

# ATLANTIS

## Modell der europäischen Elektrizitätswirtschaft

### Szenario zur Entwicklung des Kraftwerksparks in Kontinentaleuropa

Vortrag beim

11. Energieinnovationssymposium

TU Graz, 11. Feb. 2010

**Christoph Gutschi, Gernot Nischler, Alexander Jagl, Heinz Stigler**

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation  
der Technischen Universität Graz

# Inhalt

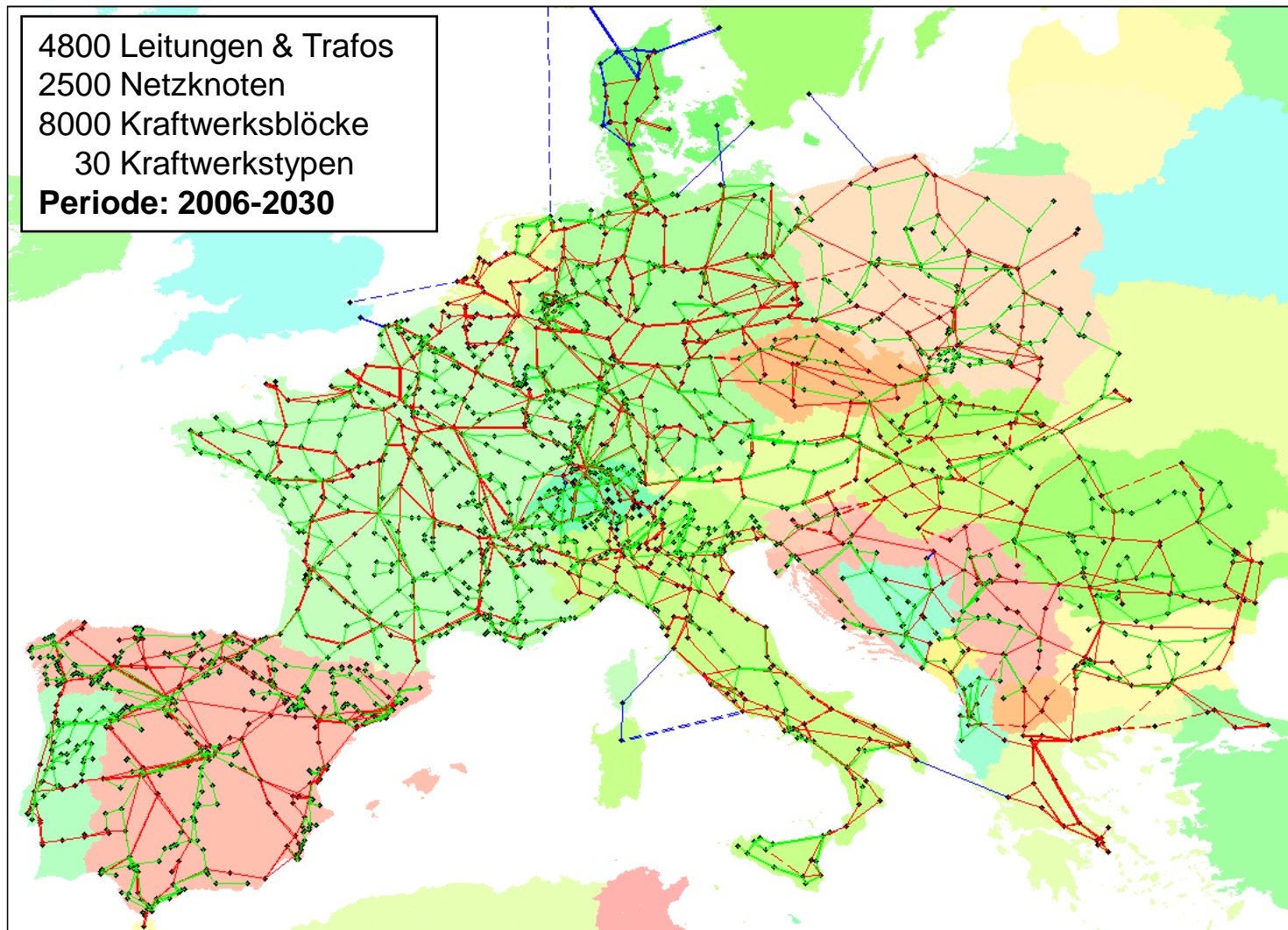
- Idee von „ATLANTIS“
- Modellbildung: Systematik und Methodik
- Modellbeschreibung: Komponenten und Funktionen
- Nutzenanwendungen
- Beispielanwendungen
  - Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten in Kontinentaleuropa
  - Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung
- Beabsichtigte Weiterentwicklungen

# ATLANTIS – Eckdaten

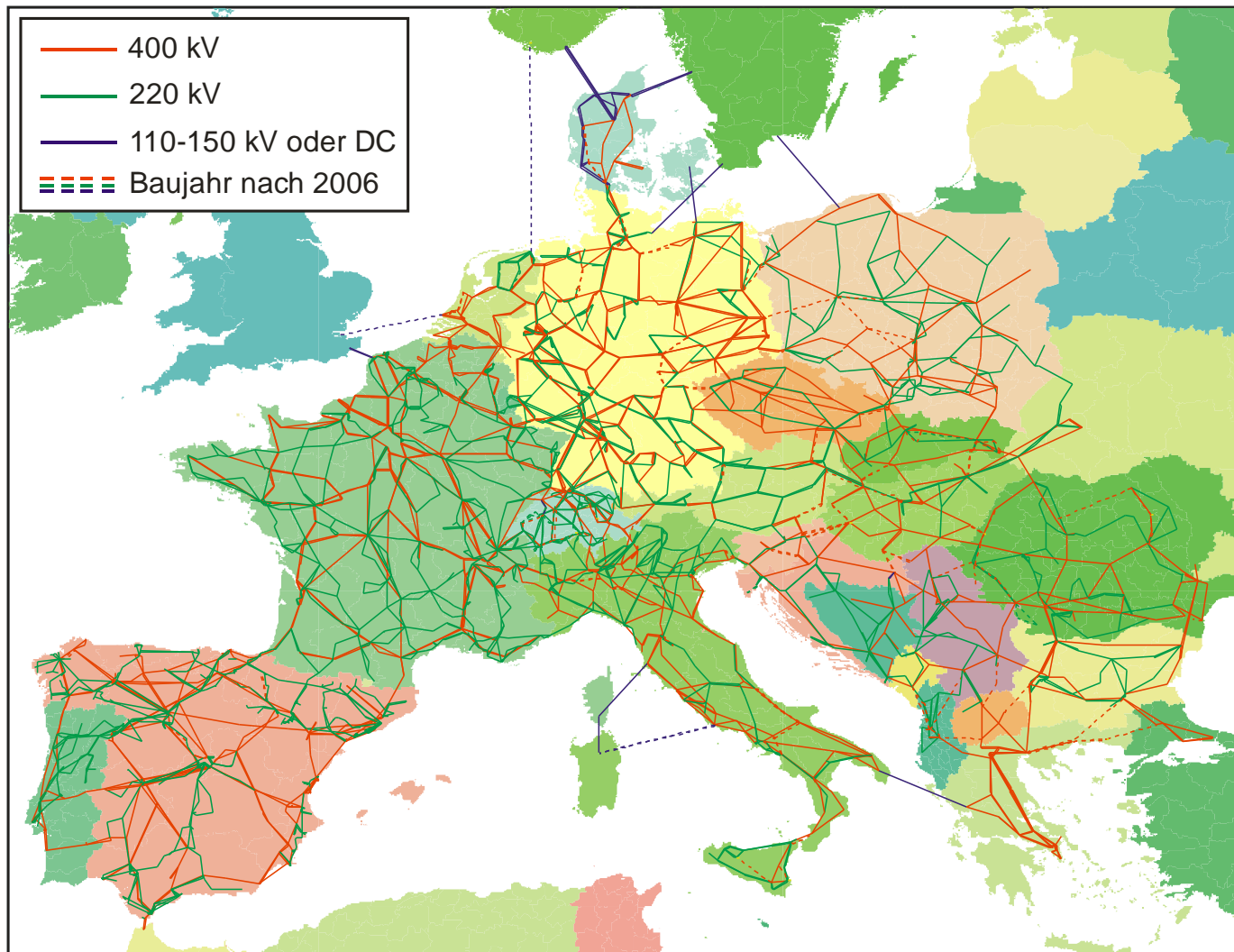
- Untersuchung **Gesamtsystemzusammenhänge** in EU-EIWi
- In einem Modell: Strombedarf (2500 Knoten), Kraftwerkseinsatz (8000 KWe), Ausbauplanung, Börse(n), Lastfluss (4800 Ltgen), ca. 100 **Unternehmensbilanzen** und **Gewinn/Verlustrechnungen**
- **frei parametrierbar**, Modelladaptierungen an Fragestellungen, Transparenz der Ergebnisse, **Nachvollziehbarkeit der Aussagen**
- 7 Jahren Entwicklung, 35 Personenjahre, 4 Diss., 40 Diplomarbeiten
- dzt. 4 Wissenschaftler, 14 Diplomanden, 2 Projektarbeiten
- Fachdisziplinen: ET, MB, KW-Technik, BWL, VWL, Wasserwirtschaft, Systemwissenschaften, Mathematik, Informatik

# DATENBASIS

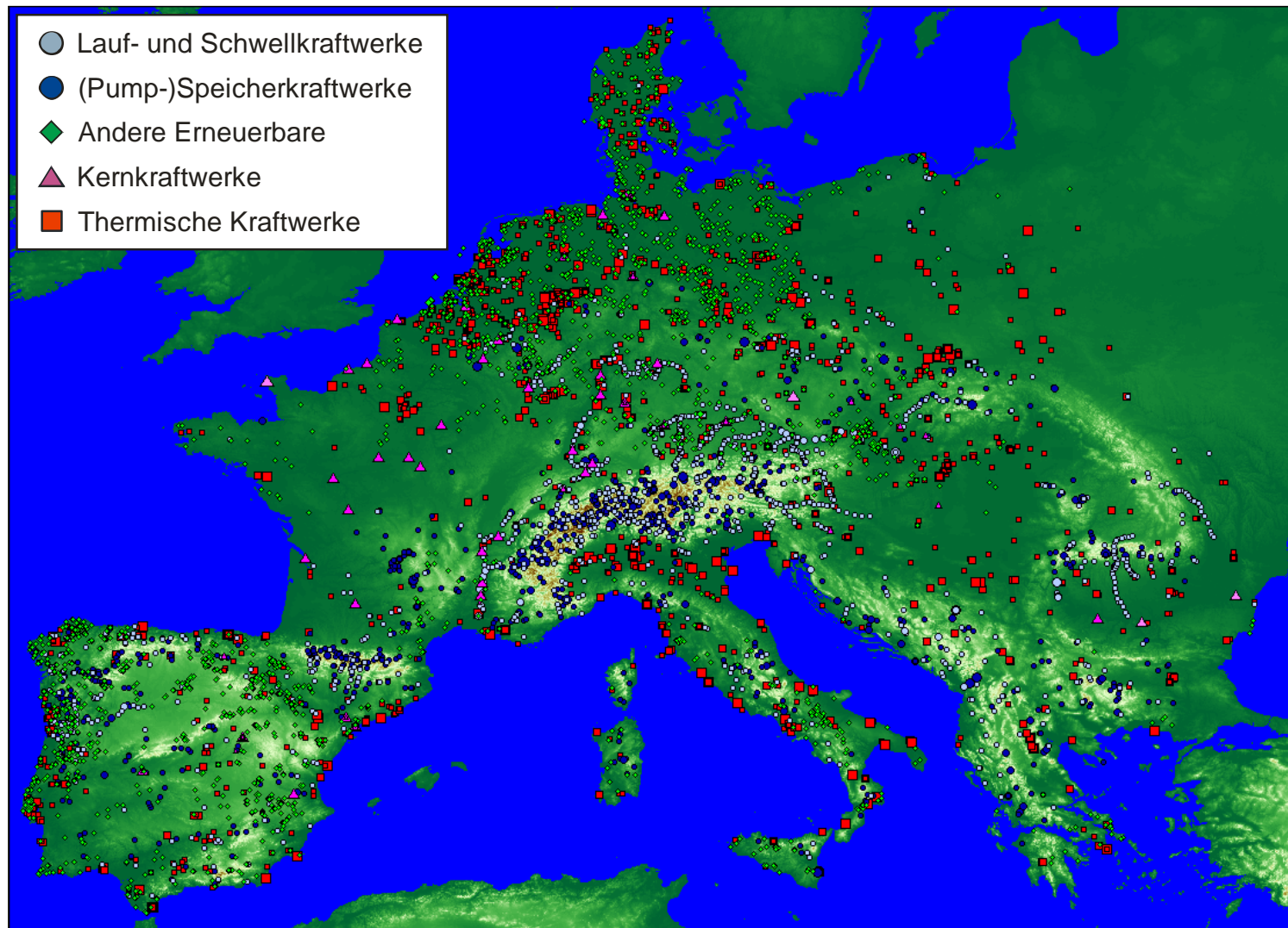
# Physikalisches Modell: Netz und Verbrauch



# Physikalisches Modell: Netz und Verbrauch



# Physikalisches Modell: Kraftwerke





# Lokalisierung von Kraftwerken, Netzknoten, etc.

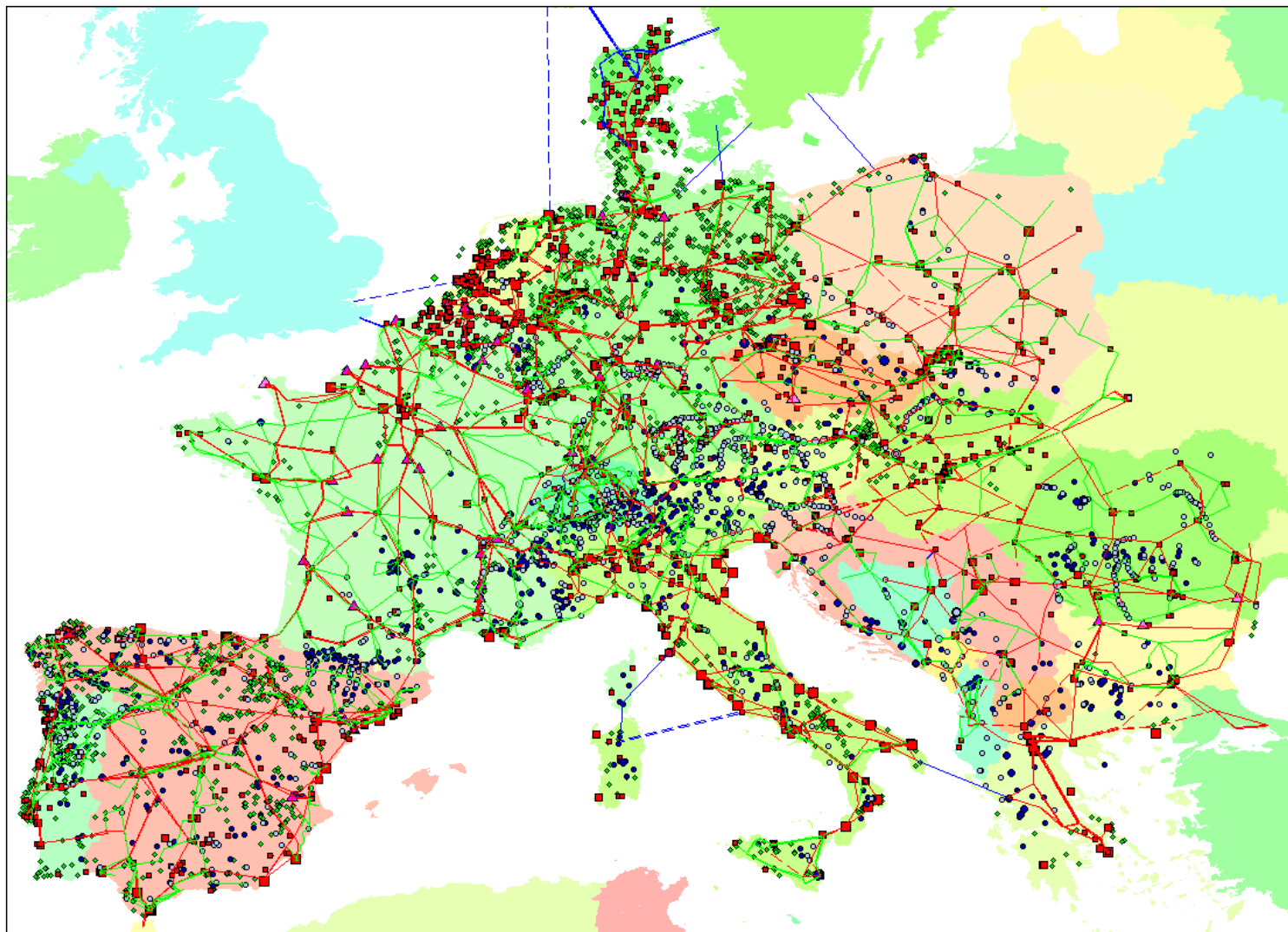


Gutschi Kraftwerk Drogenbos



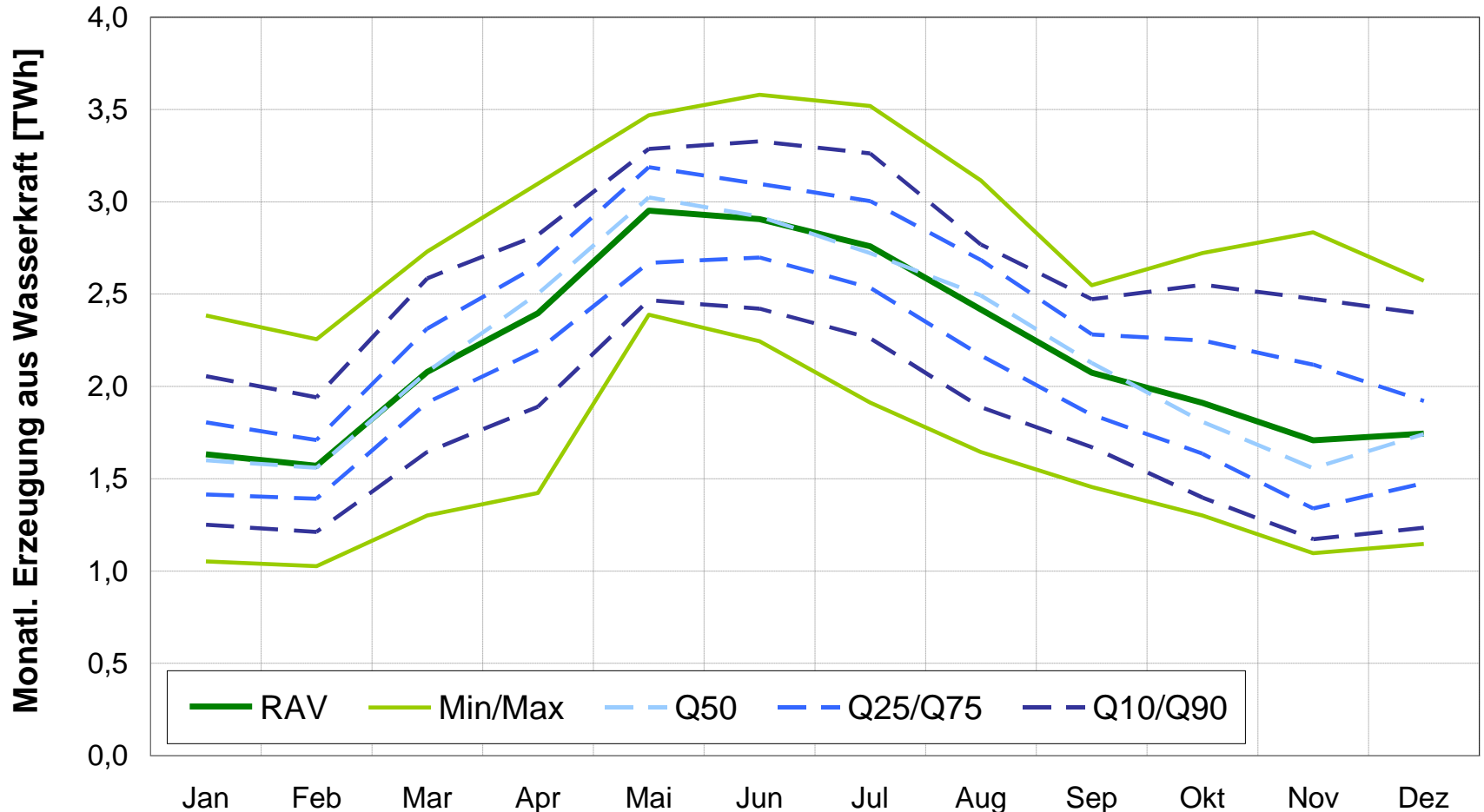


# Gesamtes realwirtschaftliches Modell



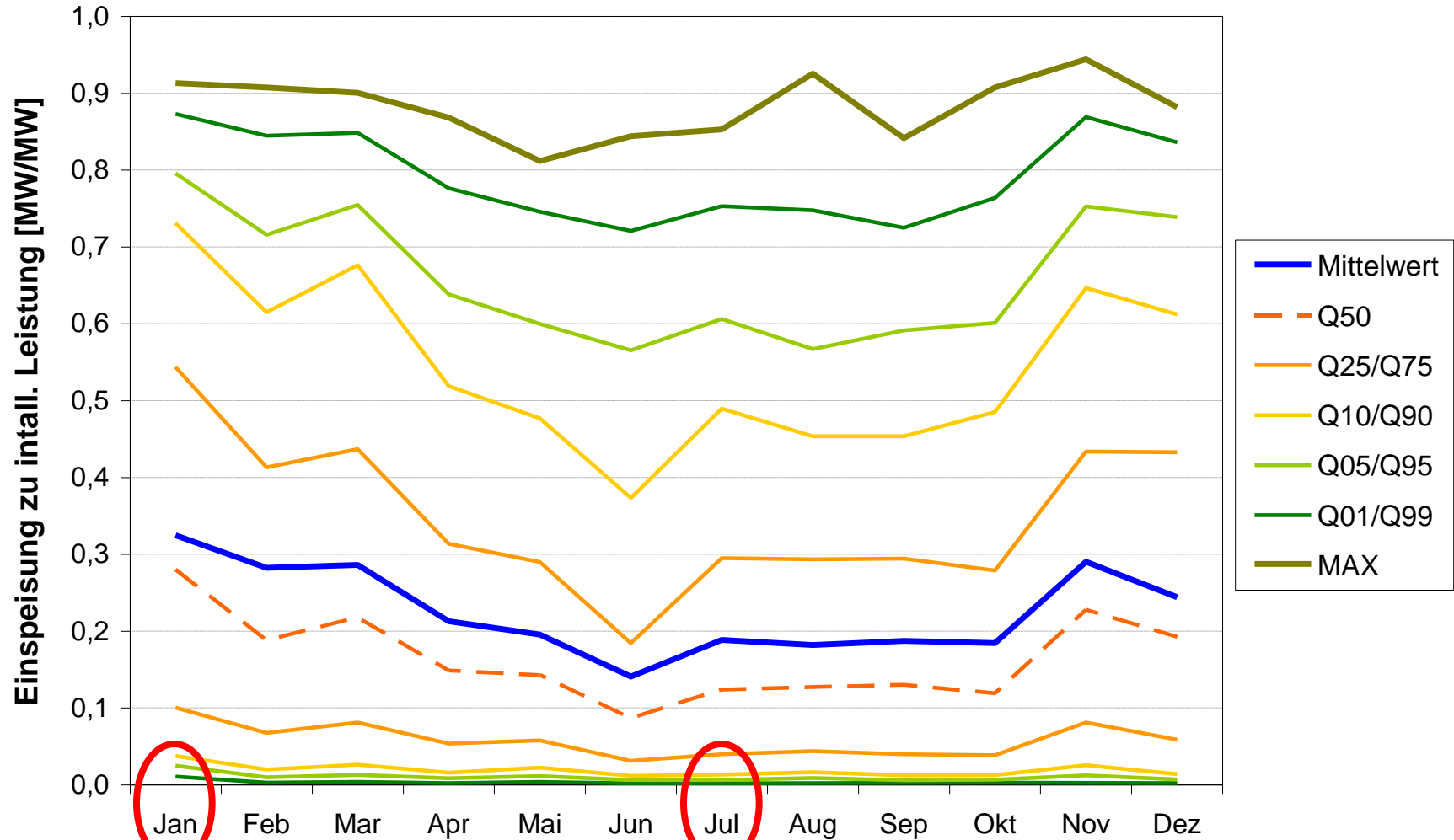
# Physikalisches Modell: Wasserkraft

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



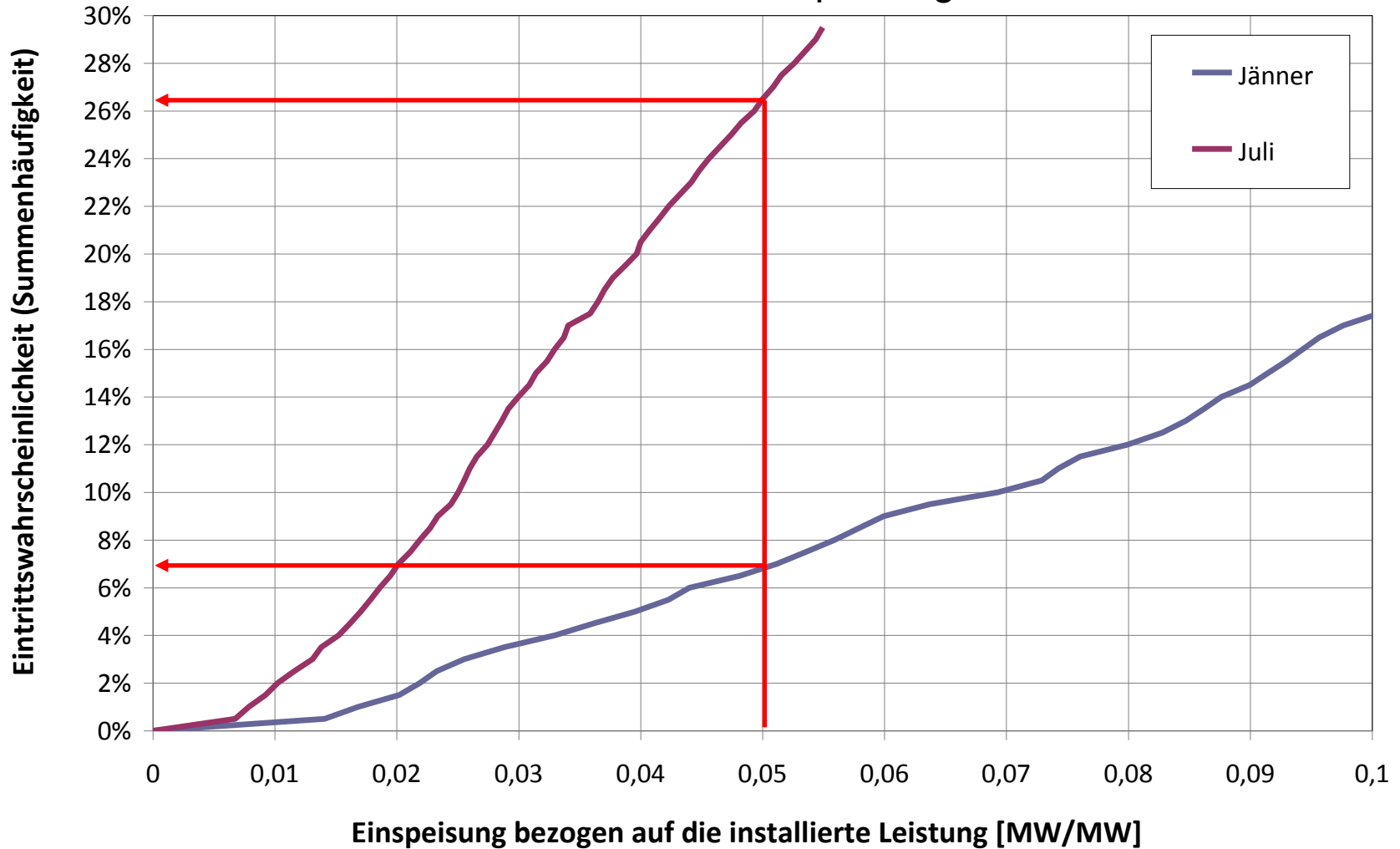
# Windkraft-Modellierung (in Arbeit)

## Windstromerzeugung in Österreich 2004-2008



# Windkraft in Deutschland

Stundenwerte der Windkrafteinspeisung, 2006-2008



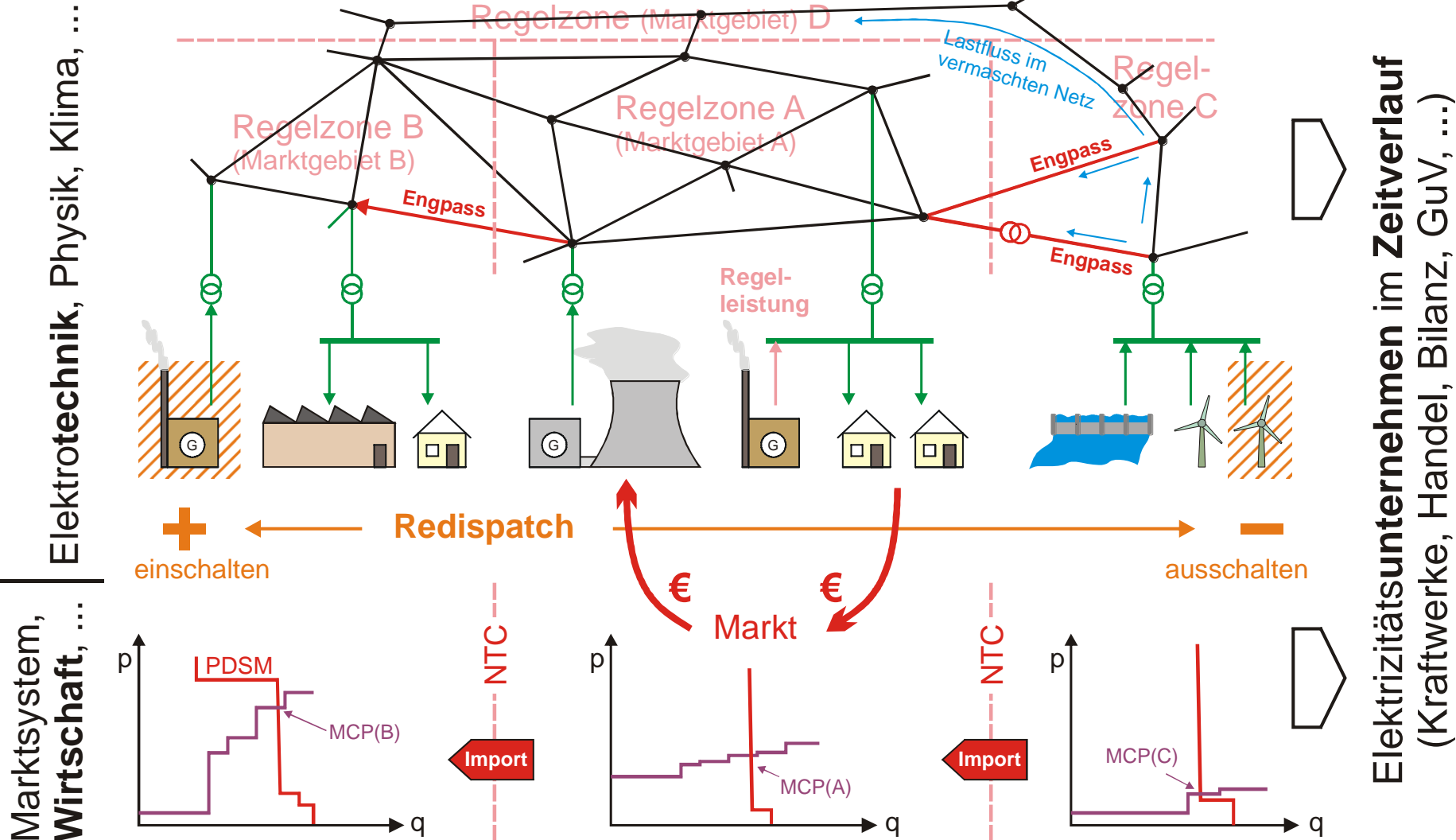
# MODELL- BESCHREIBUNG



# Erstes Konzept



# ATLANTIS – Elektrizitätswirtschaft in der Zeit



Elektrotechnik, Physik, Klima, ...

Marktsystem, Wirtschaft, ...

Elektrizitätsunternehmen im Zeitverlauf  
(Kraftwerke, Handel, Bilanz, GuV, ...)

# Berechnungsabläufe in ATLANTIS



2006 bis 2030: **25 Jahre**

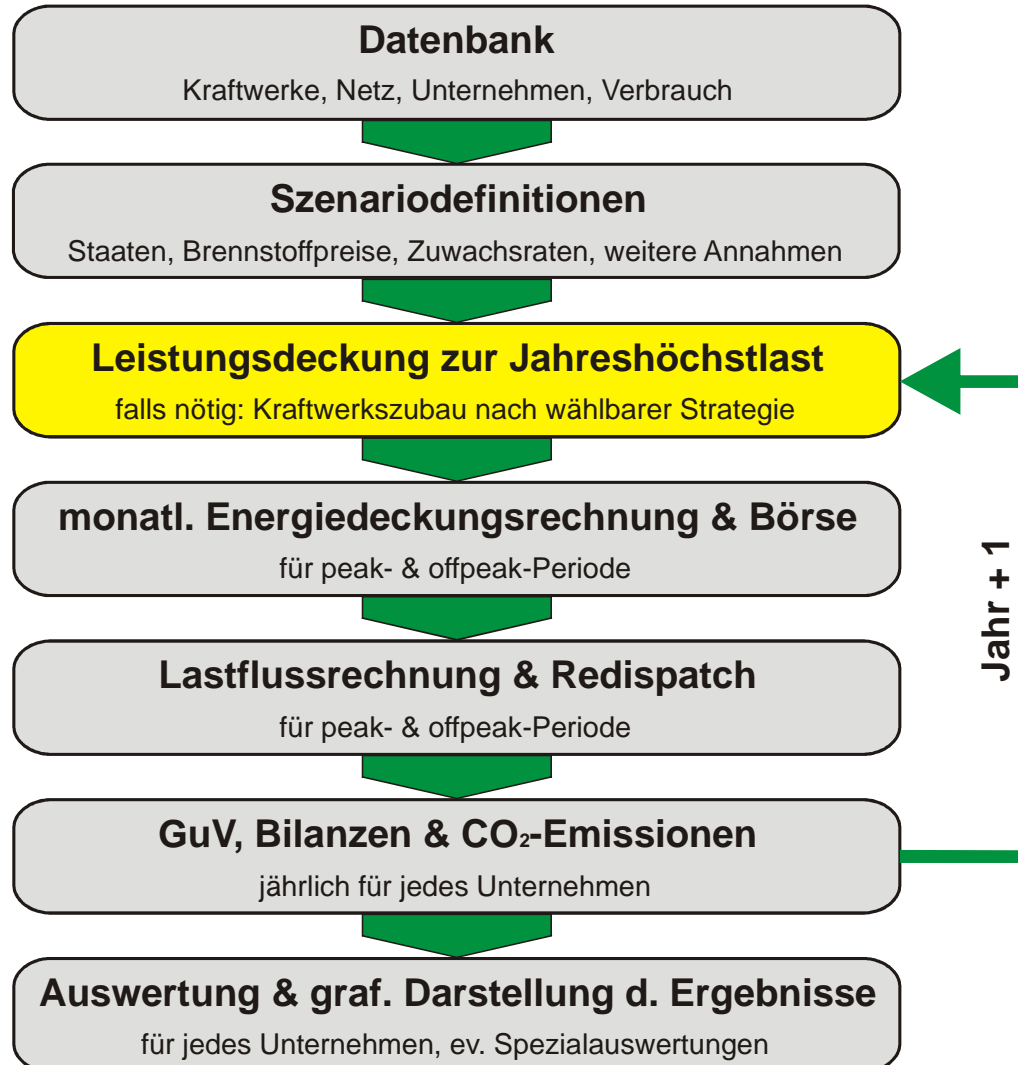
**24+2** Deckungsrechnungen p.a.  
**>650** Lastflussrechnungen  
**600** x Börse & Redispatch

Simulationsdauer: 3-8 h  
 Datenbank: ca. 100 MB  
 Simulationsdaten: ca. 4 GB

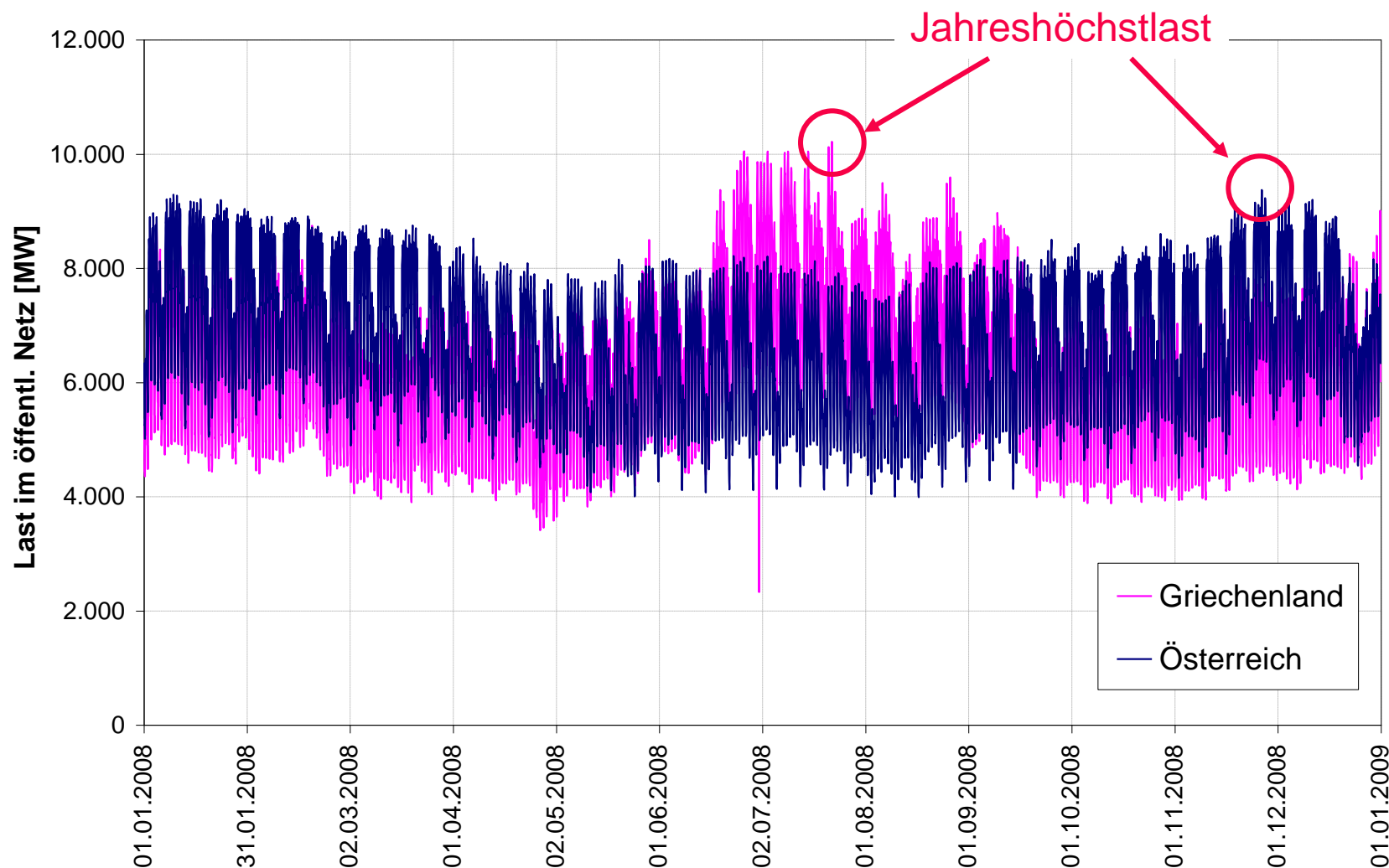
eingesetzte Software:  
 ACCESS/VBA & MS SQL  
 GAMS, MATLAB,  
 EXCEL

Jahr + 1

# Jährliche Leistungs-Deckungsrechnung

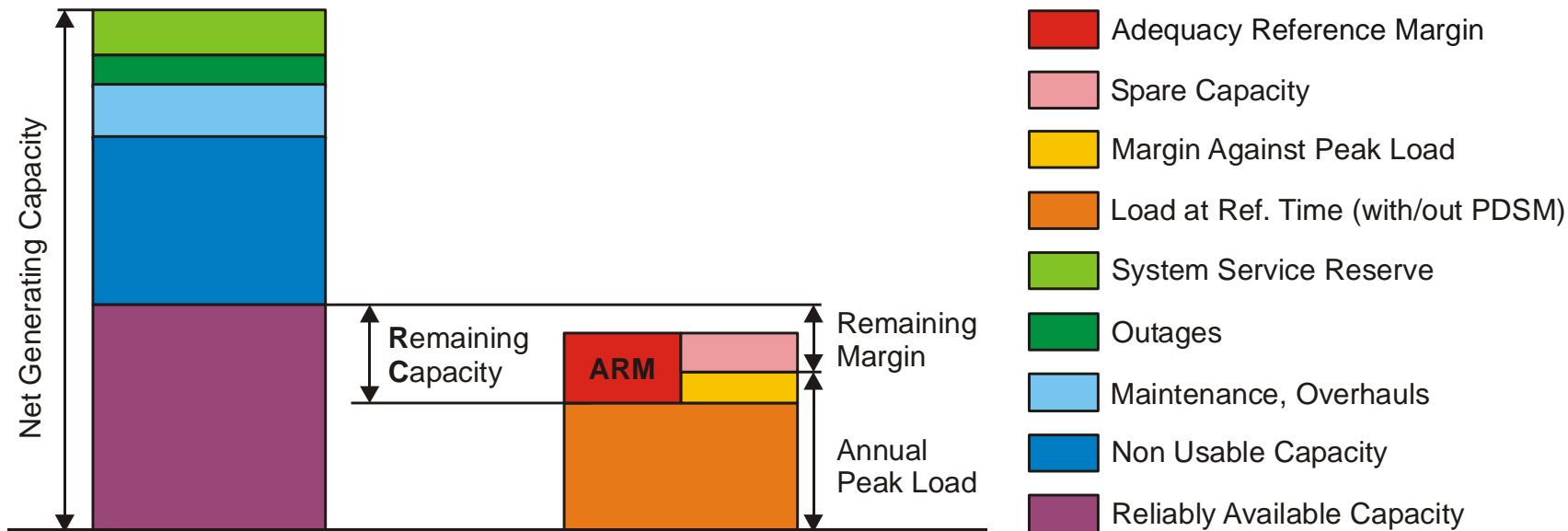


# stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land





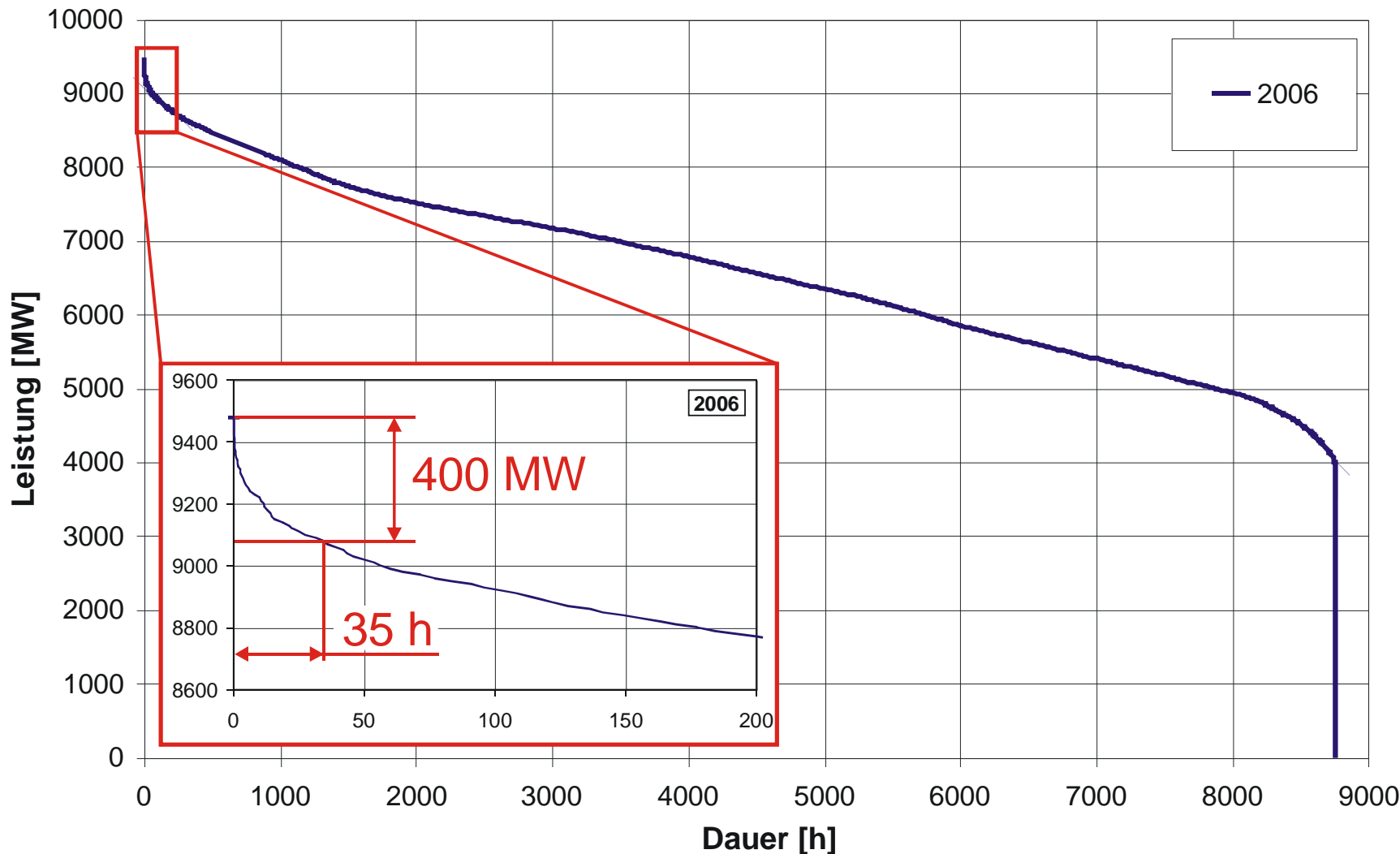
# Spitzenlastabdeckung (Bsp. ENTSO-E-Methodik)



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

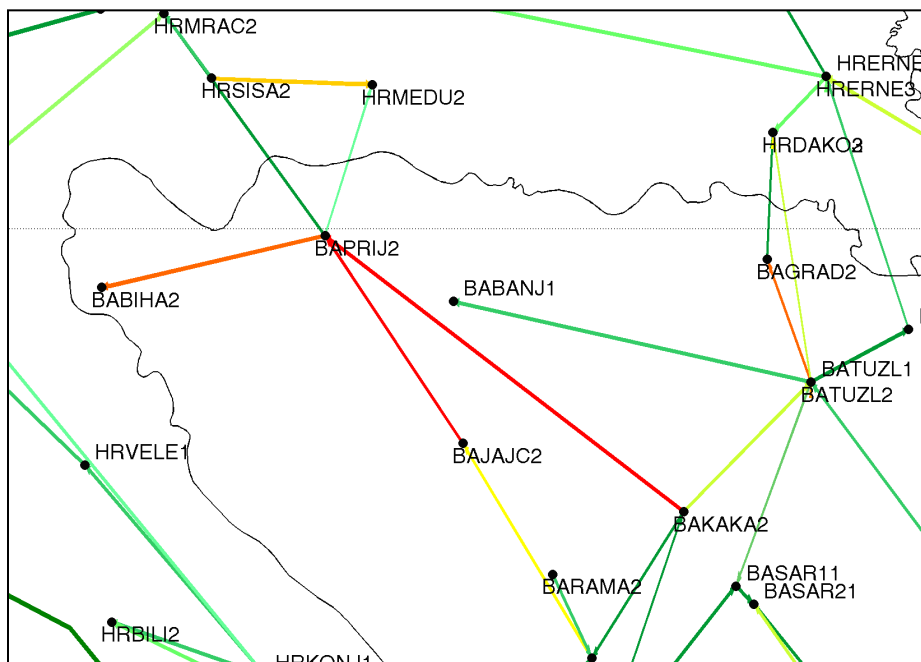
Systemstabilität gewährleistet, wenn **RC > ARM**

# Beispiel: Dauerlinie Österreichs

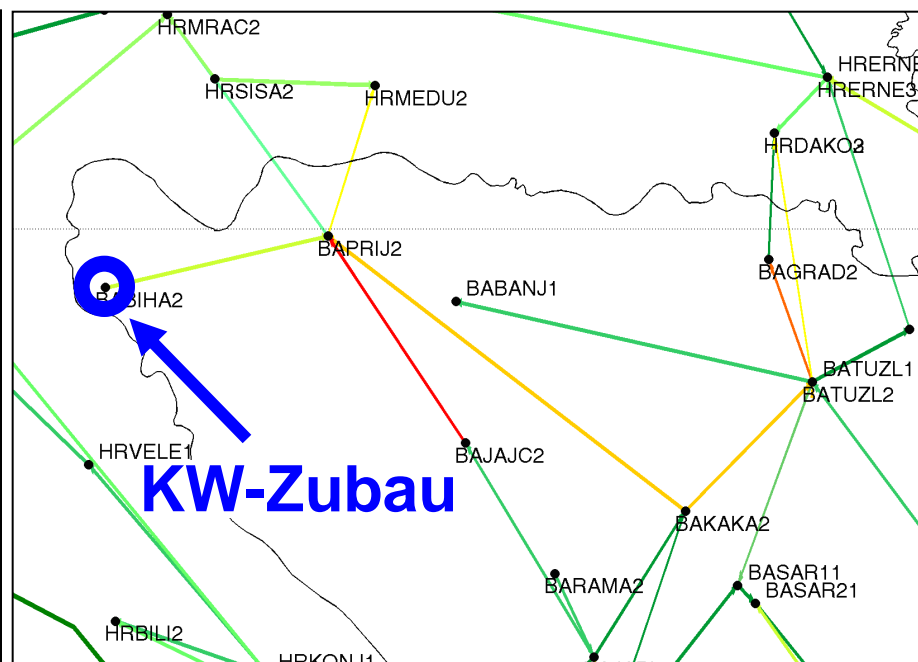


# automat. Kraftwerkszubau nach Netzanalyse

Jänner 2024, Spitze



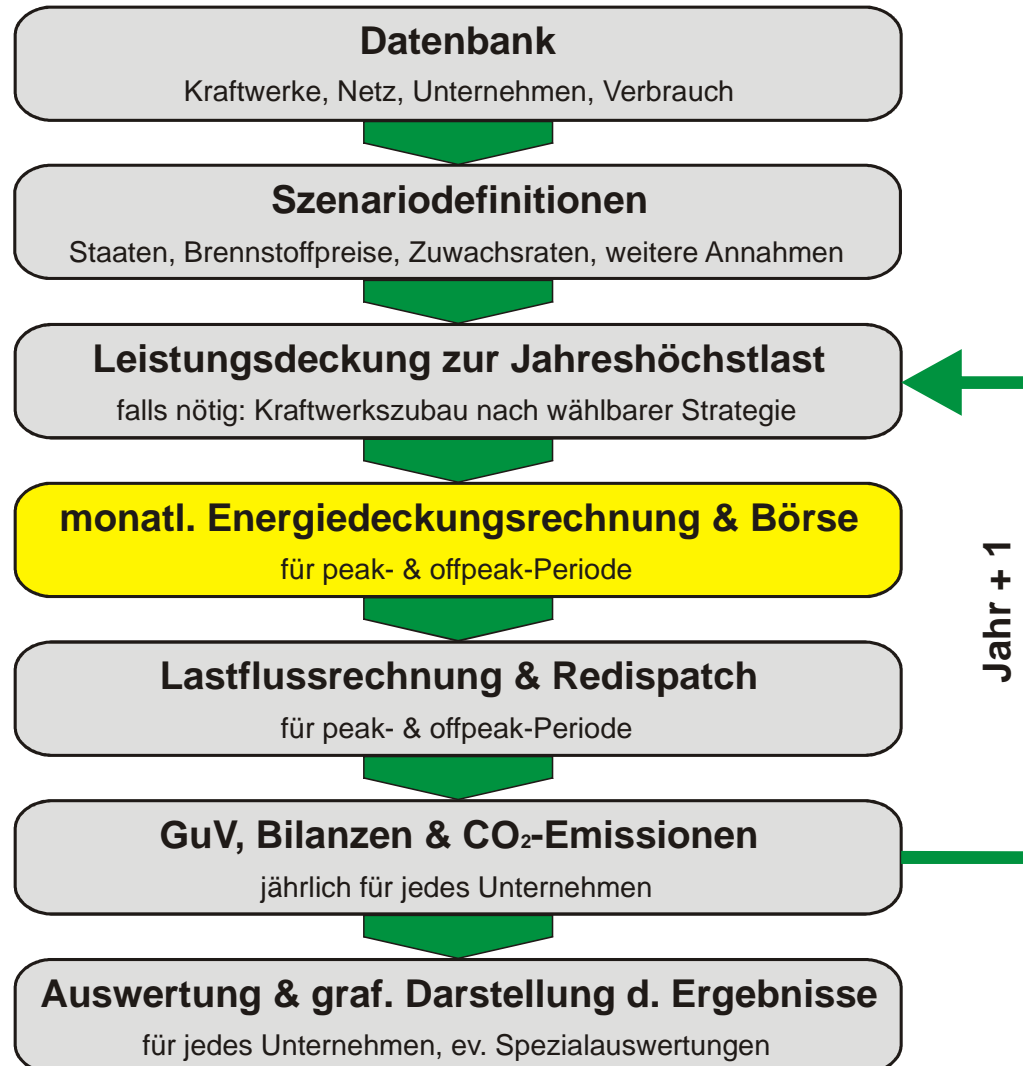
Jänner 2025, Spitze



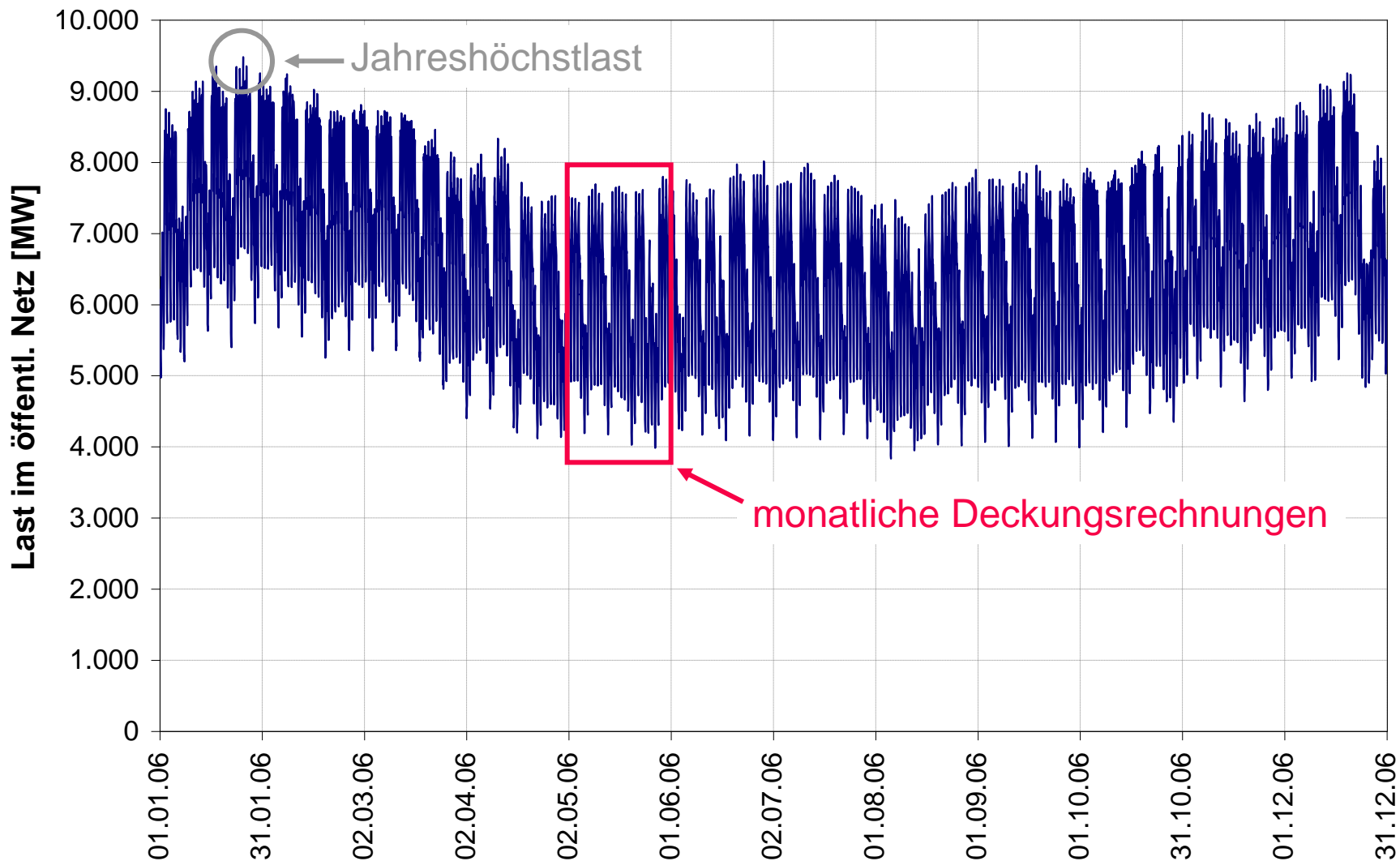
rot, gelb: hohe Leitungsauslastung  
 grün: niedrige Leitungsauslastung

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

# Monatliche Energie-Deckungsrechnungen

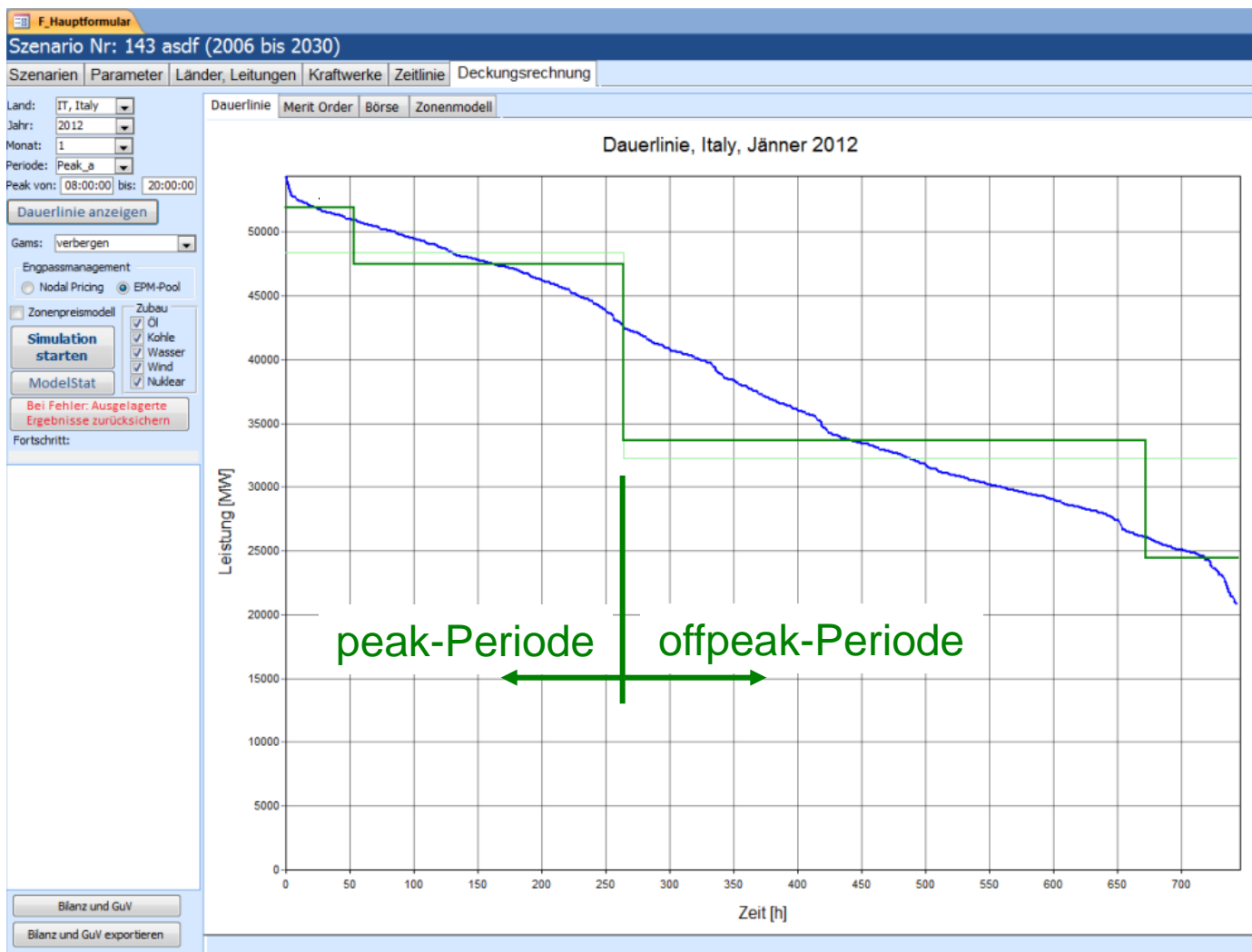


# stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land



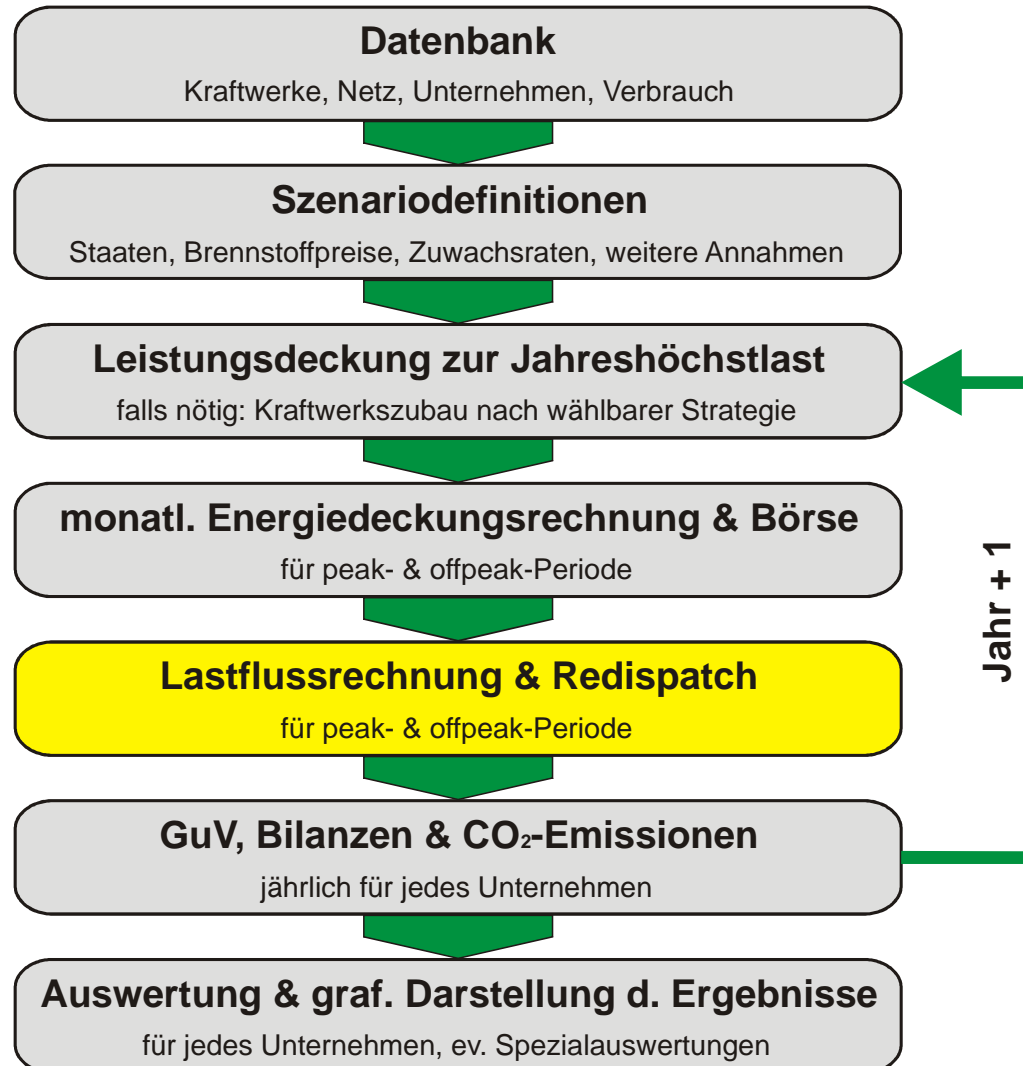


# Dauerlinie Italien Jan 2012: peak / offpeak

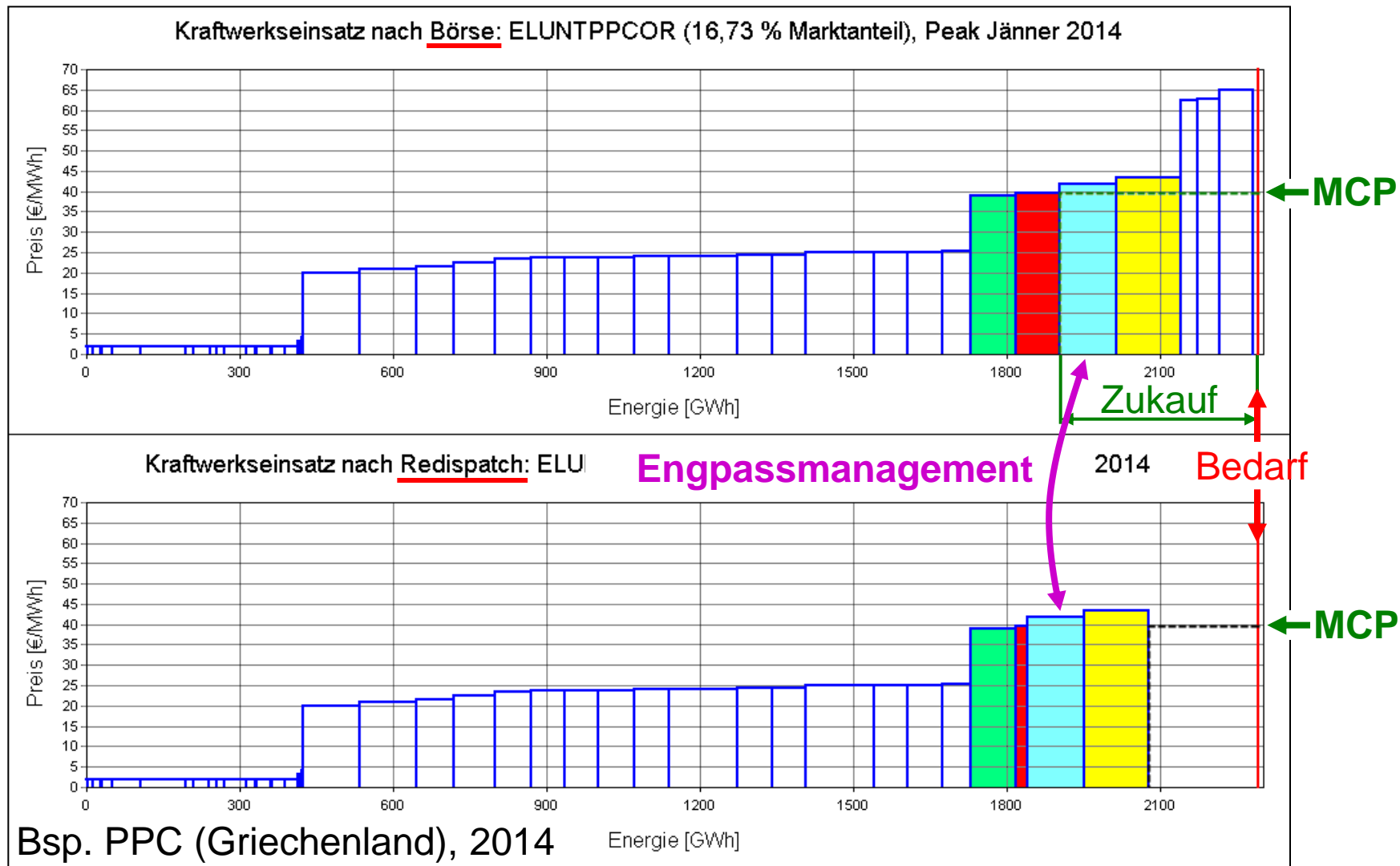


basierend auf Daten von ENTSO-E

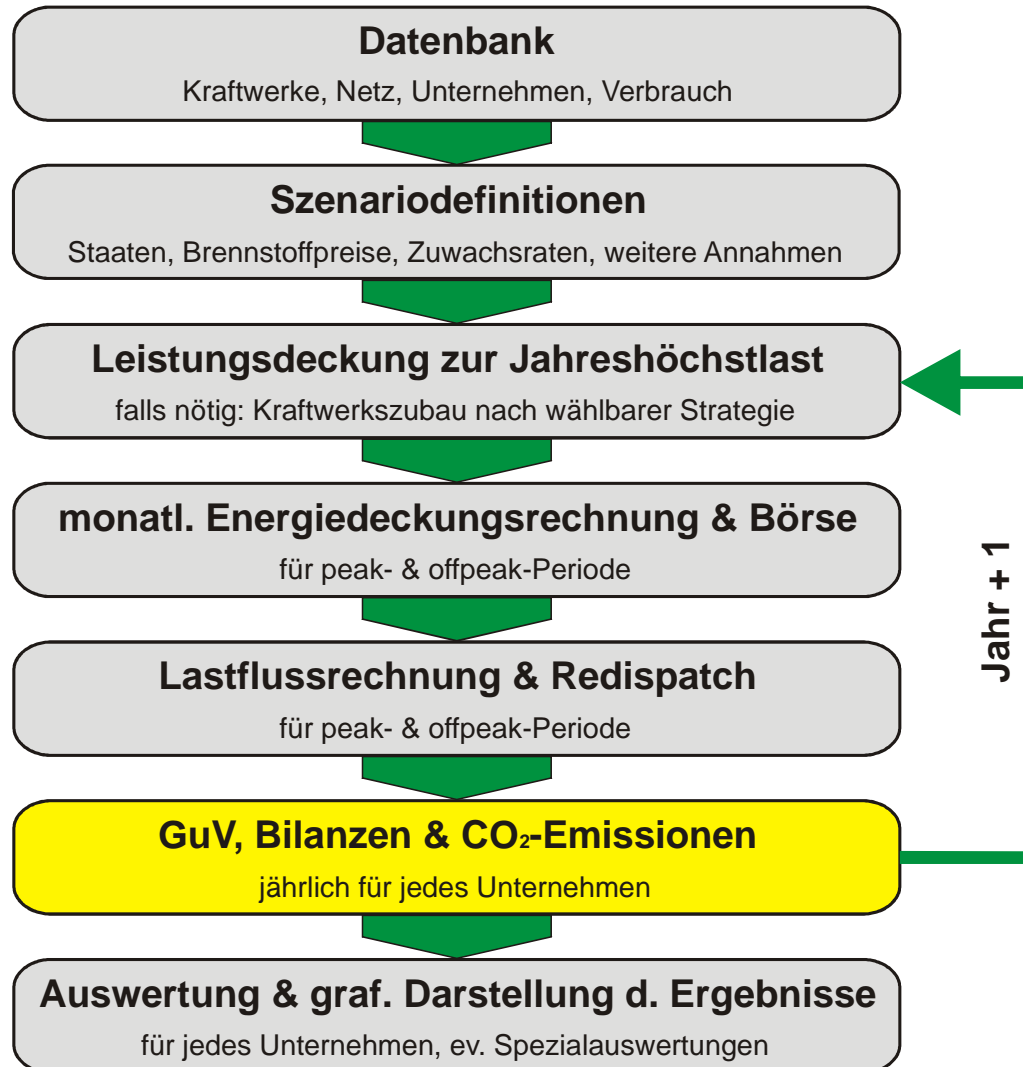
# Monatliche Lastflussrechng. und Redispatch



# KW-Einsatz nach Börse bzw. Redispatch



# Jährliche Bilanzierung



# Bilanzen 2006-2030 der 100 Unternehmen

		Jahr+1	Jahr+2	Jahr+n
		Jahr		
Aktiva	Passiva			
<p><b>Anlagevermögen*</b></p> <p>...aus KW-Park errechnet</p> <p>bestehende KWe</p> <p>neue KWe</p>	<p><b>Eigenkapital</b></p> <p><math>EK_{(t-1)} + \text{einbeh. Gewinn}</math></p> <p><math>t = 0: \text{Bilanzsumme} - FK</math></p>			
<p><b>Umlaufvermögen</b></p> <p><math>t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.) übernommen}</math></p>	<p><b>Fremdkapital</b></p> <p>Bilanzsumme - EK</p> <p><math>t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.) übernommen}</math></p>			

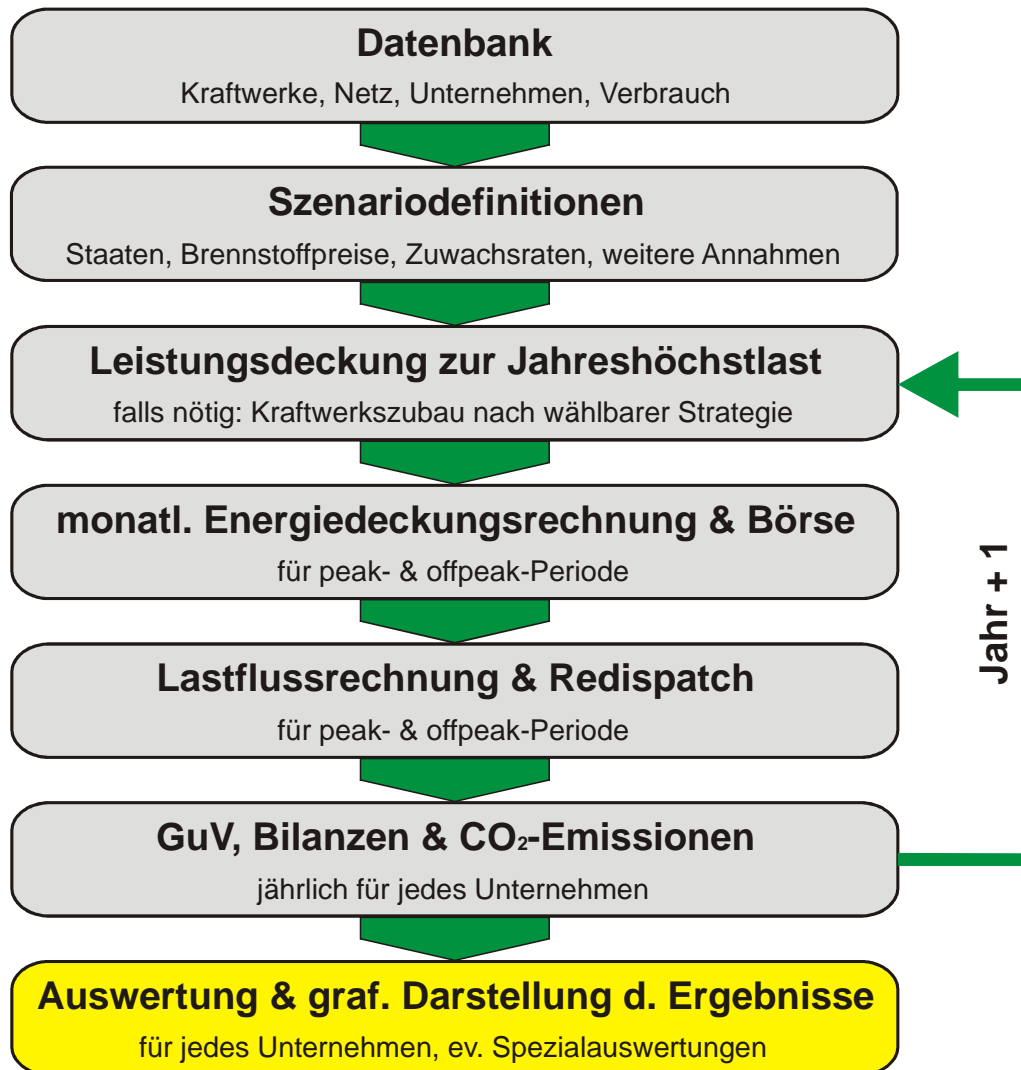
\* Bilanzierung nach hist. Anschaffungswertprinzip (vgl. UGB)



# GuV-Rechnung 2006-2030 je Unternehmen

		Jahr+n	
		Jahr+2	
		Jahr+1	
Aufwendungen	Erträge/Erlöse		
<p><b>Abschreibungen</b> aus KW-Park berechnet</p>	<p><b>Stromerlöse (End)kunden</b> wird „angepasst“ um den geforderten Gewinn zu erzielen: = <math>\Sigma</math>Aufwend. + Gewinn - Erlöse(Großhandel) – Erträge(CO<sub>2</sub>)  <i>in weiterer Folge:</i> Erlöse(Kunden) / gelieferte Arbeit = <b>erf. Mindeststrompreis [€/MWh]</b></p>		
<p><b>FK-Zinsen</b> FK<sub>(1.Jan.)</sub> * FK-Zinssatz</p>			
<p><b>Personal + Administration</b> aus GuV (realer JA) übernommen</p>			
<p><b>Brennstoff + Betriebsstoffe</b> aus Kraftwerkseinsatz</p>			
<p><b>Stromzukauf</b> aus Deckungsrechng. MCP * (Eigenbedarf - Erzeugung)</p>		<p><b>Stromerlöse Großhandel</b> aus Deckungsrechnung MCP * (Erzeugung - Eigenbedarf)</p>	
<p><b>Aufwand aus CO<sub>2</sub>-Zertifikaten</b> CO<sub>2</sub>-Ausstoß * EZ-Preis</p>		<p><b>Erträge aus CO<sub>2</sub>-Zuteilung</b> Allokation * EZ-Preis</p>	
<p><b>Gewinn</b> = EK<sub>(1.Jan.)</sub> * EK-Zinssatz</p>			

# Abschließende Auswertung und Visualisierung



# BEISPIEL- ANWENDUNGEN

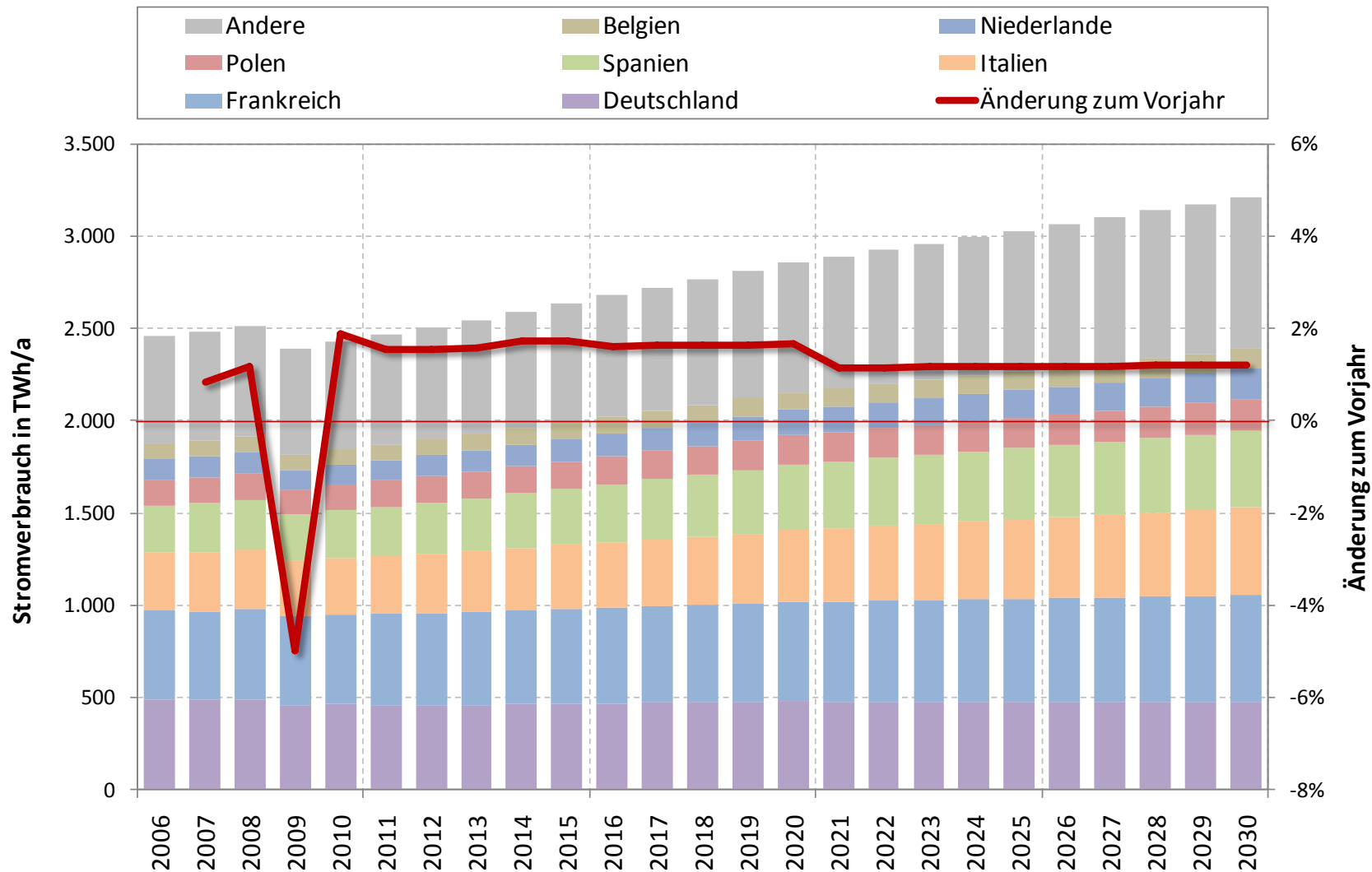
# Bsp. 1: Kraftwerkskapazitäten in Kontinentaleuropa

Fragestellung:

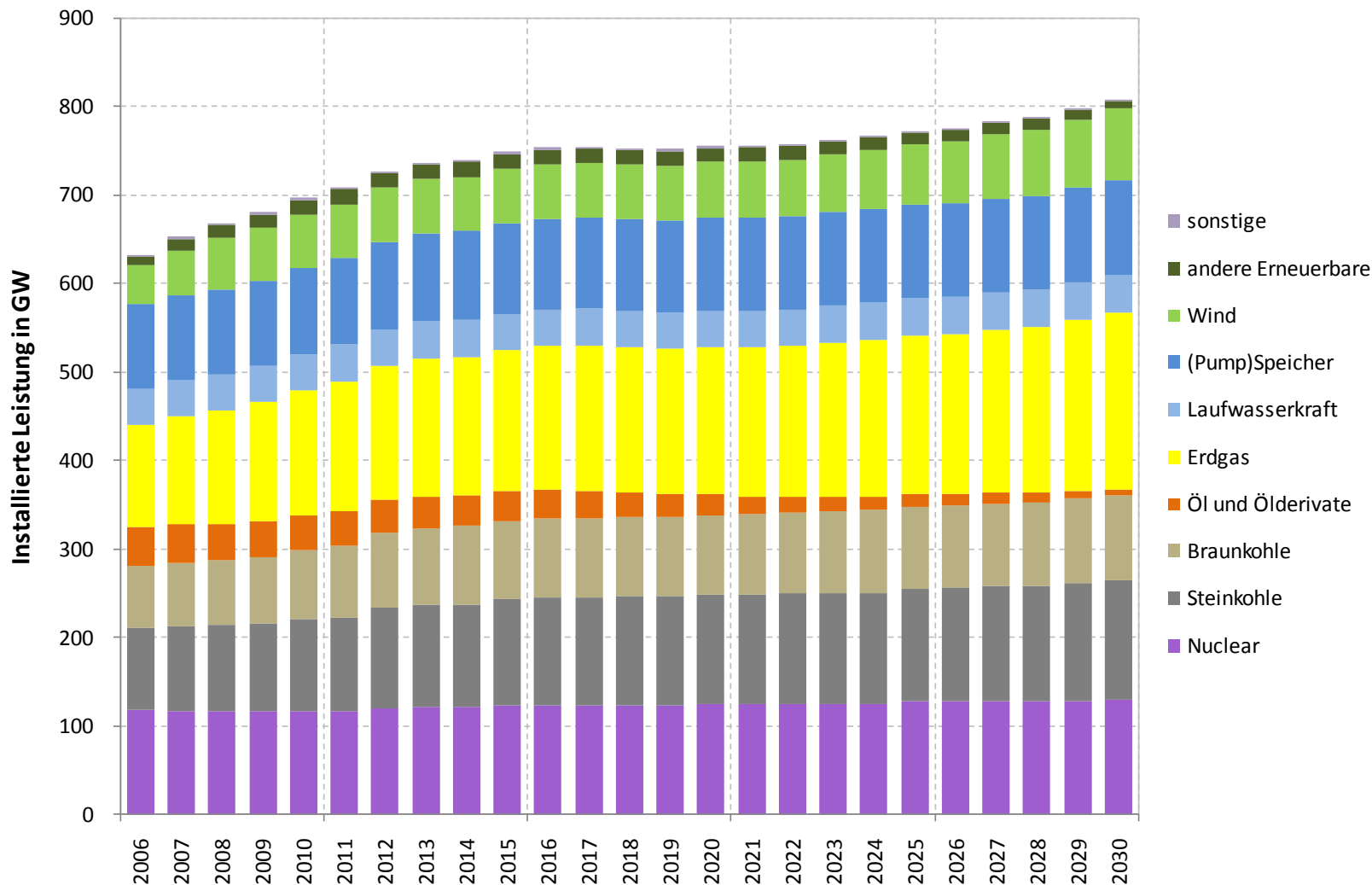
**Wie werden sich zukünftig die Kapazitäten im konventionellen Kraftwerkspark entwickeln?**

- Business-as-usual (Bau) Szenario:
  - Kraftwerke am Ende der Lebensdauer werden durch KWe des gleichen Typs ersetzt.
  - Ölkraftwerke werden nicht mehr neu errichtet.
  - Bedarfsanstieg wird durch neu GuD-Blöcke abgedeckt.
  - Kraftwerksausbau erfolgt streng nach Erfordernissen zur Spitzenlastabdeckung
  - RES-Ausbau wird ab 2012 nicht berücksichtigt.
  - technischer Fortschritt in der Kraftwerkstechnik  
2030: Kohle >50%, GuD 65%
  - var. Kosten der GuD-Kraftwerke sind höher als bei Kohle-Kraftwerken.

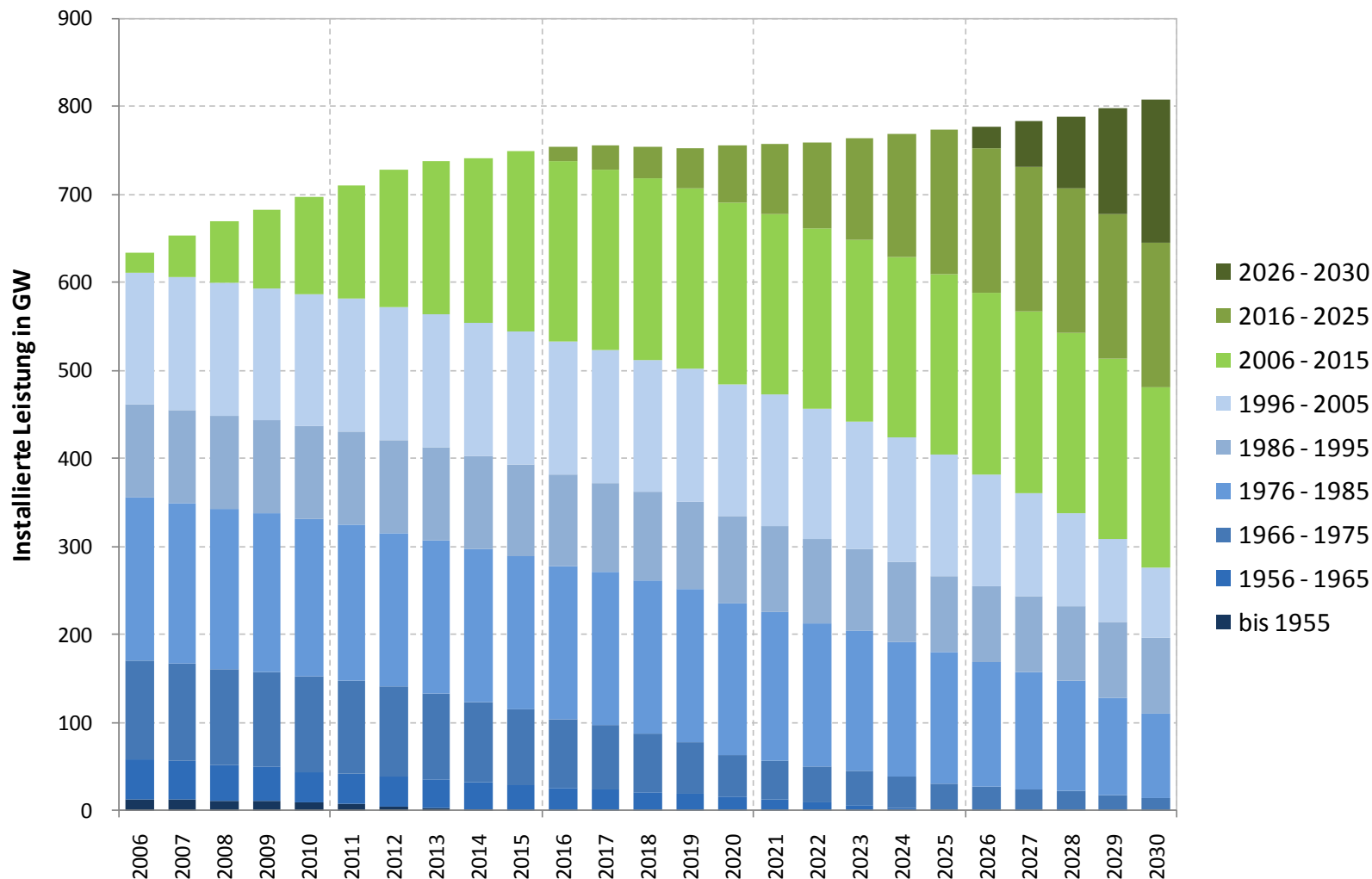
# Entwicklung des Stromverbrauchs



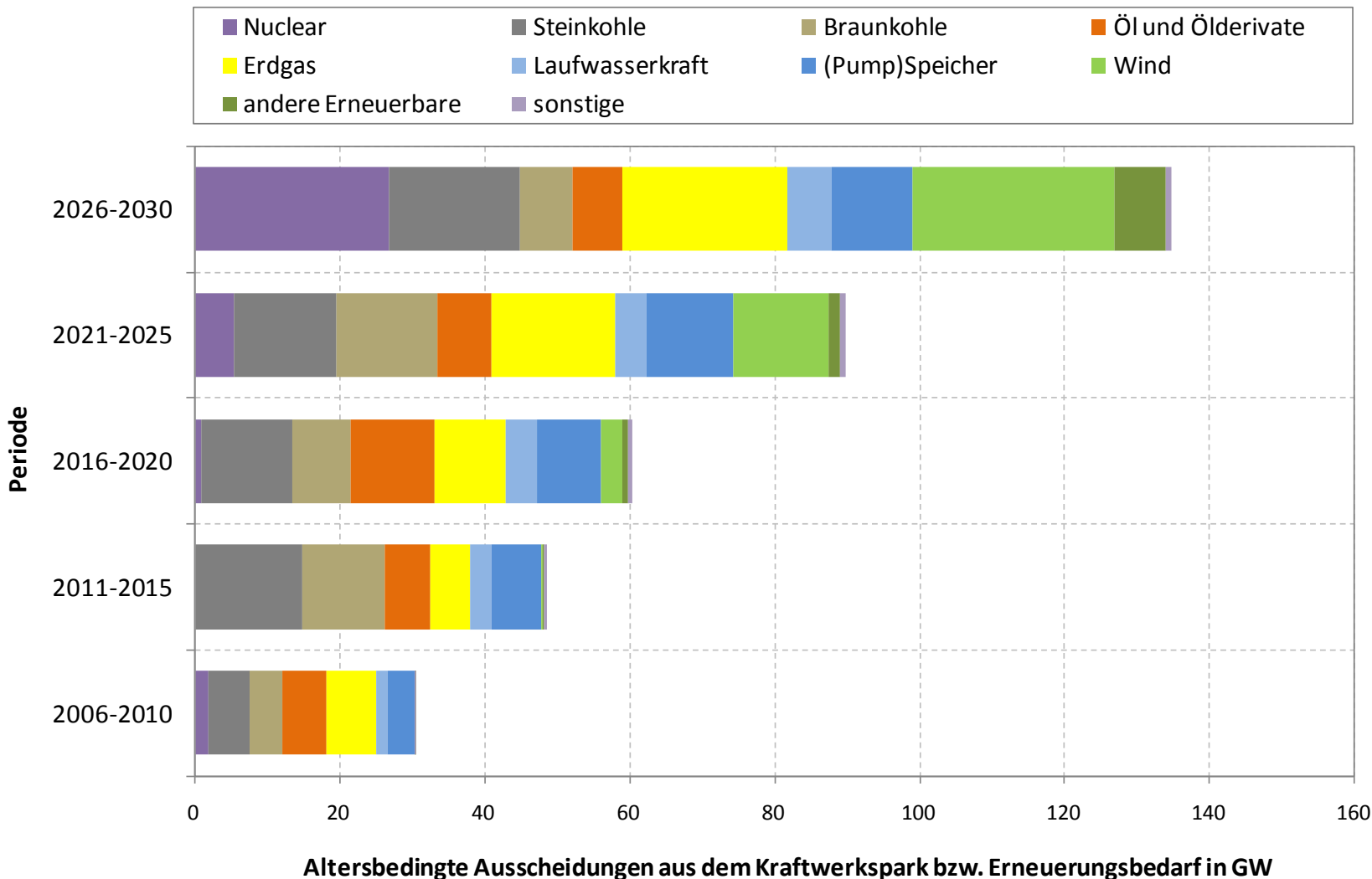
# Bau-Szenario: Entwicklung des Kraftwerksparks



# Bau-Szenario: Altersstruktur des Kraftwerksparks



# Erneuerungsbedarf im Kraftwerkspark



Altersbedingte Ausscheidungen aus dem Kraftwerkspark bzw. Erneuerungsbedarf in GW



## Bsp. 2: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung

*Fragestellung:*

**Können die EU-Emissionsziele durch den Ausbau konventioneller Kraftwerke rechtzeitig erreicht werden?**

*Vergleich von 3 Szenarien:*

### **1. Bau-Szenario:**

wie zuvor

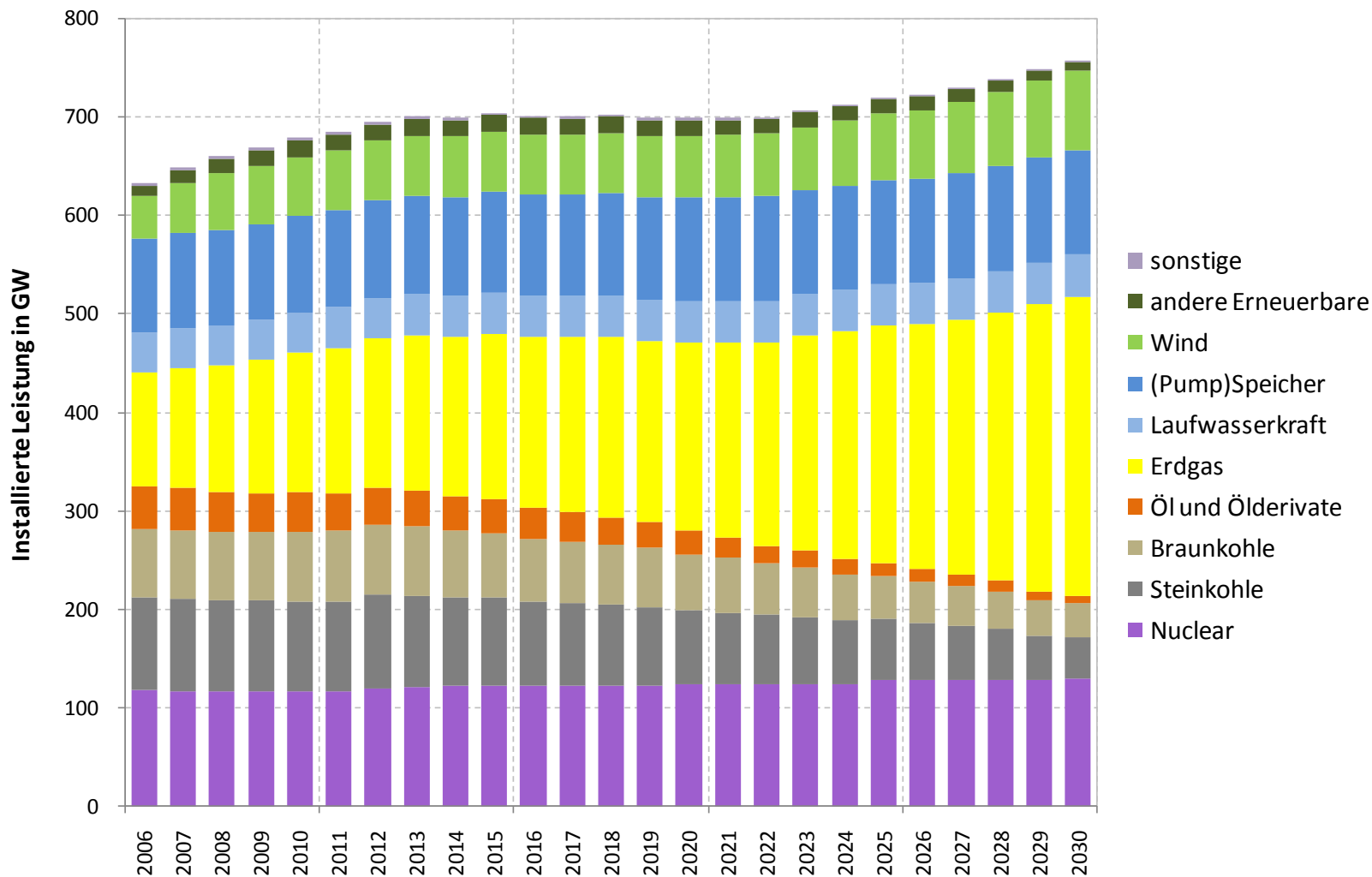
### **2. GuD-Szenario:**

Alle Kohlekraftwerke werden am Ende der Lebensdauer durch GuD-Kraftwerke ersetzt

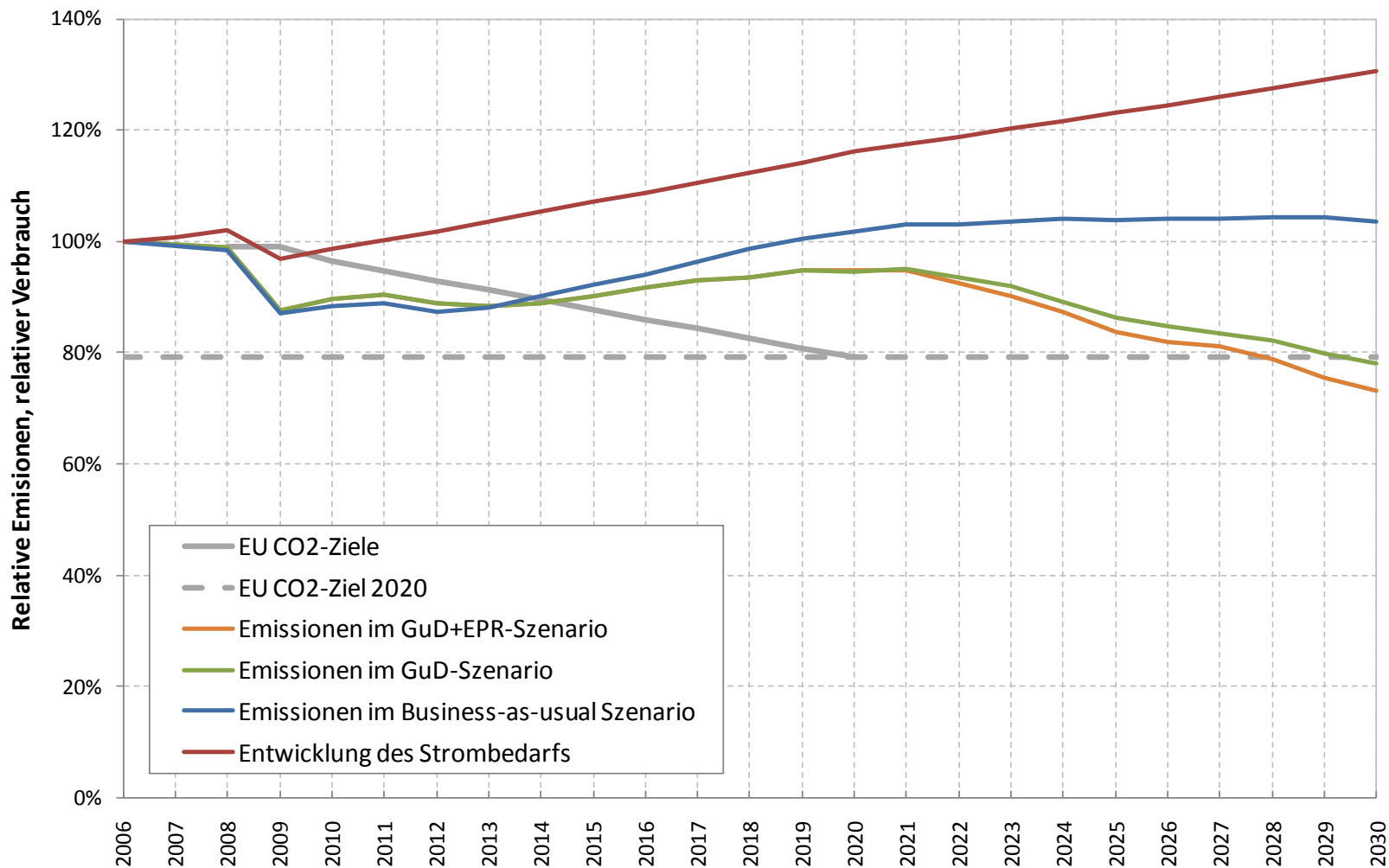
### **3. GuD+EPR-Szenario:**

Alle KKW werden am Ende der Lebensdauer durch leistungsstärkere Einheiten (Typ EPR) ersetzt.

# GuD-Szenario: Entwicklung des Kraftwerksparks



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



# Beabsichtigte Weiterentwicklungen

- **Überbau**

- Zukünftige Marktmodelle
- Volkswirtschaftspolitische Input-Output-Modelle

- **Unterbau**

- Gas-, Ölleitungen, Bahnnetze (Primärenergietransport)

- **Qualitätserhöhungen**

- Nutzung der RES-Potenziale
- Stochastik von Erzeugung und Bedarf und Elastizität des Bedarfs
- Deckungsrechnungen
- Märkte für Systemdienstleistungen
- Jahres-Kraftwerkseinsatzoptimierung

# Zusammenfassung

- ATLANTIS ist ein Szenariomodell zur Untersuchung von **Gesamtsystemeffekten** in der kontinentaleuropäischen Elektrizitätswirtschaft
- Erzeugung, Verbundnetz, Bedarf, Märkte und Unternehmen werden in einem Modell berücksichtigt.

Fallbeispiele:

- KW-Bau in Kontinentaleuropa:
  - Zubau- bzw. Erneuerungs-Bedarf bis 2030 mind. 530 GW
  - hoher Erneuerungsbedarf ab 2020 für KKW und RES
- EU-Emissionsziele bei prognostiziertem Verbrauchsanstieg:
  - können ausschließlich durch Umstieg Kohle→Gas bis 2020 **nicht** erreicht werden, wenn die Kohlekraftwerke bis zum Ende der Lebensdauer betrieben werden
  - sind nur durch weiteren RES-Ausbau oder vorzeitige Stilllegung von Kohlekraftwerken realisierbar

# ATLANTIS-Team

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

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



 Technische Universität Graz  
Erzherzog-Johann-Universität

**I E E**

Institut für Elektrizitätswirtschaft  
und Energieinnovation

# DiplomandInnen/DissertantInnen

1	HUBER	ET	DA	2002	33	BEDENIK	USW/BWL	DA	2008
2	FINK	ET	DA	2002	34	GRILLITSCH	USW/BWL	DA	2008
3	GAMSJÄGER	USW/VWL	DA	2003	35	REDL	USW/BWL	DA	2008
4	WULZ	ET	DA	2003	36	SITZWOHL	USW	DA	2008
5	BADER	ET	DA	2003	37	PISKERNIK	ET + PSY	DIS	2008
6	HEREGGER	ET	DA	2003	38	NISCHLER	ET	DA	2009
7	POGLITSCH	USW/BWL	DA	2004	39	HUBER	USW/BWL	DA	2009
8	UJETZ	ET	DA	2004	40	JAGL	USW/VWL	DA	2009
9	TODEM	ET	DIS	2004	41	TYMA	ET + VWL	DA	2009
10	BACHHIESL	MB-Wi	DIS	2004	42	WIMMER	USW/BWL	DA	2009
11	HAFNER	BWL+Geo	DIS	2004	43	ESS	USW	DA	2009
12	SCHLÖGL	USW/VWL	DA	2005	44	FLESCH	USW/BWL	DA	2009
13	STEINER	USW/BWL	DA	2005	45	WIEDENEGGER	ET	DA	2009
14	HÖLLER	USW/BWL	DA	2005	46	LUEGER	USW	DA	2009
15	ROHRBÖCK	Uni Krems	DA	2005	47	POCK	USW/BWL	DA	2009
16	HOFMANN	USW/BWL	DA	2005	48	MARIN	USW/BWL	DA	2009
17	TOMANTSCHGER	USW/BWL	DA	2005	49	MAIR	USW/GEO	DA	2009
18	CADEK	USW/BWL	DA	2006	50	HASAWEND	USW/BWL	DA	2009
19	HORNICEK	USW/BWL	DA	2006	51	LANGMANN	USW/VWL	DA	2009
20	STUBENVOLL	USW/BWL	DA	2006	52	MAYER	USW/GEO	DA	2010
21	RAGA-VILAR	ET	DA	2006	53	SCHÜPPEL	ET	DA	2009
22	GRABNER	ET+BWL	DA	2006	54	KRAINZ	USW/BWL	DA	2009
23	FÜRNKRANZ	USW/BWL	DA	2006	55	POJER	USW/BWL	DA	2009
24	AZUARA	ET	DA	2006	56	NACHT	ET	DA	2009
25	DORFINGER	USW/Physik	DA	2007	57	POSCH	ET	DA	2009
26	KRYEZIU	ET	DA	2007	58	HÜTTER	ET	DA	2009
27	GUTSCHI	VT	DIS	2007	59	STELZMANN	ET	DA	2010
28	MESSNER	USW/BWL	DA	2008	60	FATH	ET	DA	2010
29	MESSNER	BWL	DA	2008	61	HESCHL	USW/BWL	DA	2010
30	SCHROTTNER	USW/BWL	DA	2008	62	MALLITS	ET	DA	2010
31	KAUFMANN	USW	DA	2008	63	INDRIST	ET	DA	2010
32	SCHREINER	USW/BWL	DA	2008					