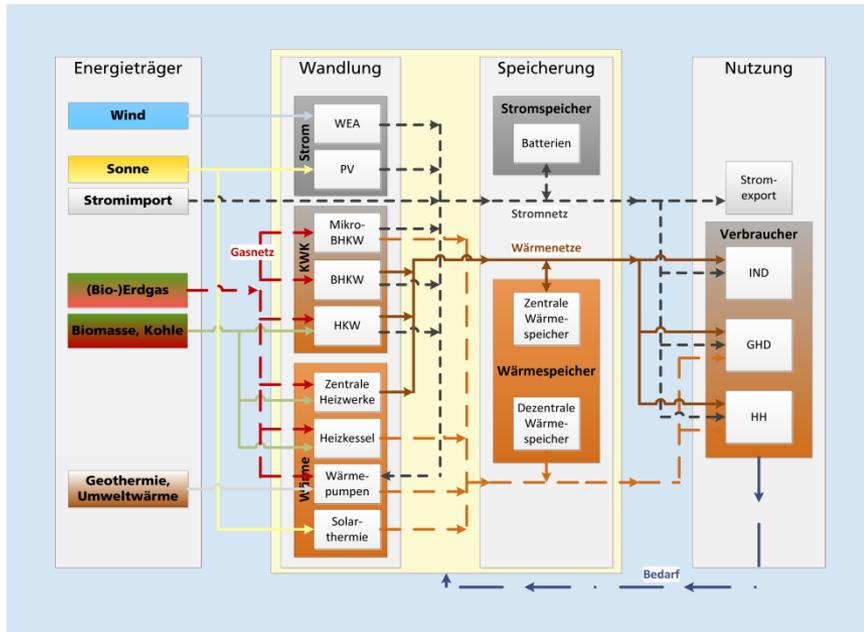


# TECHNO-ÖKONOMISCHE OPTIMIERUNG KOMMUNALER ENERGIESYSTEME DURCH ZEITLICH HOCHAUFGELÖSTE MULTISPARTENMODELLIERUNG



Jan-Bleicke Eggers  
Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE

Workshop „Urbane  
Energiesystemmodelle“, KIT

Karlsruhe, 12.11.2015

---

# AGENDA

---

- Motivation und zu beantwortende Fragestellungen
- Methodisches Vorgehen
- Das kommunale Energiesystemmodell KomMod
- Anwendungsbeispiel Frankfurt am Main
- Anwendungsbeispiel Quartier in Freiburg

# Motivation und Hintergrund

- Städte und Kommunen sind zentrale Akteure der Energiewende
  - Erneuerbare Energien-Anlagen werden vor Ort errichtet und betrieben
  - Implementierung Smart Grid, Lastmanagement, Speicher erfolgt vor Ort
  - Mobilitätsänderungen primär vor Ort (v.a. E-Mobilität und ÖPNV)
  - Bürgerinnen und Bürger sind Nutzer und Investoren (Akzeptanz)
  
- Gruppe „Quartiere & Städte“ unterstützt Kommunen bei der
  - Analyse ihres Energiesystems,
  - der Setzung realistischer energie-/ klimapolitischer Ziele und
  - gibt Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Ziele in die Praxisliefert dazu
  - Werkzeuge, Prozesse und Strategien

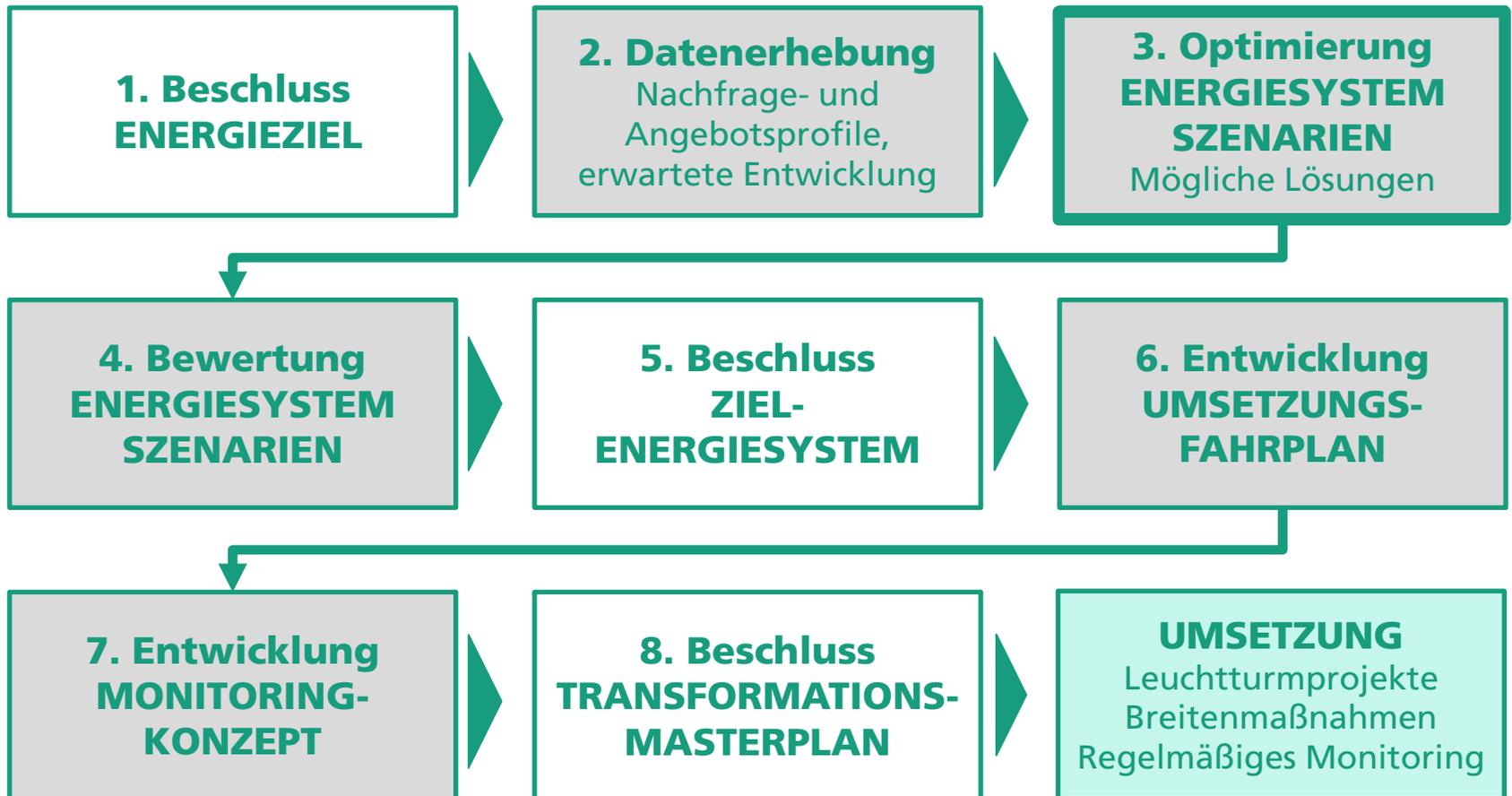
# Zu beantwortende Fragestellungen

- Wie sähe eine zukünftige zuverlässige und kostenoptimale Energieversorgung einer Kommune mit einem möglichst hohen Anteil erneuerbarer Energien aus?
  - Wie wäre solch eine Energieversorgung im Detail ausgestaltet?
    - Welche Technologiezusammensetzung ist sinnvoll? (Windenergie, PV, KWK, Solarthermie, Wärmepumpen, Speicher, ...)
    - In welchem Umfang ist ein Ausbau der Wärmenetze und der großen Kraftwärmekopplung sinnvoll?
    - In welchem Umfang ist eine energetische Gebäudesanierung sinnvoll und umsetzbar? Welche Energieeinsparungen ließen sich erzielen?
- ➔ **Ziel:** Technische Strategie und Handlungsempfehlungen an die Stadt und Akteure wie Hausbesitzer und Energieversorgungsunternehmen

# Herausforderungen bei der Identifizierung eines optimierten nachhaltigen kommunalen Energiesystems

- 1** Zielsetzung: Intelligentes Management von **lokalen** erneuerbaren Ressourcen und Bedarfsprofilen mit hohem Selbstversorgungsgrad  
→ **Individuelle Lösung für jede Stadt**
- 2** Transformation benötigt 20-40 Jahre, kurzfristig (ökonomisch) attraktive Lösungen können langfristig kontraproduktiv sein  
→ **Die Schritte der Transformation in naher Zukunft müssen sich am angestrebten Endzustand orientieren**
- 3** Das künftige Energiesystem ist von fluktuierender Erzeugung, Speichern, Lastmanagement und enger Verzahnung der Bedarfssparten geprägt  
→ **Zeitliche Dynamik und Interdependenzen der Bedarfssparten des Energiesystems sind zu berücksichtigen**

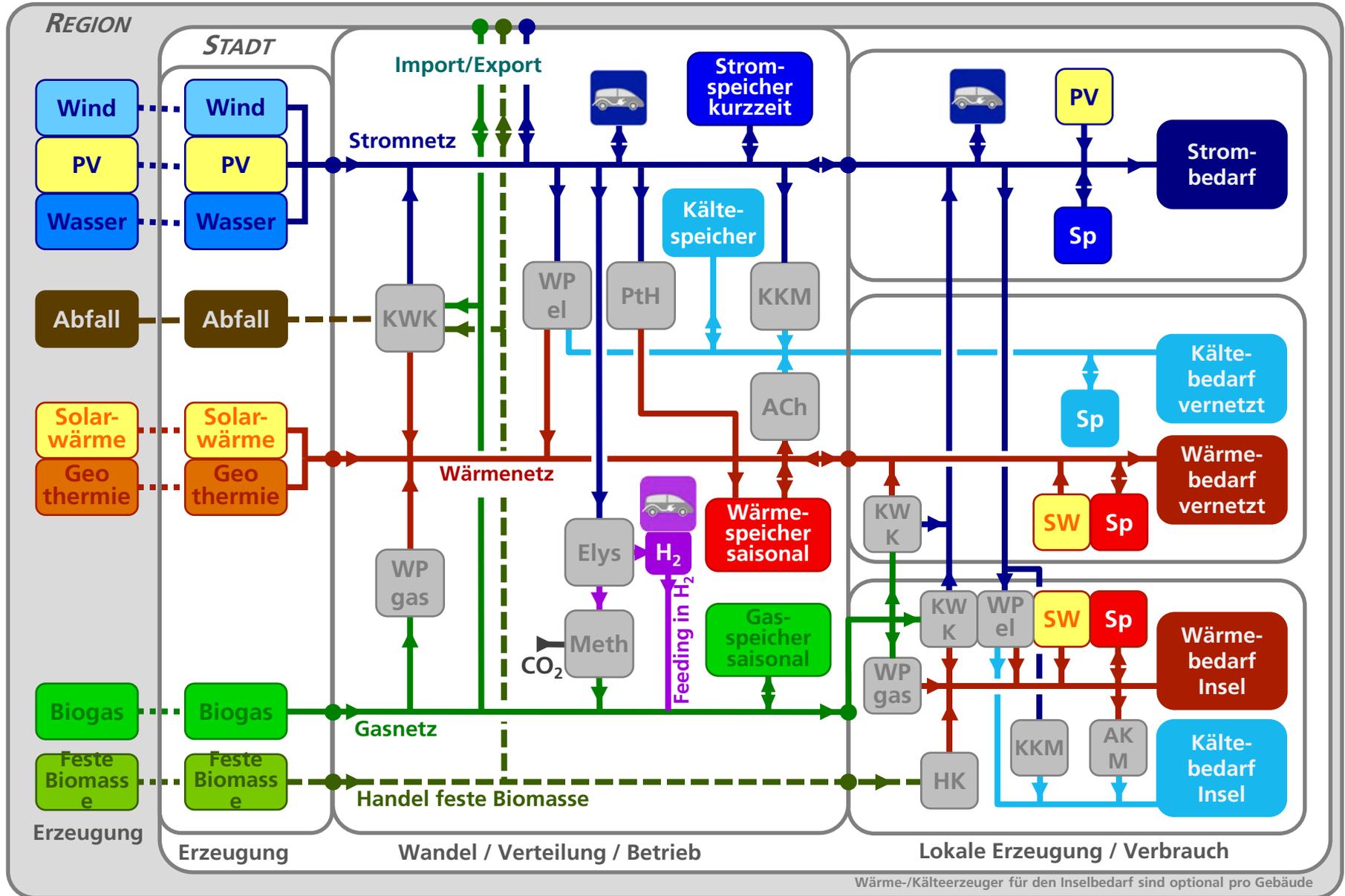
# Schritte zum kommunalen Transformations-Masterplan



Maßnahmen Stadtverwaltung und Bürger:

Unterstützung Experten/Beratungspartner:

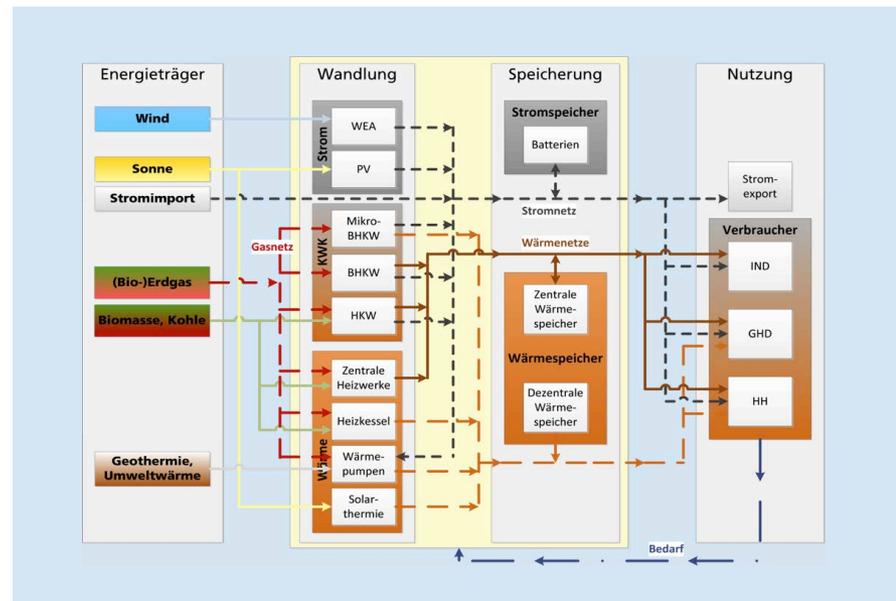
# Kommunales Energiesystem auf EE-Basis



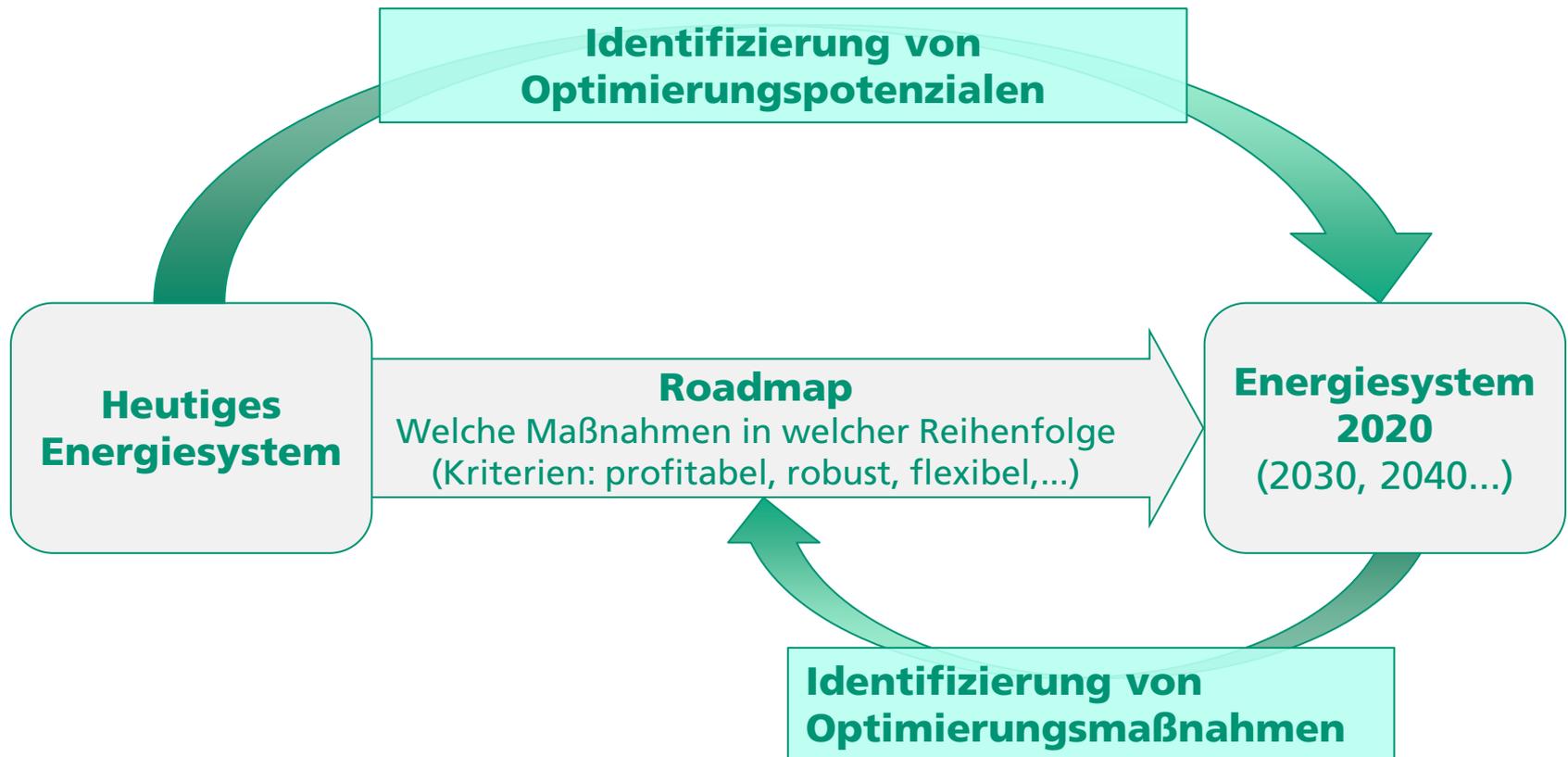
WP el./Gas = Wärmepumpe elektrisch / gasbetrieben, KWK = Kraft-Wärme-Kopplung, HK = Holzkessel, Sp. = Speicher, SW = Solarwärme, Elys = Elektrolyseur, Meth = Methanisierung, PtH = Power to Heat, AKM/KKM = Absorption-/Adsorption-/Kompressionskältemaschine

# KomMod – Charakteristik und Implementierung

- Simultane techno-ökonomische **Optimierung** von **Auslegung** (Struktur) und **Betrieb** für ein **Zieljahr**
- Optimierungsziele: Minimale **Gesamtkosten**, maximale **Autarkie**, minimale **Emissionen**
- Sektorübergreifende Betrachtung von **Strom** und **Wärme** zur Erfassung von **Wechselwirkungen**
- Zeitlich, räumlich und technisch **hochaufgelöst**
- Modellierung als simultan gelöstes, mathematisches Gleichungssystem (LP)
- Modellierungssprachen: AMPL, GNUplot, Python
- Solver: Gurobi, CPLEX



# »Vom Ende her denken« reduziert Risiken



# Energie-Quartier Haslach

## Motivation und Fragestellungen

### Motivation

Studie „Freiburg 2050 – Auf dem Weg zur Klimaneutralität“

Wettbewerb „Klimaneutrale Kommune“ des Landes BW

### Ziel: Strategieentwicklung für die Energieversorgung eines Bestandsquartiers (Übertragbarkeit)

- Kostenoptimale Deckung des Energiebedarfs (Wärme und Strom)
- private Haushalte
- Zeitgleiche Versorgung, räumliche Auflösung

### Fragestellungen

- Welche EE-Anteile und CO<sub>2</sub>-Reduktion lassen sich bis 2050 wirtschaftlich erreichen?
- Welche Technologien sind besonders wichtig – lohnt ein Ausbau der Wärmenetze?
- Welcher energetische Sanierungsgrad ist sinnvoll?



Energie-Quartier  
Haslach

# KomMod

## Methodik räumliche Auflösung

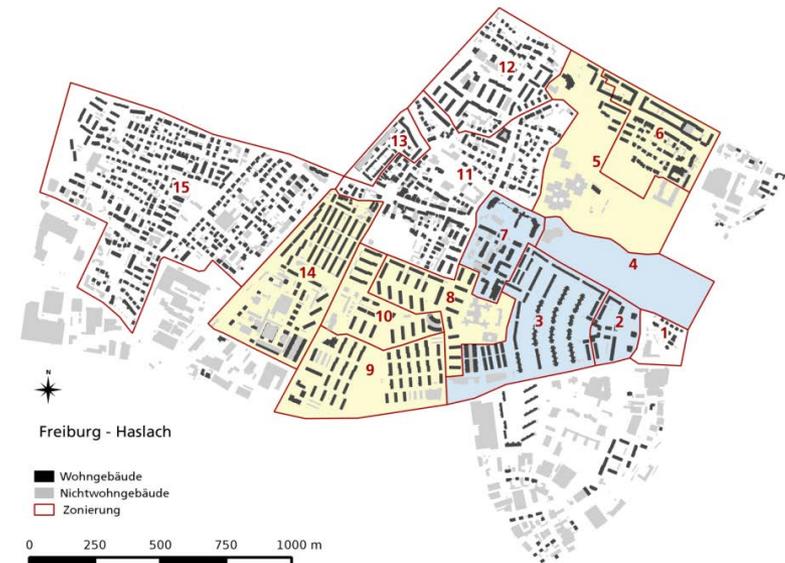
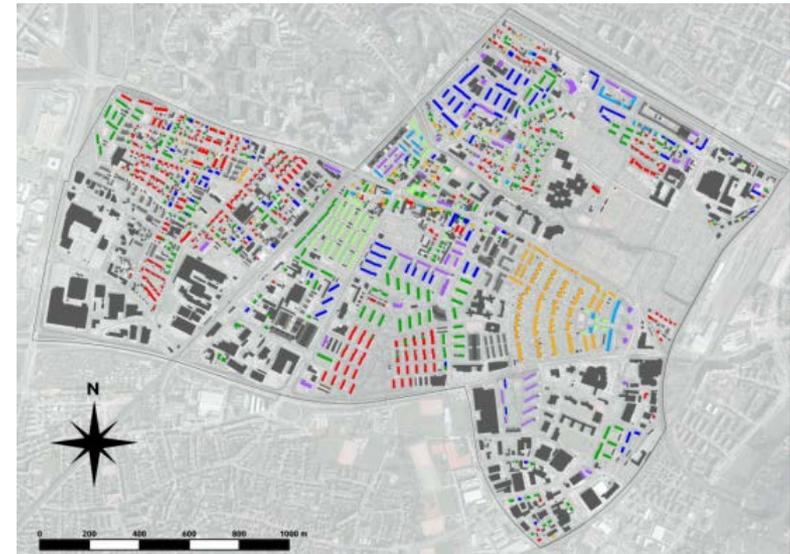
Hierarchische Unterteilung

- Gesamtsystem
- Zonen
- Unterzonen
- Gebäudetypen

Jede Unterteilung bildet einen eigenen Bilanzraum (Knoten) mit je einer elektrischen u. thermischen Energiebilanz

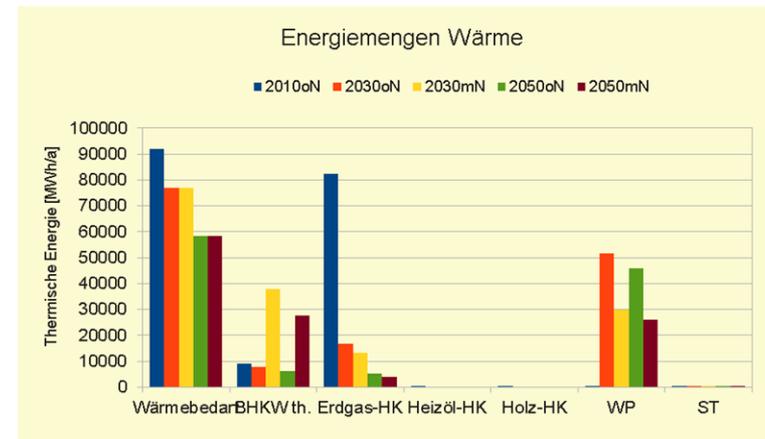
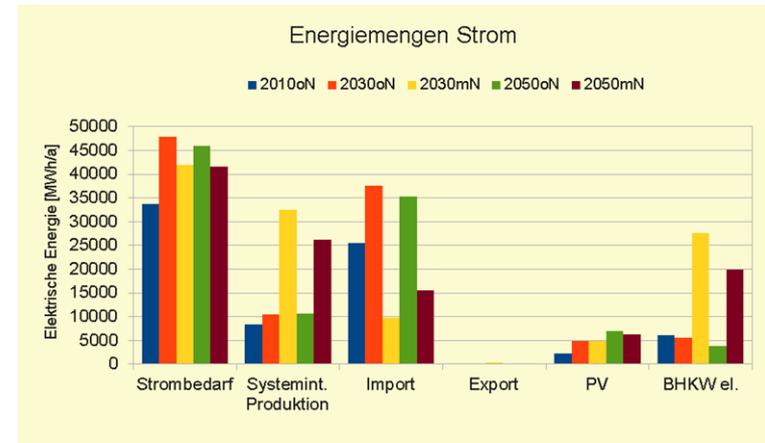
Im- und Export über die Bilanzgrenzen können begrenzt werden

In jedem Bilanzraum können beliebige Verbraucher, Erzeuger und Speicher zugelassen oder vorgegeben werden



# Freiburg-Haslach – Kernaussagen

- **50% Reduktion** der CO<sub>2</sub>-Emissionen **bis 2030** und max. **70% bis 2050** durch Kombination von energetischer Gebäudesanierung und effizienter Energieversorgung möglich
- Dezentral orientierte (hauptsächlich **Wärmepumpen**) und stärker zentralisierte Wärmeversorgung mit **BHKW** und Wärmenetzen sind ökonomisch und ökologisch etwa **gleichwertig**
- Dezentrale **Wärmepumpen** spielen zukünftig eine wichtige Rolle und harmonieren durchaus mit zentraler **KWK**
- **Wärmepumpen, BHKW** und **Photovoltaik** sind zukünftig zentrale Technologien
- BHKW decken bei Wärmenetzausbau 50–80% des Strombedarfs. Ohne Ausbau auch zukünftig überwiegend Stromimport.
- ➔ Strategie zur Umstellung von fossil befeuerten Wärmeerzeugern hin zu wärmenetzbasierten oder strombasierten Lösungen erforderlich



# Wie sich Frankfurt/Main im Jahr 2050 zu 95% mit regionalen erneuerbaren Energien versorgen kann

Berechnungen von Fraunhofer IBP und ISE für die Stadt Frankfurt am Main.

**Auftrag:** Berechnung einer **Versorgung mit bis zu 100% erneuerbaren Energien** im Jahr 2050 (für Strom, Wärme und lokale Mobilität) aus möglichst regionalen Quellen.

**Ergebnis: Eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ist möglich** bei Nutzung der Wind-, Biomasse- und PV-Potenziale aus der Region. Import/Export von Reststrommengen und die Einbeziehung von Wind-/ Biomasse-Potenzialen aus größerem Einzugsgebiet (Hessen) sind sinnvoll.



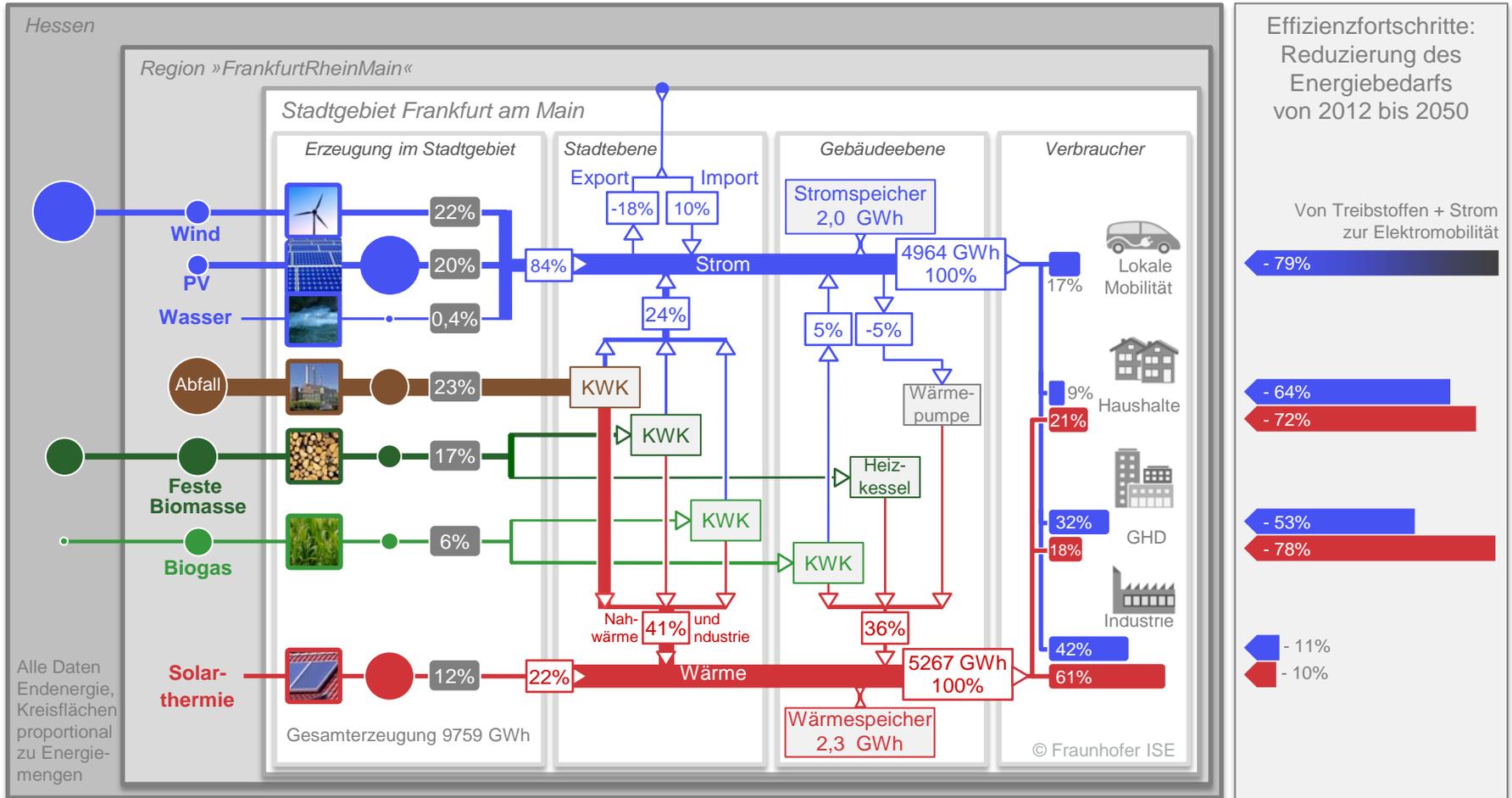
## MASSNAHMEN

1. Deutliche **Effizienzsteigerung** (Erzeugung, KWK, Verbrauch)
2. Maximale Nutzung **lokaler erneuerbarer Energien**
3. **Energiekooperation mit Region**
4. **Smarte Lösungen:** Smart Grid, Speicher, Elektromobilität,...

# Ziel-Energiesystem für Frankfurt am Main im Jahr 2050

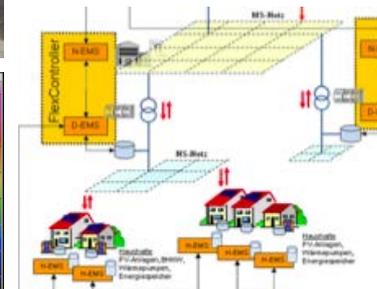
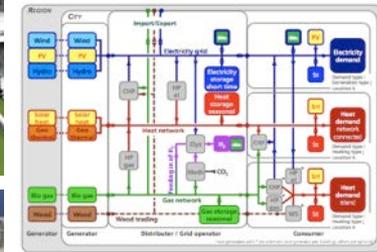
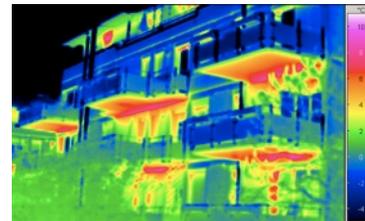
## 100% erneuerbare Energien, 95% aus regionalen Quellen

Ergebnis einer zeitlich hochaufgelösten Simulation des Energiesystems in Stundenauflösung.  
 Berücksichtigte Potenziale: Alle Potenziale der Stadt, erneuerbare Energien- und Abfallpotenziale der Region zu 50%, 11,6% des Hessenpotenzials von Wind und Biomasse (Einwohneranteil von Frankfurt)

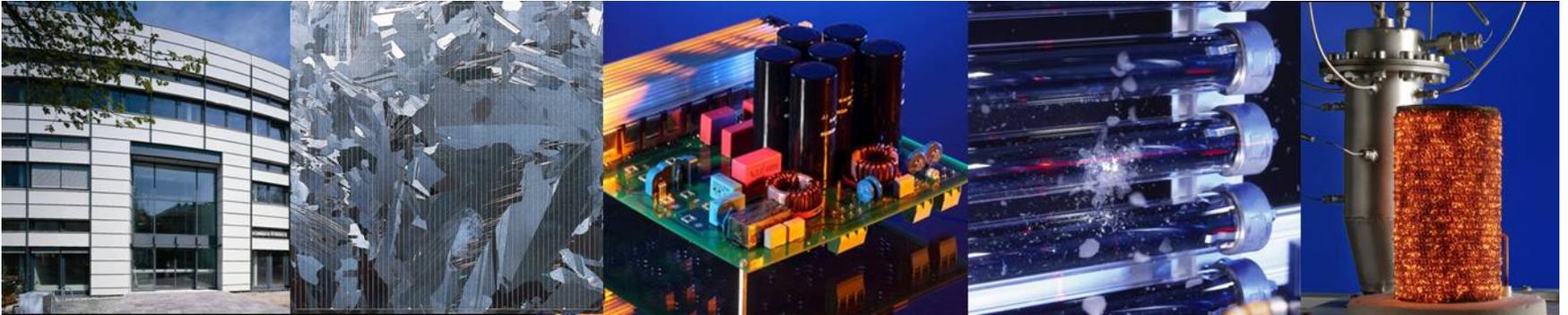


# Zusammenfassung und Ausblick

- Städte & Kommunen spielen bei der Umsetzung der Energiewende eine zentrale Rolle
- Planung und Umsetzung erfordern die aktive Beteiligung aller Akteure
- KomMod als Werkzeug unterstützt die Akteure mit zeitlich hochaufgelösten Analysen und Handlungsempfehlungen
- KomMod ist in ein Gesamtkonzept aus Zielsetzung, Zielszenarien und Umsetzungsplanung eingebettet
  - ➔ Erarbeitung von Energiewende-Strategien



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Jan-Bleicke Eggers  
[jan-bleicke.eggerts@ise.fraunhofer.de](mailto:jan-bleicke.eggerts@ise.fraunhofer.de)

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)