
Effizienzanalyse von Unternehmen im deutschen ÖPNV

Prof. Dr. Christian von Hirschhausen

Komday

Berlin, 29. Juni 2007

Agenda

**1. Fragestellung:
Größenvorteile bei deutschen ÖPNV-Unternehmen?**

2. Daten

3. Modelle und Ergebnisse

4. Schlussfolgerungen

Rahmenbedingungen: Der ÖPNV in Deutschland steht unter finanziellem und strukturellem Reformdruck

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) spielt eine wichtige Rolle im Verkehrssystem

- Ca. 11 Mrd. beförderte Personen pro Jahr
- Ca. 140 Fahrten pro Person

Zunehmender Reformdruck auf Unternehmen

- Finanziell: Rückgang von Transfers, z.B. Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG), Schülerverkehre, steuerlicher Querverbund
- Rechtlich: Druck in Richtung Ausschreibung statt Direktvergabe
- Zunehmend internationaler Wettbewerb bei Ausschreibungen

→ In Deutschland wird zunehmend über Reformen im ÖPNV nachgedacht

- Unternehmen
- Verkehrspolitik
- Wissenschaft

Struktur des ÖPNV in Deutschland: 64 Verkehrsverbünde ...

64 Verkehrsverbünde

1. Aachener Verkehrsverbund (AVV)
2. Augsburger Tarif- und Verkehrsverbund (AVV)
3. Bodensee-Oberschwaben Verkehrsverbund (BODO)
4. Donau-Iller-Nahverkehrsverbund (DING)
5. Gemeinschaftstarif Vorpommern (GTV)
6. Großraum-Verkehr Hannover (GVH)
7. Hamburger Verkehrsverbund (HVV)
8. Heidenheimer Tarifverbund (HTV)
9. Heilbronner-Hohenloher-Haller Nahverkehr (HNV)
10. Karlsruher Verkehrsverbund (KVV)
11. Kitzinger Nahverkehrs Gemeinschaft (KING)
12. KreisVerkehr Schwäbisch-Hall (KVSH)
13. Ludwigsluster Tarifverbund (LTV)
14. Mitteldeutscher Verkehrsverbund (MVV)
15. Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV)
16. Nordhessischer Verkehrsverbund (NVV)
17. Regensburger Verkehrsverbund (RVV)
18. Regio Verkehrsverbund Lörrach (RVL)
19. ...
- ...
41. Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB)
- ...
62. ...
63. Westpfalz Verkehrsverbund (WVV)
64. Zweckverband Verkehrsverbund Oberlausitz-Niederschlesien (ZVON)



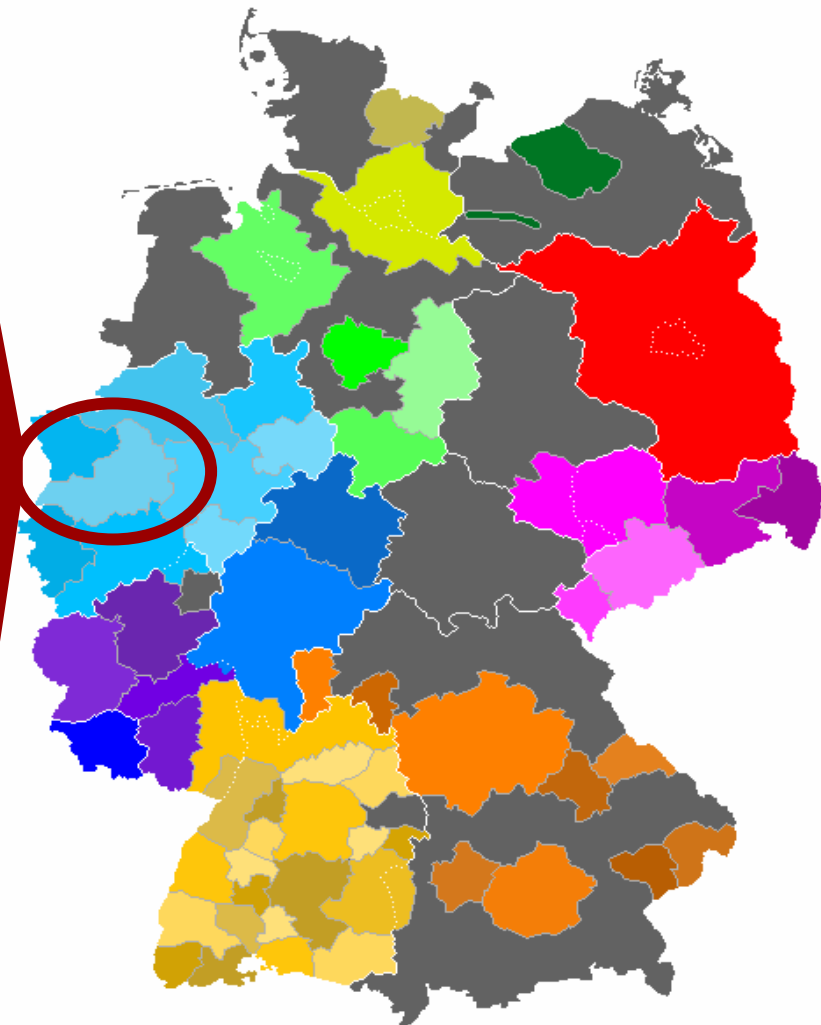
Quelle:
<http://www.oepnv-info.de/dkarte/index.php>

... und viele Verkehrsunternehmen

Bsp.: Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR)

29 Verkehrsunternehmen

1. Abellio Rail NRW
2. Bahnen der Stadt Mohnheim
3. Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahnen
4. Busverkehr Rheinland
5. DB Region NRW
6. DSW 21 (Dortmunder Stadtwerke)
7. Duisburger Verkehrsgesellschaft
8. Essener Verkehrs AG
9. Hagener Straßenbahn AG
10. Kreisverkehrsgesellschaft Mettmann
11. Mülheimer Verkehrs Gesellschaft
12. Niederrheinische Verkehrsbetriebe
13. Niederrheinische Versorgung und Verkehr AG
14. Niederrheinwerke Viersen mobil
15. Prignitzer Eisenbahn GmbH
16. Regiobahn
17. Rheinbahn
18. StadtBus Dormagen
19. Stadtwerke Neuss
20. Stadtwerke Oberhausen
21. Stadtwerke Remscheid
22. Stadtwerke Solingen
23. Straßenbahn Herne – Castrop Rauxel
24. SWK Mobil
25. Verkehrsgesellschaft der Stadt Velbert
26. Verkehrsgesellschaft Ennepe-Ruhr
27. Verkehrsgesellschaft Hilden
28. Vestische Straßenbahnen
29. Wuppertaler Stadtwerke



Quelle:
<http://www.oepnv-info.de/dkarte/index.php>

Stand der Literatur

Effizienzanalysen im ÖPNV beschränken sich bisher weitgehend auf Einprodukt-Unternehmen; (Ausnahme: Viton [1992]), Farsi, et al. (2006); hier: Busunternehmen

Breiter Konsens in der Literatur über Skaleneffizienz kleiner Unternehmen

- **Berechman (1993, Survey)**: Unternehmen mit weniger als 100 Bussen ineffizient
- **Cowie / Asanova (1999) sowie Cowie (2002)**: Optimale Betriebsgröße in UK ~ 200 Busse
- **Farsi / Fillipini / Kuenzle (2006)**: Fallende Durchschnittskosten für kleine Busunternehmen in der Schweiz
- **de Borger et al. (2002, Survey)**
- Weitere Fallstudien aus USA, Kanada, Indien, Italien, Israel

Dagegen kein eindeutiger Nachweis, dass sehr große Unternehmen am effizientesten sind

- **Berechman (1993)**: Große Unternehmen sind effizient, aber sehr große eher nicht (ca. > 500 Busse, Bsp. New York MTA (ca. 3.000 Busse), Chicago (ca. 2.500 Busse))
- Dagegen **Farsi / Fillipini / Kuenzle (2006)**: Konstante Skalenerträge für große Unternehmen

Agenda

1. Hintergrund:
Produktivitäts- und Effizienzanalyse in Infrastrukturektoren
2. Fragestellung:
Größenvorteile bei deutschen ÖPNV-Unternehmen?
3. Daten
4. Modelle und Ergebnisse
5. Schlussfolgerungen

Die 157 ÖPNV-Unternehmen im Datensatz: 11 Jahre (1994-2004), ~ 50% der Gesamtverkehrsleistung (Bus-km)

Outputvariablen

- Sitzkilometer
- Buskilometer
- Personenkilometer

Inputs und Faktorpreise

- Arbeit: Beschäftigung / Löhne
- Kapital: Busse / Abschreibungen und Kapitalkosten
- Energie

Andere

- Dichteindex (= Bevölkerung / Netzlänge)
- Zeittrend

Quellen

- VDV-Statistiken, Statistisches Bundesamt, Deutsche Bundesbank, Länderstatistiken etc.



Beschreibende Statistik

Variable	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
Beschäftigte	216	149	6	1.236
Anzahl Busse	145	76	7	1.003
Sitzkilometer (in Mio. km)	482	266	20	2.910
Buskilometer (in Mio. km)	6,4	3,4	0,3	40,0
Personenkilometer (in Mio. km)	106,5	57,5	2,4	736,0
Netzlänge (in km)	1.485	625	36	16.274
Durchschnittliche Fahrtweite je Fahrgast (in km)	8,0	7,8	2,7	27,3
Jährliche Gesamtkosten (in Mio. EUR)	11,2	7,0	0,6	57,8
Arbeitskosten (in EUR/Jahr)	31.206	31.048	18.666	49.394
Kapitalkosten (in EUR/Jahr)	18.598	18.790	17.045	22.467
Energiepreis (in EUR-Cent / l Diesel)	0,59	0,50	0,45	0,88

Agenda

**1. Hintergrund:
Produktivitäts- und Effizienzanalyse in Infrastrukturektoren**

2. Fragestellung

3. Daten

4. Modelle und Ergebnisse

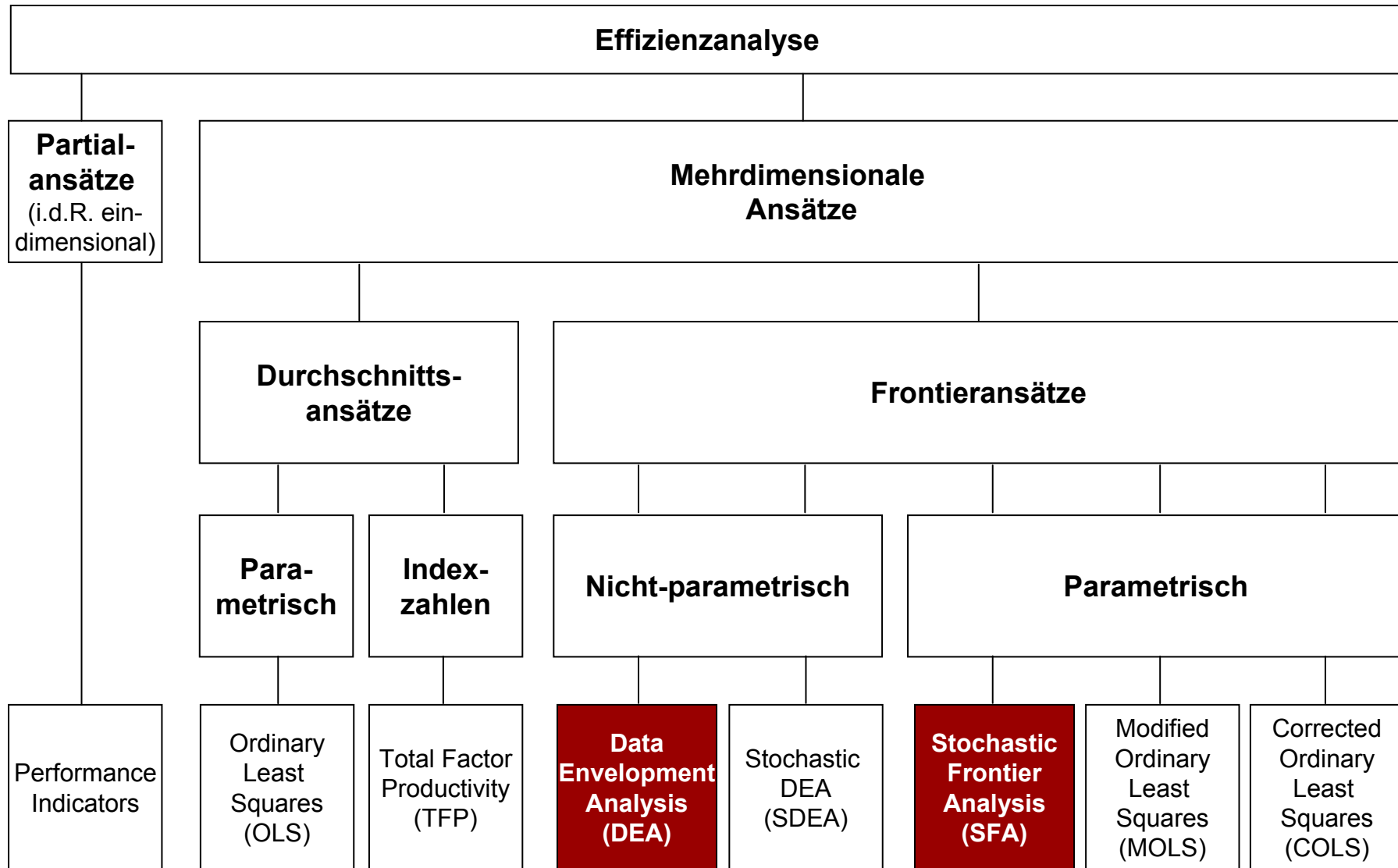
4.1 Modellübersicht

4.2 Nicht-parametrisch: Data Envelopment Analysis (DEA)

4.3 Parametrisch: Stochastic Frontier Analysis (SFA)

5. Schlussfolgerungen

Übersicht: Methoden der Effizienzanalyse



Vergleich nicht-parametrischer und parametrischer Methoden

Nicht-parametrisch (DEA)

Vorteile

- Keine Funktionsvorgabe notwendig
- Geringer Rechenaufwand

Nachteile

- Sensitiv bzgl. Ausreißern
- Keine Signifikanztests

Literatur

- Farrell (1957)
- Charnes / Cooper / Rhodes (1978)
- Lovell (1993)
- Coelli et al. (2005)

Parametrisch (SFA)

Vorteile

- Berücksichtigt Fehler und Stochastik
- Parameter tests möglich

Nachteile

- Annahmen bzgl. der Fehlerterme
- Großer Datenbedarf

Literatur

- Aigner / Lovell / Schmidt (1977)
- Pitt / Lee (1981)
- Schmidt / Sickles (1984)
- Battese / Coelli (1992, 1995)
- Greene (2004, 2005)

Aktuell: Semiparametrische Ansätze - Verbindung zwischen DEA und SFA

Florens / Simar (2005), Simar / Wilson (2007) und Kumbhakar et al. (2006)

Agenda

**1. Hintergrund:
Produktivitäts- und Effizienzanalyse in Infrastrukturektoren**

2. Fragestellung

3. Daten

4. Modelle und Ergebnisse

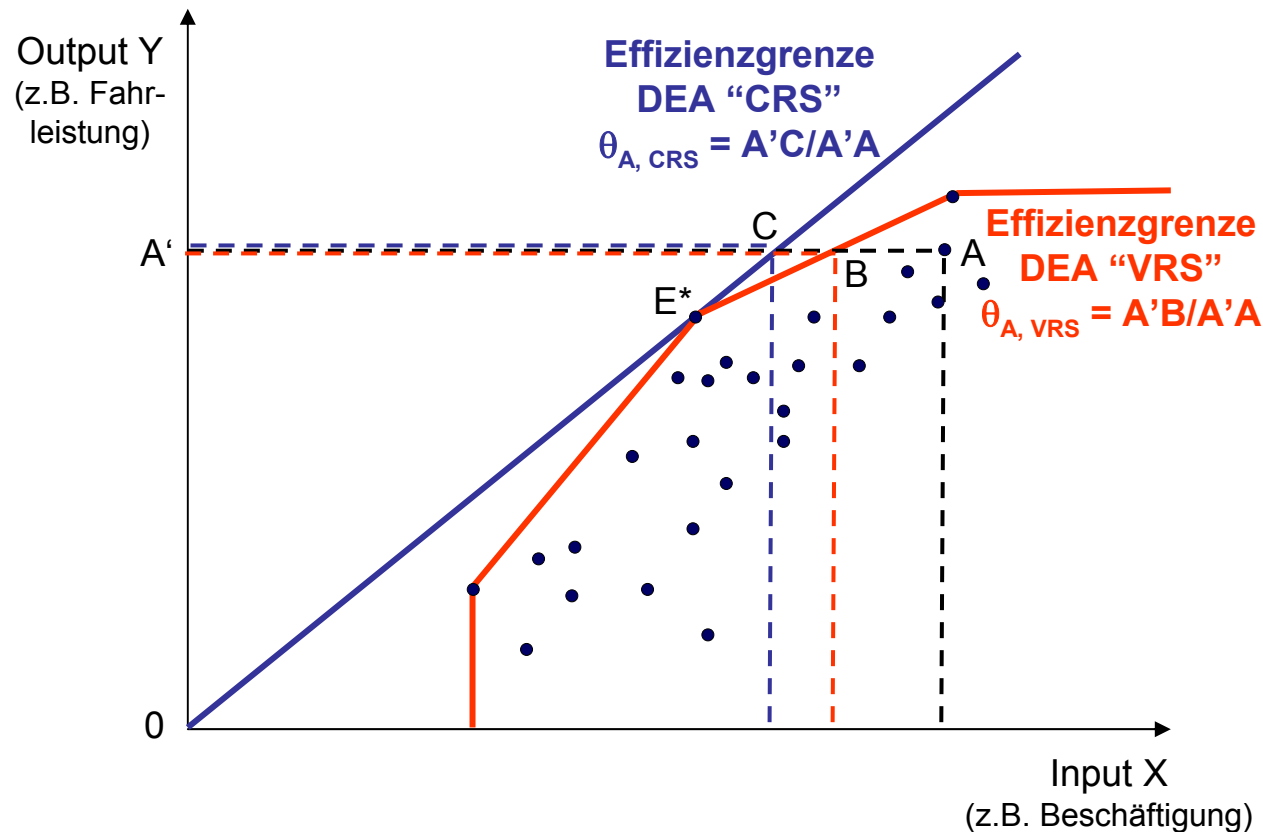
4.1 Modellübersicht

4.2 Nicht-parametrisch: Data Envelopment Analysis (DEA)

4.3 Parametrisch: Stochastic Frontier Analysis (SFA)

5. Schlussfolgerungen

Data Envelopment Analysis (DEA)



$$\min_{\theta, \lambda} \theta,$$

$$- y_i + Y \lambda \geq 0$$

$$\theta x_i - X \lambda \geq 0$$

$$\lambda \geq 0$$

θ ~ Effizienzparameter

x_i, y_i ~ Input- bzw. Outputvektor des Unternehmens i ($= 1, \dots, N$)

X, Y ~ Input- bzw. Outputmatrix aller Unternehmen

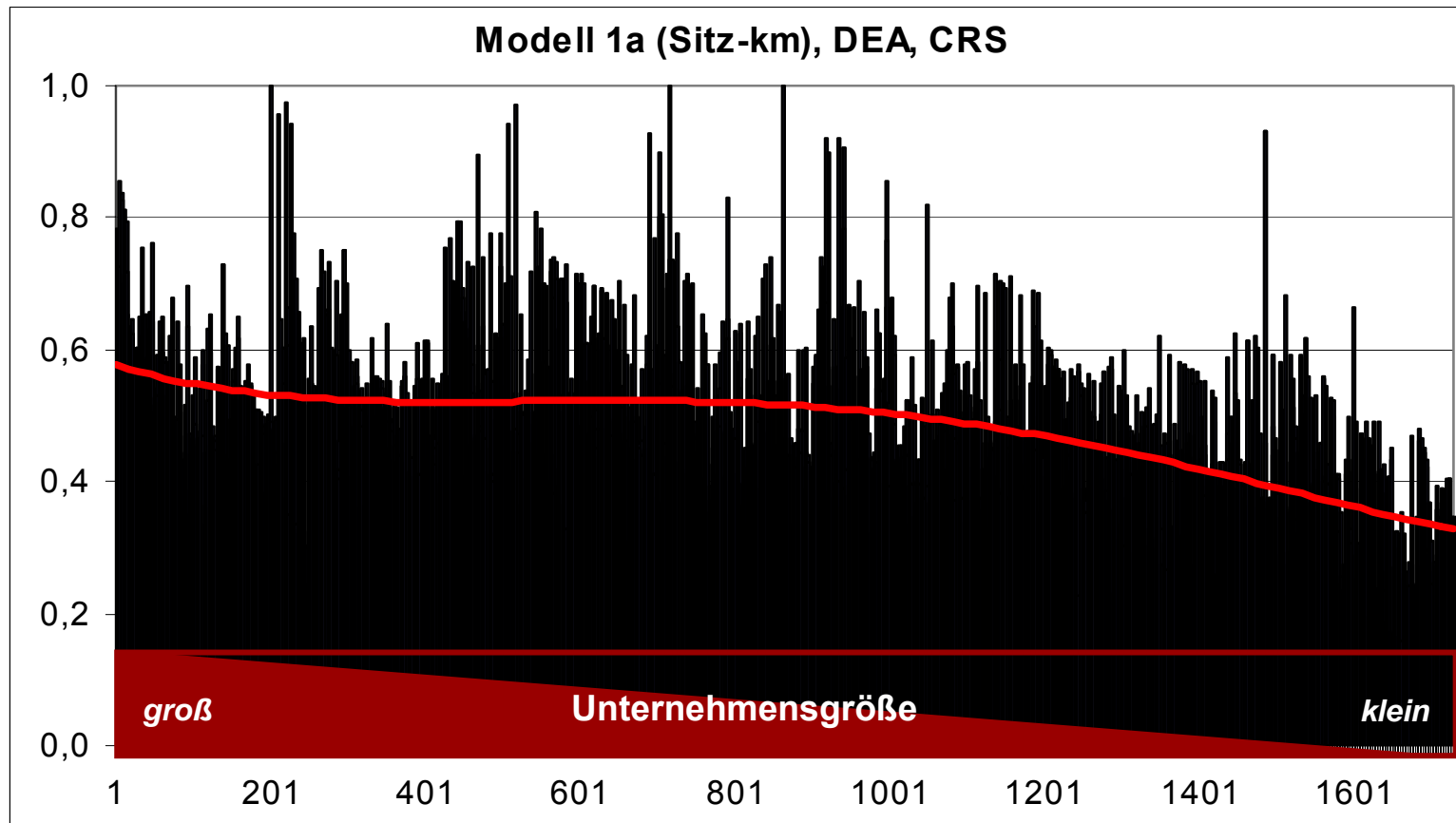
λ ~ Vektor der Gewichte

- Effizienzwerte liegen zwischen 0 und 1
- "VRS"-Effizienzwerte sind größer oder gleich dem "CRS"-Effizienzwert
- Die Differenz zwischen CRS- und VRS-Schätzwert gibt eine Aussage, wie weit ein Unternehmen von der optimalen Betriebsgröße entfernt ist

Unterschiede zwischen den Schätzmodellen für DEA

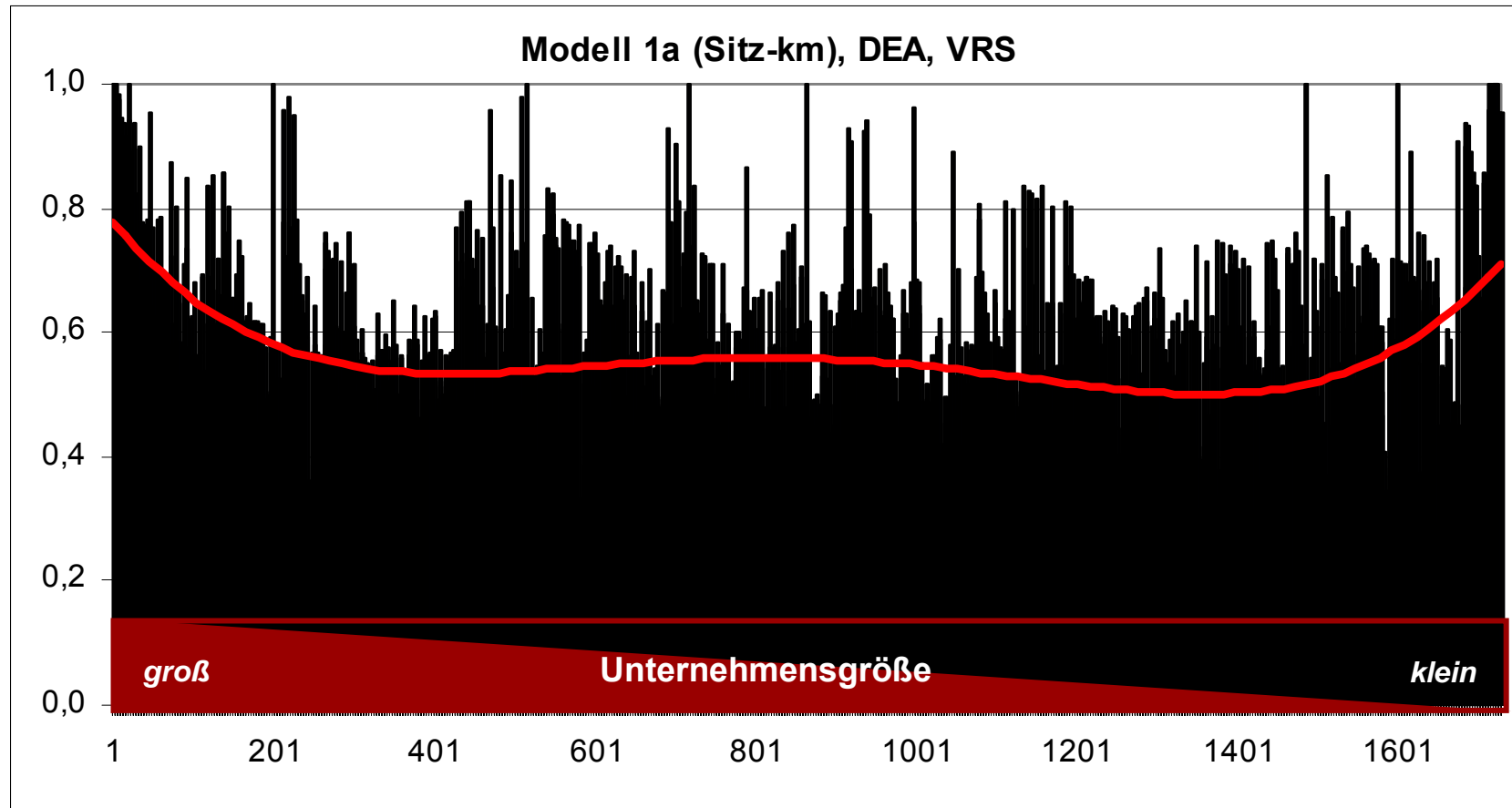
	Modell 1a	Modell 1b	Modell 1c	Modell 2
Output Sitz-km	X			X
Output Bus-km		X		
Output Personen-km			X	
Input Dichteindex				X

Modell 1a (Sitz-km), DEA, CRS: Effizienzwerte



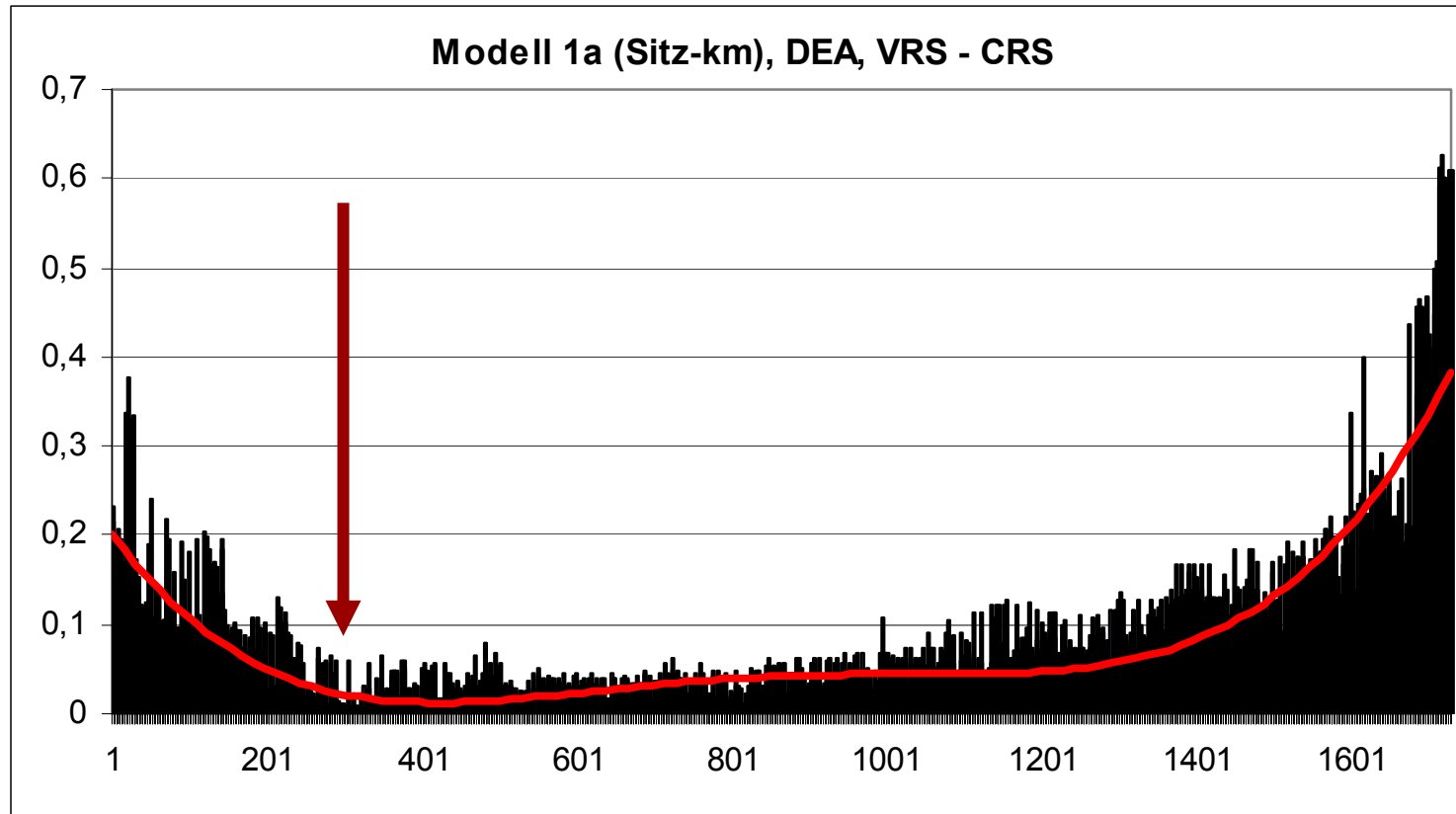
- Output: Sitzkilometer
- Durchschnittliche Effizienz: 48%
- **Kleine Unternehmen weisen geringere Effizienzwerte auf (4. Quartil: Durchschnittseffizienz: 39%)**

Modell 1a (Sitz-km), DEA, VRS: Effizienzwerte



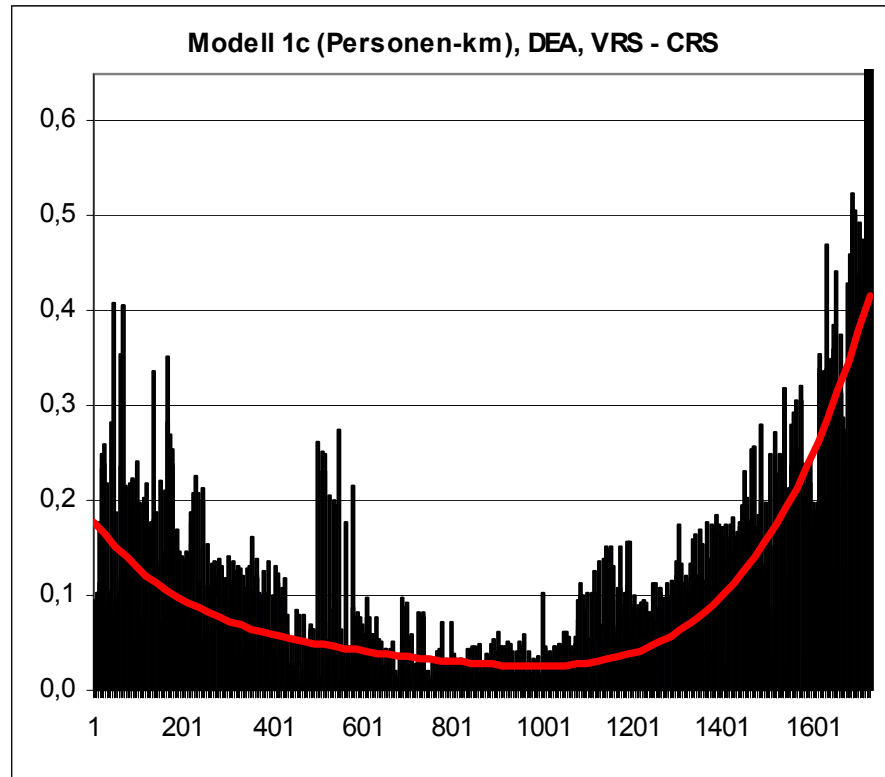
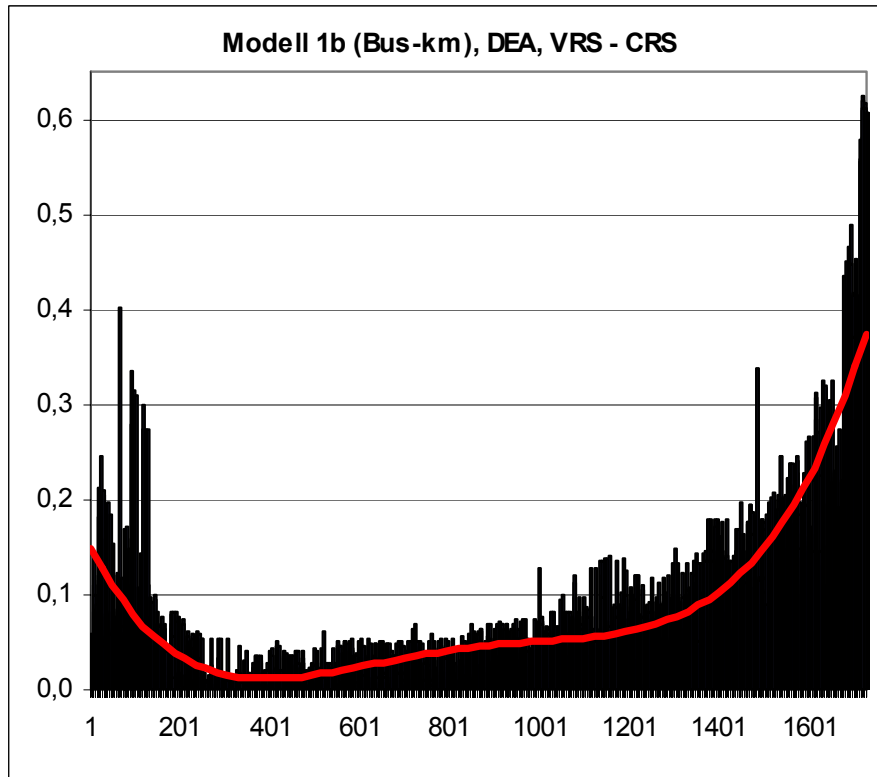
- Output: Sitzkilometer
- Durchschnittliche Effizienz: 56%
- Bei der VRS-Spezifizierung ergeben sich höhere Effizienzwerte, insb. an den „Rändern“

Modell 1a (Sitz-km), DEA, VRS – CRS Effizienzwerte



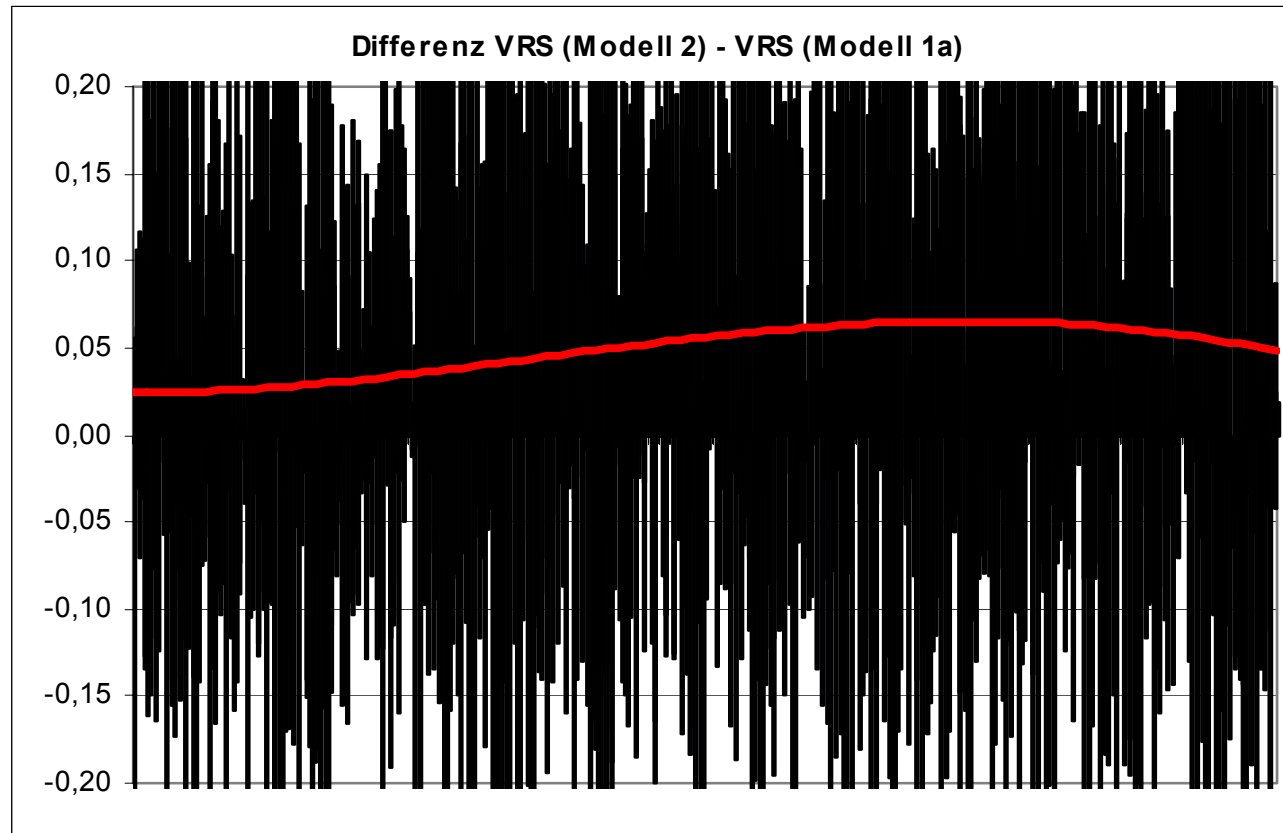
- Kleine Unternehmen weisen Größennachteile auf
 - Aber auch große Unternehmen haben nicht die optimale Betriebsgröße
 - „Optimale“ Größe (ca. Beobachtung 300): ca. 205 Busse (516 Beschäftigte)
- **Kleine Busunternehmen weisen steigende Skalenerträge auf**

Modelle 1b (Output: Bus-km) bzw. 1c (Output: Personen-km): Hohe Korrelation



- Korrelation der VRS-CRS-Effizienzwerte liegt bei 90% (Modell 1a-1b) bzw. 84% (Modell 1a-1c)
 - Etwas größere Abweichungen bei Outputvariable Personen-km
- Aufgrund hoher Korrelation im Folgenden Fokus auf Outputvariable Sitz-km

Modell 2: Einfluss der Strukturvariable „Dichteindex“: Vergleich Effizienzwerte der DEA, VRS (Modell 2) – VRS (Modell 1a)



- Zusätzlicher Input: Dichteindex
- Output: Sitzkilometer
- Durchschnittliche Effizienz steigt um 4%
- Insbesondere kleinere Unternehmen profitieren von der Strukturvariable
- Strukturvariablen notwendig bei der Schätzung von Effizienzwerten

Agenda

**1. Hintergrund:
Produktivitäts- und Effizienzanalyse in Infrastrukturektoren**

2. Fragestellung

3. Daten

4. Modelle und Ergebnisse

4.1 Modellübersicht

4.2 Nicht-parametrisch: Data Envelopment Analysis (DEA)

4.3 Parametrisch: Stochastic Frontier Analysis (SFA)

5. Schlussfolgerungen

Stochastic Frontier Production Function (SFA): Spezifikationen nach Battese / Coelli (1992)

$$\ln(y_i) = \ln(x_i) \beta + v_i - u_i$$

y_i ~ Output

x_i ~ Input

β ~ zu schätzende Parameter

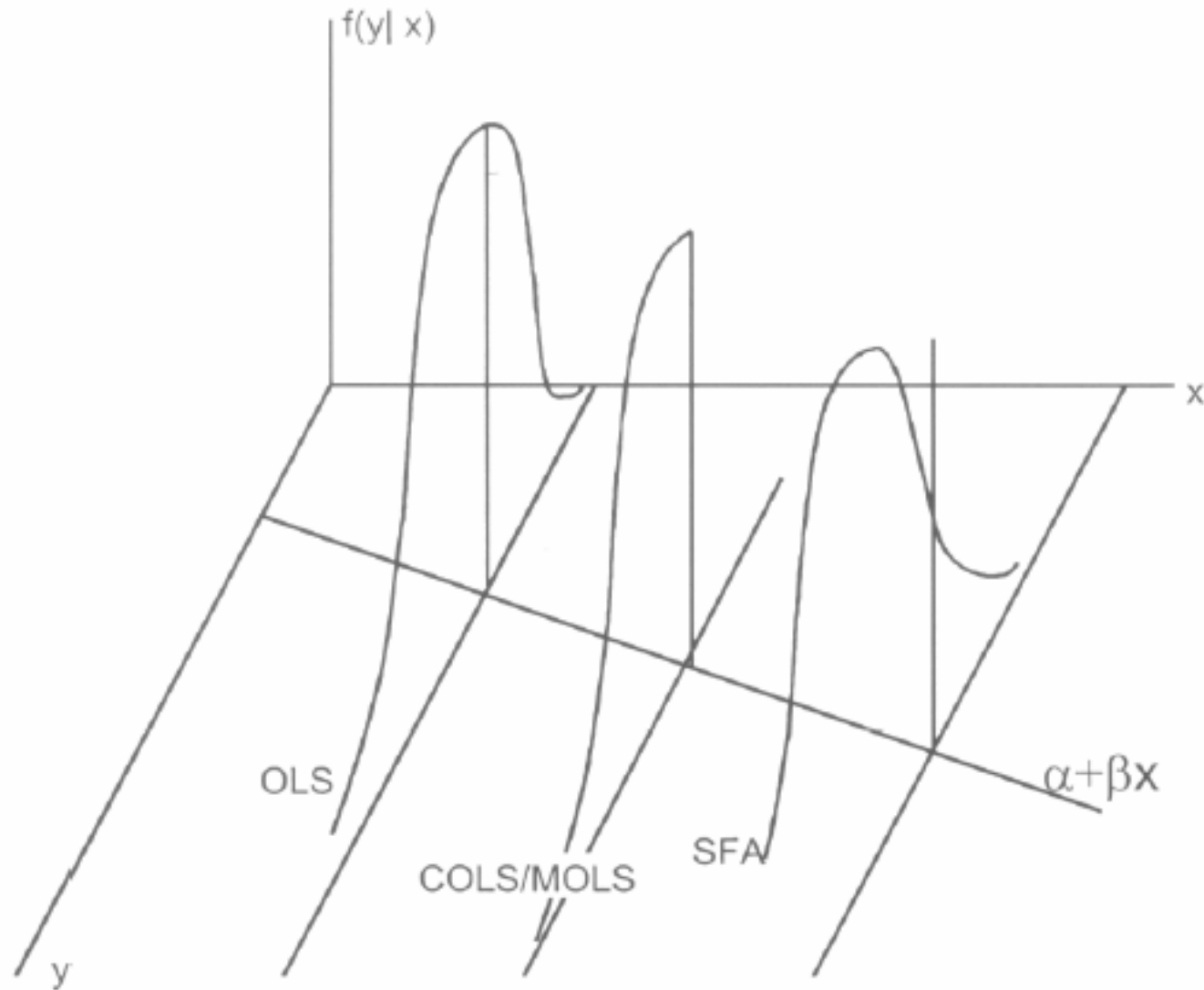
Fehlerterme:

v_i ~ Normalverteilter Zufallsterm: i.i.d, $N(0, \sigma_v^2)$ (independent and identically distributed, Erwartungswert 0, Varianz σ_v^2), entspricht stochastischem Fehler („random noise“)

u_i ~ halb-normalverteilter Zufallsterm: i.i.d, $N^+(0, \sigma_u^2)$ (independent and identically distributed, Erwartungswert 0, Varianz σ_u^2), entspricht der geschätzten Ineffizienz; Effizienzwert $TE_i = \exp(-u_i)$

Stochastic Frontier Analysis (SFA): Verteilung der Fehlerterme im Vergleich zu anderen Ansätzen (OLS, COLS)

(Frontier Economics (2003), A1-6)



Schätzung einer Kostenfunktion mit SFA

$$TC = f(y, NL, p_l, p_c, p_e, t, DI)$$

TC ~ Gesamtkosten

y ~ Output (Sitz-km, Bus-km oder Personen-km)

NL ~ Netzlänge

P ~ Faktorpreise: Arbeit (p_l), Kapital (p_c), Energie (p_e)

t ~ Zeittrend

DI ~ Strukturvariable „Dichteindex“ (= Einwohner / Netzlänge)

Spezifizierung einer Translog-Kostenfunktion

$$\begin{aligned}
 \ln \frac{TC_{it}}{P_{Eit}} &= \beta_0 + \beta_Y \ln Y_{it} + \beta_{NL} \ln NL_{it} + \beta_{pl} \ln \frac{P_{Lit}}{P_{Eit}} + \beta_{pc} \ln \frac{P_{Cit}}{P_{Eit}} \\
 &+ \frac{1}{2} \beta_{YY} (\ln Y_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{NLNL} (\ln NL_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{plpl} \left(\ln \frac{P_{Lit}}{P_{Eit}} \right)^2 + \frac{1}{2} \beta_{pcpc} \left(\ln \frac{P_{Cit}}{P_{Eit}} \right)^2 \\
 &+ \beta_{YNL} \ln Y_{it} \ln NL_{it} + \beta_{Ypl} \ln Y_{it} \ln \frac{P_{Lit}}{P_{Eit}} + \beta_{Ypc} \ln Y_{it} \ln \frac{P_{Cit}}{P_{Eit}} + \beta_{NLpc} \ln NL_{it} \ln \frac{P_{Lit}}{P_{Eit}} \\
 &+ \beta_{NLL} \ln NL_{it} \ln \frac{P_{Cit}}{P_{Eit}} + \beta_{plpc} \ln \frac{P_{Lit}}{P_{Eit}} \ln \frac{P_{Cit}}{P_{Eit}} + \beta_t t + \beta_{DI} \ln DI
 \end{aligned}$$

Definition von Skalenerträgen (Economies of Scale, ES)

(Farsi et al. 2006)

Dichtevorteile (Economies of Density):

$$ED = \left(\frac{\partial \ln TC}{\partial \ln Y} \right)^{-1}$$

→ Größenvorteile (Economies of Scale):

$$ES = \left(\frac{\partial \ln TC}{\partial \ln Y} + \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln NL} \right)^{-1}$$

TC ~ Gesamtkosten

Y ~ Output
(Sitz-km, Bus-km
oder Personen-km)

NL ~ Netzlänge

ES > 1 → Kosten steigen bei Outputerhöhung unterproportional (größer ~ besser)

ES = 1 → Kosten steigen bei Outputerhöhung proportional (optimale Betriebsgröße)

ES < 1 → Kosten steigen bei Outputerhöhung überproportional (kleiner ~ besser)

Schätzmodelle für SFA

	Modell A1	Modell A2	Modell A3
Outputvariable	Sitz-km	Sitz-km	Sitz-km
Gesamtkosten	X	X	X
Netzlänge		X	X
Faktorpreise	X	X	X
Zeittrend	X	X	X
Dichteindex			X

Schätzergebnisse der SFA

Koeffizient	Modell A1	Modell A2	Modell A3
β_0	-0.38**	-0.21**	-0.91**
β_y	0.84**	0.80**	0.68**
β_{NL}	--	0.05**	0.17**
β_{pc}	1.40**	0.70**	0.76**
β_{pl}	0.33**	0.38**	0.30**
β_{yy}	-0.03	0.06**	0.03
β_{NLNL}	--	0.17*	0.16**
β_{pcpc}	-0.59	-1.13**	-1.31**
β_{ppl}	-1.31	-1.91**	-1.55**
β_{yNL}	--	-0.12**	0.12**

Koeffizient	Modell A1	Modell A2	Modell A3
β_{ypc}	-0.04	-0.19*	-0.18**
β_{ypl}	-0.04	0.28**	0.29**
β_{NLpc}	--	-0.03	-0.04
β_{NLpl}	--	-0.12*	-0.13**
β_{pcpl}	1.44**	1.92**	1.75**
β_t	0.04	0.00	0.00
β_{DI}	--	--	0.14**
sigma sq (σ^2)	0.12**	0.12**	0.11**
gamma (γ)	0.30**	0.36**	0.33**
LR-test	94**	129**	101**

* Signifikanzniveau: 1%

** Signifikanzniveau: 5%

Zusammenfassung der Ergebnisse SFA

	Modell A1	Modell A2	Modell A3
Dichtevorteile (Economies of Density)	1,19	1,25	1,47
Größenvorteile (Economies of Scale)	--	1,18	1,18
Strukturvariable (Dichteindex [DI])	--	--	+

- Auch die parametrische Schätzung zeigt steigende Skalenerträge
- Die größten Busunternehmen weisen fallende Skalenerträge auf (1. Quartil)
- Die Strukturvariable (DI) ist signifikant

Agenda

1. Hintergrund:
Produktivitäts- und Effizienzanalyse in Infrastruktursektoren
2. Fragestellung
3. Daten
4. Modelle und Ergebnisse
5. Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen

Ergebnisse

- Kleine Busunternehmen weisen steigende Skalenerträge auf.
- Die größten Unternehmen sind nicht die effizientesten.
- Strukturelle Unterschiede (z.B. Bevölkerungsdichte) beeinflussen die Effizienzwerte.

Schlussfolgerungen

- Die Studie zeigt Ansätze von Strukturproblemen im deutschen Bussektor auf
- Kooperationen zwischen benachbarten Verkehrsunternehmen könnten zur Nutzung von Größenvorteilen beitragen
- Ausweitung der Abstimmung von der Angebotsplanung im Verkehrsverbund auch in Richtung Produktion

Literatur (1/2)

Aigner, D., C.A.K. Lovell, and P. Schmidt, 1977: Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, *Journal of Econometrics*, Vol. 6, 21-37.

Battese, G.E., and T.J. Coelli (1992): Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data. *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, 153-169.

Battese, G.E., and T.J. Coelli (1995): A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, Vol. 20, 325-332.

Berechman, J., 1993, *Public Transit Economics and Deregulation Policy*, 1993, North-Holland.

Borger de, Bruno; Kerstens, Kristiaan; Costa, Alvaro (2002): Public Transit Performance: What Does One Learn from Frontier Studies? In: *Transport Review*, 22, 1, 1-38.

Charnes, A., W.W.Cooper, and E. Rhodes (1981): Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through. *Management Science*, Vol. 27, 668-697.

Coelli, T.; Rao, D.S.P.; O'Donnell, C.J.; Battese, G.E. (2005): „An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis“. Kluwer Academic Publisher, Boston, Dordrecht, London, 2nd Edition.

Cowie, Jonathan and Derika Asenova, 1999: Organisation form, scale effects and efficiency in the British bus industry. *Transportation*, Vol. 26, 231-248.

Cowie, Jonathan, 2002: Acquisition, Efficiency and Scale Economies – an analysis of the British bus industry. *Transport Reviews*, Vol. 22. No. 2, 147-157.

Cullmann, Astrid, and Christian von Hirschhausen: From Transition to Competition - Dynamic Efficiency Analysis of Polish Electricity Distribution Companies. resubmission to: *Economics of Transition*.

Farrell, M., 1957: The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Ser. A*, Vol. 120, 253-281.

Farsi, Mehdi, Massimo Filippini and Michael Kuenzle, 2003: Unobserved heterogeneity in stochastic cost frontier models: a comparative analysis, Working Paper No. 03-11, Department of Economics, University of Lugano, Switzerland.

Florens, J.P. and Léopold Simar, 2005: Parametric Approximations of Non-parametric Frontier. *Journal of Econometrics*, Vol. 124, No. 1, 91–116.

Literatur (2/2)

Greene, William, 2004: Distinguishing between heterogeneity and inefficiency: stochastic frontier analysis of the World Health Organization's panel data on national health care systems. *Health Economics*, Vol. 13, 959-980.

Greene, William, 2005: Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, Vol. 126, No. 2, 269-303.

Hirschhausen, Christian von, and Astrid Cullmann: Efficiency Analysis of East European Electricity Distribution in Transition – Legacy of the Past? resubmission to: *The Journal of Productivity Analysis (JPA)*.

Hirschhausen, Christian von, Astrid Cullmann, and Andreas Kappeler (2006): Productivity Analysis of Electricity Distribution Utilities in Germany. *Applied Economics **, Vol. 38, No. 21, 2553-2566.

Hirschhausen, Christian von, Maria Nieswand, Axel Wilhelm, and Borge Hess, 2007: Wissenschaftliche Benchmarkingmethoden im ÖPNV – Methodische Ansätze und internationale Erfahrungen. *Internationales Verkehrswesen*, in print.

Kumbhakar, S.C., B.U. Park, L. Simar, and E.G. Tsionas, 2007: Nonparametric stochastic frontiers: a local likelihood approach. *Journal of Econometrics*, Vol. 137, No. 1, 1-27.

Leuthardt, Helmut (1998): Kostenstrukturen von Stadt-, Überland- und Reisebussen. In: *Der Nahverkehr*, 6, 19-23.

Leuthardt, Helmut (2005): Betriebskosten von Linienbussen im systematischen Vergleich. In: *Der Nahverkehr*, 11, 20-25.

Lovell, C.A.K. (1993): Production Frontiers and Productive Efficiency. In : *The Measurement of Productive Efficiency*, Harold Fried, C.A. Knox Lovell and Shelton Schmidt, editors, Oxford University Press, 3-67.

Pitt, M. and L. Lee, 1981: The measurement and sources of technical inefficiency in Indonesian weaving industry, *Journal of Development Economics*, Vol. 9, 43–64.

Schmidt, P. and R.E. Sickles (1984): Production frontiers and panel data, *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 2, 367–374.

Simar, Léopold and Paul Wilson, 2007b: Statistical Inference in Non-parametric Frontier Models: recent Developments and Perspectives, in: *The Measurement of Productive Efficiency*, 2nd Edition, Harold Fried, C.A. Knox Lovell and Shelton Schmidt, editors, Oxford University Press.

Viton, Philip A. (1992): Consolidations of Scale and Scope in Urban Transit. In: *Regional Science and Urban Economics*, 22, 25-49.