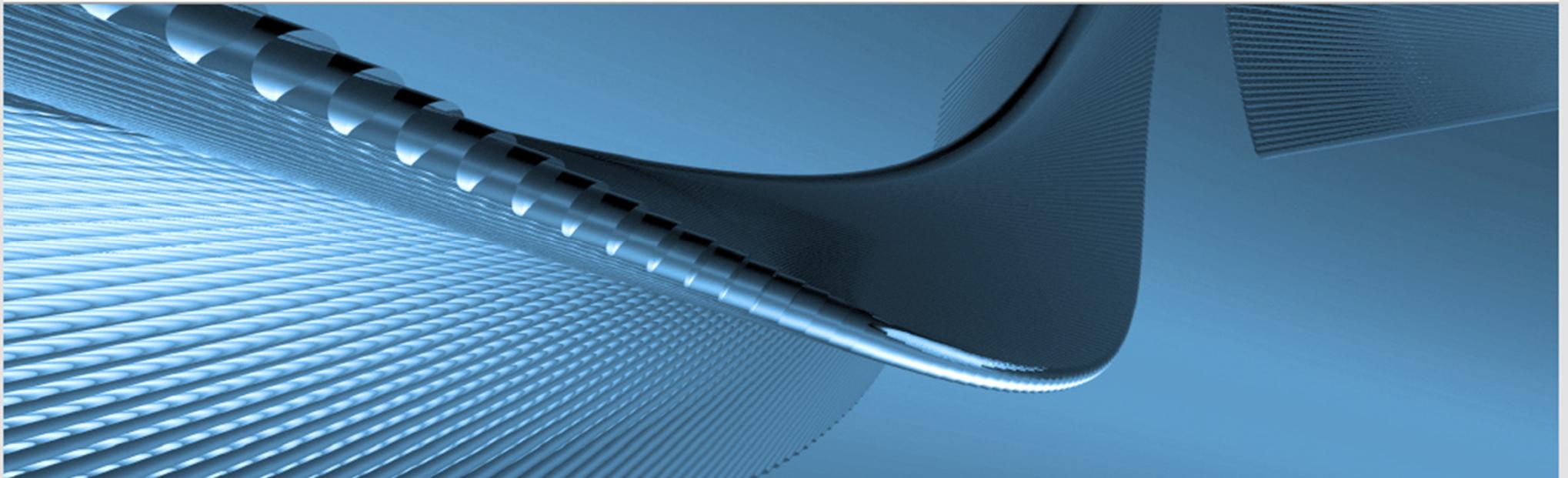


Analyse des Einflusses des Emissionshandels auf Produktion und Emissionen ausgewählter Industriesektoren

Symposium Energieinnovation

Graz, 16. Februar 2012

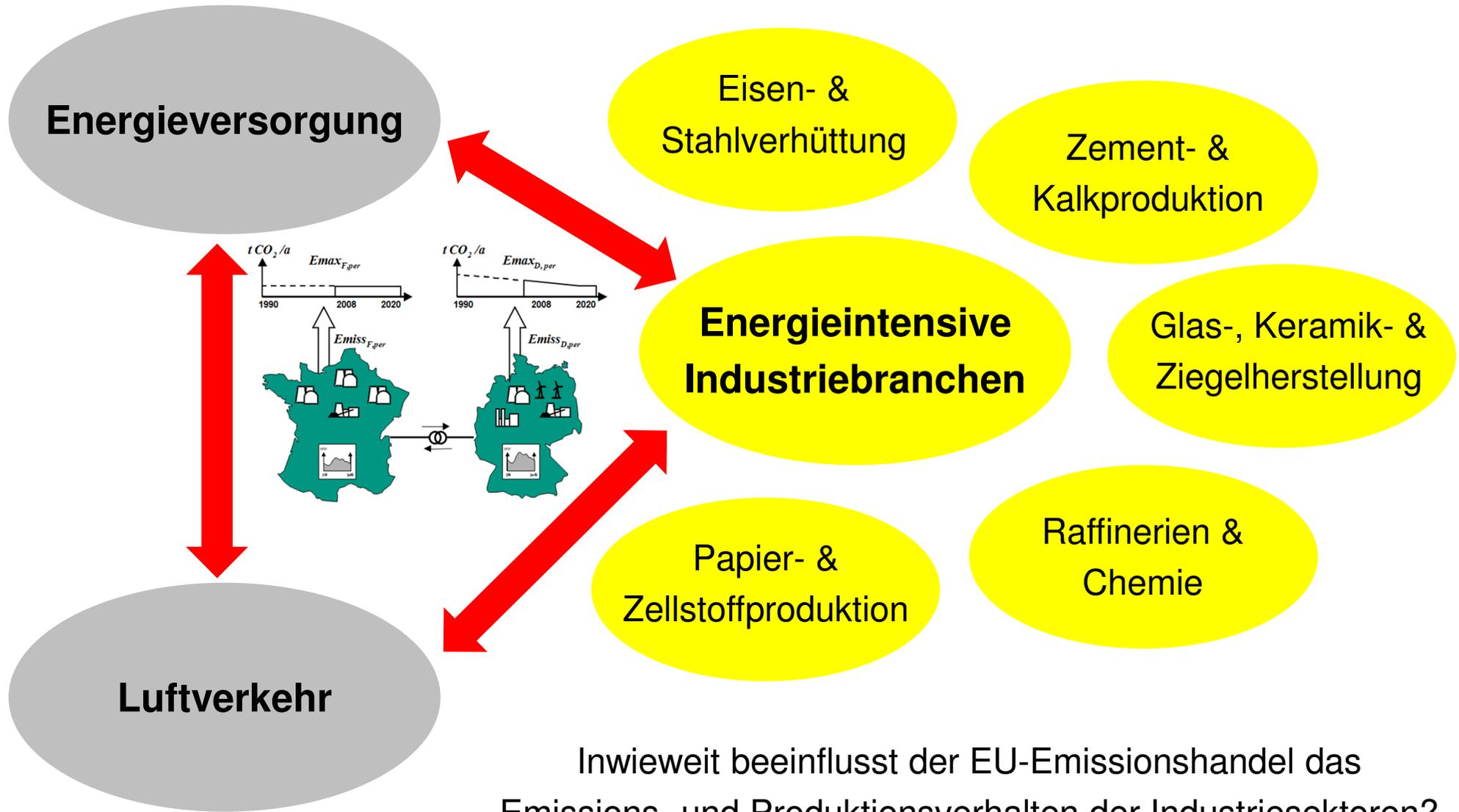
Dipl.-Ing. oec. Lutz Hillemacher



„Analyse des Einflusses des Emissionshandels auf Produktion und Emissionen ausgewählter Industriesektoren“

1. Motivation und zentrale Fragestellung
2. Überblick über die Modellierungsmethode
3. Modellstruktur PERSEUS-CERT
4. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

EU-Emissionshandel – beteiligte Sektoren



Inwieweit beeinflusst der EU-Emissionshandel das Emissions- und Produktionsverhalten der Industriesektoren?

PERSEUS: Program Package for Emission Reduction Strategies in Energy Use and Supply

Modellklassifizierung

- Multiperiodisches, lineares Energie- und Stoffflussmodell (Bottom-Up-Modell)
- Abbildung des Energieversorgungssystems sowie ausgewählter Industriesektoren als gerichteter Graph einschl. Investitionsalternativen
- Geografischer Anwendungsbereich: EU 27 zzgl. Norwegen, Schweiz
- Berücksichtigung des interregionalen Energieaustauschs
- Langfristbetrachtung (20 – 40 Jahre)
- Berücksichtigung einer kombinierten Produktions- und Ausbauplanung
- Energie- und industrielle Nachfrage für jede Region exogen vorgegeben

Marktverständnis

- perfekter Markt mit vollständigen Informationen

Zielfunktion und Nebenbedingungen

- Zielfunktion: Minimierung aller entscheidungsrelevanten Ausgaben (net present value)
 - Kraftwerke/Industrieanlagen: Fixe und variable Betriebskosten, Investitionen
 - Energie- und Stoffflüsse: Brenn- und Rohstoffpreise, variable Transmissions- bzw. Transportkosten
- Variablen: Kraftwerkszu- und -rückbau, Kraftwerkseinsatzplanung, Betriebsweisen, Auswahl industrieller Produktionstechnologien
- Nebenbedingungen: Kapazitätsrestriktionen, Anlagenverfügbarkeit, Verfügbarkeit von Brenn- und Rohstoffen, Bedarfsdeckung, Energiebilanzen

Zeitliche Auflösung

- Betrachtung von 36 Zeitscheiben pro Jahr
(4 Jahreszeiten, 2 Typtage, 6 bzw. 3 Zeitscheiben je Typtag)

PERSEUS-CERT – Modellstruktur (1)

Aggregations-
ebene

Region

Geografisch abgegrenzte Subsysteme mit analoger Sektorenstruktur

Sektor

Gruppierung von Produzenten (z.B. Energieversorgung, Industrie)

Struktur-
ebene

Produzent

Knoten der Graphenstruktur:
Erzeuger, Netzknoten und Nach-
frager einschl. zugehörigem
Anlagenbestand

Flüsse

Kanten der Graphenstruktur:
Energie- und Stoffflüsse zwischen
den Produzenten einschl. techno-
ökonomischer Kenngrößen

Detail-
ebene

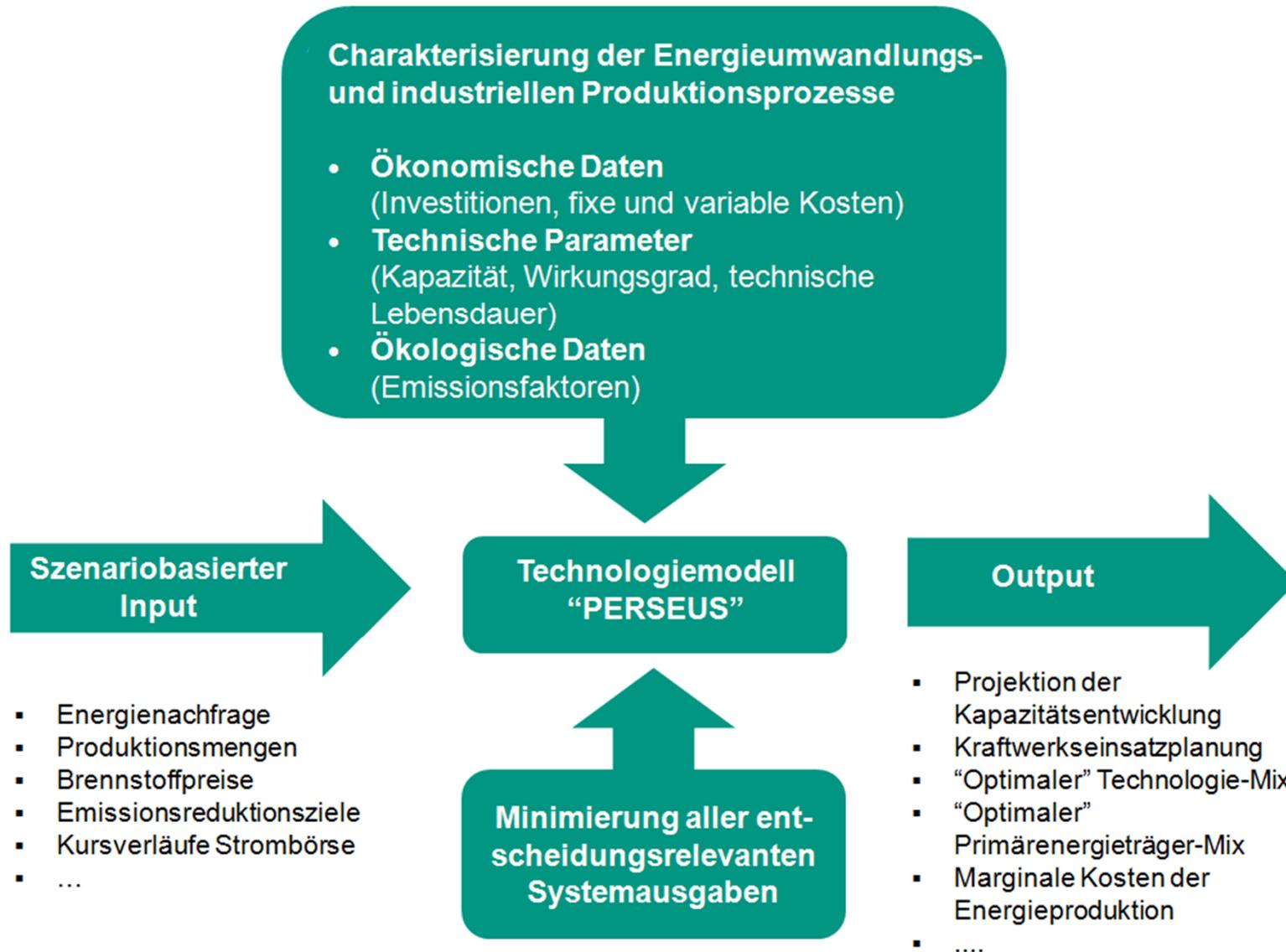
Anlage

Referenzanlagen (→ Technologieklasse) einschl. techno-ökonom. Kenngrößen

Prozess

Techno-ökonom. Parameter unterschiedlicher Produktions- und Betriebsarten

PERSEUS-CERT – Modellstruktur (2)



PERSEUS-CERT – Zielfunktion

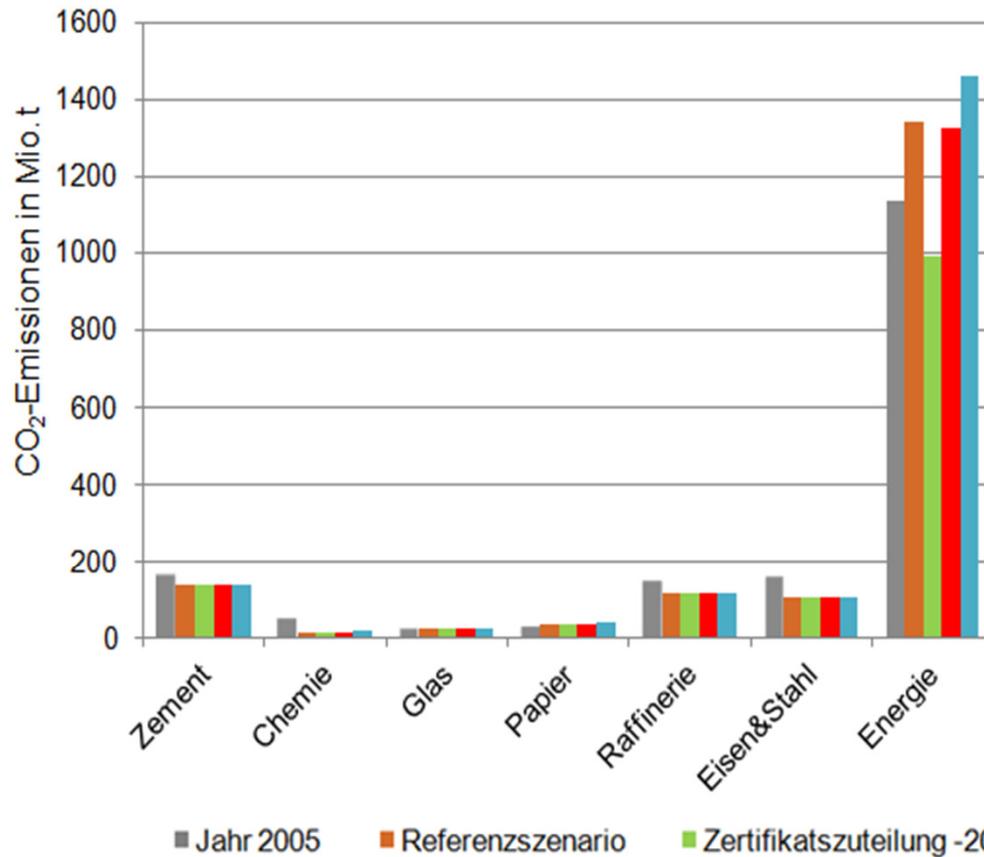
$$\min \sum_{t \in T} \alpha_t \cdot \left[\begin{aligned} & \sum_{imp \in IMP} \sum_{ec \in EC} \sum_{prod \in PROD} FL_{imp, prod, t, seas} \cdot C_{fuel_{prod, ec, t}} && \text{Brennstoffkosten} \\ & + \sum_{seas \in S} \sum_{proc \in PROC} \left(PL_{proc, t, seas} \cdot C_{var_{proc, t}} + \right. && \text{Variable Kosten} \\ & \quad \left. (LVup_{proc, seas-1, seas, t} + LVdown_{unit, seas-1, seas, t}) \cdot C_{load_{proc, t}} \right. && \text{Laständerungskosten} \\ & \quad \left. + PL_{proc, t, seas} \cdot ProcEmiss_{CO_2, proc, t} \cdot C_{CO_2, t} \right) && \text{Emissionssteuern/-kosten} \\ & + \sum_{u \in U} \left[Cap_{unit, t} \cdot (C_{fix_{unit, t}} + C_{wat_{unit, t}}) + \right. && \text{Kapazitätskosten} \\ & \quad \left. NewCap_{unit, t} \cdot C_{inv_{unit, t}} \right] && \text{Investitionen} \end{aligned} \right]$$



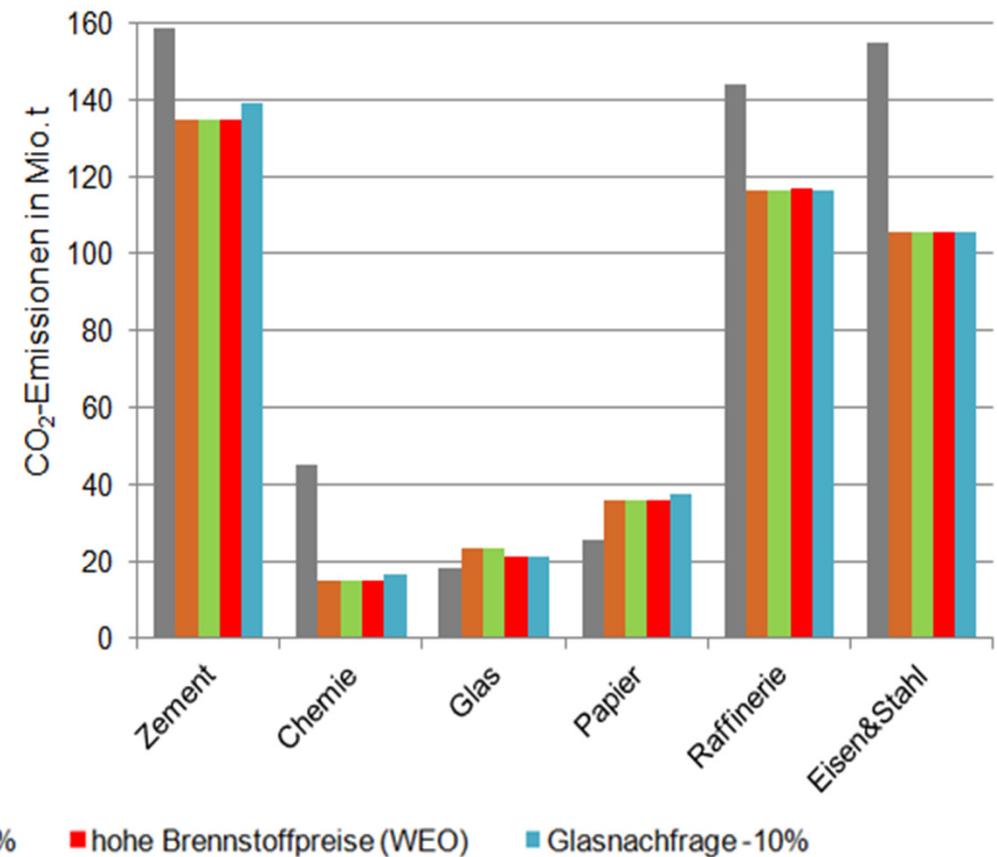
Minimierung aller auf das Basisjahr diskontierten entscheidungsrelevanten Systemausgaben unter Berücksichtigung der als Nebenbedingungen implementierten techno-ökonomischen und ökologischen Restriktionen des modellierten Energiesystems sowie der berücksichtigten Industriesektoren

CO₂-Emissionen im Jahr 2025 nach Sektoren

Alle berücksichtigten Sektoren



Detailausschnitt: Industriesektoren



EU-15-Staaten zzgl. Norwegen, Polen, Schweiz

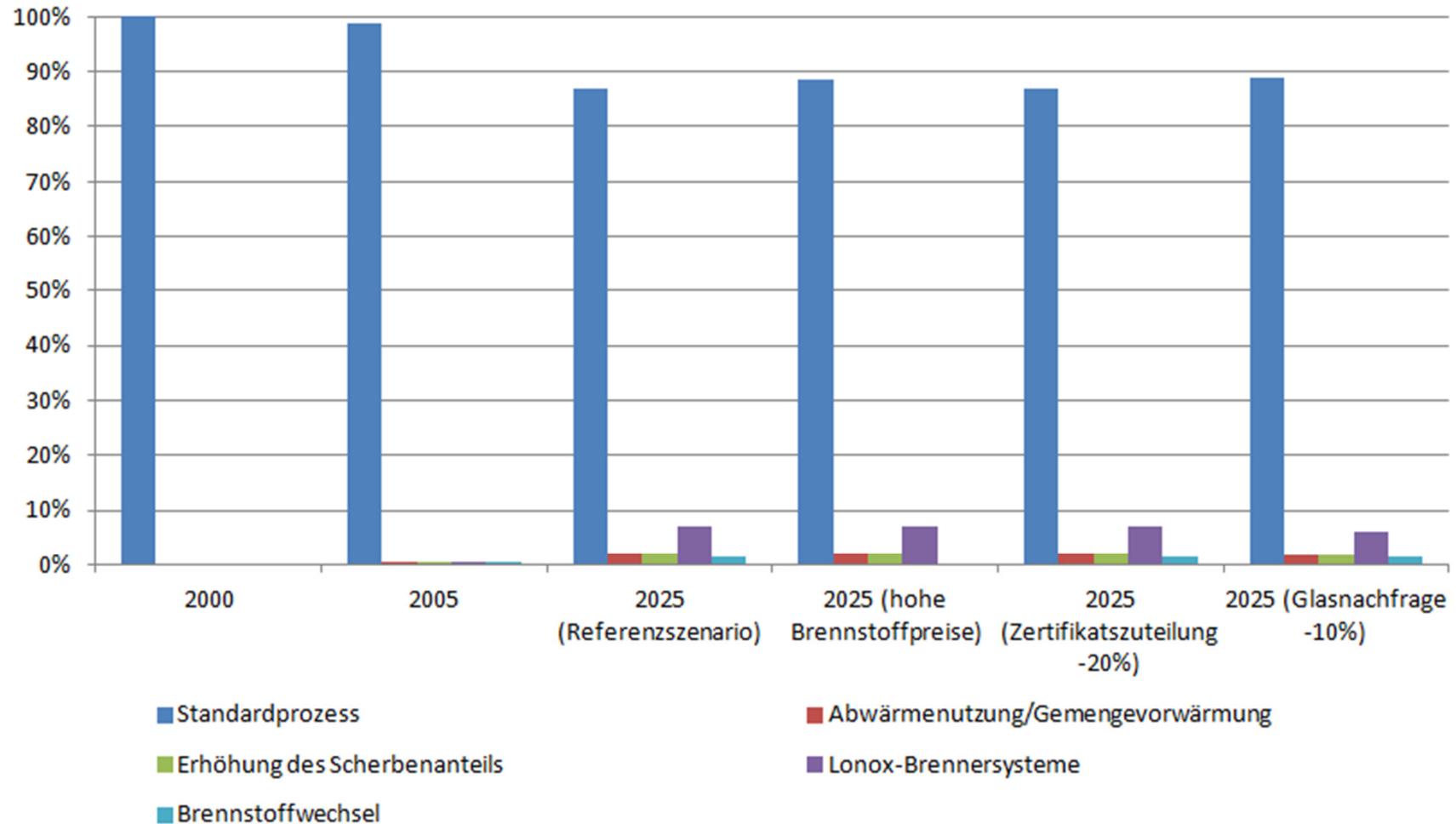
Sektorenschema Glassektor



Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Produktionsprozessen mit prozessspezifischen Input- /Output- sowie Kosten-Parametern

Glasproduktion in Deutschland im Jahr 2025

Relative Anteile der Produktionsprozesse an der Gesamtproduktion



Unter der Prämisse der exogen vorgegebenen industriellen Nachfrage

- ist das Produktionsverhalten der Industriesektoren fast ausschließlich nachfragegetrieben und wird durch eine Veränderung der Zuteilungen von Emissionsrechten kaum beeinflusst,
- werden die Auswirkungen einer Verknappung der Verschmutzungsrechte auf Grund geringerer Vermeidungskosten nahezu vollständig vom Energieversorgungssektor abgefangen,
- führen hohe Brennstoffpreise ebenfalls zu keinen nennenswerten Veränderungen im Produktionsablauf und
- werden neue Produktionstechnologien weitgehend unbeeinflusst von obigen Aspekten implementiert, jedoch in geringerem Ausmaß, als es die Durchdringungsraten zuließen.

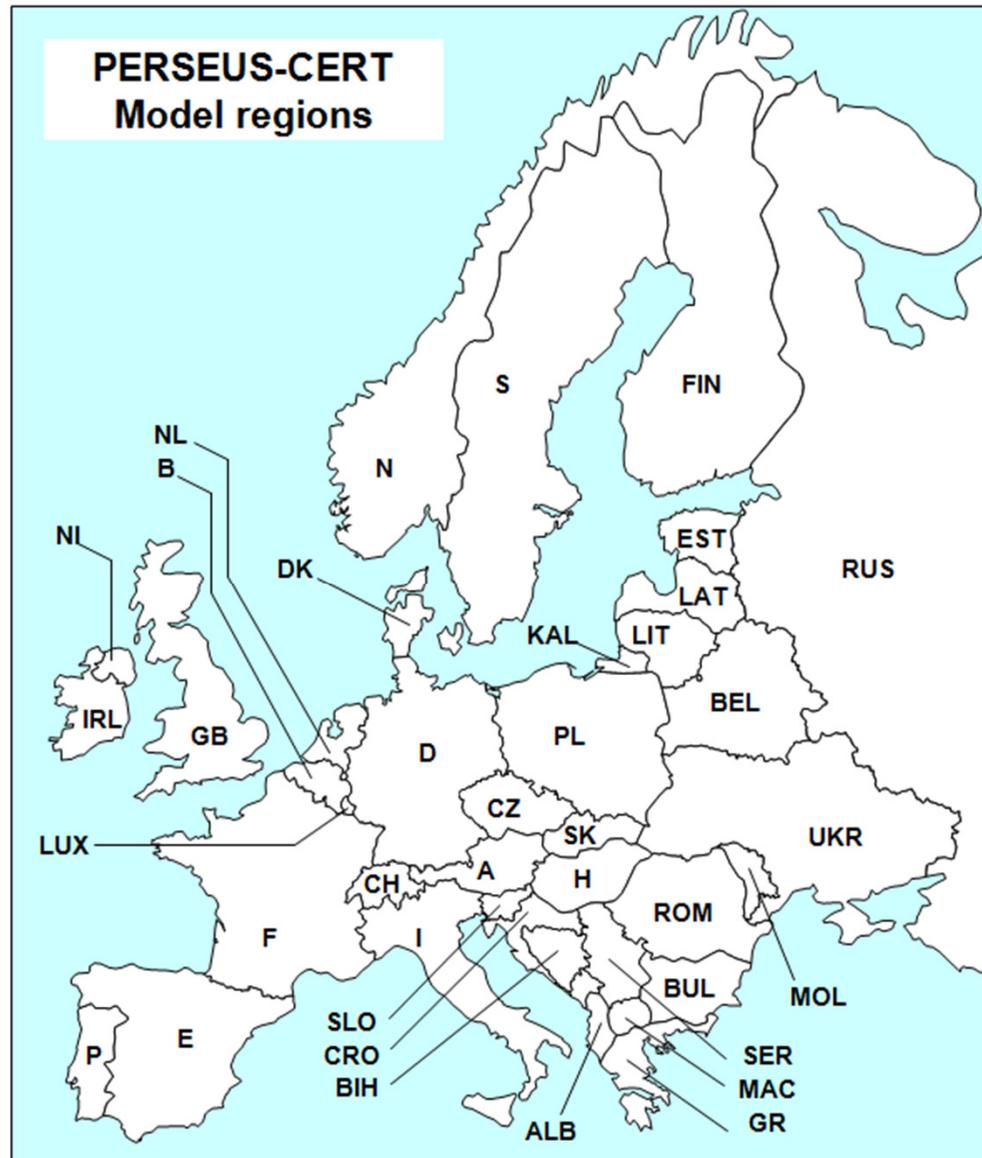
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Lehrstuhl für Energiewirtschaft
Lutz Hillemacher
Hertzstraße 16 | D – 76187 Karlsruhe
Mail: Hillemacher@kit.edu | <http://www.iip.kit.edu>
Tel.: +49 721 608 44409

Backup

Model structure: Linkage of regional subsystems



Multiregional model structure

- 29 energy subsystems, freely activated
- 18 industrial subsystems, freely activated
- participation in emission trading independently activatable

Regionally differentiated data sets

- energy conversion technologies
- fuel supply options
- load structure

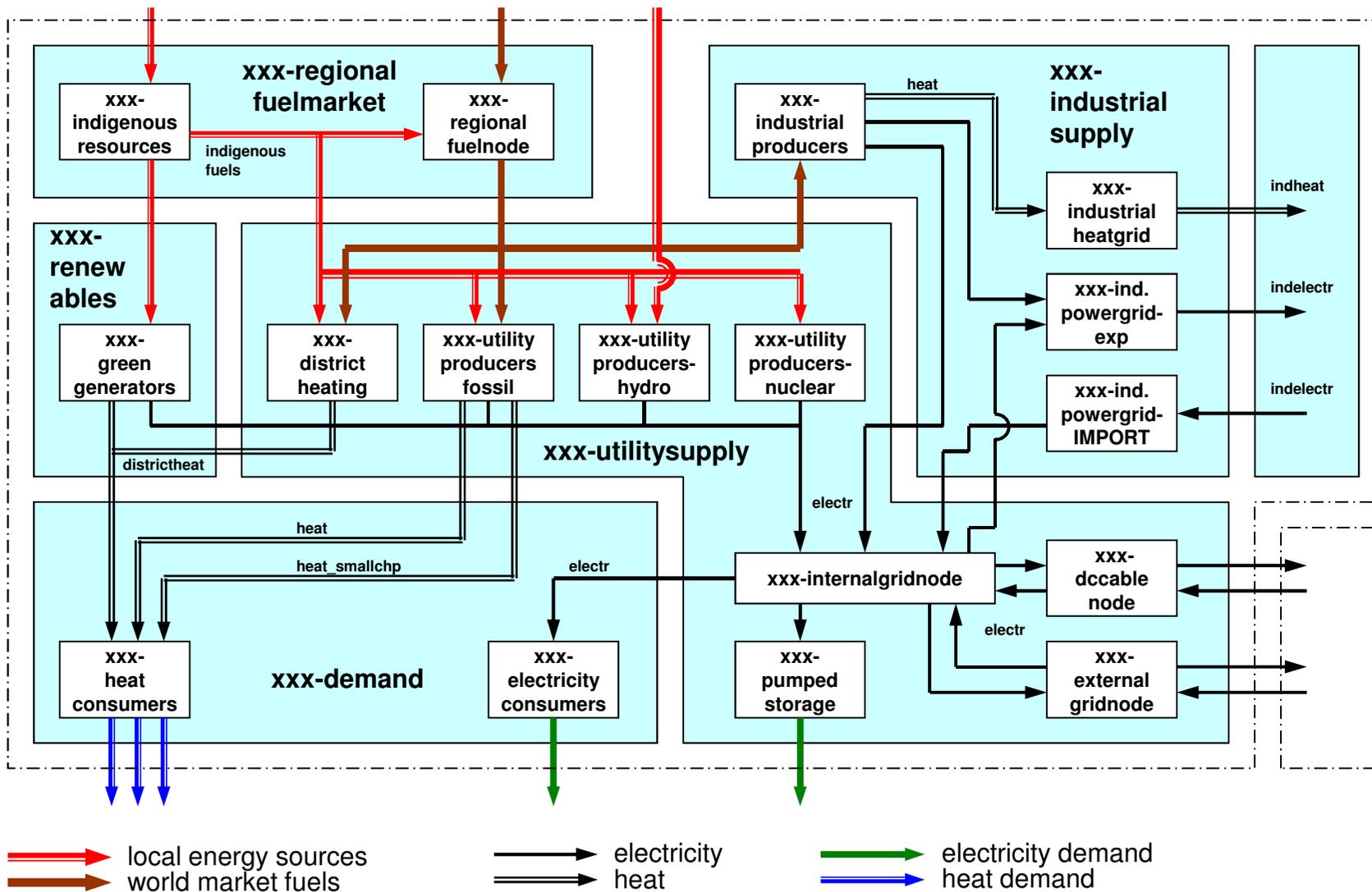
Industrial sector modelling

- driven by product demand
- industrial production technologies
- influence on electricity demand

Model size

- 4100 plants, 4800 processes
5300 flows
- 0,86 Mio. equations
1,33 Mio. variables

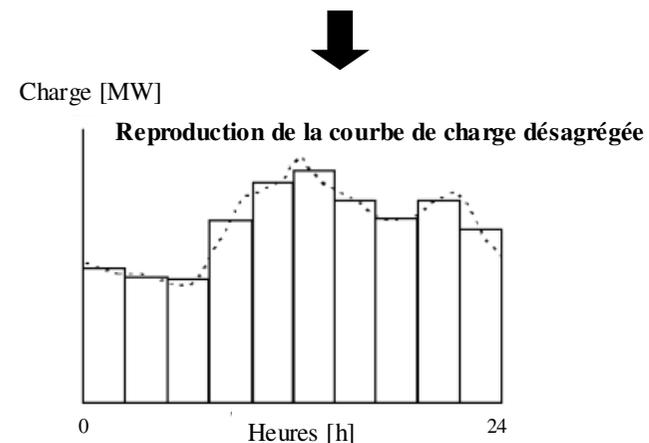
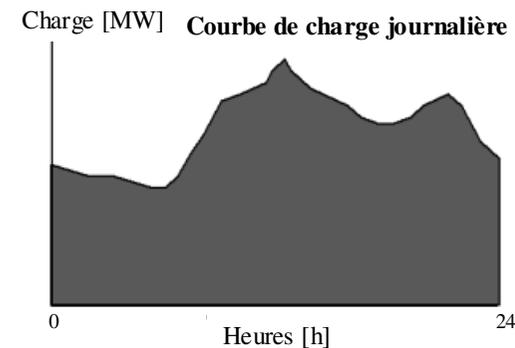
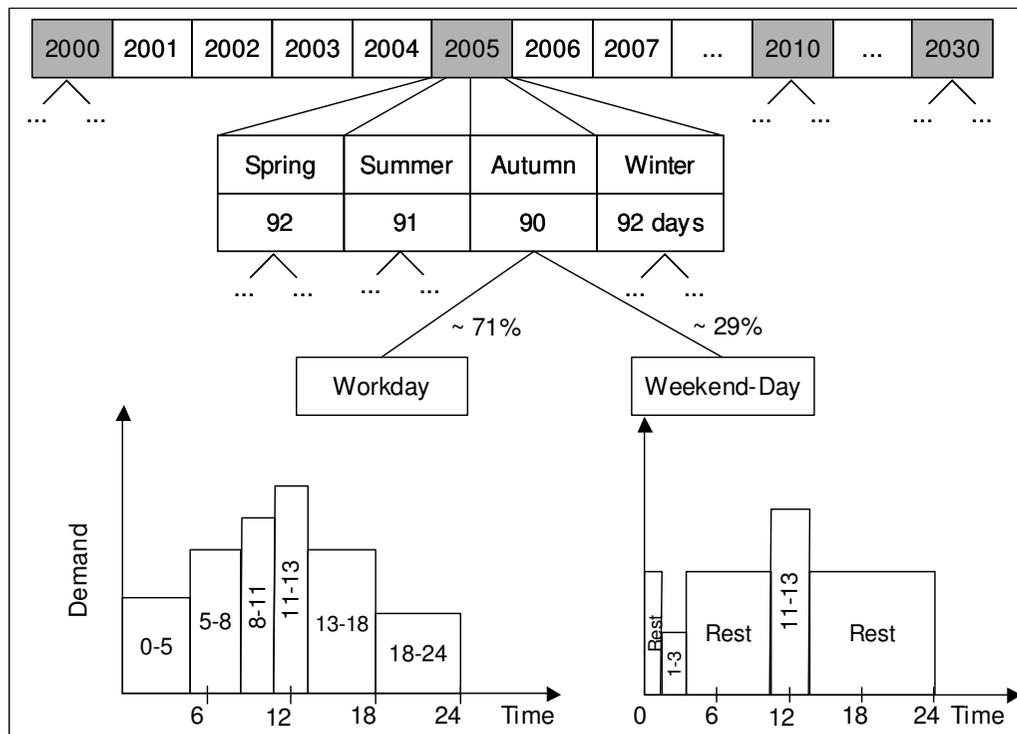
Model structure: energy sector



Load curve construction

Example: Temporal structure of electricity demand

- Construction in the model with 8 type days: 4 yearly periods x 2 days (week / WE day)
- Load curves represented by 6 / 3 time periods (week / WE day)
- 36 characteristic time slots per year



PERSEUS: Selected constraints

Energy balance equation

$$\sum_{imp \in IMP} FL_{imp,prod,ec,t} + \sum_{prod' \in PROD_{prod,ec}} FL_{prod',prod,ec,t} + \sum_{proc \in GENPROC_{prod,ec}} PL_{proc,t} \cdot \lambda_{proc,ec}$$

$$= \sum_{exp \in EXP} FL_{prod,exp,ec,t} + \sum_{prod' \in PROD'_{prod,ec}} FL_{prod,prod',ec,t} + \sum_{proc \in DEMPROC_{prod,ec}} PL_{proc,t} \cdot \frac{\lambda_{proc,ec}}{\eta_{proc,ec}}$$

$$\forall t \in T; \quad \forall prod \in PROD; \quad \forall ec \in EC_{non-seas}$$

Process utilisation equation

$$Cap_{unit,t} \cdot Avai_{unit,t} \cdot h_{seas} \geq \sum_{proc \in PROC_{unit}} PL_{proc,seas,t}$$

$$\forall t \in T; \quad \forall unit \in UNIT; \quad \forall seas \in SEAS$$

Demand equation

$$\sum_{prod \in Prod} \sum_{exp \in Exp} FL_{prod,exp,t,seas} \geq D_{t,seas}$$

$$\forall prod \in Prod; \forall seas \in S; \forall t \in T$$

Decision variables

Process level

$$PL_{p,t,seas} \in \mathbb{R}^+$$

Energy flow

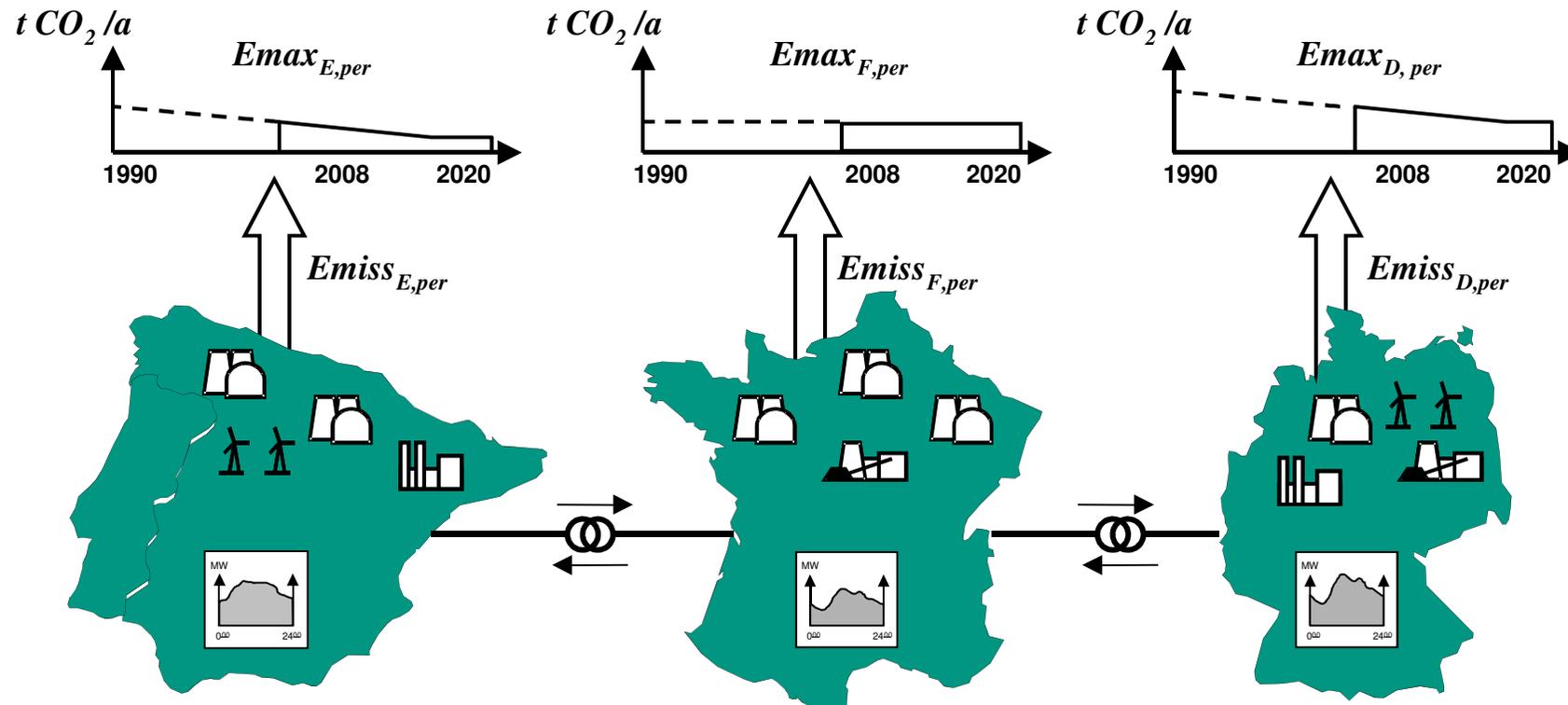
$$FL_{prod',prod,t,seas} \in \mathbb{R}^+$$

Capacity decision

$$Cap_{unit,t}, NewCap_{unit,t} \in \mathbb{R}^+$$

Purchase and selling of electricity

$$B_{imp,b,t,seas}, B_{exp,b,t,seas} \in \mathbb{R}^+$$



Nationale Klimaziele ohne Emissionshandel:

$$Emiss_{reg,per} \leq Emax_{reg,per}$$

Nationale Klimaziele mit Emissionshandel:

$$Emiss_{reg,per} = Emax_{reg,per} + \Delta Emiss_{reg,per}$$

$$\sum_{reg} \Delta Emiss_{reg,per} \leq 0$$

Certificate trade II: Equation system

Sectoral balance

$$\Delta Emiss_{sec,per} = Emiss_{sec,per} - Emax_{sec,per} - Epenalty_{sec,per} + Elost_{sec,per}$$

→ $\Delta Emiss_{sec,per} < 0$: certificate sales

→ $\Delta Emiss_{sec,per} > 0$: certificate purchases

Trading equation

$$\sum_{sec} \Delta Emiss_{sec,per} \leq 0 \left(+ \sum_{ky \in KyotoID} Ekyoto_{ky,per} \right)$$

Trade limitations

$$\sum_{sec \in SEC_{reg}} \Delta Emiss_{reg,per} \leq \beta_{reg,per} \cdot Emax_{reg,per} \quad (\beta = limit)$$

Banking

$$\sum_{reg} \sum_{per=t_0}^{t_0+n} \sum_{sec \in SEC_{reg}} \Delta Emiss_{reg,per} \leq 0 \quad (n = banking\ period)$$

Transaction costs

$$\sum_{per} \left(\alpha_{per} \cdot \sum_{sec} |\Delta Emiss_{sec,per}| \cdot TransCost_{per} \right) \quad (\rightarrow target\ function)$$

Penalty costs

$$\sum_{per} \left(\alpha_{per} \cdot \sum_{sec} Epenalty_{sec,per} \cdot Penalty_{per} \right) \quad (\rightarrow target\ function)$$

External certificaes

$$\sum_{per} \left(\alpha_{per} \cdot \sum_{ky} Ekyoto_{ky,per} \cdot KyotoCost_{ky,per} \right) \quad (\rightarrow target\ function)$$

Electricity price projections

- to explain electricity prices from the fundamental generation costs
- marginal costs (shadow prices) of the mathematical model are used to derive electricity prices

Structural changes

- simultaneously optimised plant dispatch and (dis)investment strategy
- expected structural adaptations of the entire system to external market conditions can be analysed in detail

Interregional power exchanges

- modifications of the generation structure from one region to another will directly affect power generation structures and/or power exchange characteristics between the two regions
- effects of an increase of transmission capacities can be used to analyse their influence on investment decisions

Emission trading

- Trade balance of sectors / countries (CO₂-reduction) / CO₂- certificate prices
- Influence alternative emissions rights allocations
- Influence outer market certificate (JI/CDM/Hotair)