

Netzausbau und Marktmacht - Wie mehr Integration die Wohlfahrt steigert

EnInnov 2014 Graz – 13. Symposium Energieinnovation
Innehalten und Ausblick: Effektivität und Effizienz für die Energiewende
13. Februar 2014

Alexander Zerrahn & Daniel Huppmann

Netzausbau kann die Wohlfahrt steigern

Netzausbau aus Wohlfahrtsperspektive

Eine Analyse der Europäischen Strombörse EPEX bescheinigt

→ Ohne internationale Netzengpässe wäre 2013 die Wohlfahrt um 250 Mio. Euro höher gewesen

Eine Analyse von ACER sieht das ähnlich

→ Für manche Grenzleitungen würden 100 MW mehr Kapazität die Wohlfahrt um 25 Mio. Euro steigern

Reine Effizienzgewinne (gains from trade)

Netzausbau kann die Wohlfahrt steigern

Netzausbau aus Wohlfahrtsperspektive

Eine Analyse der Europäischen Strombörse EPEX bescheinigt

→ Ohne internationale Netzengpässe wäre 2013 die Wohlfahrt um 250 Mio. Euro höher gewesen

Eine Analyse von ACER sieht das ähnlich

→ Für manche Grenzleitungen würden 100 MW mehr Kapazität die Wohlfahrt um 25 Mio. Euro steigern

Reine Effizienzgewinne (gains from trade)

Netzausbau aus politischer Perspektive

Seit Mitte der 1990er besteht das Europäische Politikziel der Schaffung eines *Internal Energy Market*:

- Entflechtung von Produktion, Netz und Vertrieb
- Mehr Wettbewerb
- Integration über nationale Grenzen hinweg

Europäische Kommission, 2012

*The European Union needs an internal energy market that is competitive, **integrated and fluid**, providing a solid backbone for electricity and gas flowing where it is needed. [...] Despite major advantages in recent years [...], more must be done to **integrate markets**, improve competition and respond to new challenges*

Netzausbau zur Begrenzung von Marktmacht

Die Erzeugungsstruktur in Europa bleibt konzentriert

Marktanteile des größten Erzeugers (EU 2012, Eurostat 2012)

- In allen EU-Staaten außer Polen über 20%
- In zehn Staaten über 70%
- In acht Staaten über 80%

Daraus ergibt sich die Frage

→ ob weitere Integration dieses Marktmachtpotenzial begrenzen kann

Europäische Kommission, 2012

*The European Union needs an internal energy market that is **competitive**, integrated and fluid, providing a solid backbone for electricity and gas flowing where it is needed. [...] Despite major advantages in recent years [...], more must be done to integrate markets, **improve competition** and respond to new challenges*

Netzausbau zur Begrenzung von Marktmacht

Die Erzeugungsstruktur in Europa bleibt konzentriert

Marktanteile des größten Erzeugers (EU 2012, Eurostat 2012)

- In allen EU-Staaten außer Polen über 20%
- In zehn Staaten über 70%
- In acht Staaten über 80%

Daraus ergibt sich die Frage

→ ob weitere Integration dieses Marktmachtpotenzial begrenzen kann

Insitutionelle Basis: Market Coupling

- Market Coupling-Initiativen auf regionaler Ebene in ganz Europa
- Zum Beispiel CWE: Implizite Auktionen
- Ziel (Electricity Target Model): Pan-Europäisches Price-Coupling

Fraglich ist, ob vorhandene Interkonnektorkapazitäten ausreichen

Europäische Kommission, 2012

*The European Union needs an internal energy market that is **competitive**, integrated and fluid, providing a solid backbone for electricity and gas flowing where it is needed. [...] Despite major advantages in recent years [...], more must be done to integrate markets, **improve competition** and respond to new challenges*

Forschungsagenda

Was wir beantworten wollen

Verspricht der Ausbau von Interkonnektorkapazitäten Wohlfahrtsgewinne durch reduzierte Ausübung von Marktmacht?

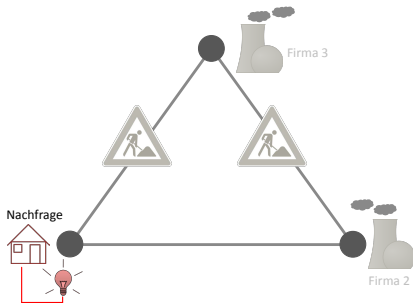
Grundsätzliche Abwägung

Kosten des Netzausbaus vs. Nutzen des Netzausbaus durch reduzierte Marktmacht

Hierzu entwickeln wir ein dreistufiges Modell

Stufe III

ISO räumt den Markt



Forschungsagenda

Was wir beantworten wollen

Verspricht der Ausbau von Interkonnektorkapazitäten Wohlfahrtsgewinne durch reduzierte Ausübung von Marktmacht?

Grundsätzliche Abwägung

Kosten des Netzausbaus vs. Nutzen des Netzausbaus durch reduzierte Marktmacht

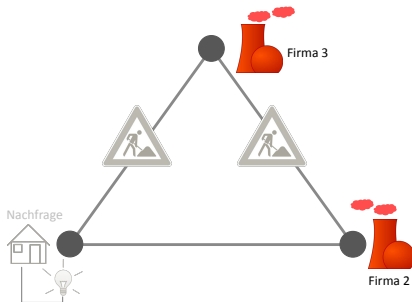
Hierzu entwickeln wir ein dreistufiges Modell

Stufe II

Strategische Firmen produzieren im Mengenwettbewerb

Stufe III

ISO räumt den Markt



Forschungsagenda

Was wir beantworten wollen

Verspricht der Ausbau von Interkonnektorkapazitäten Wohlfahrtsgewinne durch reduzierte Ausübung von Marktmacht?

Grundsätzliche Abwägung

Kosten des Netzausbaus vs. Nutzen des Netzausbaus durch reduzierte Marktmacht

Hierzu entwickeln wir ein dreistufiges Modell

Stufe I

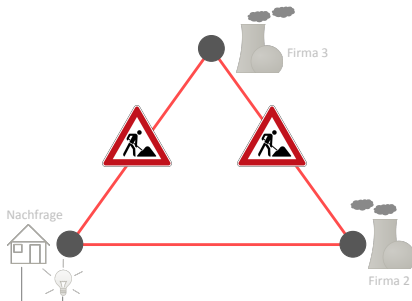
Sozialer Planer baut das Netz aus

Stufe II

Strategische Firmen produzieren im Mengenwettbewerb

Stufe III

ISO räumt den Markt und bestimmt Knotenpreise



Wurde so etwas bereits analysiert?

Neuhoff et al. (2005): The Devil is in the Details

- Überblick zur Forschung zu Wettbewerb und Netzen
- Modellierung strategischer Spieler in Netzen mit Leitungsengpässen schwierig

Borenstein et al. (2000): Thin-Line-Paper

- Analytische Lösung für Zwei-Knoten-Netz ohne Ausbau
- Bereits geringe Kapazitäten reichen aus, um Wettbewerb herzustellen
- Hierzu ist es irrelevant, ob diese Leitungen tatsächlich genutzt werden

Pozo et al. (2013): Strategische Investitionen unter Netzrestriktionen

- Vereinfachung ohne strategischen Spotmarkt
- Netzausbau kann die soziale Wohlfahrt erhöhen
- Antizipativer vs. reagierender Netzausbau

In der vergleichbaren Literatur

- Kein Fokus auf Marktmacht
- Kein Fokus auf Cournot-Wettbewerb auf dem Spotmarkt
- Fokus auf Investitionen problematisch

Lösung des Modells: Spotmarkt

Stufe	Zeit	<i>Spieler</i> und Entscheidungen
II	Spotmarkt	<i>Strategische Erzeugung</i> Erzeugung an jedem Knoten
III		<i>Independent System Operator (ISO)</i> Dispatch wettbewerblicher Erzeuger, Last, Preise, Netzflüsse innerhalb der Kapazitäten

Mathematisch wird der Spotmarkt beschrieben durch ein
Equilibrium Problem under Equilibrium Constraints

→ **Stufe II:** Strategische Firmen maximieren Gewinn (EP)

→ **Stufe III:** NB, dass der Spotmarkt gleichgewichtig geräumt wird (EC)

Problem: Nebenbedingungen in MCP-Form lassen keine Standardlösung zu

Lösung des Modells: Spotmarkt

Stufe	Zeit	<i>Spieler</i> und Entscheidungen
II	Spotmarkt	<i>Strategische Erzeugung</i> Erzeugung an jedem Knoten
III		<i>Independent System Operator (ISO)</i> Dispatch wettbewerblicher Erzeuger, Last, Preise, Netzflüsse innerhalb der Kapazitäten

Mathematisch wird der Spotmarkt beschrieben durch ein
Equilibrium Problem under Equilibrium Constraints

→ **Stufe II:** Strategische Firmen maximieren Gewinn (EP)

→ **Stufe III:** NB, dass der Spotmarkt gleichgewichtig geräumt wird (EC)

Problem: Nebenbedingungen in MCP-Form lassen keine Standardlösung zu

Lösung: Darstellung der Gleichgewichtsbedingungen ohne Komplementarität nach Ruiz et al. (2012)

Resultat: Menge an stationären Punkten

- Notwendige Optimalitätsbedingungen können explizit hergeleitet werden
- Beschreiben allerdings eine Vielzahl möglicher Gleichgewichte

Die erste Stufe wählt das beste Gleichgewicht aus

Stufe	Zeit	<i>Spieler</i> und Entscheidungen
I	Netzausbau	<i>Wohlfahrtsmaximierender Planer</i> Investition in Netzausbau
II	Spotmarkt	<i>Strategische Erzeugung</i> Erzeugung an jedem Knoten
III		<i>Independent System Operator (ISO)</i> Dispatch wettbewerblicher Erzeuger, Last, Preise, Netzflüsse innerhalb der Kapazitäten

Stufe I als Selektionsmechanismus

- Wohlfahrtsmaximierender Planer baut das Netz aus (MIQCP)
- Aus allen zulässigen Lösungen wird das optimale Gleichgewicht ausgewählt

Notwendige Bedingungen nicht hinreichend

- Iterativer Algorithmus schlägt mehrere Lösungen vor
- Anreizkompatibilität wird ex-post überprüft (MPEC)

Ein Beispielnetz zur Illustration des Modells

- Einfaches Netz, an dem sich die auftretenden strategischen Effekte zeigen lassen
- Annahme von Knotenpreisen

Topologie

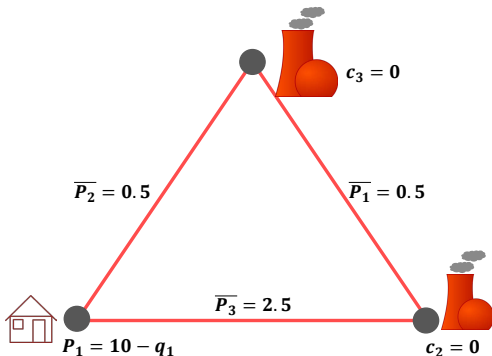
- Drei Knoten
- Drei Leitungen

Erzeugung

- Zwei strategische Kraftwerke
- Kostenlose Produktion
- Kein wettbewerblicher Rand

Nachfrage

- Linear-elastische Nachfrage
- Nur in einem Knoten



Berechnung des Modells für zwei Benchmark-Fälle

Benchmark-Fall 1: Kupferplatte

Netzkapazität exogen als *unbegrenzt* angenommen

- Beliebige Flüsse möglich
- Netz restringiert Wettbewerb nicht
- Cournot-Gleichgewicht

		Kupferplatte	
Erzeugung	2	3.33	
	3	3.33	
Preis	1	3.33	
	2	3.33	
	3	3.33	
Nachfrage	1	6.67	
Fluss	1	0	
	2	3.33	
	3	-3.33	
Wohlfahrt		44.44	

Berechnung des Modells für zwei Benchmark-Fälle

Benchmark-Fall 1: Kupferplatte

Netzkapazität exogen als *unbegrenzt* angenommen

- Beliebige Flüsse möglich
- Netz restringiert Wettbewerb nicht
- Cournot-Gleichgewicht

Benchmark-Fall 2: Kein Ausbau möglich

- Leitungskapazitäten bindend
- Netz restringiert Wettbewerb
- Passiv-Aggressives Gleichgewicht

		Kupferplatte	Kein Ausbau
Erzeugung	2	3.33	1.5
	3	3.33	0
Preis	1	3.33	8.5
	2	3.33	8.5
	3	3.33	8.5
Nachfrage	1	6.67	1.5
Fluss	1	0	0.5
	2	3.33	0.5
	3	-3.33	-1
Wohlfahrt		44.44	13.875

Berechnung des Modells für zwei Benchmark-Fälle

Benchmark-Fall 1: Kupferplatte

Netzkapazität exogen als *unbegrenzt* angenommen

- Beliebige Flüsse möglich
- Netz restringiert Wettbewerb nicht
- Cournot-Gleichgewicht

Benchmark-Fall 2: Kein Ausbau möglich

- Leitungskapazitäten bindend
- Netz restringiert Wettbewerb
- Passiv-Aggressives Gleichgewicht

		Kupferplatte	Kein Ausbau
Erzeugung	2	3.33	1.5
	3	3.33	0
Preis	1	3.33	8.5
	2	3.33	8.5
	3	3.33	8.5
Nachfrage	1	6.67	1.5
Fluss	1	0	0.5
	2	3.33	0.5
	3	-3.33	-1
Wohlfahrt		44.44	13.875

1) **Unbegrenztes Netz:** Lösung maximiert Wohlfahrt unter gegebenen Bedingungen

2) **Startnetz:** Geringe Wohlfahrt

→ Realisierung von Wohlfahrtsgewinnen durch kostspieligen Netzausbau

Netzausbau, um die Wohlfahrt zu steigern

Stufen II und III: Vielzahl von Punkten, die den Spotmarkt räumen

→ Stufe I des Modells wählt nach Wohlfahrt aus

Was passiert?

Sozialer Planer baut das Netz so lange aus, bis eine Second-best-Lösung erreicht ist

Netzausbau, um die Wohlfahrt zu steigern

Stufen II und III: Vielzahl von Punkten, die den Spotmarkt räumen

→ Stufe I des Modells wählt nach Wohlfahrt aus

Erster Typ von Lösungen

Asymmetrisches Gleichgewicht

→ Geringerer Netzausbau

→ Anreizkompatibilität?

		A1	
Erzeugung	2	1.5	
	3	4.25	
Preis		4.25	
Nachfrage	1	5.75	
Netzausbau	1	0.73	
	2	2.83	
	3	0	
Fluss	1	-0.92	
	2	3.33	
	3	-2.42	
Wohlfahrt		37.40	

Was passiert?

Sozialer Planer baut das Netz so lange aus, bis eine Second-best-Lösung erreicht ist

→ Geringer Netzausbau ($\Sigma = 3.57$): Asymmetrische Gleichgewichte (A1)

Netzausbau, um die Wohlfahrt zu steigern

Stufen II und III: Vielzahl von Punkten, die den Spotmarkt räumen

→ Stufe I des Modells wählt nach Wohlfahrt aus

		A1	C2	C1
Erzeugung	2	1.5	3.33	3.33
	3	4.25	3.33	3.33
Preis		4.25	3.33	3.33
Nachfrage	1	5.75	6.67	6.67
Netzausbau	1	0.73	0	0.3
	2	2.83	2.83	2.83
	3	0	0.83	0.83
Fluss	1	-0.92	0	0
	2	3.33	3.33	3.33
	3	-2.42	-3.33	-3.33
Wohlfahrt		37.40	40.78	40.48

Erster Typ von Lösungen

Asymmetrisches Gleichgewicht

→ Geringerer Netzausbau

→ Anreizkompatibilität?

Zweiter Typ von Lösungen

Symmetrische KKT-Punkte

→ Mehr Netzausbau

→ Anreizkompatibilität?

Was passiert?

Sozialer Planer baut das Netz so lange aus, bis eine Second-best-Lösung erreicht ist

→ Geringer Netzausbau ($\sum = 3.57$): Asymmetrische Gleichgewichte (A1)

→ Mehr Netzausbau ($\sum = 3.66$): Symmetrische KKT-Punkte (C2),
nicht stabil gegenüber Abweichungen

→ Mehr Netzausbau ($\sum = 3.96$): Symmetrische Cournot-Gleichgewichte (C1)

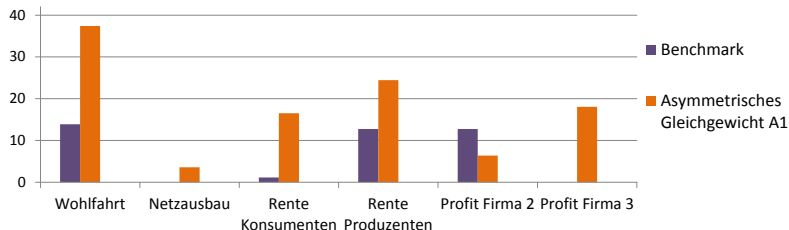
Verteilungswirkungen der Wohlfahrtsgewinne

Wer gewinnt? Wer verliert?

Vergleich des Benchmark ohne Netzausbau mit...

Asymmetrisches Gleichgewicht A1

- Produzenten & Konsumenten gewinnen
- Die marktmächtige Firma verliert stark
- Die passive Firma gewinnt stark



Ergebnis

Netzausbau kann die Wohlfahrt erhöhen,
wobei Konsumenten stärker als Produzenten profitieren

Verteilungswirkungen der Wohlfahrtsgewinne

Wer gewinnt? Wer verliert?

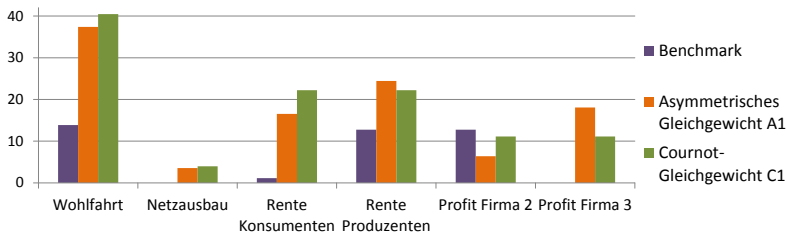
Vergleich des Benchmark ohne Netzausbau mit...

Asymmetrisches Gleichgewicht A1

- Produzenten & Konsumenten gewinnen
- Die marktmächtige Firma verliert stark
- Die passive Firma gewinnt stark

Symmetrisches Cournot-Gleichgewicht C1

- Produzenten & Konsumenten gewinnen
- Die marktmächtige Firma verliert leicht
- Die passive Firma gewinnt



Ergebnis

Je mehr Netzausbau stattfindet,
desto mehr werden zusätzliche Renten hin zu Konsumenten verschoben

Was heißt das?

Netzausbau kann Marktmacht eindämmen und die Wohlfahrt steigern

→ Generierung von Renten

→ Verteilung der Renten auf Produzenten und Konsumenten

Richtungen für weitere Forschung

- Anwendung des Modells auf einen realistischen europäischen Datensatz
- Ermessung der Wohlfahrtseffekte weiterer europäischer Integration

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



DIW Berlin – Deutsches Institut
für Wirtschaftsforschung e.V.
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin
www.diw.de

Quellen

- EPEX Spot. Social Welfare Report 01-12/2013, 12 2013
- ACER/CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2012, 2013
- European Commission. Energy, transport and environment Indicators 2012 edition. Publications Office of the European Union, 2012
- European Commission. Making the internal energy market work. Communication (2012) 663 final, November 2012
- K. Neuhoff, J. Barquin, M.G. Boots, A. Ehrenmann, B.F. Hobbs, F.A.M Rijkers, and M. Vazquez. Network-constrained Cournot models of liberalized electricity markets: the devil is in the details. Energy Economics, 27:495-525, 2005
- S. Borenstein, J. Bushnell, and S. Stoft. The Competitive Effects of Transmission Capacity in a Deregulated Electricity Industry. The RAND Journal of Economics, 31(2):294-325, Summer 2000
- D. Pozo, J. Contreras, and E. Sauma. If you build it, he will come: Anticipative power transmission planning. Energy Economics, 36:135-146, 2013
- C. Ruiz, Antonio J. Conejo, and Yves Smeers. Equilibria in an Oligopolistic Electricity Pool With Stepwise Offer Curves. IEEE Transactions on Power Systems, 27(2):752-761, 2012

Alle Piktogramme unter freier Lizenz (Wikimedia Commons Public Domain)

Backup - Lösung des EPEC

Stufe II: Equilibrium Problem

Strategische Firmen maximieren ihren Gewinn im Cournot-Wettbewerb

$$\forall i, \max_{g_i} \Pi(g_i, g_{-i}) \quad \text{s.t.} \quad 0 \leq g_i \leq g_i^{\max} \quad (\kappa)$$

unter der Nebenbedingung der Markträumung durch den ISO auf

Stufe III; Equilibrium Constraints

$$\begin{aligned} \max \text{Welfare}(g, d, \delta) \quad \text{s.t.} \quad & \text{Nodal Balance}(g, d, \delta) = 0 \quad (p_n) \quad \forall n \\ & \text{Feasible Flows}(\delta) \leq 0 \quad (\mu_l) \quad \forall l \end{aligned}$$

Vorgehen:

Überführung des Problems auf Stufe III in Gleichgewichts-Bedingungen, mit denen wir arbeiten können

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Welfare}}{\partial g} + p_n \frac{\partial \text{Nodal Balance}}{\partial g} &\geq 0 \perp g \geq 0 \\ \frac{\partial \text{Welfare}}{\partial d} + p_n \frac{\partial \text{Nodal Balance}}{\partial d} &\geq 0 \perp d \geq 0 \\ \frac{\partial \text{Welfare}}{\partial \delta} + p_n \frac{\partial \text{Nodal Balance}}{\partial \delta} + \mu \frac{\partial \text{Feasible Flows}}{\partial \delta} &= 0 \perp \delta \\ \text{Nodal Balance}(g, d, \delta) &= 0 \perp p_n \quad \forall n \\ -\text{Feasible Flows}(\delta) &\geq 0 \perp \mu \geq 0 \end{aligned}$$

Backup - Lösung des EPEC

Spot-Markt: EPEC

$$\begin{aligned} \forall i, \max_{g_i} \Pi(g_i, g_{-i}) \quad & \text{s.t. } 0 \leq g_i \leq g_i^{\max} \quad (\kappa), \\ \frac{\partial \text{Welfare}}{\partial g} + p_n \frac{\partial \text{Nodal Balance}}{\partial g} & \geq 0 \perp g \geq 0 \\ \frac{\partial \text{Welfare}}{\partial d} + p_n \frac{\partial \text{Nodal Balance}}{\partial d} & \geq 0 \perp d \geq 0 \\ \frac{\partial \text{Welfare}}{\partial \delta} + p_n \frac{\partial \text{Nodal Balance}}{\partial \delta} + \mu \frac{\partial \text{Feasible Flows}}{\partial \delta} & = 0 \perp \delta \\ \text{Nodal Balance}(g, d, \delta) & = 0 \perp p_n \quad \forall n \\ -\text{Feasible Flows}(\delta) & \geq 0 \perp \mu \geq 0 \end{aligned}$$

Hier ist das Problem:

- Das GG-Problem auf Stufe II hat als Nebenbedingungen ein MCP
- d.h. unter nichtkonvexen GG-Nebenbedingungen
- Notwendige KKT-Bedingungen können nicht explizit hergeleitet werden

Backup - Lösung des EPEC

Reformulierung der GG-Bedingungen, sodass Bilinearitäten verschwinden

- Aufstellen des dualen Problems für Stufe III
- Per Definitionem ist die Lösung des dualen Problems kleiner als die des primalens
- Die umgekehrte Ungleichung muss als weitere Nebenbedingung halten

→ Alle Vektoren, die folgende Bedingungen erfüllen

$$\text{Nodal Balance } (g, d, \delta) = 0 \quad (p_n) \quad \forall n$$

$$\text{Feasible Flows } (\delta) \leq 0 \quad (\mu_l) \quad \forall l$$

$$\text{Dual Constraints } \leq 0 \quad (\nu)$$

$$\text{Primal}(g, d, \delta) - \text{Dual}(p, \mu) \leq 0 \quad (\xi)$$

beschreiben die GG-Bedingungen der Stufe III ohne Bilinearitäten

- Die ersten beiden (Un-)Gleichungen erfassen alle zulässigen Vektoren für das primale Problem
- Die dritte Ungleichung erfasst alle zulässigen Bedingungen für das duale Problem
- Die *Primal-Dual*-Ungleichung stellt Optimalität sicher

→ Lösungsraum für das Optimierungproblem der strategischen Firmen