

# ATLANTIS – Forschungsinstrument des Instituts für Elektrizitätswirtschaft

12. Symposium Energieinnovation  
15. Feb. 2012, TU Graz

Christoph Gutschi, Heinz Stigler

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation  
Technische Universität Graz

# Inhalt

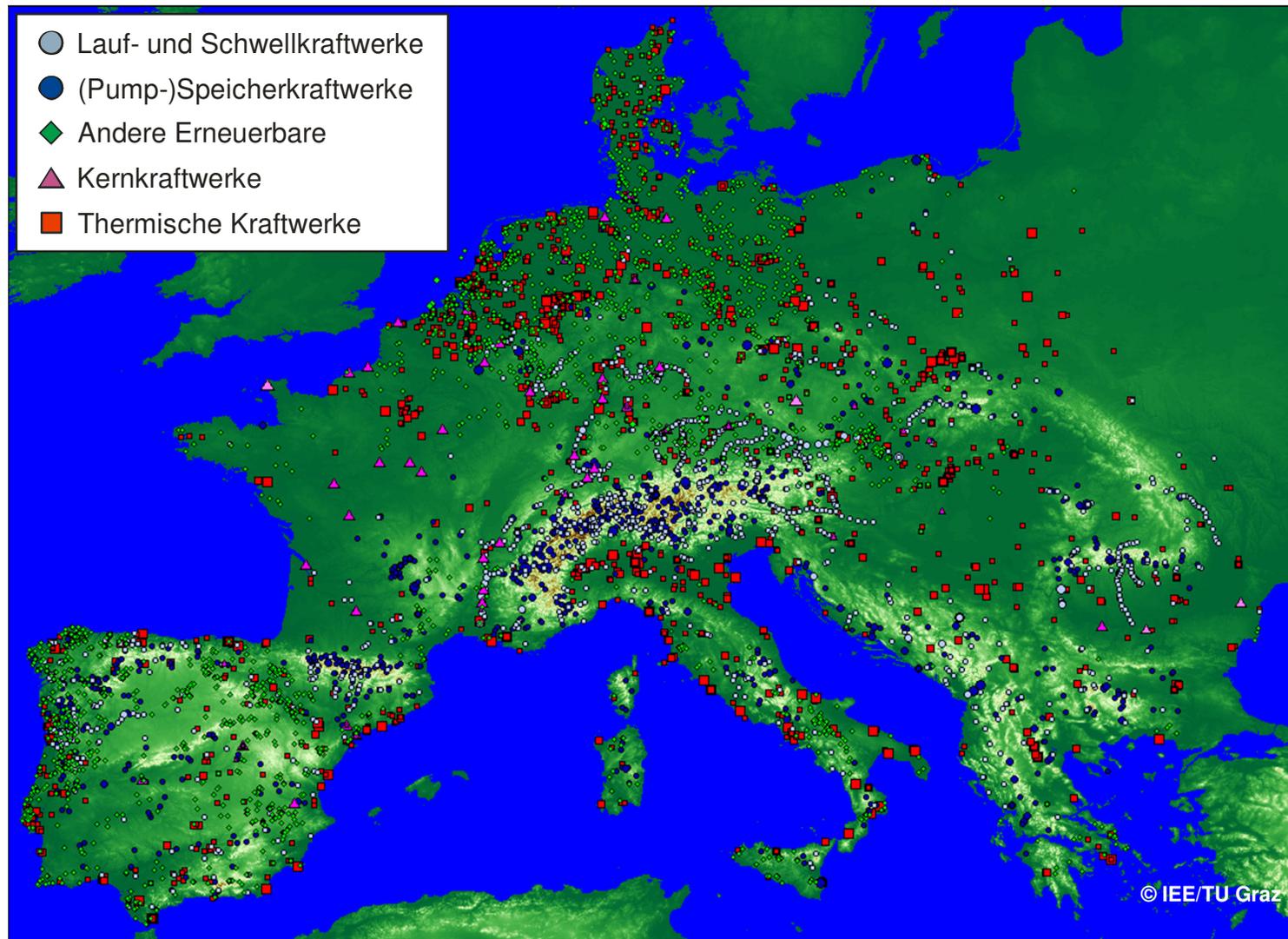
- Idee von „ATLANTIS“
- Daten und Datenbanken
- Modellbeschreibung: Komponenten und Funktionen
- Beispielanwendungen
- Beabsichtigte Weiterentwicklungen

# SIMULATIONSMODELL ATLANTIS

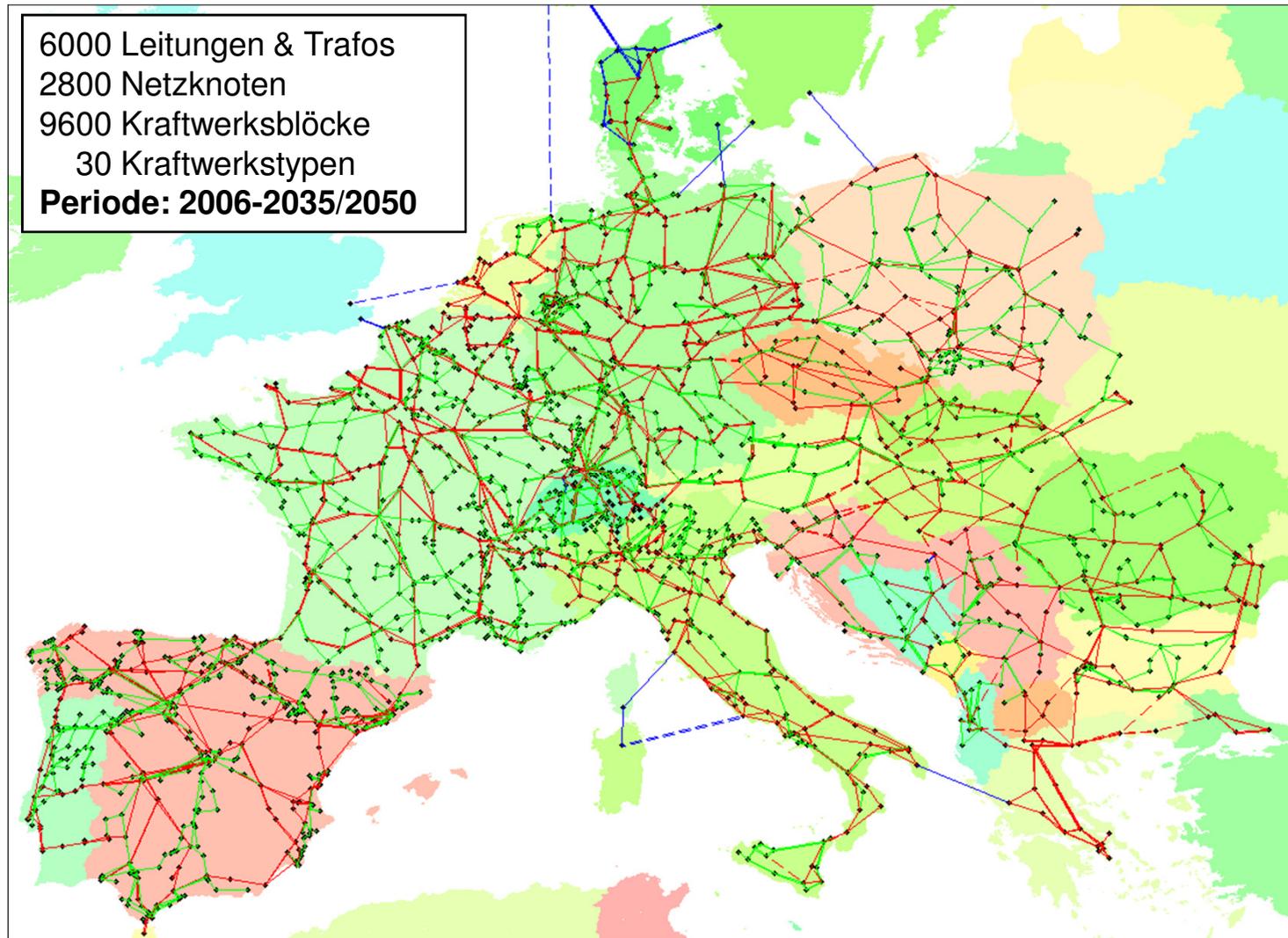
## Simulationsmodell ATLANTIS – Eckdaten

- Untersuchung der **Gesamtsystemzusammenhänge** in der kontinentaleuropäischen Elektrizitätswirtschaft (ehem. UCTE)  
*Erweiterung auf Nordpool und UK in Arbeit*
- In einem Modell: Strombedarf (2800 Knoten), Kraftwerkseinsatz (9600 KW-Blöcke), Ausbauplanung, Börse(n), Lastfluss (6000 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., >50 Diplomarbeiten
- Weiterentwicklung: aktuell 5 Wissenschaftler + 6 Diplomanden
- Fachdisziplinen: ET, MB, KW-Technik, BWL, VWL, Wasserwirtschaft, Systemwissenschaften, Mathematik, Informatik, Geografie (GIS)
- **100% aus Eigenmittel** des Institutes finanziert

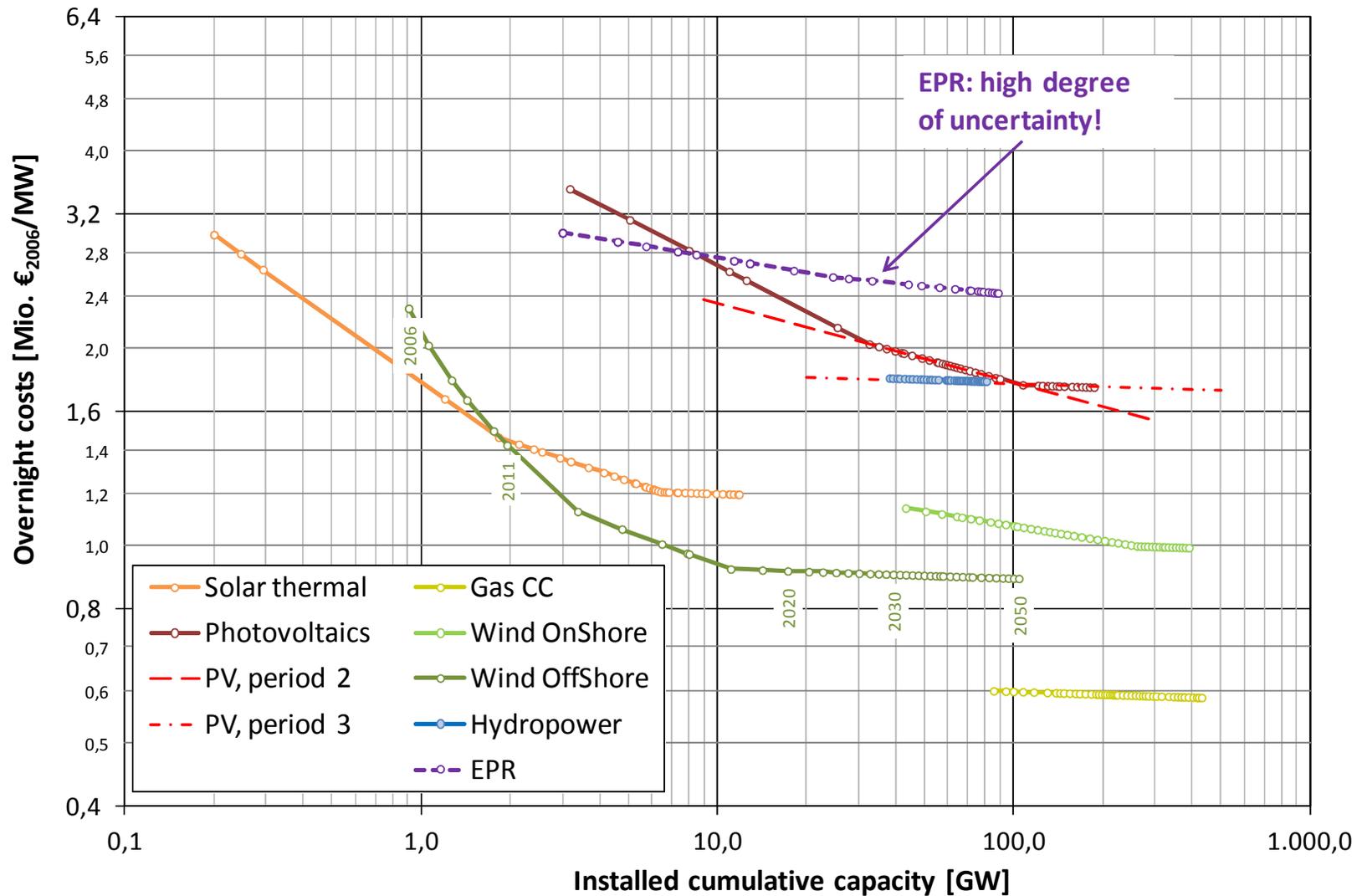
# Physikalisches Modell: Kraftwerke



# Physikalisches Modell: Netz und Verbrauch



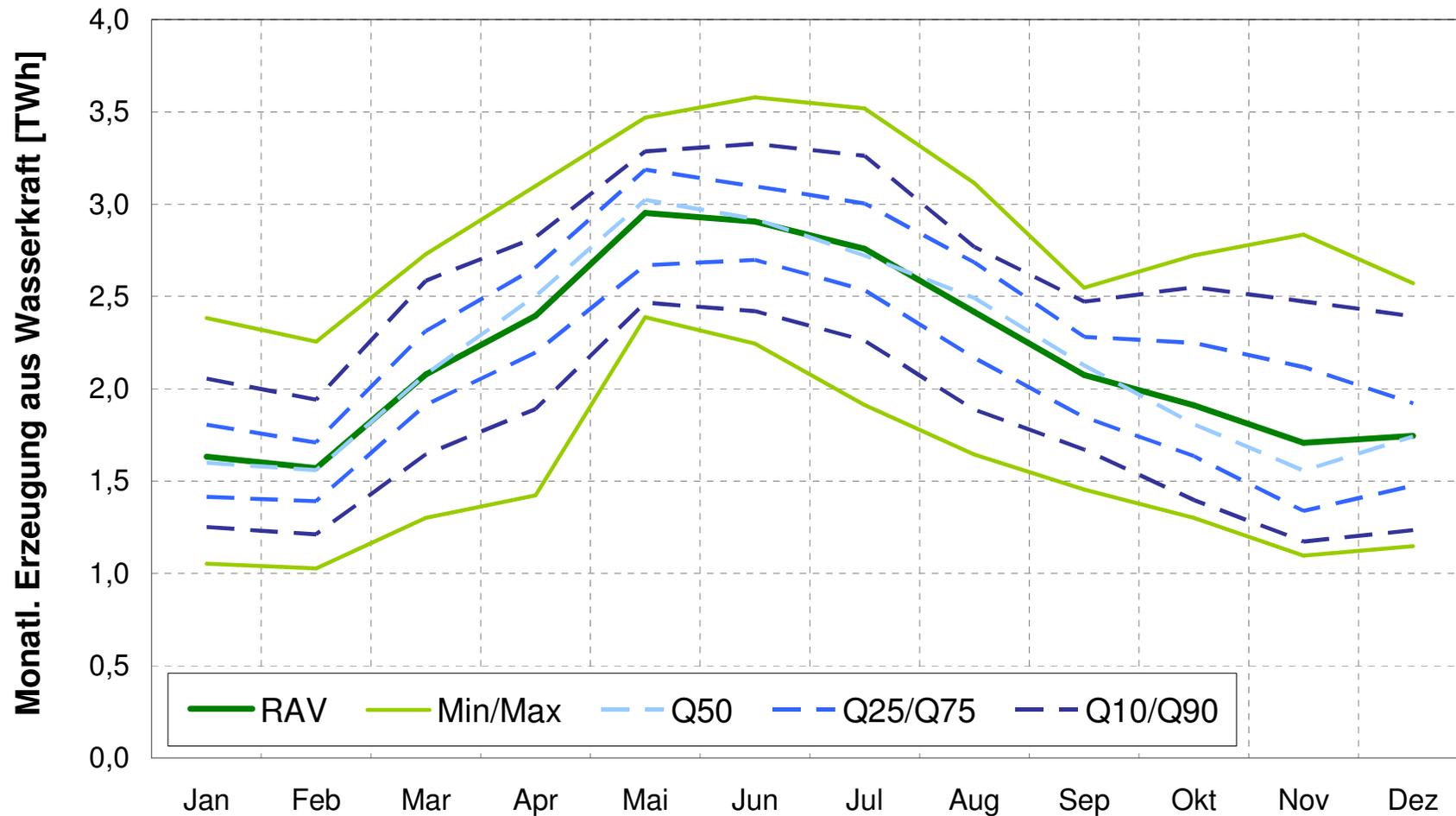
# Bsp: Zukünftige Kraftwerks-Investitionskosten



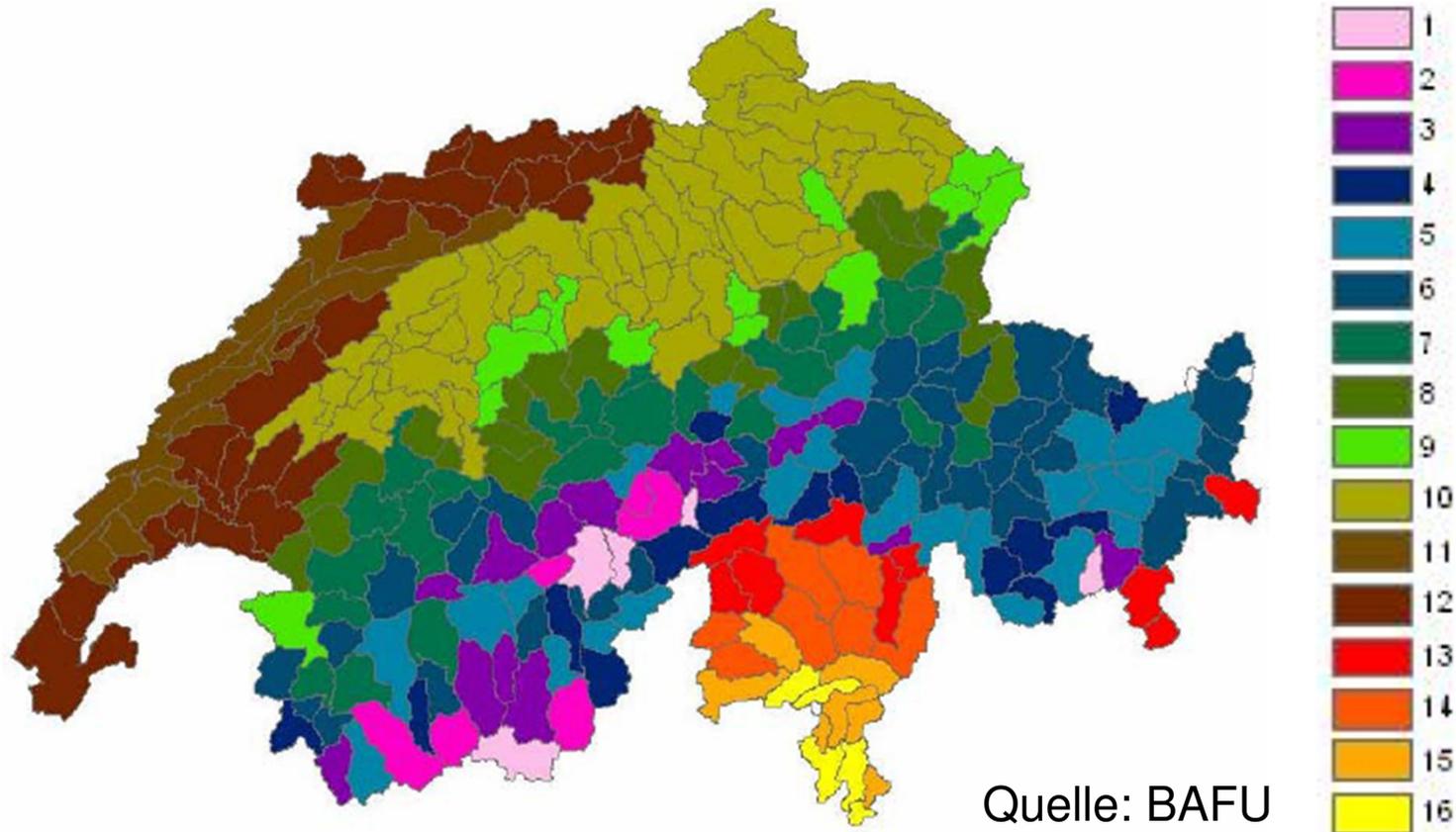
# MODELLIERUNG ERNEUERBARER ENERGIE

# Physikalisches Modell: Wasserkraft

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



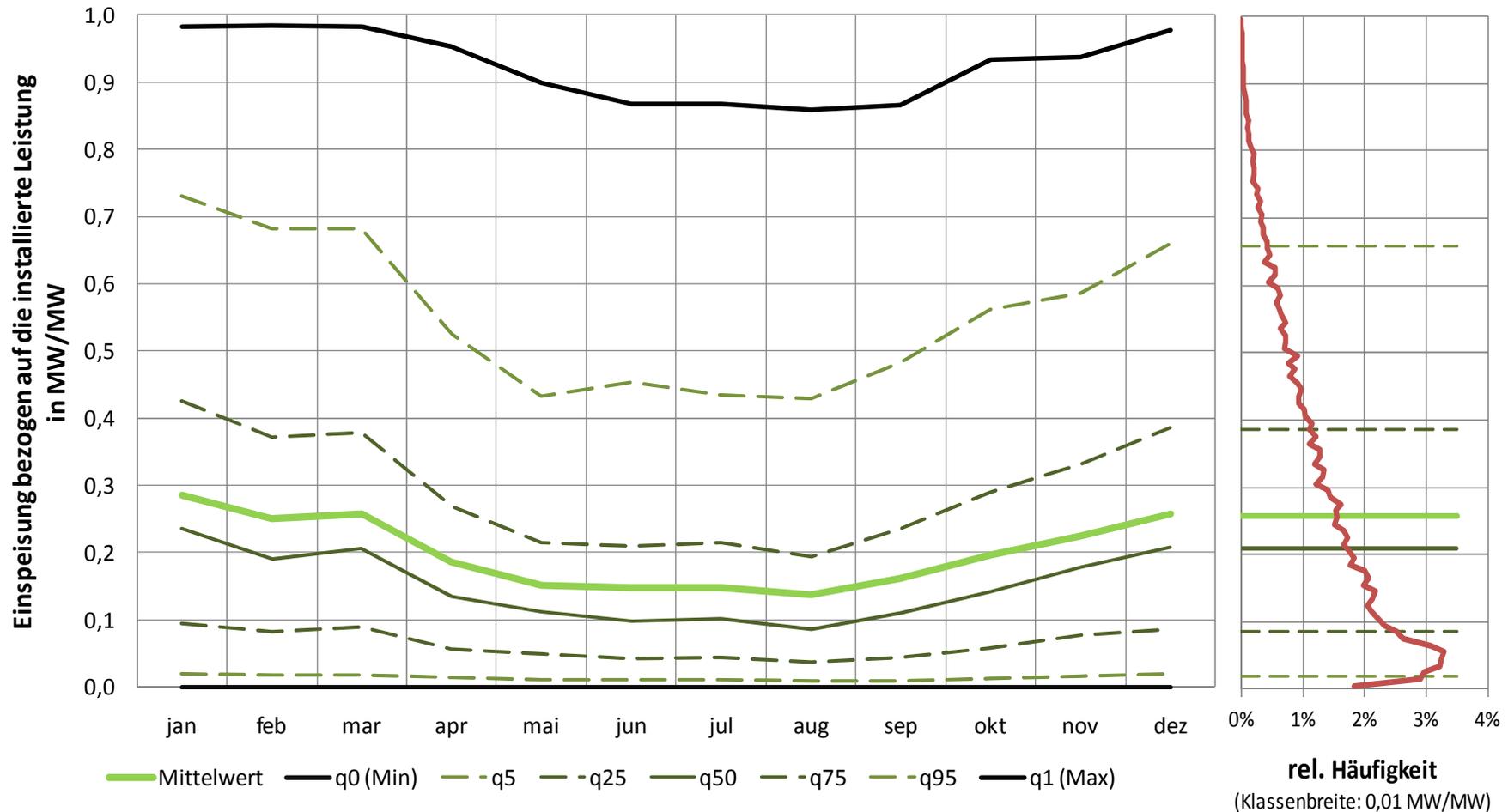
# Bsp. Wasserkraft in der Schweiz



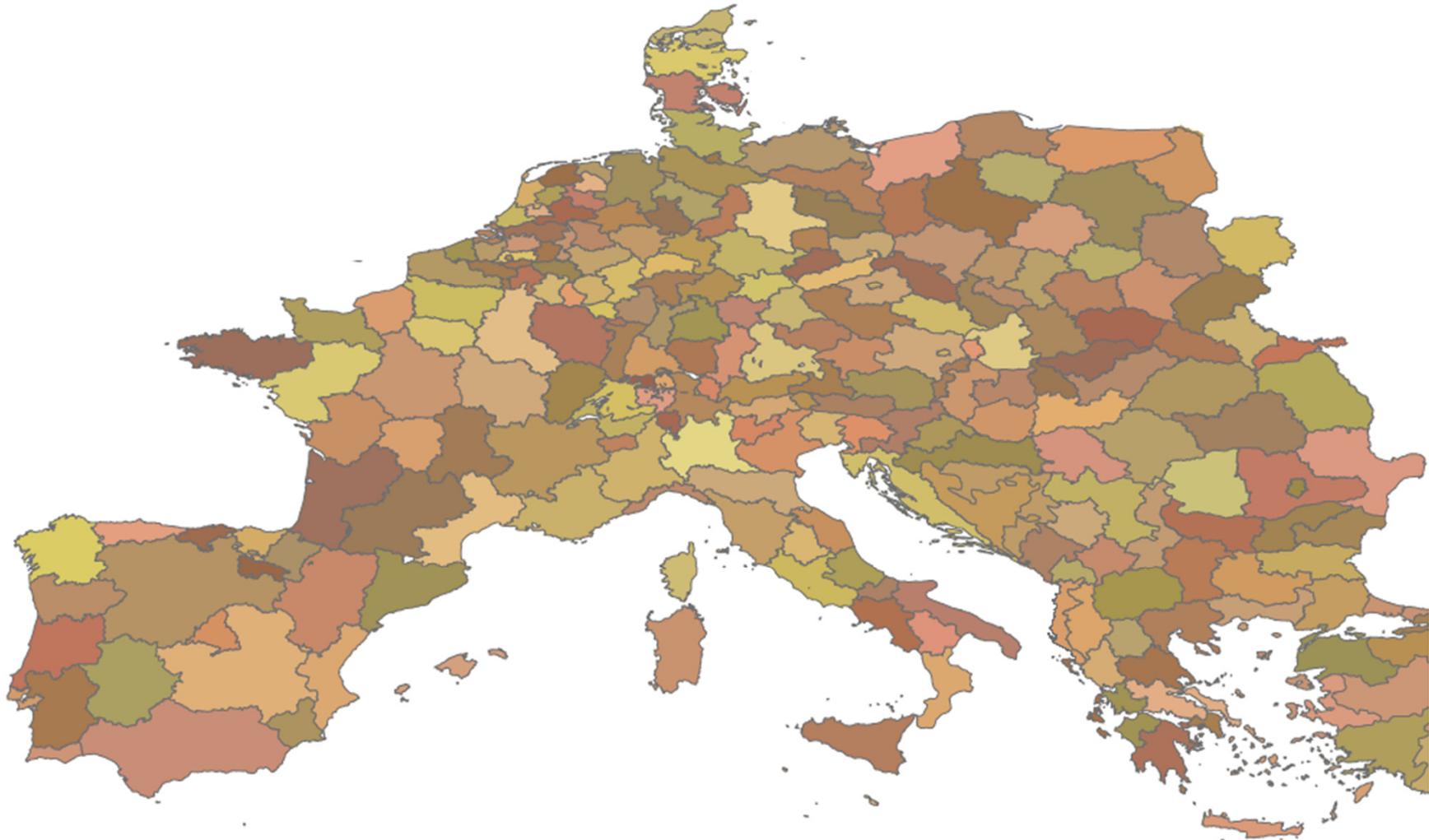
- » Modellierung der monatlichen Erzeugung der Laufwasserkraft entsprechend Abflussregimen (Pardé-Koeffizienten),
- » Standortscharfe Modellierung für die größten Flüsse entsprechend langjähriger Abflussdaten

# Windkraft-Modellierung

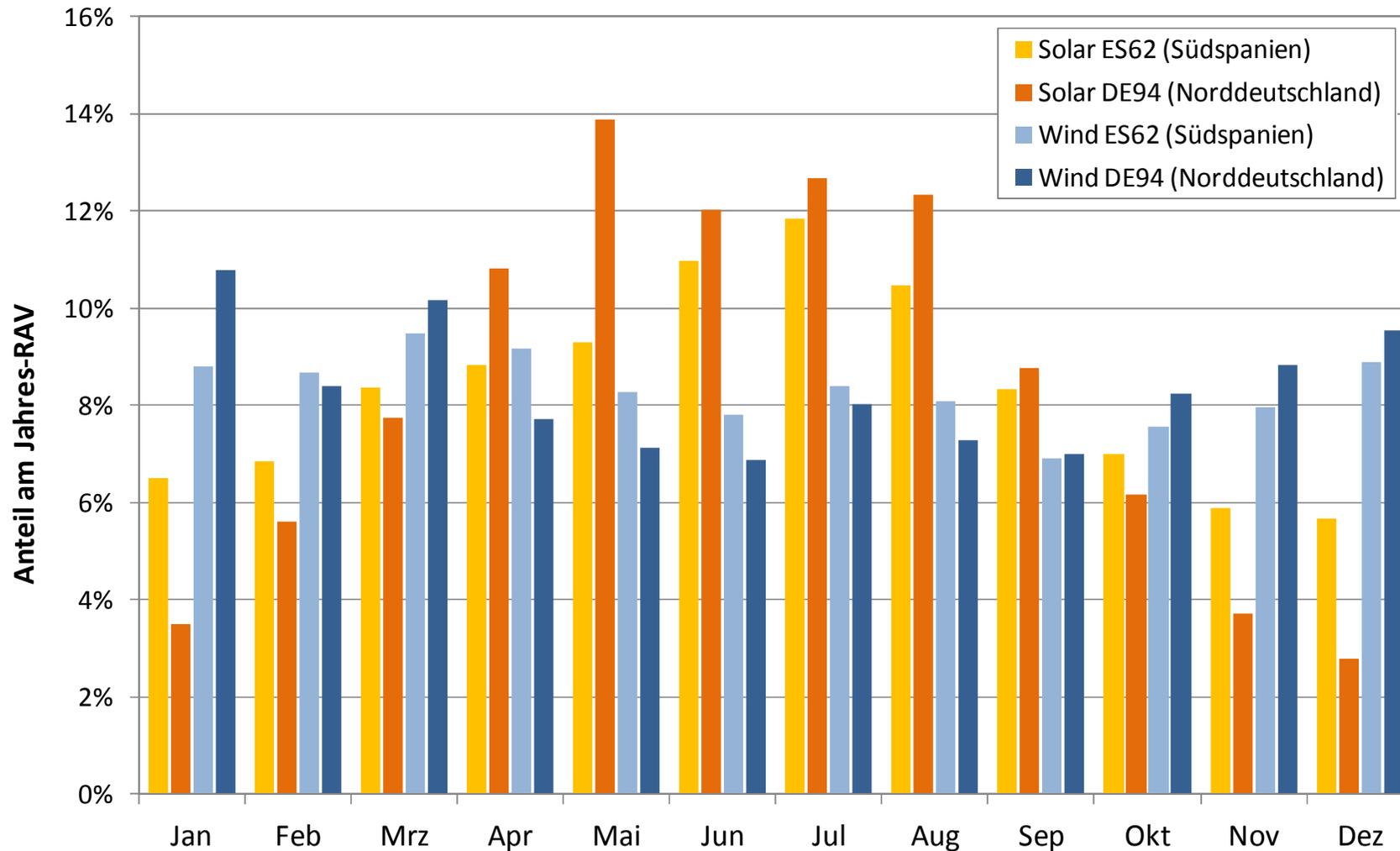
Simulierte monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Deutschland, basierend auf Windmessdaten 1989-2008 an 12 Standorten



# RES - monatl. Erwartungswert: NUTS 2

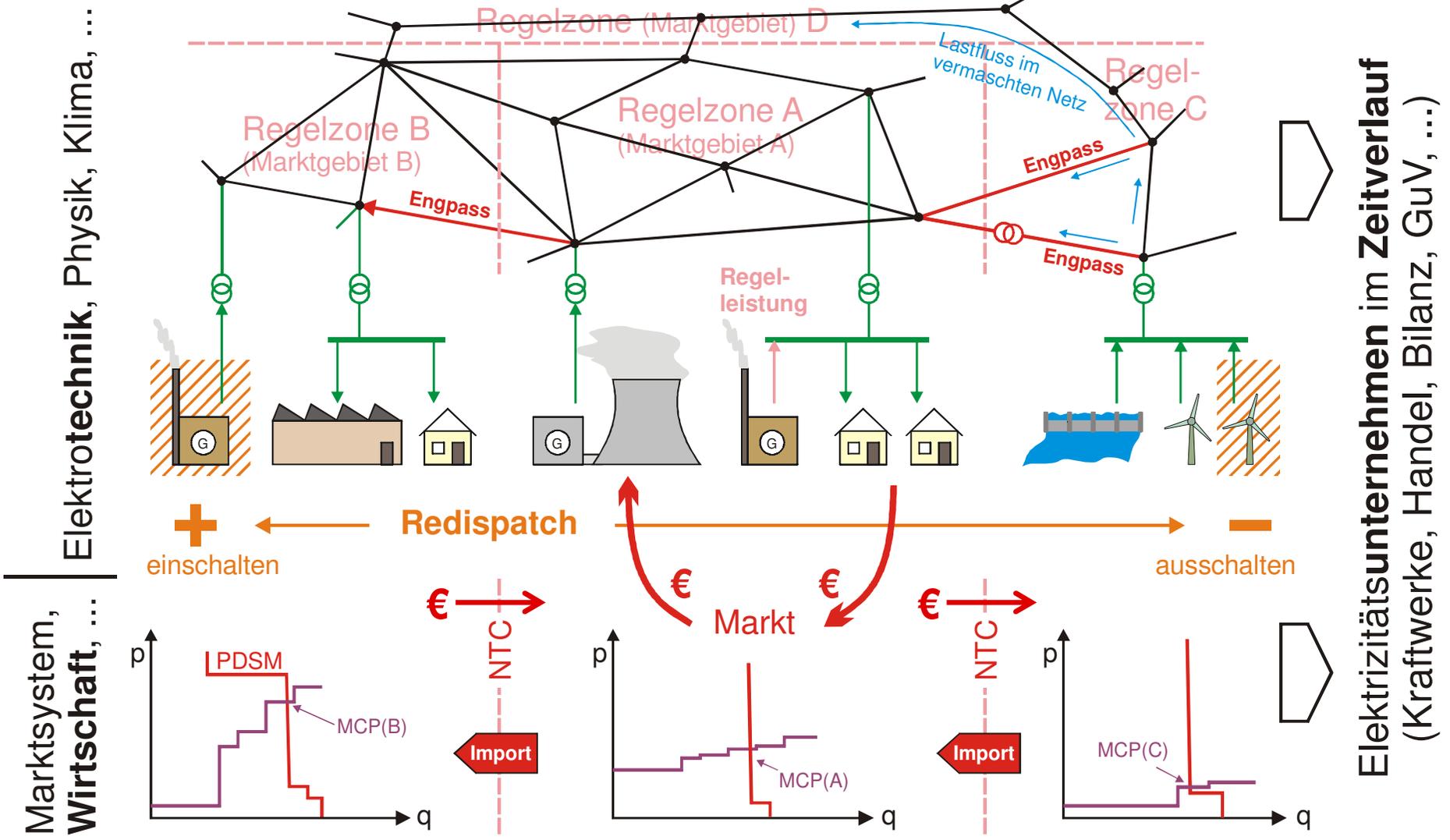


# RES-Erzeugungsearakteristik



Die monatliche Charakteristik der RES-Einspeisung wird europaweit auf NUTS2-Ebene modelliert.

# ATLANTIS – vereinfachte Systemabbildung



# MODELLE

# Simulationsablauf in ATLANTIS

**Datenbank, Modelle und Szenariodefinition**  
 Allgemeine Parameter, Netz und Knoten, Kraftwerke und Kraftwerksparameter, Unternehmensdaten, Hydro-Datenbank, Bedarfsentwicklung, Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung, Kraftwerksparkentwicklung, Netzentwicklung...

**Leistungsdeckungsrechnung**  
 Lastflussrechnung für die Jahreshöchstlast und Sommerhöchstlast unter Berücksichtigung der gesicherten Leistung.  
 falls nötig: automatischer Kraftwerkszubau an optimierten Standorten

Folgende Modelle werden für jede Periode in jedem Monat berechnet:

**Energiedeckung: Gesamtmarktmodell**  
 monatliche Dauerlinie pro Land unterteilt in PEAK/OFFPEAK (frei diskretisierbare Anzahl an Perioden)  
 Optimierung: kostenoptimaler Kraftwerkseinsatz mit Berücksichtigung des Verbundnetzes

**Marktmodell: Market Coupling mit NTC**  
 Optimierung: Market Coupling in ENTSO-E CE basierend auf Net Transfer Capacities (NTC) an den Ländergrenzen (Cross-Border)  
 Ergebnis: Kraftwerkseinsatz und Länderbilanzen (Reglerwerte)

**Energiedeckung: Lastfluss nach Marktmodell**  
 Optimierung: kostenoptimaler Kraftwerksredispatch mit Lastfluss unter Einhaltung der Länderbilanzen aus dem Market Coupling (Minimierung von internationalem Redispatch)

**Extremfall-Tool**  
 Berechnen von Extremfällen innerhalb des Szenarios

**Unternehmensmodell**  
 Bilanz und Gewinn- und Verlustrechnung für die modellierten Erzeugungsunternehmen

**Auswertung**  
 Darstellung von Lastflüssen, Kraftwerkseinsatz, Unternehmensbilanzen...

2006 bis 2050: **45 Jahre**

**48+2** Deckungsrechnungen p.a.

**>2250** Lastflussrechnungen

**2160** x Börse & Redispatch

Simulationsdauer: ca. 70 h

Datenbank: ca. 100 MB

Simulationsdaten: ca. 4 GB

eingesetzte Software:

ACCESS/VBA & MS SQL

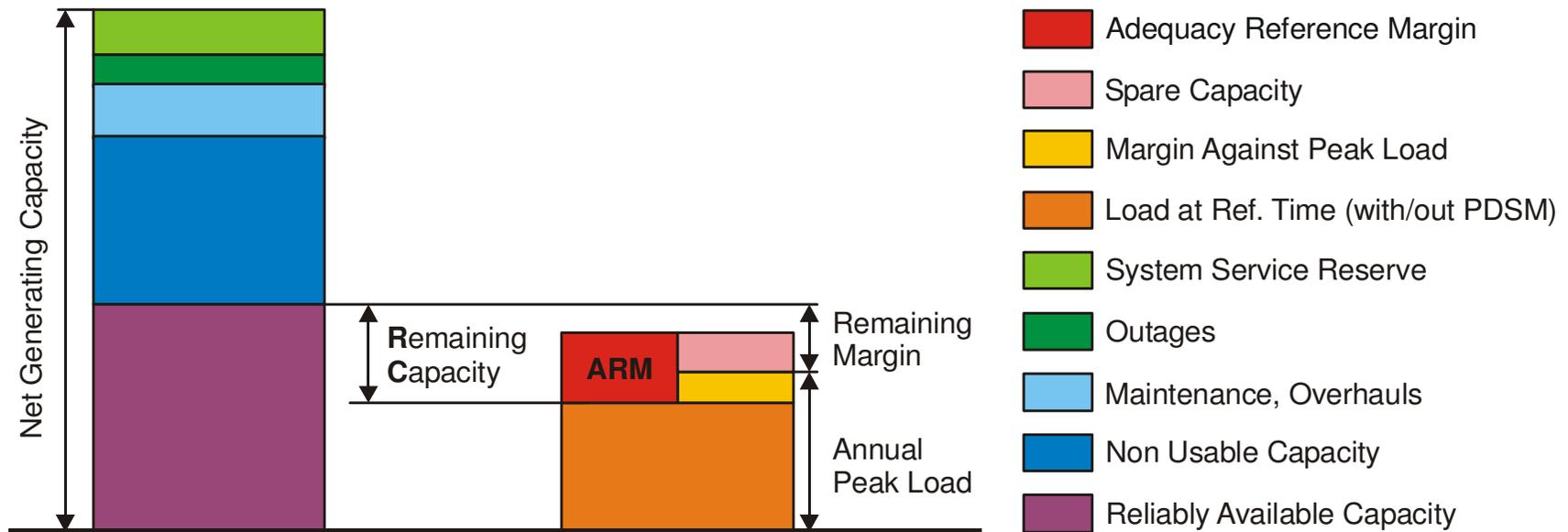
GAMS, MATLAB,

EXCEL

Jahr + 1

© IEE/TU Graz

# Spitzenlastabdeckung (Bsp. ENTSO-E-Methodik)

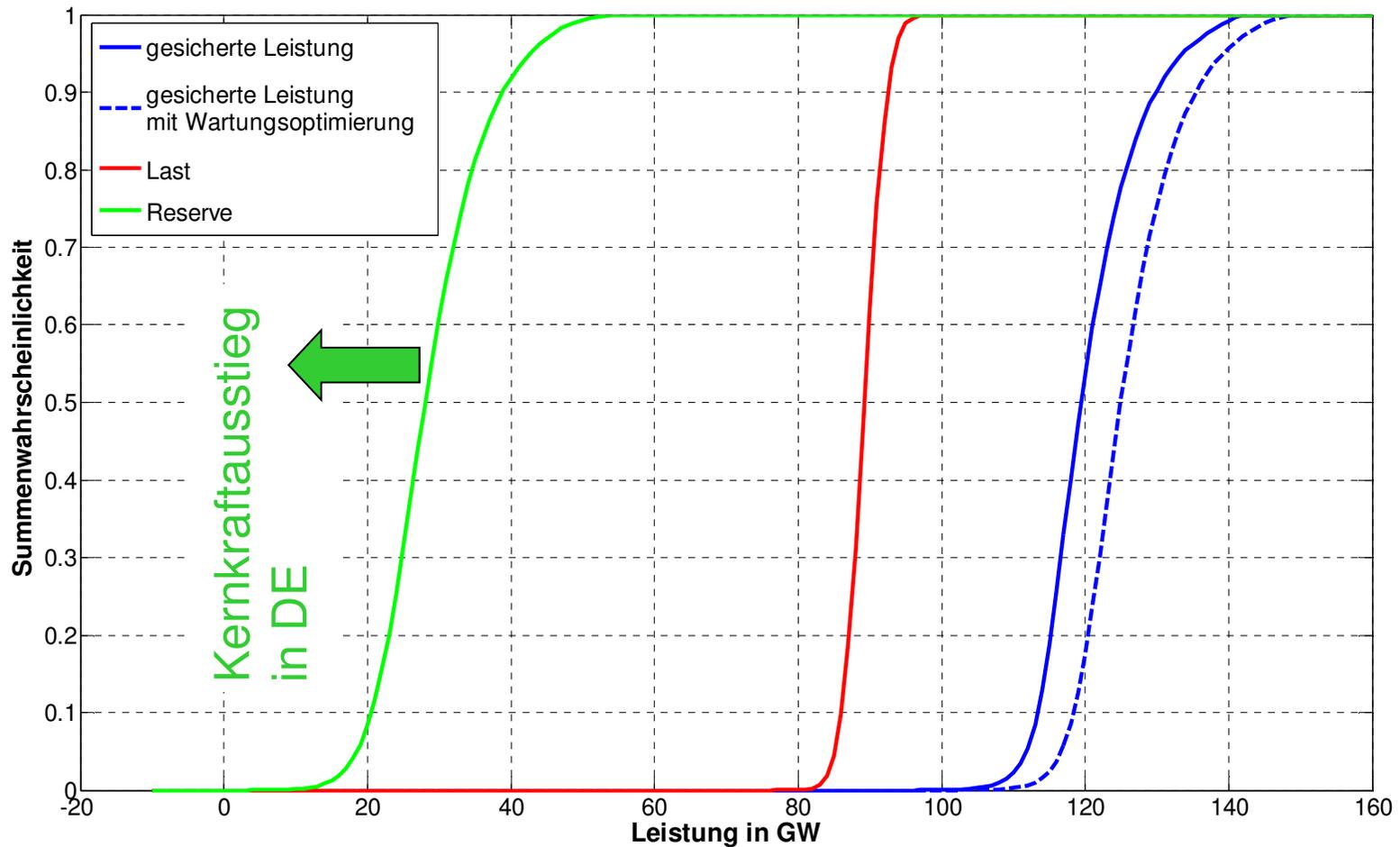


$$ARM = Spare Capacity + Margin Against Peak load$$

Systemstabilität gewährleistet, wenn **RC > ARM**

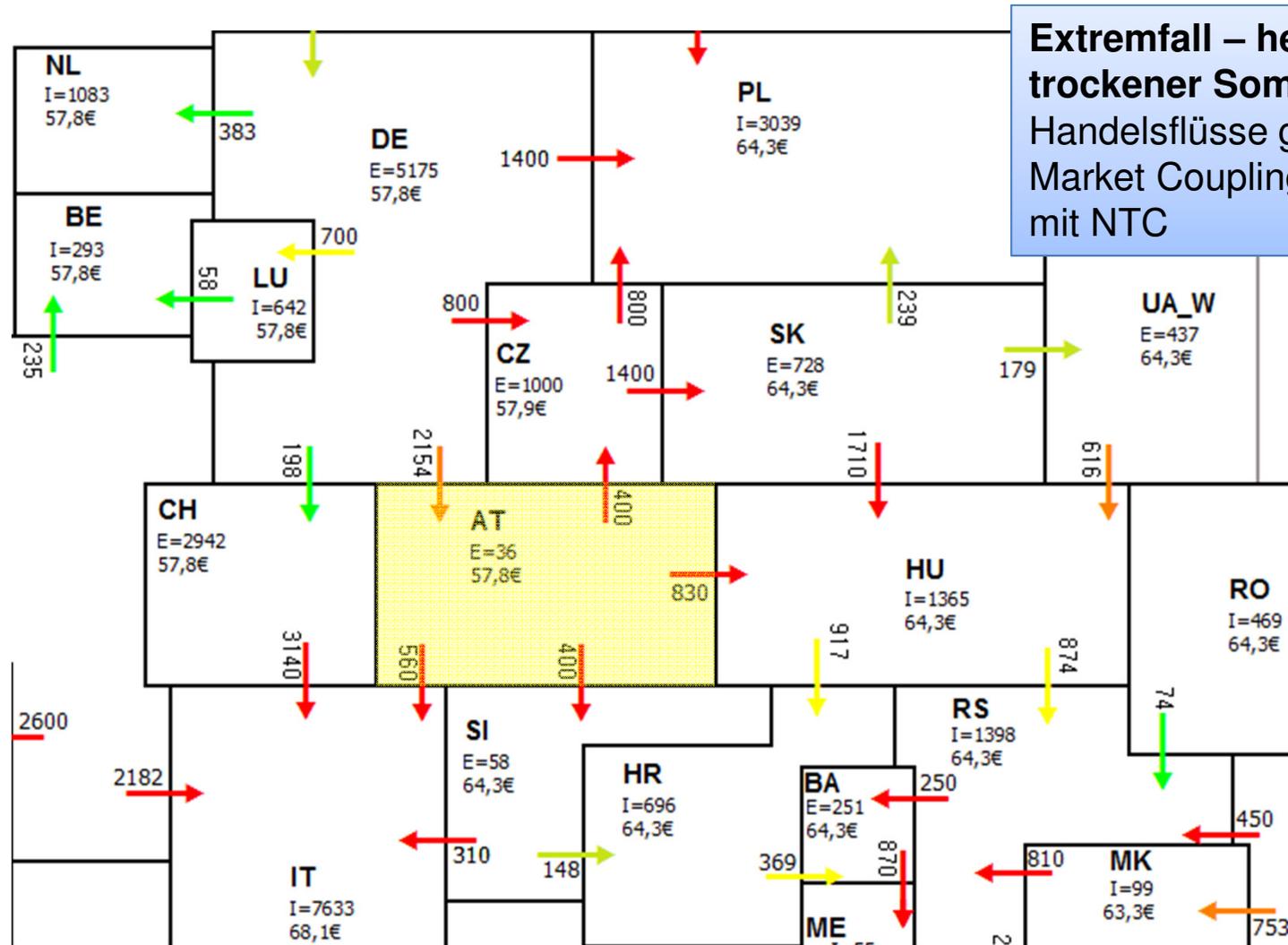
# Leistungsdeckung zur Jahreshöchstlast

Beispiel: Netzbereich AT+DE, Jan. 2010



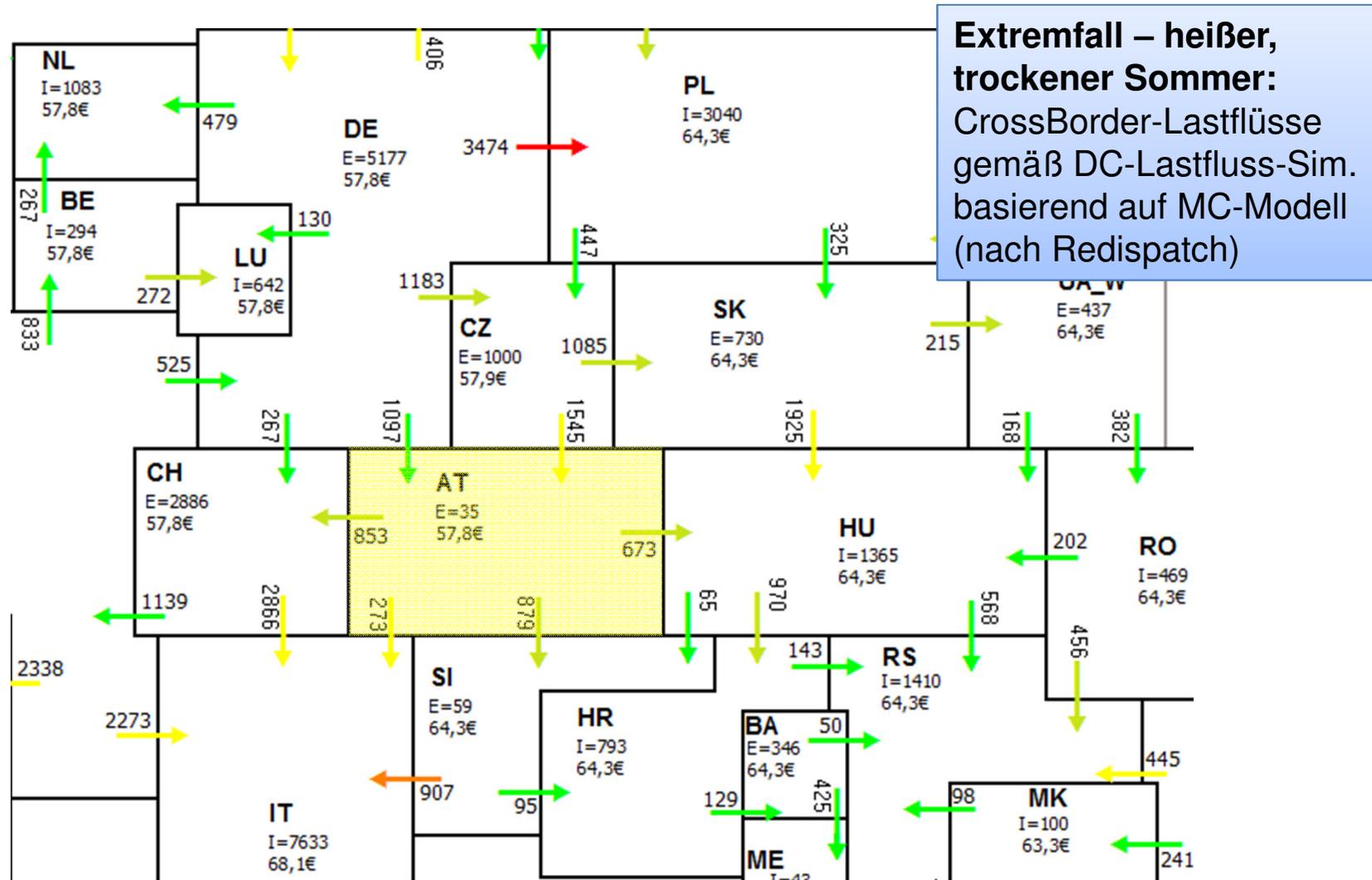
# MARKT und BÖRSEN

# Marktgebiete und Handelsflüsse 07/2015, ...

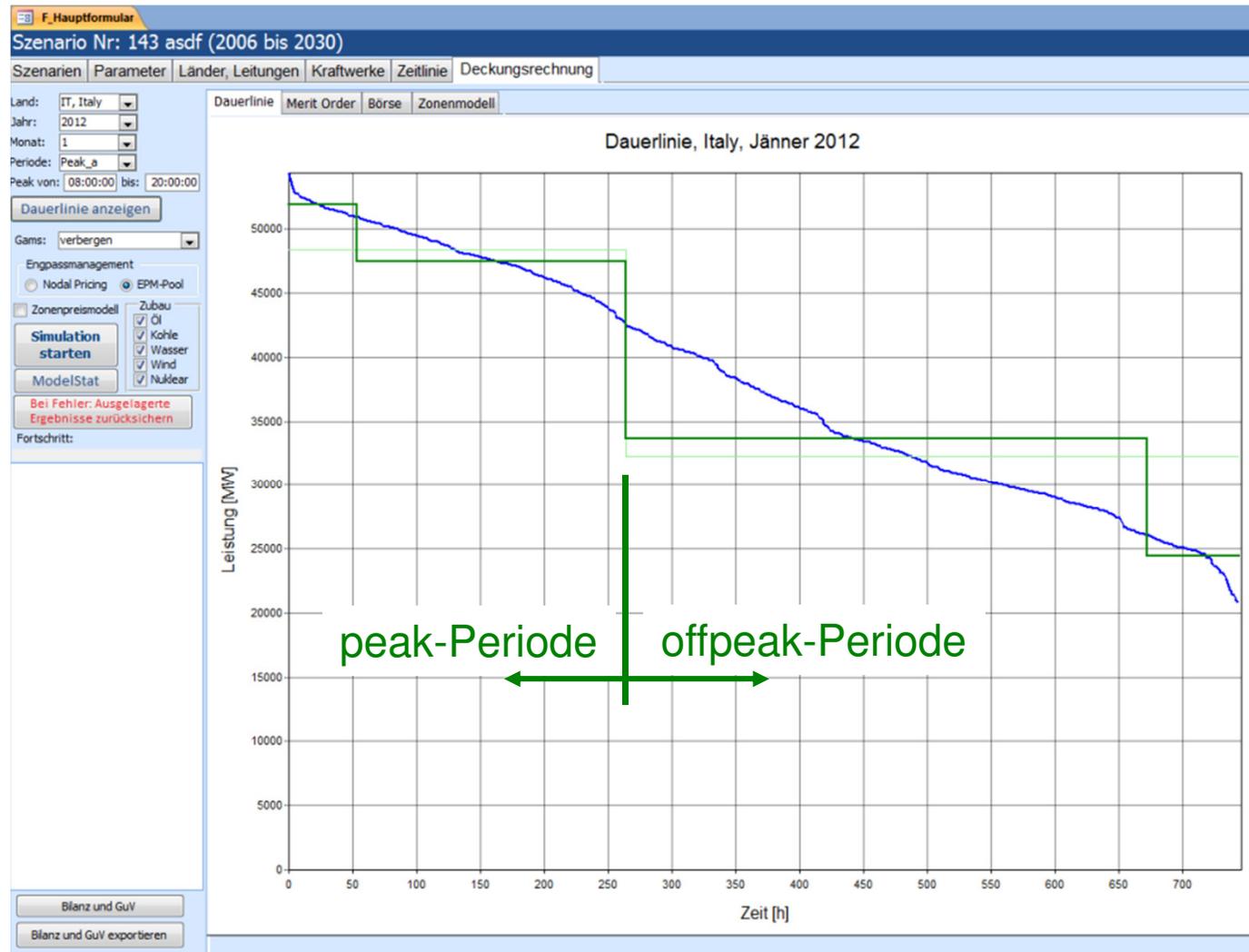


**Extremfall – heißer, trockener Sommer:**  
Handelsflüsse gemäß Market Coupling Modell mit NTC

# ... vs. Crossborder-Lastflüsse, 07/2015

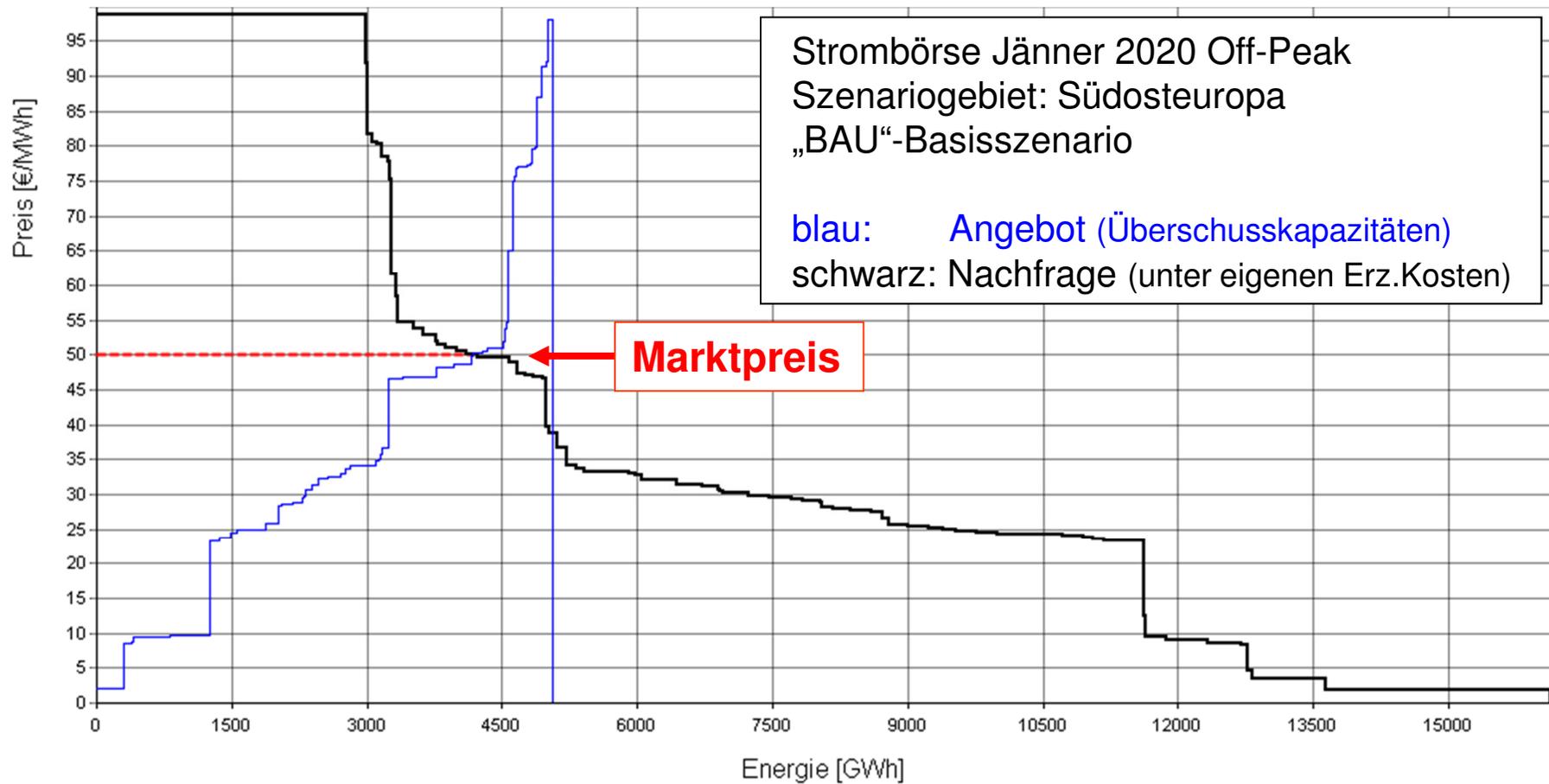


# Dauerlinie Italien Jan. 2012: peak / offpeak

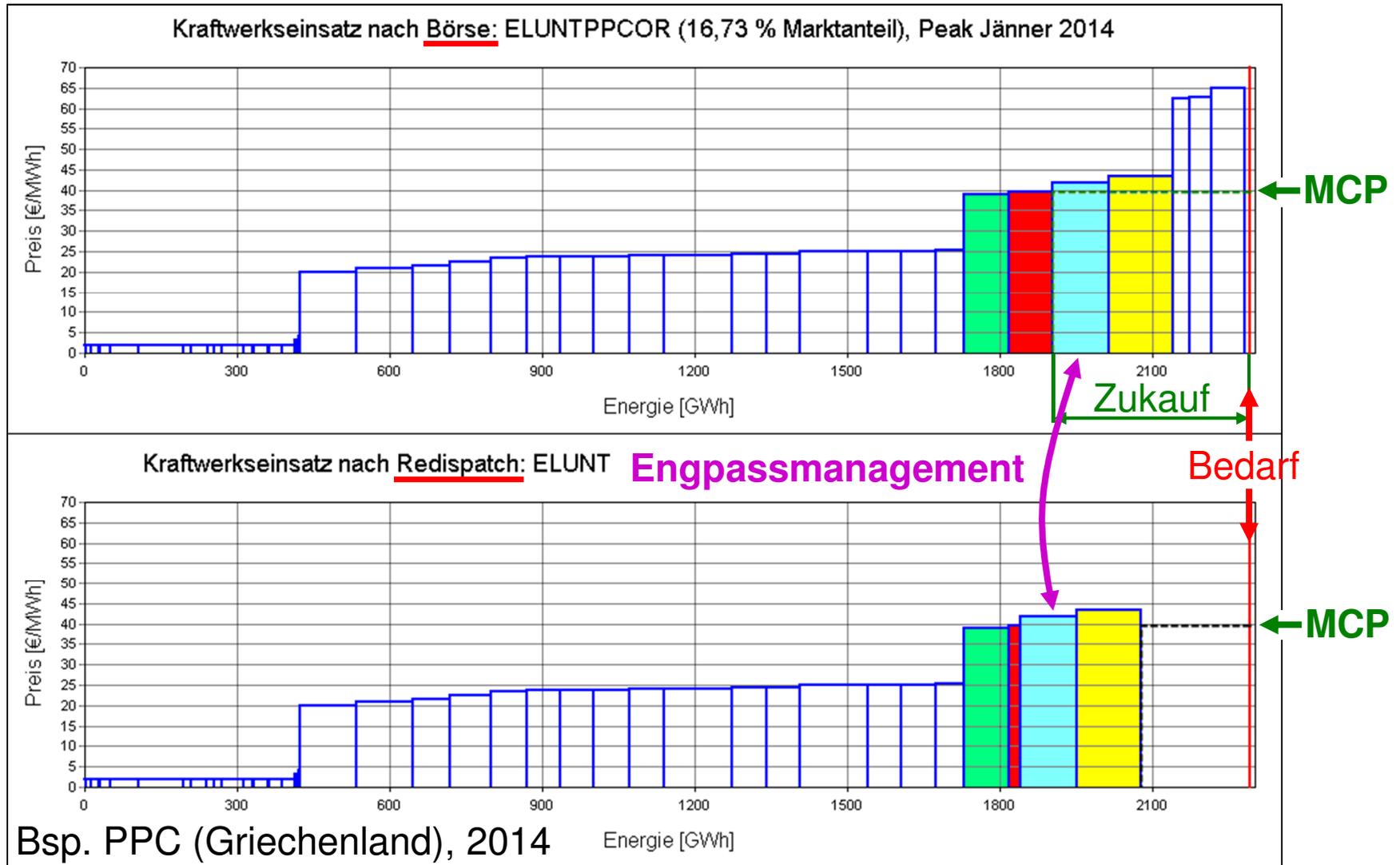


basierend auf Daten von ENTSO-E

# Bsp. Strombörse für SEE: Jänner 2020



# KW-Einsatz nach Börse bzw. Redispatch



# Bilanzen 2006-2050 von 100 Unternehmen

		Jahr+n
		Jahr+2
		Jahr+1
Aktiva	Passiva	Jahr
<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.) \u00fcbernommen}</math></p>	<p><b>Fremdkapital</b></p> <p>Bilanzsumme - EK</p> <p><math>t = 0: \text{aus Bilanz (realer Jahresabschl.) \u00fcbernommen}</math></p>	

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

# GuV-Rechnung 2006-2050 je Unternehmen

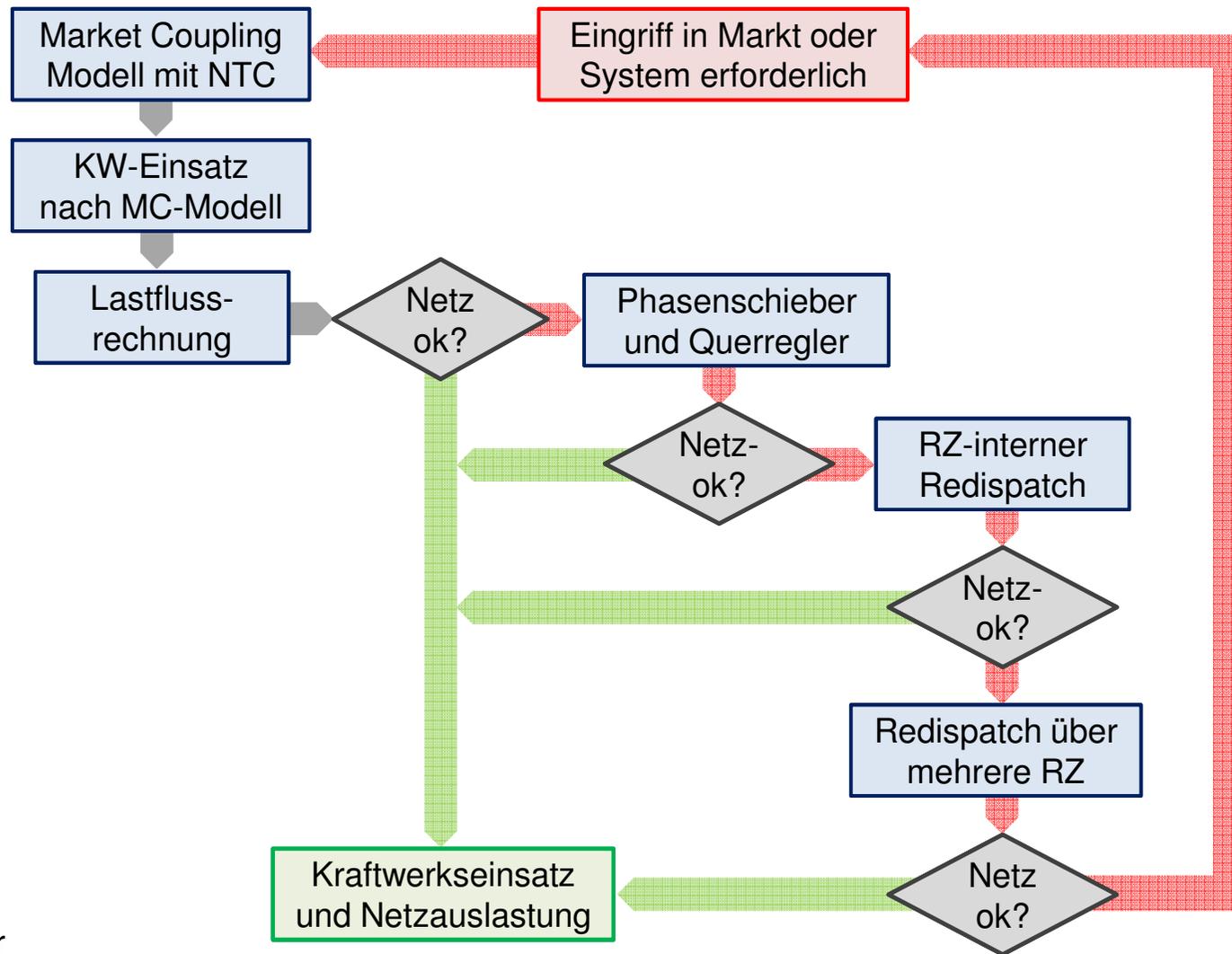
		Jahr+n	
		Jahr+2	
		Jahr+1	
Aufwendungen	Erträge/Erlöse		
<p><b>Abschreibungen</b> aus KW-Park berechnet</p>	<p><b>Stromerlöse (End)kunden</b> wird „angepasst“ um den geforderten Gewinn zu erzielen: = <math>\Sigma</math>Aufwend. + Gewinn - Erlöse<sub>(Großhandel)</sub> – Erträge<sub>(CO<sub>2</sub>)</sub>  <i>in weiterer Folge:</i> Erlöse<sub>(Kunden)</sub> / gelieferte Arbeit = <b>erf. Mindeststrompreis [€/MWh]</b>  ⇒ „<b>Eigenwirtschaftlichkeit</b>“</p>		
<p><b>FK-Zinsen</b> <math>FK_{(1.Jan.)} * FK\text{-Zinssatz}</math></p>			
<p><b>Personal + Administration</b> aus GuV (realer JA) übernommen</p>			
<p><b>Brennstoff + Betriebsstoffe</b> aus Kraftwerkseinsatz</p>			
<p><b>Stromzukauf</b> <i>aus Deckungsrechng.</i> <math>MCP * (Eigenbedarf - Erzeugung)</math></p>		<p><b>Stromerlöse Großhandel</b> <i>aus Deckungsrechnung</i> <math>MCP * (Erzeugung - Eigenbedarf)</math></p>	
<p><b>Aufwand aus CO<sub>2</sub>-Zertifikaten</b> <math>CO_2\text{-Ausstoß} * EZ\text{-Preis}</math></p>		<p><b>Erträge aus CO<sub>2</sub>-Zuteilung</b> Allokation * EZ-Preis</p>	
<p><b>Gewinn</b> = <math>EK_{(1.Jan.)} * EK\text{-Zinssatz}</math></p>			

# ATLANTIS: Mögliche Anwendungen

- Darstellung **Gesamtsystemzusammenhänge** in der europ. Elektrizitätswirtschaft
- Erfordernisse bzgl. **Netzausbau** wegen Netzengpässen und Versorgungssicherheit
- Nutzen neuer Höchstspannungsleitungen
- „Dry run“-Simulation zur Überprüfung von Szenarien der **Marktsystementwicklung** (EU-ETS, capacity credits, PDSM ...)
- mittel- und langfristige Auswirkungen von **Regulierungsentscheidungen**, Änderungen der rechtl. Rahmenbedingungen etc.
- **Investitionserfordernisse** im KW-park (Versorgungssicherheit)
- Auswirkungen von Ausbauszenarien bzgl. **Netzauslastung, Kraftwerken, Brennstoffbedarf und Emissionen.**
- Einfluss **Unternehmensentscheidungen** (Kraftwerksbau) auf die Bilanzentwicklung und **Wettbewerbsfähigkeit**
- Brennstoffpreisszenarien, u.a.m.

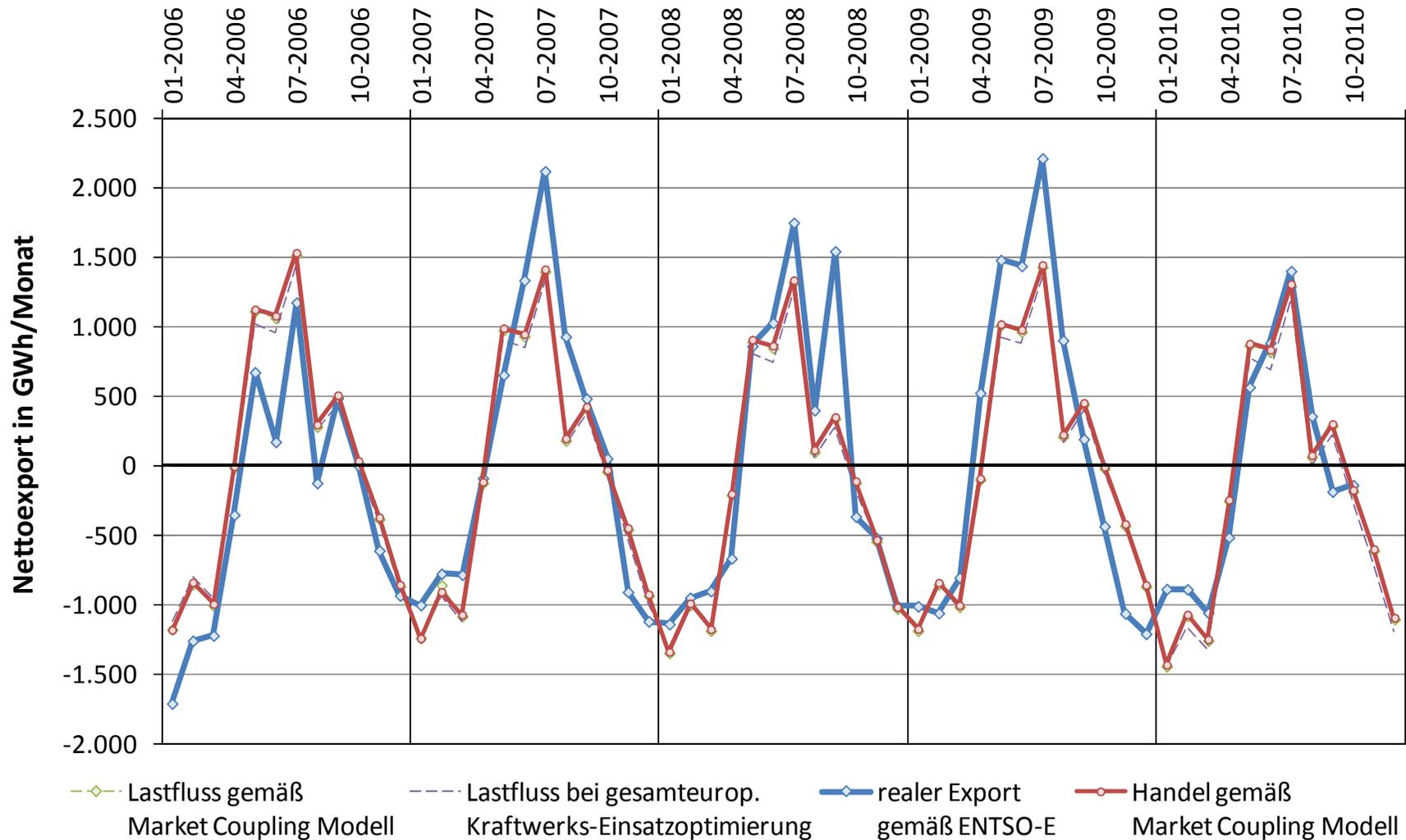
# LASTFLÜSSE IM HÖCHSTSPANNUNGSNETZ

# Simulation von Lastfluss und Redispatch



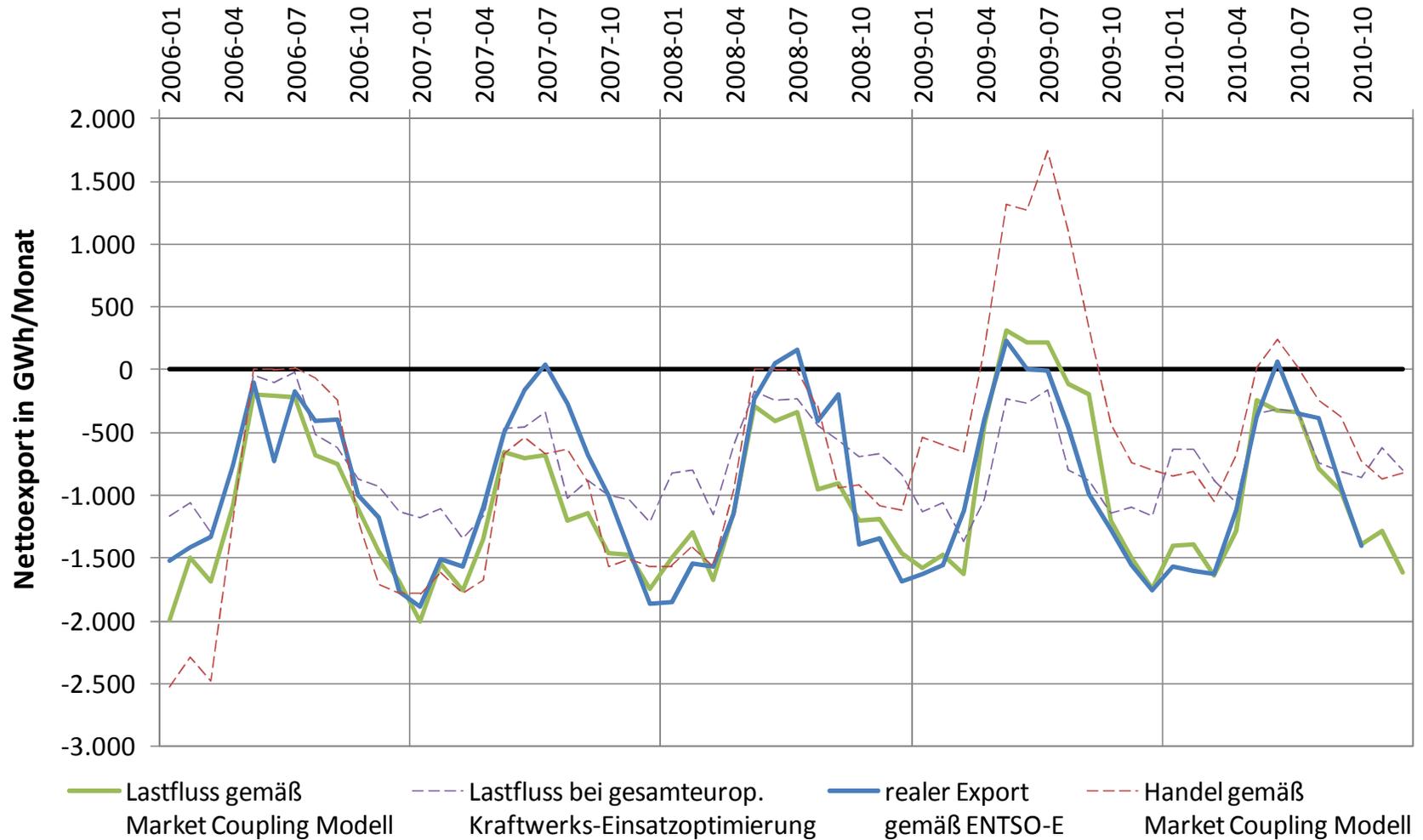
Quelle:  
Gernot Nischler

# Modellkalibrierung: Imp./Exp.-Saldo der Schweiz



# Kalibrierung: grenzüberschreitende Lastflüsse

CH-DE: Modellkalibrierung - 2011-10-20



# Visualisierung von Ergebnissen

The screenshot displays the ATLANTIS software interface. On the left, there is a sidebar with a search bar containing 'belchatow' and a tree view of data layers including 'Anzeigen', 'Orte', and 'Ebenen'. The main area shows an aerial satellite view of a power plant complex. A white popup window is overlaid on the map, providing detailed information for a specific asset.

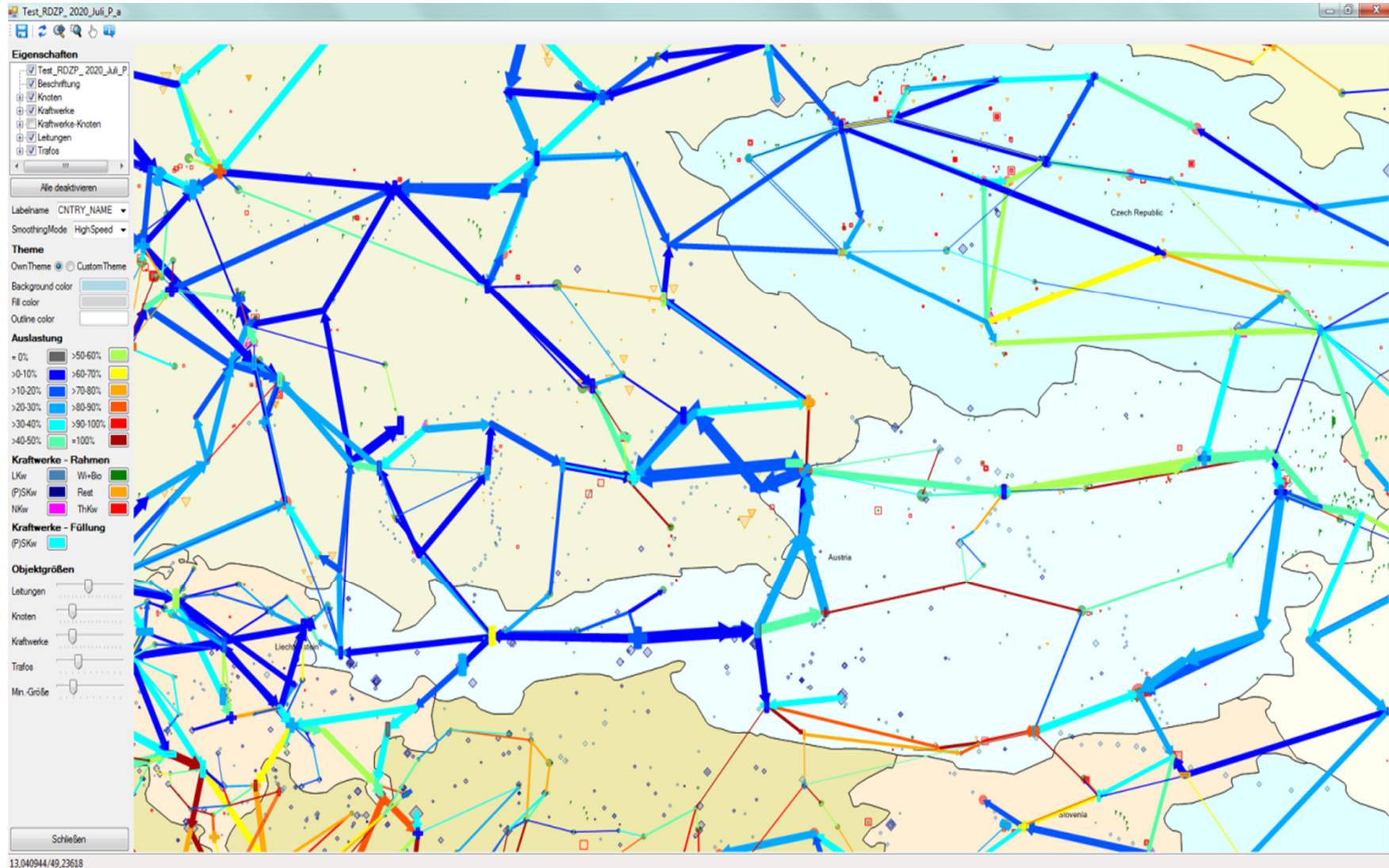
FRAKWSALB2	
Kraftwerksname:	SAINT-ALBAN 2
Leistung [MW]:	1238,72 (1043,84)
Typ:	Nuc_PWR
Eigentümer:	FRUNTEDF_
Lon/Lat:	4,75582 / 45,4064
Inbetriebnahmejahr:	1986
Außerbetriebnahme:	2035
Einspeiseknoten:	FRPIVO1
Preis:	8,1
Route:	<a href="#">Hier hin</a> - <a href="#">Von hier</a>

Quelle:  
Google Inc.

# Konkrete Anwendungen

- APG Masterplan 2030
- Stromangebotsvarianten der Schweiz
- Auswirkungen von neuen Übertragungsleitungen
- CO<sub>2</sub>-Emissionsvermeidung durch Wasserkraftwerke
- Einfluss erneuerbarer Stromerzeugung auf den Strommarkt
- Auswirkungen der Elektromobilität
- Auswirkungen des Klimawandels

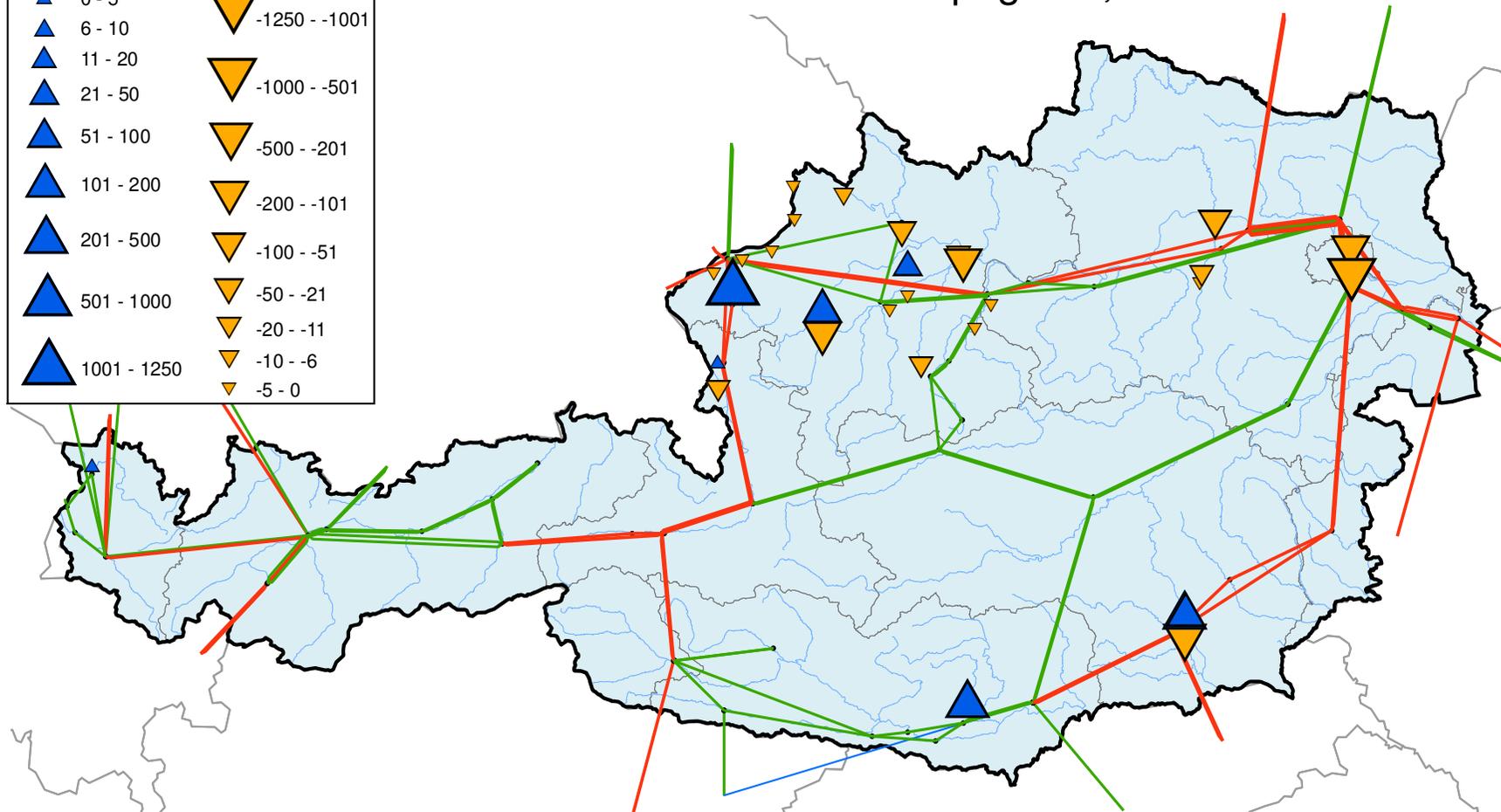
# Bsp: Lastflusssimulation, Juli 2020



# Bsp: Netzanalysen für Österreich

Redispatch in GWh/a	
pos. Redispatch	neg. Redispatch
▲ 0 - 5	▼ -1250 - -1001
▲ 6 - 10	▼ -1000 - -501
▲ 11 - 20	▼ -500 - -201
▲ 21 - 50	▼ -200 - -101
▲ 51 - 100	▼ -100 - -51
▲ 101 - 200	▼ -50 - -21
▲ 201 - 500	▼ -20 - -11
▲ 501 - 1000	▼ -10 - -6
▲ 1001 - 1250	▼ -5 - 0

Hypothetischer Redispatchbedarf für eine untersuchte Netztopografie, 2034



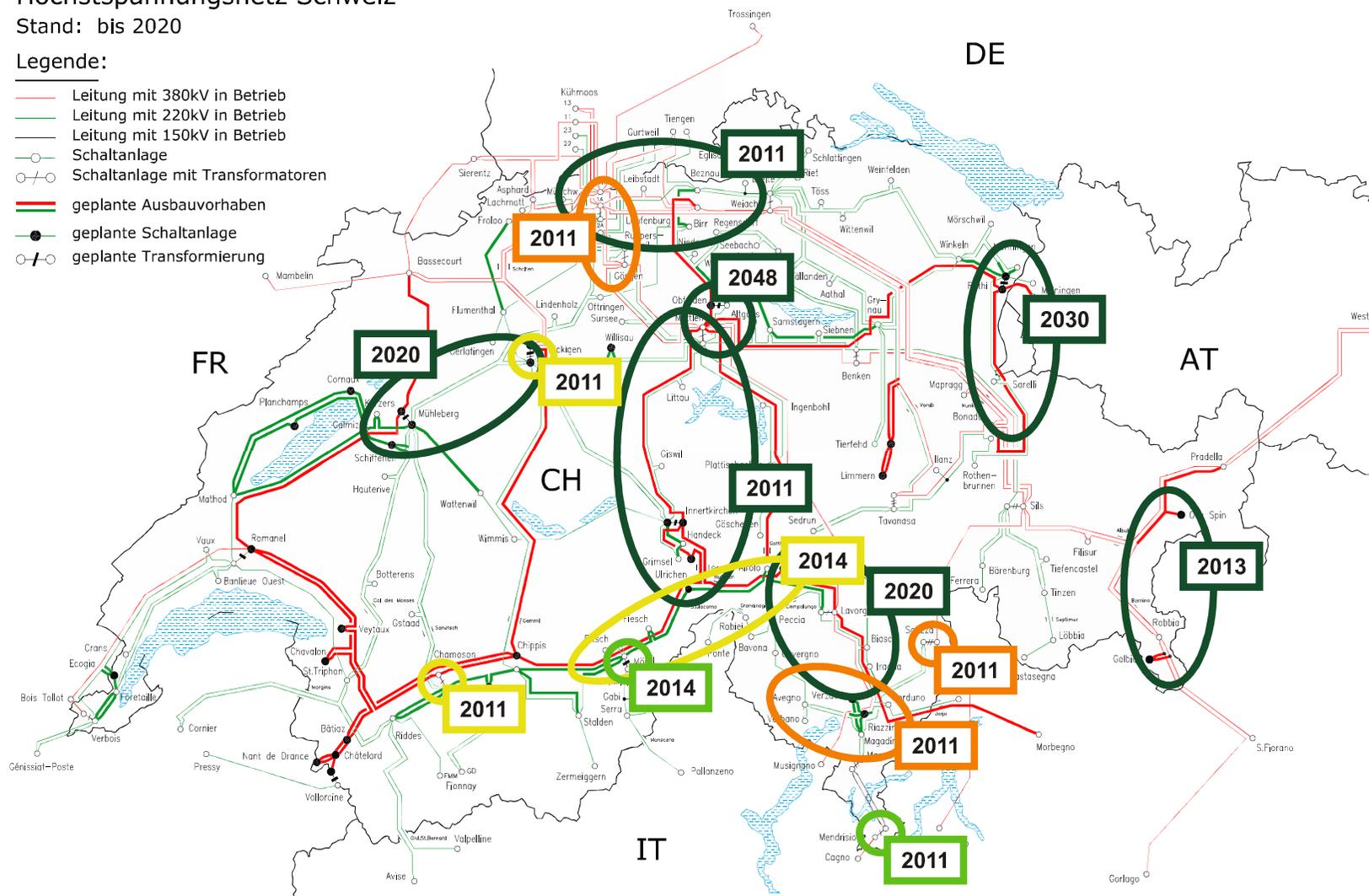
# Bsp: Leitungsausbaubedarf in der Schweiz

## Höchstspannungsnetz Schweiz

Stand: bis 2020

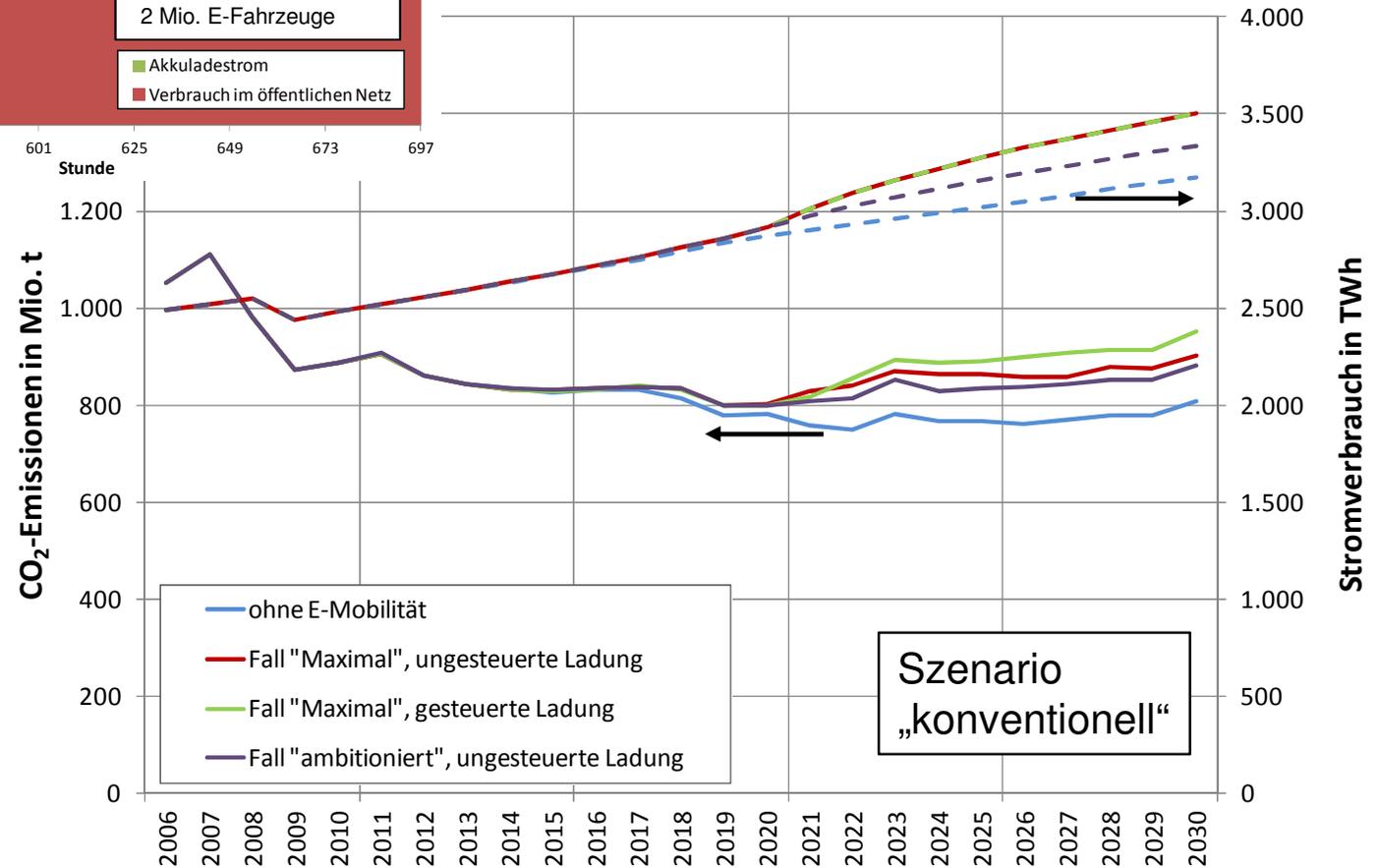
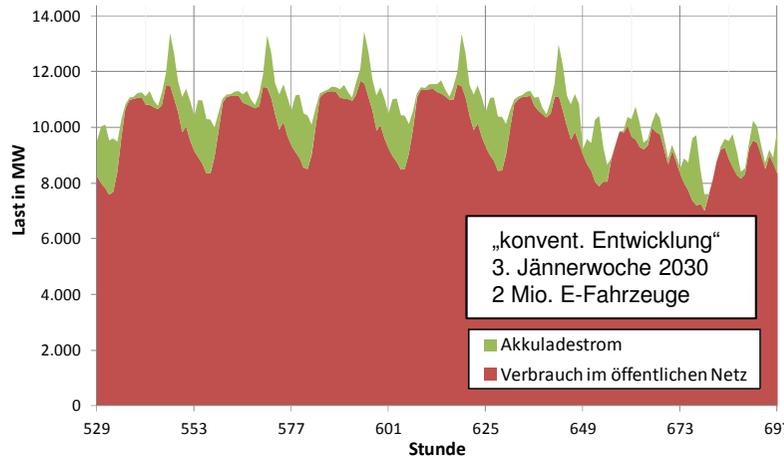
### Legende:

- Leitung mit 380kV in Betrieb
- Leitung mit 220kV in Betrieb
- Leitung mit 150kV in Betrieb
- Schaltanlage
- Schaltanlage mit Transformatoren
- geplante Ausbauvorhaben
- geplante Schaltanlage
- geplante Transformierung

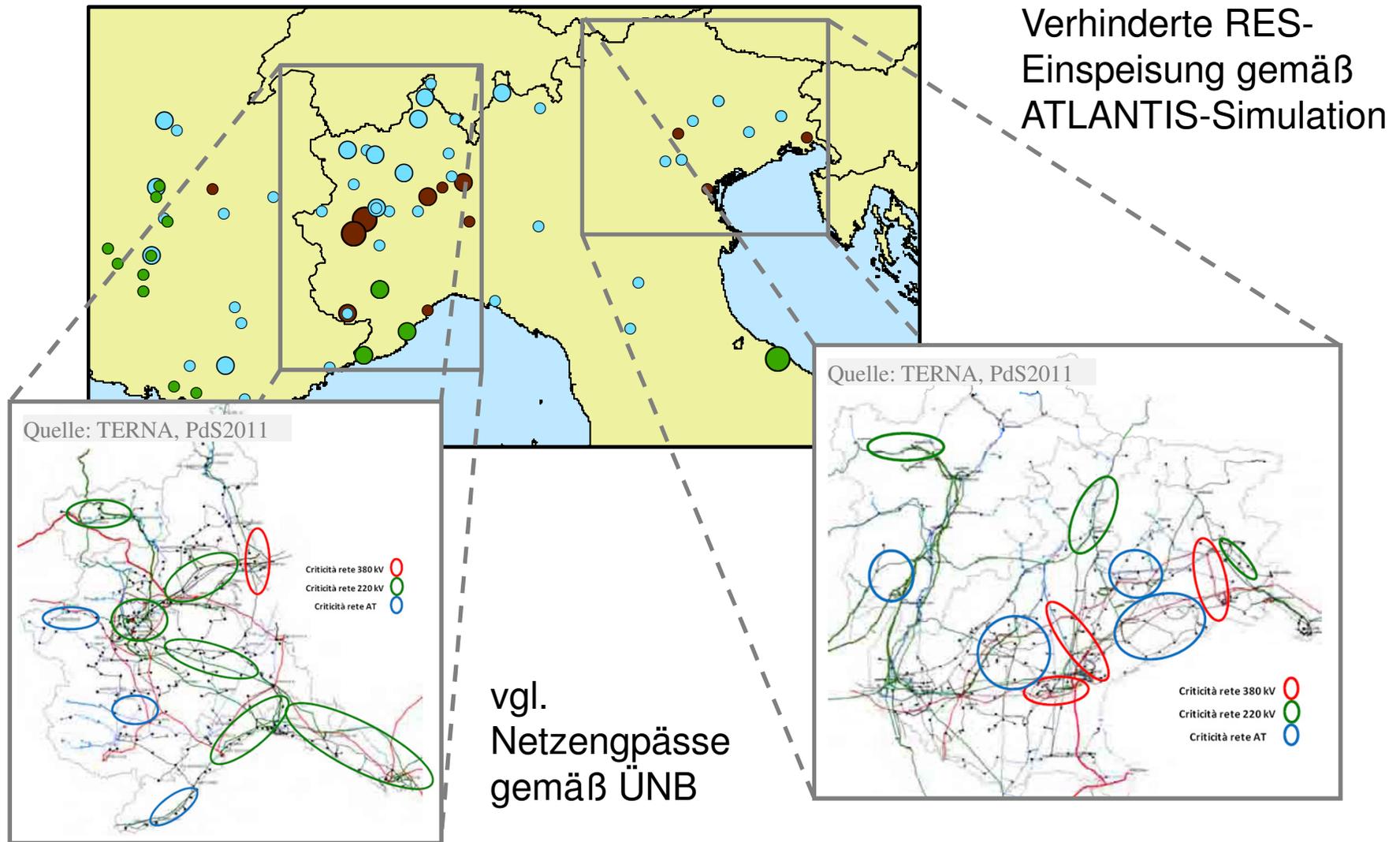


PA200028 07.10.11/ngt,bet

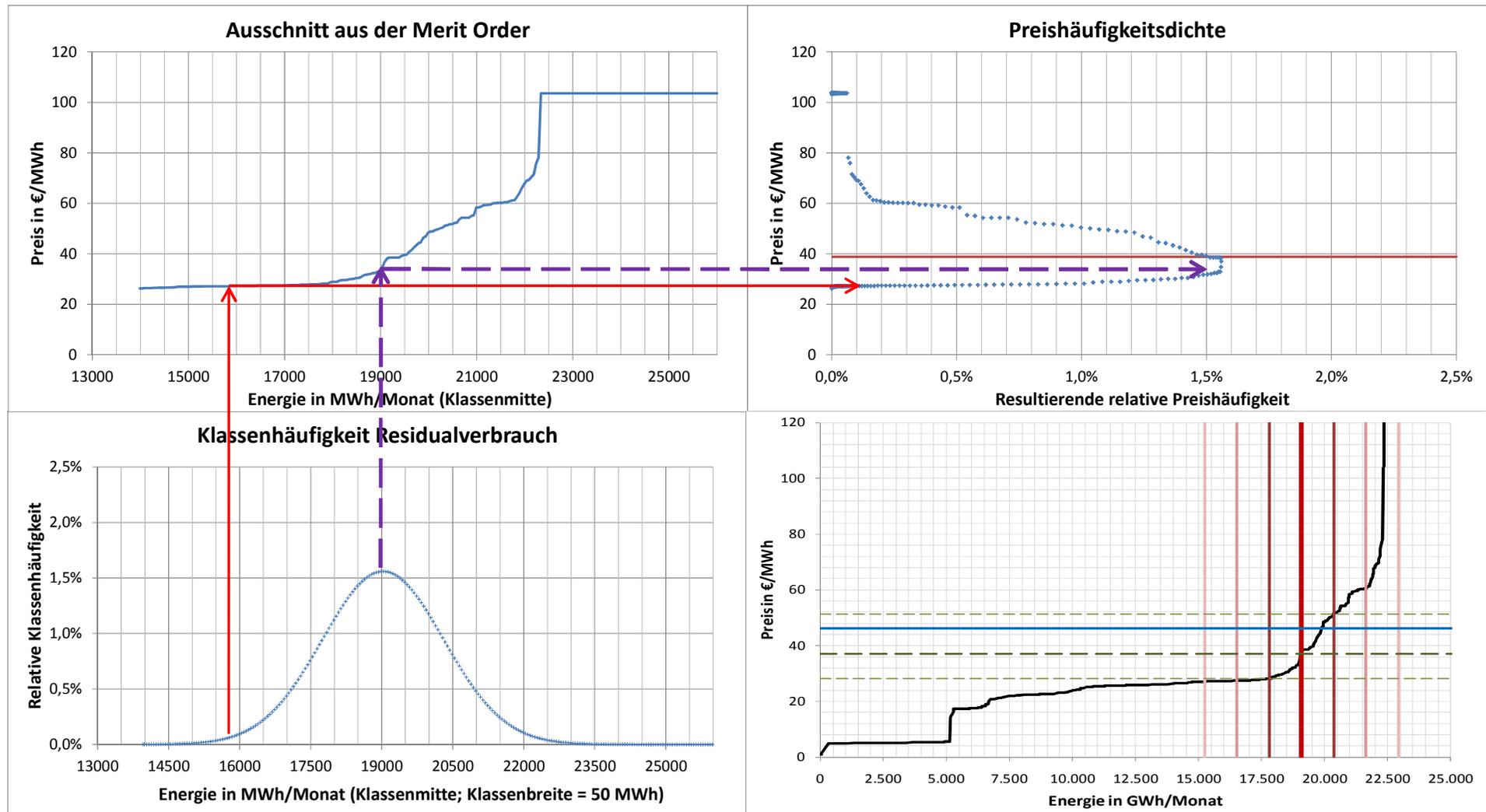
# CO<sub>2</sub>-Emissionen der Elektromobilität



# Bsp. RES-Integration vs. Netzengpässe



# Einfluss von RES auf den Strommarkt



# Aktuelle Weiterentwicklungen

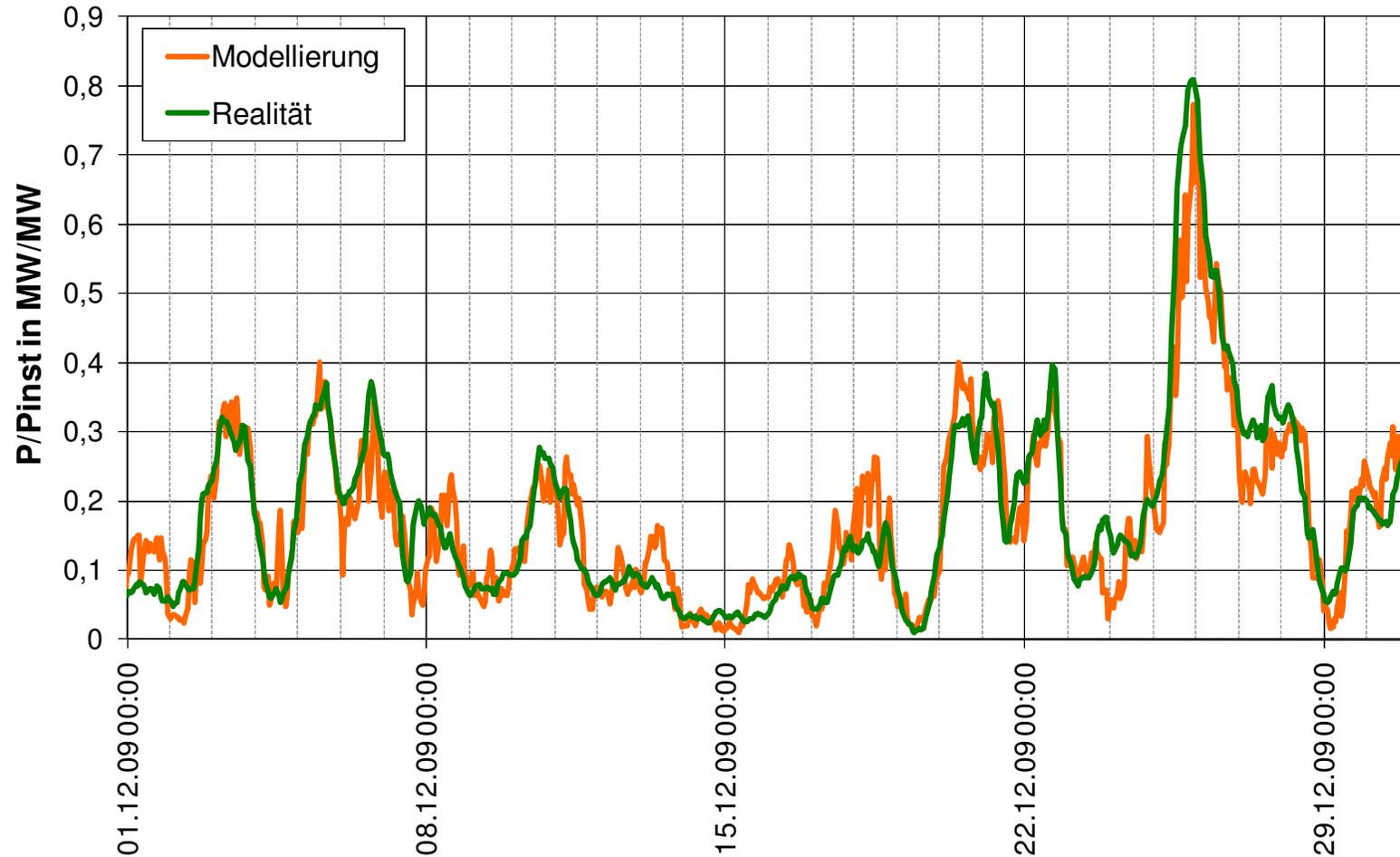
- **Volkswirtschaftliches Input-Output-Modell** als Überbau zur Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Effekte der Entwicklungen in der Elektrizitätswirtschaft;
- Verbesserung der **Speichereinsatzmodellierung**;
- Neue Methoden für **grenzüberschreitendes Engpassmanagement**, wie z.B. Market Coupling mit PTDF-Matrizen;
- Module zur Simulation **innovativer Marktsysteme** wie der Kapazitätsbepreisung und deren Auswirkungen auf Strommärkte und Konsumenten.
- Beeinflussung von Lastgängen durch **Demand Response**
- Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und der grafischen Darstellungsformen (z.B. bei GIS basierenden Grafiken)
- Schnittstellen zu kommerziellen Programmpaketen (Lastfluss)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

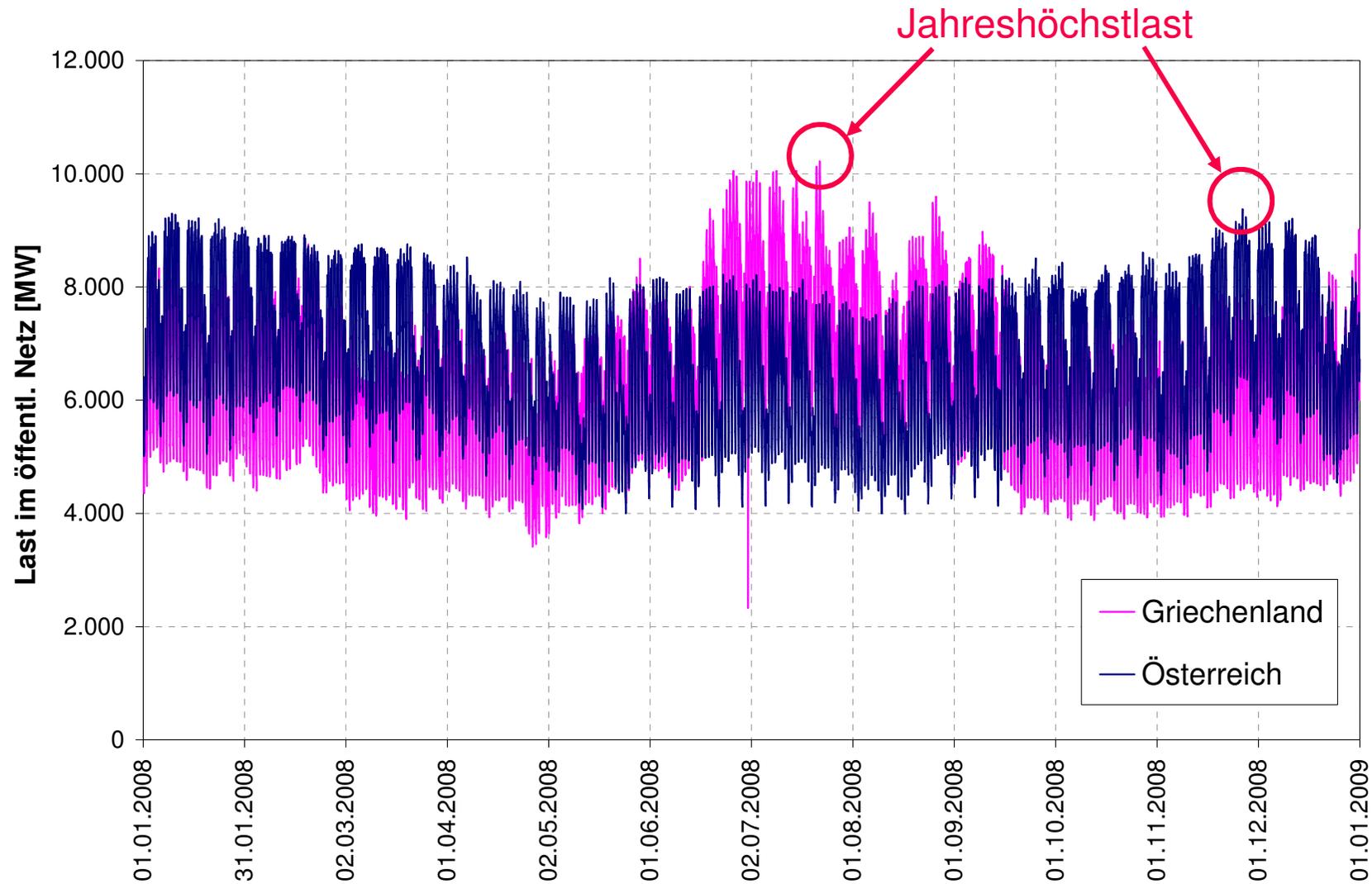




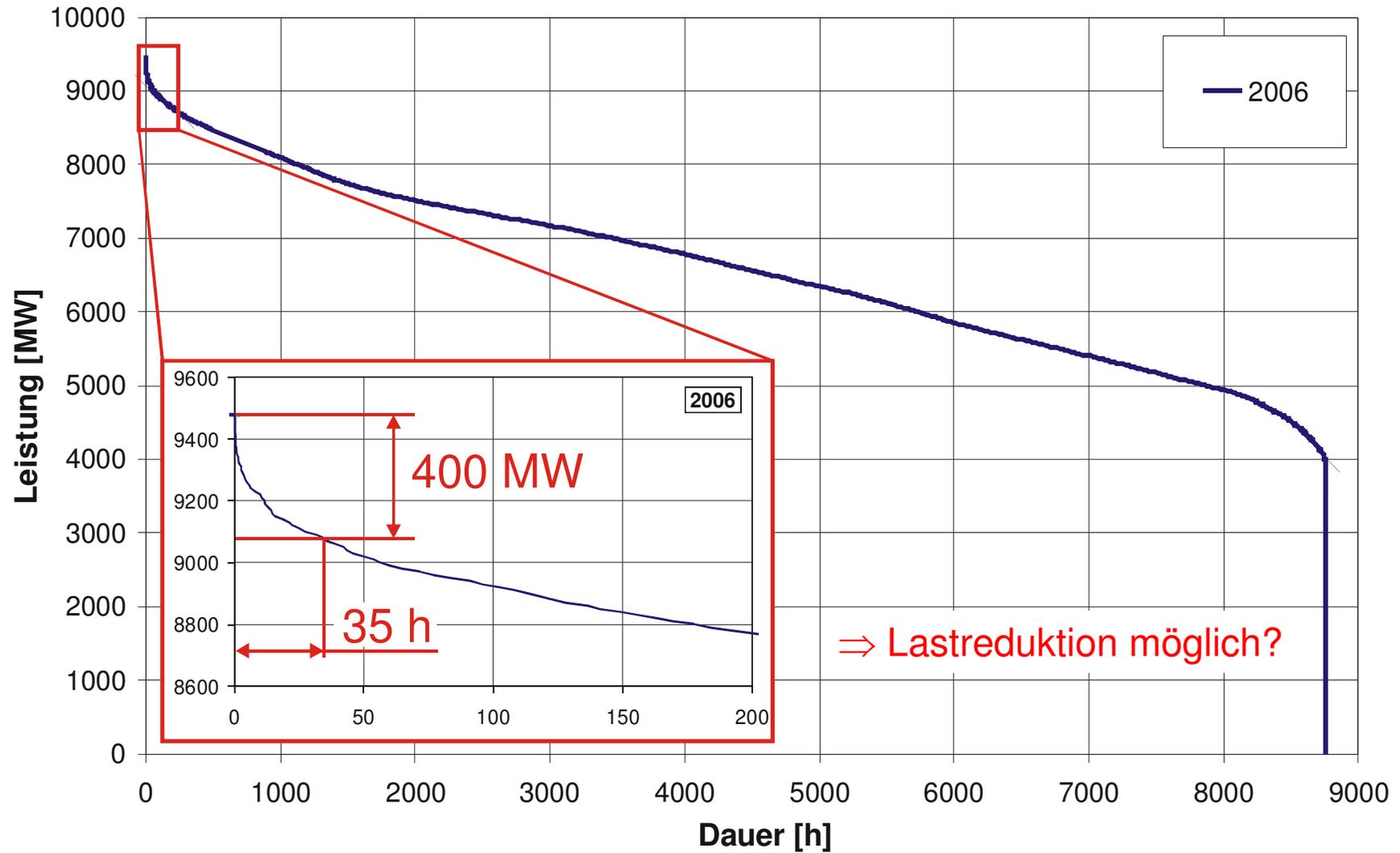
# Windkraft in DE: Realität und Simulation



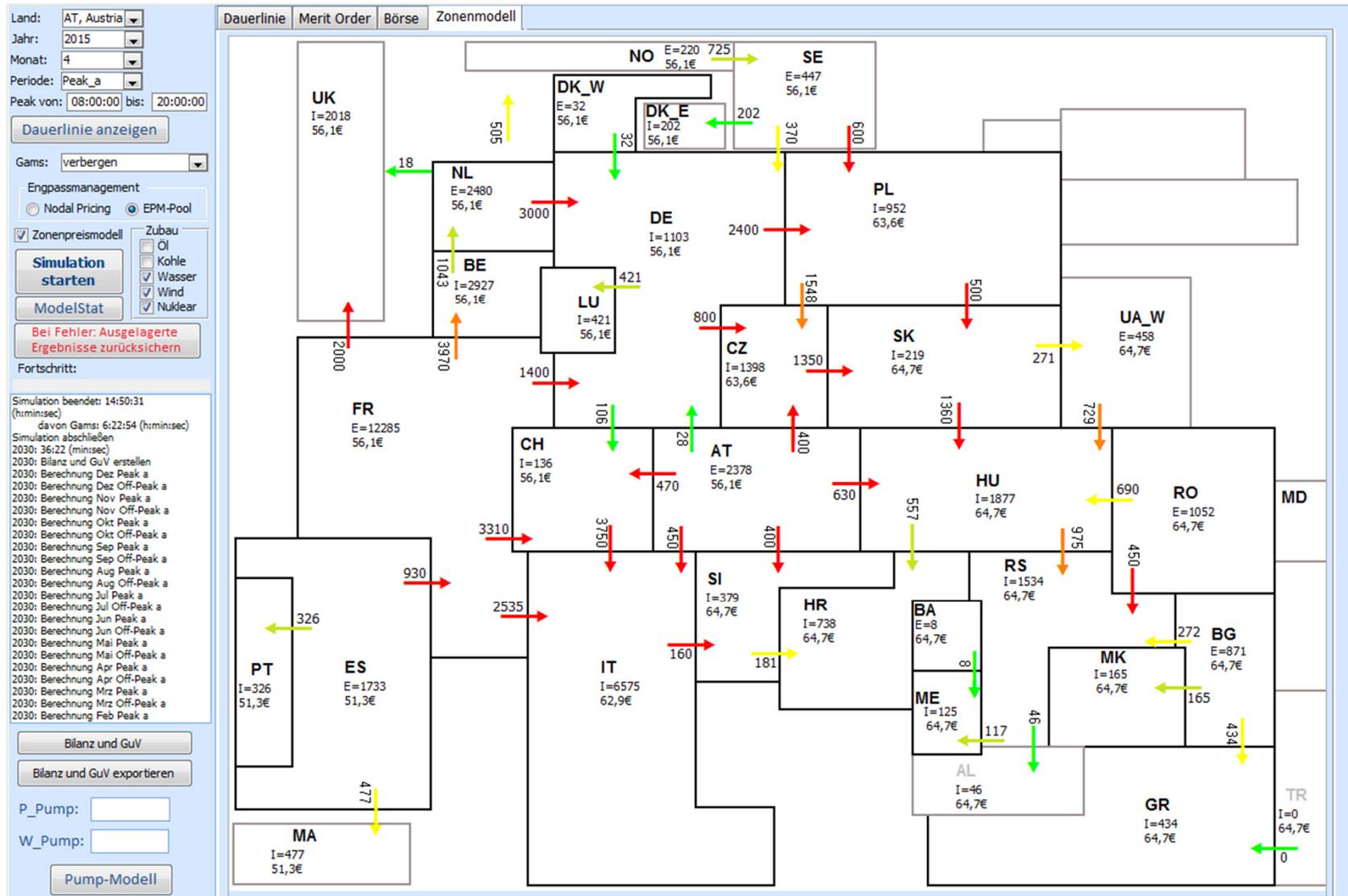
# Stündliche Jahresbedarfsganglinie je Land



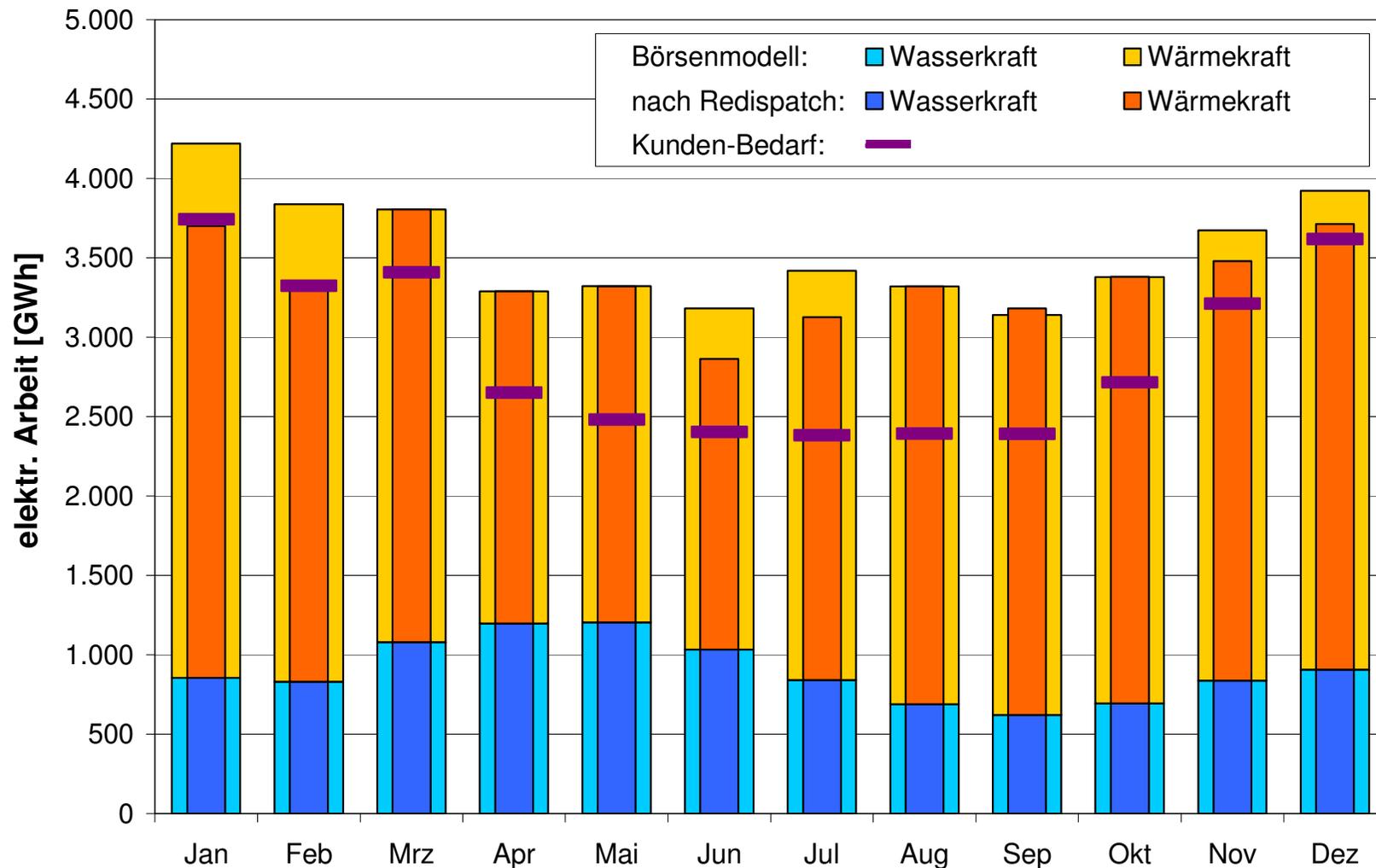
# Beispiel: Dauerlinie Österreich



# Marktgebiete und Handelsflüsse

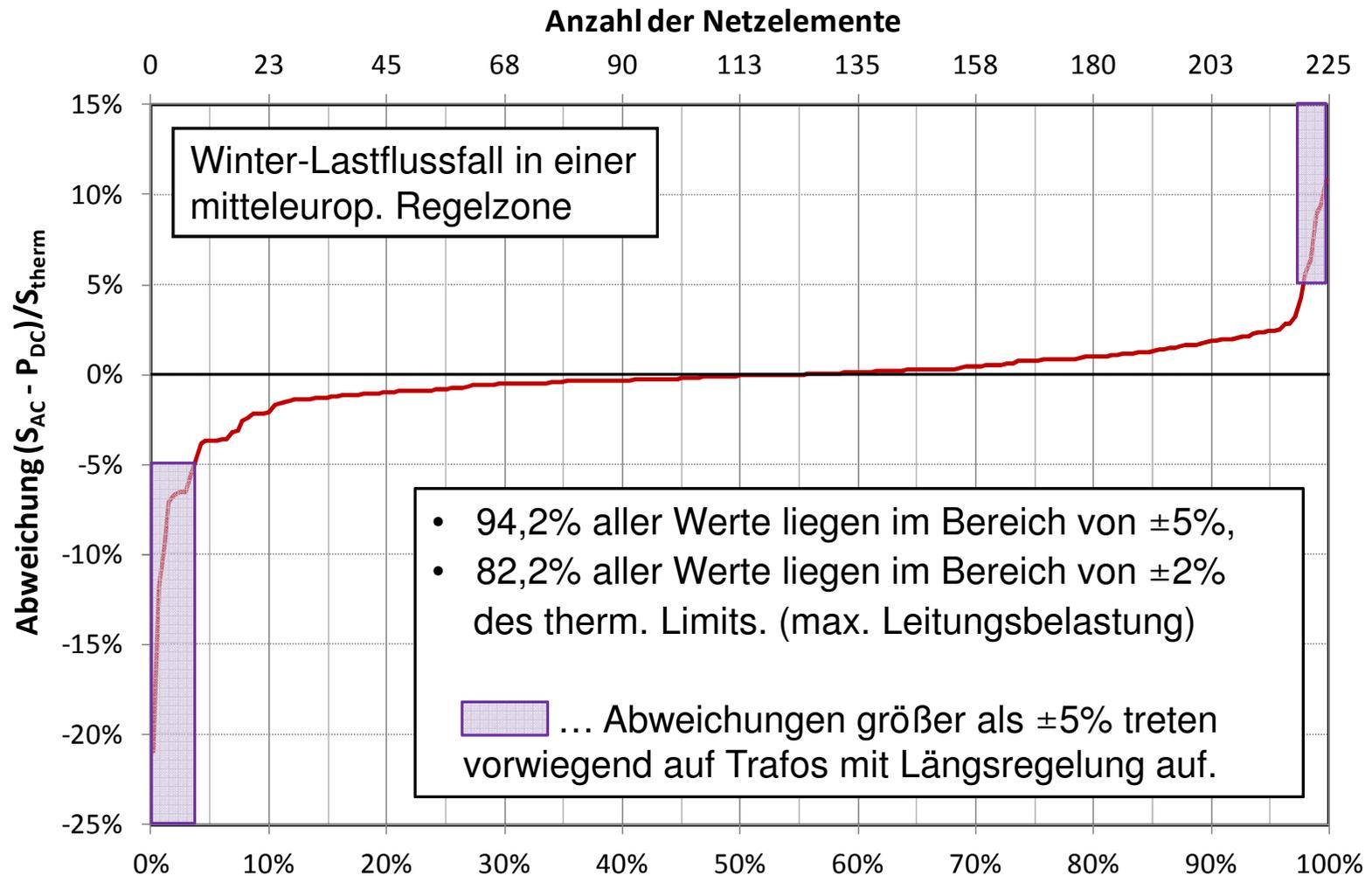


# KW-Einsatz je Unternehmen ± Redispatch



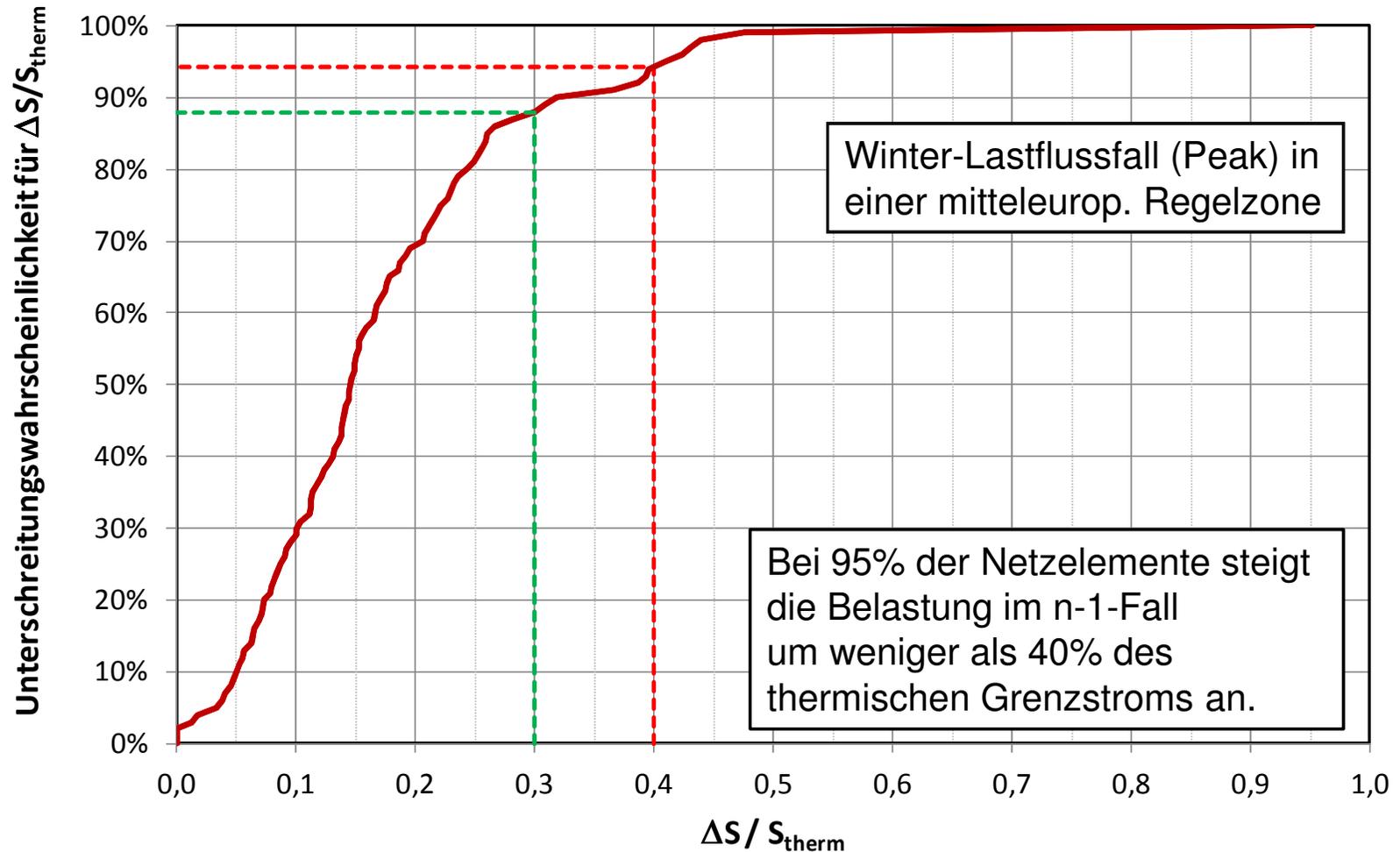
Simulation: Elektroprivreda Srbije (EPS), 2014

# Lastflussrechnung: DC vs. AC



⇒ Die Näherungsmethode DC-Lastflussrechnung ist ausreichend genau.

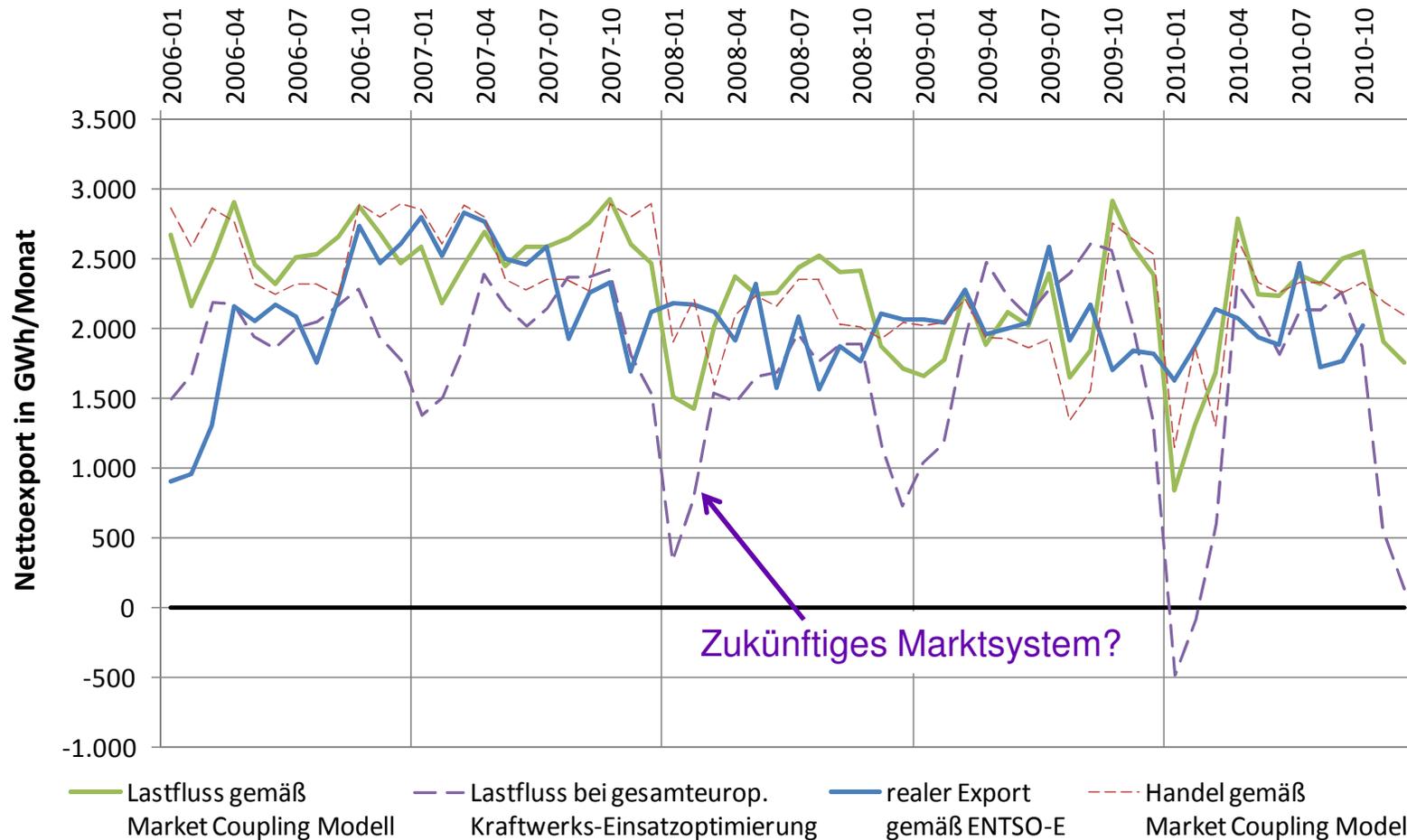
# Lastflussrechnung: vereinfachtes n-1 Prinzip



ATLANTIS berücksichtigt beim Redispatch eine Leitungsreserve (TRM) von 30% - 40%.

# Kalibrierung: grenzüberschreitende Lastflüsse

CH-IT: Modellkalibrierung - 2011-10-20



⇒ Das internationale Marktdesign hat direkte Auswirkungen auf die Netzbelastung!