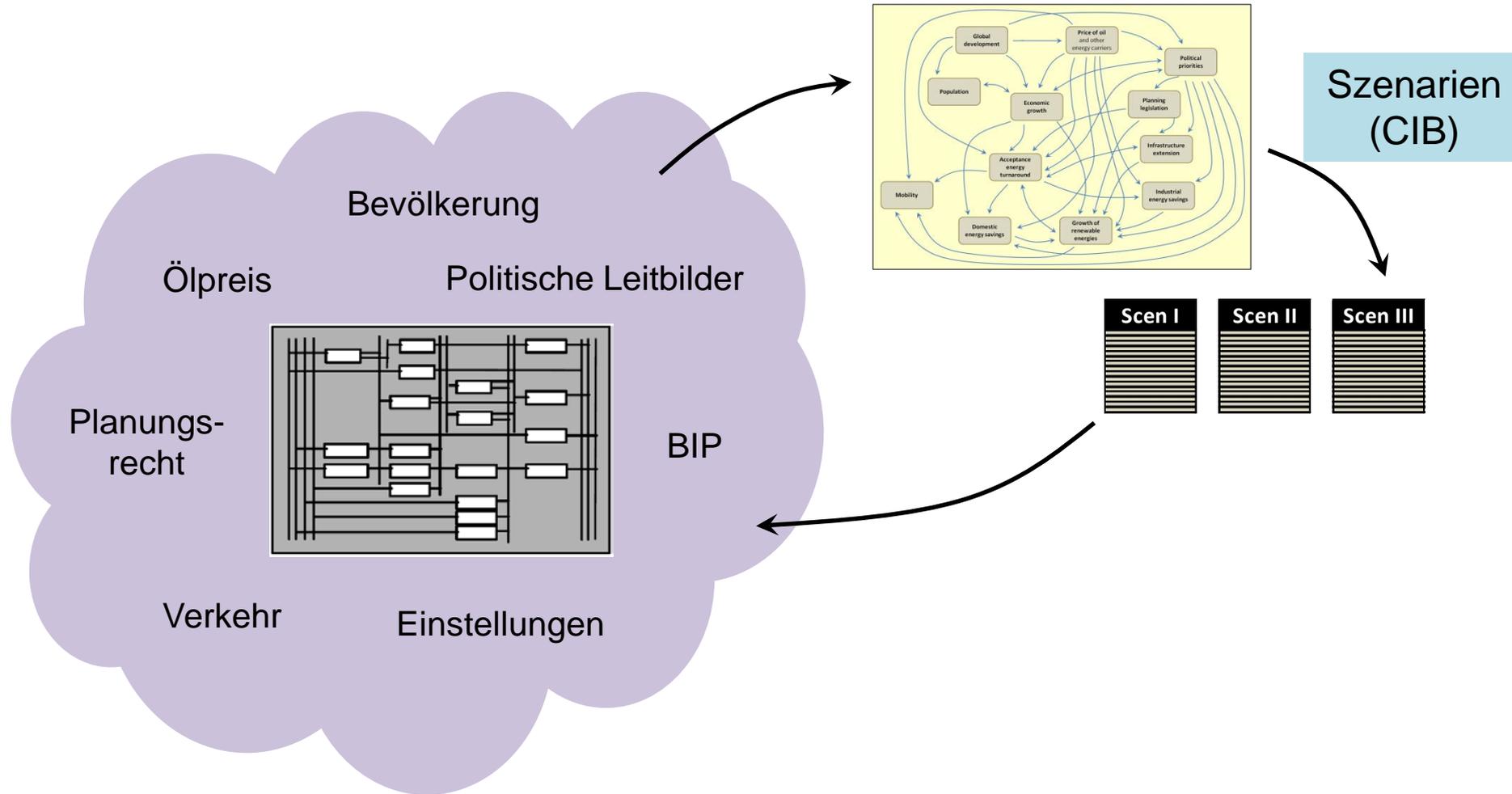


LBP-GaBi

Autarkie Untersuchung im Gesamtmodell

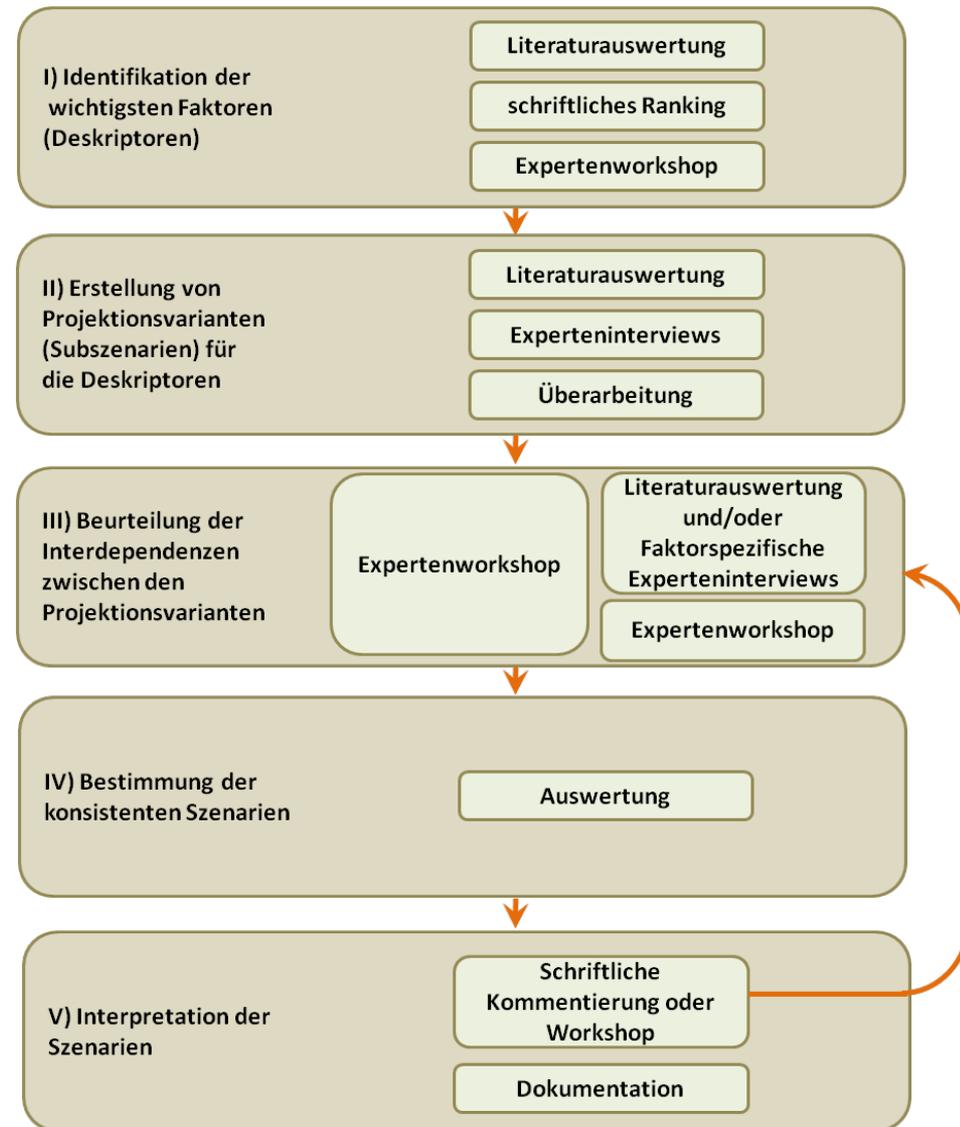


Gesellschaftsszenarien und Energieszenarien

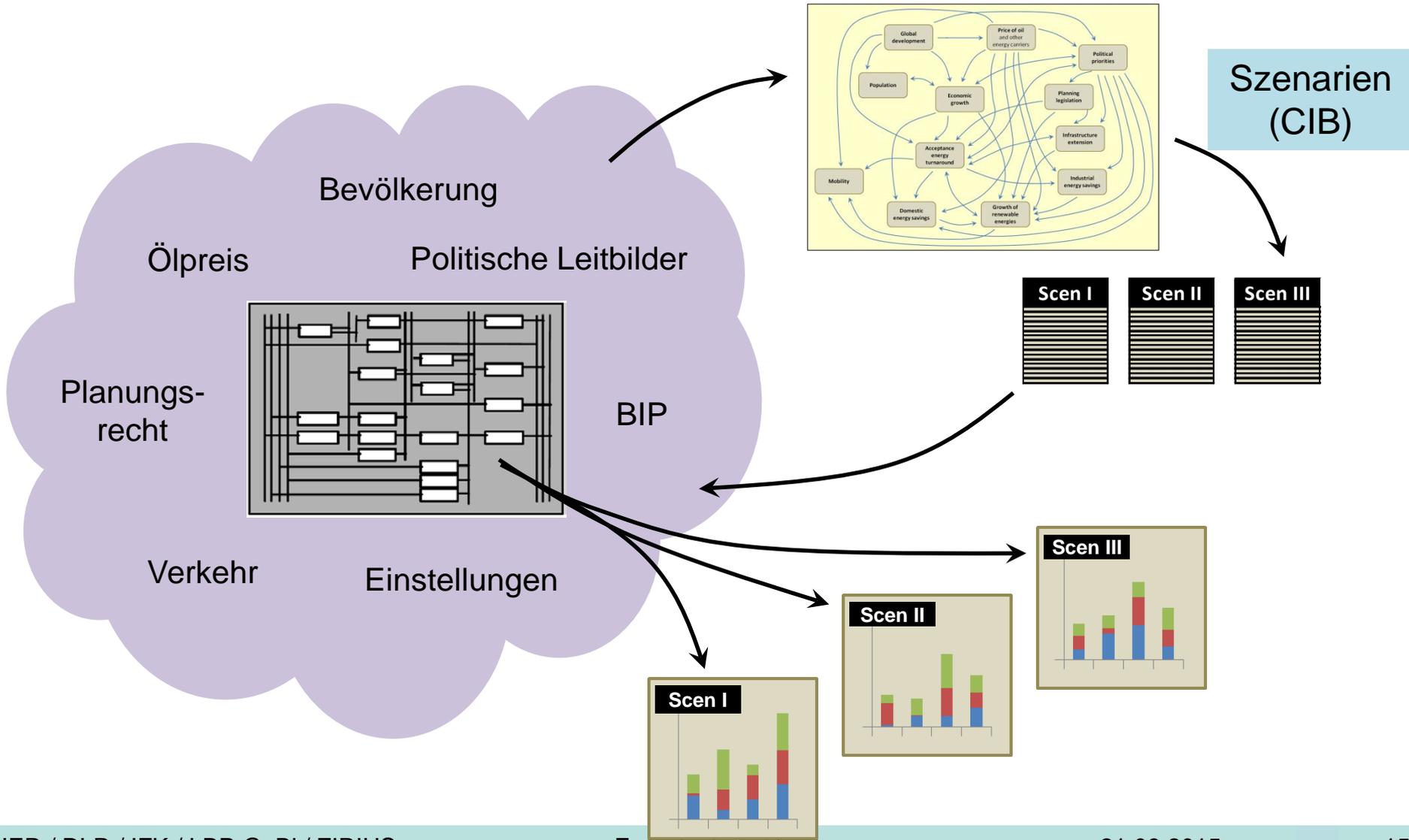


CIB (Cross-Impact Bilanzanalyse)

- CIB-Workshops
- Festlegung der zu berücksichtigenden **Parameter** und deren **Ausprägungen**
- Gemeinsame Einschätzung der **Wechselwirkungen**
- Gemeinsame **Identifikation** der **Szenarien**, die auch numerisch berechnet werden sollen

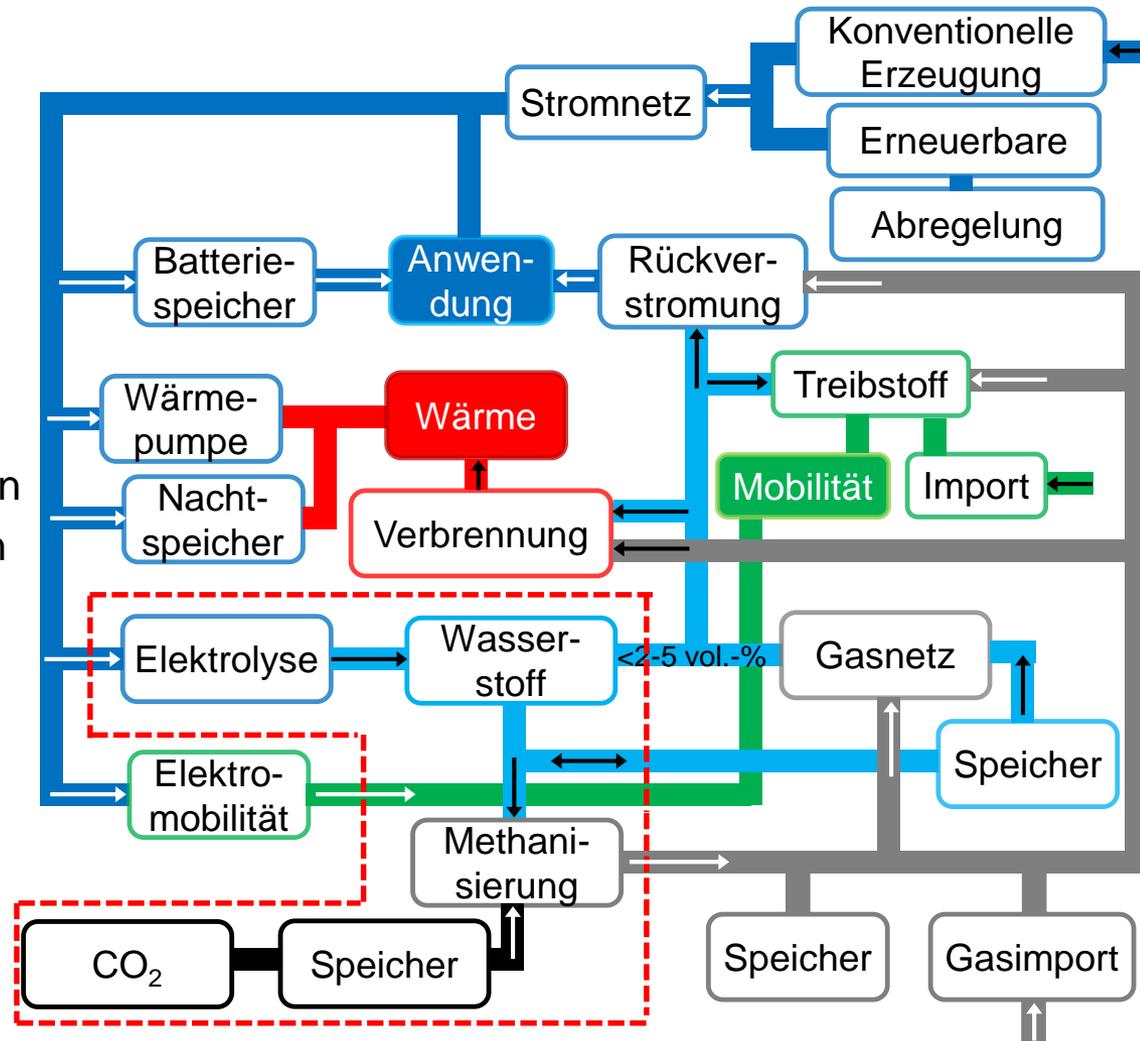


Gesellschaftsszenarien und Energieszenarien



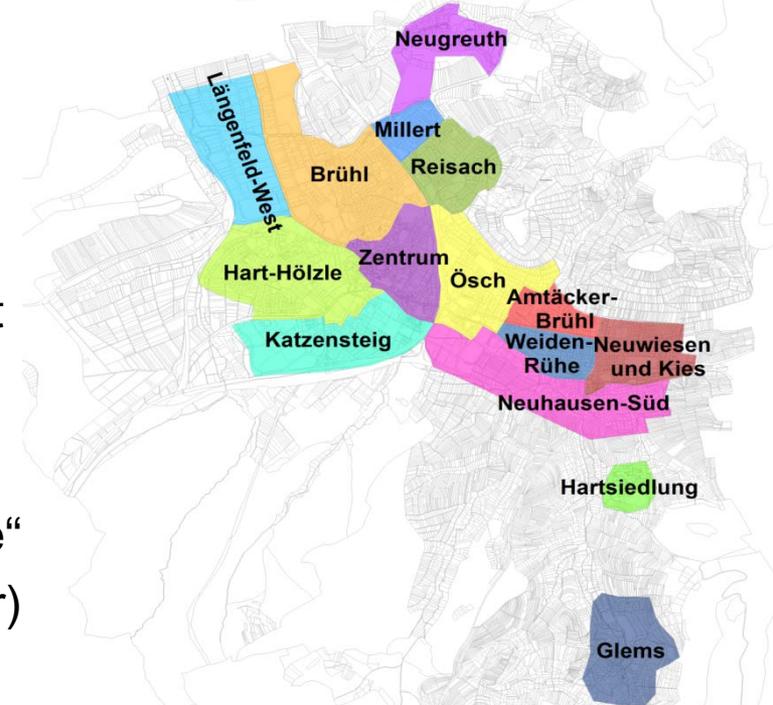
Energiewandlung – Energiesystem der Zukunft

- Verknüpfung verschiedener Energieträger in Energiewandlungsprozessen erweitert Flexibilität
 - (Langzeit)-Speicher
 - Energietransport/ -netze
 - Marktdurchdringung von „alternativen“ Technologien in bisher unerreichten Sektoren
- Beispiel: Power-to-Gas
 - Weiterverwendung des speicherbaren Gases nach Bedarf
 - Gas-to-Power
 - Gas-to-Heat
 - Gas-to-Tank

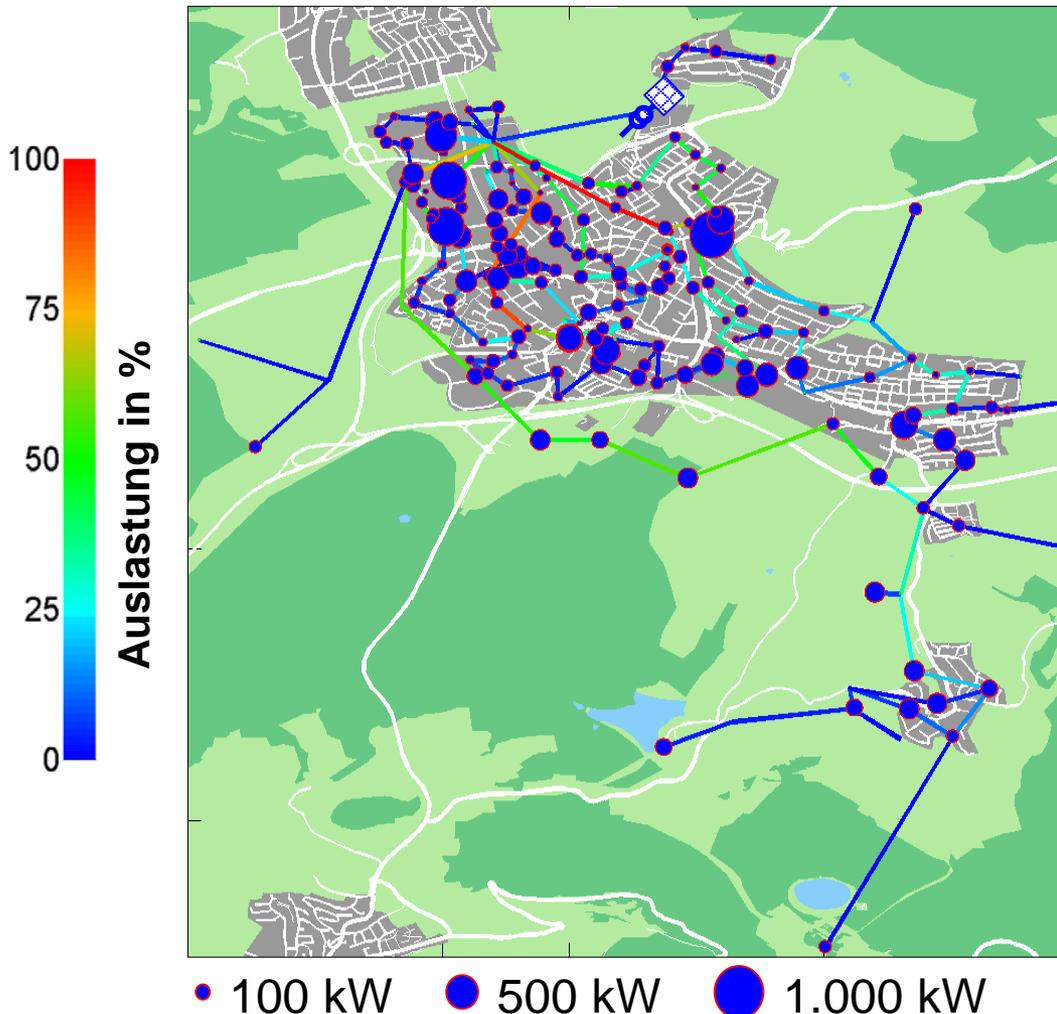


- Analyse für unterschiedliche Bilanzräume (Metzingen, Baden-Württemberg)
- Räumlich hochaufgelöstes TIMES-Modell entsprechend der Bebauungsstruktur
- Charakterisierung der Teilgebiete hinsichtlich Gebäudestruktur und Technologieverfügbarkeit
- Hinterlegung von Technologien zur Energiewandlung und -nutzung
- Auswirkungen unterschiedlicher „Autarkiegrade“ auf den Energieverbrauch (Niveau und Struktur)
- Treibhausgasemissionen
- Wirtschaftliche Implikationen
- Ausgestaltung der notwendigen Infrastruktur (Speicher, Wärme-/ Gasnetze usw.) → **Plausibilisierung Stromnetz**

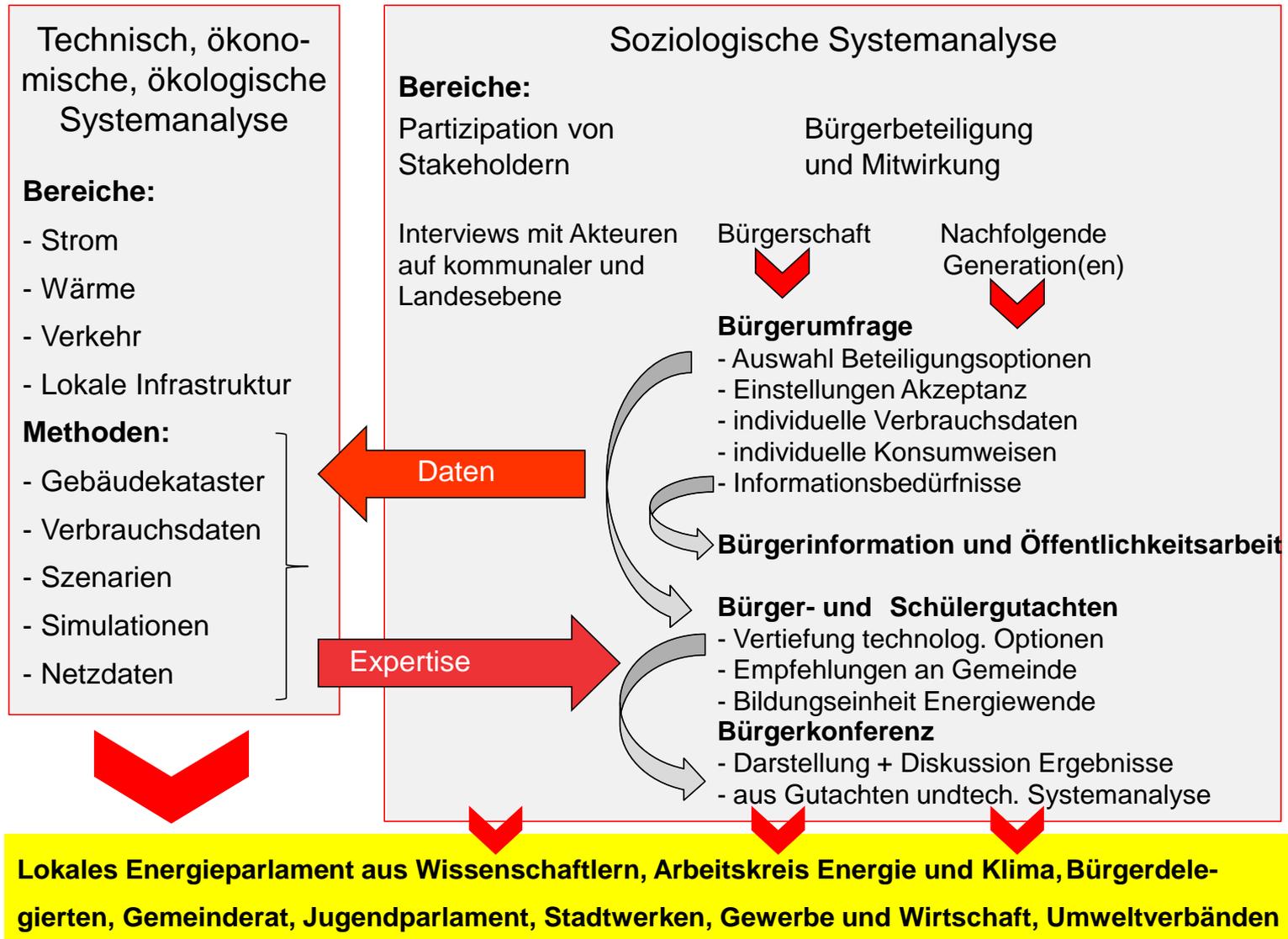
Metzingen Aufteilung in Stadtteile



■ Maximallastfall: 25 MW



- Modellierung des Stromnetzes auf Mittelspannungsebene
- Geographische Lage der Ortsnetztransformatoren
- Daten des Netzmodells
 - Leitungsimpedanzen
 - Standardisierte Transformatoren an MS / NS - Übergabestellen
 - Betrieb mit offenen Trennstellen (→ gering vermaschtes Netz)
- Plausibilisierung anhand von Lastflussberechnungen
- Maximallastfall (25 MW Übergabeleistung an 110 kV-Ebene)



Jan Tomaschek	Ulrich Fahl	Lukasz Brodecki
		
IER		

Wolfgang Hauser	Marco Sonnenberger
	
zirus 	

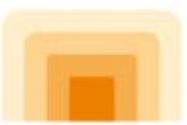
Uwe Pfenning



Andreas Siebenlist	Florian Gutekunst
	
	

Roberta Graf	Michael Baumann
	
 LBP	

IER

zirius 



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Dr. Ulrich Fahl / Dr. Jan Tomaschek / Lukasz Brodecki

IER *Institut für Energiewirtschaft*
Rationelle Energieanwendung

Heßbrühlstr. 49a, 70565 Stuttgart

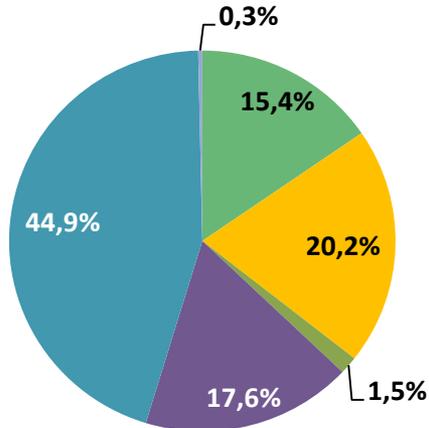
Tel.: +49 711 / 685 878 -30 / -36

E-mail: Ulrich.Fahl@ier.uni-stuttgart.de
Jan.Tomaschek@ier.uni-stuttgart.de
Lukasz.Brodecki@ier.uni-stuttgart.de

Back up

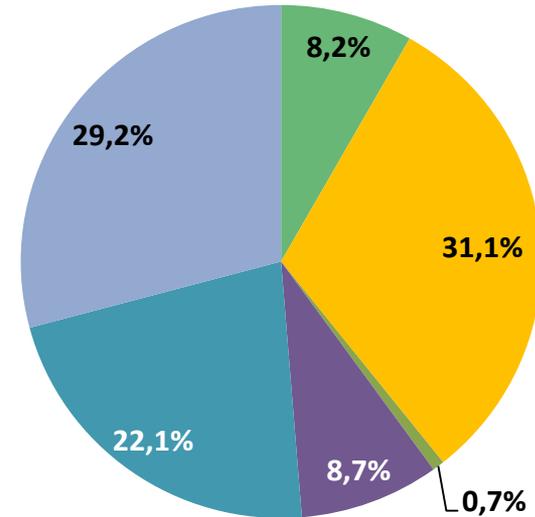


Quellenbezogene Bilanz



Summe: 108,42 kt CO₂

Verursacherbezogene Bilanz



Summe: 220,31 kt CO₂

- Stromimport wird mit 562 g/kWh angerechnet (D-Mix) Quelle: UBA (2012)

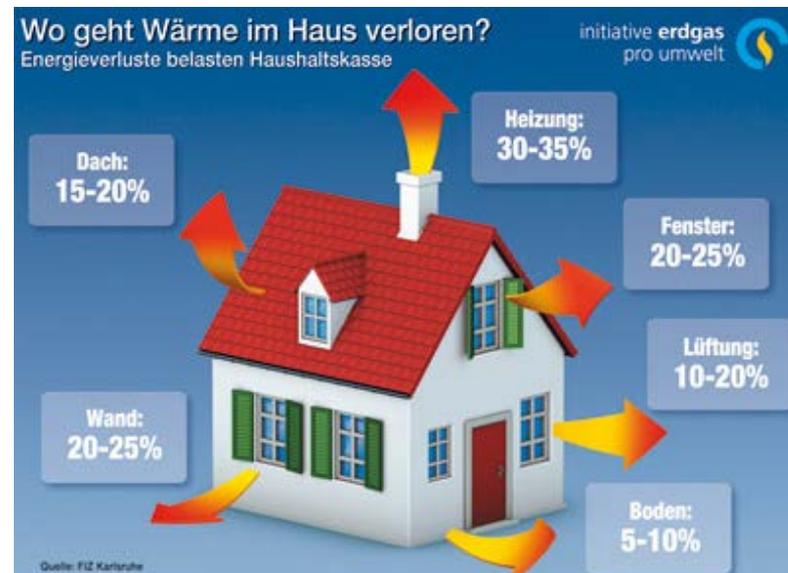
	Metzingen	BW	Deutschland
Einwohner	21.129	10.510.000	80.620.000
Quellenbezogene CO ₂ Emissionen pro Kopf [t/pers.]	5,13	6,25	9,11
Verursacherbezogene CO ₂ Emissionen pro Kopf [t/pers.]	10,43	8,70	-

Energiebilanz – Detailgraderweiterung

[GWh]		Heizöl	Erdgas	Solar	Erd- wärme	Pellets	Nahwärme	Heizstrom	Summe
Raumwärme- & Warmwasser- bedarf in Haushalten	EFH	20,4	42,5	0	0,8	18,9	0,2	0	82,8
	RDH	3,2	11,8	0	0,4	1,1	3,7	0	20,2
	KMH	12,2	16,9	0	0	0	0,6	5,4	35,1
	GMH	2,7	9,8	0	0	0	8,1	3,7	24,3
	Gesamt	38,5	81,0	0	1,2	20,0	12,6	9,1	162,4

Mögliche Einsparmaßnahmen

- Außenwanddämmung
- Dachdämmung
- Perimeterdämmung
- Fenstersanierung
- Heizungssanierung
- Kellerdeckendämmung
- ...



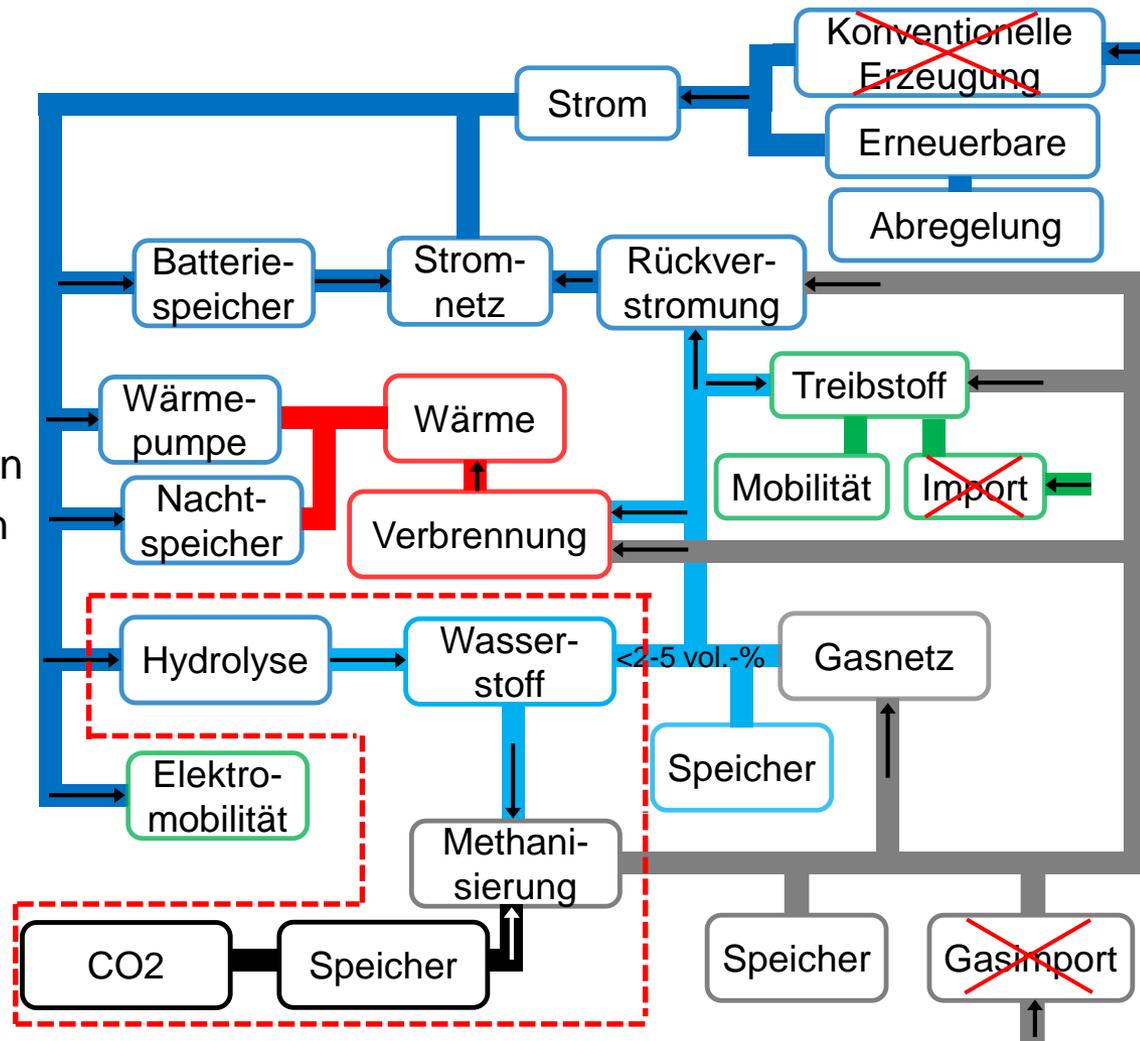
Energiewandlung – Energiesystem der Zukunft

- Verknüpfung verschiedener Energieträger in Energiewandlungsprozessen erweitert Flexibilität

- (Langzeit)-Speicher
- Energietransport/ -netze
- Marktdurchdringung von „alternativen“ Technologien in bisher unerreichten Sektoren

- Beispiel: Power-to-Gas

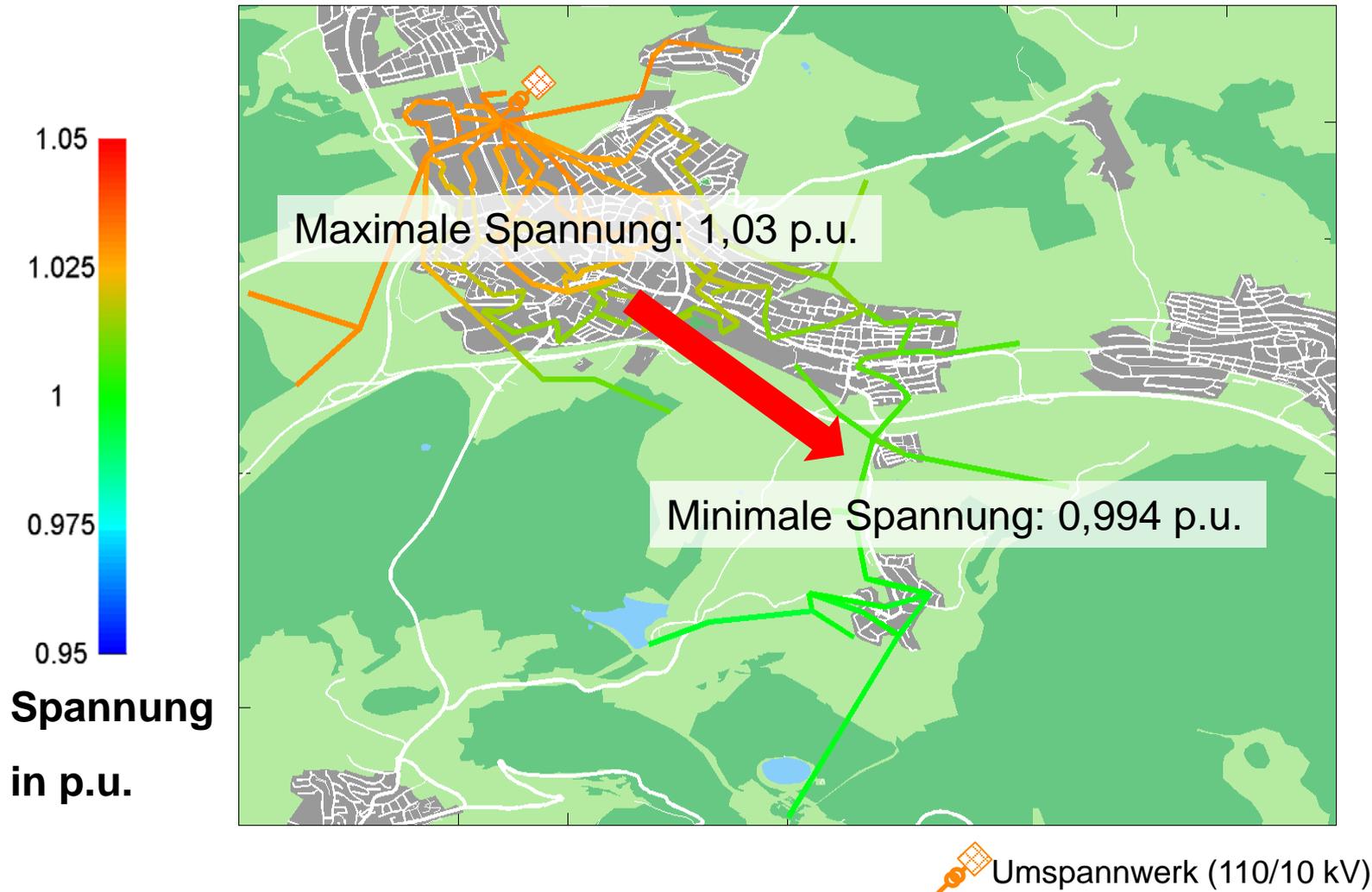
- Weiterverwendung des speicherbaren Gases nach Bedarf
 - Gas-to-Power
 - Gas-to-Heat
 - Gas-to-Tank



Ergebnisse der Lastflussberechnung

Spannungsverteilung auf 10 kV-Ebene

- Maximallastfall: 25 MW

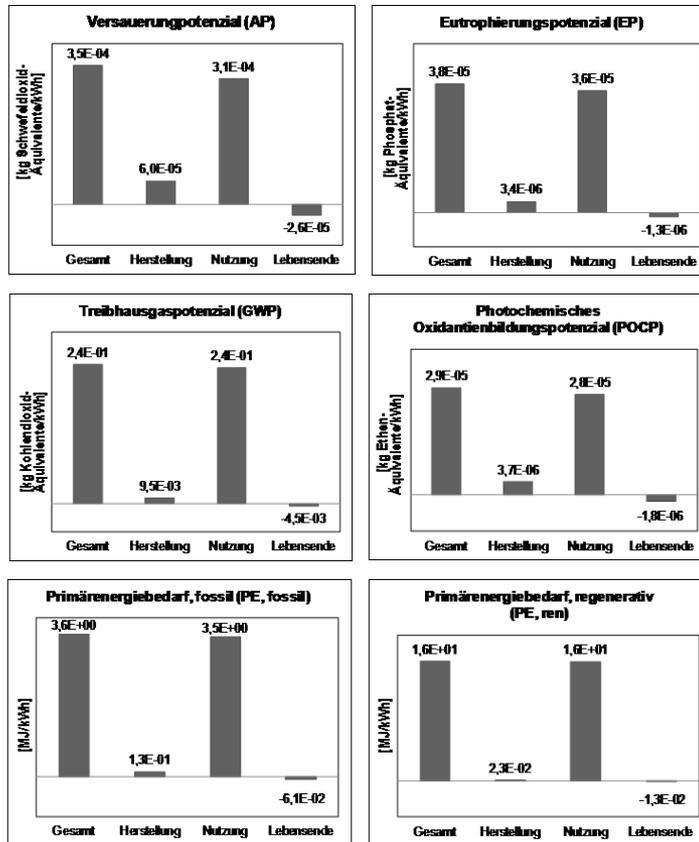


Steckbrief Solare Kühlung

Rahmenbedingungen

Lebensdauer:	20 a
Betriebsstunden:	2500 h/a
Solare Deckung:	80 %
Leistungszahl:	0,7
Leistung:	15 kW

Ergebnisse



Fazit

Die Ergebnisse der Solaren Kühlung zeigen in allen Kategorien eine deutliche Dominanz der Nutzungsphase. Das ist zurückzuführen auf die Stromaufwendungen, die für den Betrieb und die Regelung aufgebracht werden müssen. Außerdem wird zur sicheren Bereitstellung von Kühlenergie zusätzlich eine konventionelle Technik eingesetzt, die durch den Verbrennungsvorgang ebenfalls Umweltwirkungen hervorruft. Der hohe regenerative Primärenergiebedarf wird fast ausschließlich von der Solaranlage verursacht, was durch die Nutzung von Sonnenenergie zu begründen ist. Die Aufwendungen der Herstellung und die Gutschriften der Entsorgungsphasen nehmen eine untergeordnete Rolle ein.

Ist-Zustand bzw. aus TIMES
Modellierungsergebnissen



Stakeholder-Befragungen (Nov.-Dez. 2014, laufend)

- i. Leitfadengestützte Interviews bei 10-15 Stakeholdern

Bürgerumfragen (Nov.-Dez. 2014, laufend)

- i. Einstellungsmessungen zum subjektiven Verständnis von und Teilhabe an Energieautarkie und Energiewende
- ii. Erfassung der Informationsbedürfnisse und Informationsmedien

Bürgergutachten (ab Jan. 2014)

- i. Betrachtung der Vision einer lokalen Energiezukunft für Metzingen und der Relevanz des Zielwerts Autarkie
- ii. Reflexion der Zwischenergebnisse an die Bürgerschaft

Schülergutachten (ab Jan. 2014, Schule und Jugendgemeinderat)

- i. Einbeziehung der nachfolgenden Generation
- ii. Mitsprache bei Ausgestaltung der lokalen Energiewende

Energieparlament

- i. Lokales, beratendes Forum für kommunalpolitische Entscheidungen zur lokalen Energiewende und Maßnahmen zur Energieversorgung

Mangelndes Agenda-Setting der Systemkomponenten....

- Öffentliche Vermittlung der Energiewende oft undeutlich
 - i. Systembezug von Produktion, Verbrauch, Verteilung und Sicherung ist deutlich unterrepräsentiert in der öffentlichen Wahrnehmung

... führt vor allem zu fehlender Akzeptabilität ...

- Soll-Bruchstelle macht sich auf lokaler Ebene bemerkbar
 - i. Akzeptanz von Netzen und Speichieranlagen (kollektiver System der Energiewende) problematisch

... und mündet in diskursiven Bürgerbeteiligungsverfahren

- Akzeptabilität und Überzeugungsmuster Pro Energiewende notwendig
 - i. Bedarf an offener dialogbezogener Diskurse der Bürgerbeteiligung und Einbeziehung nachfolgender Generationen

- Projekte aus Rottweil (BW-PLUS-Projekt 2004-2008) zeigen, dass sich Bürger/Innen für komplexe und abstrakte Fragen der Energiewende interessieren
- Generelles Bedürfnis über die Sinnfragen, Metalogik und Stand der Forschung zu EE-Technologien und ihrer Systemfunktionalität gegeben
- Auf Basis objektiver Information entsteht teilweise Bereitschaft zur Beteiligung
 - i. „Gute Information“ entspricht der Einbeziehung der realen Informationsbedürfnisse der Bürger/Innen
- Thematisch komplexe Detaildiskussion kann nur in kleinen Bürgergruppen (Bürgergutachten) geführt werden
 - i. Bedarf der Legitimation durch die Bürgerschaft.
- Anschließende Diskussion zur Umsetzung von lokalen Maßnahmen der Energiewende und Ausarbeitung konkreter Empfehlungen

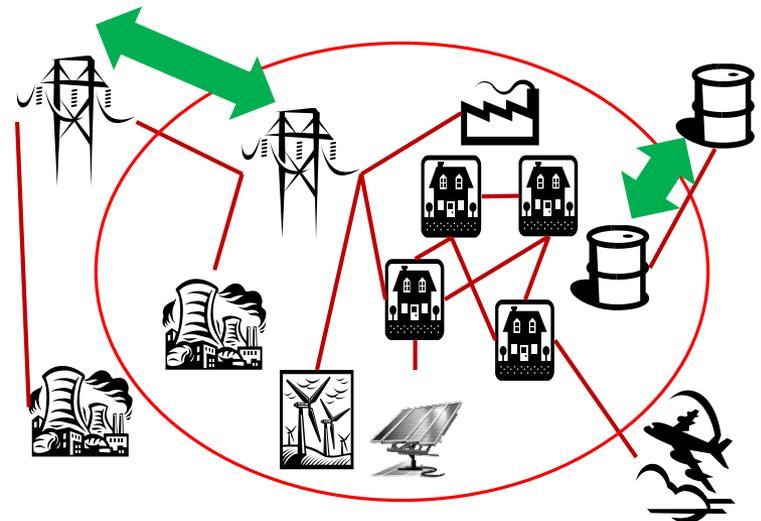
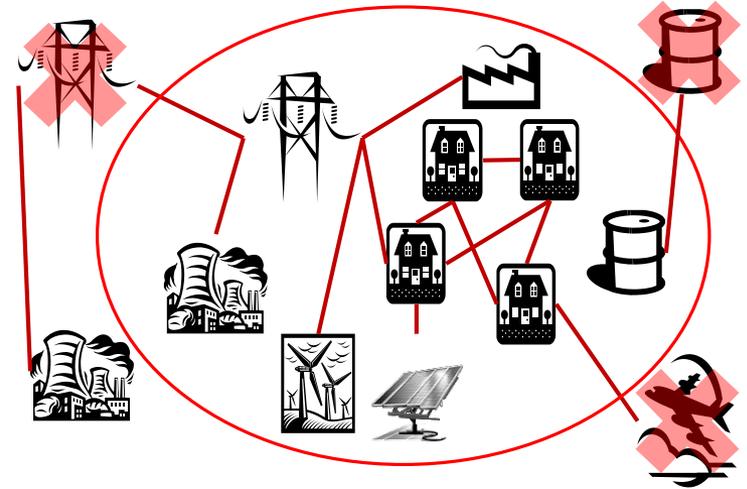
Wie können und wollen Bürger/innen beteiligt werden?

- Zur sachlichen Information und Stand der Wissenschaft: > **Bürgerinformation**
- Zur Auswahl der Beteiligungsformate seitens der Bürger > **Bürgerumfragen**
- Zur intensiven Diskussion technologischer Details: > **Bürgergutachten**
- Zur Sicht der Jugendlichen auf die Energiewende 2050 > **Jugendgutachten**
- Zur Energiewende als Bildungsthema: > **Schülergutachten**
- Zum Austausch der Zwischenergebnisse: > **Bürgerversammlungen**
- Zur abschließenden Beratung der zentralen Ergebnisse > **Bürgerkonferenz**
- Etablierung der Bürgerbeteiligung > **Lokales „Energieparlament“**

Ziel ist es, die Energiewende zum lokalen Thema in der Bürgerschaft (einschließlich der nachfolgenden Generation) zu machen sowie zum Mitmachen + Mitbestimmen anzuregen!

- * Energiepflanzenanbau
- * Biogene Kraftstoffe und Fahrzeuge
- * Gas und Wasserstoff im Verkehr
- * Wind-Onshore-Anlage
- * PV-Frei- und Dachflächenanlagen
- * Geothermie (Tiefen-, oberflächennah)
- * Power-to-Gas * Power-to-Heat
- * Wärmetransport, -verteilung, -speicherung
- * Gasverteilung, -einspeisung, -speicherung
- * Dampf- und Prozesswärmeerzeugung
- * Gebäudeheizungssysteme
- * Bioenergie-KWK-Anlagen
- * Elektromobilität
- * Stationäre Brennstoffzellen
- * (Mini-)BHKW
- * Solarthermie
- * Pumpspeicherkraftwerke
- * Abwasser-Wärmepumpen
- * Stromübertragung und -verteilung
- * H₂-Transport und -Speicherung
- * Haushaltsgeräte
- * Gebäudesanierung

- Lastgerechte Autarkie
 - i. Auch „Absolute Energieautarkie“ genannt
 - ii. Keine Energie wird von außen in das System eingetragen
 - iii. Abweichung vom Idealbegriff durch Eintrag von Sonne, Wind, Wasser
 - iv. Weitere Aufweichung der Regeln durch Berücksichtigung von Stoffströmen
- Graue Energie
- Bilanzielle Autarkie
 - i. Erlaubt bilateralen Energieaustausch über Systemgrenze hinweg
 - ii. Bilanz über für definierte Ströme im Betrachtungszeitraum nicht negativ
 - iii. Vernachlässigung der grauen Energie



- **Gebäudebezogene** - Ermittlung des Wärmebedarfs mit Hilfe der deutschen Gebäudetypologie

IWU

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GmbH
Annastraße 15
64285 Darmstadt
Telefon: (0649) 06151/2904-0
Telefax: -97
eMail: info@iwu.de
Internet: <http://www.iwu.de>
Stand: 22. Juni 2005

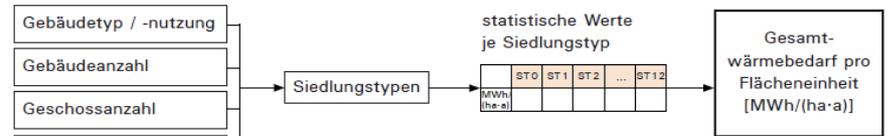
Deutsche Gebäudetypologie

Systematik und Datensätze

Baualtersklasse			EFH	RH	MFH	GMH	HH
A	vor 1918	Fachwerk	EP1A		MP1A		
B	vor 1918		EP1B	RH1B	MP1B	GM1B	
C	1919-1948		EP1C	RH1C	MP1C	GM1C	
D	1949-1957		EP1D	RH1D	MP1D	GM1D	
E	1958-1968		EP1E	RH1E	MP1E	GM1E	HH1E
F	1969-1978		EP1F	RH1F	MP1F	GM1F	HH1F
G	1979-1983		EP1G	RH1G	MP1G	GM1G	HH1G

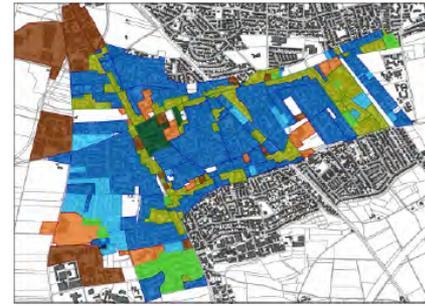
Baualtersklassen		bis 1918	1919-1948	1949-1957	1958-1968	1969-1978	1979-1983	1984-1995	1996-2000	2001-2005
EFH	Fl. ¹⁾	[m ²]	132	220	101	242	158	161	136	134
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	22.0	33.0	17.8	36.3	26.1	26.6	21.3	13.6
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	167	150	176	150	165	165	156	101
RDH	Fl. ¹⁾	[m ²]	103	103	136	72	97	99	81	128
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	15.6	14.5	23.8	11.7	18.6	17.0	10.5	11.4
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	152	141	175	162	192	171	129	89

- **Siedlungstypen Methode**



Flussdiagramm 3.2: Siedlungsbezogene Wärmebedarfsermittlung

Beispiel: Siedlungsbezogene Wärmebedarfsermittlung in der Gemeinde Ottobrunn



- Identifizierung von Siedlungstypen**
- ST 2: Einfamilienhaus- und Doppelhaussiedlung
 - ST 4: Reihenhäuser
 - ST 5b: Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern
 - ST 6: Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern
 - ST 7b: dichte Blockbebauung
 - ST 10a: öffentliche Sonderbauten, groß
 - ST 11b: gewerbliche Sonderbauten / Dienstleistungsbauten

Siedlungstypen		ST0	ST1	ST2	ST3a	ST3b	ST4	ST5a
Beschreibung der Gebäude								
Anzahl Gebäude pro km ²	[GB/km ²]	5	766	1.257	1.559	1.555	1.914	1.524
Vollbenutzungsstunden	[h/a]	1.900	2.000	2.000	2.000	1.900	2000	1.900
Gleichzeitigkeitsfaktor	[-]	1,00	0,90	0,85	0,80	0,80	0,85	0,80
Höchstleistung der Wärmebedarfsdichte	[MW _{th} /km ²]	0,2	8,6	11,0	15,0	20,4	14,6	30,1
Max. Wärmeverbrauchs-dichte	[GWh _{th} /km ² a]	0,31	19,1	25,9	37,5	48,4	34,3	71,5