
INTELLIGENTE, NACHHALTIGE UND GANZHEITLICHE ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEME FÜR SMART CITIES



Gerhard Stryi-Hipp

Gruppenleiter Smart Cities

Fraunhofer Institut für
Solare Energiesysteme ISE

Wilo Forum

Dresden, 14. Juni 2018

Agenda

- Städte als zentrale Akteure der Energiewende
- Nachhaltige kommunale Energiesysteme planen
- Beispiel eines nachhaltigen Energiesystems: Frankfurt/Main
- Zusammenfassung

Agenda

- **Städte als zentrale Akteure der Energiewende**
- Nachhaltige kommunale Energiesysteme planen
- Beispiel eines nachhaltigen Energiesystems: Frankfurt/Main
- Zusammenfassung

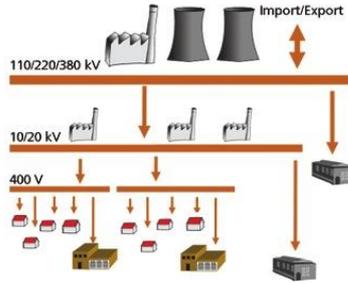
Städte sind zentrale Akteure der Energiewende

- **80% der CO₂-Emissionen werden verursacht von Städten und Gemeinden**
- **Energiewende findet vor allem lokal statt** (dezentrale erneuerbare Energieerzeugung, Gebäudeeffizienz, Smart Grids, Nahwärme, Elektromobilität, Sektorkopplung,...)
- **Nationale Politik setzt den Rahmen, doch lokale Initiativen sind notwendig, um die Akteure zu erreichen und zu motivieren:**
 - Investoren in erneuerbare Energien, Gebäudesanierung, Elektromobilität,...
 - Aufbau nachhaltiger Wärmeinfrastruktur,...
 - Umweltgerechtes Nutzerverhalten,...

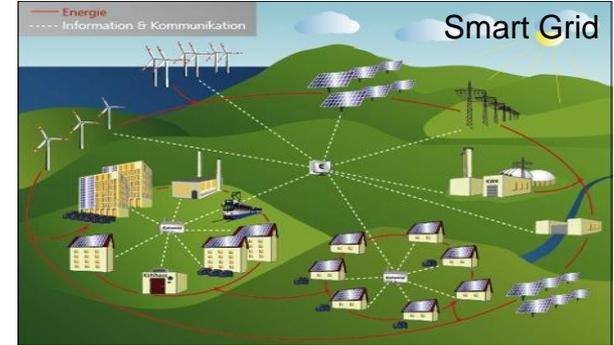
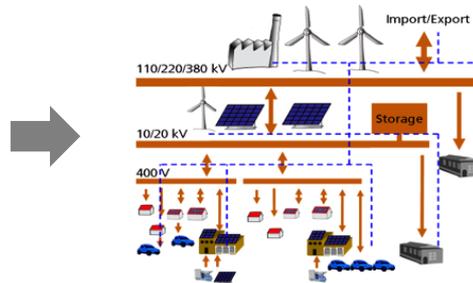


Elemente nachhaltiger kommunalen Energiesysteme

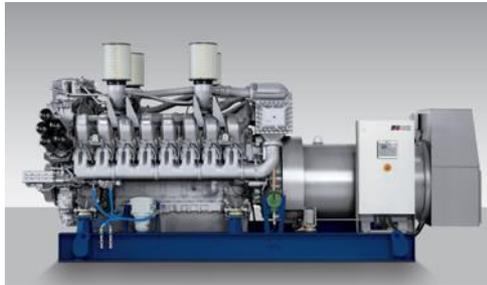
Zentral/unidirektional



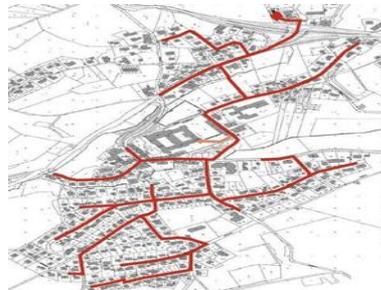
Dezentral/multidirektional



Effizient Wärmeversorgung: Kraft-Wärme-Kopplung & Nahwärme



Heute Erdgas, künftig Biogas



© MTU, St. Peter

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*
Bioethanol aus Zuckerrüben etc.



Reichweite > 233 km/a*
Biodiesel aus Raps etc.



Reichweite ~ 640 km/a*
B2L
Biomasse to Liquid



Reichweite **15.000 km/a****
Photovoltaik



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

Elektromobilität

© Fraunhofer ISE (alle Grafiken)

Gebäude werden zu Energieerzeugern

Gebäude nutzen Dächer und Fassaden, um Strom und Wärme zu erzeugen: Europäische Gebäude-Richtlinie:
Ab 2021: Alle neuen Gebäude sind Niedrigstenergiehäuser



Bild: Schüco

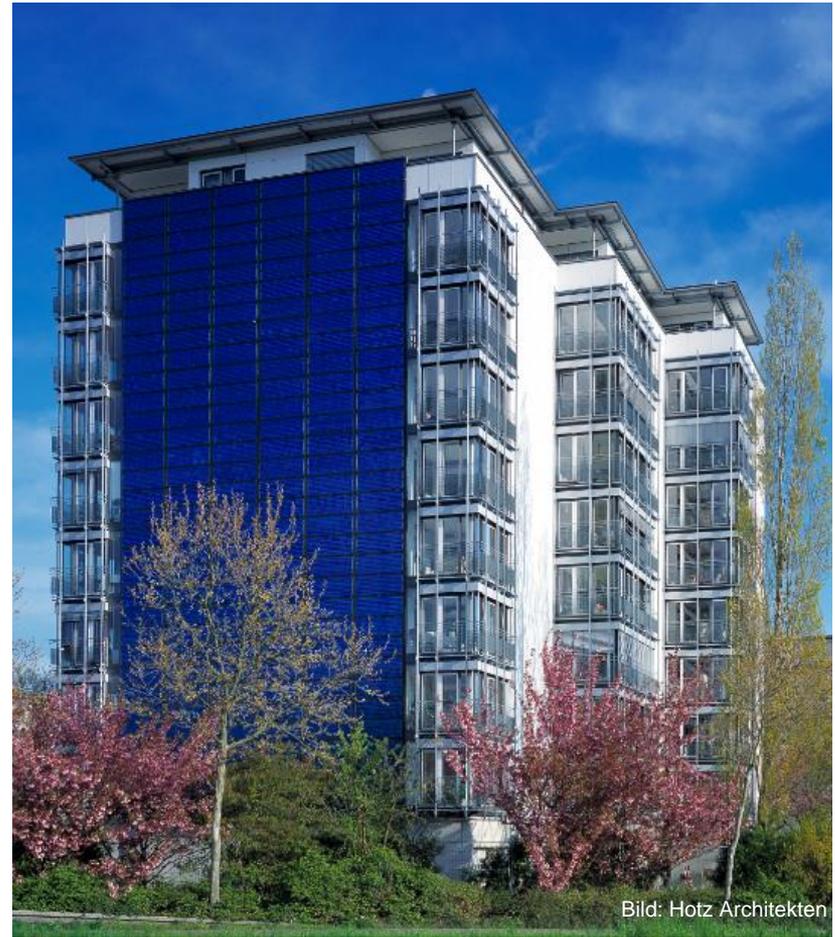


Bild: Hotz Architekten

Nachhaltige Energiesysteme:

Die Größe der Kommunen bestimmt die Strategie

Bioenergiedörfer: Selbstversorgung mit 100% Ern. Energien

Meist großes Potenzial an Biomasse, Windkraft und Solarenergie im ländlichen Raum. Das Land Baden-Württemberg fördert 100 Bioenergiedörfer, Vollversorgung und Export sind meist vergleichsweise leicht erreichbar.

Bioenergiedorf Mauenheim



Bild: Solar Complex

Mittelgroße Städte: Kooperation mit der Region

100% Ern. Energien sind möglich, wenn Stadt und Region zusammenarbeiten. Beispiel: Studien belegen Potenzial zur Vollversorgung von Freiburg mit den Landkreisen Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen in Jahresbilanz.

Freiburg im Breisgau



Bild: FWTM

Großstädte: Weiträumige Energieimporte erforderlich

München hat das Ziel, bis 2025 seinen gesamten Strombedarf mit Ern. Energien zu decken durch Nutzung lokaler Ressourcen (Solarenergie) und Beteiligung an Offshore-Windparks in der Nordsee & Solarkraftwerken in Spanien.

München



Bild: augustum.de

Agenda

- Städte als zentrale Akteure der Energiewende
- **Nachhaltige kommunale Energiesysteme planen**
- Beispiel eines nachhaltigen Energiesystems: Frankfurt/Main
- Zusammenfassung

Nachhaltige kommunale Energiesysteme planen

Herausforderungen



Dezentrale Optimierung: lokale Erzeugung mit erneuerbaren Energien und lokaler Bedarf müssen aufeinander abgestimmt werden

→ **Individuelle Lösung für jede Stadt und Region**



Lange Umsetzungszeiträume: Transformation benötigt 20 - 40 Jahre, kurzfristig attraktive Lösungen können langfristig kontraproduktiv sein

→ **Kurzfristige Maßnahmen müssen zum Zielenergiesystem passen**



Hohe Dynamik und Komplexität: fluktuierende Erzeugung, Lastmanagement, Speicher und Sektorkopplung prägen die künftigen Energiesysteme

→ **Optimierung des Zielenergiesystems mit Computermodellen notwendig**

Erster Schritt: Ziel-Energiesystem identifizieren

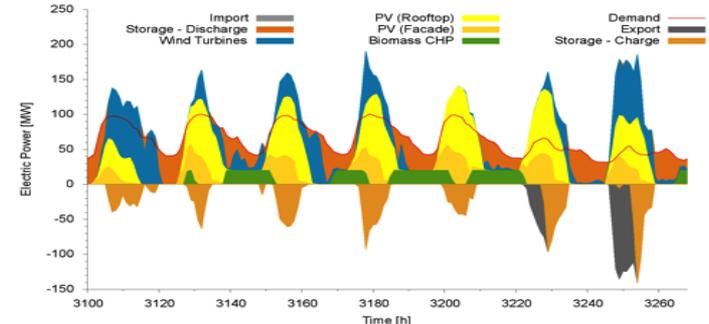
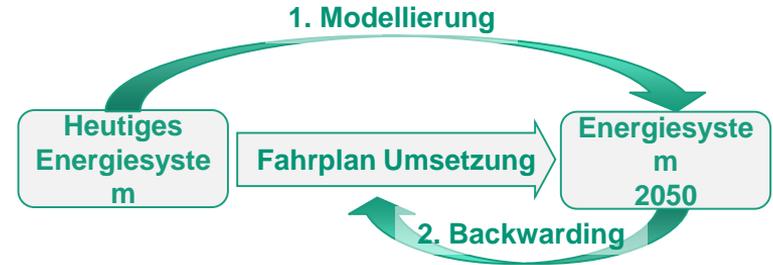
Fraunhofer-ISE berechnet optimierte nachhaltige Energiesysteme für Quartiere, Städte und große Liegenschaften mit dem Computerprogramm »KomMod«*

- Berechnung kostengünstigste Systemlösung
- Zeitlich hochaufgelöst (Stundenschritte)
- Sektorgekoppelt (Strom, Wärme, Kälte, Mobilität)

Ergebnisse der KomMod-Berechnungen

- Kostenoptimale Struktur des Energiesystems
- Optimierte Betriebsweise
- Beiträge der einzelnen Energiequellen
- Erzeugungs- und Speicherkapazitäten
- Notwendiger Import/Export
- Invest- und Betriebskosten
- Mögliche Selbstversorgungsgrad
- Erforderliche Kooperation Stadt – Region

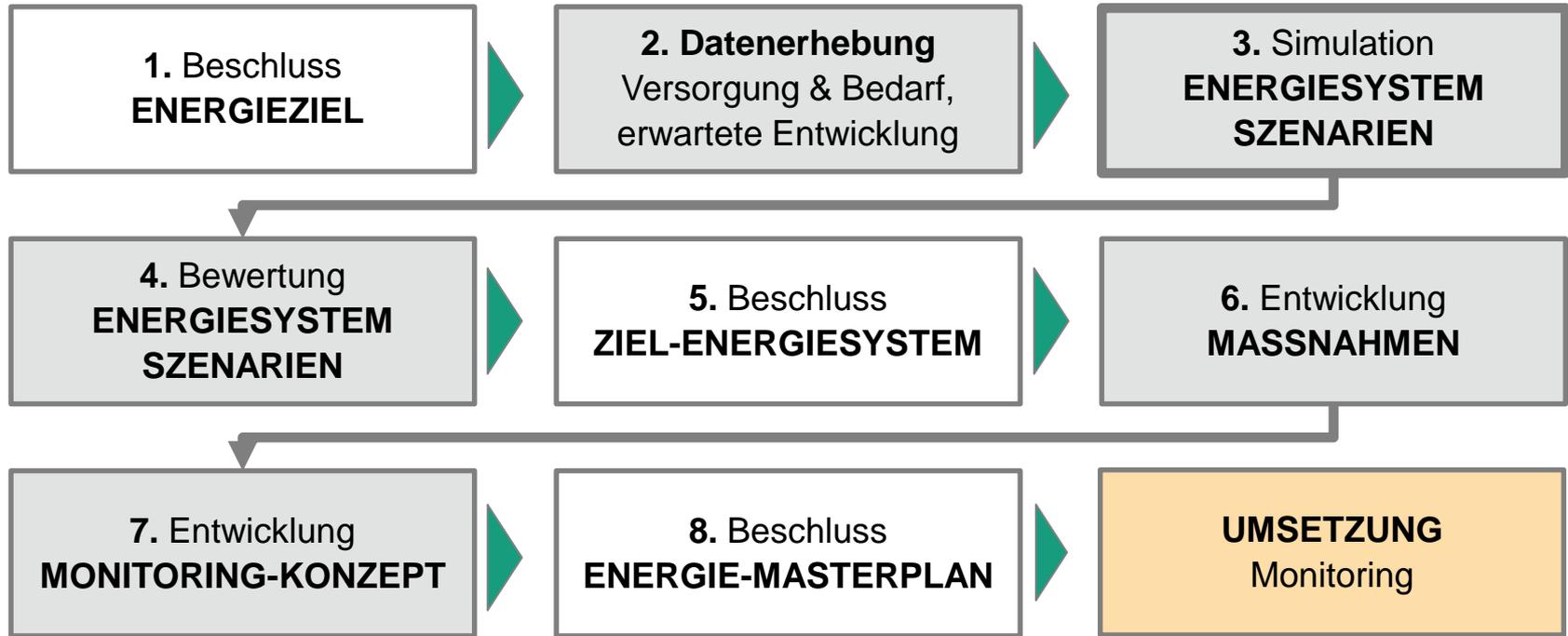
*KomMod = Kommunales Energiesystemmodell



Bsp Ergebnisgrafik: Stromproduktion einer Woche mit Erzeugungsmix

Schritte zum Energie-Masterplan

Standardisiertes Vorgehen für Kommunen und Liegenschaftsbetreiber



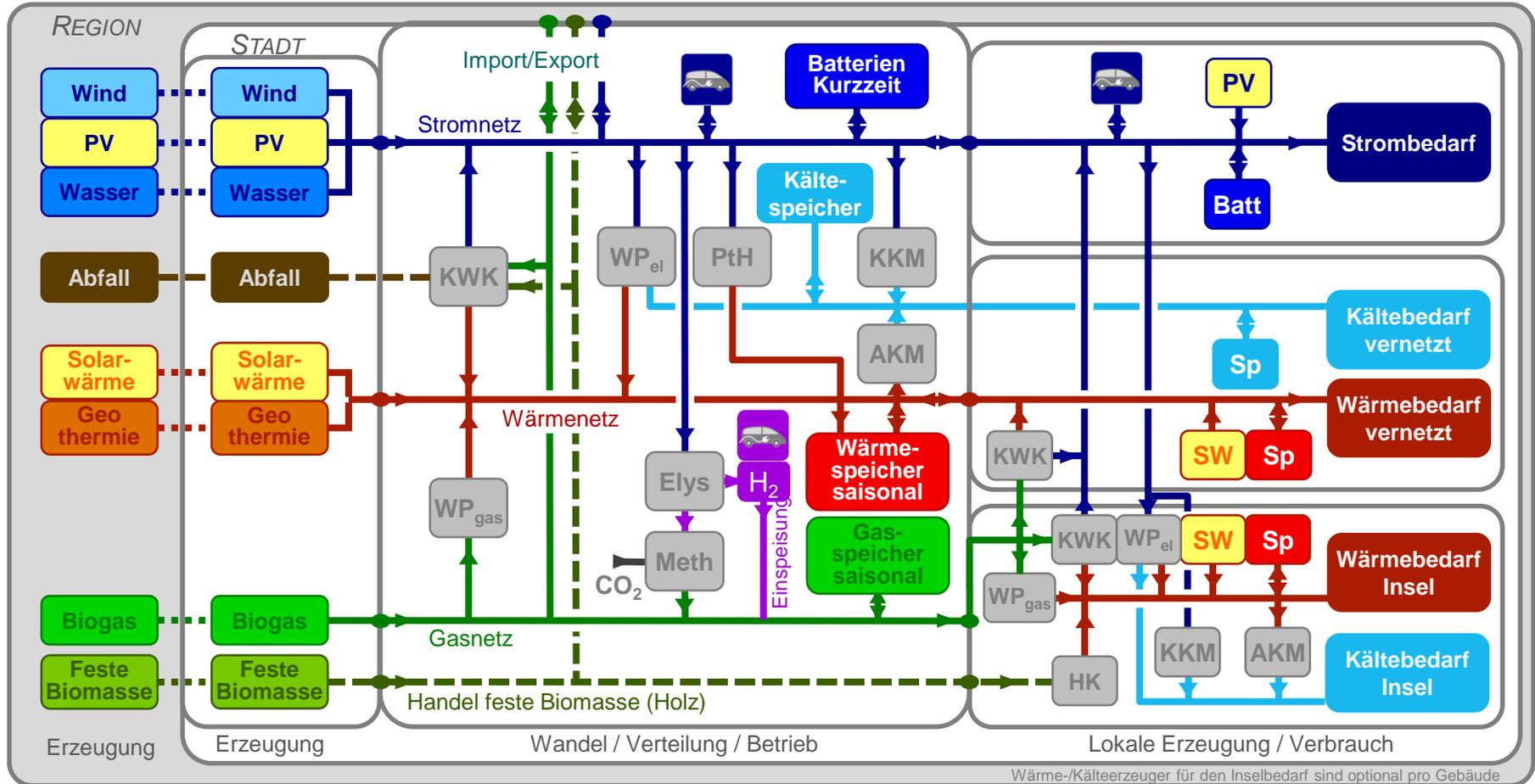
Maßnahmen Stadtverwaltung / Unternehmen:



Maßnahmen Experten/Beratungspartner:



Struktur lokaler Energiesysteme auf Basis erneuerbarer Energien



Wärme-/Kälteerzeuger für den Inselbedarf sind optional pro Gebäude

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

Agenda

- Städte als zentrale Akteure der Energiewende
- Nachhaltige kommunale Energiesysteme planen
- **Beispiel eines nachhaltigen Energiesystems: Frankfurt/Main**
- Zusammenfassung

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

Zielsetzung Masterplan Klimaschutz:

Versorgung der Stadt Frankfurt/Main im Jahr 2050 mit 100 % erneuerbaren Energien aus der Region

Ergebnis der Machbarkeitsuntersuchung durch Fraunhofer ISE:

Eine Vollversorgung mit erneuerbare Energien bei Nutzung der Wind-, Biomasse- und PV-Potenziale aus der Region ist möglich.

Empfohlene Variante: Import von 10% Reststrom und Nutzung von Wind-/ Biomasse-Potenzialen aus anderen Regionen von Hessen, da deutlich kostengünstiger.

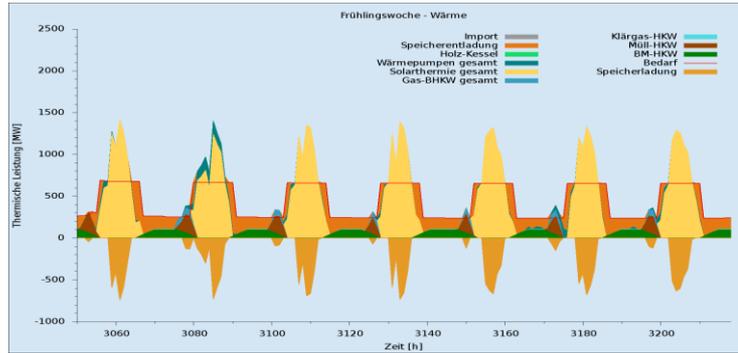


1. Hohe Effizienz
2. Hoher Anteil lokaler erneuerbarer Energien
3. Energiekooperation mit der Region
4. Intelligente Systemlösungen

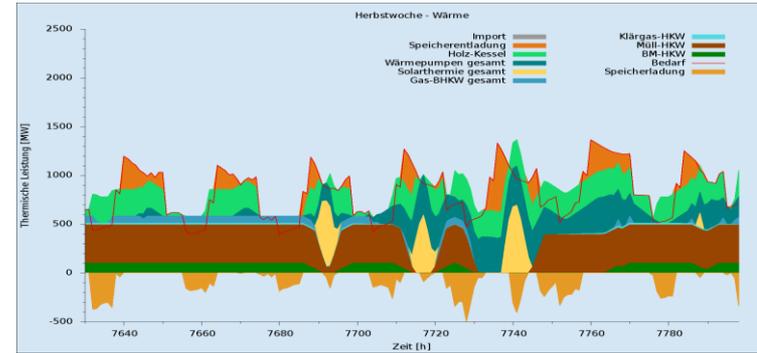
Modellierungsergebnisse Strom und Wärme zeitlich aufgelöst

Wärmeversorgung

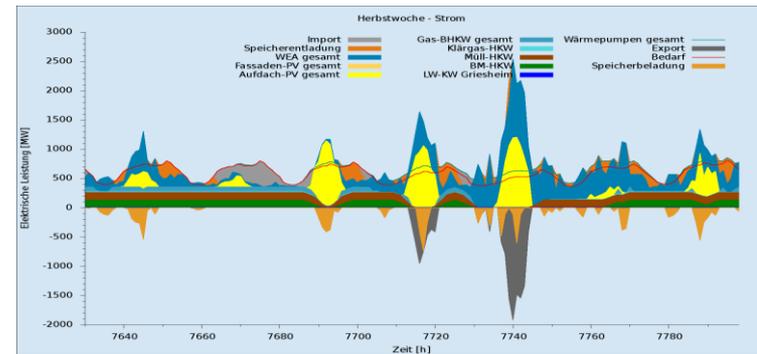
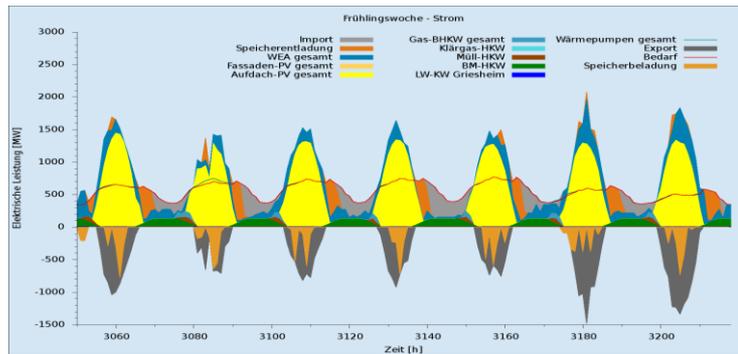
1 Woche im Frühjahr



1 Woche im Herbst



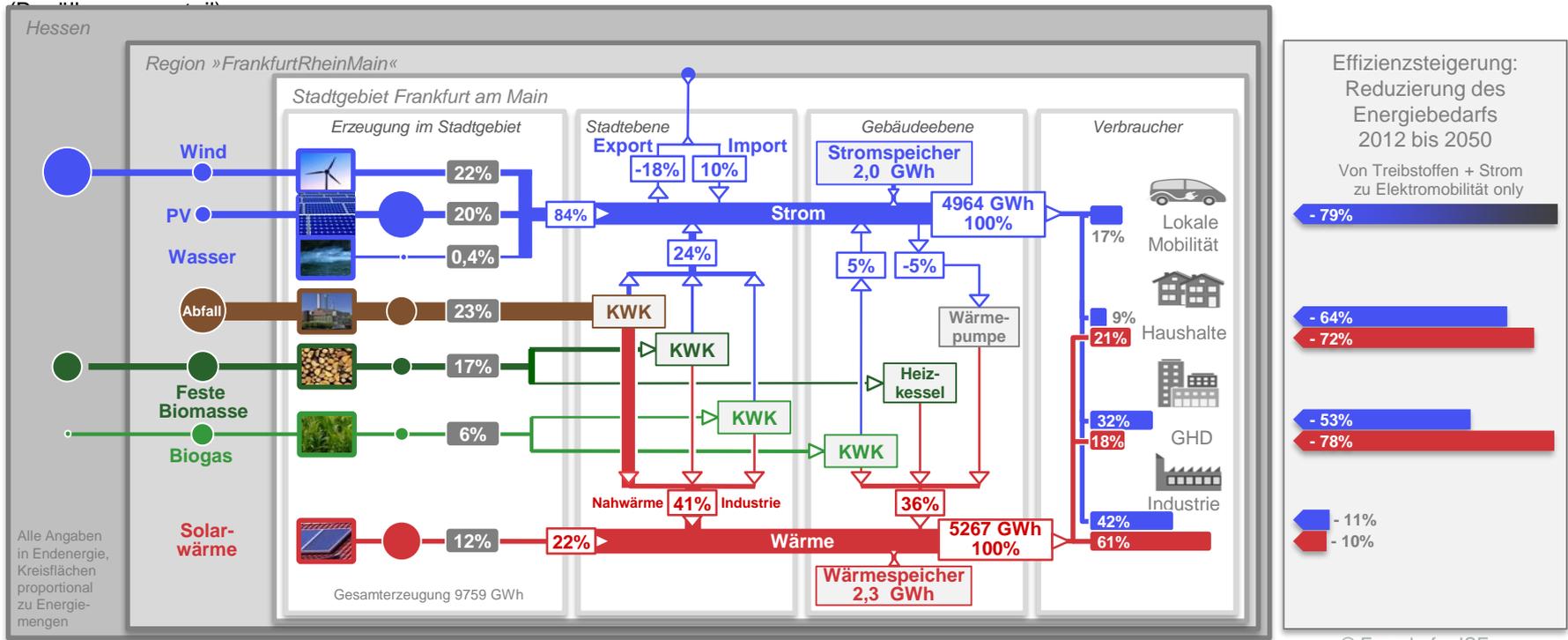
Stromversorgung



Ziel-Energiesystem Frankfurt/M. 2050: 95 % regionale erneuerbare Energien

Energien

Das Ziel-Energiesystem auf Basis Stunden-aufgelöster Modellierung. Berücksichtigt sind folgende Energiepotenziale: in der Stadt alle Potenziale, aus der Region die erneuerbare Energien und Abfall-Potenziale zu 50 %, aus Hessen die Wind und Biomasse-Potenziale zu 11,6%



© Fraunhofer ISE

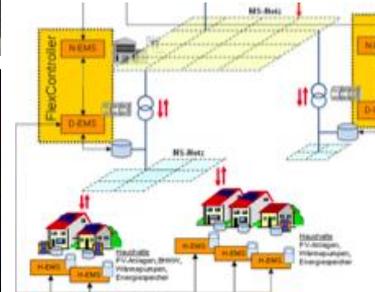
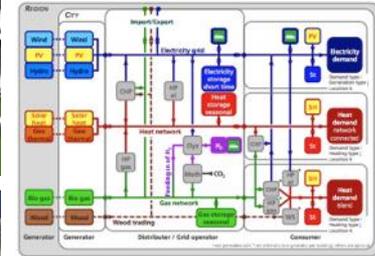
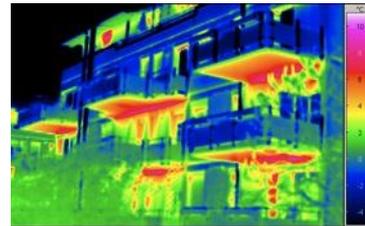
Datenblatt optimiertes Energiesystem Frankfurt/Main 2050

Versorgung mit 95% regionale erneuerbare Energien

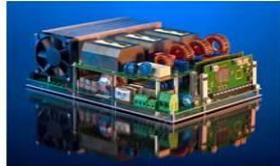
Erzeuger	Strom	Wärme	Inst. Leistung
Biogas BHKW	4%	4%	81 MW _{el} / 72 MW _{th}
Feste Biomasse HKW	10%	9%	124 MW _{el} / 99 MW _{th}
Feste Biomasse Heizkessel	-	11%	271 MW _{th}
Klärgas HKW	<1%	1%	15 MW _{el} / 19 MW _{th}
Abfall HKW	9%	31%	131 MW _{el} / 392 MW _{th}
Photovoltaik	32%	-	2003 MW _p
Wind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

Zusammenfassung

- **Nachhaltige und intelligente Energiesysteme** mit einem hohen Anteil lokal erzeugter erneuerbarer Energien sind ein wichtiger Baustein von Smart Cities
- Die fundierte Planung nachhaltiger Zielenergiesysteme erfordert eine **zeitlich hochaufgelöste Modellierung unter Berücksichtigung der Sektorkopplung**
- **Infrastrukturentscheidungen im Wärmesektor** sind besonders kritisch, da es konkurrierende Lösungen gibt (Nahwärme, Gas, Strom) und kurzfristig vorteilhafte Entscheidungen langfristig falsch sein können
- Nicht Autarkie, sondern **ganzheitliche Lösungen** sind das Ziel: hohe Effizienz, hohe Eigenerzeugung, Kooperation mit der Region, intelligente Systeme
- Eine integrale Planung und eine **Masterplan-Erstellung** sollte der Basis der lokalen Energiewende sein



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystems ISE

Gerhard Stryi-Hipp

gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

www.ise.fraunhofer.de