

# Steuerungsinstrumente für die Energietransformation

Heinz Stigler

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation



## Überblick

- Spannungsfelder
- Gedanklicher Zugang
- „klassische“ Förderinstrumentarien
- Exergieflussbild - Energieflussbild
- Neoklassik
  - Produzentenrente
  - Wohlfahrtsökonomie
- Instrument ATLANTIS



### Gedanklicher Zugang

- IEE macht KEINE „Energiepolitik“ !
- ökonomisches Prinzip
- technische Gegebenheiten
- energiewirtschaftliche Besonderheiten
- Energieinnovation

## „Klassische“ Förderinstrumentarien

- Quotensystem
- Ausschreibungssystem
- Investitionsförderung
- Einspeisetarife

## Exergieflussbild Österreichs 1956 und 2005

Heinz Stigler, Christoph Gutschi, Udo Bachhiesl

10. Symposium Energieinnovation  
Graz, 13.-15. Feb. 2008

## Energieflussbild (Sankey-Diagramm)

Energieflussbilder bieten schnellen Überblick über

- Energiebilanzen (Aufkommen, Endenergie, Importe, Exporte)
- eingesetzte Energieträger
- Verluste

z.B. Energieflussbild Österreichs 2005

Nachteile von Energieflussbildern:

- ausschließliche Betrachtung des physikalischen Energiebegriffs
- keine Aussage über technische Nutzbarkeit einzelner Energieträger
- keine Aussage über den Wert der Energieträger

Darstellung des Energieflusses ist daher eine **einseitige und eingeschränkte Sichtweise!**

## Exergie

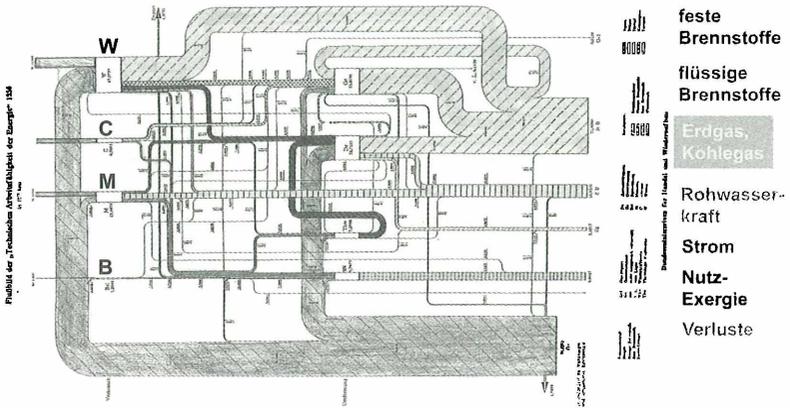
- Nur ein Teil des Energieinhaltes kann technisch genutzt, d.h. in andere Energieformen umgewandelt werden.

$$\text{Energie} = \text{Exergie} + \text{Anergie}$$

- Exergie ist die technische Arbeitsfähigkeit gegenüber der Umgebung
- Exergieinhalt:
  - Elektrische Energie: 100 %
  - mechanische Energie: 100 %
  - chem. Brennstoffe:  $\approx$  Brennwert
  - Wärme:

$$E/Q = 1 - \frac{T_u}{T}$$

# Flußbild der technischen Arbeitsfähigkeit 1956



Quelle: Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau, 1958

# Energieflussbild 2005

**Aufkommen:**  
1689,2 PJ

Öl: 695,7 PJ

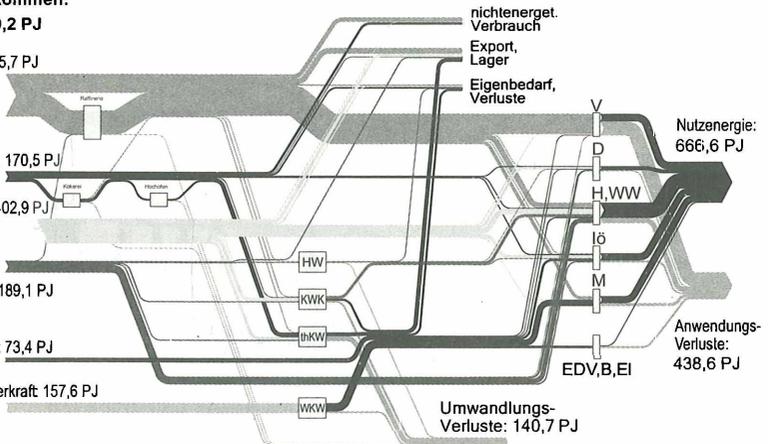
Kohle: 170,5 PJ

Gas: 402,9 PJ

RES: 189,1 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 157,6 PJ



Datenquelle: Österreichische Energieagentur

## Exergieflussbild 2005

**Aufkommen:**  
1741,5 PJ

Öl: 729 PJ

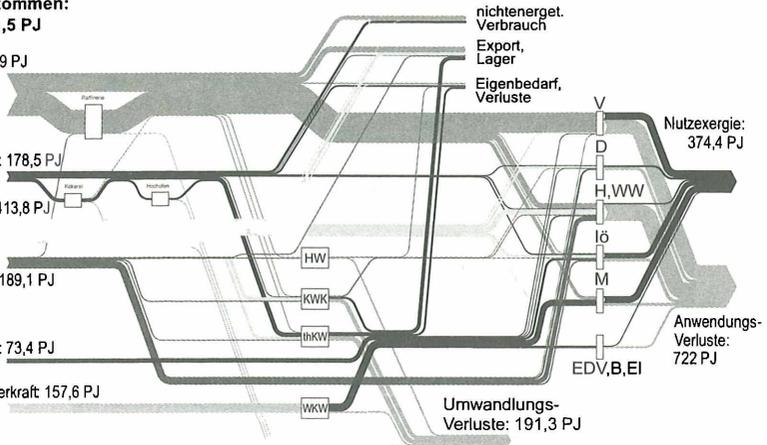
Kohle: 178,5 PJ

Gas: 413,8 PJ

RES: 189,1 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 157,6 PJ



## Flussbild der „technischen Umsetzbarkeit“

**Aufkommen:**  
979,2 PJ

Öl: 382,6 PJ

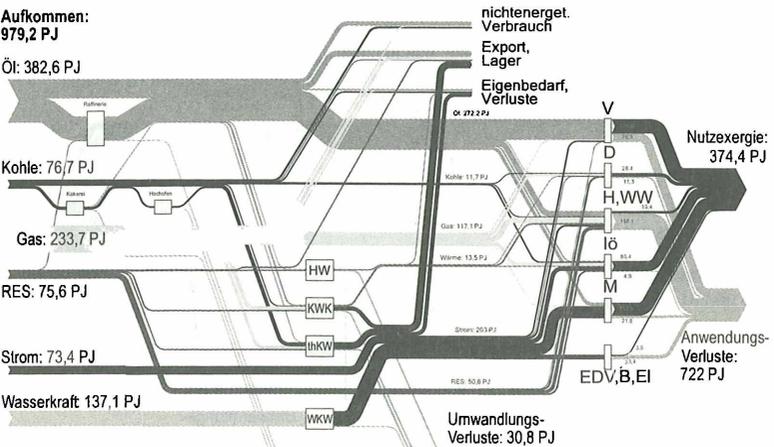
Kohle: 76,7 PJ

Gas: 233,7 PJ

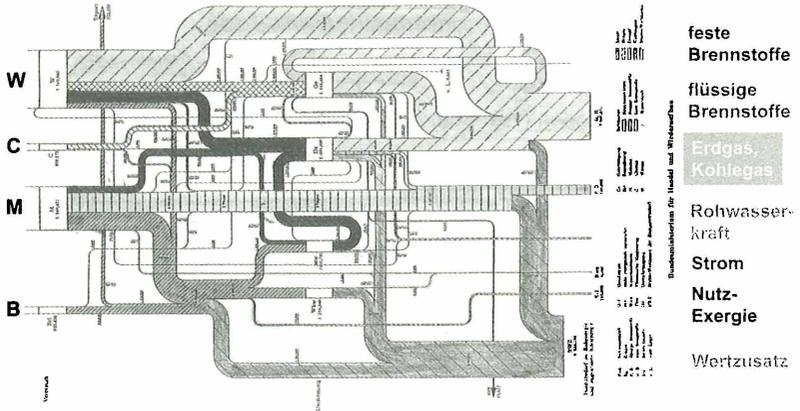
RES: 75,6 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 137,1 PJ

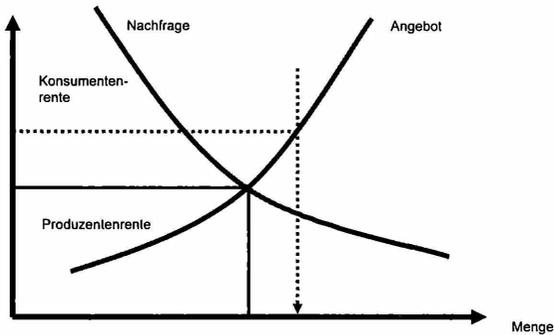


# Wertflußbild der Energiewirtschaft 1956



Quelle: Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau, 1958

# Neoklassik



$$\text{Konsumentenrente} + \text{Produzentenrente} = \text{Gesamte Wohlfahrt}$$

## Exergieflussbild 2005

**Aufkommen:**  
1741,5 PJ

Öl: 729 PJ

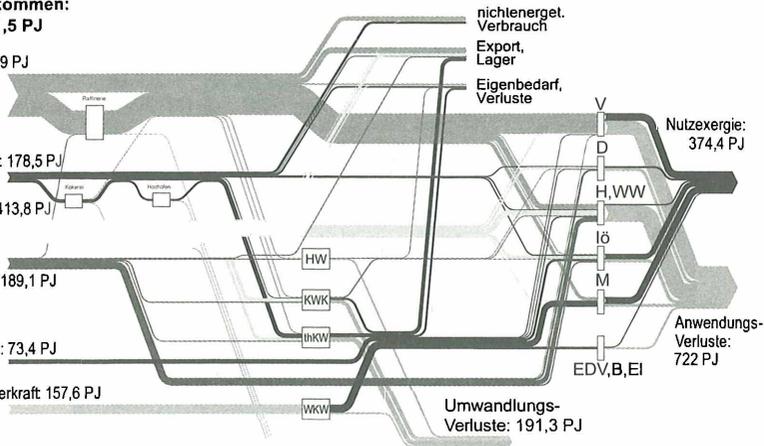
Kohle: 178,5 PJ

Gas: 413,8 PJ

RES: 189,1 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 157,6 PJ



## Flussbild der „technischen Umsetzbarkeit“

**Aufkommen:**  
979,2 PJ

Öl: 382,6 PJ

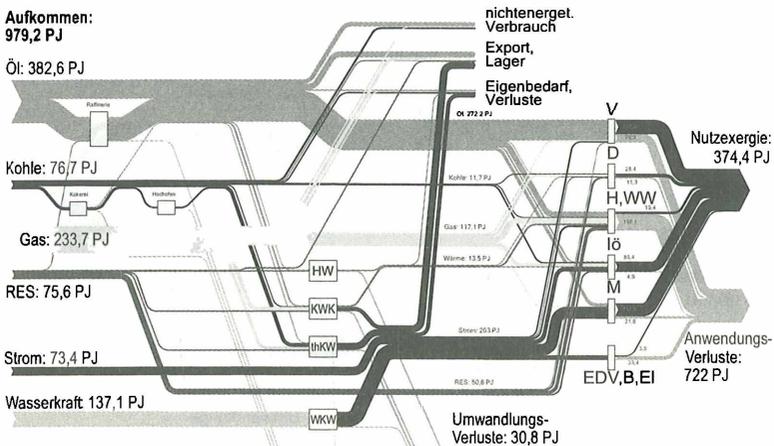
Kohle: 76,7 PJ

Gas: 233,7 PJ

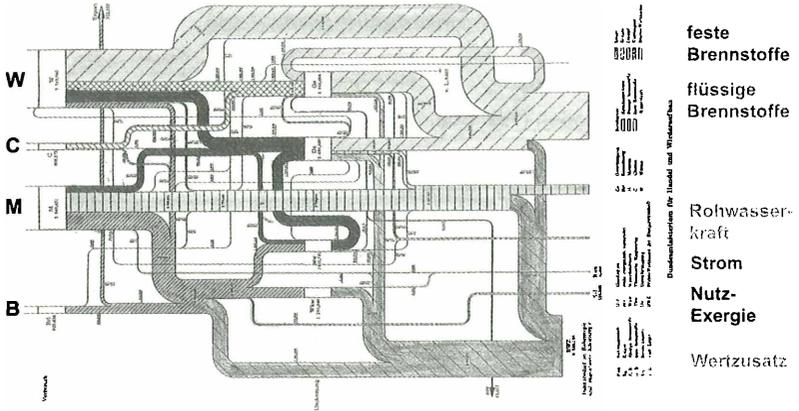
RES: 75,6 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 137,1 PJ

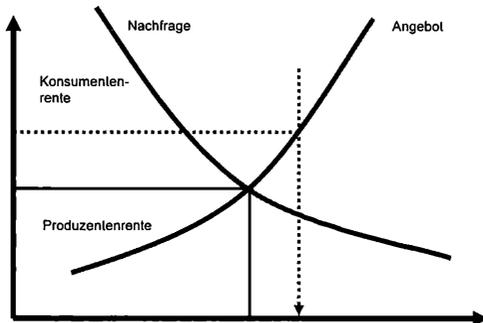


# Wertflußbild der Energiewirtschaft 1956



Quelle: Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau, 1958

# Neoklassik



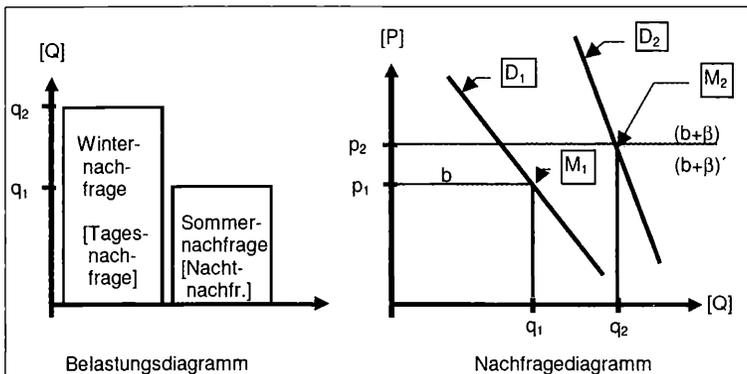
$\text{Konsumentenrente} + \text{Produzentenrente} = \text{Gesamte Wohlfahrt}$

## Wohlfahrtsökonomische Preisbildung bei Spitzenlastproblematik

Ausgangspunkt:

- zwei Perioden (z.B. Sommer – Winter)
- Nachfrage ist vorhersehbar
- Nachfrage in den Perioden bleibt konstant
- Variablen Betriebskosten „ $b$ “ sind von erzeugter Menge abhängig
- Kapazitätskosten „ $\beta$ “ sind von installierter Kapazität abhängig

## Lastdiagramm und Nachfragekurven



## Herleitung der Wohlfahrts-Preise

### Wohlfahrt in der Schwachlastperiode

$$W_1 = \int_0^{q_1} [p_1(q_1) - b] dq_1 - b \cdot q_1$$

### Wohlfahrt in der Starklastperiode (inkl. Kapazitätskosten)

$$W_2 = \int_0^{q_2} [p_2(q_2) - b - \beta] dq_2 - b \cdot q_2 - \beta \cdot q_2$$

## Preisermittlung

### Maximieren der Wohlfahrt

$$\partial W / \partial q_1 = p_1 - b = 0$$

$$\partial W / \partial q_2 = p_2 - (b + \beta) = 0$$

### Optimale Preise

Starklastperiode:  $p_2 = b + \beta$

Schwachlastperiode:  $p_1 = b$

## Ergebnisse

- Konsumentenpreise mit „beta“ und „b“ !
- benötigen: Produktionskosten-Märkte
  - Kapazitätsmärkte (beta) UND Energiemärkte (b)
  - „alte“ Preisstrukturen: P, Wi/So-Arbeit, peak/off-peak
  - aktuelle Strombörsen = KWEinsatz-Tauschbörsen (b)
- „Wertigkeit“ von Energien
  - dargebotsabhängig/bedarfsgerecht
  - Höchstlast-Beitrag ? → „beta“-Beitrag ?
- Marktgestaltung ! (+/- für Österreich?)

# ATLANTIS

## Modell der europäischen Elektrizitätswirtschaft

## Aktuelle Anwendungen

- 1 Übertragungsnetzbetreiber
- 1 Energieministerium
- 1 Regulator
- 1 Merchant-Line-Betreiber
- 1 Kraftwerks-UVE

## Aktueller wissenschaftlicher Einsatz

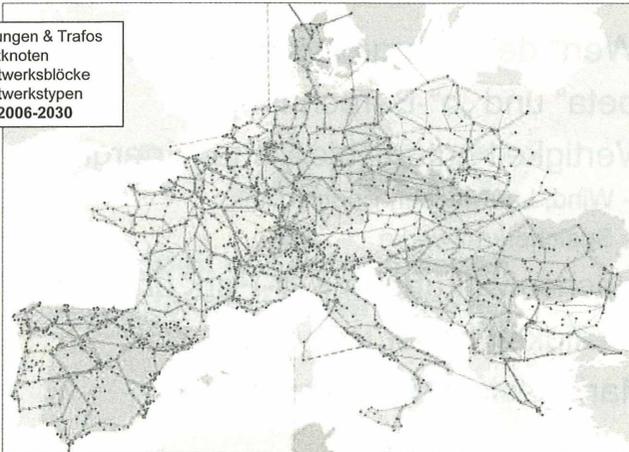
- „Wert“ des Energiesystems (Kapitalstock)
- „beta“ und „b“-Berechnungen
- Wertigkeit unterschiedlicher Energien
  - Wind, Laufwasser, Photovoltaik
  - Speicherkraftwerke
- Wechselwirkungen KW-Park und Netz
- Wertigkeit neuer Leitungen
- Marktgestaltungsalternativen

## ATLANTIS – Eckdaten

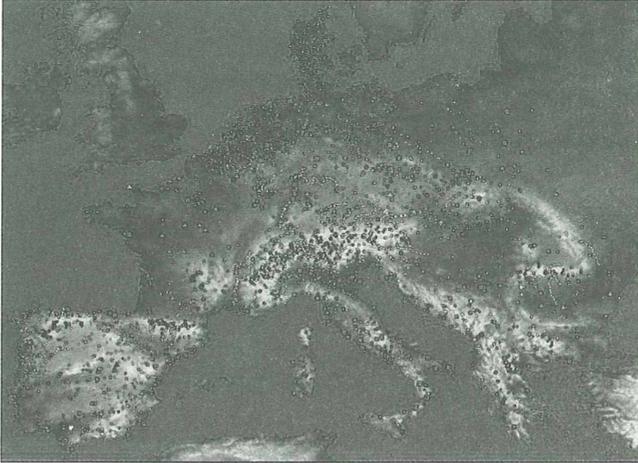
- Untersuchung **Gesamtsystemzusammenhänge** in EU-EIWi
- In einem Modell: Strombedarf (2500 Knoten), Kraftwerkseinsatz (8000 KWe), Ausbauplanung, Börse(n), Lastfluss (4800 Ltgen), ca. 100 **Unternehmensbilanzen** und **Gewinn/Verlustrechnungen**
- **frei parametrierbar**, Modelladaptierungen an Fragestellungen, Transparenz der Ergebnisse, **Nachvollziehbarkeit der Aussagen**
  
- 8 Jahren Entwicklung, 40 Personenjahre, 4 Diss., 55 Diplomarbeiten
- dzt. 4 Wissenschaftler, 10 Diplomanden, 3 Projektarbeiten
- Fachdisziplinen: ET, MB, KW-Technik, BWL, VWL, Wasserwirtschaft, Systemwissenschaften, Mathematik, Informatik

## Physikalisches Modell: Netz und Verbrauch

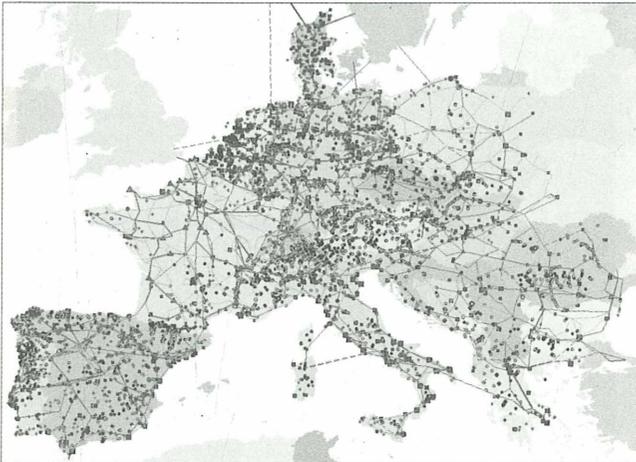
4800 Leitungen & Trafos  
2500 Netzknoten  
8000 Kraftwerksblöcke  
30 Kraftwerkstypen  
Periode: 2006-2030



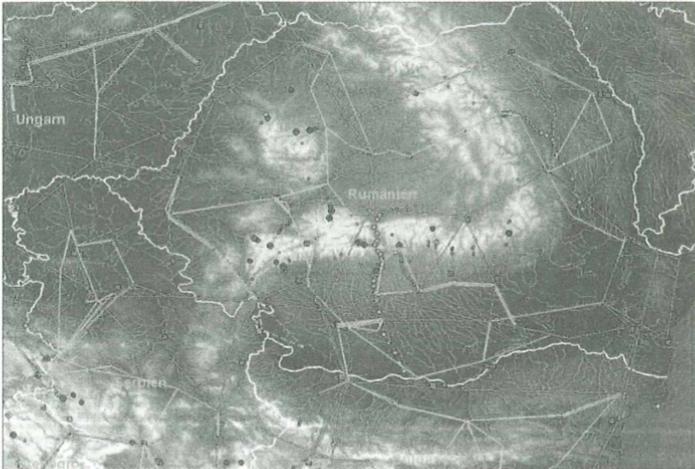
## Physikalisches Modell: Kraftwerke



## Gesamtes realwirtschaftliches Modell



## Bsp. Rumänien: Netz und Kraftwerke

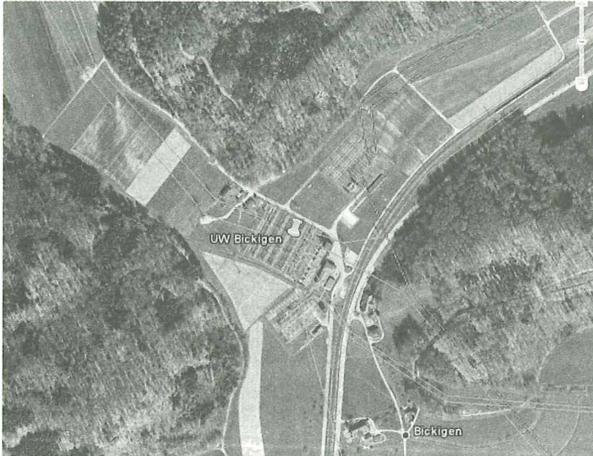


## Geografische Zuordnung



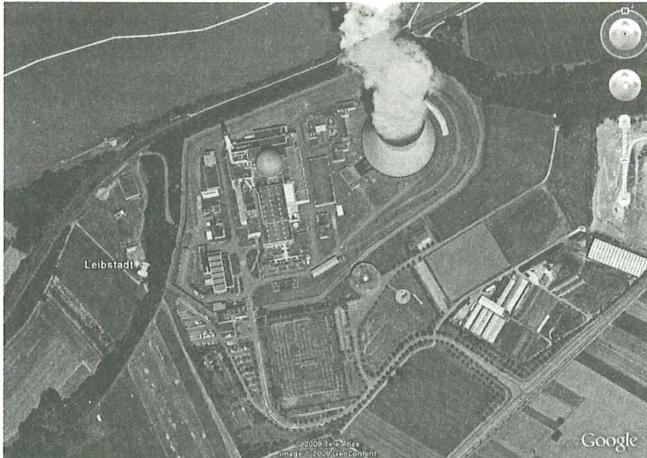
Georeferenzierung & Messung: ARViewGIS; Bildquelle: Google Earth

## Standorte von Umspannwerken & Leitungen



Vermessung: ARCVIEWGIS, Grafik, Bildquelle: Google Earth

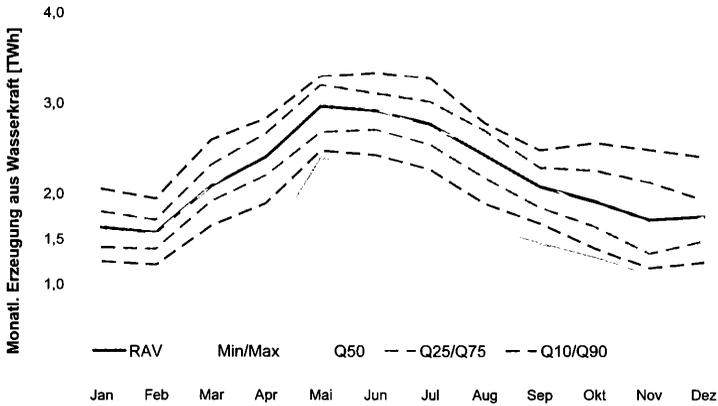
## Lokalisierung von Kraftwerken



Vermessung: ARCVIEWGIS, Grafik, Bildquelle: Google Earth

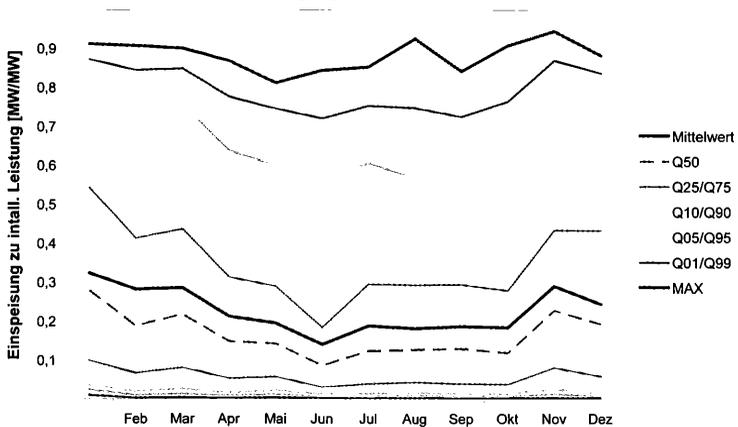
# Physikalisches Modell: Wasserkraft

Modellierung der Laufwasserkraft-Erzeugung in Österreich  
basierend auf Abflussdaten 1977-2006



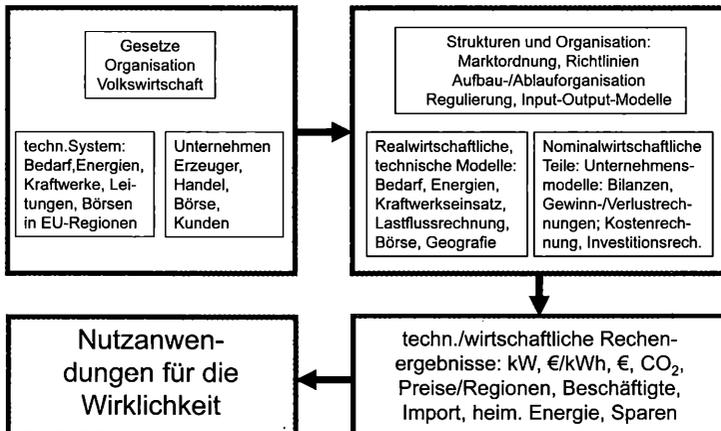
# Windkraft-Modellierung (in Arbeit)

Windstromerzeugung in Österreich 2004-2008

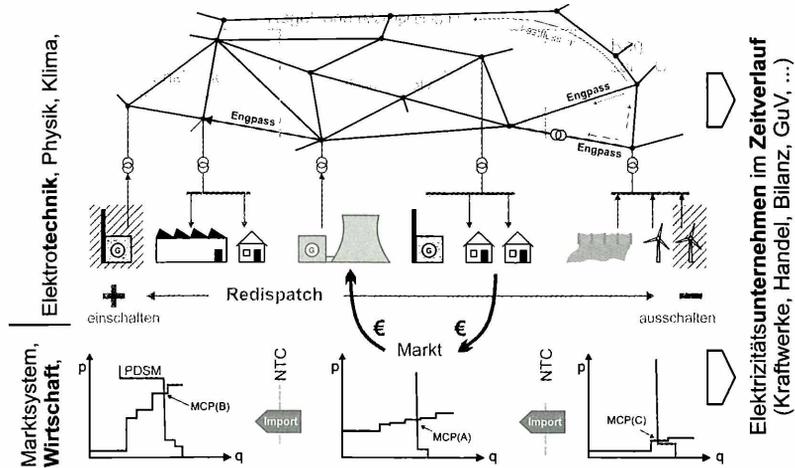


# MODELL- BESCHREIBUNG

## Wirklichkeit und Modell(e)



# ATLANTIS – Elektrizitätswirtschaft in der Zeit



## Berechnungsabläufe in ATLANTIS



2006 bis 2030: **25 Jahre**

**24 + 1** Deckungsrechnungen p.a.  
**> 625** Lastflussrechnungen  
**600 x** Börse & Redispatch

Simulationsdauer: 1-6 h  
 Datenbank: ca. 100 MB  
 Simulationsdaten: ca. 2 GB

eingesetzte Software:  
 ACCESS/VBA & MS SQL  
 GAMS, MATLAB,  
 EXCEL

## Berechnungsabläufe/-alternativen

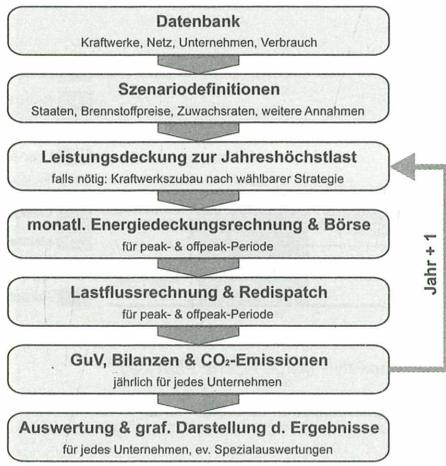
← Zeitliche Rechenrichtung für die Monate des Jahres

14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			
94			
95			
96			
97			
98			
99			
100			
101			
102			
103			
104			
105			
106			
107			
108			
109			
110			
111			
112			
113			
114			
115			
116			
117			
118			
119			
120			
121			
122			
123			
124			
125			
126			
127			
128			
129			
130			
131			
132			
133			
134			
135			
136			
137			
138			
139			
140			
141			
142			
143			
144			
145			
146			
147			
148			
149			
150			
151			
152			

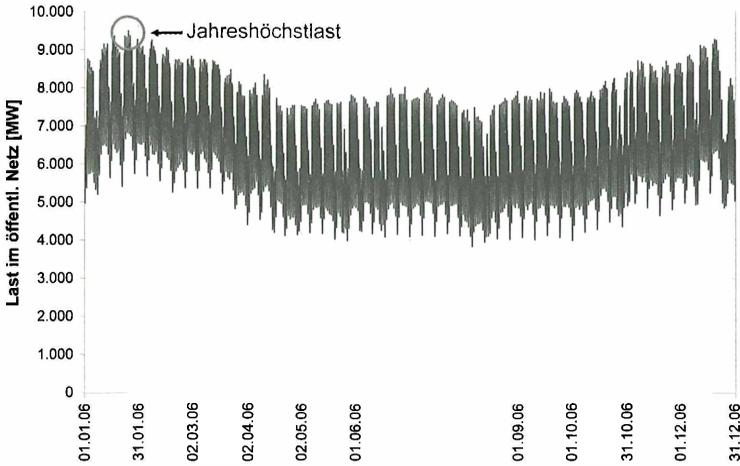
- ✓ Strombedarf für jeden der 2500 Knoten
- ✓ Höchstlast-Leistungsdeckung je Unternehmen
- ✓ „automatischer Kraftwerkszubau“ bei Engpasssituationen (BAU)
- ✓ alle ca. 100 Unternehmen machen merit-order-Bedarfsdeckung (8000 KWe)
- ✓ restliche KW-Kapazität an Strombörsen ↔ eingesetzte KW = Nachfrage
- ✓ Lastflussrechnung für das gesamte System
- ✓ Redispatch des Kraftwerkseinsatzes (Optimum EPM und Leitungen)
- ✓ ALTERNATIVEN: z.B. nodal pricing, PDTF-Matrizen, NTC-Konzepte usw.
- ✓ Aufwendungen für die G+V-Rechnungen aller 100 Unternehmen
- ✓ Unternehmensstrategien (Kraftwerksbau, Power-DSM, usw.)
- ✓ Leitungsausbauten (z.B. TEN-Leitungen usw.)
- ✓ Einsatz Erneuerbarer Energien durch neue Unternehmen

Zeitliche Rechenrichtung für die Jahre 2006-2030 →

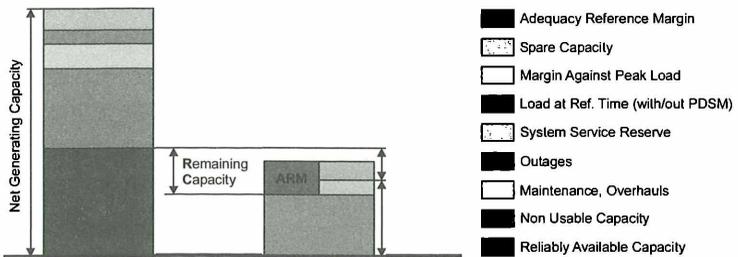
## Jährliche Leistungs-Deckungsrechnung



## Stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land



## Spitzenlastabdeckung (Bsp. ENTSO-E-Methodik)



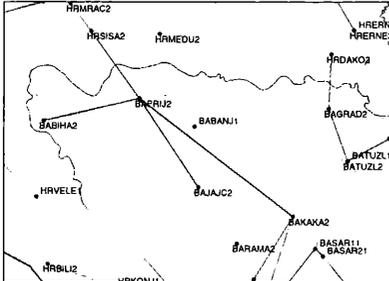
$$ARM = \text{Spare Capacity} + \text{Margin Against Peak load}$$

Systemstabilität gewährleistet, wenn  $RC > ARM$

vgl. UCTE

## Aktuell: automat. Kraftwerkszubau nach Netzanalyse

Jänner 2024, Spitze



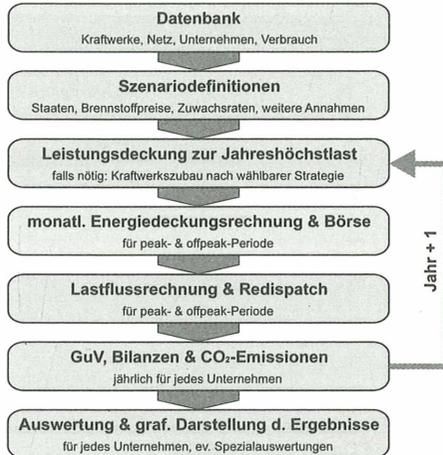
rot, gelb: hohe Leitungsauslastung  
grün: niedrige Leitungsauslastung

Jänner 2025, Spitze

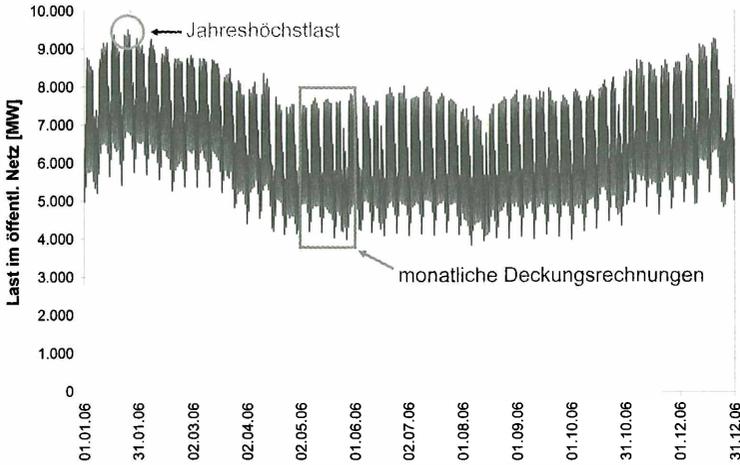


Zubaustategie frei programmierbar  
aktuell: „Business as usual“-Strategie  
Netzausbau oft billiger als KW-Bau!

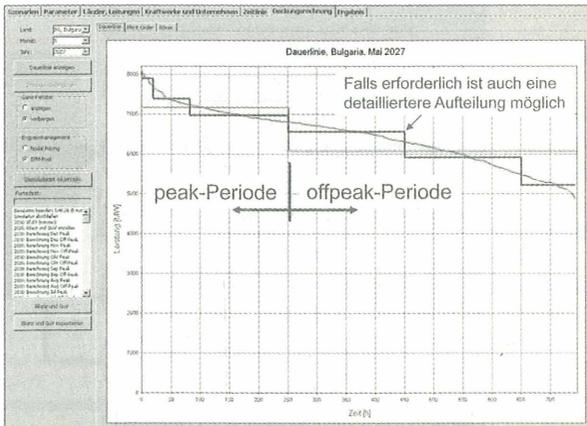
## Monatliche Energie-Deckungsrechnungen



## Stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land

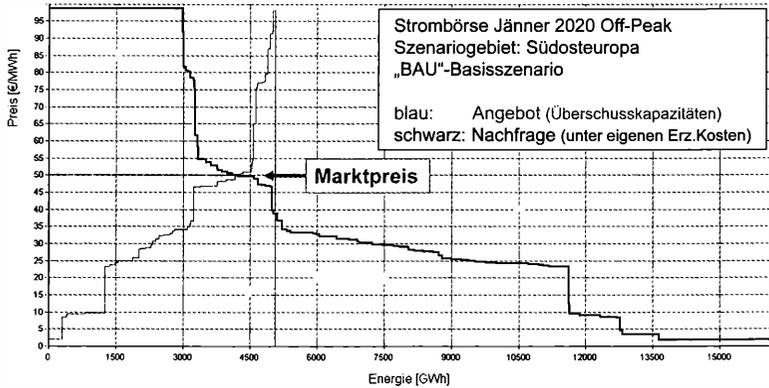


## Dauerlinie Bulgarien Mai 2027 · peak/offpeak

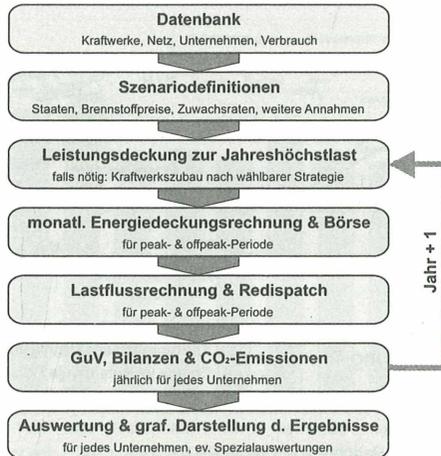


basierend auf Daten von ENTSO-E

# Strombörse für Südosteuropa: Jänner 2020



## Monatliche Lastflussrechng. und Redispatch



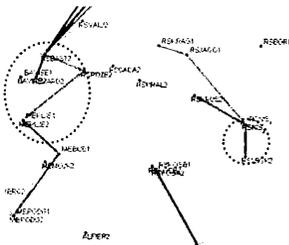
# Lastflussrechnung

Leitungsnetz stellt technische Restriktionen für den Elektrizitätsmarkt dar (Engpässe).



Rechen-Alternativen: Zonal-, Nodal-Pricing

# Validierung: „Lastflussrechnung“ und Engpässe



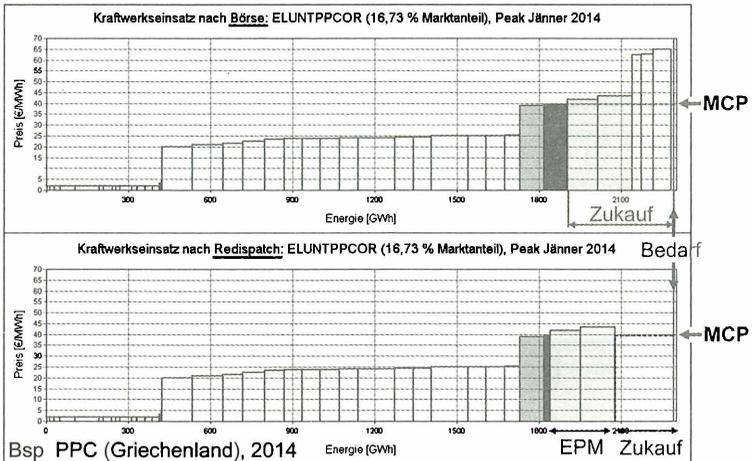
Ergebnis der ATLANTIS-Lastflussrechnung



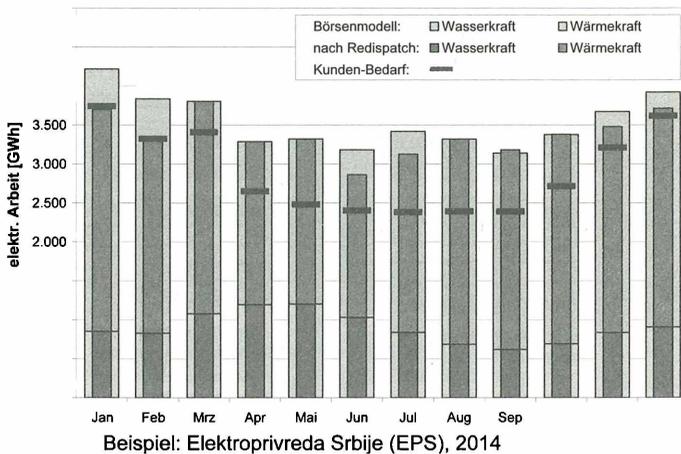
Quelle: Davor Bajs, Goran Majstrovic  
Transmission and Distribution Department  
Energy Institute Hrvoje Pozar

Weitere Möglichkeiten:  
etsovista, Technische Berichte von ENTSO-E (UCTE)

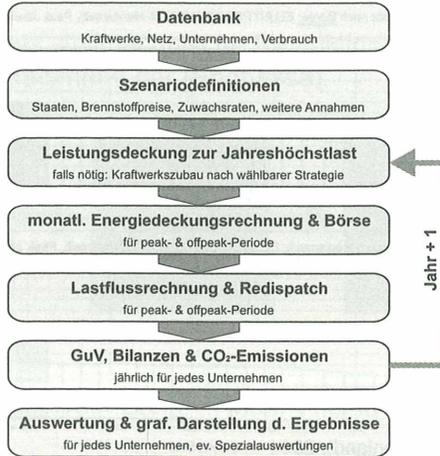
## KW-Einsatz nach Börse bzw. Redispatch



## KW-Einsatz je Unternehmen ± Redispatch



## Jährliche Bilanzierung

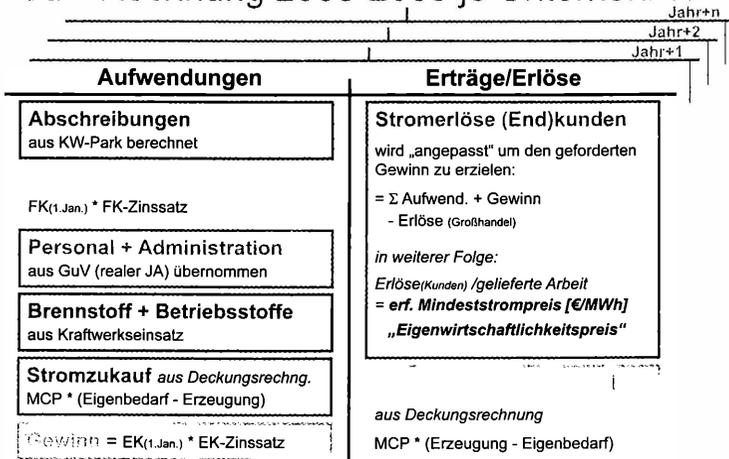


## Bilanzen 2006-2030 der 100 Unternehmen

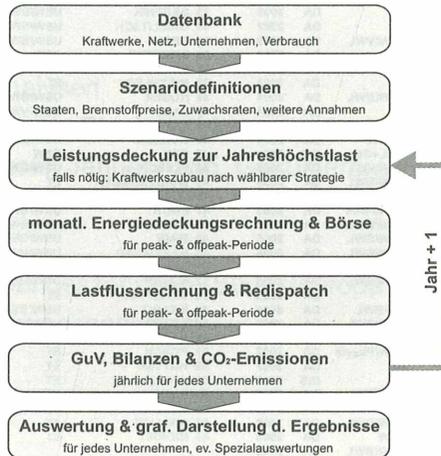
Aktiva		Passiva	
		Jahr	
<b>Anlagevermögen*</b> ...aus KW-Park errechnet bestehende KWe		<b>Eigenkapital</b> $EK_{(t-1)} + \text{einbeh. Gewinn}$ $t = 0: \text{Bilanzsumme} - FK$	
		<b>Fremdkapital</b> Bilanzsumme - EK $t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.) übernommen}$	
$t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.) übernommen}$			

\* Bilanzierung nach hist. Anschaffungswertprinzip (vgl. UGB)

# GuV-Rechnung 2006-2030 je Unternehmen



## Abschließende Auswertung und Visualisierung



## ATLANTIS-Team

<b>BACHHIESL, Udo</b>	Erneuerbare Energien, Regulierung
<b>GUTSCHI, Christoph</b>	Projektmanagement und Projektintegration, Unternehmensmodelle, Thermische KWE
<b>HUBER, Christoph</b>	Lastflussmodell, Wasserkraft, Algorithmen
<b>JAGL, Alexander</b>	Programmierung, Datenbankentwicklung
<b>NISCHLER, Gernot</b>	Brennstoffpreise, NTCs
<b>SÜßENBACHER, Wilhelm</b>	Deckungsrechnungen, Marktentwicklung
<b>TYMA, Franz</b>	Vwl. Modellbildungen, Bepreisung

## DiplomandInnen/DissertantInnen

1 HUBER	ET	DA	2002	33 BEDENIK	USW/BWL
2 FINK	ET	DA	2002	34 GRILLITSCH	USW/BWL
3 GAMSJÄGER	USW/VWL	DA	2003	35 REDL	USW/BWL
4 WULZ	ET	DA	2003	36 SITZWOHL	USW
5 BADER	ET	DA	2003	37 PISKERNIK	ET + PSY
6 HEREGGER	ET	DA	2003	38 NISCHLER	ET
7 POGLITSCH	USW/BWL	DA	2004	39 HUBER	USW/BWL
8 UJETZ	ET	DA	2004	40 JAGL	USW/VWL
9 TODER	ET	DIS	2004	41 TYMA	ET + VWL
10 BACHHIESL	MB-WI	DIS	2004	42 WIMMER	USW/BWL
11 HAFNER	BWL+Geo	DIS	2004	43 ESS	USW
12 SCHLÖGL	USW/VWL	DA	2005	44 FLESCH	USW/BWL
13 STEINER	USW/BWL	DA	2005	45 WIEDENEGGER	ET
14 HÖLLER	USW/BWL	DA	2005	46 LUEGER	USW
15 ROHRBÖCK	Uni Krems	DA	2005	47 POCK	USW/BWL
16 HOFMANN	USW/BWL	DA	2005	48 MARIN	USW/BWL
17 TOMANTSCHGER	USW/BWL	DA	2005	49 MAIR	USW/GEO
18 CADEK	USW/BWL	DA	2006	50 HASAWEND	USW/BWL
19 HORNICEK	USW/BWL	DA	2006	51 LANGMANN	USW/VWL
20 STUBENVOLL	USW/BWL	DA	2006	52 MAYER	USW/GEO
21 RAGA-VILAR	ET	DA	2006	53 SCHÜPPEL	ET
22 GRABNER	ET+BWL	DA	2006	54 KRANZ	USW/BWL
23 FÜRNKRANZ	USW/BWL	DA	2006	55 POJER	USW/BWL
24 AZUARA	ET	DA	2006	56 NACHT	ET
25 DORFINGER	USW/Physik	DA	2007	57 POSCH	ET
26 KRYEZIU	ET	DA	2007	58 HÜTTER	ET
27 GUTSCHI	VT	DIS	2007	59 STELZMANN	ET
28 MESSNER	USW/BWL	DA	2008	60 FATH	ET
29 MESSNER	BWL	DA	2008	61 HESCHL	USW/BWL
30 SCHROTTNER	USW/BWL	DA	2008	62 MALLITS	ET
31 KAUFMANN	USW	DA	2008	63 INDRIST	ET
32 SCHREINER	USW/BWL	DA	2008		

# NUTZEN von ATLANTIS

## **Elektrizitätswirtschafts-Wissenschaft (1 Mio. € Invest.)**

elektrizitätswirtschaftliches Feld → Experimente  
(vgl. Experimente von Faraday → Pest → Maxwell)

## **Wohlfahrtsökonomie**

Wirkungen von Marktorganisation (ISO, ITO ...)  
Spitzenlastproblem (Kap.-Kosten, Betr.-Kosten)  
LRMC (lfr. Systemgrenzkosten)  
Systemgrenzkosten von Erneuerbaren Energien

# NUTZEN von ATLANTIS (2)

## **EU**

Vorabanalysen  
Summe aller RL: Auswirkungen  
Stresstests: Jänner 1985, Gasunterbrechung

## **Länder**

Entwicklungsszenarien (Südosteuropa ...)  
vgl. Wirkungsanalysen

## NUTZEN von ATLANTIS (3)

### **Verbundnetzbetreiber**

Nutzen einer Leitung im System (größte Freude)  
Marktorganisationsänderung (ISO/ITO, nodal pricing)

### **Erzeuger** (... Finanzierung)

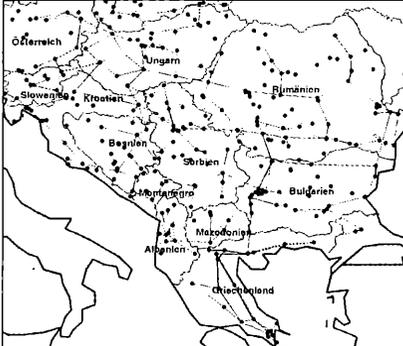
Regionale Energiepreisentwicklungen  
Erneuerbare (dargebotsabhängig ...)  
Primärenergieangebot (z.B. Nabucco)

### **Kunden** (v.a. Industriebetriebe regionale Preisentw.)

**BEISPIEL-  
ANWENDUNGEN**

## Fallbeispiel 1. Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft in Süd-Ost-Europa

Höchstspannungsnetz



Kraftwerke



## BAU-Szenario für Süd-Ost-Europa: Eckdaten

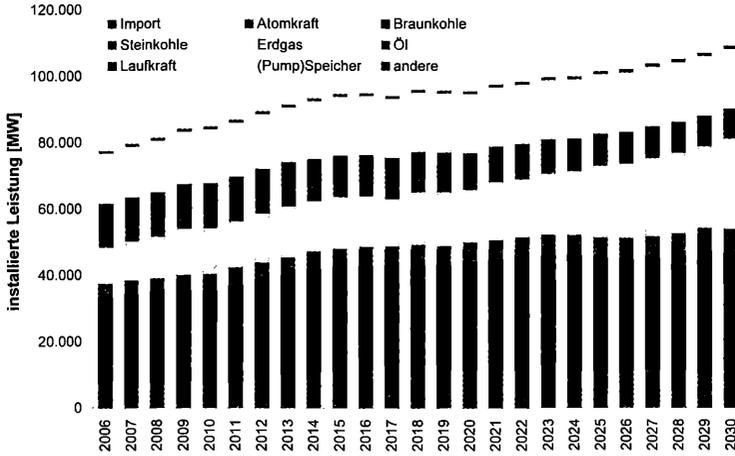
- 12 einbezogene Länder
- 36 bedeutende Unternehmen abgebildet
- 840 Kraftwerke + 620 Leitungen berücksichtigt

variierbare Eingangsparameter

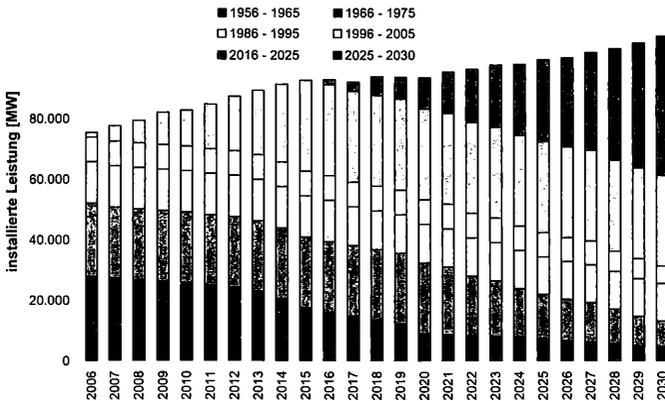
### Business As Usual (BAU)-Szenario

- real. Wirtschaftswachstum 2 % p.a.
- Verbrauchszuwachs 2 % p.a.
- Inflation 2 % p.a.
- Zinsen (Fremd-, Eigenkapital) 5 % p.a.
- Personalkosten 3 % p.a.
- Brennstoffpreise bei Ölpreis von 40 \$/bbl
- Brennstoffpreisanstieg 4 % p.a.
- Emissionszertifikate 0 €/t
- Ausbau konventioneller Kraftwerke

## BAU-Szenario für SEE: Kraftwerkskapazitäten

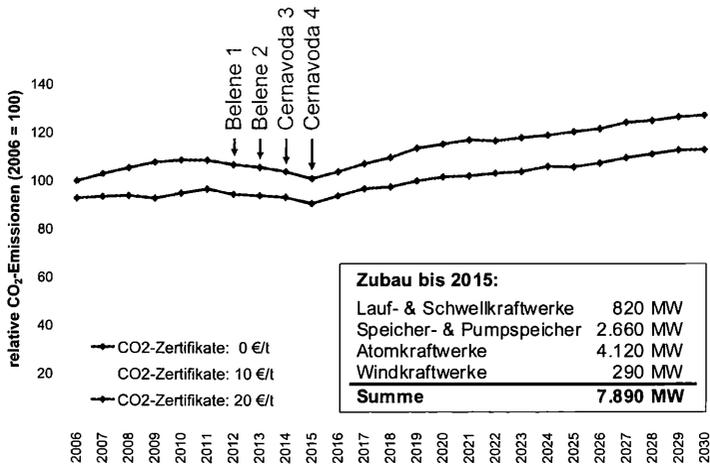


## BAU-SEE: Altersentwicklung der Kraftwerke



bis 2030: **75 GW** Neubau (bzw. Refurb.) ⇒ Investitionsbedarf **80 Mrd. €** (real)

## SEE: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen



## Bsp. 2: Unternehmensentwicklung im Szenariogebiet

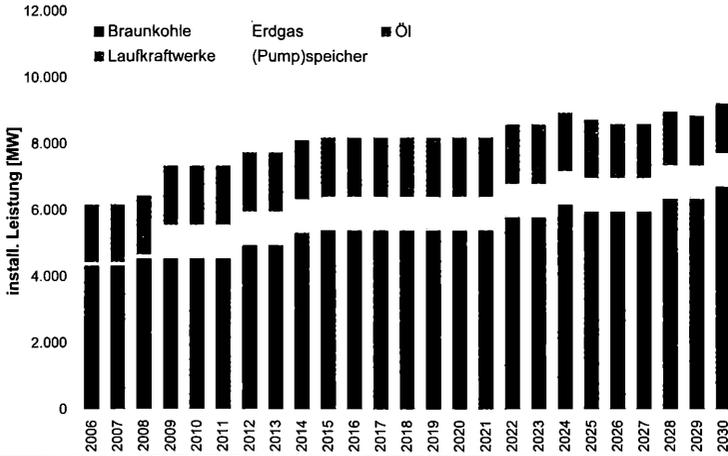
### BAU-Szenario: Abb. von 36 Erz.-Unternehmen in SEE

- Energiebilanz (Kundenbedarf, Erzeugung, Zukauf, Verkauf)
- technische Entwicklung (Kraftwerkspark)
- wirtschaftliche Entwicklung (Bilanz & GuV)
- Wettbewerbsfähigkeit im Marktumfeld

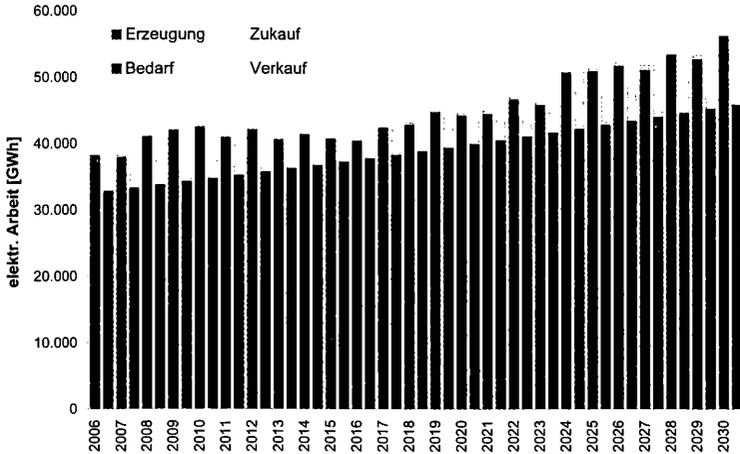
### Auswahl: **Elektroprivreda Srbije (EPS)** in Serbien

- Endkunden 2006: 32.800 GWh  
Marktanteile: 86% in Serbien und Kosovo, 11% im SEE-Szenariogebiet
- Erzeugung 2006: 34.300 GWh
- installierte Kapazität 2006: 4.700 MW thermisch, v.a. Braunkohle  
2.900 MW Wasserkraft
- Welche Auswirkungen hat ein moderater Zubau von Braunkohle-Kraftwerken auf die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens?

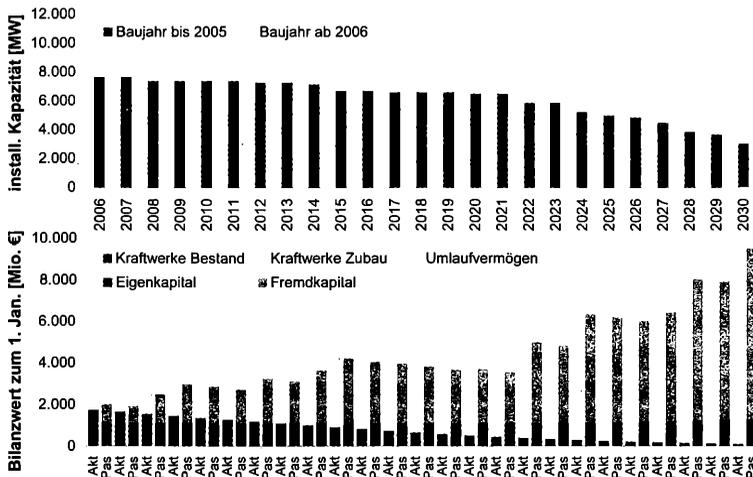
## BAU-Szenario: Kraftwerkspark von EPS



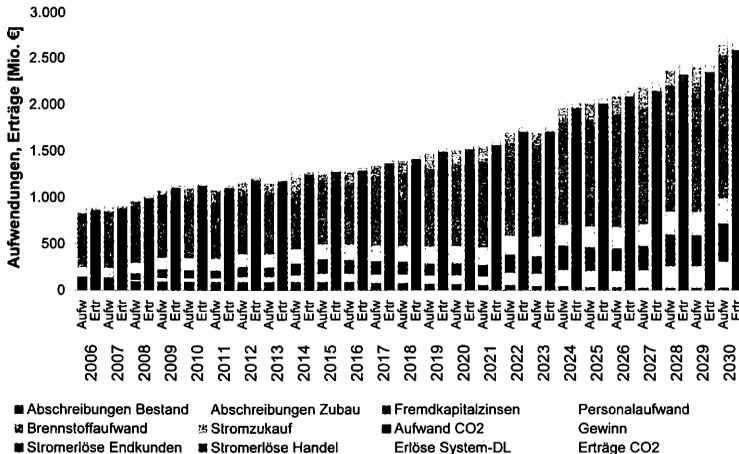
## BAU-Szenario: Energiebilanz von EPS



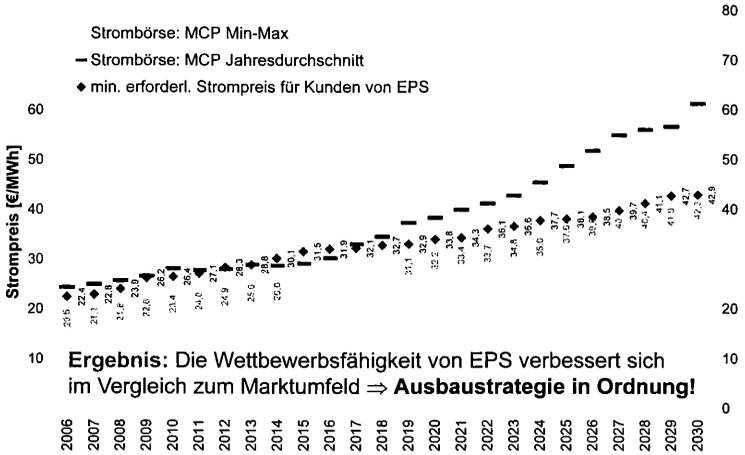
## Bilanzen von EPS 2006-2030



## Gewinn-/Verlustrechnungen von EPS



# Nötiger Strompreis für Eigenwirtschaftlichkeit



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Umwelt - Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie](#)

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: [38](#)

Autor(en)/Author(s): Stigler Heinz

Artikel/Article: [Steuerungsinstrumente für die Energietransformation. 117-152](#)