

---

# PLANUNG UND UMSETZUNG NACHHALTIGER ENERGIESYSTEME FÜR STÄDTE UND KOMMUNEN

---



Gerhard Stryi-Hipp  
*Koordinator »Smart Energy Cities«*  
*Leiter Energiepolitik*

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE

1. Hammer Bioenergietage  
Hamm, 20. Juli 2015

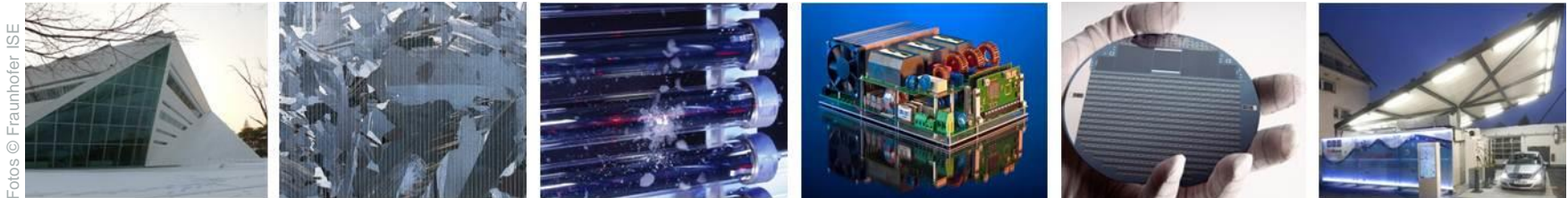
# Agenda

- Vorstellung Fraunhofer ISE
- Herausforderungen und Lösungen für Städte und Gemeinden
- Transformation Energiesysteme: Treiber des Wandels
- Entwicklung nachhaltiger kommunaler Energiesysteme
- Beispiel Frankfurt am Main
- Zusammenfassung

# Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

## Größtes Solarforschungsinstitut in Europa

Leiter: Prof. Eicker R. Weber / ca. 1300 Mitarbeitern (incl. Studenten)



Fotos © Fraunhofer ISE

## 12 Geschäftsfelder

- Energieeffiziente Gebäude
- Silicium-Photovoltaik
- III-V- und Konzentration- Photovoltaik
- Farbstoff-, Organische und Neuartige Solarzellen
- Photovoltaische Module und Kraftwerke
- Solarthermie
- Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- Systemintegration und Netze – Strom, Wärme, Gas
- Energieeffiziente Leistungselektronik
- Emissionsfreie Mobilität
- Speichertechnologien
- Energiesystemanalyse

# Agenda

- Vorstellung Fraunhofer ISE
- **Herausforderungen und Lösungen für Städte und Gemeinden**
- Transformation Energiesysteme: Treiber des Wandels
- Entwicklung nachhaltiger kommunaler Energiesysteme
- Beispiel Frankfurt am Main
- Zusammenfassung

# Städte und Gemeinden im Wandel

## Energieversorgung

fossil-nuklear, zentral, importabhängig,...

→ **erneuerbar, dezentral, lokal, autarker,...**



## Gebäude

hoher Energie- und Ressourcenverbrauch

→ **effizient, nachhaltig, flexibel, komfortabler,...**



## Verkehr

Stau, steigender Platzverbrauch, Lärm und Abgase,...

→ **effizient, ÖPNV, emissionsfrei, vernetzt, multimodal,...**



## Wasser / Abwasser

Teilweise hoher Verbrauch, veraltete Abwasserinfrastruktur,...

→ **sparsam, Trennkanalisation Abwasser/Regen, Abwärmenutzung,...**



## Informations- und Kommunikation (IKT)

einfache, nicht vernetzte Systeme,...

→ **vernetzt, intelligente Steuerungen, Service, Komfort,...**



## Demographie, Wirtschaft, Bildung, Gesundheit, ...

Veränderungen in allen Lebensbereichen fordern die Stadt heraus

→ **sozialer Ausgleich, Sicherung /Erhöhung der Lebensqualität,...**



# Herausforderungen für Kommunen

- **Energiesystem-Transformation ist neue Aufgabe**, insbesondere für Kommunen, Aufbau von Kompetenzen und Ressourcen notwendig
- **Transformationszeitraum** 20 - 40 Jahre überschreitet übliche Planungshorizonte der Verwaltung
- Langfristiger Wandel erschwert **Infrastrukturentscheidungen** (z.B. für Wärme- oder Gasnetz)
- Berücksichtigung der **Technologieentwicklung** erforderlich
- **Akzeptanz / Motivation verschiedenster Akteurstypen** erforderlich
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Verwaltung** erforderlich
- **Finanzierung** der Transformation: neue Geschäftsmodelle erforderlich
- Starke Beeinflussung des Prozesses durch ökonomische und regulatorische **Rahmenbedingungen** (Öl-/Gaspreis, EEG,...)

# Agenda

- Vorstellung Fraunhofer ISE
- Herausforderungen und Lösungen für Städte und Gemeinden
- **Transformation Energiesysteme: Treiber des Wandels**
- Entwicklung nachhaltiger kommunaler Energiesysteme
- Beispiel Frankfurt am Main
- Zusammenfassung

# Definition nachhaltiger (kommunaler) Energiesysteme

- Fossile und nukleare Energien sind nicht nachhaltig

➔ Nachhaltige Energiesysteme = Energieeffizienz + erneuerbare Energien

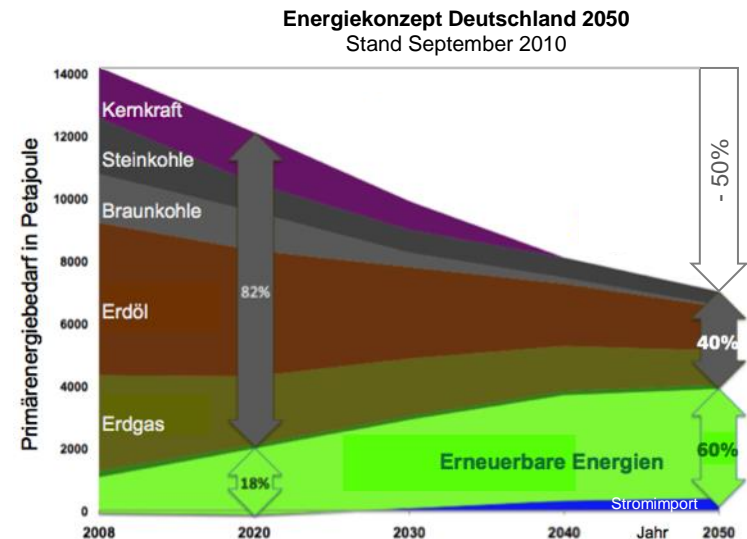
## Kommunen setzen nationale Ziele um

### ■ Energiekonzept Bundesregierung 2050

- CO<sub>2</sub>-Emissionen: - 80% / -95%
- Primärenergieverbrauch - 50%
- Primärenergie erneuerbar: 60%
- Strom erneuerbar: 80%

### ■ Energiewende (nach Fukushima)

- Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022



➔ Nachhaltige Kommunen streben bis zu 100% Versorgung mit EE an



# Erneuerbare Energien Potenziale

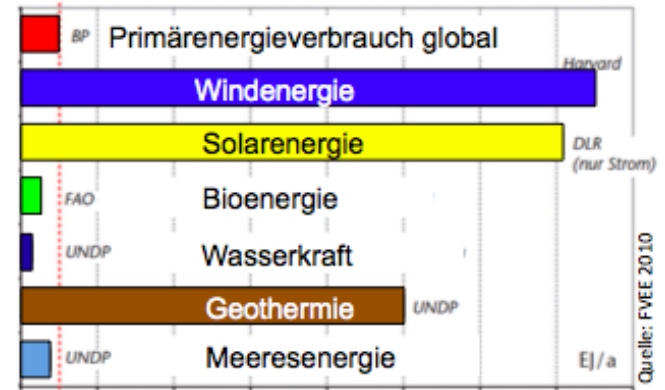
## Vorteile

- Hohes Potenzial
- Keine Importabhängigkeit
- Stabile Energiepreise
- Regionale Wertschöpfung
- Arbeitsplätze
- Klimaschutz
- Minimales Gefahrenpotenzial

## Herausforderungen

- EE sind teilweise noch teurer als fossile und nukleare Energien
- Intelligentes Energiesystem ist nötig, um Fluktuationen auszugleichen

Potenzielle Erneuerbare Energien global

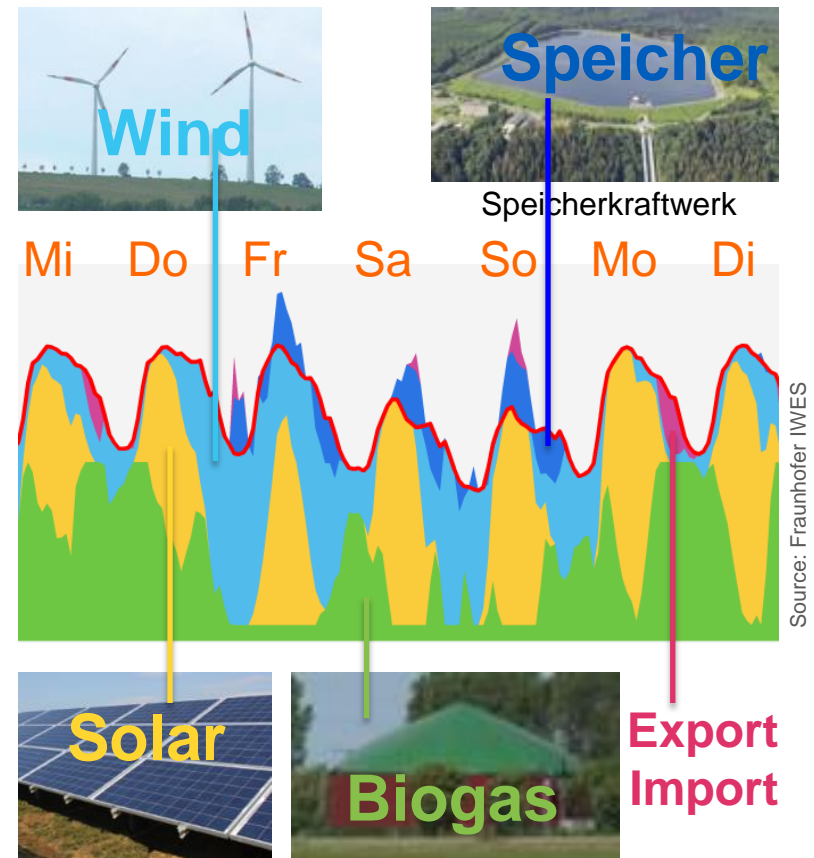


# Sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien

## Maßnahmen für eine sichere Stromversorgung mit ern. Energien

- »Richtiger« Mix aus allen EE
- Ausbau Verteilnetze für die dezentrale Erzeugung
- Ausbau Übertragungsnetze für Offshore-Windkraft und räumlichen Ausgleich
- Smart Grids
- Lastmanagement
- Integration von Kurzzeitspeichern (langsam beginnend) und von saisonalen Speichern (langfristig)

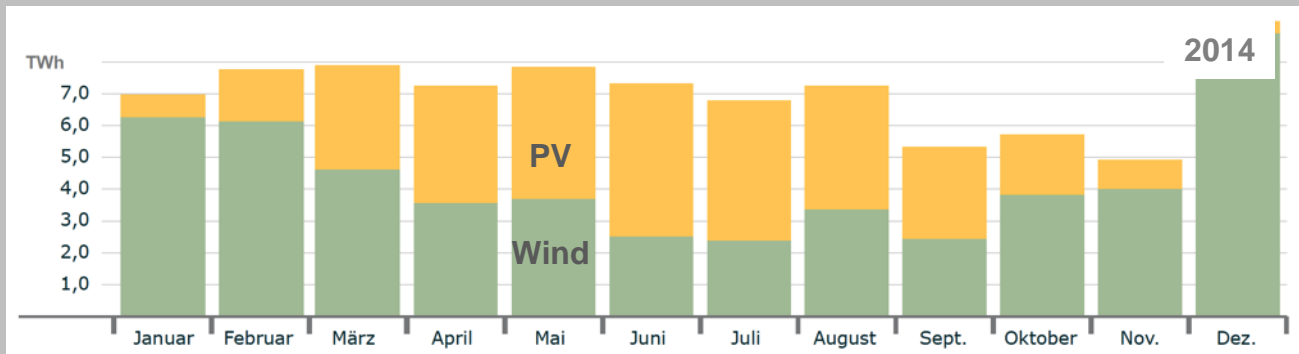
Ziel: Deckung des Lastbedarfs einer typischen Woche durch erneuerbare Energien



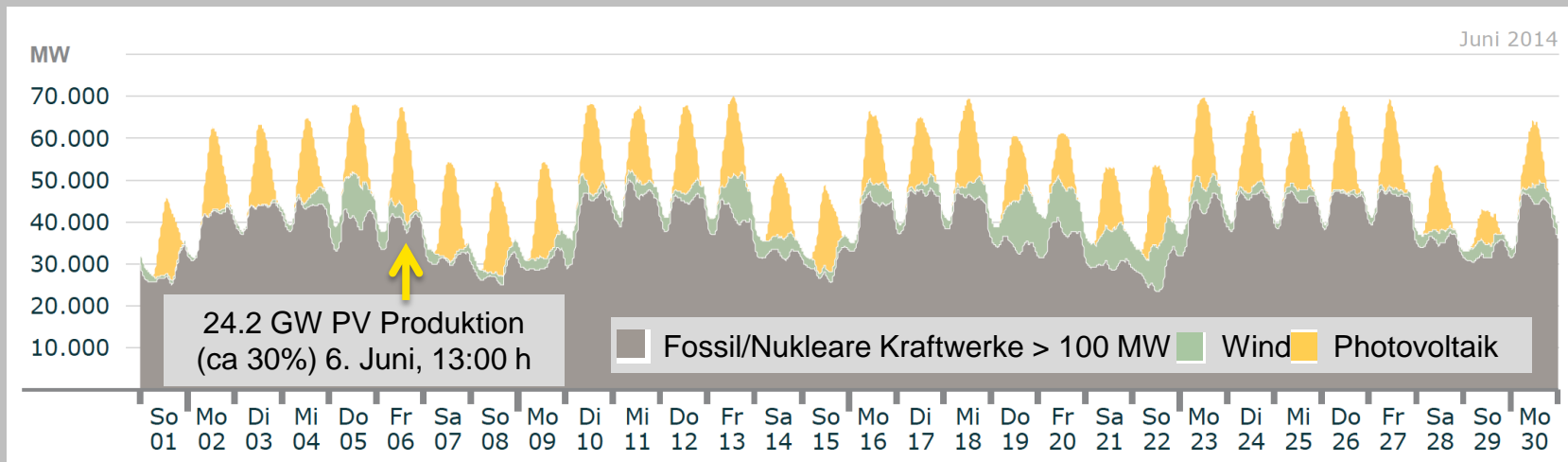
# Stromerzeugung aus PV und Wind in Deutschland

## Monatliche Stromproduktion Wind und Photovoltaik im Jahr 2014

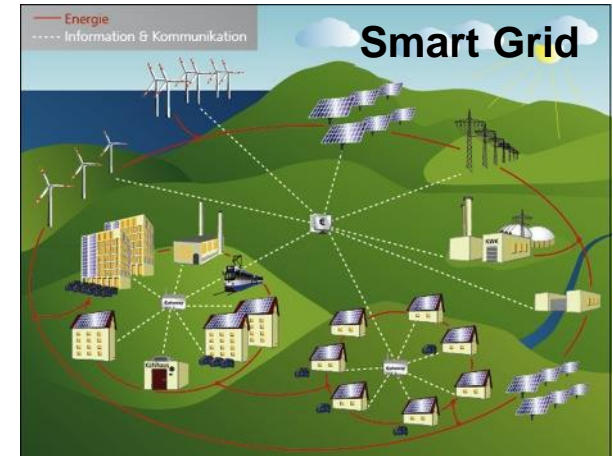
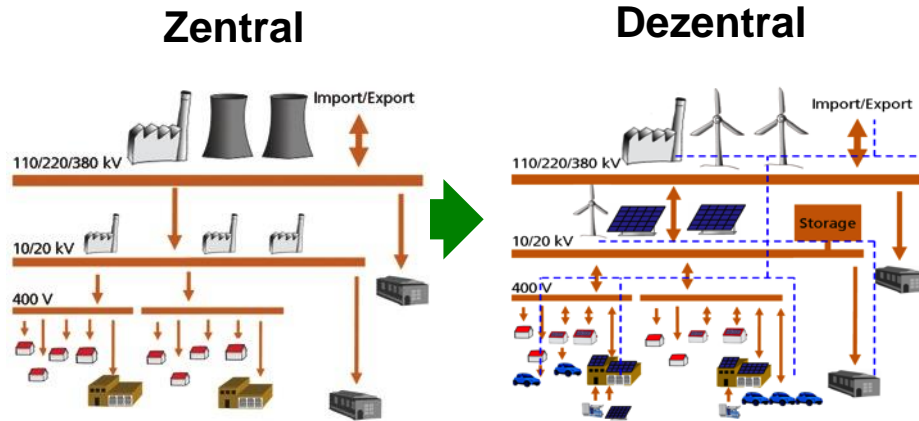
Monatsproduktion  
 Wind + Photovoltaik:  
 Minimal: 4,7 TWh  
 Maximal: 7,6 TWh  
 Jahreserzeugung:  
 PV: 32,8 TWh  
 Wind: 51,4 TWh



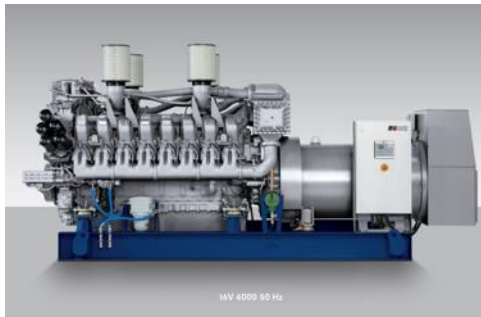
## Stromproduktion Juni 2014: Wind, Photovoltaik und fossil/nukleare Kraftwerke > 100 MW



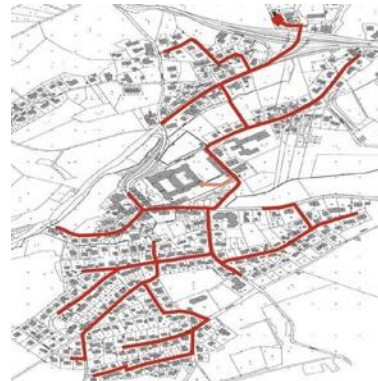
# Elemente des künftigen kommunalen Stromsystems



## Kraft-Wärme-Kopplung und Nahwärme



Heute Erdgas, künftig Biogas



© MTU, St. Peter

## Elektromobilität

**10 m x 10 m** **Wie weit kann ich fahren...?**  
Energieertrag bei unterschiedlicher Nutzung von 100 Quadratmetern Bodenfläche. PV und Elektroauto sind die klaren Sieger.

	Reichweite > 224 km/a *	<b>Bioethanol</b> aus Zuckerrüben etc.
	Reichweite > 233 km/a *	<b>Biodiesel</b> aus Raps etc.
	Reichweite ~ 640 km/a *	<b>B2L</b> Biomasse to Liquid
	Reichweite 15.000 km/a**	<b>Photovoltaik</b>

Quelle: \*Fachagentur nachwachsende Rohstoffe \*\*Fraunhofer ISE Verbrauch pro 100 km: E-Mobil 20 kWh / Ottomotor: 7,4 l Dieselmotor: 6,1 l

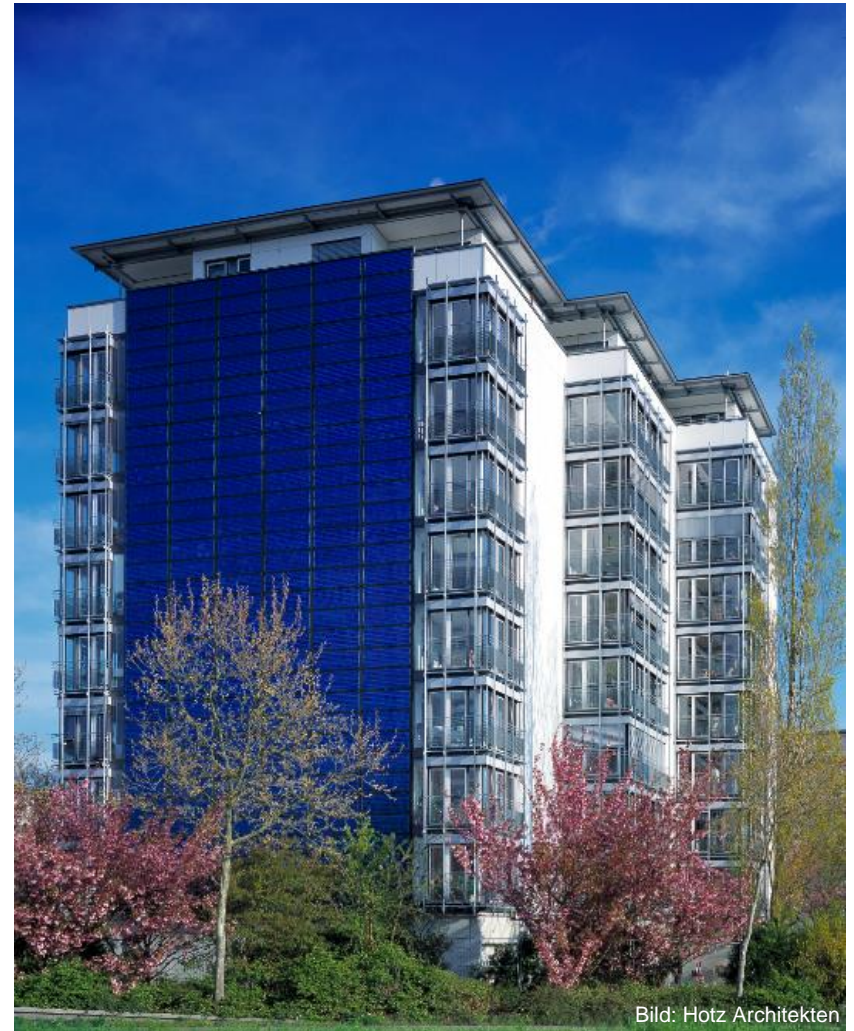
© Fraunhofer ISE (alle Grafiken)



# Gebäude werden zu Energieerzeugern

**Gebäude nutzen Dächer & Fassaden,  
um Strom & Wärme zu erzeugen**

Europäische Gebäude-Richtlinie:  
Ab Ende 2020 müssen alle neuen  
Gebäude Niedrigstenergiehäuser sein:  
»nearly zero-energy buildings«



# Agenda

- Vorstellung Fraunhofer ISE
- Herausforderungen und Lösungen für Städte und Gemeinden
- Transformation Energiesysteme: Treiber des Wandels
- **Entwicklung nachhaltiger kommunaler Energiesysteme**
- Beispiel Frankfurt am Main
- Zusammenfassung

# Identifizierung eines optimierten nachhaltigen kommunalen Energiesystems: Anforderungen

- 1** Zielsetzung: Intelligentes Management von **lokalen** erneuerbaren Ressourcen und Bedarfsprofilen mit hohem Selbstversorgungsgrad  
→ **Individuelle Lösung** für jede Stadt/Region
- 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 Sparten geprägt  
→ **Zeitliche Dynamik und Interdependenzen** der Energiesparten des Energiesystems müssen berücksichtigt werden

# Nachhaltige Energiesysteme: Die Größe der Kommunen bestimmt die Strategie

## Bioenergiedörfer: Selbstversorgung mit 100% EE

Meist großes Potenzial an Biomasse, Windkraft  
und Solarenergie im ländlichen Raum  
Land Ba-Wü fördert 100 Bioenergiedörfer

Bioenergiedorf Mauenheim



Bild: Solar Complex

## Mittelgroße Kommunen: mit der Region

100% EE sind möglich, wenn Stadt und Region  
zusammenarbeiten. Beispiel: Studie belegt  
Vollversorgung von Freiburg mit Landkreisen  
Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald

Freiburg im Breisgau



Bild: FWTM

## Große Städte: Energieimporte

München will bis 2025 seinen gesamten Strom-  
bedarf mit EE decken durch lokale Ressourcen  
(Solarenergie) und Beteiligung an Offshore-  
Windparks und Solarkraftwerken in Spanien

München



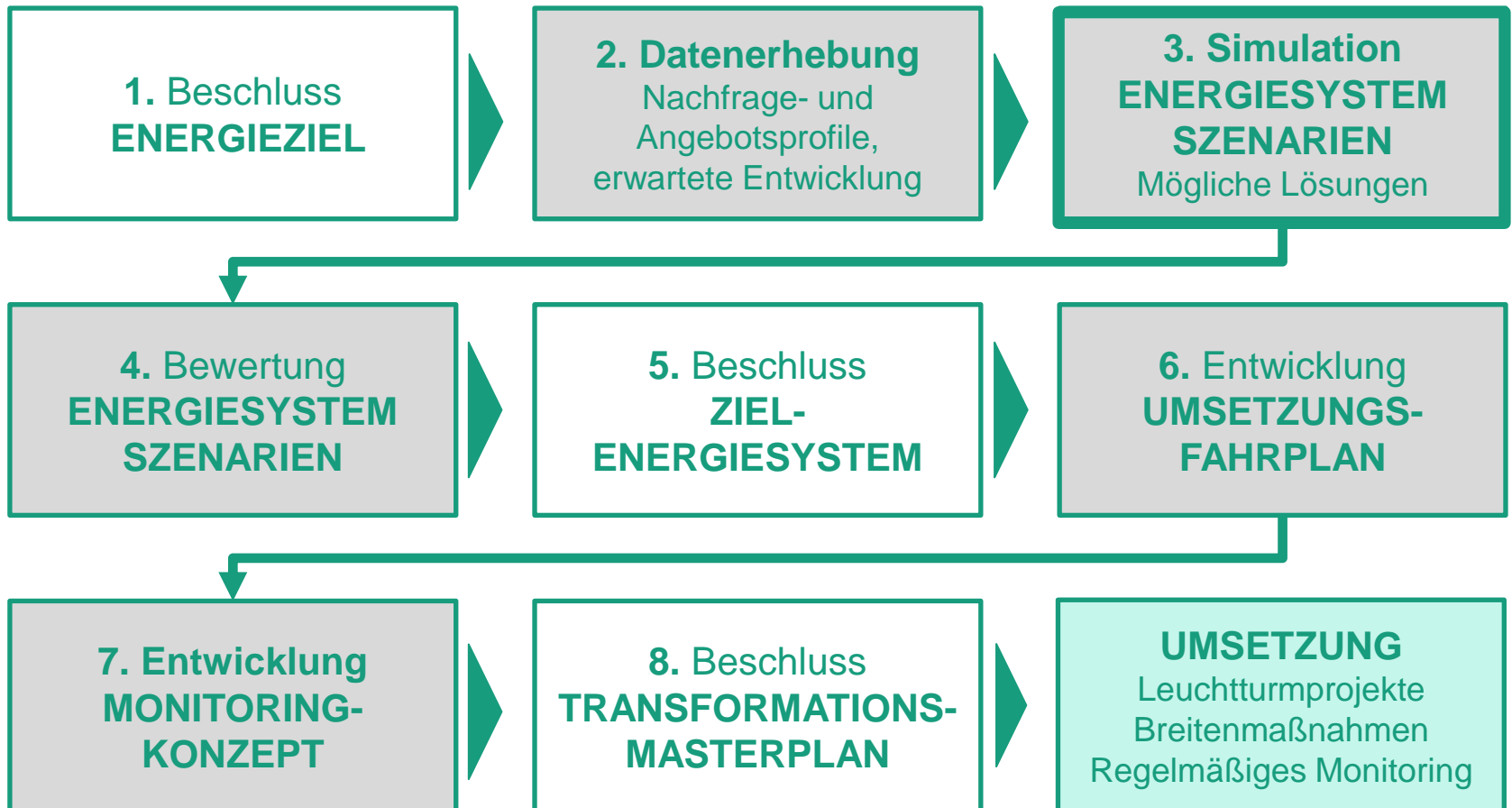
Bild: augustium.de



# Zentrale Fragestellungen für die Gestaltung kommunaler Energiesysteme

- Welche **Struktur** des Energiesystems ist für eine bestimmte Kommune optimal, sprich versorgungssicher, nachhaltig und kostengünstig?
  - Welche **Technologiezusammensetzung** ist sinnvoll? (Windenergie, PV, KWK, Solarthermie, Wärmepumpen, Speicher, ...)
  - In welchem Umfang ist ein Ausbau von **Wärmenetzen** und **Kraftwärmekopplung** sinnvoll?
  - In welchem Umfang ist eine **energetische Gebäudesanierung** sinnvoll und umsetzbar? Welche Energieeinsparungen ließen sich erzielen?

# Schritte zum kommunalen Transformations-Masterplan



Maßnahmen Stadtverwaltung und Bürger:



Unterstützung Experten/Beratungspartner:



# Kommunale Energieszenarien Strom-Wärme-Mobilität

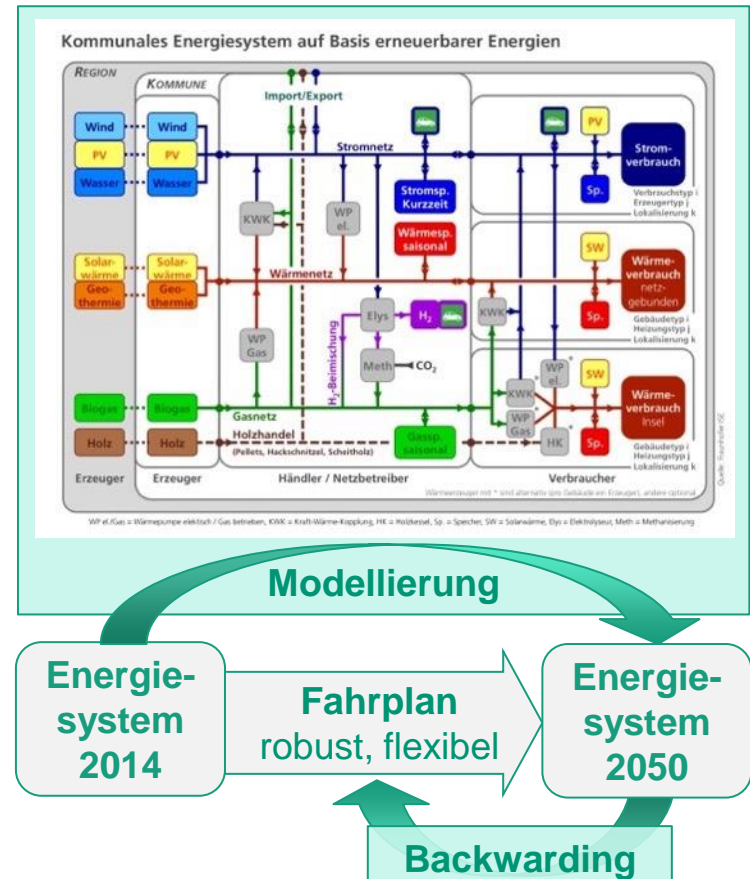
## Planungssicherheit durch neue Modellierungswerkzeuge

### Kennzeichen nachhaltiger kommunaler Energiesysteme:

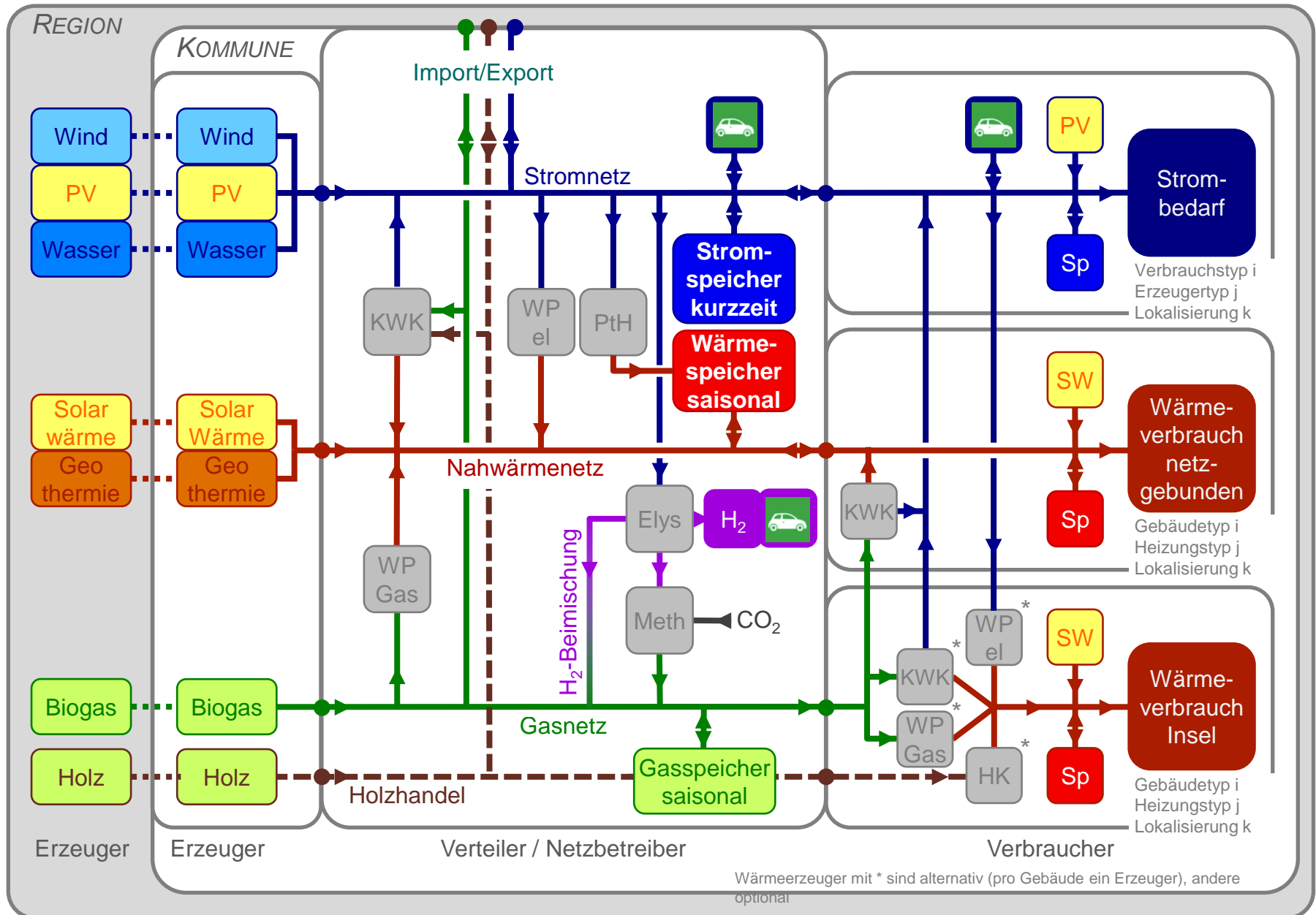
- hohe Anteile fluktuierender Solar- und Windenergie
- dezentrale Erzeugung
- Verzahnung Strom-Wärme-Mobilität
- Strom-, Wärme-, Gasspeicher
- ➔ Identifizierung optimierter Zielenergiesysteme erfordert eine **zeitlich hochaufgelöste Multispartenmodellierung**

### Vorgehensweise:

- **Modellierung** Zielsystem 2050
- **Backwarding**: Ableitung eines Fahrplans aus dem Zielszenario



# Kommunales/regionales Energiesystem auf Basis Erneuerbarer Energien



# Energiesystem-Modellierung zur Identifizierung optimaler kommunaler Energiesysteme

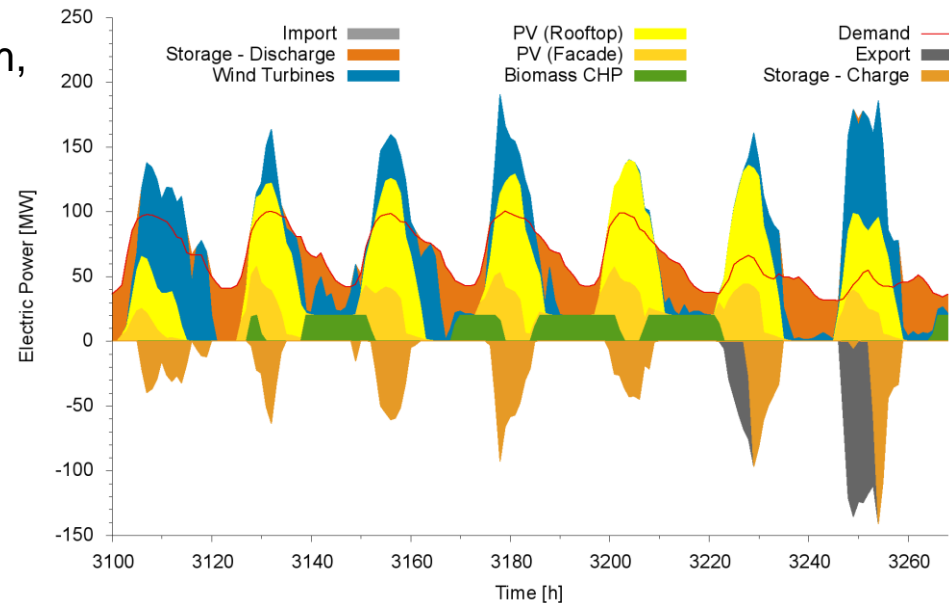
## Fraunhofer ISE Modell »KomMod« (Kommunales Energiesystemmodell)

- Zeitlich hoch aufgelöste techno-ökonomische Optimierung von Strom, Wärme, Kälte und lokalem Verkehr

### KomMod beantwortet Fragen:

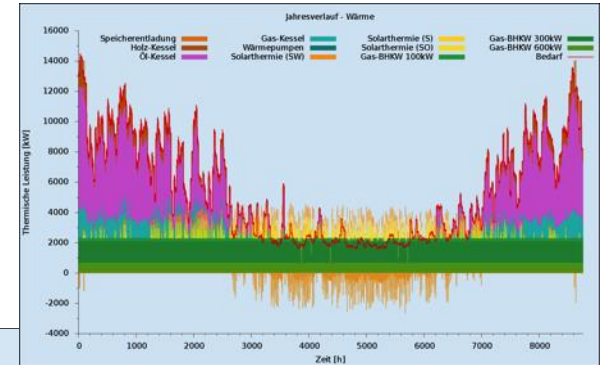
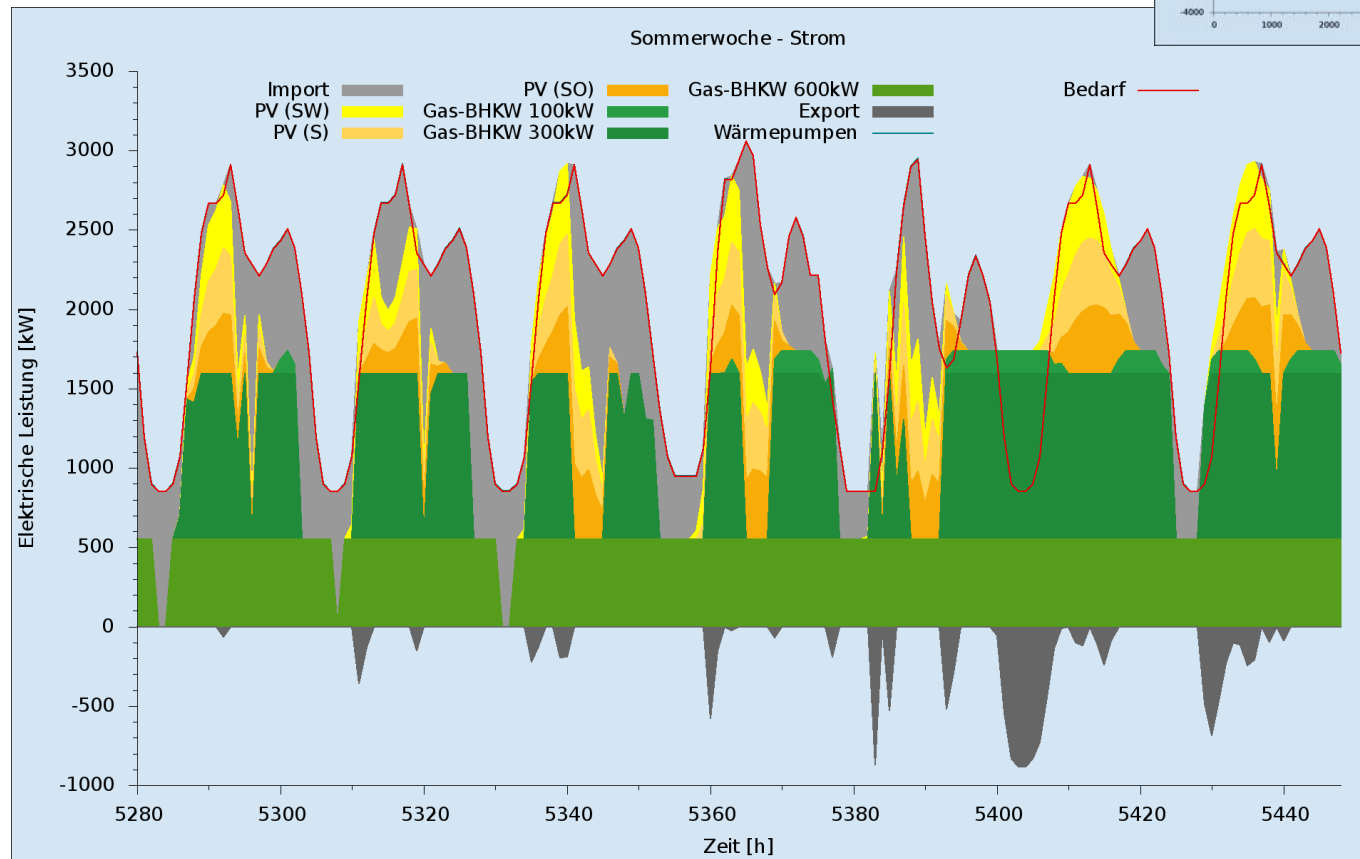
- Wie muss das Energiesystem aussehen, um eine x% EE-Versorgung zu erreichen?
- Welche Energiesystem-Varianten sind möglich, welche nicht?
- Welche Erzeugungs- und wieviel Speicherkapazitäten, welche Wärmenetze sind notwendig?
- Wie viel Import/Export ist notwendig?
- Welche Kosten entstehen?

## Beispiel: Stromerzeugung/-bedarf in einer Frühlingswoche



KomMod wird von Fraunhofer ISE entwickelt in der Modellierungsumgebung AMPL auf Basis von simultan gelösten Gleichungssystemen

# Beispiele Simulationsergebnisse



Jahresverlauf

Wochenverlauf

# Agenda

- Vorstellung Fraunhofer ISE
- Herausforderungen und Lösungen für Städte und Gemeinden
- Transformation Energiesysteme: Treiber des Wandels
- Entwicklung nachhaltiger kommunaler Energiesysteme
- **Beispiel Frankfurt am Main**
- Zusammenfassung

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

**Auftrag: Wie kann sich die Stadt zu 100 % mit erneuerbaren Energien möglichst aus der Region im Jahr 2050 versorgen** (für Strom, Wärme und lokale Mobilität)?

Datengrundlage: Fraunhofer IBP  
Modellierungen: Fraunhofer ISE

**Ergebnis: Eine Vollversorgung mit erneuerbare Energien ist möglich**

- bei Nutzung der Wind-, Biomasse- und PV-Potenziale aus der Region
- aber Import von 10% Reststrom und die Einbeziehung von Wind-/ Biomasse-Potenzialen aus Hessen ist sinnvoll, da deutlich kostengünstiger



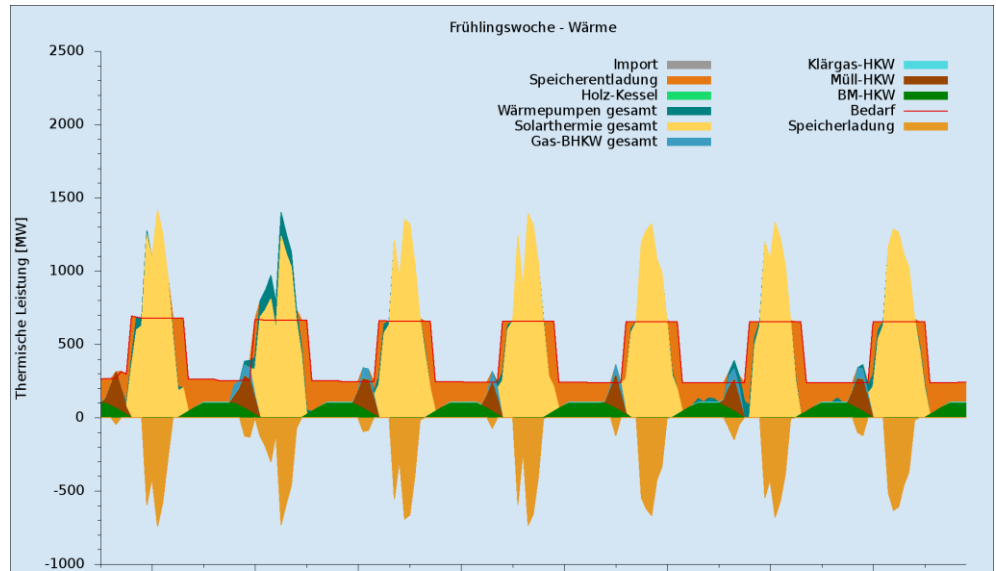
## Maßnahmen:

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



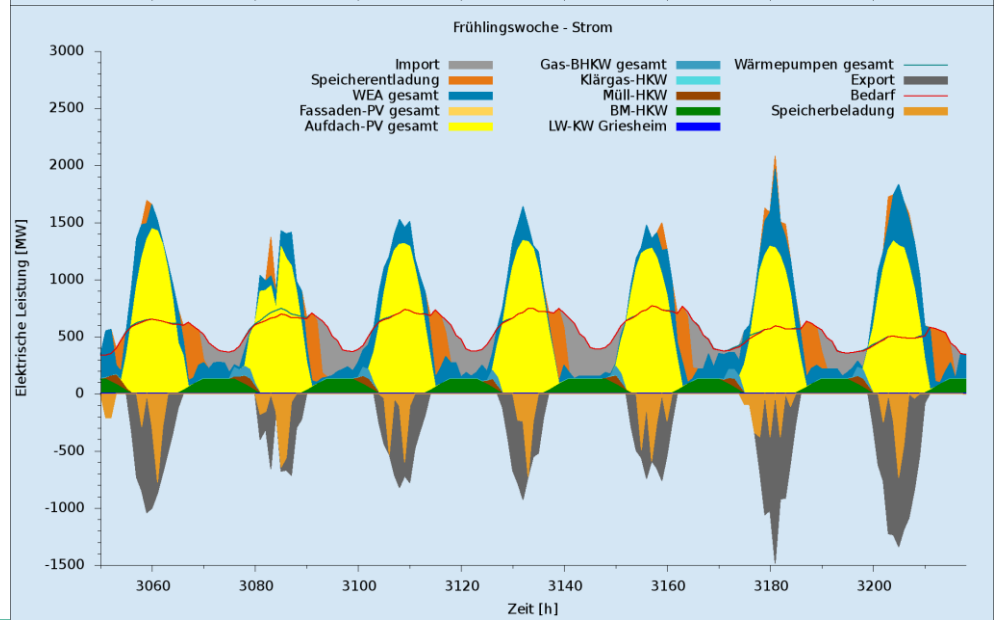
# Zeitlich aufgelöste Darstellung der Simulationsergebnisse Szenario Stadt mit Bundesland 10% Stromimport

Wärmeversorgung →



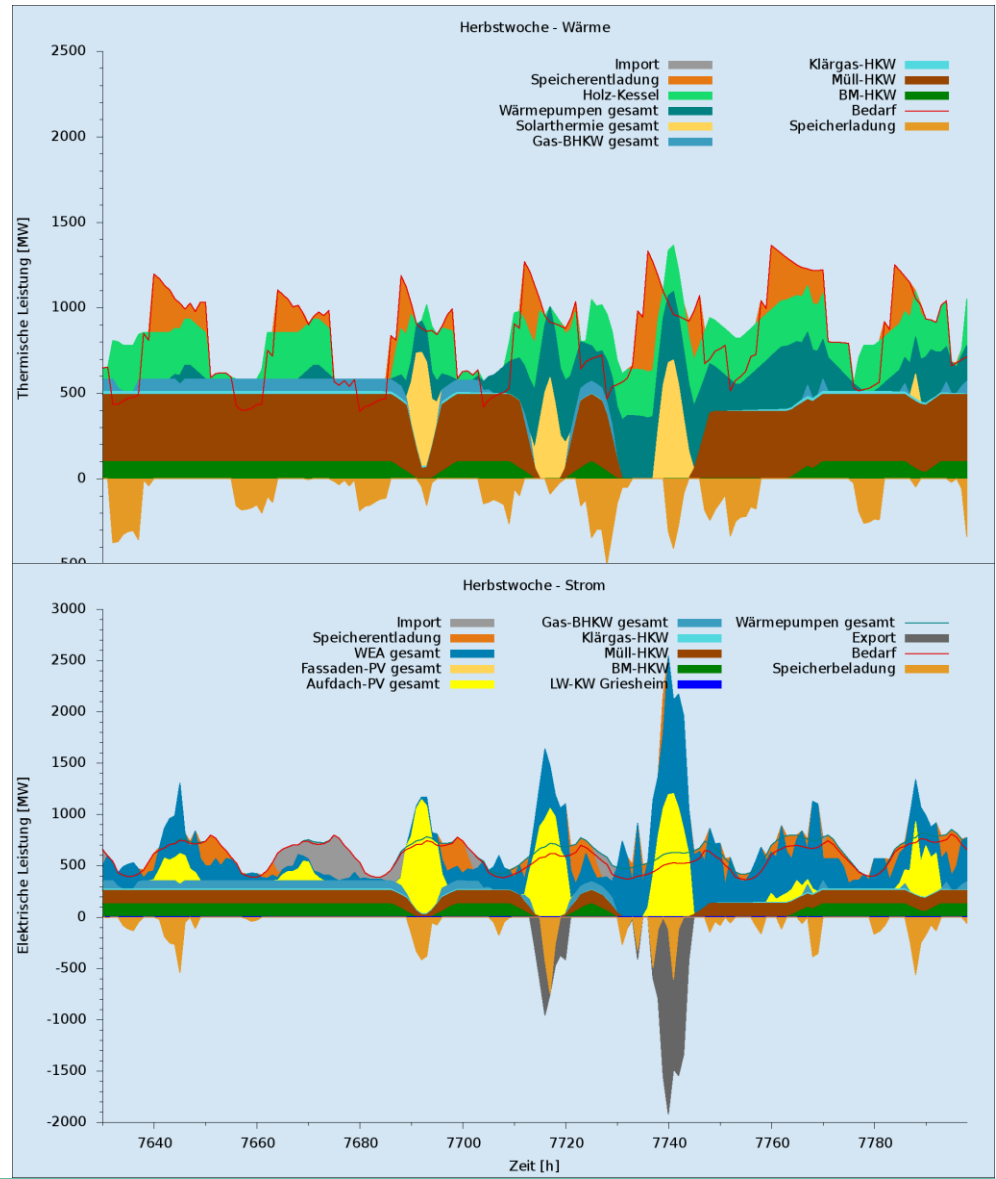
## 1 Woche im Frühjahr

Stromversorgung →



# Zeitlich aufgelöste Darstellung der Simulationsergebnisse Szenario Stadt mit Bundesland 10% Stromimport

Wärmeversorgung →



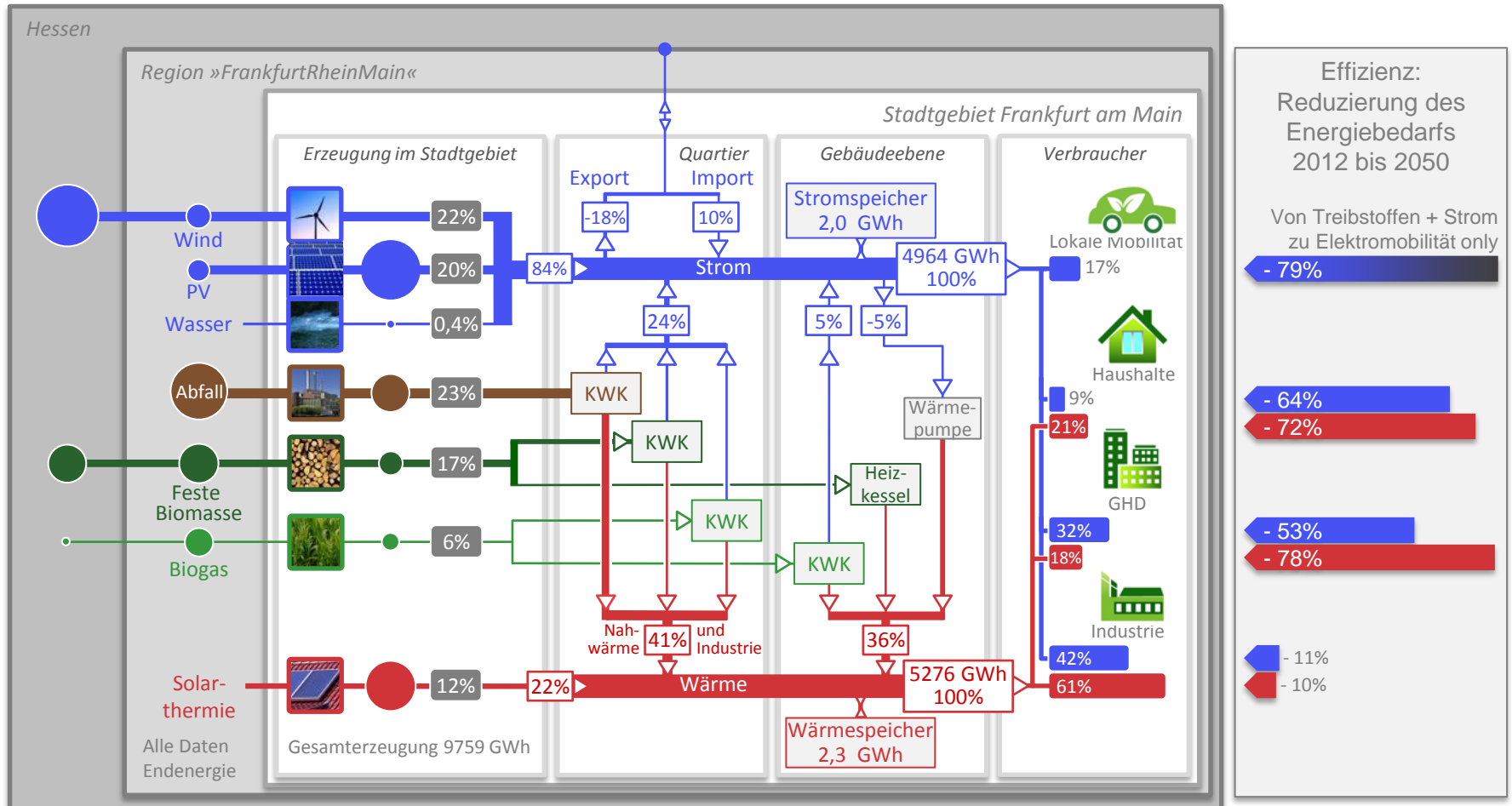
1 Woche im Herbst

Stromversorgung →

# Frankfurt/M 2050: 95% erneuerbare Energien aus Region

Ergebnis einer zeitlich hochaufgelösten Simulation des Energiesystems (Stundenauflösung).

Berücksichtigte Potenziale: Alle Potenziale der Stadt, erneuerbare Energien und Abfall Potenziale der Region zu 50% berücksichtigt und 11,6% des Hessenpotenzials Wind und Biomasse, 90% Eigenerzeugung bei Strom und 100% bei Wärme mit erneuerbaren Energien, die aus der beschriebenen Region stammen



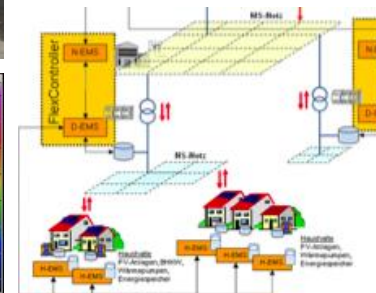
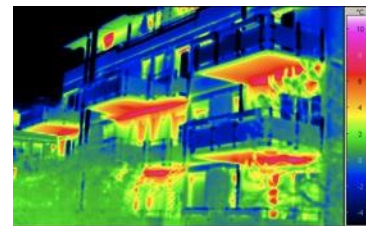
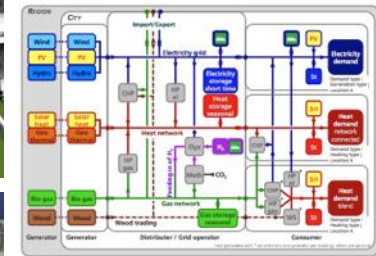
# Frankfurt/M 2050: 95 % erneuerbare Energien aus Region

## Energiemix mit Energiebeiträgen und installierten Leistungen

Erzeuger	Strom	Wärme	Inst. Leistung
Biogas BHKW	4%	4%	81 MW <sub>el</sub> / 72 MW <sub>th</sub>
Feste Biomasse HKW	10%	9%	124 MW <sub>el</sub> / 99 MW <sub>th</sub>
Feste Biomasse Heizkessel	-	11%	271 MW <sub>th</sub>
Klärgas HKW	<1%	1%	15 MW <sub>el</sub> / 19 MW <sub>th</sub>
Abfall HKW	9%	31%	131 MW <sub>el</sub> / 392 MW <sub>th</sub>
Photovoltaik	32%	-	2003 MWp
Wind	34%	-	1624 MW
Wasser	<1%	-	6 MW
Solarthermie	-	22%	1470 MW
Wärmepumpen	-	21%	378 MW
Import in Stadtgebiet	10%	-	
Elektr. / therm. Speicher			2036 MWh <sub>el</sub> / 2594 MWh <sub>th</sub>
Stromgestehungskosten	12,0 €ct/kWh		[HKW = Heizkraftwerk]

# Zusammenfassung

- Kommunen sind gefordert, **nachhaltige Lösungen für Energie, Verkehr, Wasser, ...** zu entwickeln
- Ein nachhaltiges Energiesystem wird (kosten)-effizient erreicht durch: **Zielsetzung, Zielszenarien und Umsetzungsfahrplan**
- **Zeitlich hochaufgelöste Modellierung** von Energieszenarien (Strom, Wärme, Kälte) mit KomMod ermöglicht eine optimierte Berechnung des Zielsystems
- **Frankfurt am Main kann sich im Jahr 2050 weitgehend mit erneuerbaren Energien aus der Region versorgen**



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Gerhard Stryi-Hipp

[gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de](mailto:gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de)

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