Die Prognose regionaler Beschäftigung mit Neuronalen Netzen und Genetischen Algorithmen

Nijkamp P., Reggiani A., Patuelli R., Longhi S.

Ziele:

- Darstellung eines Neuronalen Netzes (NN) zur Prognose regionaler Beschäftigungsmuster
- Vergleich der Leistungsfähigkeit einfacher NN Modelle mit solchen NN Modellen, die durch den Einsatz Genetischer Algorithmen (GAs) verbessert wurden: NNGAs
- Vergleich von NN- und NNGA- mit Status Quo Prognosen

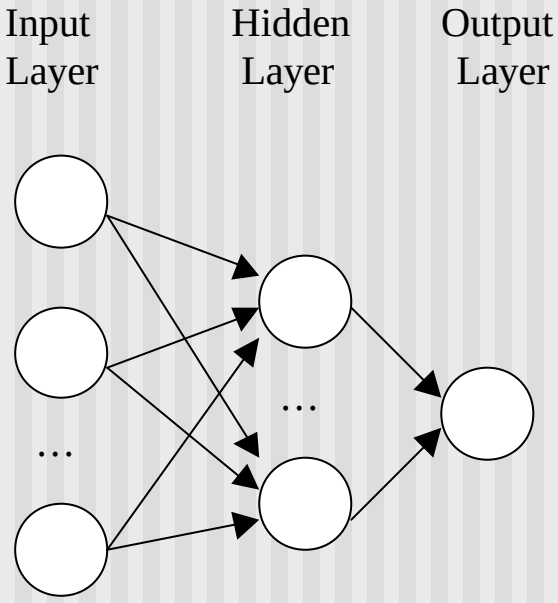
Gliederung

- Zur Methode: Verwendung von NN Modellen und des verbundenen Ansatzes “NN-GA”
  - Neuronale Netze (NN): Definition und Ziele
  - Genetische Algorithmen (GA): Definition und Ziele
- Die empirische Anwendung auf den west- und ostdeutschen Arbeitsmarkt
  - Daten
  - Modelle zur Prognose der Beschäftigung für West-deutschland
  - Modelle zur Prognose für Ostdeutschland
  - Ein Vergleich in der Leistungsfähigkeit NN und NN-GA
- Schlussfolgerungen und künftige Forschungslinien

Die Methode: Der Ansatz mit Neuronalen Netzen

Neuronale Netze (NNs) waren ursprünglich entwickelt worden, um die Funktionsweise des menschlichen Hirns nachzuahmen. Ein künstliches NN basiert auf dem Prinzip verteilter Rechenaktivität einer großen Zahl von **Rechen-einheiten** u_i (Neuronen oder Knoten), die verbunden sind und parallel arbeiten. Mit den Verbindungen sind **Gewichte w** assoziiert.

Die Methode: Der Ansatz mit Neuronalen Netzen (II)



Die Methode: Der Ansatz mit Neuronalen Netzen (III)

- Neuronale Netze (NNs) waren ursprünglich entwickelt worden, um die Funktionsweise des menschlichen Hirns nachzuahmen. Ein künstliches NN basiert auf dem Prinzip verteilter Rechenaktivität einer großen Zahl von **Recheneinheiten** $\boldsymbol{u_i}$ (Neuronen oder Knoten), die verbunden sind und parallel arbeiten. Mit den Verbindungen sind **Gewichte w** verbunden.
- Ein Knoten im Netz u_i wird nach Fischer (2001) definiert als: $u_i = ?_i(\mathrm{u}) = F_i(w, \mathrm{u})$. Die Aktivierungsfunktion F berechnet den Output des Knoten, während eine Integratorfunktion verwendet wird, um die Aktivitäten der Knoten zu aggregieren.
- Der ‘Lernprozess’ eines NN erfolgt durch die rekursive Modifikation der Gewichte w, die mit den Verbindungen zwischen den Knoten assoziiert sind und die von der Integratorfunktion verwendet werden.
- Im vorliegenden Zusammenhang werden Netze des Typs Multilayer Perceptron mit Backpropagation verwendet.

Genetische Algorithmen: Definition und Anwendung für NN

- Genetische Algorithmen (GAs) gehören zur Klasse evolutionärer Algorithmen. Das Ziel derartiger Optimierungsinstrumente ist biologische Evolutionsdynamiken nachzuahmen.
- Wir verwenden GAs, um die Wahl der Netzstrukturen und Parameter zu optimieren.
- GAs dienen zur Maximierung einer Fitnessfunktion, die ausgedrückt wird als: $\max\{f(s) | s \in \Omega\}$, wo s ein Kandidat für eine Lösung des Maximierungsproblems ist.
- Das GA verwendet 3 Teilstrategien:
  - Selektion (Auswahl von Individuen, die sich reproduzieren)
  - Rekombination/Crossover (Reproduktion)
  - Mutation (genetische Veränderungen)

Die empirische Anwendung

- Prognose des Arbeitsmarktes in West- und Ostdeutschland auf dem Niveau der **Land-kreise.**
- Daten:
  - Anzahl der Personen, die in jedem Jahr zum 30. Juni beschäftigt sind, unterteilt nach 9 Wirtschaftszweigen.
  - Durchschnittliche kalendertägliche Löhne für Vollzeitbe-schäftigung.
  - Typ der Region (9 Kategorien: von der Millionenstadt bis zur ländlichen Gegend, weit von einem städtischen Zentrum)
  - Daten zu 439 Landkreisen und kreisfreien Städten (326 für West und 113 für Ost) verfügbar für:
    - 15 Jahre (1987 - 2001) für Westdeutschland
    - 9 Jahre (1993 - 2001) für Ostdeutschland

Die Prognose regionaler Beschäftigung in West- und Ostdeutschland

- Wir entwickelten 9 NN Modelle, indem wir als exogene Variable die verzögerte (t-2) Wachstumsrate der sektoralen Beschäftigung und andere Variablen verwendeten (Periode, Gebietstyp und Löhne). Die abhängige Variable ist die **Wachstumsrate der Beschäftigung in den Kreisen**.
- In analoger Weise wurden 9 NN verwendet, bei denen GA als Instrument für die Wahl der NN Struktur und Parameter eingesetzt wurden.
- Training:
  - NN Modelle für West: Jahre 1991-1998
  - NN Modelle für Ost: Jahre 1997-1999
- Validierung (Wahl der NN Struktur):
  - NN Modelle für West: Jahre 1999-2000
  - NN Modelle für Ost: Jahre 2000
- Test (Training bis zum Jahr 2000): Jahr 2001
- Test (Training bis zum Jahr 2001): Jahr 2002

Evaluation der Leistungsfähigkeit der NN

- Wir beurteilten die Leistung der NN Modelle mit 3 Indikatoren:
  - Mittlerer quadratischer Fehler:
    - $MSE = 1/N * [\Sigma_i (y_i - y_i^f)^2]$
  - Mittlerer absoluter Fehler:
    - $MAE = 1/N * [\Sigma_i |y_i - y_i^f|]$
  - Prozentueller mittlerer absoluter Fehler:
    - $MAPE = 1/N * [\Sigma_i |y_i - y_i^f| * 100/ y_i]$

Modelle Neuronaler Netze

NN Modelle	Inputs
Modell A	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable)
Modell B	Beschäftigung (GR), Jahr (qualitativ)
Modell C	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), Kreis (qualitativ)
Modell D	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), Kreistyp (qualitativ)
Modell E	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), Kreistyp (dummy-variable)
Modell AW	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), Lohn (GR)
Modell DW	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), Kreistyp (qualitativ), Lohn (GR)
Modell BD	Beschäftigung (GR), Jahr (qualitativ), Kreistyp (qualitativ)
Modell BW	Beschäftigung (GR), Jahr (qualitativ), Lohn (GR)
NNGA Modelle	**Inputs**
Modell AGA	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable)
Modell BGA	Beschäftigung (GR), Jahr (qualitativ)
Modell CGA	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), kreis (qualitativ)
Modell DGA	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), kreistyp (qualitativ)
Modell EGA	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), kreistyp (dummy-variable)
Modell AWGA	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), lohn (GR)
Modell DWGA	Beschäftigung (GR), Jahr (dummy-variable), kreistyp (qualitativ), lohn (GR)
Modell BDGA	Beschäftigung (GR), Jahr (qualitativ), kreistyp (qualitativ)
Modell BWGA	Beschäftigung (GR), Jahr (qualitativ), lohn (GR)

Projektion der Beschäftigung in Westdeutschland im Jahre 2001

	Model A	*Model B*	*Model C*	*Model D*	*Model E*	*Model AW*	*Model DW*	*Model BD*	*Model BW*	*Status Quo*
MSE	21702742	8326739	20259245	25233824	19857019	12909349	8806876	**8057188**	**7851692**	22748959
MAE	1753.51	1587.58	1636.79	1783.79	1603.13	**1367.95**	1424.77	1568.83	1612.12	2124.82
MAPE	2.0619	2.6599	1.8809	2.0101	1.8979	**1.9433**	2.1272	2.5651	2.7247	2.6999
	Model AGA	*Model BGA*	*Model CGA*	*Model DGA*	*Model EGA*	*Model AWGA*	*Model DWGA*	*Model BDGA*	*Model BWGA*	*Status Quo Wachst.*
MSE	13961510	8780426	29658114	26081503	16547757	17224990	16213865	8670100	9100656	158622682
MAE	**1381.53**	1726.75	2174.53	1919.93	1457.64	1501.44	1496.21	1767.46	1744.25	1599.18
MAPE	**1.8004**	2.9324	2.4809	2.1700	1.8681	**1.8339**	1.8531	2.9006	2.9419	2.1124

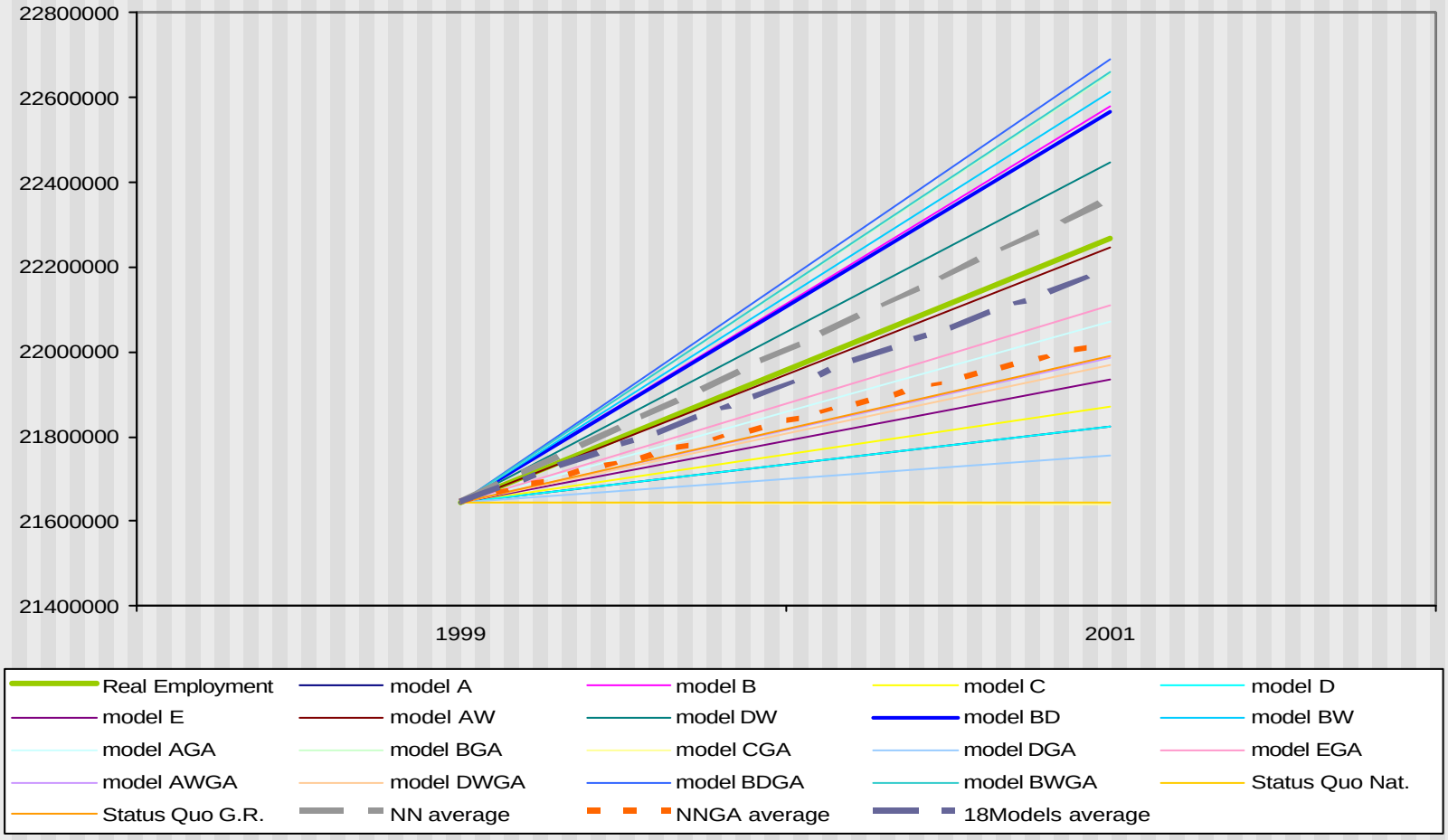
- NN & NNGA sind besser als eine Status Quo Prognose
- Kein Modell gewinnt bezüglich aller Indikatoren.
- **Die Modelle AW und AGA stechen für MAE und MAPE heraus**.
- MSE ergibt eine andere Reihenfolge als MAE und MAPE.

Projektion der Beschäftigung in Ostdeutschland im Jahre 2001

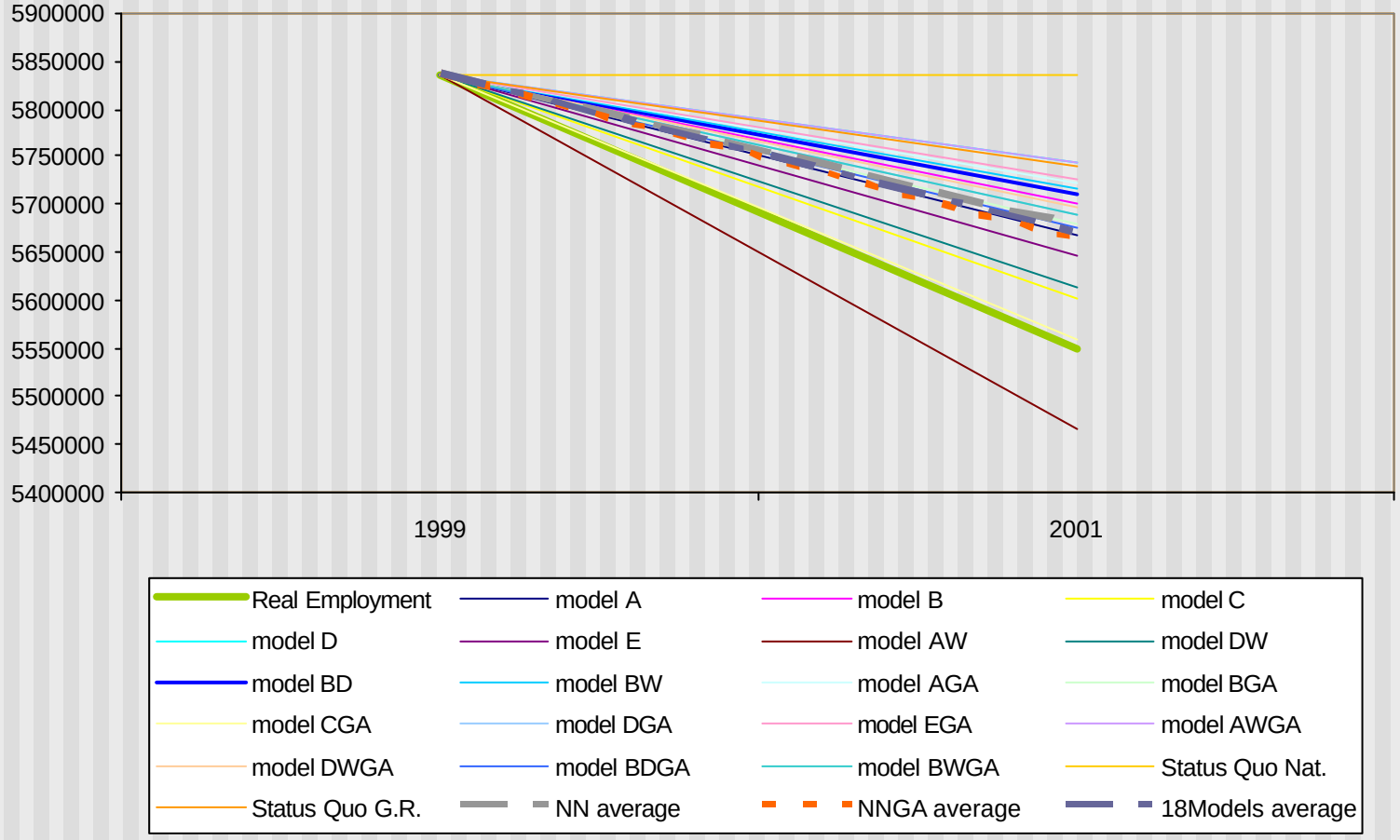
	Model A	*Model B*	*Model C*	*Model D*	*Model E*	*Model AW*	*Model DW*	*Model BD*	*Model BW*	*Status Quo*
MSE	13855323	10504722	36849400	10057159	18214516	50357944	17719380	9627065	**8076538**	9055105
MAE	1938.55	2007.30	1980.93	2268.41	1961.44	**1825.19**	**1726.13**	2026.60	1981.71	2558.70
MAPE	4.7083	5.1026	4.1479	5.9226	4.5186	**2.9360**	**3.7931**	5.1698	5.1244	7.0492
	Model AGA	*Model BGA*	*Model CGA*	*Model DGA*	*Model EGA*	*Model AWGA*	*Model DWGA*	*Model BDGA*	*Model BWGA*	*Status Quo Wachst.*
MSE	**8848823**	13189747	43609565	11878101	**8520633**	9007534	9630108	12362021	11950440	10024545
MAE	2074.04	1978.65	**1914.06**	2000.42	2073.56	2199.91	1950.69	1935.92	1996.29	2257.91
MAPE	5.4320	4.8676	**3.6817**	4.9793	5.3941	5.8310	4.9871	4.7495	4.9881	6.1832

- Status Quo Projektionen sind gemäß MAE and MAPE keine Konkurrenz für NN & NNGA Modelle. Ihre MSE Werte erreichen fast jene der “B” Modelle, wo die Periode als qualitative Variable verwendet wurde. Die Resultate sind heterogener als für den Westen.
- **Model AW ist erneut eines der besten.**
- Der MSE verhält sich erneut anders als MAE oder MAPE.

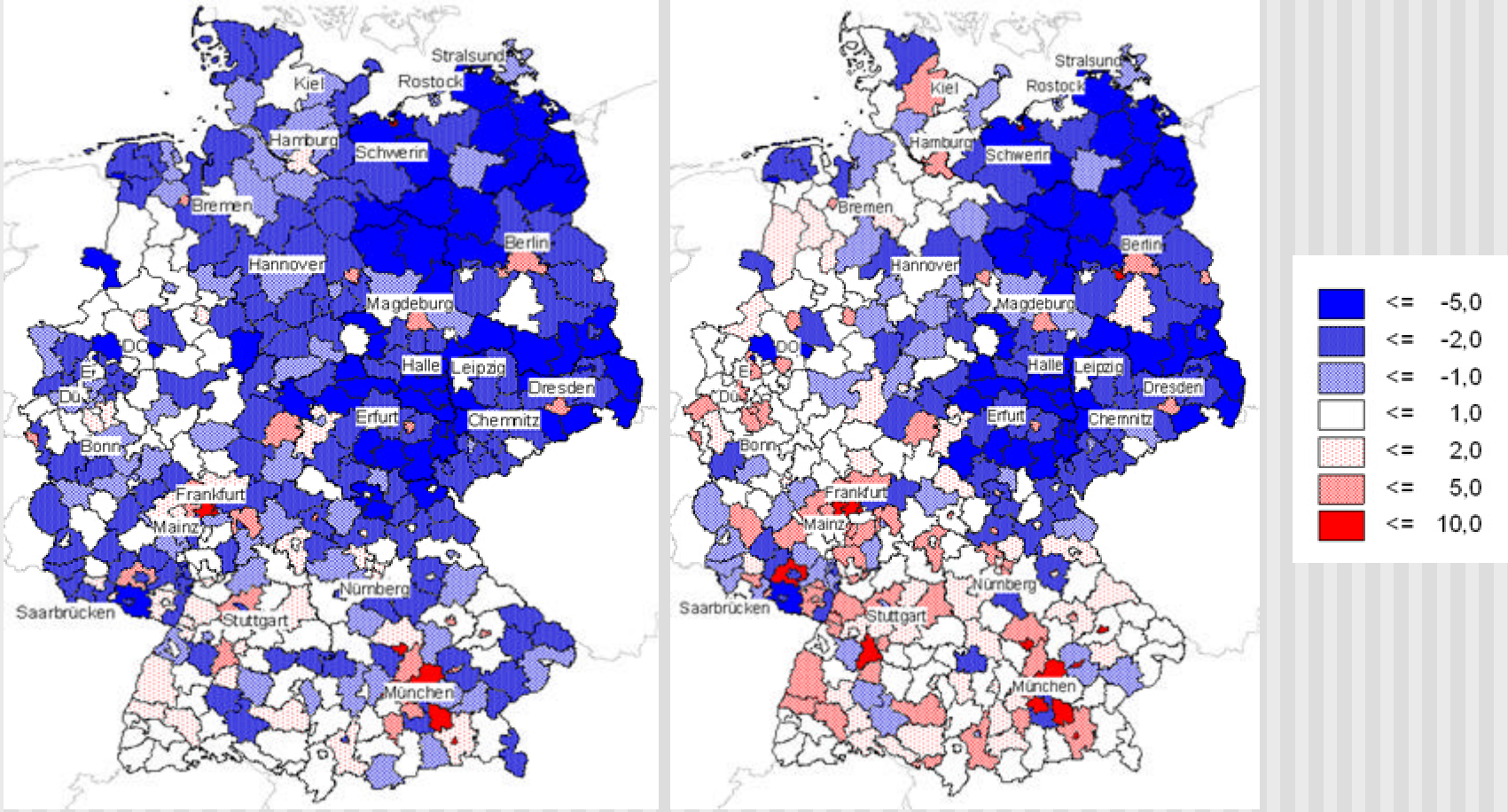
Projektion der Beschäftigung in Westdeutschland im Jahre 2001



Projektion der Beschäftigung in Ostdeutschland im Jahre 2001



Prozentueller Fehler für den Durchschnitt der NN und NNGA Modelle (Beschäftigte nach Kreisen, 2001).



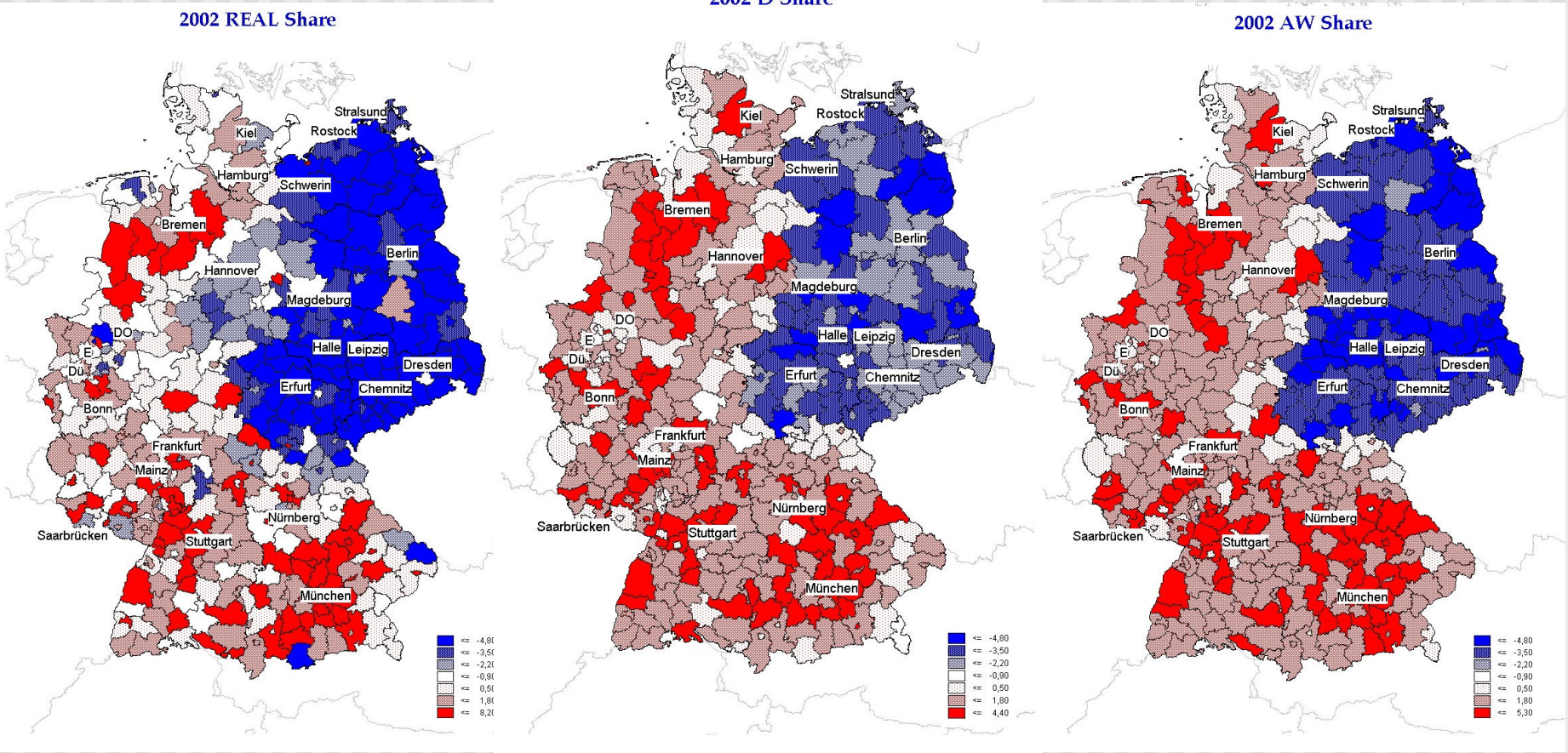
Überprüfung der Genauigkeit der Prognose für das Jahr 2002

- Die Prognosen für das Jahr 2002 wurden mit empirischen Daten überprüft. Das Fehlerniveau des Modells AW ist nicht so niedrig wie in den Jahren zuvor. Das Modell CGA zeigte bessere Ergebnisse.
- Ostdeutschland hat eine höhere Fehlerrate (u. a. wegen der kürzeren Stützperiode mit empirischen Daten).
- Model D sticht positiv heraus, wenn der Fehler als Anteil an der relativen Beschäftigung berechnet wird.
- **Beste Modelle: AW, D und CGA**

TEST SET	*Model AW*	*Model CGA*	*Model D*
MSE	10758749	5827397	13392851
MAE	2184,74	1163,79	2444,25
MAPE	4,0872	2,1409	4,6067

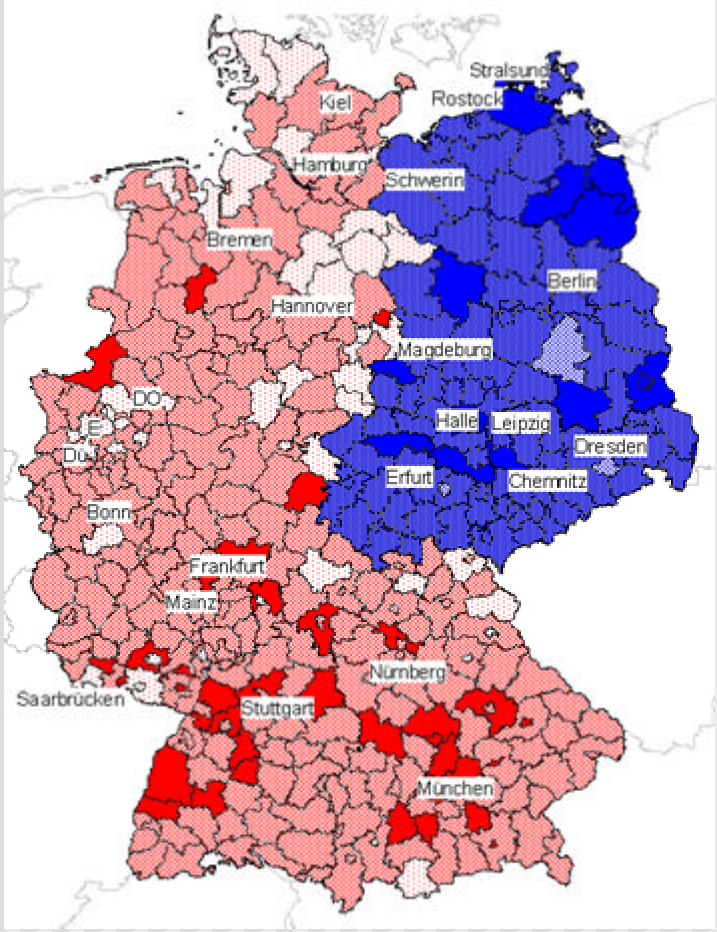
TEST SET (Anteil)	*Model D*	*Model AW*	*Model CGA*
MSE	8,740	7,959	7,907
MAE	2,261	2,156	2,179

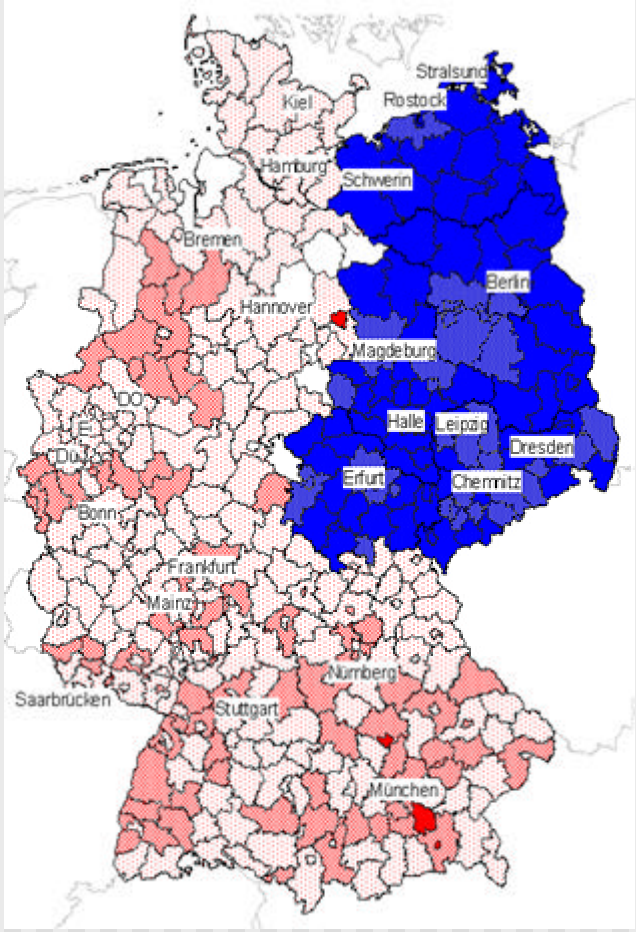
Geschätztes Wachstum für die Modelle AW und D im Vergleich zum beobachteten Wachstum als Anteile an der Beschäftigung (2002)

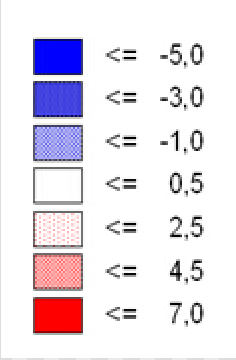


- Rote und blaue Farben bedeuten Wachstum und Schrumpfen im Beschäftigungsanteil eines Distrikts.

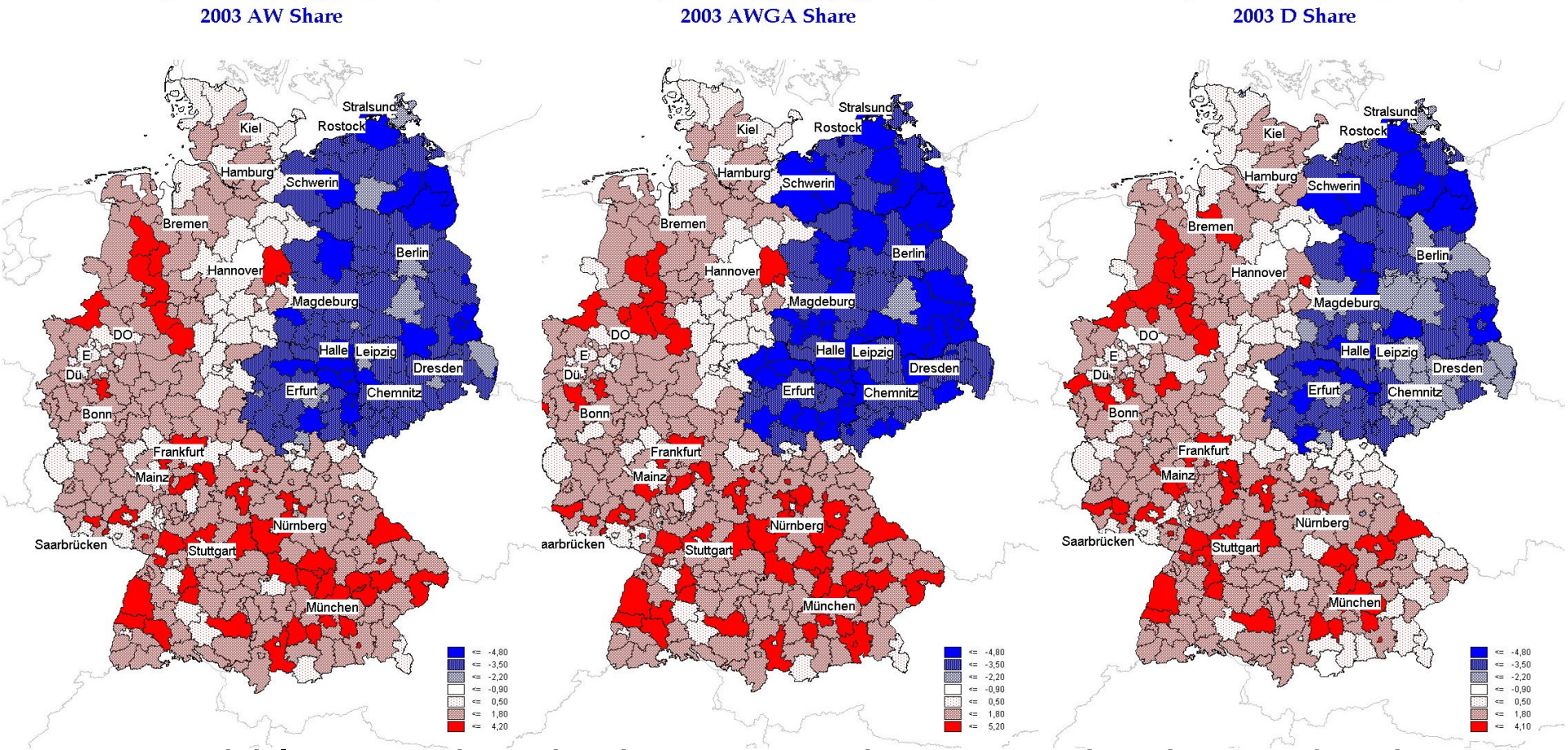
Geschätztes Wachstum für die Modelle AW und CGA (2003)





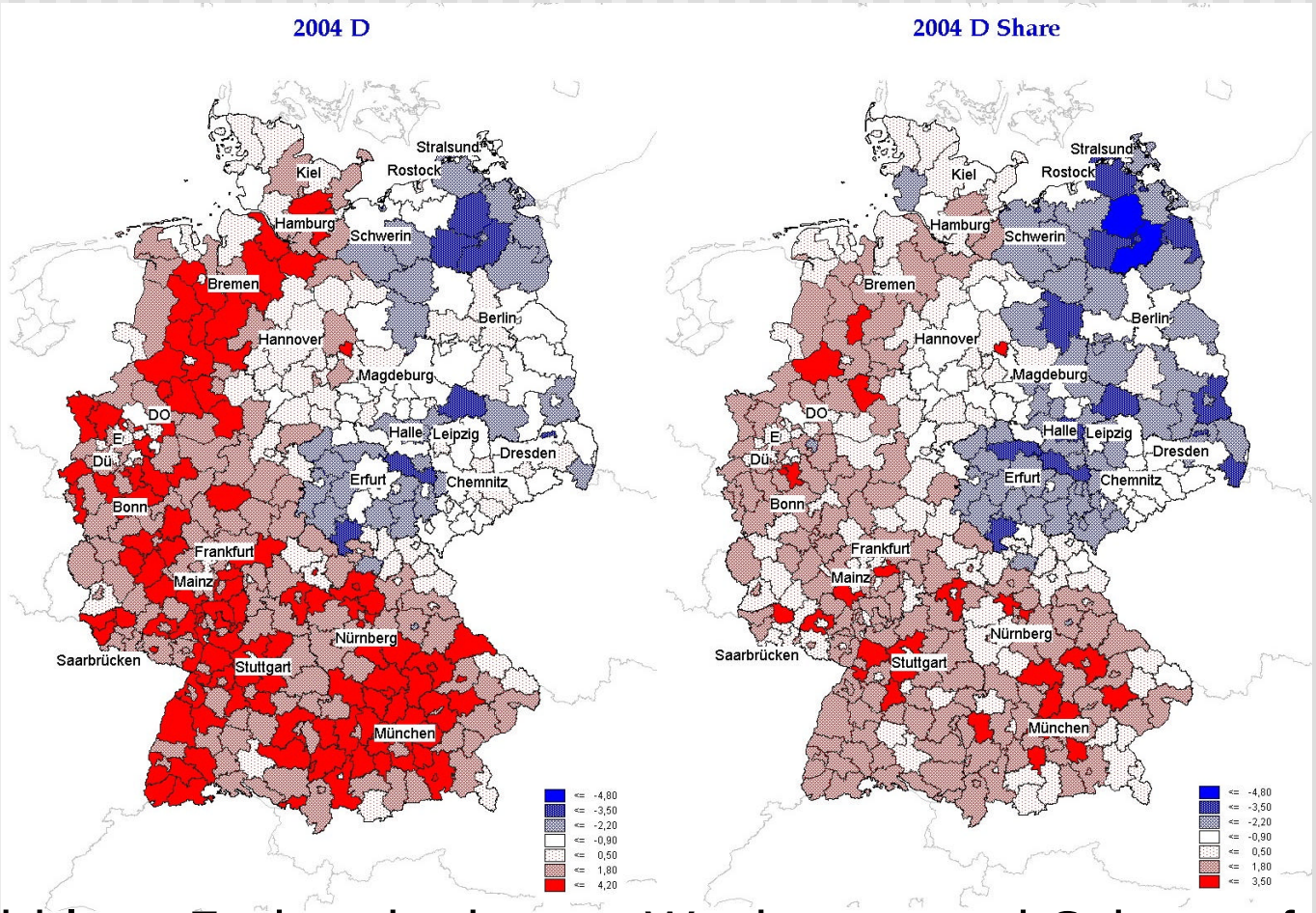


Geschätztes Wachstum für die Modelle AW, AWGA und D in Beschäftigungsanteilen (2003)



- Rote und blaue Farben bedeuten Wachstum und Schrumpfen im Beschäftigungsanteil eines Distrikts.

Eine vorläufige Beschäftigungsprognose für das Jahr 2004 (Modell D, Beschäftigung und Anteile)



- Rote und blaue Farben bedeuten Wachstum und Schrumpfen im Beschäftigungsanteil eines Distrikts.

Abschließende Bemerkungen zu den NN und NNGA Modellen

- Die NN und NNGA Modelle zeigen generell einen positiven Trend für West- und einen negativen Trend für Ostdeutschland in Übereinstimmung mit anderen Studien (vgl. Blien et al. 2003).
- Die NNGA Modelle ergeben höhere Fehlerraten als die NN-Modelle. Jedoch zeigt ein Vergleich zwischen den durchschnittlichen NN und NNGA Modellen, dass letztere gute Resultate produzieren, vor allem bez. des MAPE Indikators.
- NN Modelle mit einer zwei-Schicht Struktur minimieren MAPE, während komplexere NN Struktur günstiger bei dem MSE sind.
- NNGA Modelle zeigen relativ bessere Resultate für den Westen als für den Osten, wenn man sie mit NN Modellen vergleicht.

Schlussfolgerungen - Resultate der Experimente für das Jahr 2001

- Durchführung einer **methodischen Studie**
- Wir entwickelten **9 NN und 9 NNGA Modelle**, um die regionale Beschäftigung in West und Ost Deutschland zu prognostizieren.
- NN and NNGA Modelle zeigten stabilere Ergebnisse für West Deutschland.
- Die Durchschnitte für NNs und NNGAs sind ein erster Versuch, zwei Modelle für eine 'Synthese' zu entwickeln..
- **Die besten Modelle:**
  - **Für das Jahr 2001: Modell AW**
  - **Für das Jahr 2002: Modelle AW, D und CGA**

Zukünftige Forschung

- **Kausale Untersuchungen** zu den Determinanten der Beschäftigungstrends.
- Durchführung von Experimenten basierend auf den gemeinsamen Daten für West und Ost.
- Aktualisierung der Daten.
- Durchführung einer multikriteria Analyse um die NN/NNGA Modelle gemäß den Wünschen der Nutzer zu evaluieren.
- Die erfolgversprechenden Modelle für Beschäftigung sollten für die Prognose von **Arbeitslosigkeit** angepasst werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen und Kommentare
sind willkommen