

Die integrale Methode *URBS* zur Beschreibung und Optimierung urbaner Energiesysteme

Stephan Richter



W Z U

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, U Augsburg
WissenschaftszentrumUmwelt, U Augsburg

und

Thomas Hamacher



W Z U

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
WissenschaftszentrumUmwelt, U Augsburg

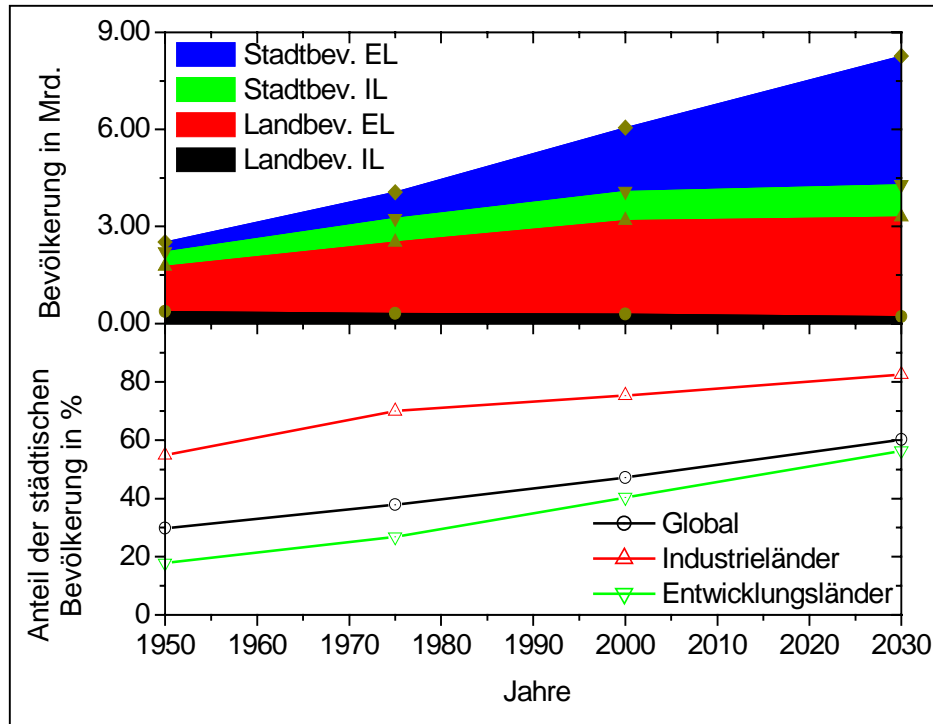
Kontakt: Stephan.Richter@ipp.mpg.de

Warum sind städtische Energiesysteme bedeutsam?

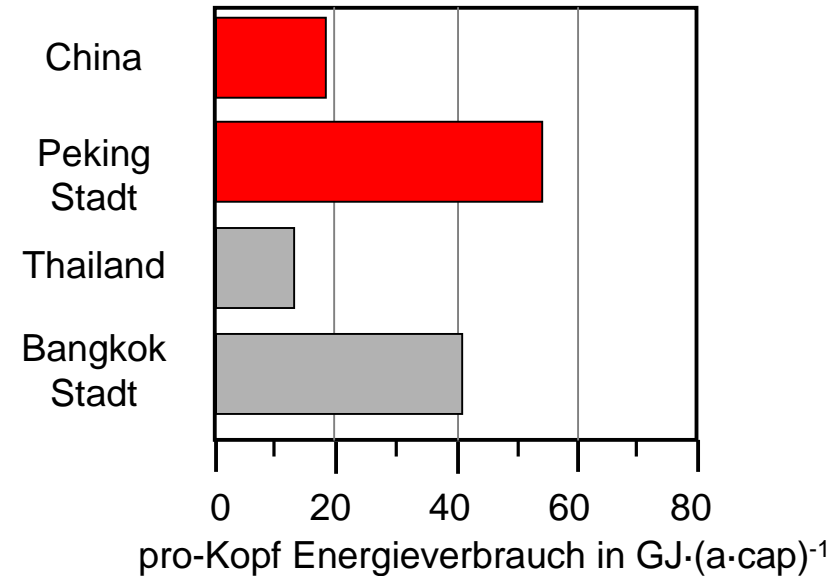
W Z U

EPP

IPP

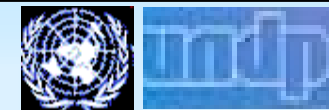


Quelle: Population Division, UN Secretariat



Quelle: Hanaki, K. & T. Ichinose, 1998

Aus dem Bericht des *UN Developing Program China: Urbanisation in China*



The [Chinese] urban population is forecast to grow from the present 30% to 70% in 2050. In 1995, **energy consumption** of a typical **urban household** was **300% that of a rural household**. [...]

Quelle: <http://www.unchina.org>

Inhalt

1. Motivation

2. Zielsetzung und methodische Grundlagen von *URBS*

- Die Methode *URBS*
- Die Module von *URBS*
- Das Einsatzfeld von *URBS*

3. Erste Falluntersuchungen mit *URBS* an Augsburg

- Grundlagen
- Schwerpunkt: **KWK-Ausbau**
 - i.) erdgasbefeuerte konventionelle KWK
 - ii.) erdgasbefeuerte Brennstoffzellen
- Schwerpunkt: **Erneuerbare Energietechniken**

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ziele der Methode *URBS*

URBS ist eine integrale Methode zur Beschreibung und Optimierung urbaner Energiesysteme

Ziele von *URBS*

- Abbildung des **Ist-Systems** einer Stadt als **R**eferenz**E**nergie**S**ystem (**RES**)
- Simulation und **Optimierung zukünftiger** **o**ptimierter **E**nergie**S**ysteme (**OES**), die der Forderung nach Nachhaltigkeit gerecht werden
- Aufzeigen möglicher **Entwicklungspfade** und **Zielpunkte** einer nachhaltigen Entwicklung städtischer Energiesysteme
→ Vergleich der OES mit dem RES und der OES miteinander

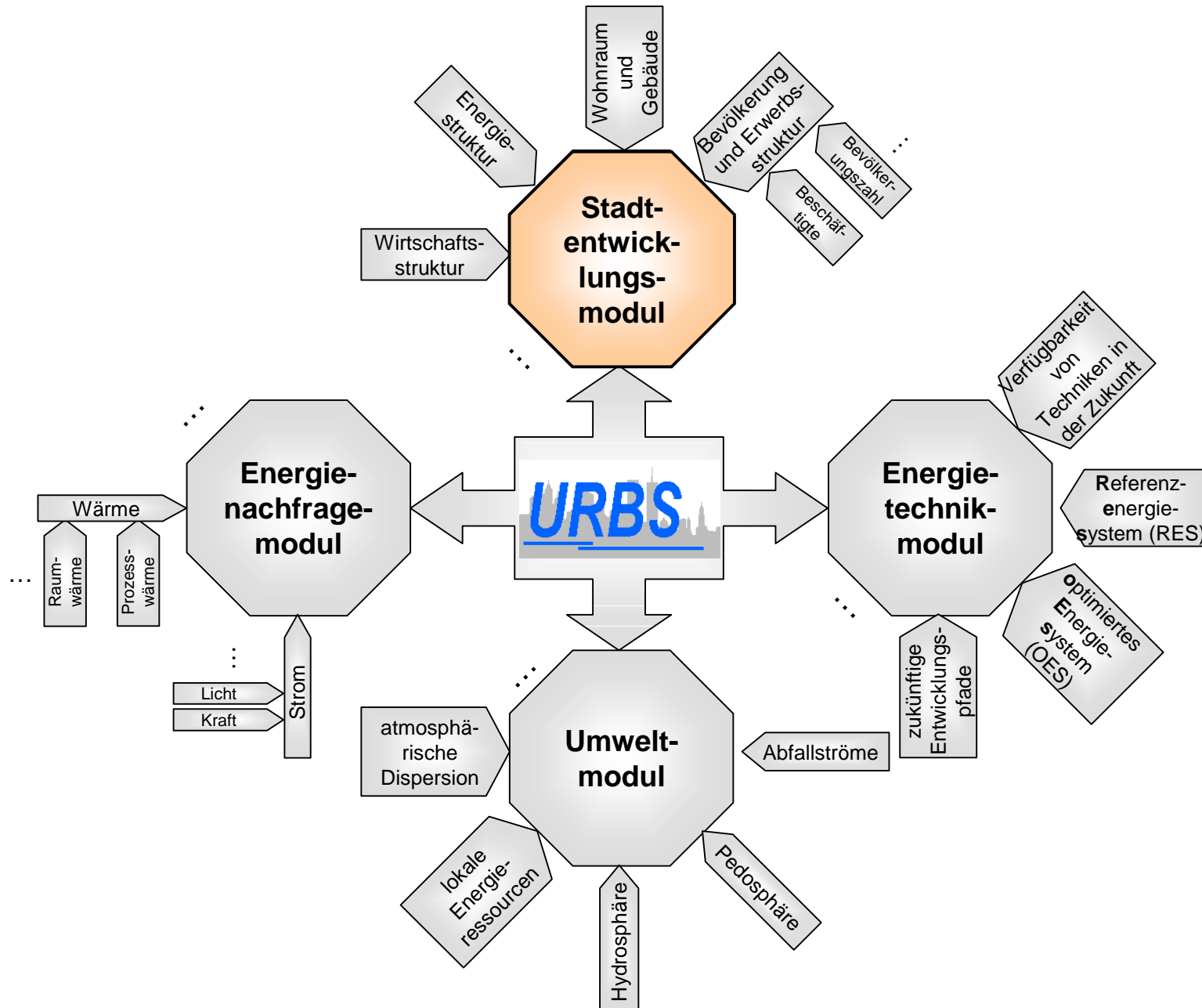
Um dieser Zielsetzung gerecht zu werden, ist eine integrale Betrachtung der zahlreichen Einflussgrößen auf städtische Energiesysteme nötig!

Die Methode URBS

W Z U

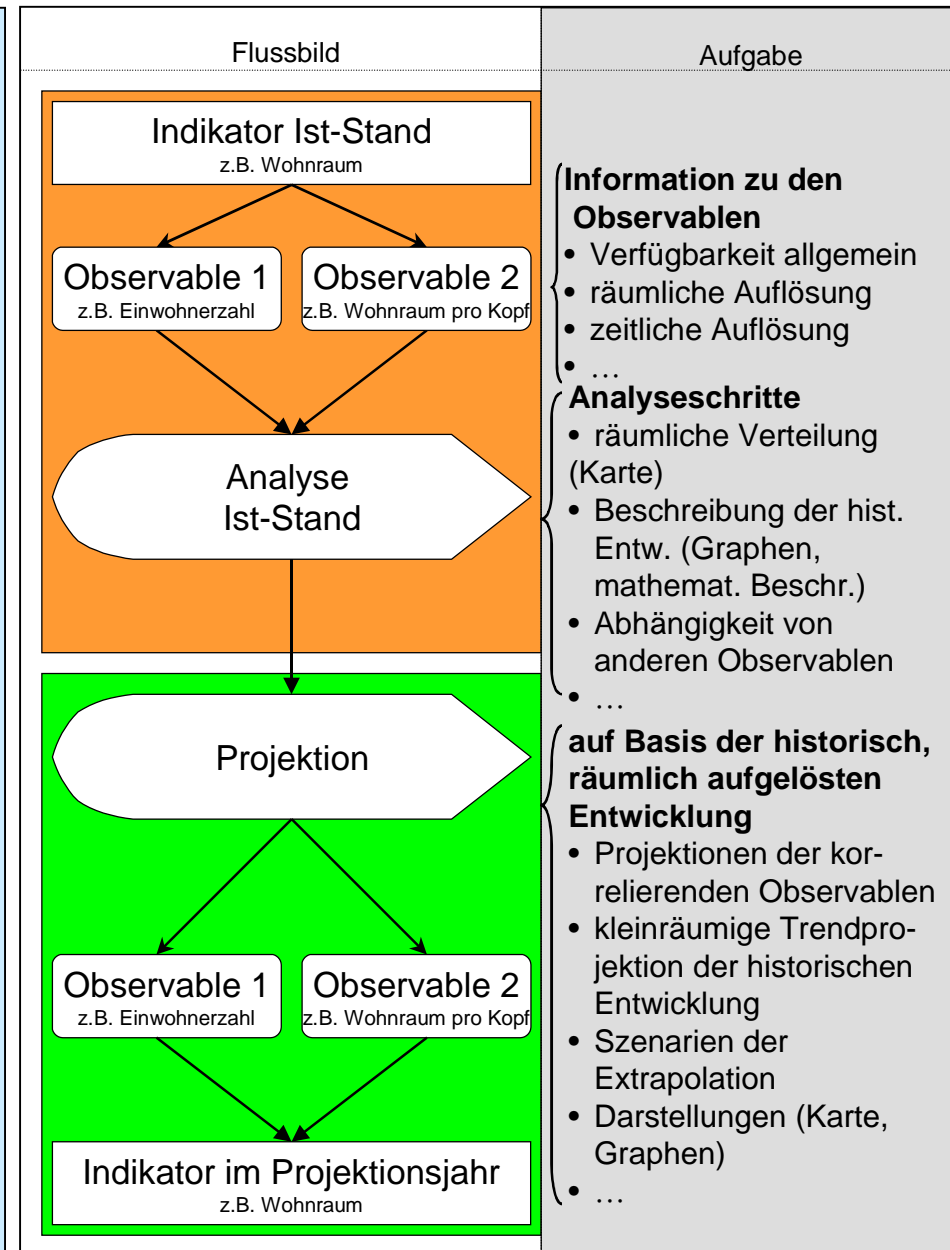
EPP

IPP

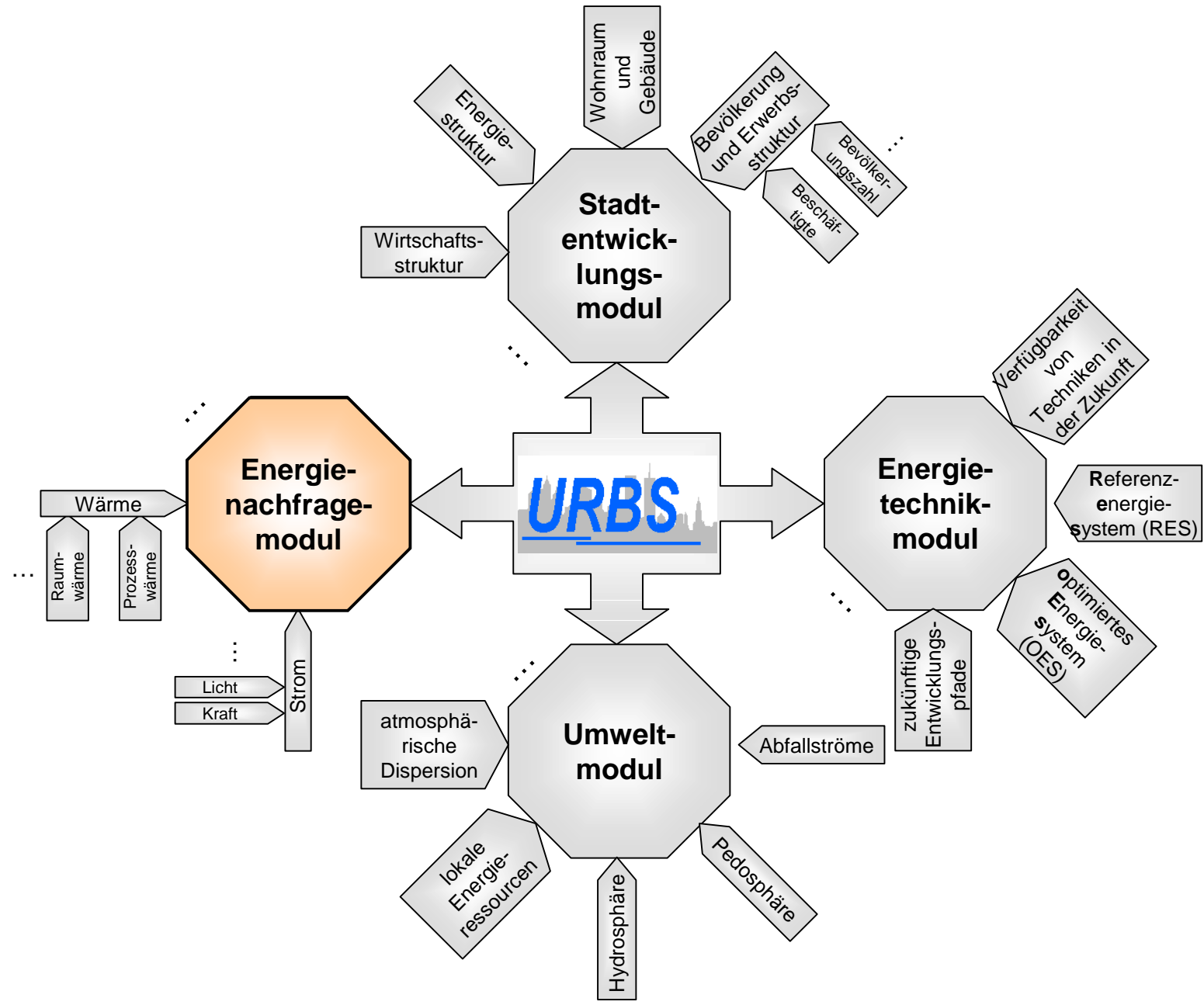


Das Stadtentwicklungsmodul

- Identifizierung, Sammlung und Analyse der relevanten **Indikatoren der Stadtentwicklung** mit Einfluss auf das Energiesystem:
 - Demographie
 - Infrastruktur, speziell Wohnraum und Gebäude
 - wirtschaftliche Entwicklung
 - ...
- **Projektion der Indikatoren in die Zukunft**, um Aussagen über notwendige Anforderungen an ein zukünftiges Energiesystem formulieren zu können



Die Methode *URBS*



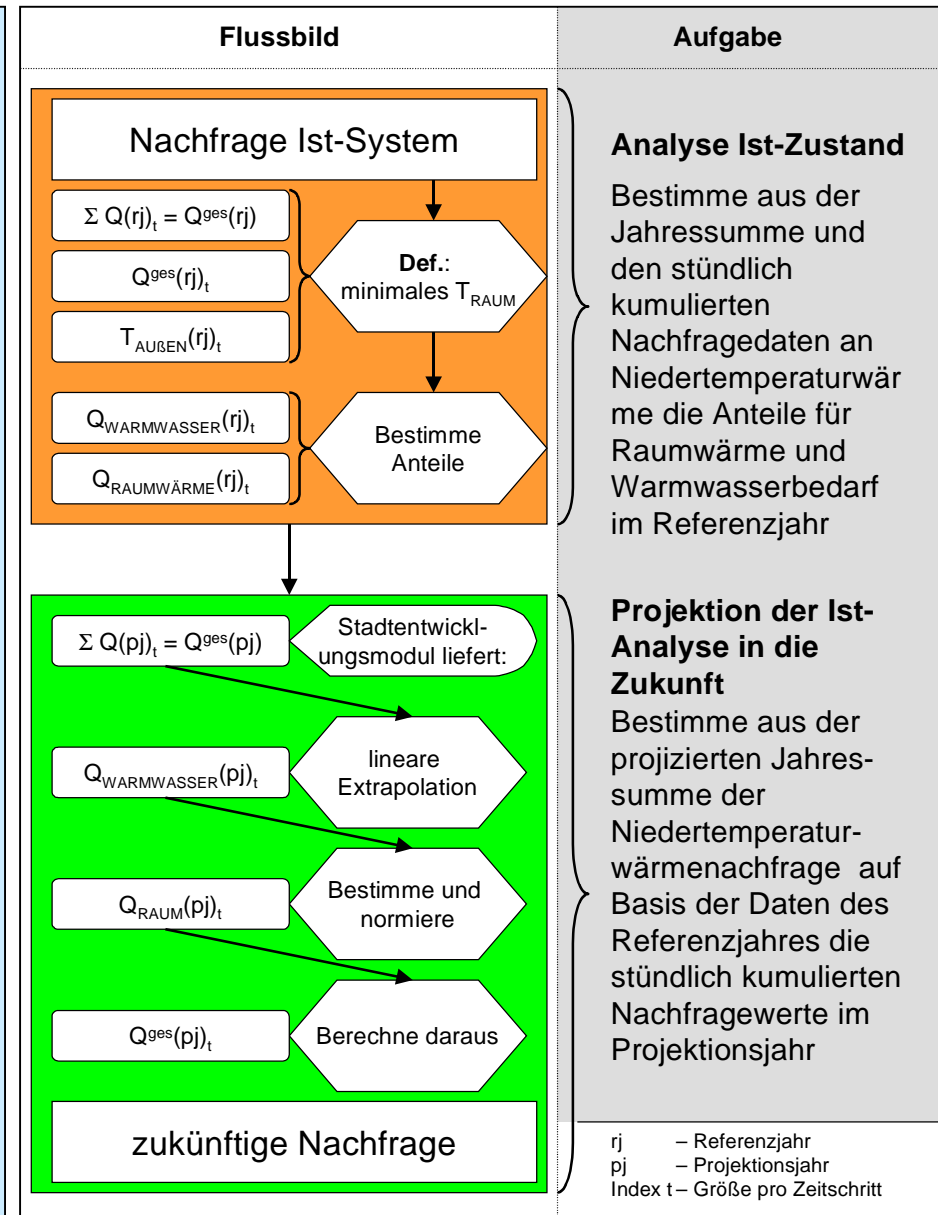
Das Energienachfragemodul

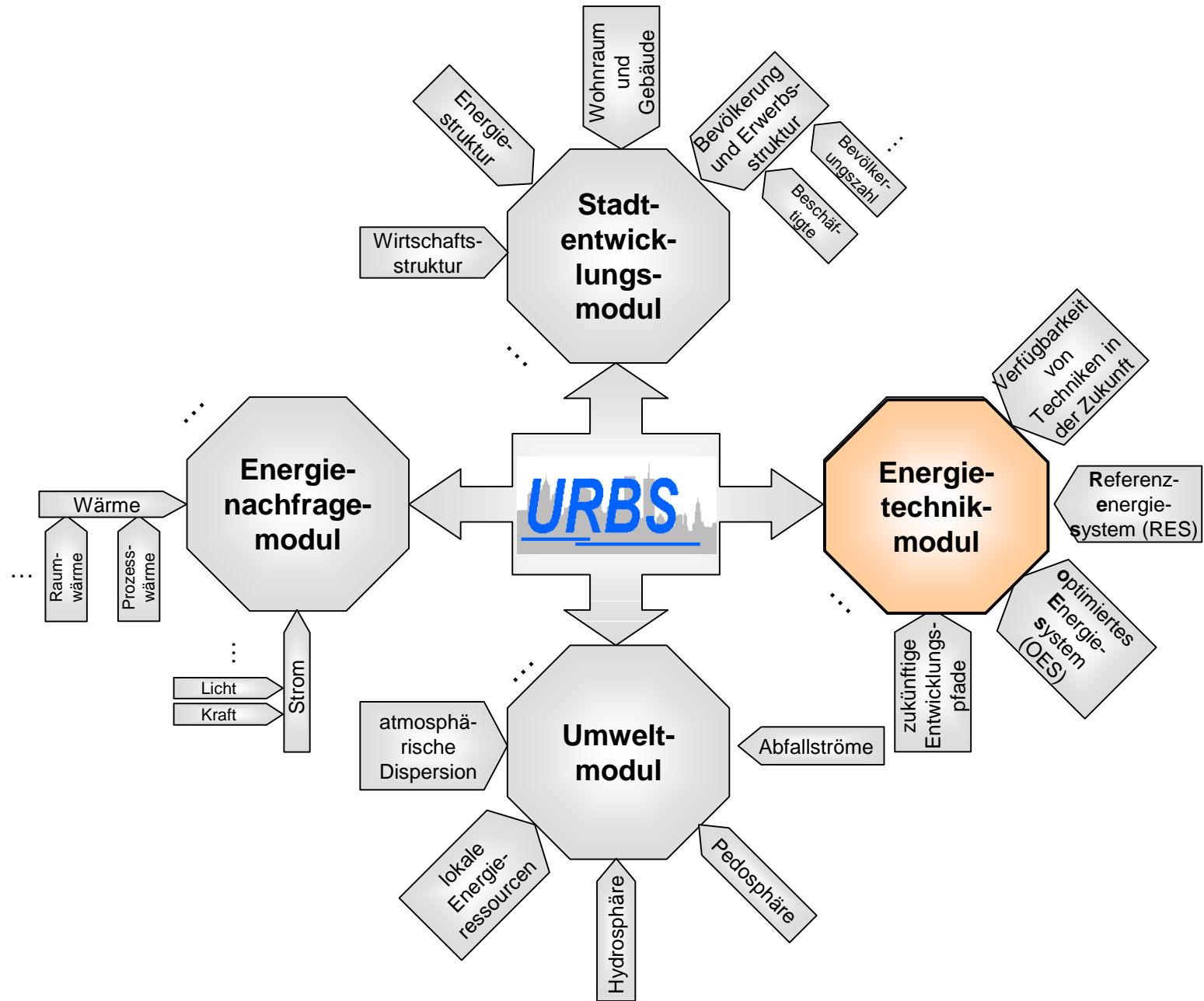
- Aus den zeitlich aggregierten Anforderungen gemäß des Stadtentwicklungsmoduls werden **stündlich aufgelöste Nachfragezeitreihen** verschiedener Endenergien abgeleitet:

- Wärmenachfrage
- Stromnachfrage
- ...

- Mithilfe der disaggregierten, Nachfragezeitreihen können co-generative sowie zeitlich z.T. stark fluktuierende erneuerbare Wandlungstechniken diskutiert werden

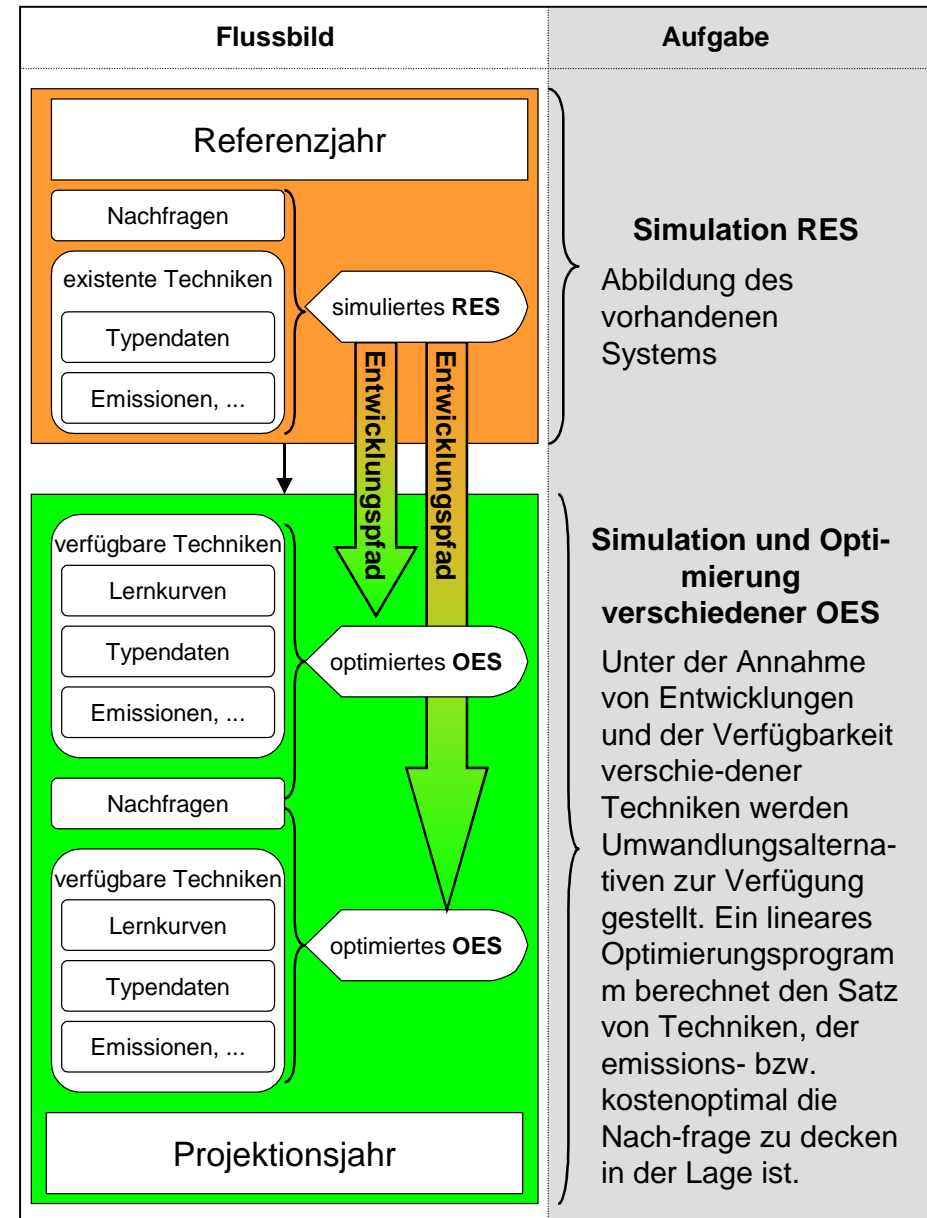
Beispiel Niedertemperaturwärmenachfrage 2025

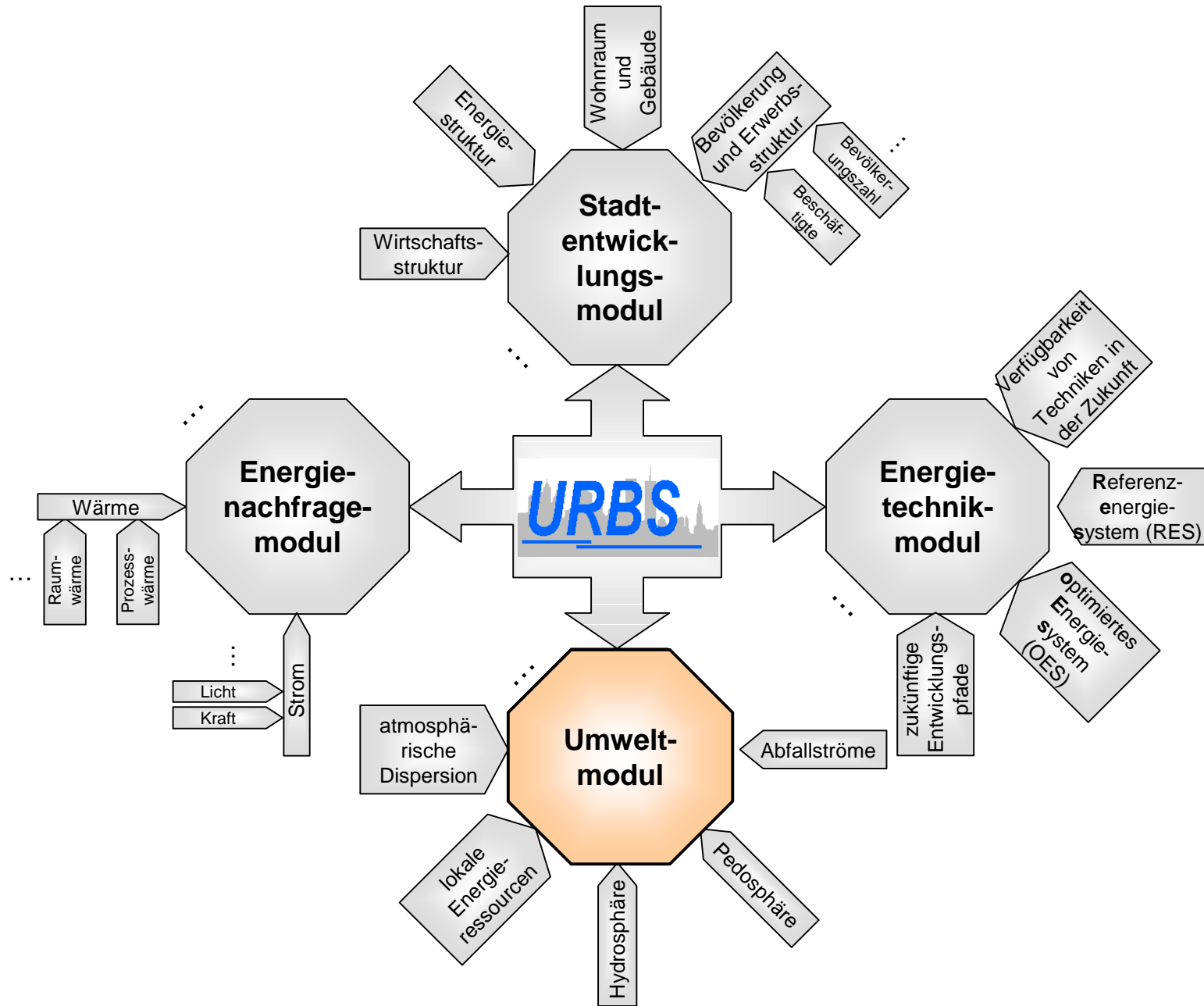




Das Energietechnikmodul

- Unter der Annahmen von **technischen Entwicklungen**, **Emissionsgrößen** und **Kosten** von Energiewandlungstechniken werden verschiedene **Entwicklungspfade** betrachtet:
- Ergebnisse sind **emissions-optimale** bzw. **kostenoptimale** Technikkombinationen zur Befriedigung der Nachfrage



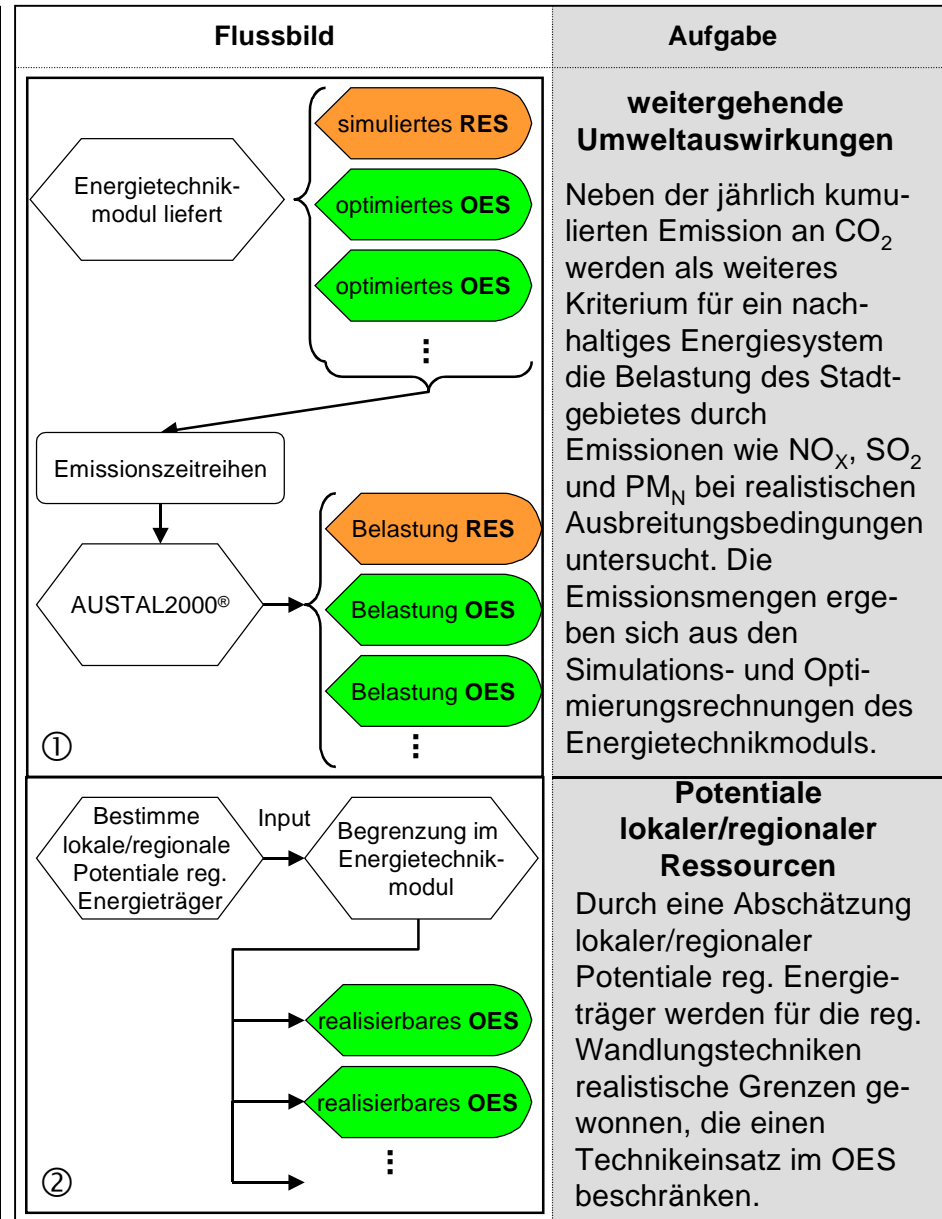


Das Umweltmodul

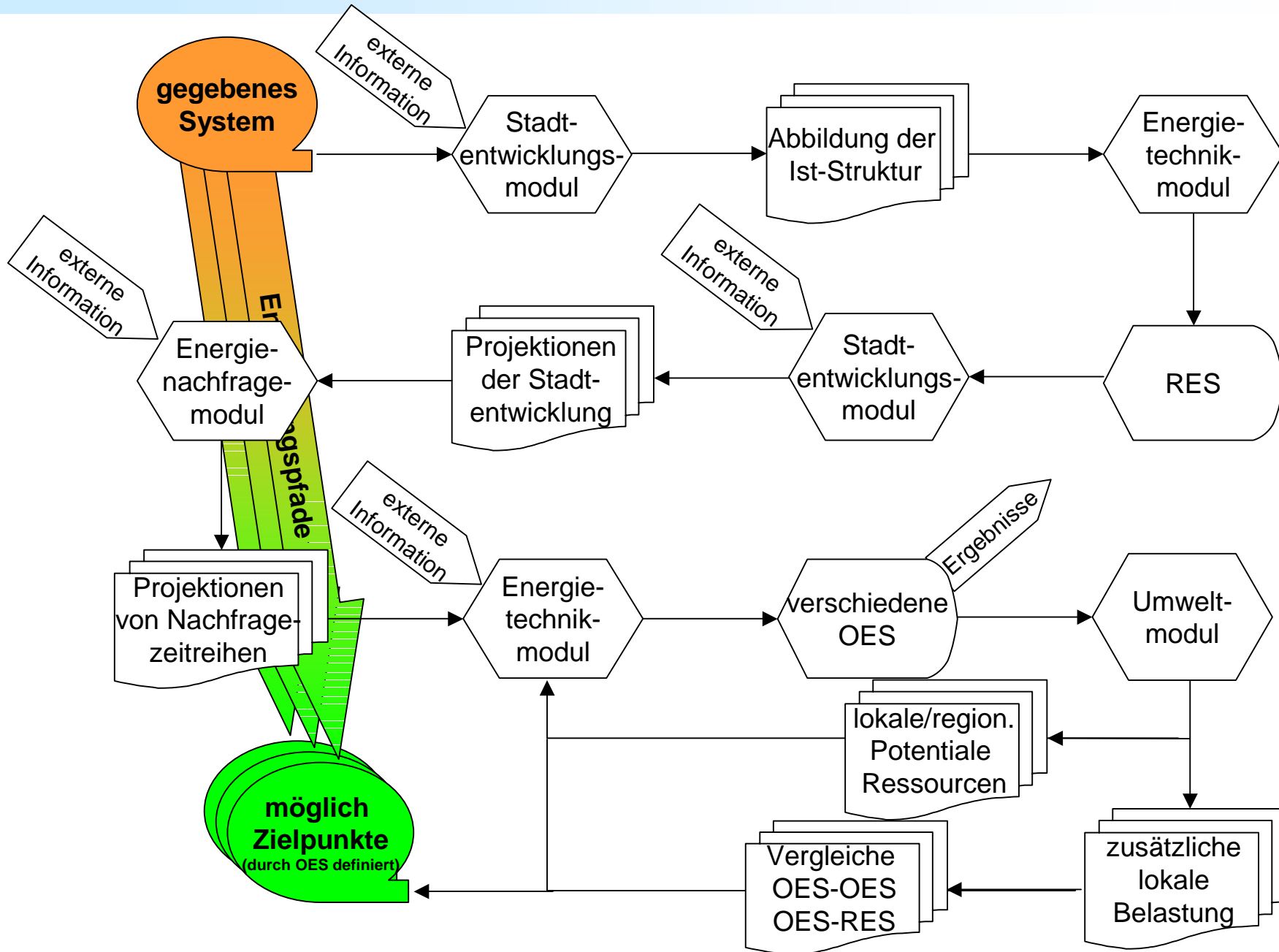


(1) Neben der Emissions-optimierung insbesondere von CO₂ werden weitere Umweltauswirkungen der OES betrachtet. Das Hauptaugenmerk liegt auf der **atmosphärischen Dispersion** verschiedener Emissionen (NO_x, SO₂, PM_N) im Stadtgebiet

(2) Durch eine lokale/regionale **Potentialabschätzung** besonders für **erneuerbare Energieträger** werden Grenzen für das Energietechnikmodul aufgezeigt



Flussbild eines Durchlaufes



Grundsätzlich gibt es zwei Einsatzbereiche von *URBS*:

(1) Modellierung und zukunftsorientierte Optimierung eines urbanen, theoretisch scharf begrenzten Energiesystems:

Identifizierung von nachhaltigen Entwicklungspfaden

→ Stadtplanung, Stadtverwaltung, Gutachter, Energieversorger, Politikwerkzeug

(2) Monitoring von ablaufenden, geplanten Entwicklungsprozessen:

Begleitende Überwachung der ablaufenden Entwicklung:

- Folgt die Entwicklung dem gewünschten Pfad?
- Haben sich Randbedingungen (Entwicklungsindikatoren) anders als angenommen verändert?
- Ist dieser Pfad noch sinnvoll?

→ Stadtplanung, Stadtverwaltung, Energieversorger, Politikwerkzeug

1. Motivation

2. Zielsetzung und methodische Grundlagen von *URBS*

- Die Methode *URBS*
- Die Module von *URBS*
- Das Einsatzfeld von *URBS*

3. Erste Falluntersuchungen mit *URBS* an Augsburg

- Grundlagen
- Schwerpunkt: KWK-Ausbau
 - i.) erdgasbefeuerte konventionelle KWK
 - ii.) erdgasbefeuerte Brennstoffzellen
- Schwerpunkt: Erneuerbare Energietechniken

4. Zusammenfassung und Ausblick

Bedeutung der Ergebnisse



W Z U

EPP

IPP

Alle vorgestellten Ergebnisse sind stark abhängig von den Eingangswerten:

- **Kosten und Preise** für Installation, Instandhaltung, Betrieb und Brennstoff
- **Nachfragewerte**
- Technikparameter wie Wirkungsgrade (**quasi-statisch**)
- spezifische Emissionswerte der Brennstoffe

Wichtig:

Kosten und Preise, **Nachfragewerte** sind bereits heute z.T. nur schwer zugänglich und gerade **Projektionen in die Zukunft** sind mit zahlreichen **Unsicherheiten** behaftet.

⇒ **Sensitivitätsanalysen sind notwendig!**

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind als erste Rechnungen mit der Methode URBS zu sehen und erheben nicht den Anspruch, für Augsburg bereits relevante Entwicklungspfade zu liefern!

Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (1)

verfügbare Indikatoren der Stadtentwicklung

Bevölkerung und Erwerbsstruktur

- Bevölkerungszahl → Zensus 1987 blockscharf, Fortschreibung
- Erwerbsstruktur → Zensus 1987 Stadtbezirke, Fortschr. AA Gesamtstadt

Wohnraum und Gebäude

- Wohnfläche → Zensus 1987 blockscharf, Fortschreibung Bezirke

Energieversorgungsstruktur

- Stromverbrauch → Stadtwerke 2000 blockscharf
- Anteile Normal- und Sondertarif → Stadtwerke 2000, Zeitreihe Gesamtvolumen 1955-2003
- Niedertemperaturwärme
- Erdgas- und Fernwärme → Stadtwerke 2000 blockscharf, Zeitreihe Gesamtvolumen 1955-2003
- Anteile Heizungstypen → Kaminkehrer-Innung 2001

**Der Verkehr wird in diesen Fallbeispielen
nicht berücksichtigt**

Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (2)



Stadt-
entwick-
lungs-
modul

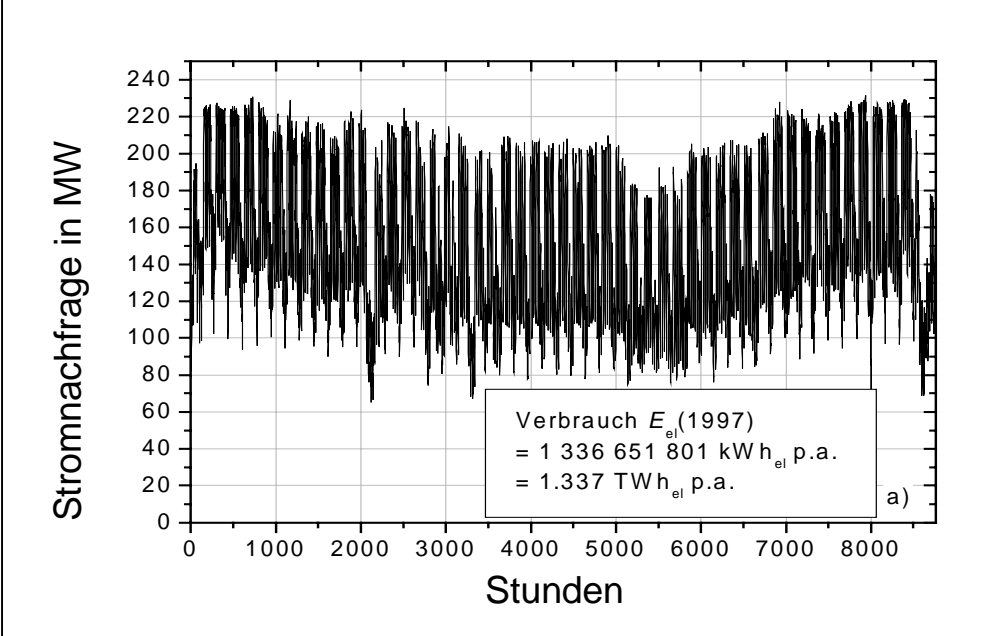
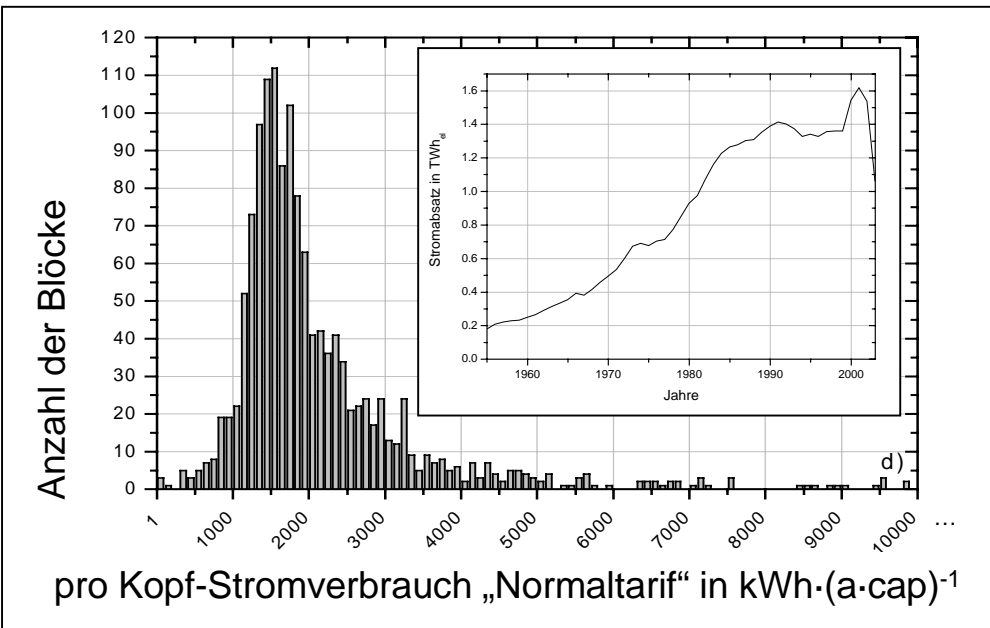
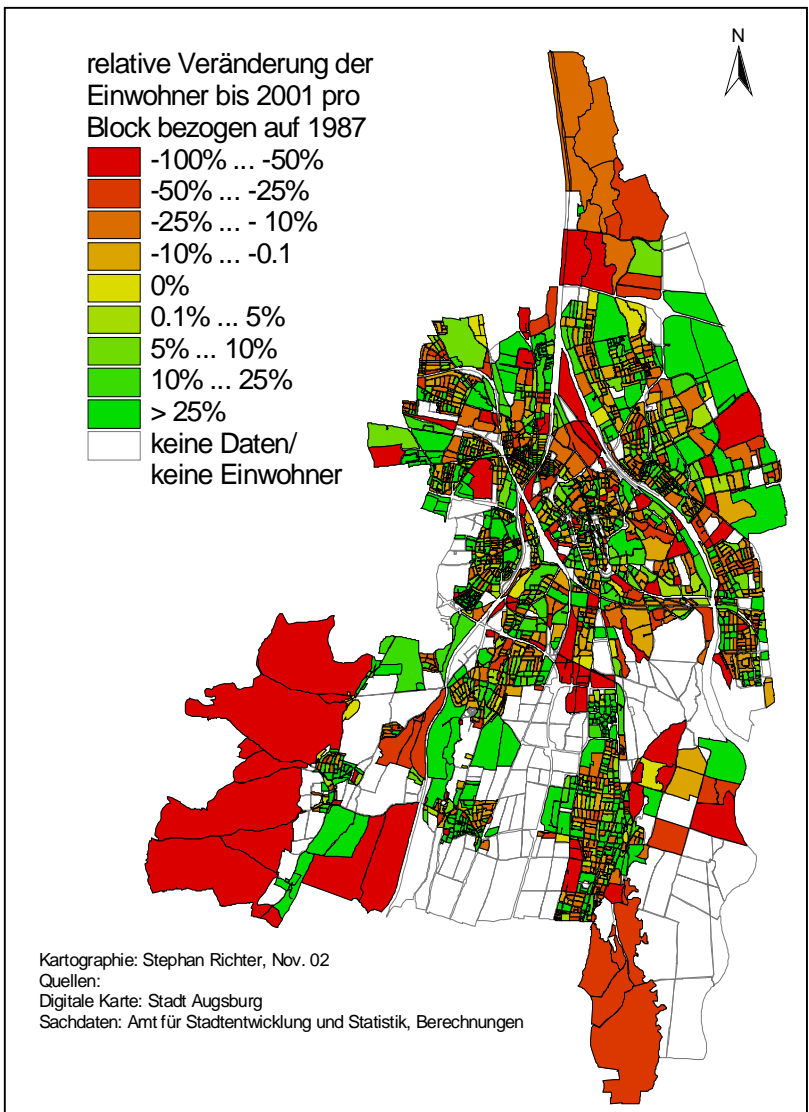


Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (3)



Stadtentwicklungsmodul

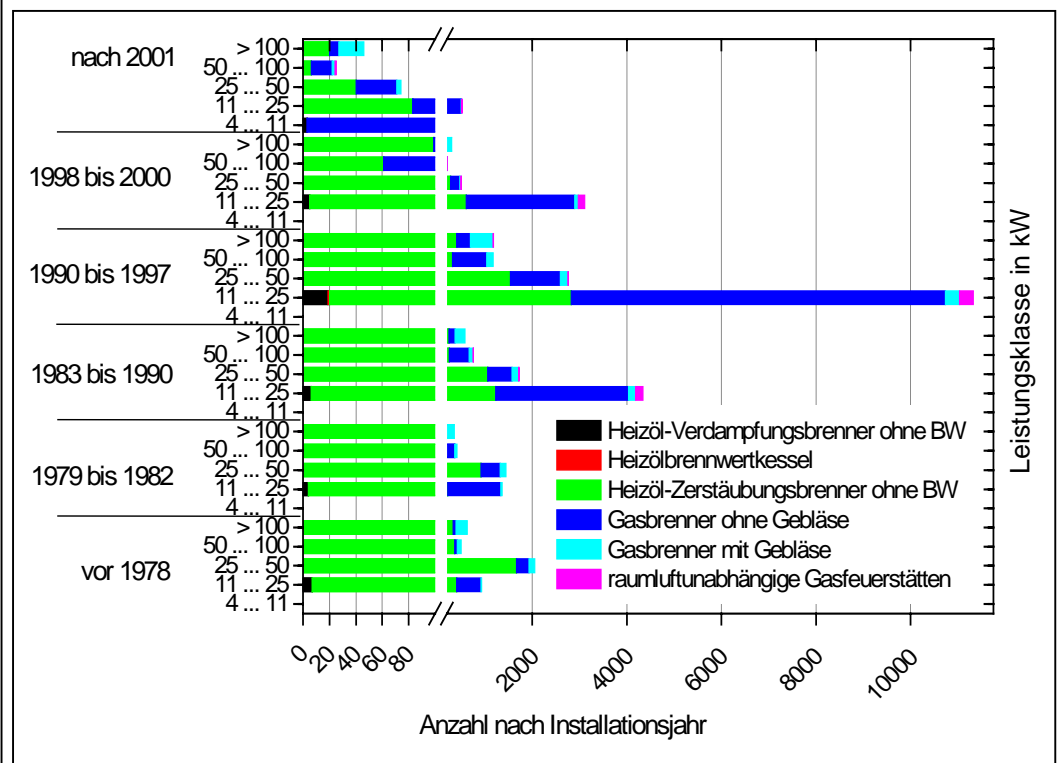
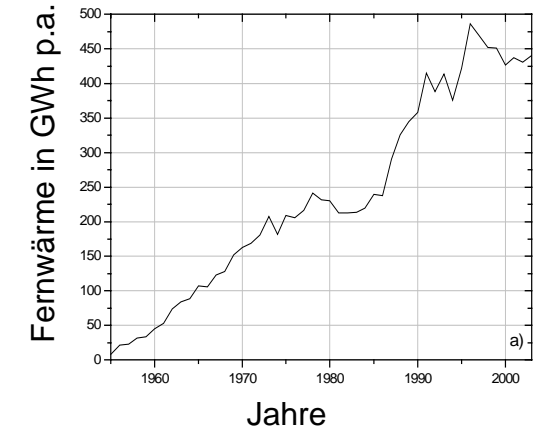
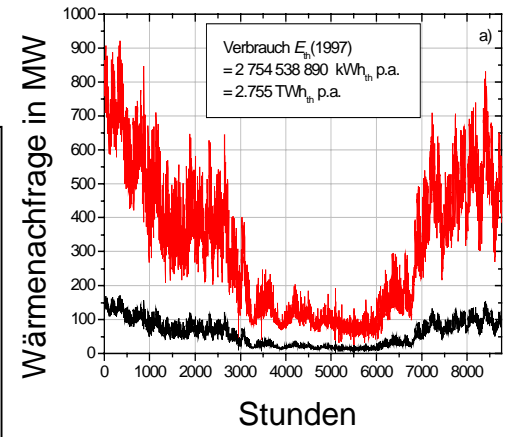
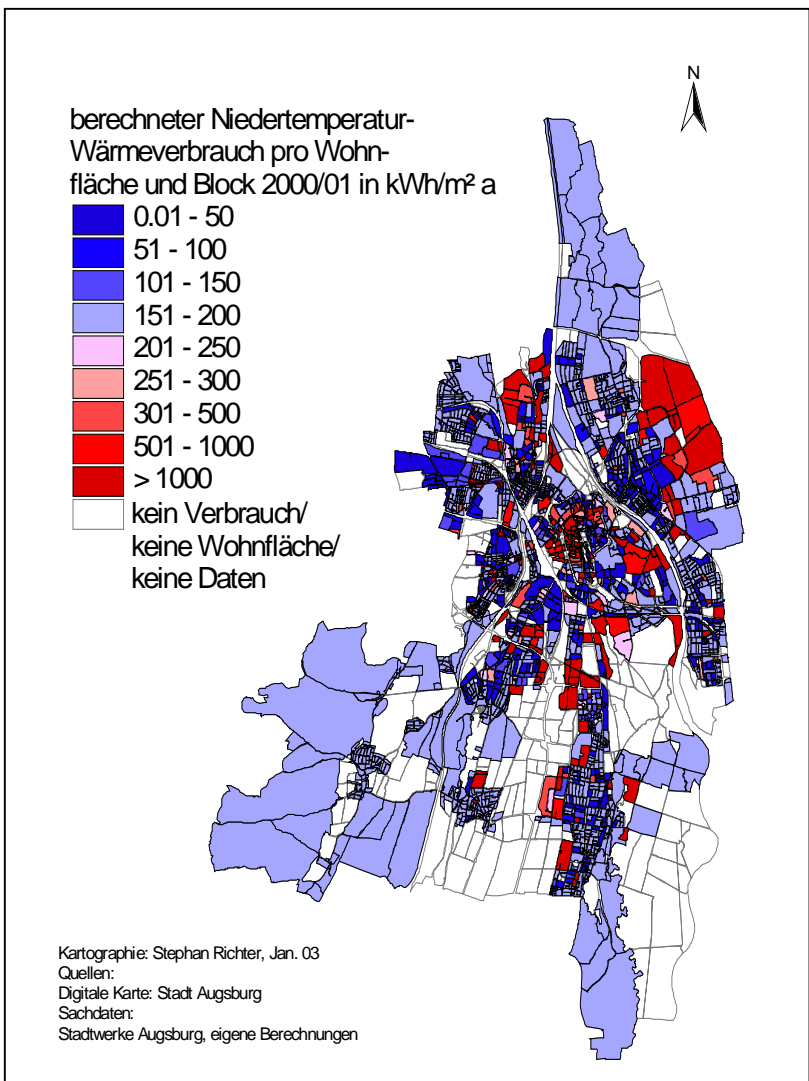
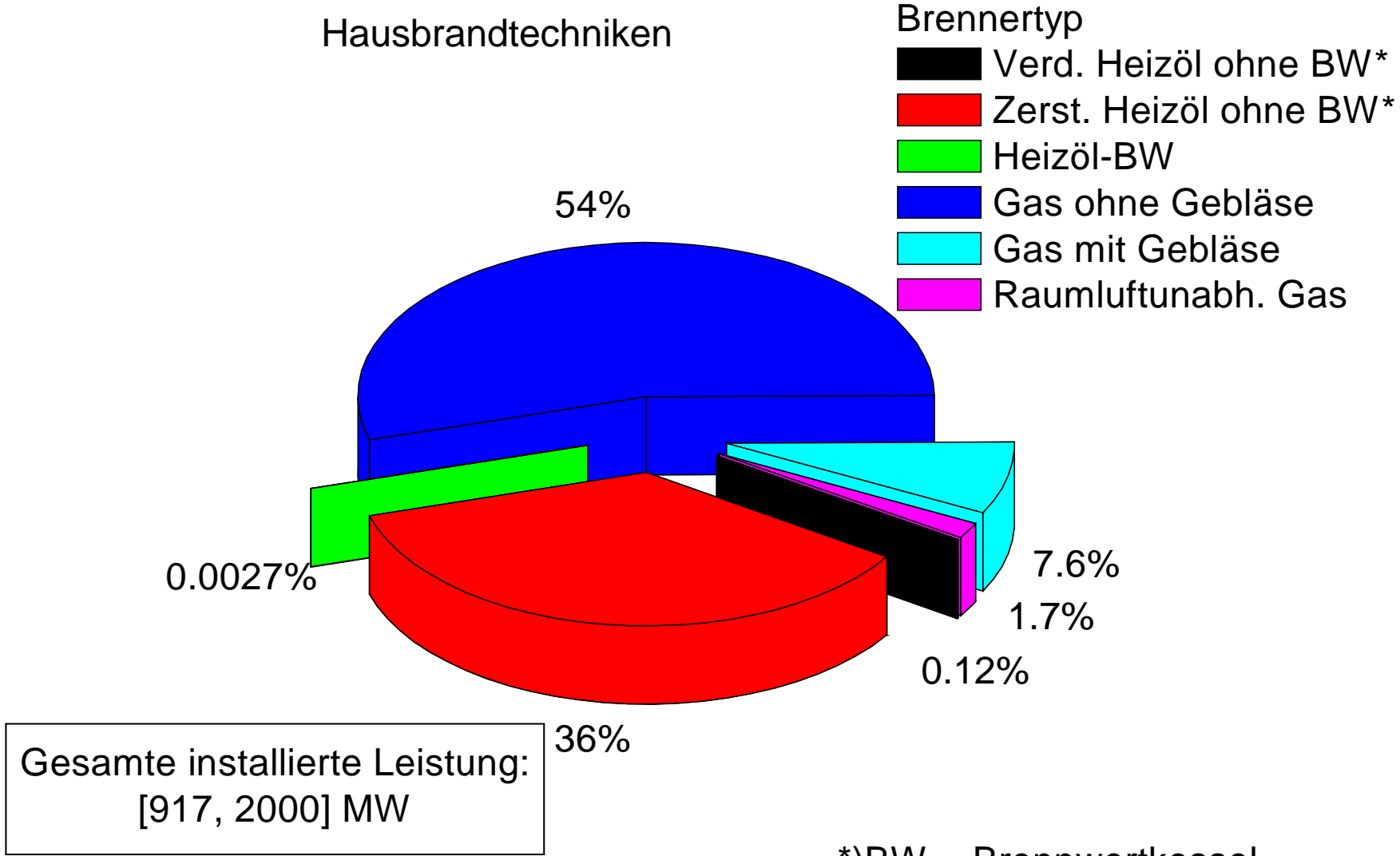


Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (3)



*)BW = Brennwertkessel

Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (3)

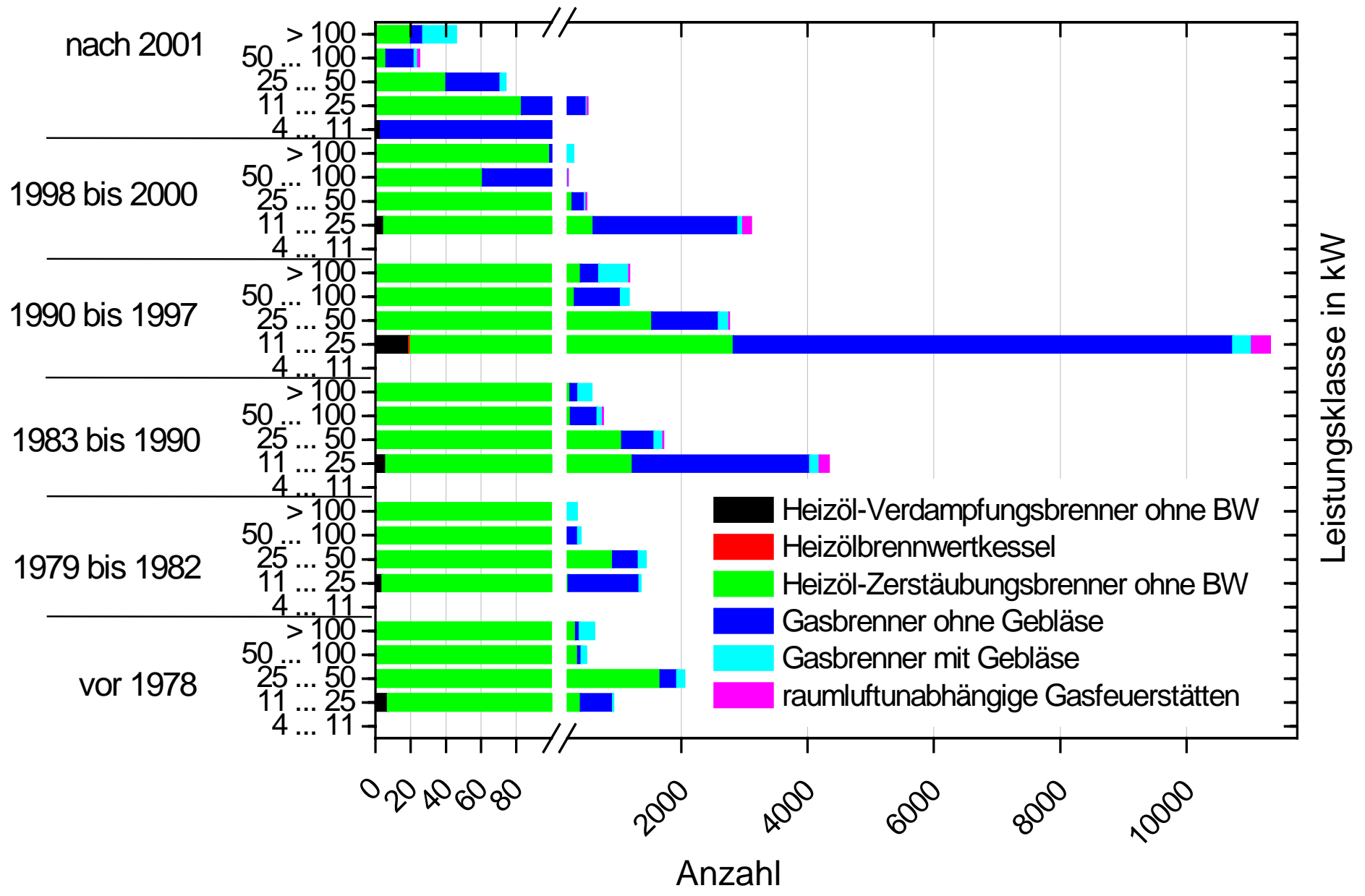


Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (4) – RES

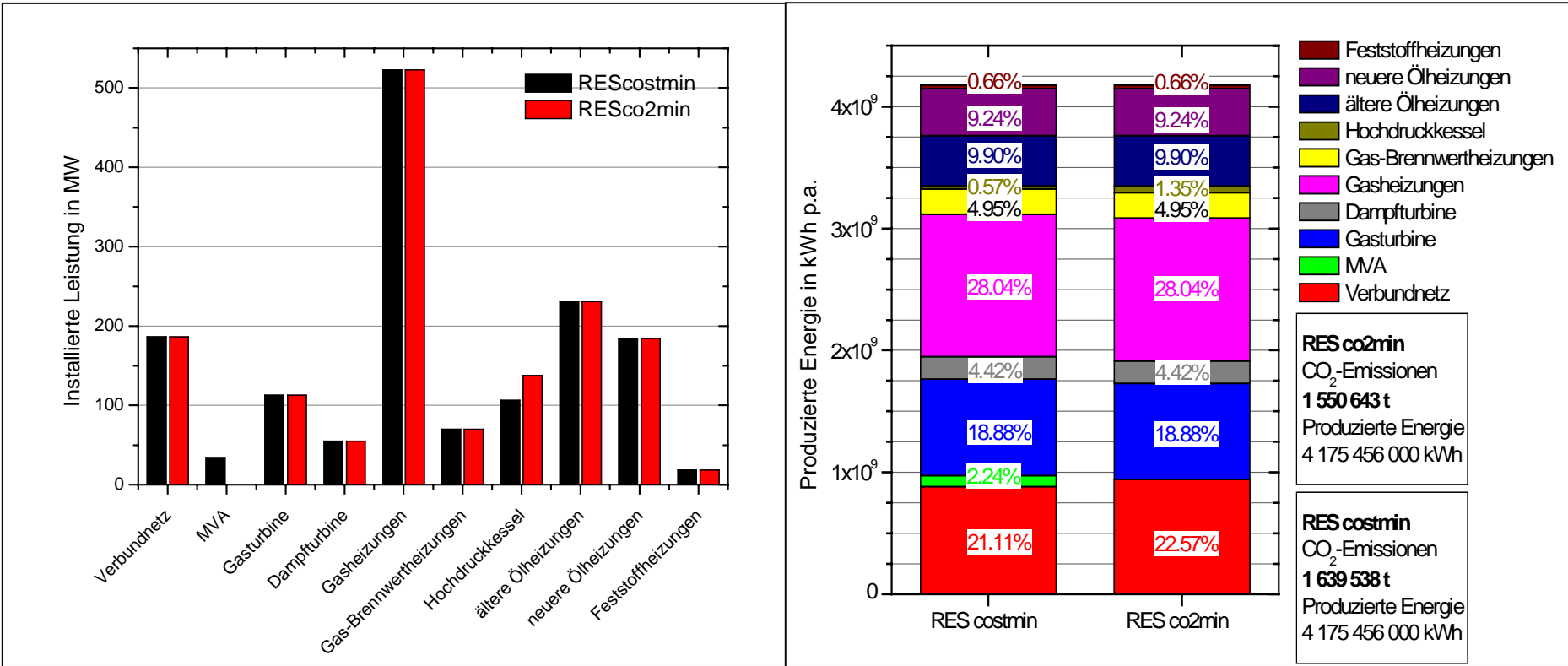
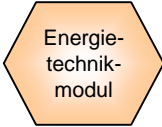
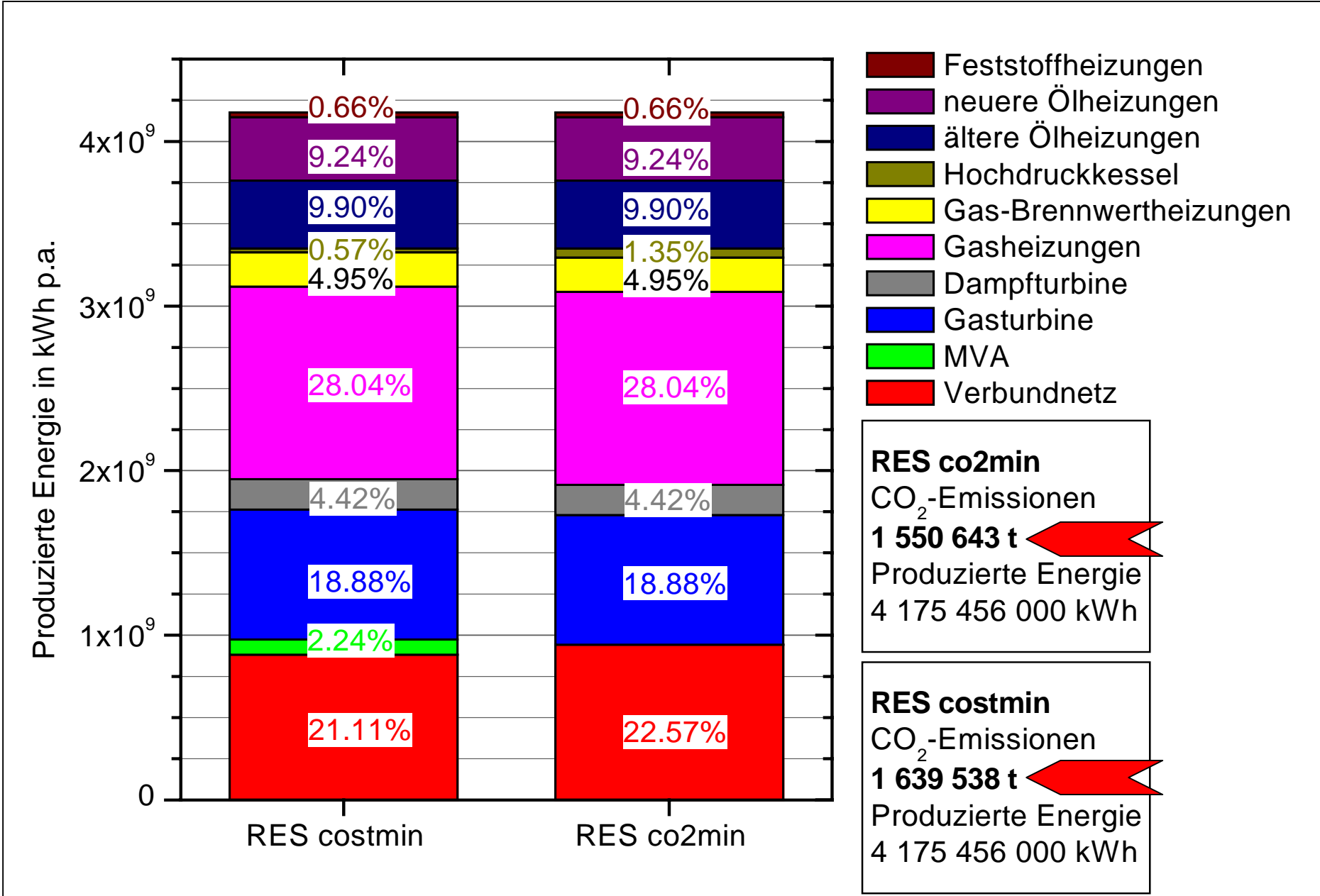


Abbildung der Ist-Struktur Augsburgs (4) – RES



Projektionen der Indikatoren

- Vergangene Trends der Indikatorenentwicklung werden mathematisch beschrieben.
- Projektionen eines Trends mittels Extrapolation oder Sättigungen
- Variation z.B. von Geradensteigungen etc. in drei Szenarien
- Bei gekoppelten Indikatoren werden die Szenarien wie Matrizen miteinander verknüpft
- Zieljahr ist 2025, Stützjahr ist 2015

Bevölkerung und Erwerbsstruktur

- Bevölkerungszahl
- Erwerbsstruktur

Wohnraum und Gebäude

- Wohnfläche

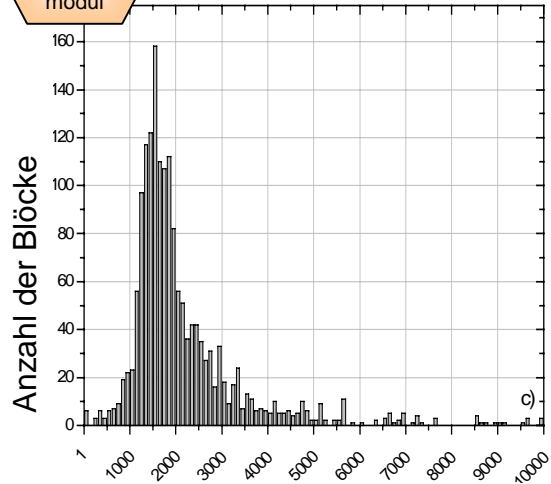
Energieversorgungsstruktur

- Stromverbrauch
Anteile Normal- und Sondertarif
- Niedertemperaturwärme
Erdgas- und Fernwärme
Anteile Heizungstypen

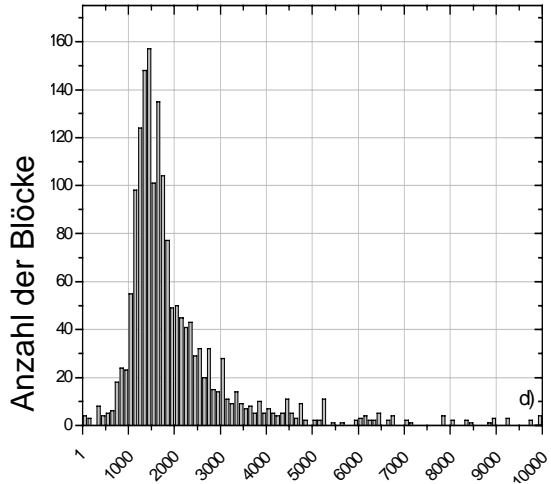
Projektion der Stadtentwicklung (2)



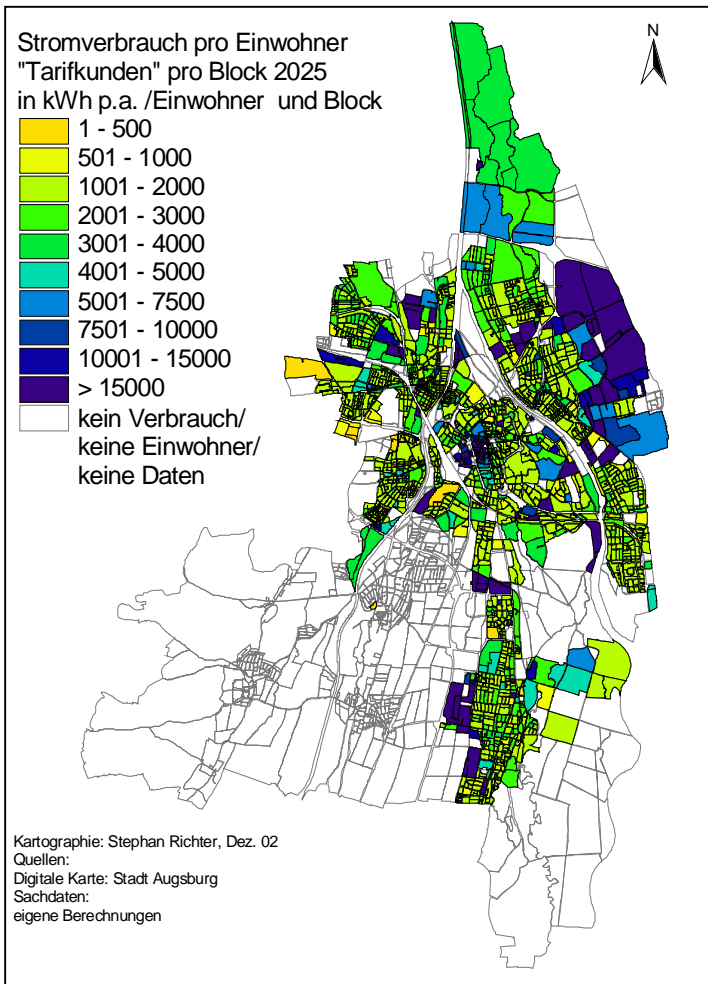
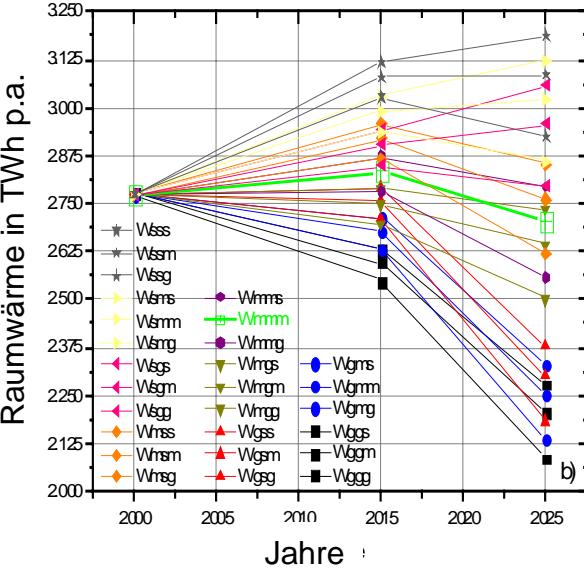
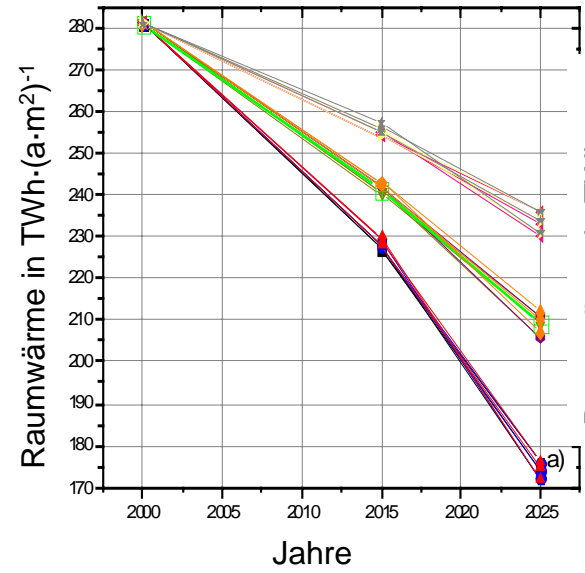
Stadtentwicklungsmodell



pro Kopf-Stromverbrauch „Normaltarif“ 2015 in kWh·(a·cap)⁻¹



pro Kopf-Stromverbrauch „Normaltarif“ 2025 in kWh·(a·cap)⁻¹



Stromverbrauch pro Einwohner "Tarifkunden" pro Block 2025 in kWh p.a. /Einwohner und Block

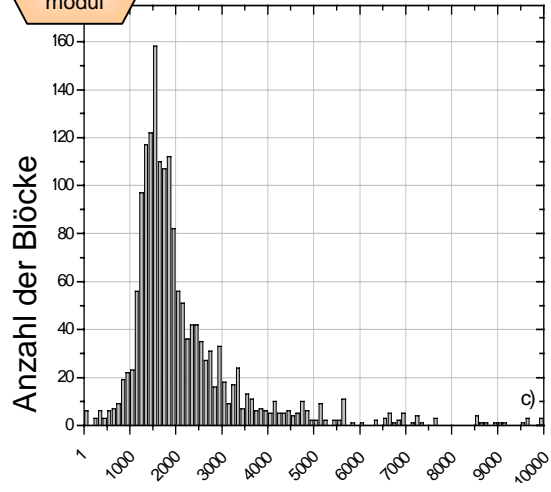
- 1 - 500
- 501 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 3000
- 3001 - 4000
- 4001 - 5000
- 5001 - 7500
- 7501 - 10000
- 10001 - 15000
- > 15000
- kein Verbrauch/ keine Einwohner/ keine Daten

Kartographie: Stephan Richter, Dez. 02
 Quellen:
 Digitale Karte: Stadt Augsburg
 Sachdaten:
 eigene Berechnungen

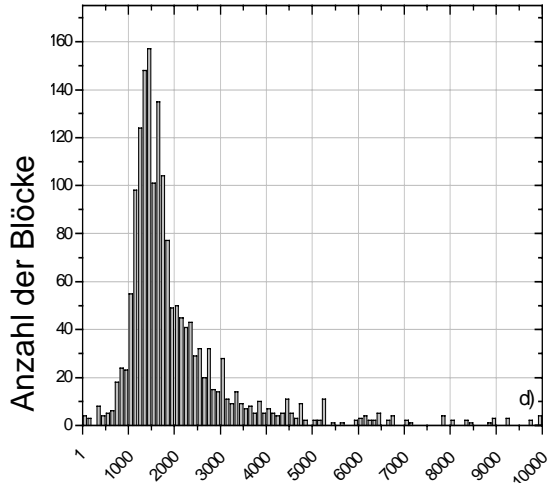
Projektion der Stadtentwicklung (2)



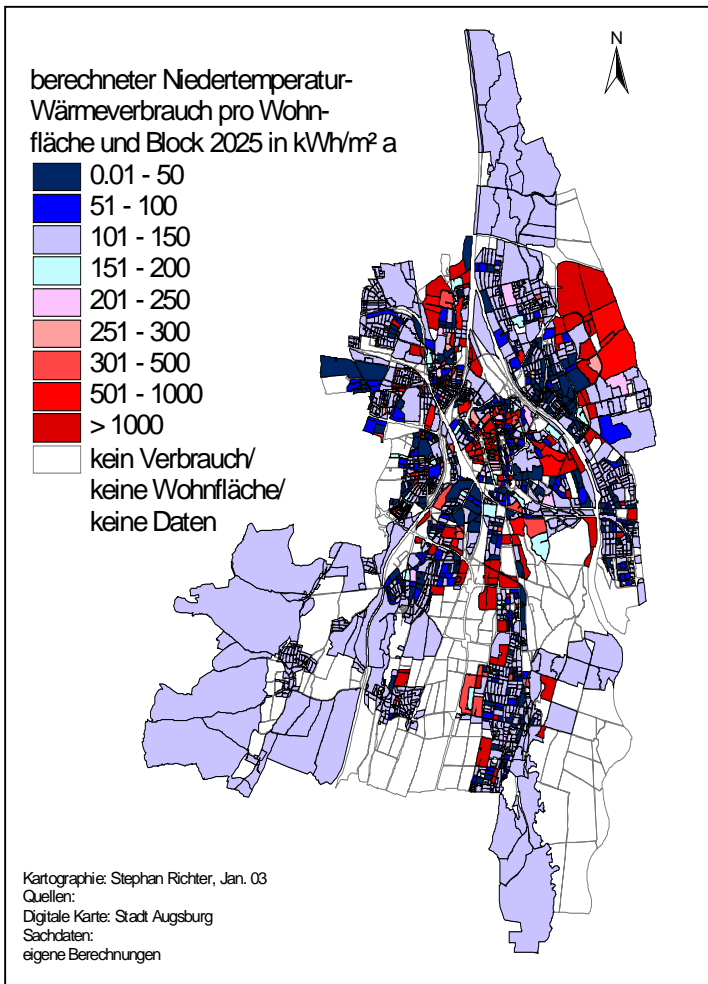
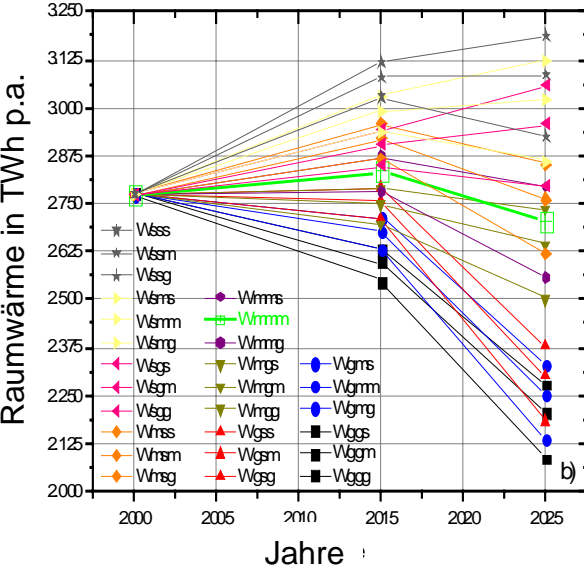
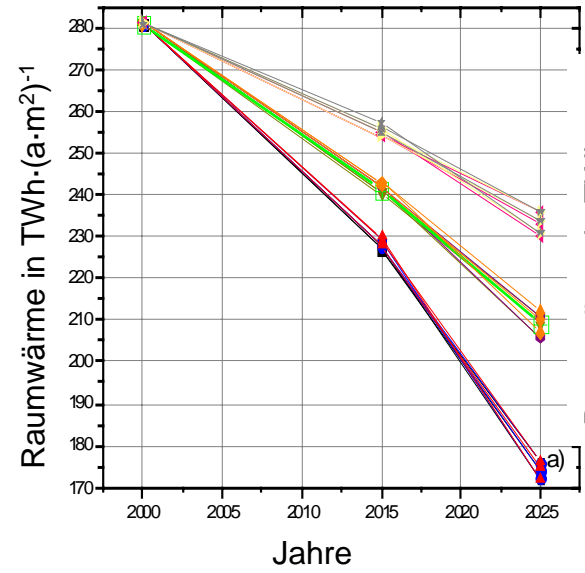
Stadtentwicklungsmodul



pro Kopf-Stromverbrauch „Normaltarif“ 2015 in kWh·(a·cap)⁻¹



pro Kopf-Stromverbrauch „Normaltarif“ 2025 in kWh·(a·cap)⁻¹

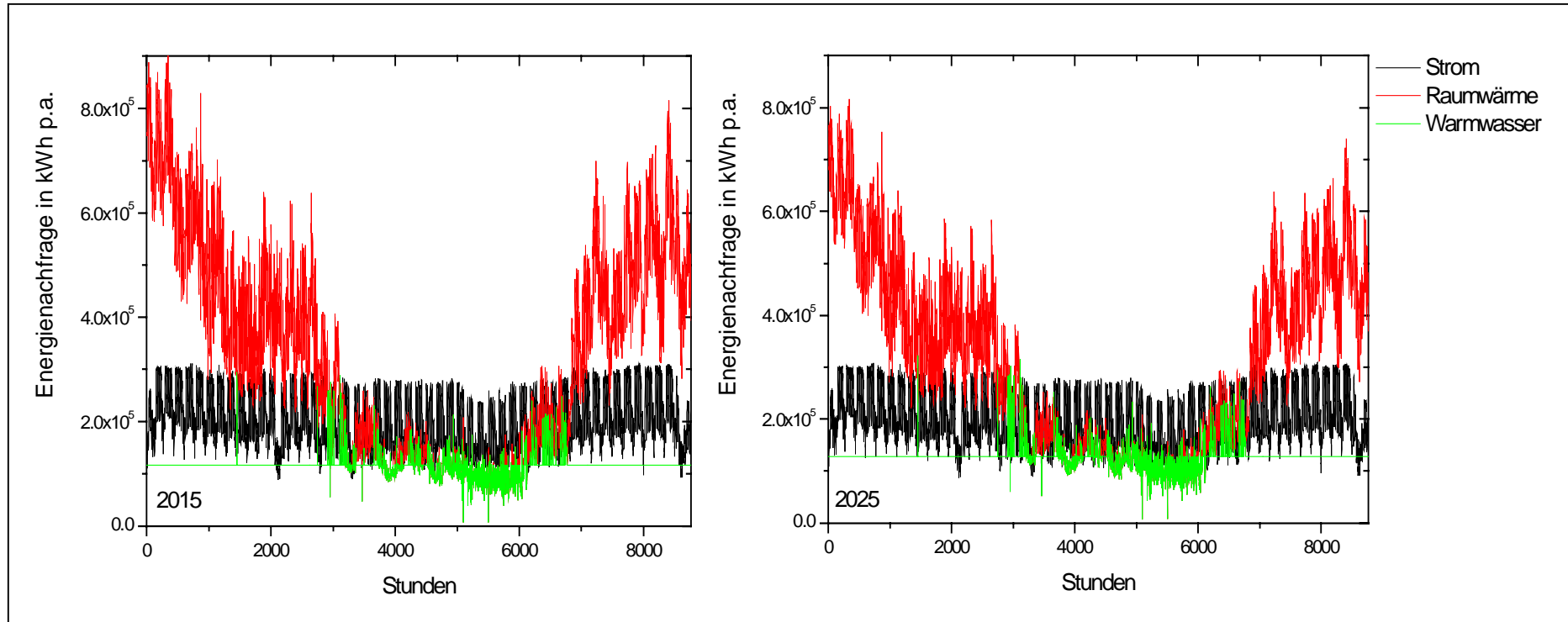


Projektion der Nachfragezeitreihen

Energie-nachfrage-modul

2015

2025



Gesamte Energienachfrage 2015:
4 538 994 kWh

Gesamte Energienachfrage 2025:
4 488 637 kWh

Erstellen der OES

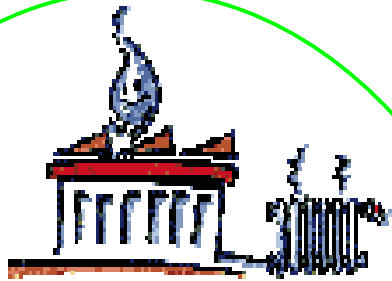


W Z U

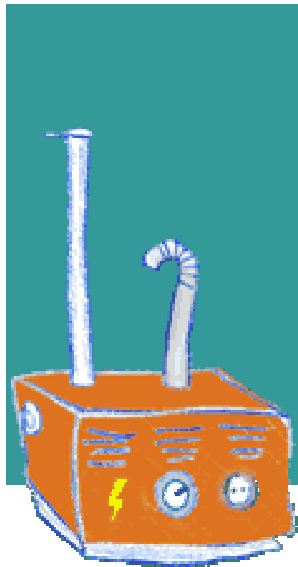
EPP

IPP

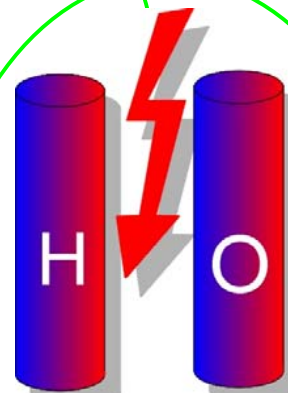
Energie-
technik-
modul



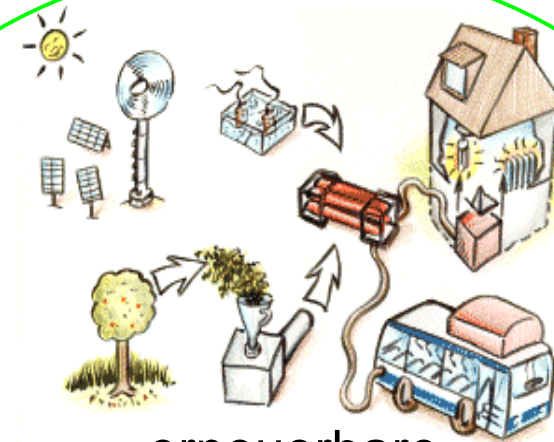
KWK in der Fernwärme
und



BHWKs in Haushalten
Nahwärme



KWK mit Brenn-
stoffzellen



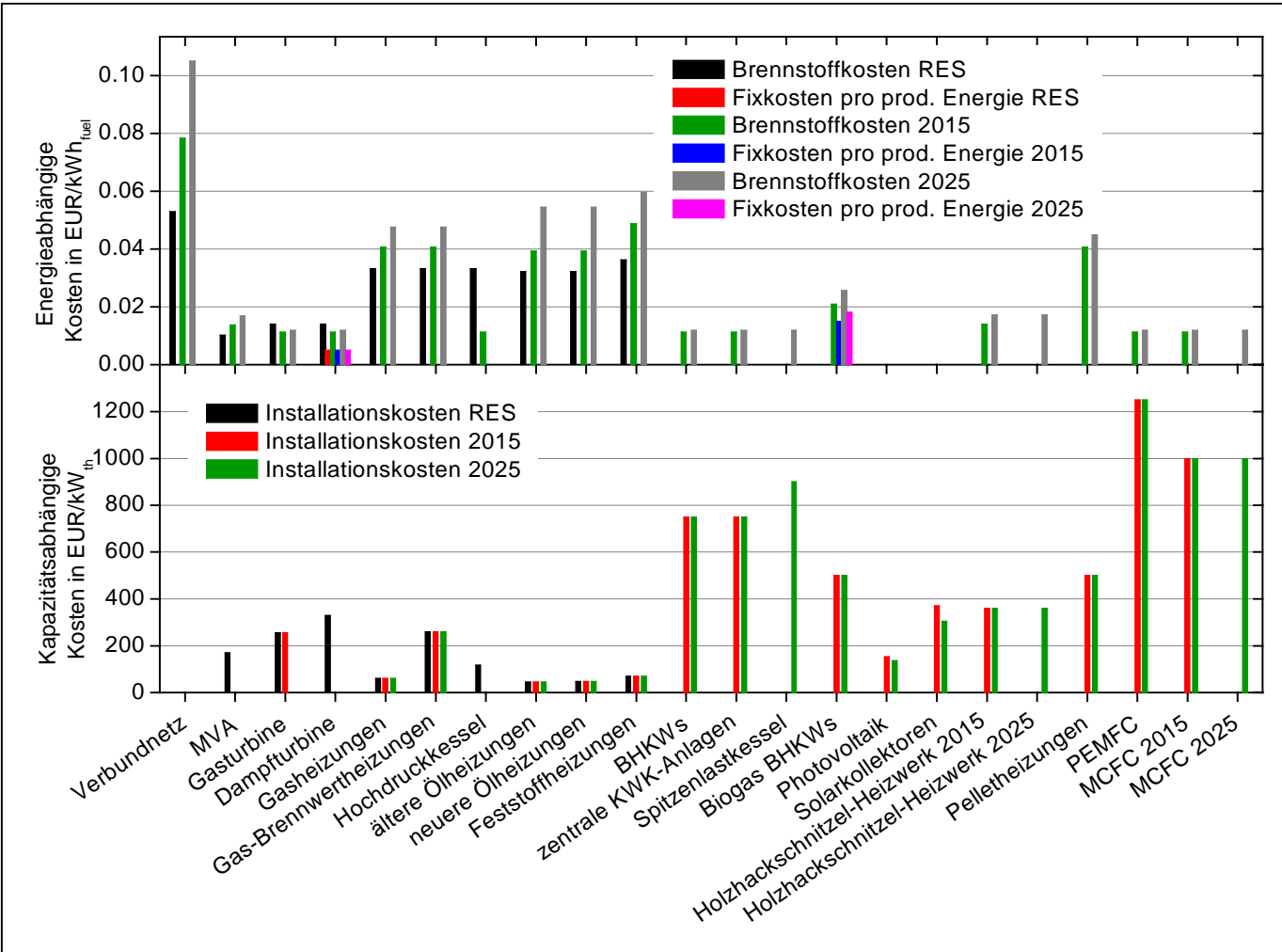
erneuerbare
Energieträger

Grenzbedingungen der OES



Energie-
technik-
modul

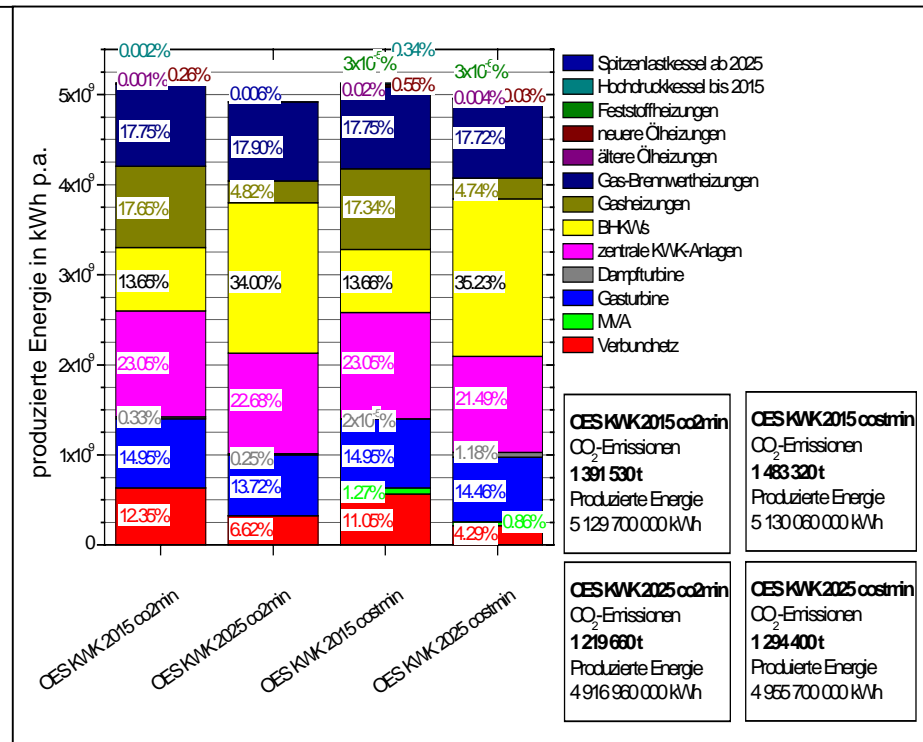
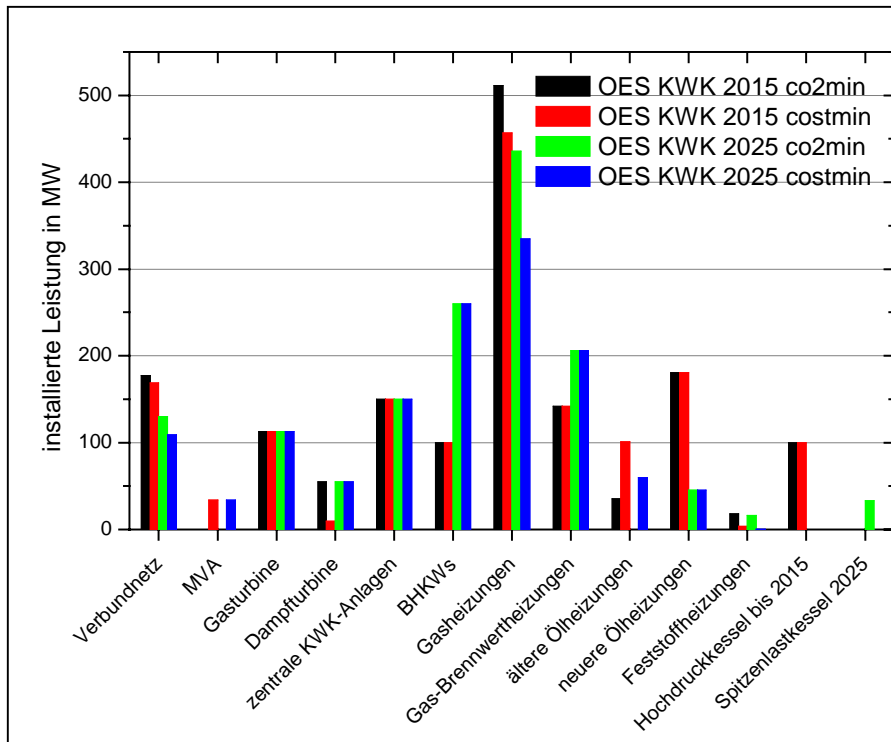
- dezentrale Techniken können nur einige Prozent p.a. zugebaut werden
- regenerative Energien haben Ausbau- bzw. Ressourcengrenzen
- Installationskosten werden annuitätisch berücksichtigt



OES KWK mit Förderung (1)



Energie-
technik-
modul



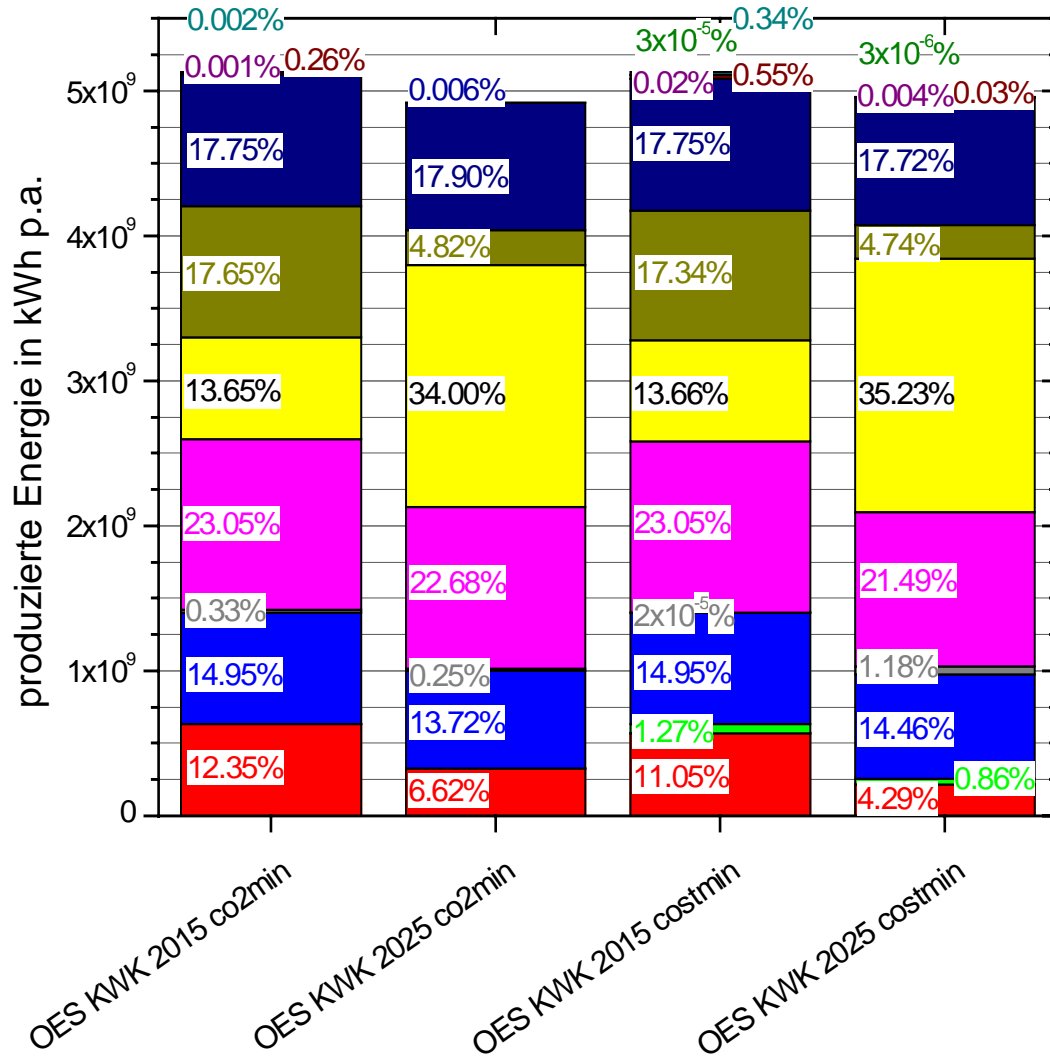
OES KWK mit Förderung (1)



W Z U

EPP

IPP



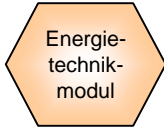
OES KWK 2015 co2min
 CO₂-Emissionen
1 391 530 t
 Produzierte Energie
 5 129 700 000 kWh

OES KWK 2015 costmin
 CO₂-Emissionen
1 483 320 t
 Produzierte Energie
 5 130 060 000 kWh

OES KWK 2025 co2min
 CO₂-Emissionen
1 219 660 t
 Produzierte Energie
 4 916 960 000 kWh

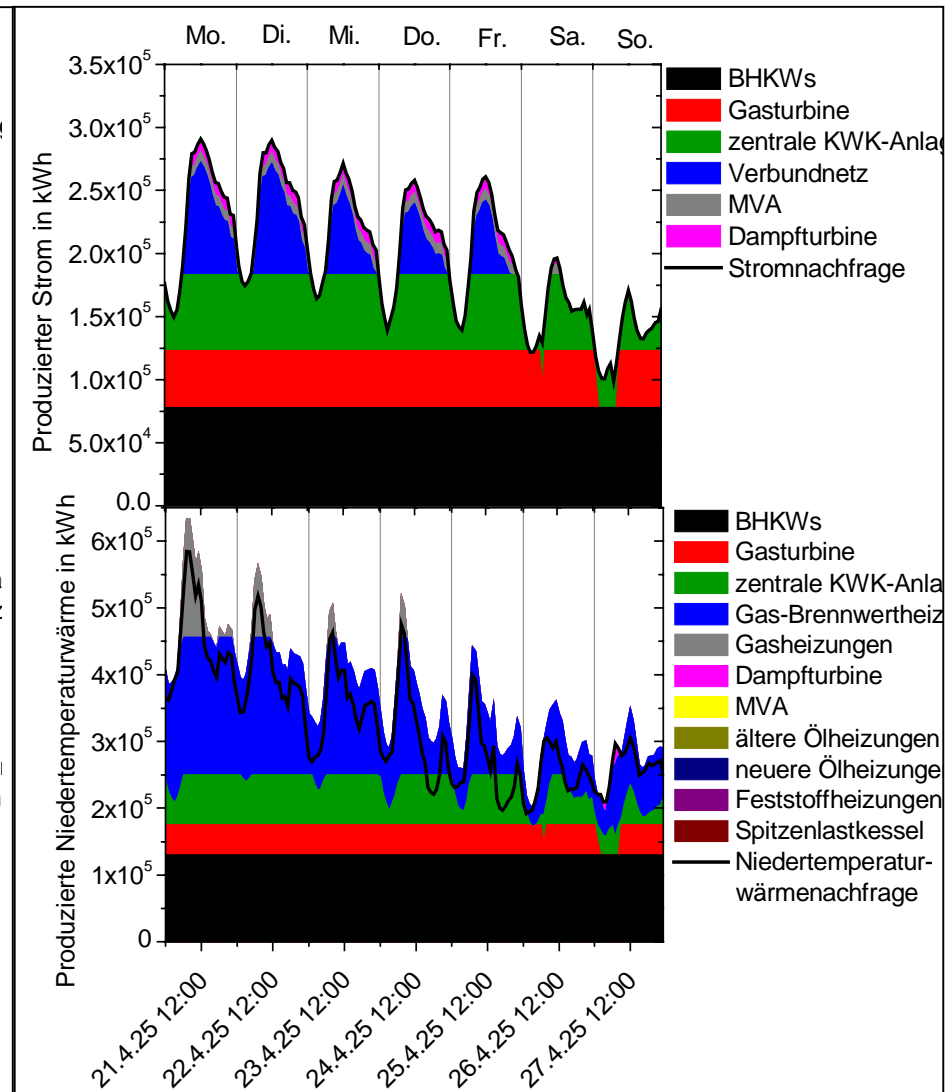
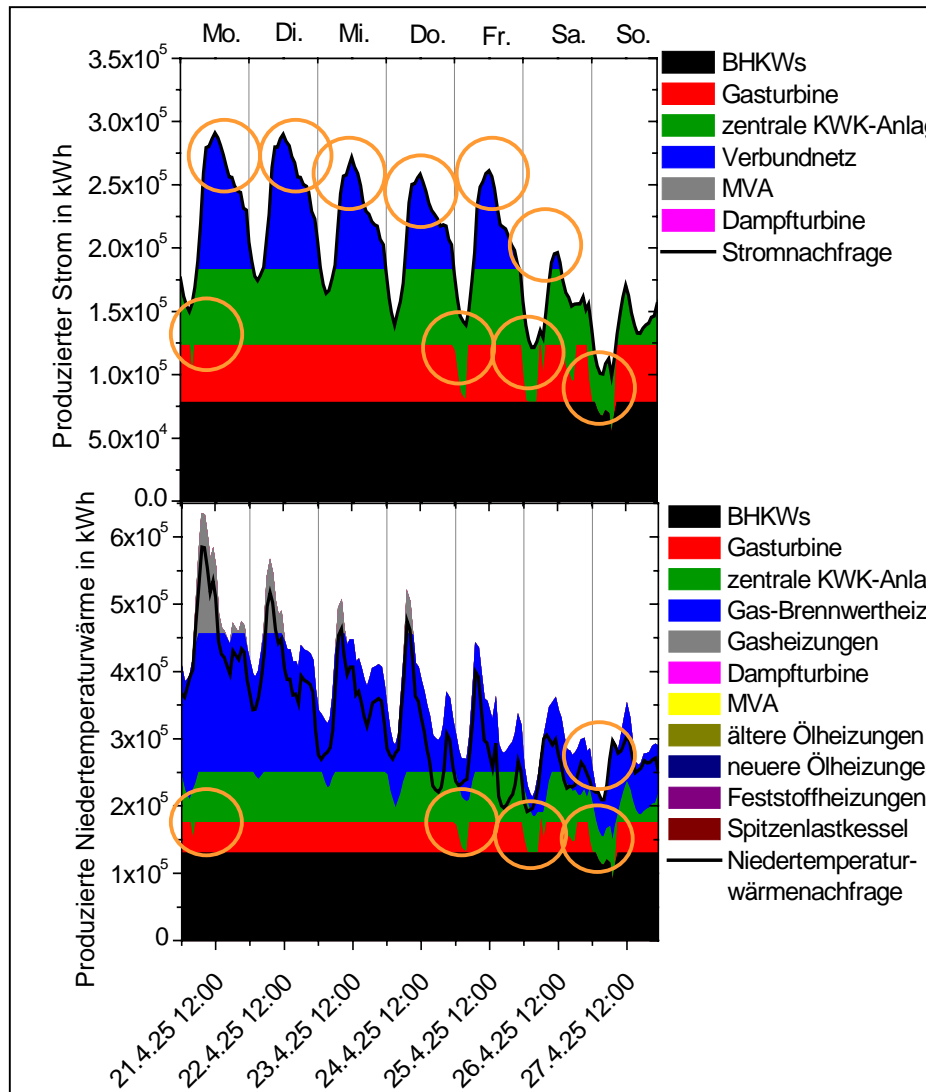
OES KWK 2025 costmin
 CO₂-Emissionen
1 294 400 t
 Produzierte Energie
 4 955 700 000 kWh

OES KWK mit Förderung (2)



OES KWK co2min

OES KWK costmin



OES BZ mit Förderung

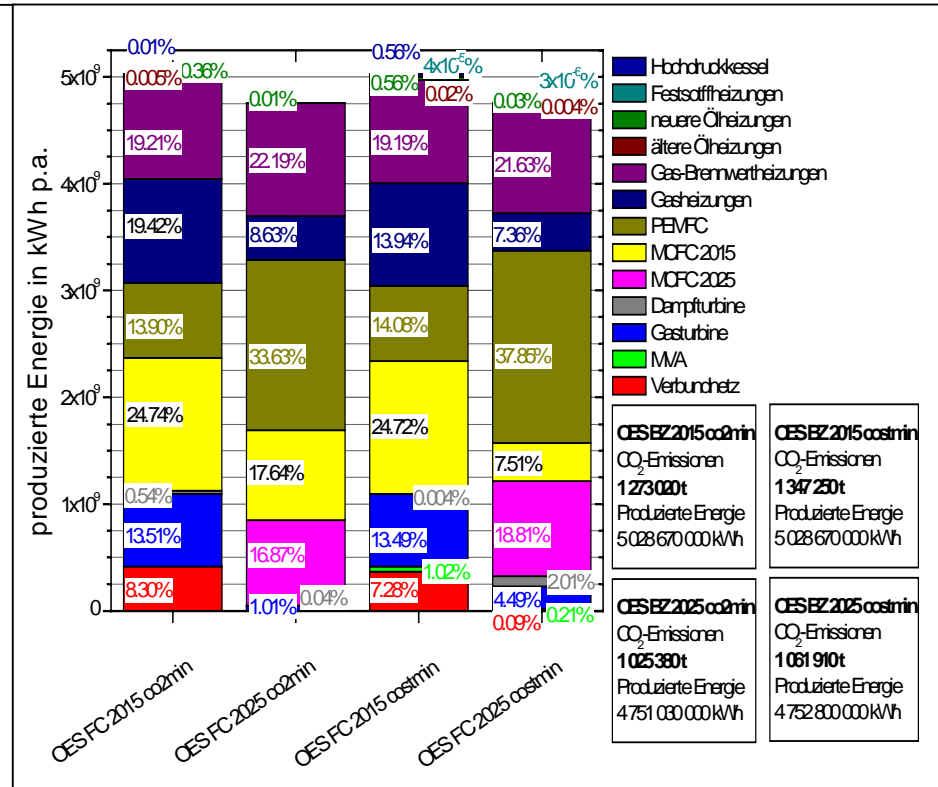
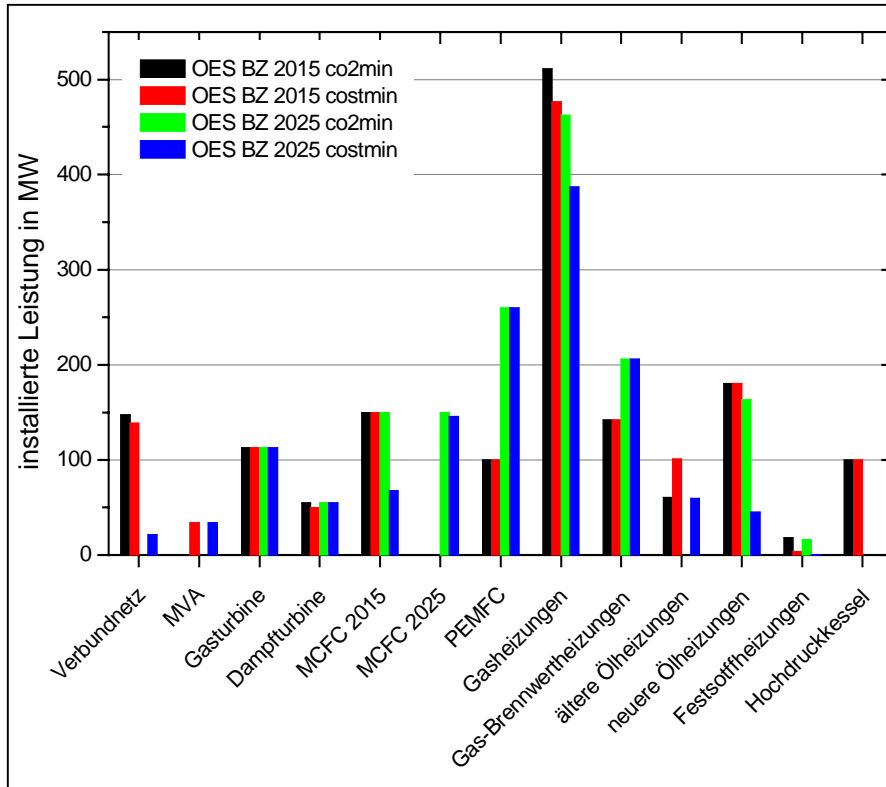


W Z U

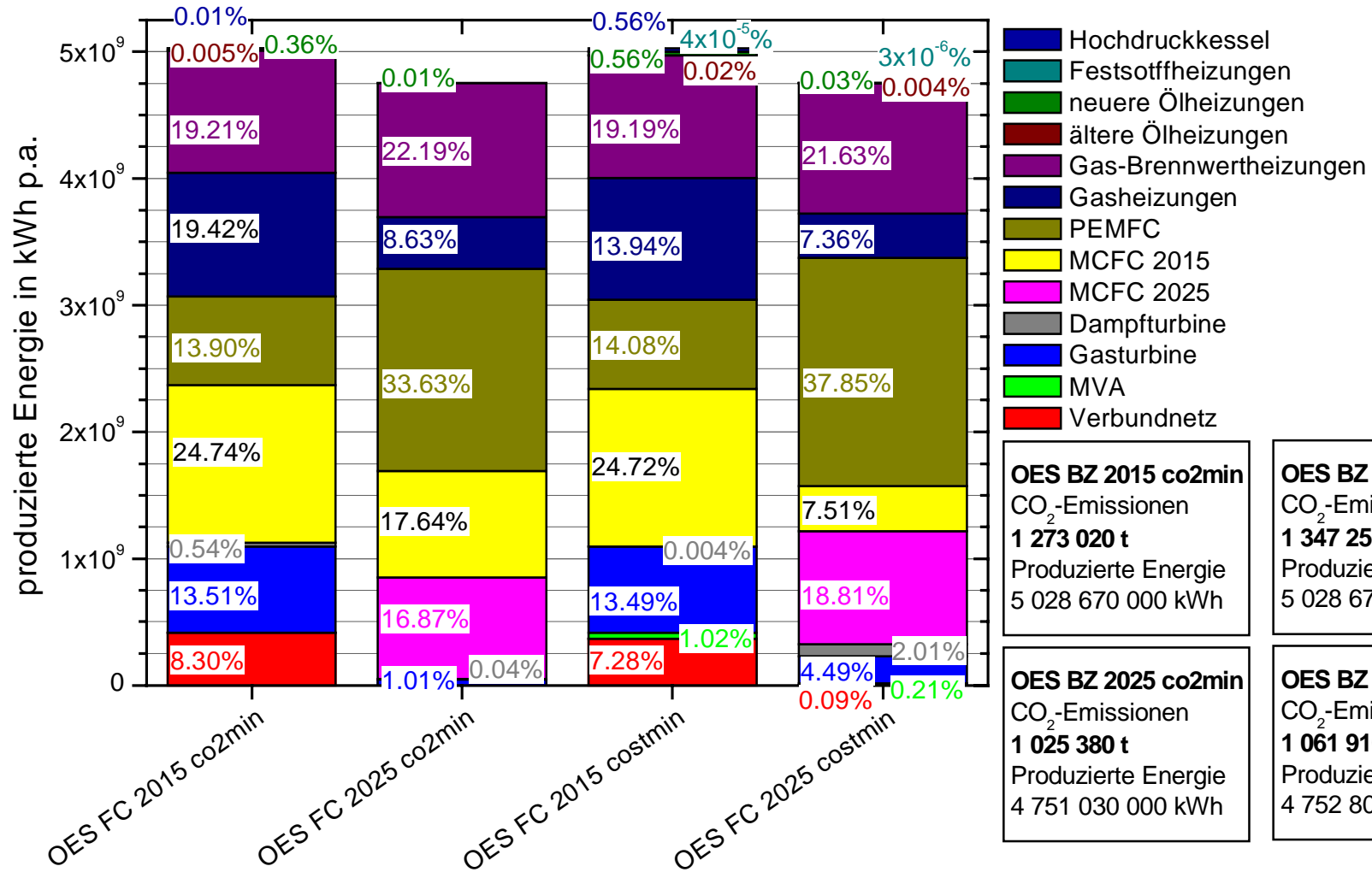
EPP

IPP

Energie-
technik-
modul



OES BZ mit Förderung



OES BZ 2015 co2min
 CO₂-Emissionen
1 273 020 t
 Produzierte Energie
 5 028 670 000 kWh

OES BZ 2015 costmin
 CO₂-Emissionen
1 347 250 t
 Produzierte Energie
 5 028 670 000 kWh

OES BZ 2025 co2min
 CO₂-Emissionen
1 025 380 t
 Produzierte Energie
 4 751 030 000 kWh

OES BZ 2025 costmin
 CO₂-Emissionen
1 061 910 t
 Produzierte Energie
 4 752 800 000 kWh

Potentiale erneuerbarer Energien in Augsburg

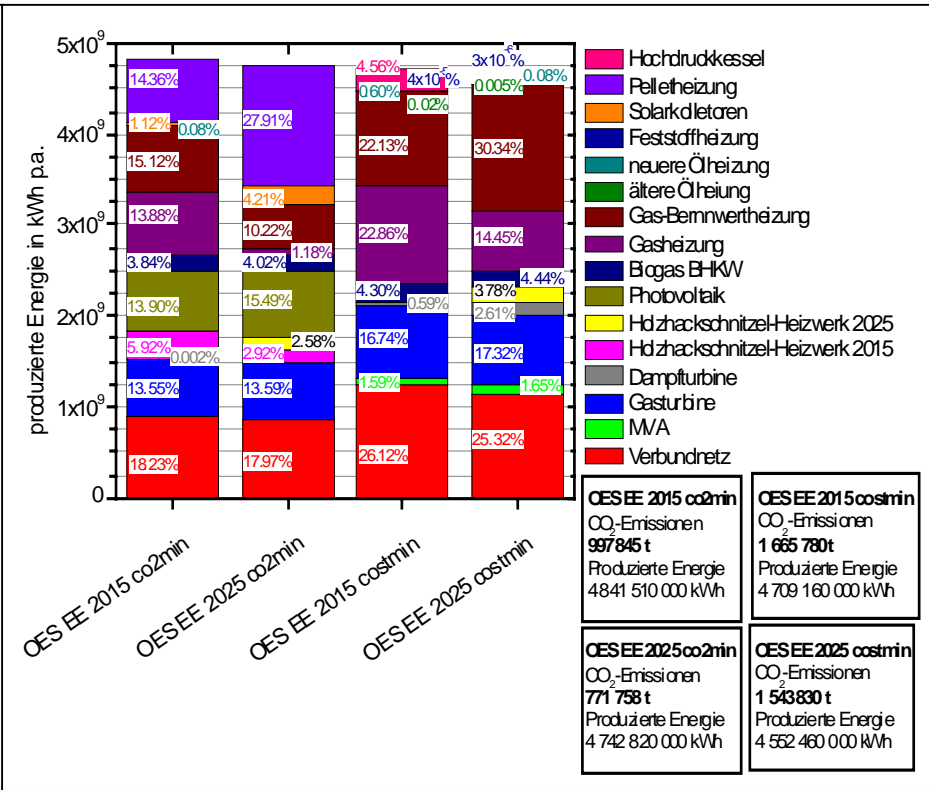
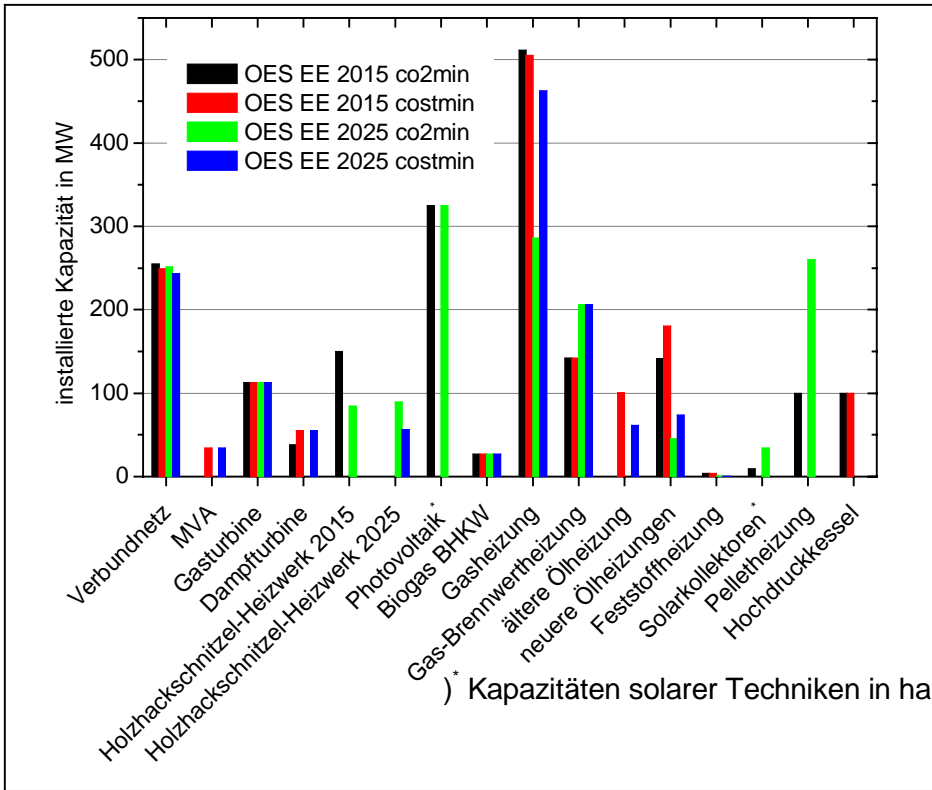
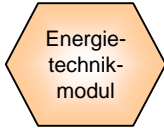
Umwelt-
modul

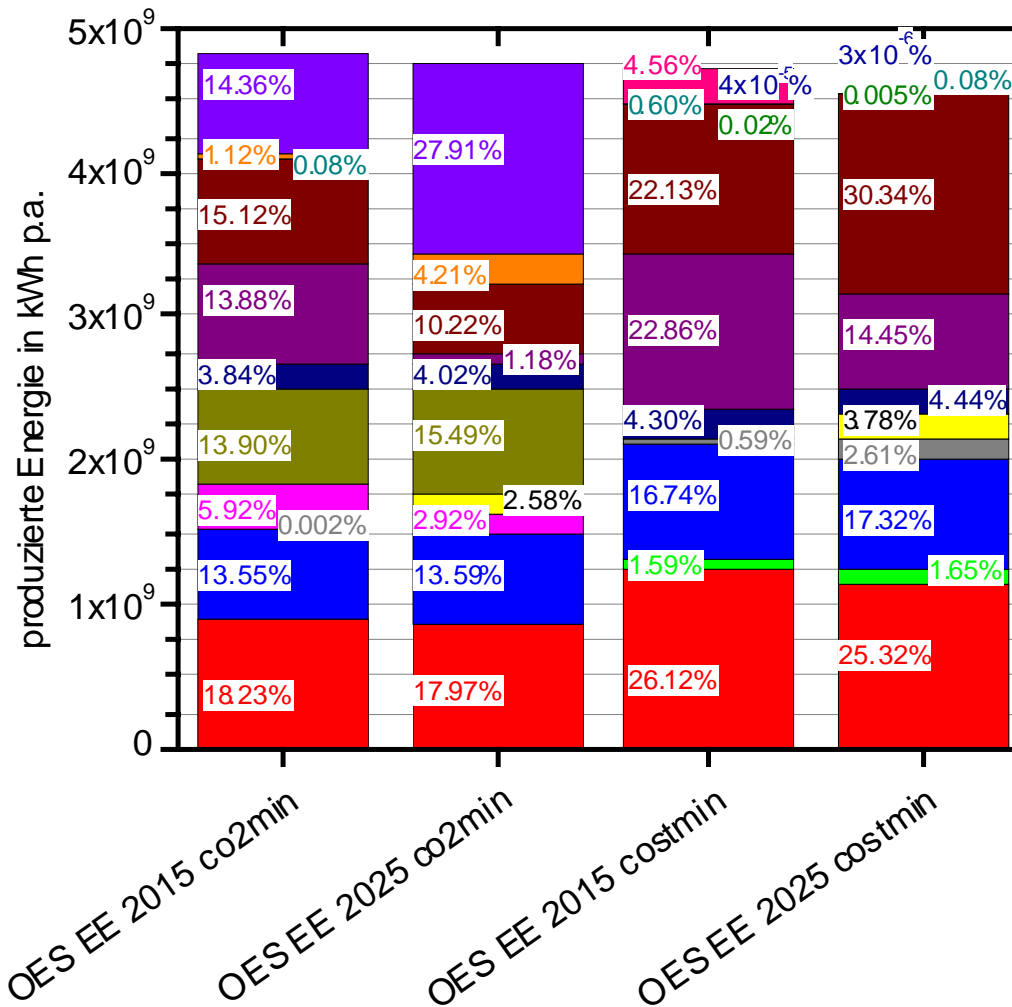
Tabelle der maximal verfügbaren „Versorgungspotentiale“ fünf erneuerbarer Energieträger bzw. Energiewandlungstechniken

Anm.: Minuszeichen = betriebsbedingter Verbrauch an Strom und Energie in Treibstoffen für den Transportsektor (vor Umwandlung)
keine Daten (---) = nicht verfügbar, Potential = Null

	maximal verfügbares Potential	in Treibstoffen enthaltene Energie vor Umwandlung
Solarstrahlung , davon	13.0 km ²	---
Solarkollektoren	9.75 km ²	---
PV	3.25 km ²	---
Windenergie	58.5 MW _{inst.}	---
geothermische Energie , davon	-112.5·10 ⁶ kW _{el} h p.a. + 718·10 ⁶ kW _{th} h p.a.	---
oberflächennah	450 kW _{th} h p.a.	---
tief	268 kW _{th} h p.a.	---
Wasserkraft	435.7 MW _{inst.}	---
Biomasse , davon	261.3·10 ⁶ kWh p.a.	33.04·10 ⁶ kWh p.a.
feste Biomasse	22.9·10 ⁶ kWh p.a.	---
flüssige Biomasse	0.3·10 ⁶ kWh p.a.	33.04·10 ⁶ kWh p.a.
gasförmige Biomasse	238.1·10 ⁶ kWh p.a.	---

OES EE





- Hochdruckkessel
- Pelletheizung
- Solarkollektoren
- Feststoffheizung
- neuere Ölheizung
- ältere Ölheizung
- Gas-Brennwertheizung
- Gasheizung
- Biogas BHKW
- Photovoltaik
- Hdzhackschnitzel-Heizwerk 2025
- Hdzhackschnitzel-Heizwerk 2015
- Dampfturbine
- Gasturbine
- MVA
- Verbundnetz

OES EE 2015 co2min
 CO₂-Emissionen
997 845 t
 Produzierte Energie
 4 841 510 000 kWh

OES EE 2015 costmin
 CO₂-Emissionen
1 665 780 t
 Produzierte Energie
 4 709 160 000 kWh

OES EE 2025 co2min
 CO₂-Emissionen
771 758 t
 Produzierte Energie
 4 742 820 000 kWh

OES EE 2025 costmin
 CO₂-Emissionen
1 543 830 t
 Produzierte Energie
 4 552 460 000 kWh

Atmosphärische Ausbreitung



W Z U

EPP

IPP

Umwelt-
modul

Modell der Wahl: **AUSTAL2000**

- “open source” Modell von IBJ
- Lagrangesches Partikel Modell
- Genügt der neuen “TALuft” 2002



Ingenieurbüro Janicke

Gesellschaft für Umweltphysik



1. Motivation

2. Zielsetzung und methodische Grundlagen von *URBS*

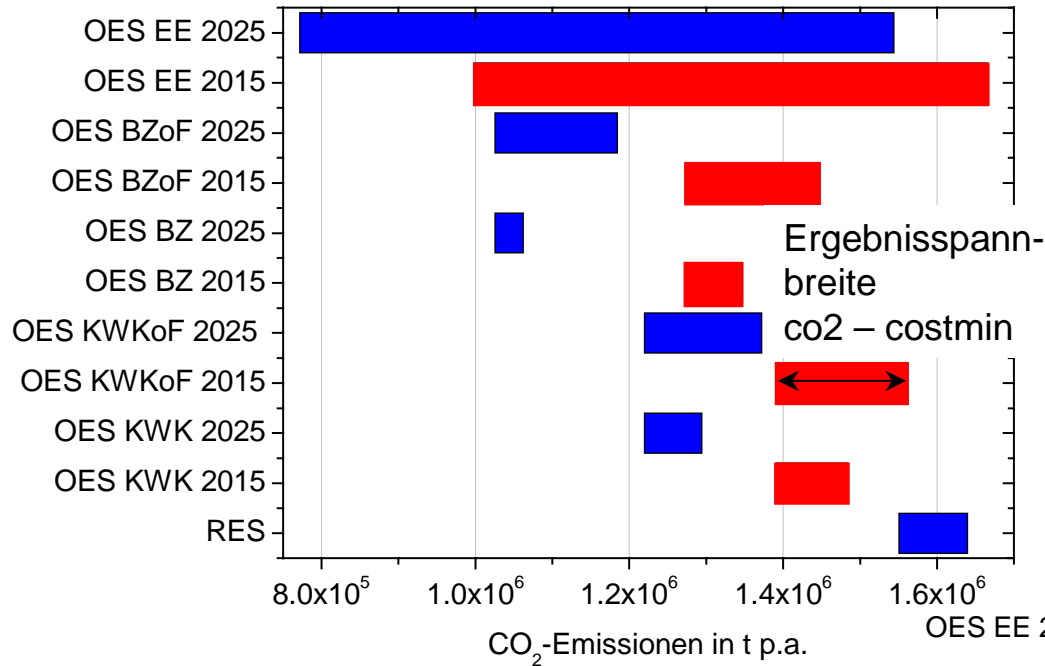
- Die Methode *URBS*
- Die Module von *URBS*
- Das Einsatzfeld von *URBS*

3. Erste Falluntersuchungen mit *URBS* an Augsburg

- Grundlagen
- Schwerpunkt: **KWK-Ausbau**
 - i.) erdgasbefeuerte konventionelle KWK
 - ii.) erdgasbefeuerte Brennstoffzellen
- Schwerpunkt: **Erneuerbare Energietechniken**

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung der Ergebnisse

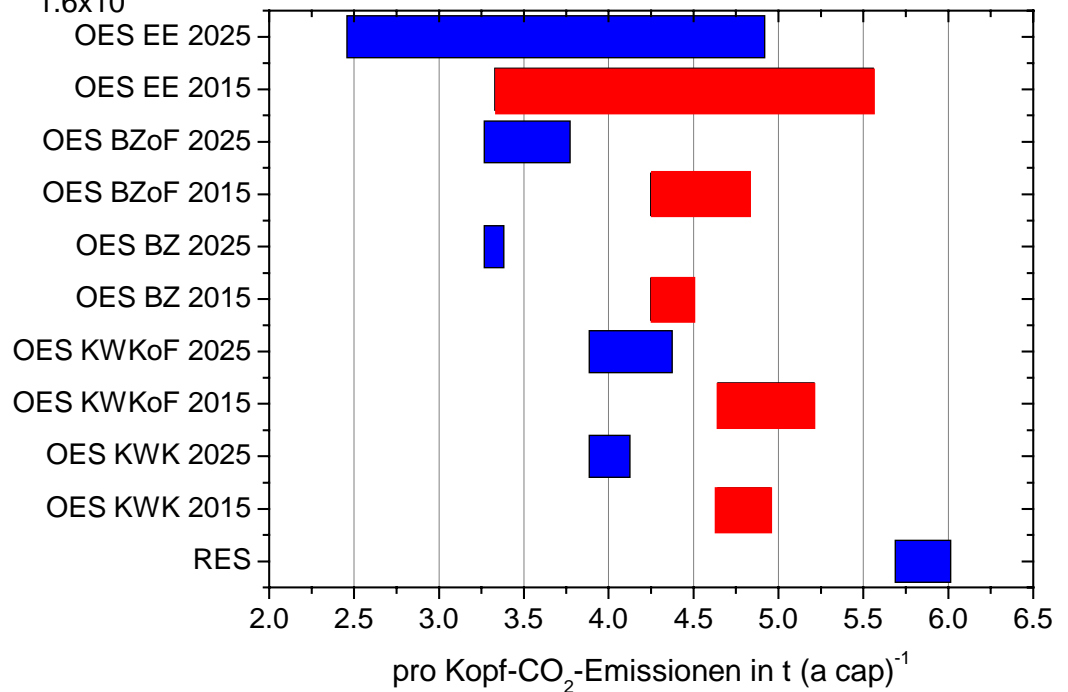


Annahme: spezifische CO₂-Emissionen des deutschen Stromnetzes mit 0.58t-MWh⁻¹ konstant bis 2025.

Mit den gemachten Annahmen ist eine CO₂-Emissionsveränderung um **+1.6% = 0.03 Mt(CO₂) p.a.** (OES EE 2015 costmin) bis **-50% = 0.78 Mt(CO₂) p.a.** (OES EE 2025 co2min) möglich.

Die pro Kopf-CO₂-Emissionen variieren zwischen **5.56 t·(a·cap)⁻¹** (OES EE 2015 costmin) und **2.46 t·(a·cap)⁻¹** (OES EE 2025 co2min).

D.h. eine Reduktion der spezifischen Emissionen um bis zu 56 % relativ zum RES ist durch die gezeigten OES erreichbar.



Zusammenfassung



- *URBS* ist eine integrale Methode, um urbane Energiesysteme zu beschreiben und zu optimieren.
- *URBS* bedient sich dazu der vier Module *Stadtentwicklung*, *Energienachfrage*, *Energietechnik* und *Umwelt*, um die Menge der Einflussgrößen auf ein urbanes Energiesystem integral berücksichtigen zu können.
- Ziel ist es, mit *URBS* einen umfassenden Satz von Werkzeugen zu liefern, mit dem zukunftsfähige Entwicklungen urbaner Energiesystem ermittelt und ablaufende Prozesse begleitet werden können.
- Die ersten Fallbeispiele zeigen, dass die Methode *URBS* geeignet ist, urbane Energiesysteme wie gewünscht zu beschreiben und Zukunftsszenarien zu erstellen. Weitere Iterationsschritte hin zu belastbaren Ergebnissen sind allerdings notwendig.

Ankündigung

W Z U

EPP

IPP

Voraussichtlich im Mai 2003 erscheint eine Veröffentlichung zu dem vorgestellten

Stadtentwicklungsmodul in der integralen Methode URBS.

in der Schriftenreihe des **Amtes für Stadtentwicklung und Statistik.**

Infos unter

Stephan.Richter@ipp.mpg.de

Im Rahmen der **RENEXPO** (vormals **Bayern Regenerativ**) wird ein Kongress mit dem Thema:

Wie optimiert man städtische Energiesysteme?

stattfinden, den das WZU mit ausrichten wird:

Samstag, 28. Juni 2003,
Messe Augsburg

Thema: **Wie optimiert man städtische Energiesysteme?**

Infos und Programm ab April 2003 unter
Stephan.Richter@ipp.mpg.de
<http://www.renexpo.de>