

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 Gutsch, 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

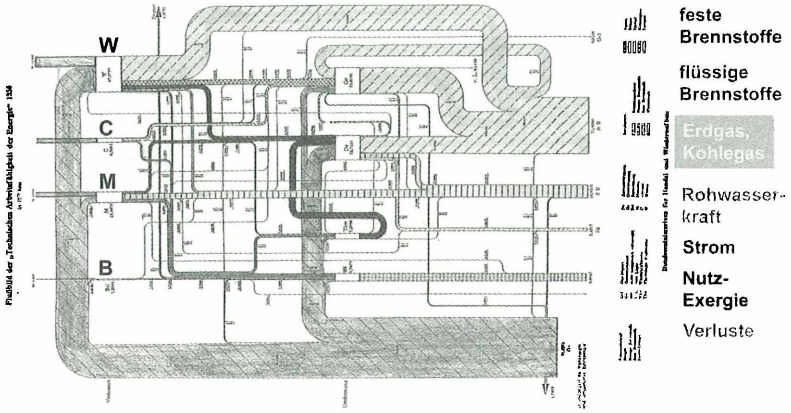
- Nur ein Teil des Energieinhaltes kann technisch genutzt, d.h. in andere Energieformen umgewandelt werden.

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

- 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



Energieflußbild 2005

Aufkommen:
1689,2 PJ

Öl: 695,7 PJ

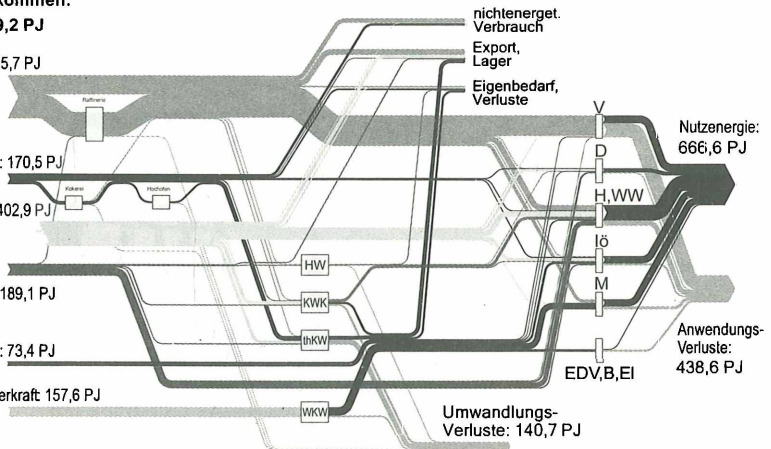
Kohle: 170,5 PJ

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

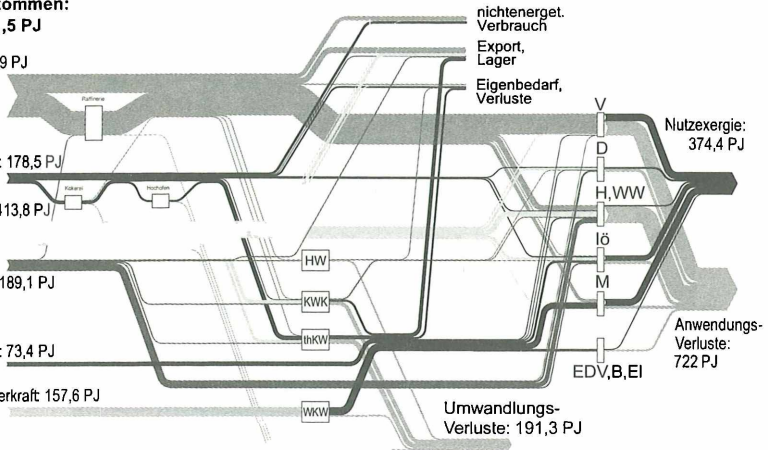
Kohle: 178,5 PJ

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

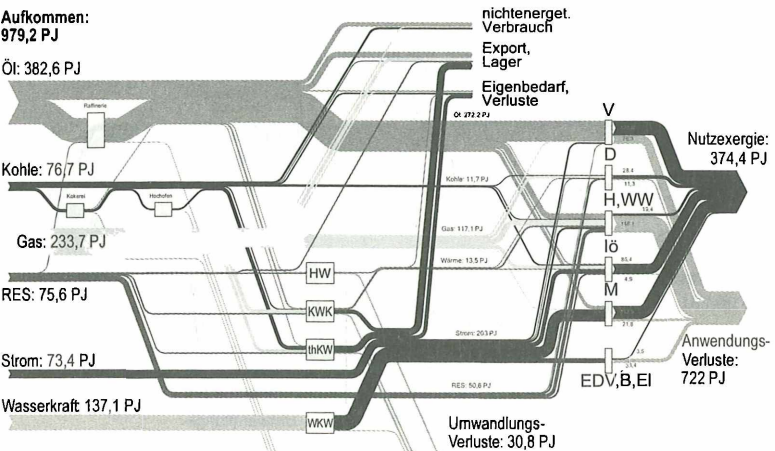
Kohle: 76,7 PJ

Gas: 233,7 PJ

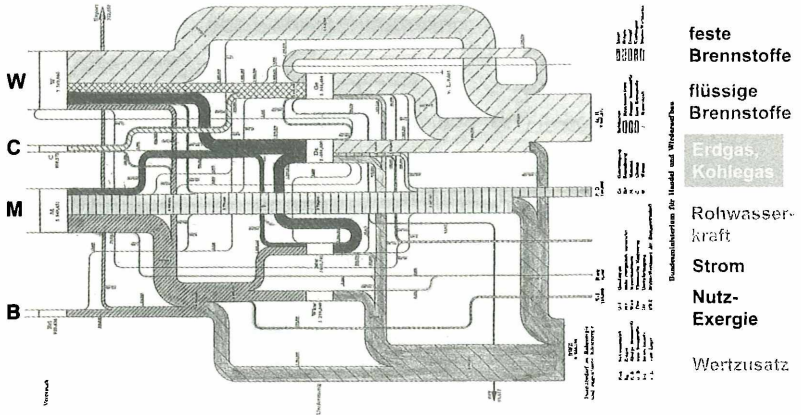
RES: 75,6 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 137,1 PJ

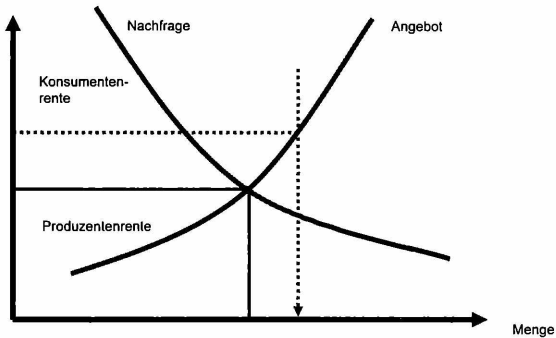


Wertflußbild der Energiewirtschaft 1956



Quelle: Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau, 1958

Neoklassik



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

Exergieflussbild 2005

Aufkommen:
1741,5 PJ

Öl: 729 PJ

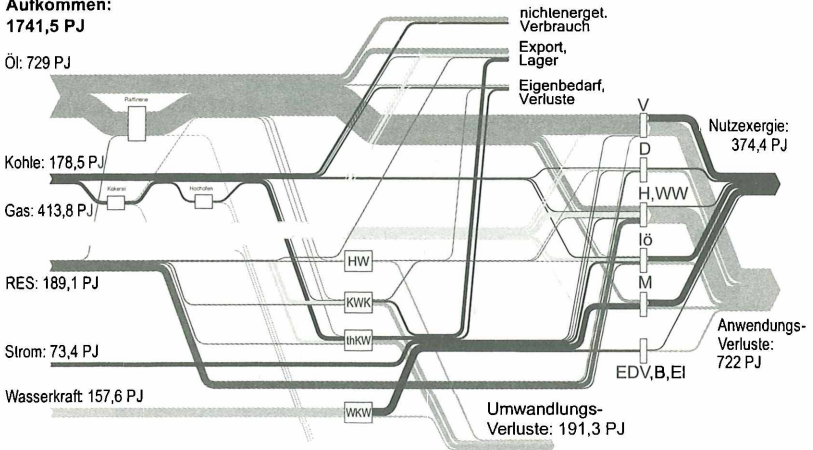
Kohle: 178,5 PJ

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

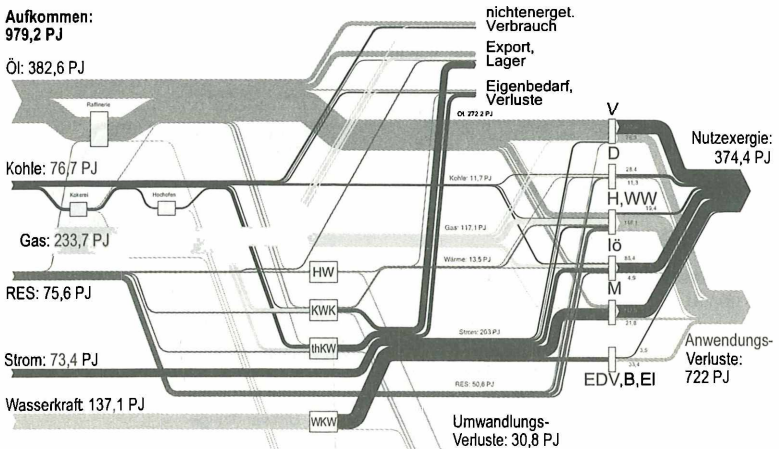
Kohle: 76,7 PJ

Gas: 233,7 PJ

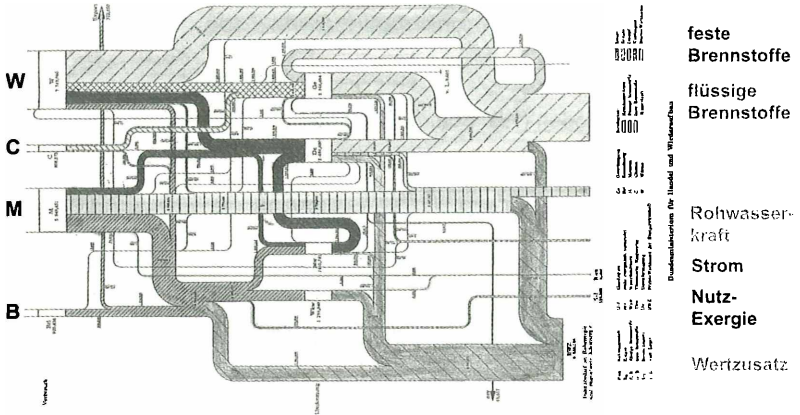
RES: 75,6 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 137,1 PJ

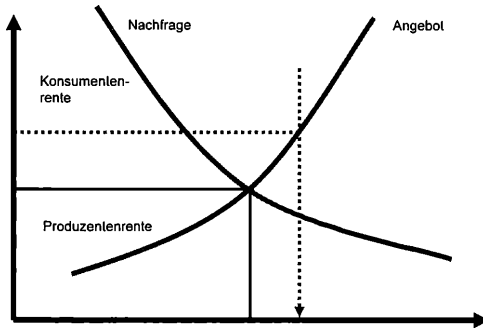


Wertflußbild der Energiewirtschaft 1956



Quelle: Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau, 1958

Neoklassik



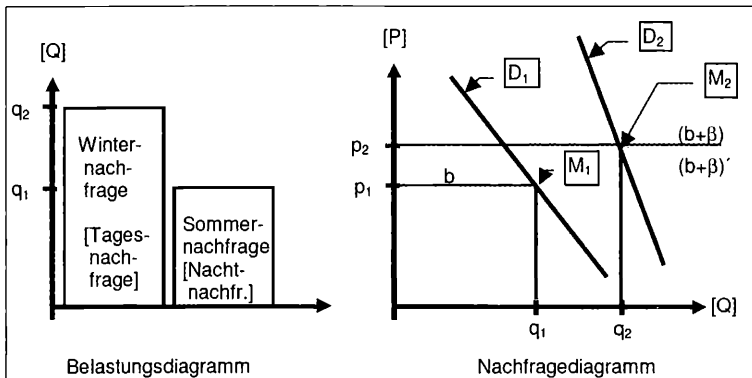
$\text{Konsumentenrente} + \text{Produzentenrente} = \text{Gesamte Wohlfahrt}$

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 „ β “ sind von installierter Kapazität abhängig

Lastdiagramm und Nachfragekurven



Herleitung der Wohlfahrts-Preise

Wohlfahrt in der Schwachlastperiode

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

Wohlfahrt in der Starklastperiode (inkl. Kapazitätskosten)

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

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

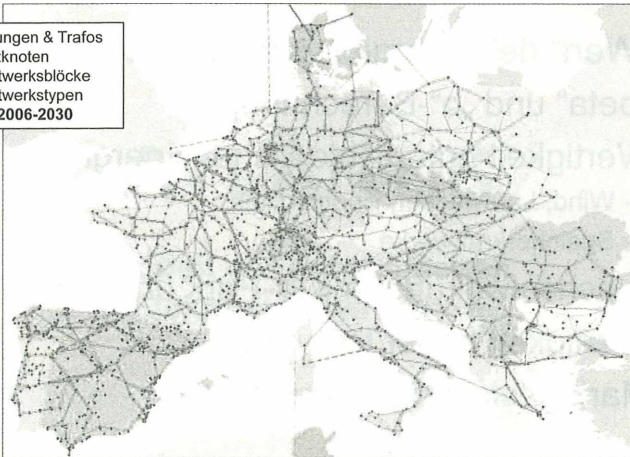
ATLANTIS – Eckdaten

- 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**

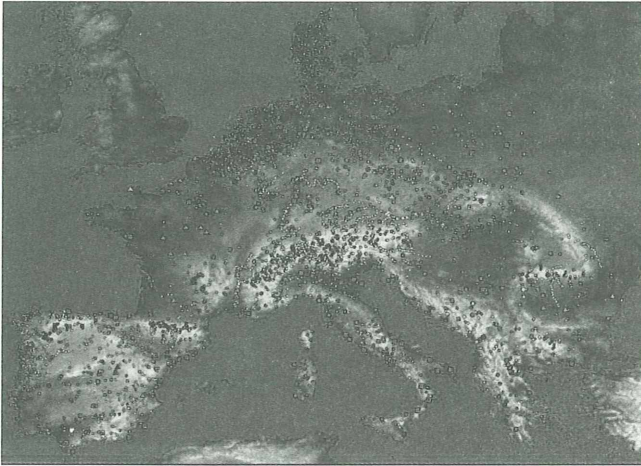
- 8 Jahren Entwicklung, 40 Personenjahre, 4 Diss., 55 Diplomarbeiten
- dzt. 4 Wissenschaftler, 10 Diplomanden, 3 Projektarbeiten
- Fachdisziplinen: ET, MB, KW-Technik, BWL, VWL, Wasserwirtschaft, Systemwissenschaften, Mathematik, Informatik

Physikalisches Modell: Netz und Verbrauch

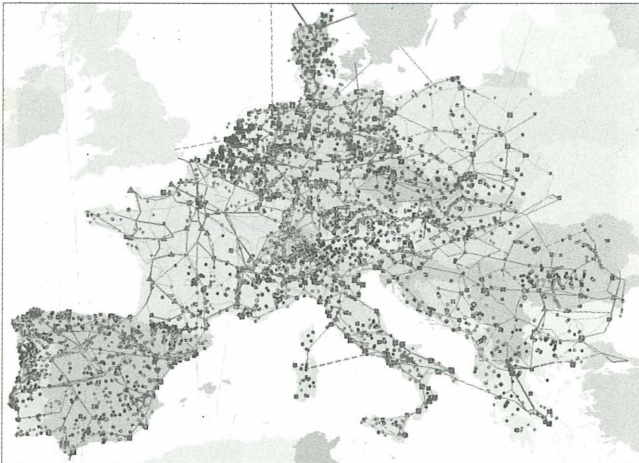
4800 Leitungen & Trafos
2500 Netzknoten
8000 Kraftwerksblöcke
30 Kraftwerkstypen
Periode: 2006-2030



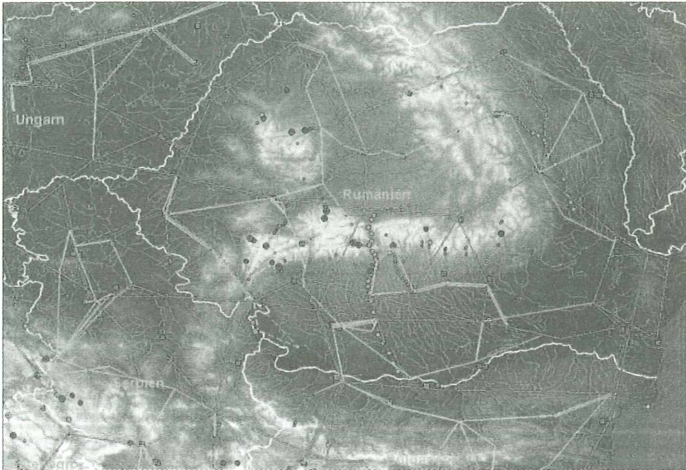
Physikalisches Modell: Kraftwerke



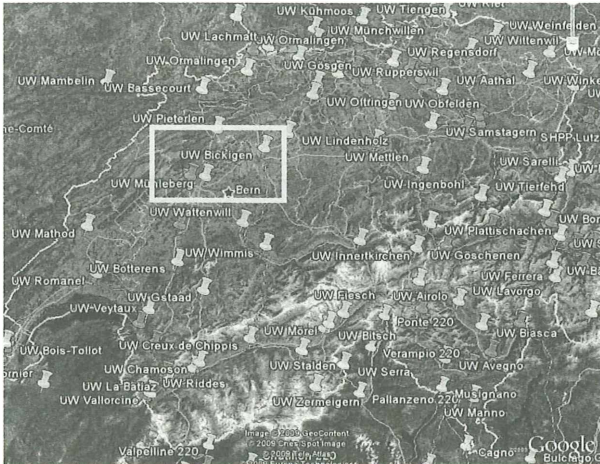
Gesamtes realwirtschaftliches Modell



Bsp. Rumänien: Netz und Kraftwerke

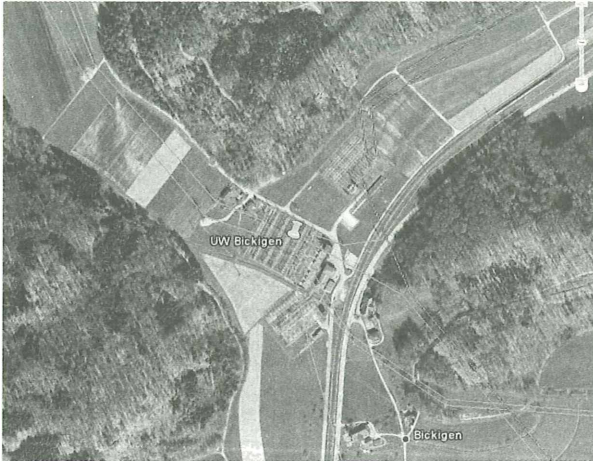


Geografische Zuordnung



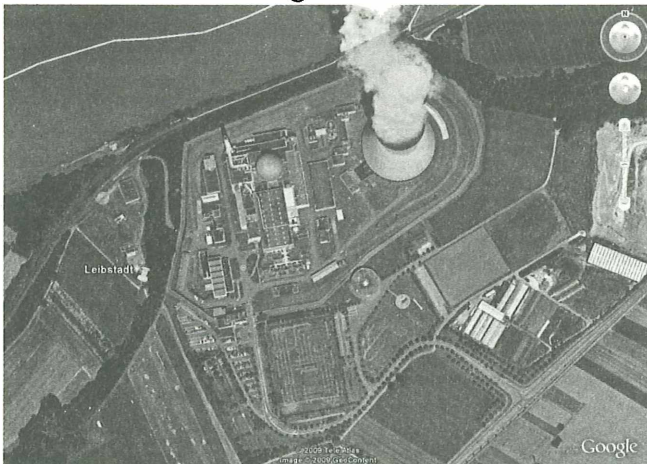
Georeferenzierung & Messung: ARViewGIS; Bildquelle: Google Earth

Standorte von Umspannwerken & Leitungen



Vermessung: ARCVIEWGIS, Grafik, Bildquelle: Google Earth

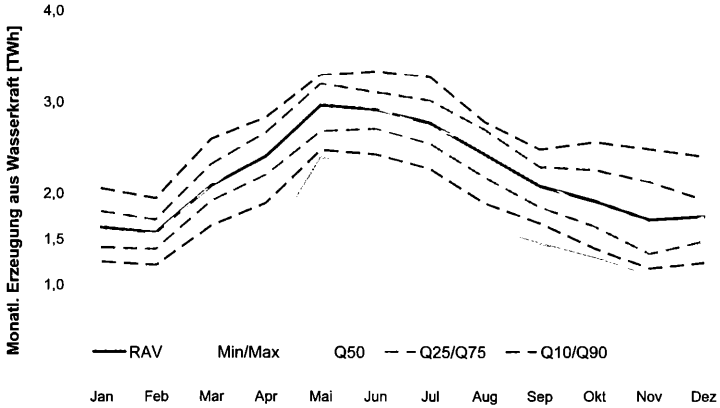
Lokalisierung von Kraftwerken



Vermessung: ARCVIEWGIS, Grafik, Bildquelle: Google Earth

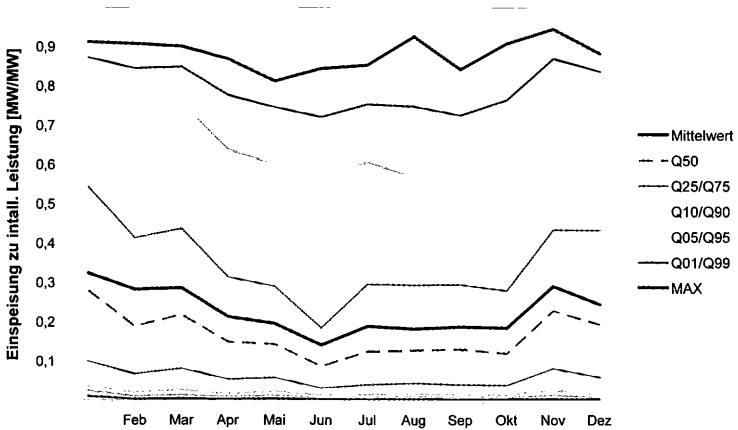
Physikalisches Modell: Wasserkraft

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



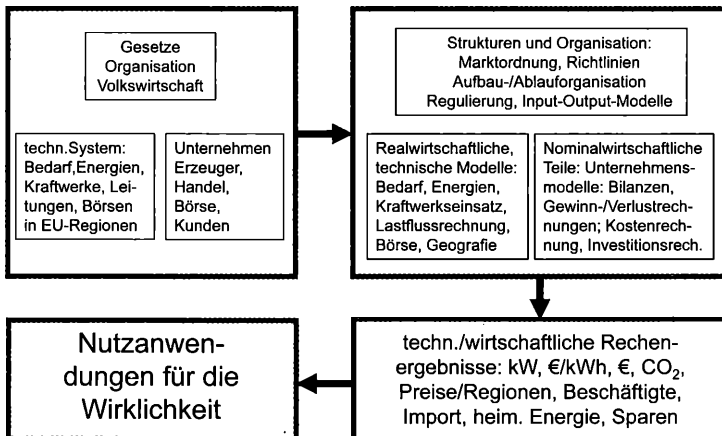
Windkraft-Modellierung (in Arbeit)

Windstromerzeugung in Österreich 2004-2008

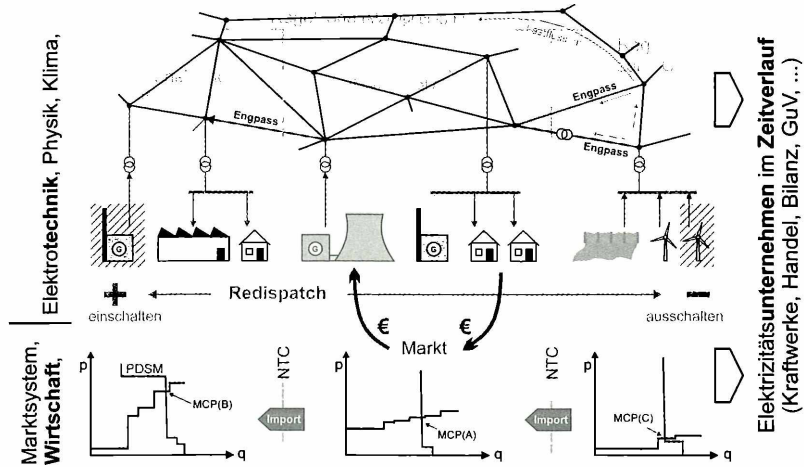


MODELL- BESCHREIBUNG

Wirklichkeit und Modell(e)



ATLANTIS – Elektrizitätswirtschaft in der Zeit



Berechnungsabläufe in ATLANTIS



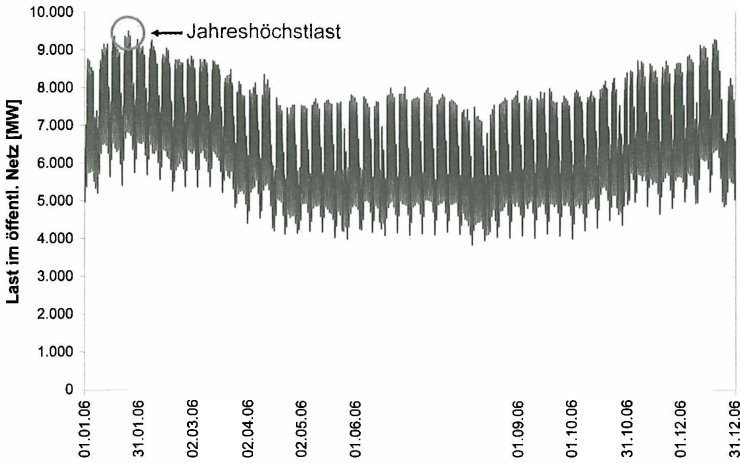
2006 bis 2030: **25 Jahre**

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

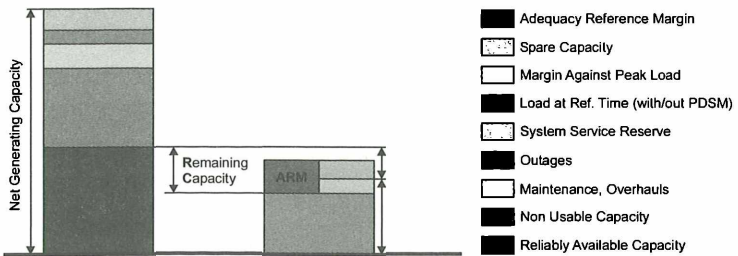
Simulationsdauer: 1-6 h
 Datenbank: ca. 100 MB
 Simulationsdaten: ca. 2 GB

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

Stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land



Spitzenlastabdeckung (Bsp. ENTSO-E-Methodik)



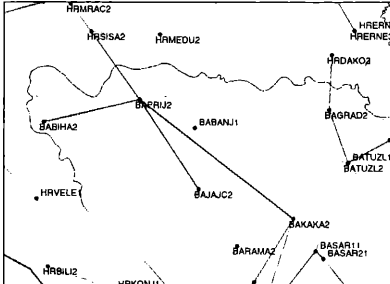
$$ARM = \text{Spare Capacity} + \text{Margin Against Peak load}$$

Systemstabilität gewährleistet, wenn $RC > ARM$

vgl. UCTE

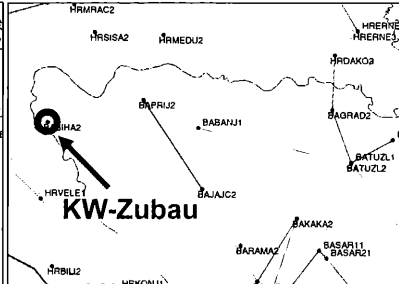
Aktuell: automat. Kraftwerkszubau nach Netzanalyse

Jänner 2024, Spitze



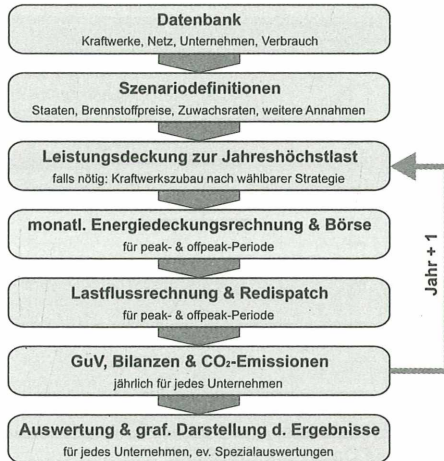
rot, gelb: hohe Leitungsauslastung
grün: niedrige Leitungsauslastung

Jänner 2025, Spitze

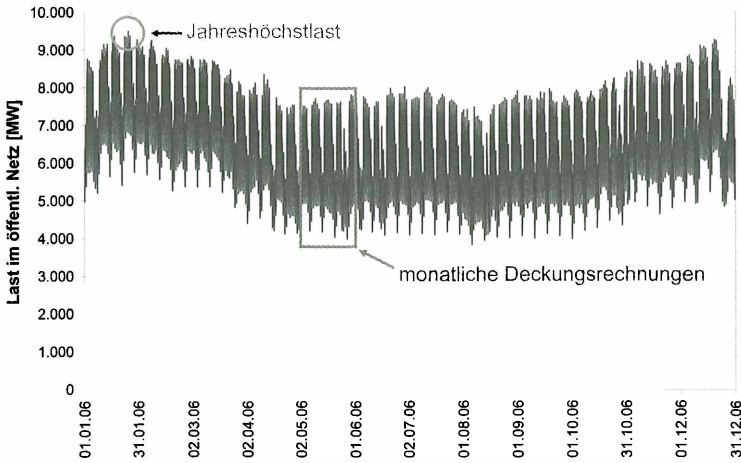


Zubastrategie frei programmierbar
aktuell: „Business as usual“-Strategie
Netzausbau oft billiger als KW-Bau!

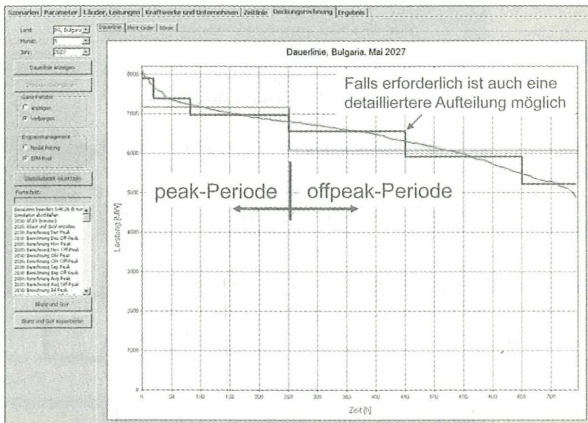
Monatliche Energie-Deckungsrechnungen



Stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land

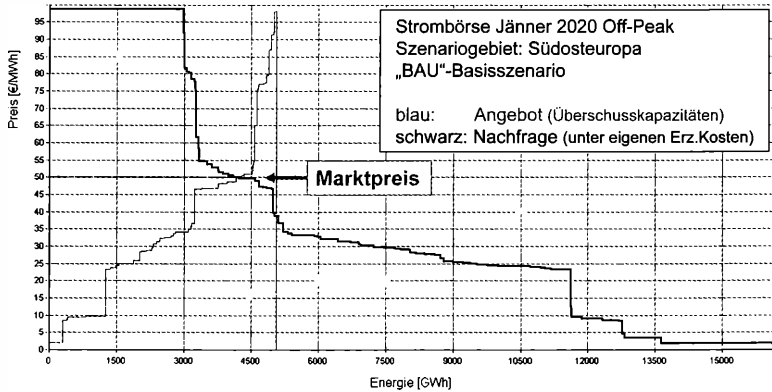


Dauerlinie Bulgarien Mai 2027 · peak/offpeak

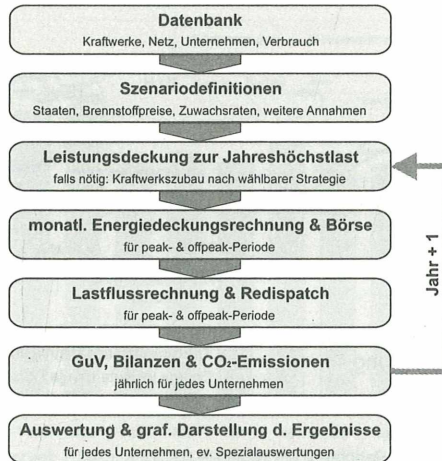


basierend auf Daten von ENTSO-E

Strombörse für Südosteuropa: Jänner 2020



Monatliche Lastflussrechng. und Redispatch



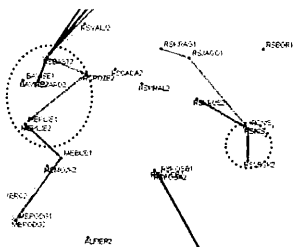
Lastflussrechnung

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



Rechen-Alternativen: Zonal-, Nodal-Pricing

Validierung: „Lastflussrechnung“ und Engpässe



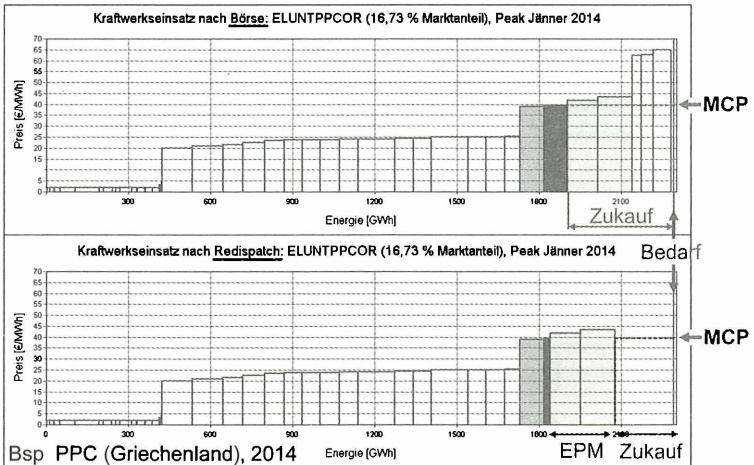
Ergebnis der ATLANTIS-Lastflussrechnung



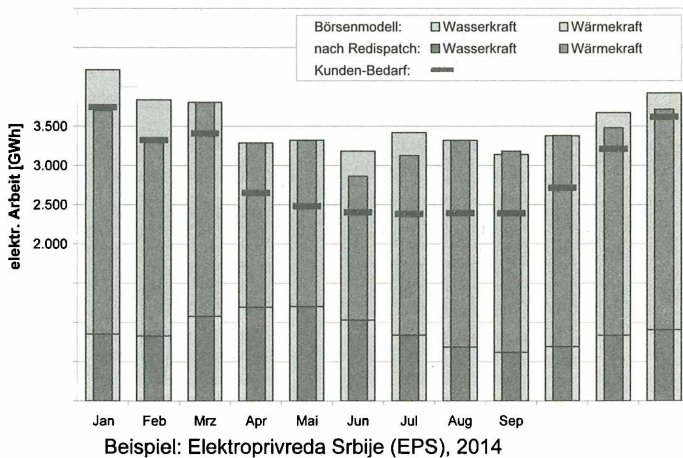
Quelle: Davor Bajs, Goran Majstrovic
Transmission and Distribution Department
Energy Institute Hrvoje Pozar

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

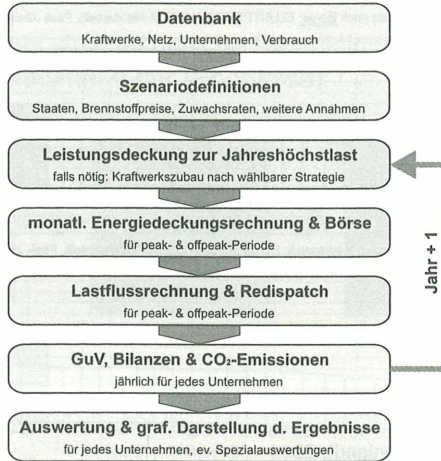
KW-Einsatz nach Börse bzw. Redispatch



KW-Einsatz je Unternehmen ± Redispatch



Jährliche Bilanzierung



Bilanzen 2006-2030 der 100 Unternehmen

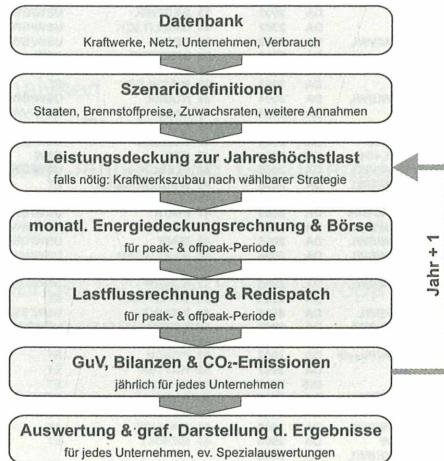
Aktiva		Passiva	
		Jahr	
Anlagevermögen* ...aus KW-Park errechnet bestehende KWe		Eigenkapital $EK_{(t-1)} + \text{einbeh. Gewinn}$ $t = 0: \text{Bilanzsumme} - FK$	
		Fremdkapital Bilanzsumme - EK $t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.) übernommen}$	
$t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.)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

* Bilanzierung nach hist. Anschaffungswertprinzip (vgl. UGB)

GuV-Rechnung 2006-2030 je Unternehmen

		Jahr+n
		Jahr+2
		Jahr+1
Aufwendungen	Erträge/Erlöse	
Abschreibungen aus KW-Park berechnet $FK(1.Jan.) * FK-Zinssatz$ Personal + Administration aus GuV (realer JA) übernommen Brennstoff + Betriebsstoffe aus Kraftwerkseinsatz Stromzukauf aus Deckungsrech. $MCP * (Eigenbedarf - Erzeugung)$ $Gewinn = EK(1.Jan.) * EK-Zinssatz$	Stromerlöse (End)kunden wird „angepasst“ um den geforderten Gewinn zu erzielen: $= \Sigma \text{Aufwend.} + \text{Gewinn}$ - Erlöse (Großhandel) <i>in weiterer Folge:</i> $\text{Erlöse(Kunden)} / \text{gelieferte Arbeit}$ = erf. Mindeststrompreis [€/MWh] „Eigenwirtschaftlichkeitspreis“ aus Deckungsrechnung $MCP * (Erzeugung - Eigenbedarf)$	

Abschließende Auswertung und Visualisierung



ATLANTIS-Team

BACHHIESL, Udo	Erneuerbare Energien, Regulierung
GUTSCHI, Christoph	Projektmanagement und Projektintegration, Unternehmensmodelle, Thermische KWE
HUBER, Christoph	Lastflussmodell, Wasserkraft, Algorithmen
JAGL, Alexander	Programmierung, Datenbankentwicklung
NISCHLER, Gernot	Brennstoffpreise, NTCs
SÜßENBACHER, Wilhelm	Deckungsrechnungen, Marktentwicklung
TYMA, Franz	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)

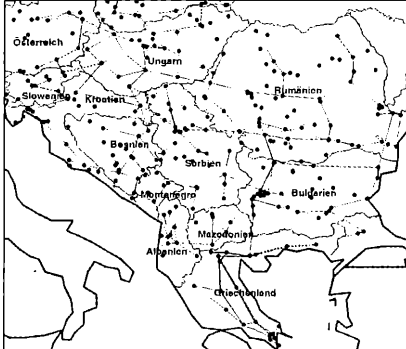
Regionale Energiepreisentwicklungen
Erneuerbare (dargebotsabhängig ...)
Primärenergieangebot (z.B. Nabucco)

Kunden (v.a. Industriebetriebe regionale Presentw.)

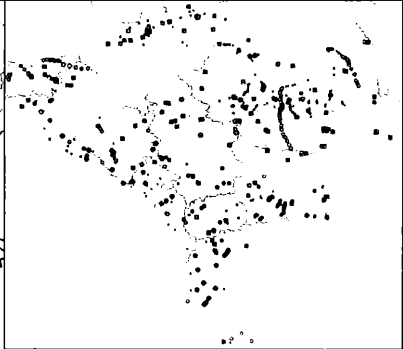
**BEISPIEL-
ANWENDUNGEN**

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

Höchstspannungsnetz



Kraftwerke

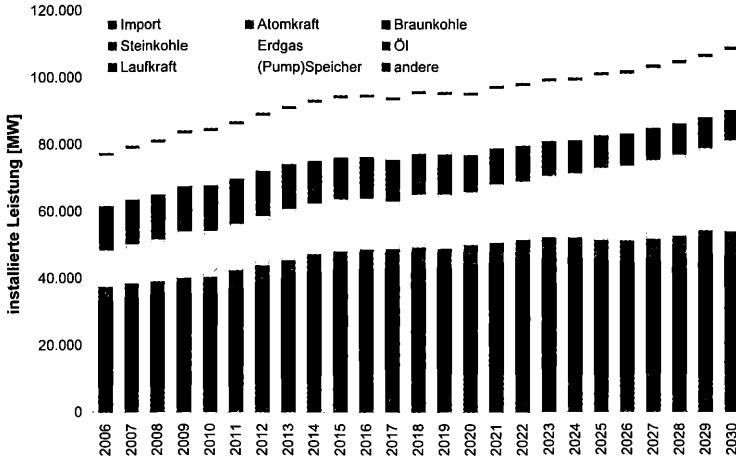


BAU-Szenario für Süd-Ost-Europa: Eckdaten

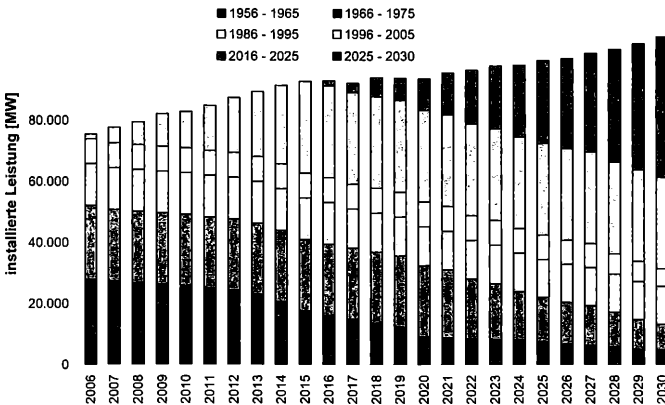
- 12 einbezogene Länder
- 36 bedeutende Unternehmen abgebildet
- 840 Kraftwerke + 620 Leitungen berücksichtigt

veränderbare 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

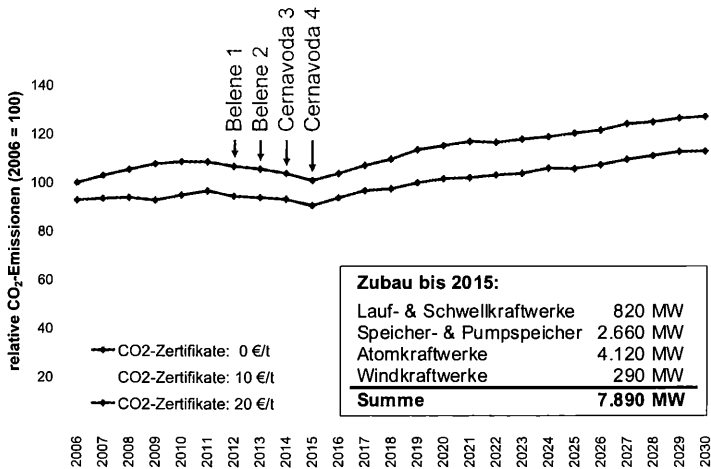


BAU-SEE: Altersentwicklung der Kraftwerke



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

SEE: Entwicklung der CO₂-Emissionen



Bsp. 2: Unternehmensentwicklung im Szenariogebiet

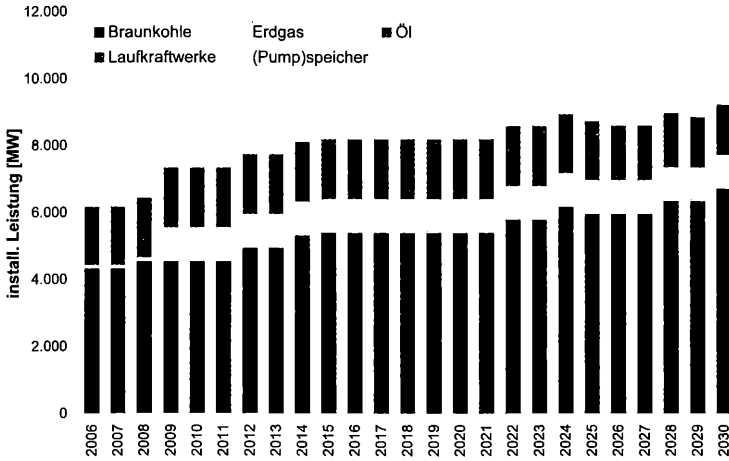
BAU-Szenario: Abb. von 36 Erz.-Unternehmen in SEE

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

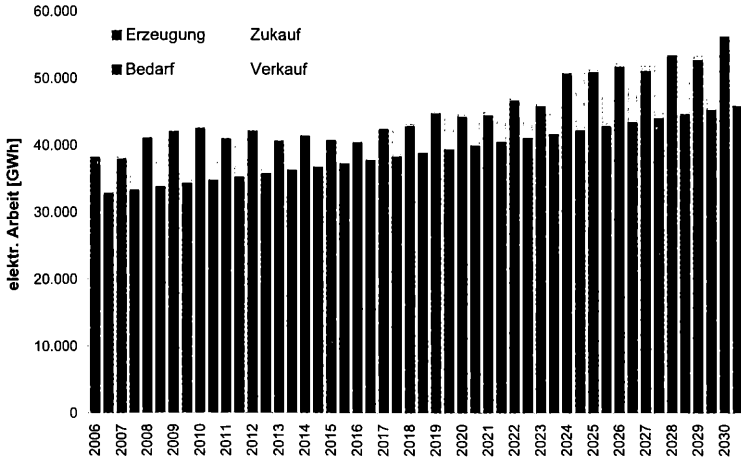
Auswahl: **Elektroprivreda Srbije (EPS)** in Serbien

- 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?

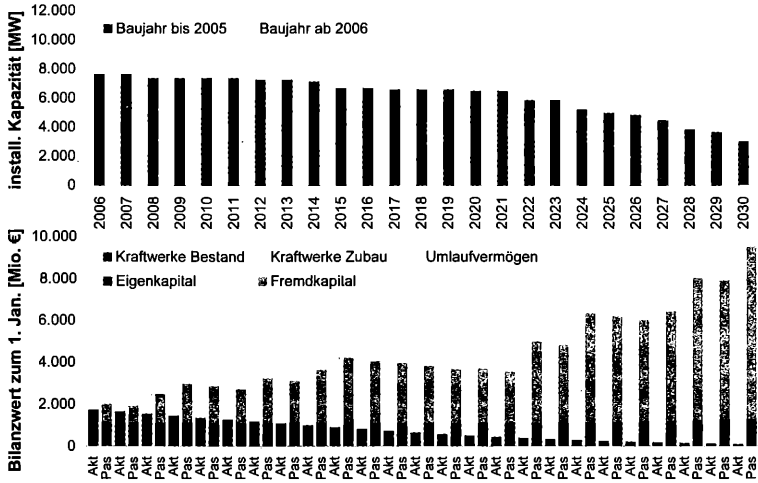
BAU-Szenario: Kraftwerkspark von EPS



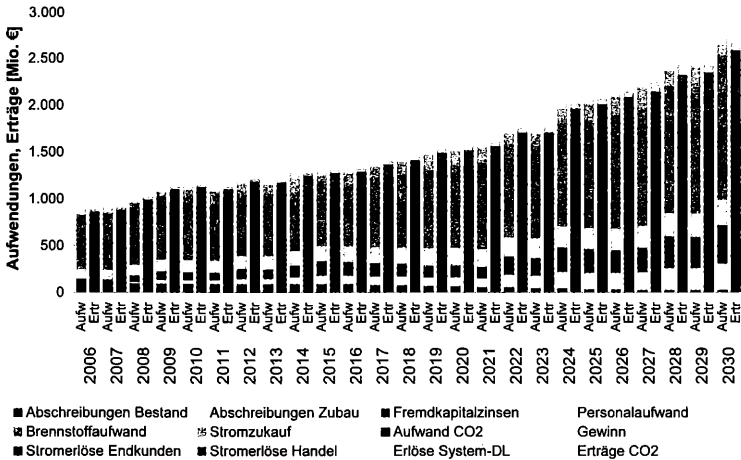
BAU-Szenario: Energiebilanz von EPS



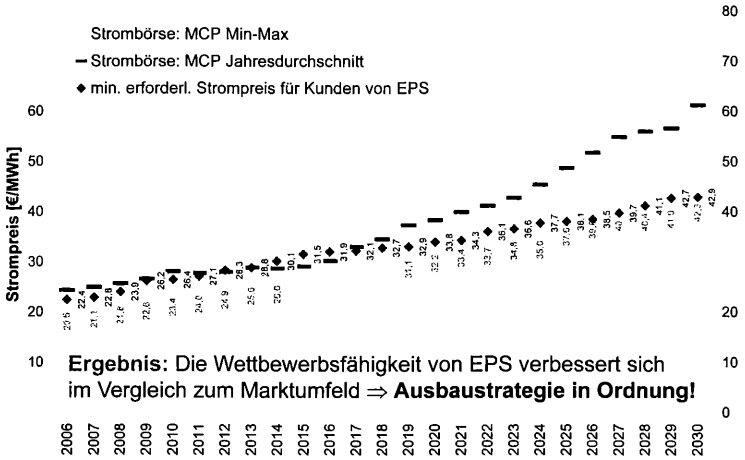
Bilanzen von EPS 2006-2030



Gewinn-/Verlustrechnungen von EPS



Nötiger Strompreis für Eigenwirtschaftlichkeit



ZOBODAT - www.zobodat.at

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](#)