

Nutzung von Mobilfunkdaten in der Verkehrswissenschaft – Ein Vergleich mit klassischen Ansätzen am Beispiel des Personenfernverkehrs in Deutschland

Konferenz **Verkehrsökonomik und -politik** | TU Berlin

14. Juni 2018

Christian Burgdorf, Sigrun Beige, Alexander Lange

Ausgangslage

Mobilfunkdaten als neue, (bessere) Informationsquelle?

- | Informationen über Ortsbewegungen und Verkehrsmittelwahl bedeutsam für viele verkehrswissenschaftliche Fragestellungen
- | Bisher: 4-Stufen-Modell, Nutzung von statistischen Daten, Fahrgastzählungen, Befragungen, Gravitationsansatz etc.
- | Nutzung von Mobilfunkdaten hat – prinzipiell – zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Ansätzen, bisher allerdings noch relativ geringe Erfahrungswerte

Forschungsvorhaben

Ergebnisvergleich und Interpretation

- | Vergleich des Outputs von zwei unterschiedlichen Ansätzen: systemdynamisches Modell (mit „klassischen“ Komponenten wie Umfrage, Gravitationsansatz) und Mobilfunkdaten von Telefónica NEXT
- | Abweichungen identifizieren, Ursachen für die ermittelten Unterschiede analysieren
- | interessierende Aspekte: **räumliche Mobilitätsverteilung** und **Verkehrsmittelwahl**
- | Untersuchungsgegenstand zunächst Personenfernverkehr innerhalb Deutschlands

- | These: Je höher der Aggregationsgrad, desto geringer die Abweichungen

Forschungsvorhaben

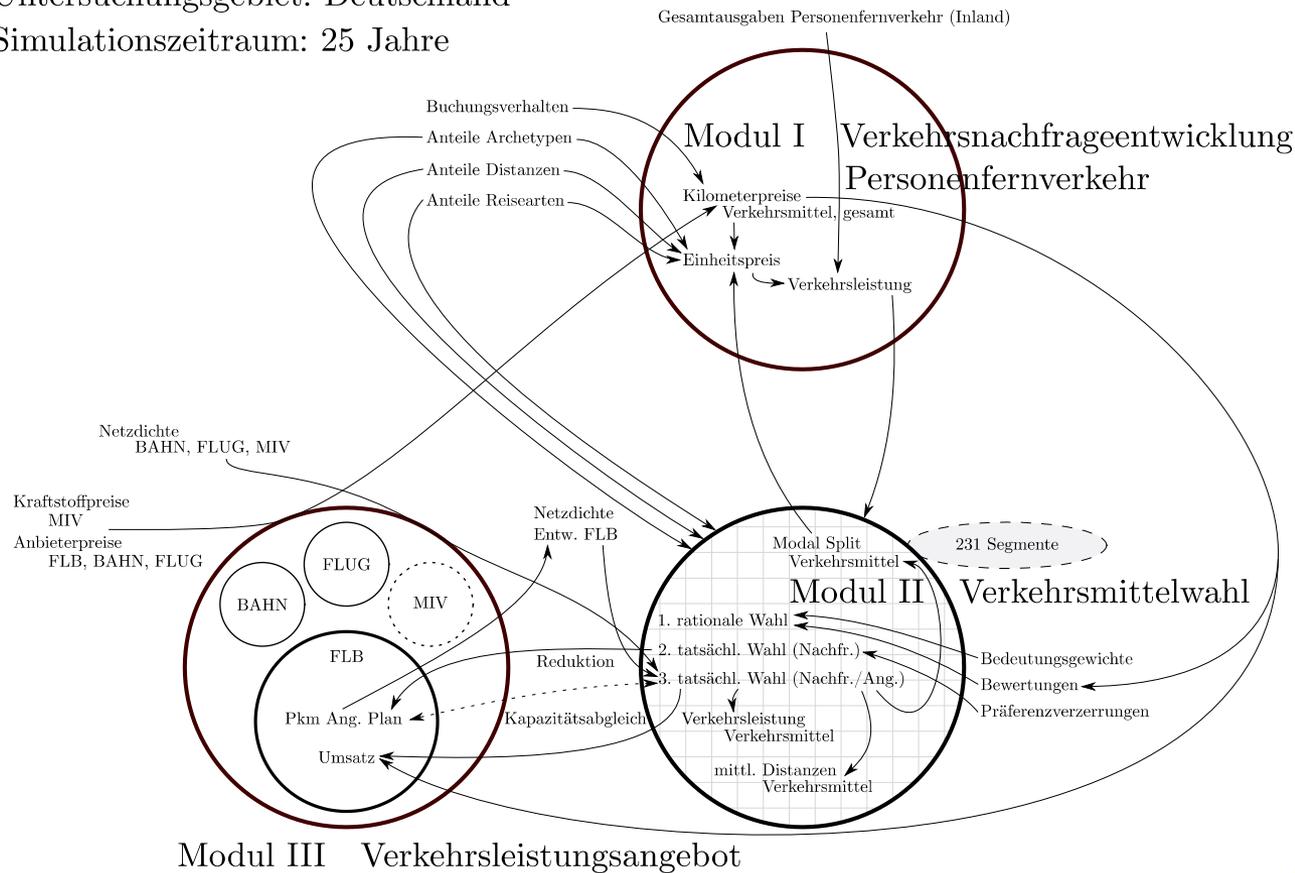
Vorüberlegungen

- | Personenfernverkehr: Reisen ab 50 km (einfache Strecke)
 - zunächst keine Unterscheidung nach Reiseart, Nutzergruppen etc.
- | drei Modi
 - Straße (Fernlinienbus u. Pkw), Eisenbahn, Flugzeug
- | Untersuchung auf NUTS-3-Level, Verwaltungssitze / Kreisstädte als Start- bzw. Zielpunkt (369 Kreise / kreisfreie Städte) → Zusammenführung / Anpassung erforderlich (PLZ bei Mobilfunkdaten)
- | Inputdaten: grundsätzlich so aktuell wie möglich

Klassischer Ansatz

Systemdynamisches Simulationsmodell

Untersuchungsgebiet: Deutschland
 Simulationszeitraum: 25 Jahre



Klassischer Ansatz

Schritt 1: Erzeugung

- | Ausgaben-Preis-Modell → Verkehrsleistungsnachfrage ergibt sich aus Division von Gesamtausgaben durch Durchschnittskilometerpreis im Sektor (Einheitspreis)
- | Ergebnis: Anzahl der Kilometer, die alle Einwohner Deutschlands zusammen innerhalb eines Jahres im Inlandsfernverkehr gefahren sind bzw. fahren
- | Fortschreibung durch lineare Extrapolation
- | induzierte Effekte: Preissenkungen vermindern Einheitspreis, Verkehrsleistung steigt
- | Ergebnis: Verkehrsleistung im innerdeutschen Personenfernverkehr liegt 2018 bei 350,93 Mrd. Pkm

Klassischer Ansatz

Schritt 2: Verteilung

$$\frac{\text{Einwohner } Q * \text{Einwohner } Z}{\text{Distanz (Luft)}^2} = K$$

Gravitationsansatz

Ziel	87432	247441	216712	79680	133560	195063	164926	200813	310653	128703	272337
Quelle	Flensburg, kr Flensburg	Kiel, kreisfrei Kiel	Lübeck, kreis Lübeck	Neumünster, Neumünster	Dithmarschei Heide	Herzogtum Lauenburg Ratzeburg	Nordfriesland Husum	Ostholstein, Eutin	Pinneberg, Lär Elmshorn	Plön, Landkrei Plön	Rendsburg-Eckernförde Rendsburg
87432 Flensburg, kre Flensburg	19110886.6	4662631.03	1092201.29	942180.131	2466932.82	786693.375	8370237.39	1614241.74	2019654.68	1228772.58	7727421.6
247441 Kiel, kreisfrei Kiel	4662631.03	153067621	13239775.8	23788542.2	7407082.14	7612665.76	7727491.13	35764444.6	15350064.1	41803312.6	69101897
216712 Lübeck, kreisfrei Lübeck	1092201.29	13239775.8	117410227	5923652.08	2373263.17	131917762	2139162.53	43914236.6	13259520.6	21193803.4	8172330.74
79680 Neumünster, kre Neumünster	942180.131	23788542.2	5923652.08	15872256	3266999.85	3622887.81	2278573.03	9043155.78	13862053	11714833.8	20254003.9
133560 Dithmarschen, kre Heide	2466932.82	7407082.14	2373263.17	3266999.85	44595684	1822092.96	19857317.6	2842957.71	11408562.2	2407020.07	27885842.5
195063 Herzogtum Lauenburg, kre Ratzeburg	786693.375	7612665.76	131917762	3622887.81	1822092.96	95123934.9	1608328.66	16102205.5	11527271.4	8949904.79	5546598.72
164926 Nordfriesland, kre Husum	8370237.39	7727491.13	2139162.53	2278573.03	19857317.6	1608328.66	68001463.7	2793116.18	6137690.16	2242546.15	22755283.4
200813 Ostholstein, kre Eutin	1614241.74	35764444.6	43914236.6	9043155.78	2842957.71	16102205.5	2793116.18	100814652	10653281.4	160822761	12882583.8
310653 Pinneberg, kre Elmshorn	2019654.68	15350064.1	13259520.6	13862053	11408562.2	11527271.4	6137690.16	10653281.4	241263216	9092430.06	22513710.8
128703 Plön, Landkrei Plön	1228772.58	41803312.6	21193803.4	11714833.8	2407020.07	8949904.79	2242546.15	160822761	9092430.06	41411155.5	12399695.2
272337 Rendsburg-Eckernförde, kre Rendsburg	7727421.6	69101897	8172330.74	20254003.9	27885842.5	5546598.72	22755283.4	12882583.8	22513710.8	12399695.2	185418604
198685 Schleswig-Flensburger Land, kre Schleswig	18982614.3	26020606.1	3884246.54	4963483.09	12707675.4	2702825.14	30223856.6	6121000.95	8342811.7	5156579.4	84801793.5
164926 Segeberg, kre Segeberg	1975795.55	34374454.8	73689824.7	30754066.7	5379468.61	34927526.9	4273933.16	59072970.7	37331771.6	61990924.5	21371488.2
131875 Steinburg, kre Itzehoe	1283402.32	9327889.16	4489101.12	8748929.73	12024764.2	3515430.95	4594351.56	4604115.35	80479048.8	4172232.43	20483349.1
241811 Stormarn, kre Bad Oldesloe	1371526	17152076.7	91495771.8	12440780.2	3824697.18	61314514.7	3029146.99	29832416.8	33338782.6	22802207.4	12673041.2
1810438 Hamburg, kre Hamburg	7762972.86	59410841.2	111689261	40869493.7	28315362.5	127402603	19931749.9	60298116.5	533681201	45342308.9	64699603.2
248667 Braunschweig, kre Braunschweig	261312.104	1167324.09	1695758.79	475238.158	612866.559	1876415.47	583409.044	1148820.08	2547865.14	738448.941	1248106.3
103668 Salzgitter, kre Salzgitter	99048.9825	425982.779	584876.654	171782.989	231299.07	633179.39	222127.309	408395.544	919063.89	263836.932	462548.25
123909 Wolfsburg, kre Wolfsburg	139310.947	648717.233	1014266.27	263906.094	321458.995	1150919.84	306110.024	663631.446	1379764.74	421592.138	675110.212
174749 Gifhorn, kre Gifhorn	219931.06	1038424.33	1625210.92	434956.921	532521.174	1864099.95	494875.093	1050202.74	2411406.08	675336.88	1099064.3
137979 Goslar, kre Goslar	114009.046	476592.183	635126.958	188047.553	257351.63	676282.603	252220.472	453622.023	971204.886	291865.714	516140.748
92079 Helmstedt, kre Helmstedt	88410.1054	397337.034	595010.409	157132.022	195928.1	657825.004	191102.219	402391.422	787564.367	254247.124	412371.026
133610 Northeim, kre Northeim	99007.601	392049.885	482739.053	153766.158	224974.28	501010.781	222211.34	358035.183	801591.682	232861.729	436683.096
132979 Peine, kre Peine	149304.831	661722.893	932625.611	274562.731	364724.562	1027227.03	341284.262	636223.451	1545336.64	414063.615	723840.985
120904 Wolfenbüttel, kre Wolfenbüttel	116813.969	510414.205	721123.224	205220.381	269583.292	787230.156	259511.063	497496.405	1082087.89	319544.201	547154.193
327065 Göttingen, kre Göttingen	217863.561	842913.696	1011417.35	326635.465	486080.355	1038123.23	486221.22	762369.116	1673129.36	495636.374	941203.102
1148700 Region Hannover	1391854.63	5989726.8	7850077.06	2537656.51	3605841.92	8473763.48	3301632.86	5501843.13	15271549.3	3649967.4	6822348.47
215082 Diepholz, kre Diepholz	295436.451	1059684.33	1044227	445577.148	853200.186	1028624.45	774832.299	834036.305	2817369.55	577002.373	1367612.51

Klassischer Ansatz

Schritt 3: Verkehrsmittelwahl

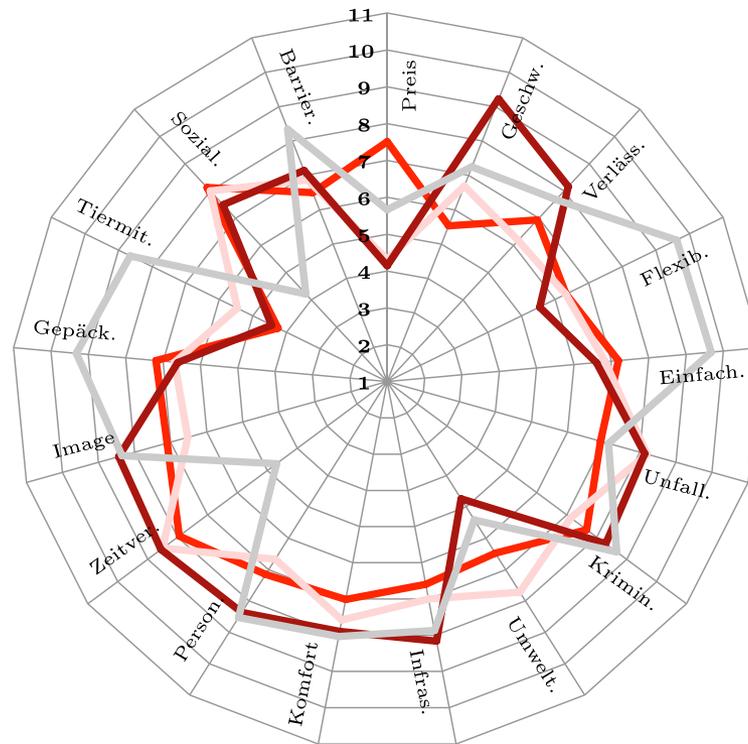
| dreistufiger Verkehrsmittelwahlprozess

- **Stufe 1: rationale Verkehrsmittelwahl**
 - » Teilnutzenaddition, Bildung von Präferenzordnungen
- **Stufe 2: tatsächliche Verkehrsmittelwahl (Nachfrage)**
 - » Berücksichtigung von Verzerrungsfaktoren (Gewohnheiten, Ängste, Vorurteile, Informationsverhalten), neue Präferenzordnungen
- **Stufe 3: tatsächliche Verkehrsmittelwahl (Nachfrage/Angebot)**
 - » Berücksichtigung von zeitlicher und räumlicher Verfügbarkeit verkehrsmittelspezifischer Angebote
 - » Berücksichtigung von zweiter, dritter und vierter Wahl

Klassischer Ansatz

Schritt 3: Verkehrsmittelwahl, Stufe 1, Bewertung

— Fernlinienbus — Eisenbahn — Flugzeug — Pkw



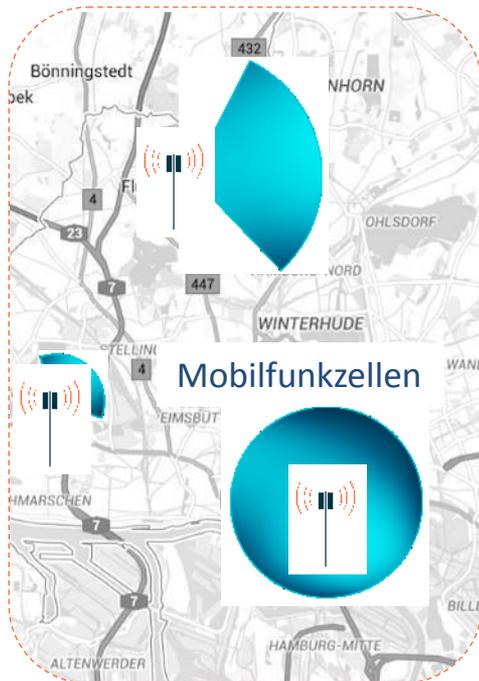
Klassischer Ansatz

Schritt 4: Routenwahl

- | Umsetzung mit PTV Visum
- | Schritt 4 auch beim Mobilfunk-Ansatz

Mobilfunkdaten

Daten-Grundlage



Deutschlands größtes permanentes Datenpanel

Anonymisiert

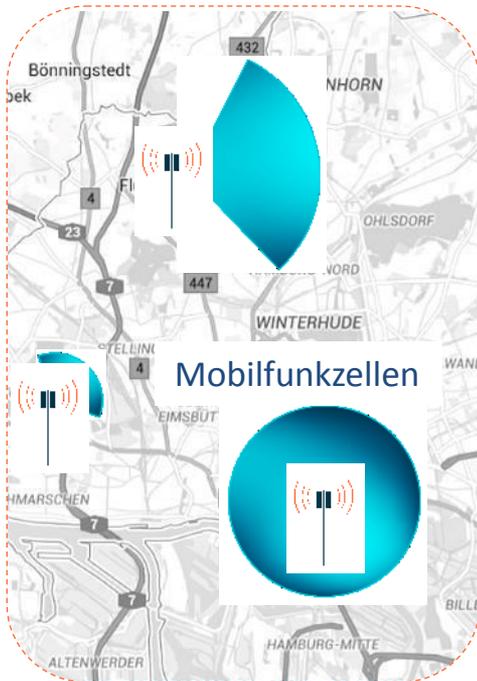
Aggregiert

Extrapoliert

TÜV SAARLAND Geprüfter Datenschutz
www.tuv-saarland.de

Mobilfunkdaten

Zell-Repository

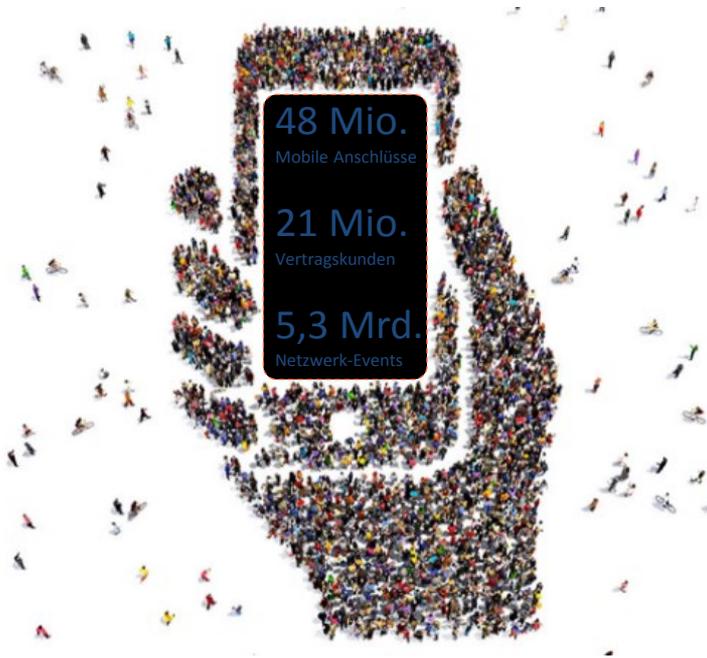


Struktur der Mobilfunkzellen:

- | Cell-ID
- | Art -> Technologie
- | Lage
- | Größe
- | Hauptstrahlrichtung

Mobilfunkdaten

Events



Events werden erzeugt durch:

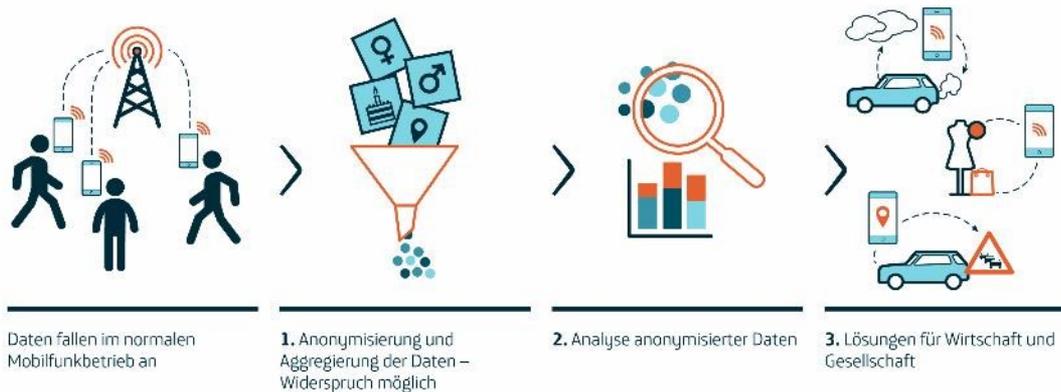
- | eingehende und ausgehende Anrufe
- | eingehende und ausgehende SMS und MMS
- | mobile Internet-/ App-Nutzung
- | Ein- und Ausschalten des Mobilfunkgerätes
- | Wechsel zwischen Mobilfunkzellenverbänden
- | periodische passive Events

Mobilfunkdaten

Data Anonymization Platform

Anonymisierung von Mobilfunkdaten_

Daten liegen durch normale Geschäftsprozesse vor und werden durch ein dreistufiges Verfahren anonymisiert.



- | Entwicklung durch die Beauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit begleitet, in Anmeldung zum Patent
- | Die Anonymisierung ist mit den strengsten deutschen Datenschutzgesetzen konform und vom TÜV zertifiziert.
- | Nutzer haben jederzeit **Kontrolle über die Nutzung ihrer Daten** (Opt-Out möglich).

OD-Matrizen

Aufenthalte vs. Bewegungen



- | Weg als Bewegung zwischen zwei Aufenthalten
- | Aufenthalt: mindestens 30 Minuten keine Bewegung
- | Bewegung: ab einer Entfernung von zwei Kilometern

OD-Matrizen

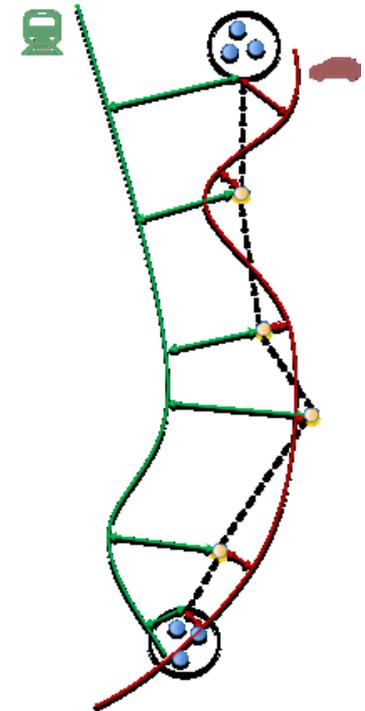
Aggregation & Extrapolation

- | Aggregation für eine definierte Zonierung, i. d. R. fünfstellige Postleitzahlzonen, basierend auf der Bevölkerung und der entsprechenden Zellabdeckung
- | Ausweisung von aggregierten Bewegungen von Personengruppen ≥ 5 Personen aus datenschutzrechtlichen Gründen
- | Hochrechnung der Telefónica-Kunden auf die deutsche Gesamtbevölkerung auf Basis der bekannten Marktdurchdringung, d. h. anhand der geografisch differenzierten Marktanteile je Region und der Kundensegmente
- | Kalibrierung auf Basis von soziodemografischen und -ökonomischen Strukturdaten, wie bspw. differenzierten Zensusdaten
- | Bewertung hinsichtlich der Vollständigkeit und Strukturen der Analyseergebnisse zur Qualitätssicherung

OD-Matrizen

Transportmodi

- | Erkennung des Hauptverkehrsmittels aufgrund der längsten zurückgelegten Distanz
- | Unterscheidung zwischen straßen-, schienen- und luftgebundenem Verkehr
- | Klassifizierung anhand einer großen Anzahl an Einflussfaktoren, wie bspw. Reisegeschwindigkeit und -dauer, Distanzen zum Straßen- und Schienennetz



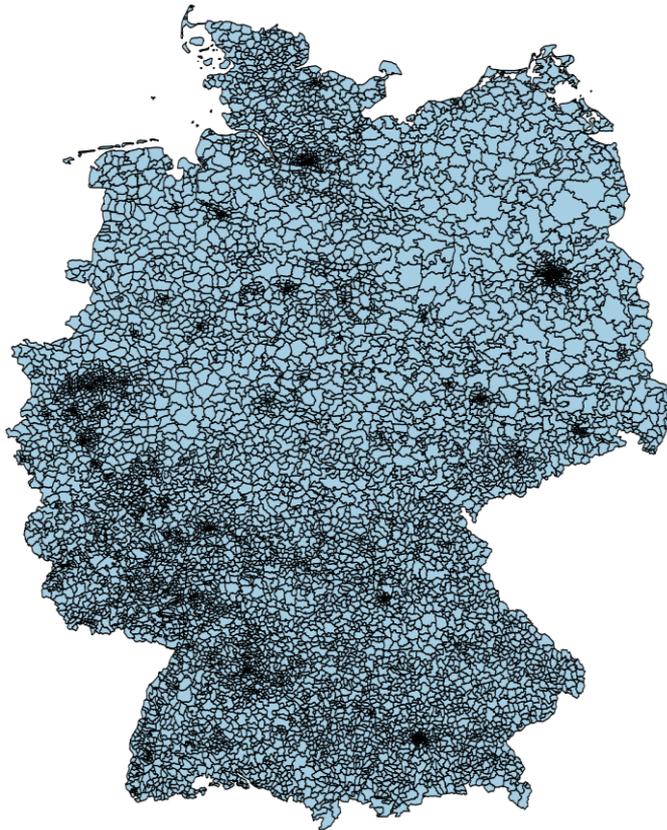
Mobilfunkdaten

Modell Fernverkehr, Quelle-Ziel-Matrix

	<p>Quelle-Ziel-Matrix mit Auskunft über</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Start- und Endzone • Anzahl der reisenden Personen (in absoluten Zahlen) • Daten_OD_yearly_MoT_Car_ab 50km.txt, 21.355.710 Zeilen • Daten_OD_yearly_MoT_Train_ab 50km.txt, 5.040.709 Zeilen • Daten_OD_yearly_MoT_Plane_ab 50km.txt, 579.029 Zeilen
	<p>Betrachtete Reisen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fernverkehrsreisen ab 50km Luftliniendistanz zwischen den Zentroiden der Startzone und Endzone
	<p>Räumliche Genauigkeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutschland auf PLZ5-Ebene (8177 Zonen)
	<p>Betrachteter Zeitraum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 01.01.-31.12.2017
	<p>Zeitliche Genauigkeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jährliche Summenwerte
	<p>Transportmodi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unterscheidung bezüglich des Hauptverkehrsmittels • Betrachtung von straßen-, schienen- und luftgebundenem Verkehr • Zunächst keine Unterscheidung zwischen Personen- und Güterverkehr

Mobilfunkdaten

Modell Fernverkehr, Zonierung



- | Deutschland auf PLZ5-Ebene mit insgesamt 8.177 Zonen (Stand 15.03.2018)
- | Aus datenschutzrechtlichen Gründen sind nur Bewegungen von Personengruppen ≥ 5 Personen in den Analysen enthalten. Daher werden einzelne Relationen im Testdatensatz ggf. räumlich oder zeitlich nicht ausgewiesen.

Ergebnisse

Trips pro Person und Jahr (bezogen auf 2017 bzw. 2018)

	Straße	Schiene	Luft	Gesamt
System Dynamics / Gravitationsansatz				
	11,6	1,4	0,2	13,2
Mobilfunkdaten				
	11,3	1,4	0,1	12,9

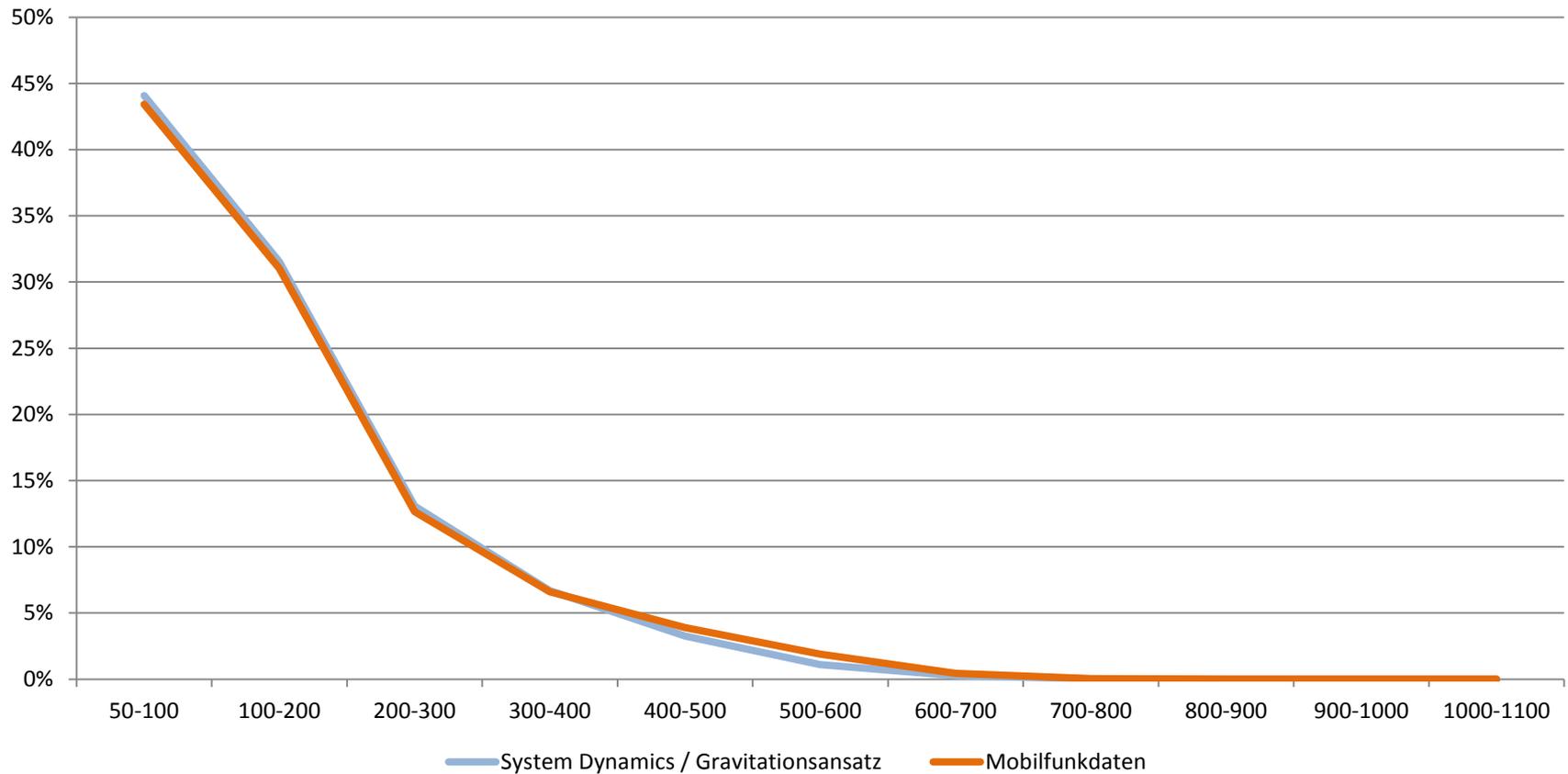
Ergebnisse

Modal Split

	Straße	Schiene	Luft
System Dynamics / Gravitationsansatz			
	87,5 %	10,9 %	1,5 %
Mobilfunkdaten			
	87,8 %	11,2 %	0,9 %

Ergebnisse

Verteilung Trips, Distanzkategorien, km



Ergebnisse

Verteilung Trips, Distanzkategorien, km

	50-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100
System Dynamics / Gravitationsansatz	44,07 %	31,53 %	13,08 %	6,69 %	3,25 %	1,10 %	0,26 %	0,03 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Mobilfunkdaten	43,43 %	31,04 %	12,65 %	6,61 %	3,89 %	1,90 %	0,44 %	0,04 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Ergebnisse

Anzahl Trips, Beispielstrecken

Strecke	Distanz (Luft)	Mio. Trips SD / GRAV	Mio. Trips MOBIL	Abweichung (Betrag)
Hamburg – Berlin	255 km	1,18	4,08	246 %
Hamburg – Bielefeld	198 km	0,18	0,26	44 %
Hamburg – Friedrichshafen	653 km	0,01	0,03	200 %
Hamburg – Köln	356 km	0,18	0,78	333 %
Hamburg – Bremen	95 km	1,35	3,75	178 %
Cuxhaven – Heide	50 km	0,13	0,02	550 %

Ergebnisse

Anzahl Trips, Extrembeispiele

Strecke	Distanz (Luft)	Trips SD / GRAV	Trips MOBIL	Abweichung (Betrag)
Frankfurt (Oder) – Nordhorn	504 km	370	281.334	75.936 %
Höxter – Meschede	91 km	53.487	53.490	0 %
Düren – Bitburg	92 km	35.795	35.796	0 %
Koblenz – Wilhelmshaven	360 km	2.286	2.286	0 %

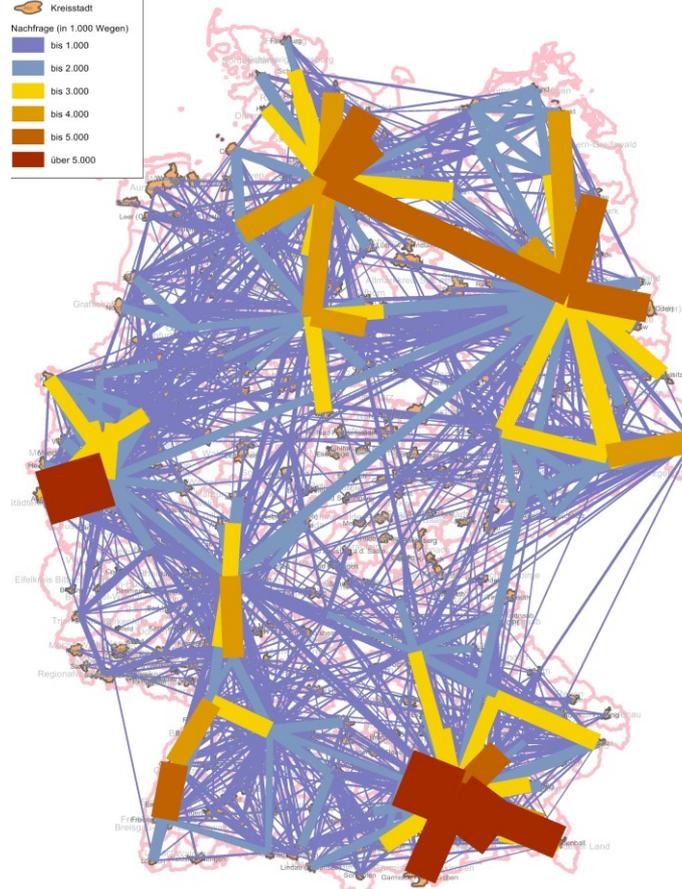
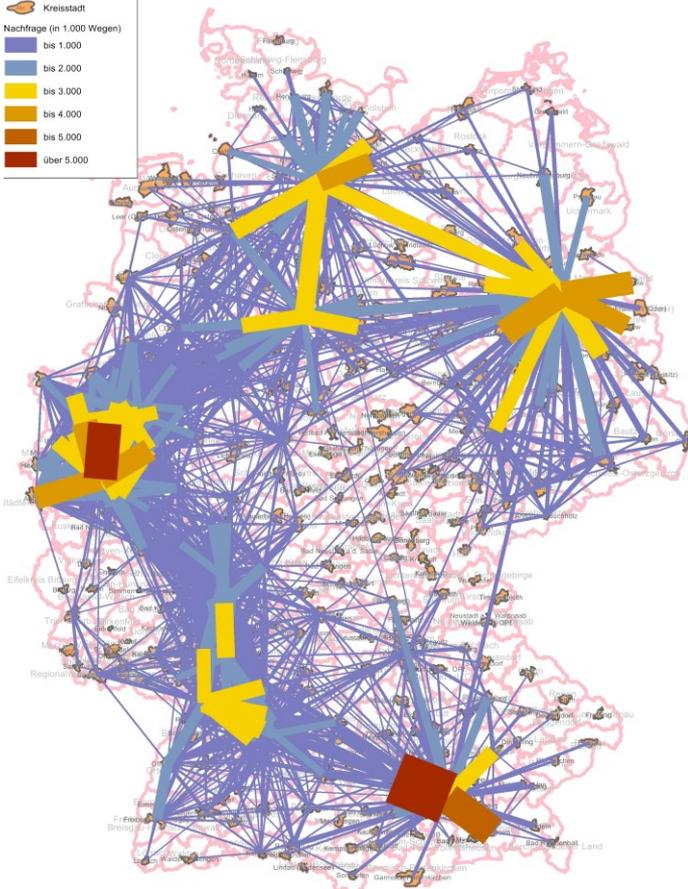
Ergebnisse

Beispielstrecken, Modal Split, Plausibilität Mobilfunkdaten

Strecke	Distanz (Luft)	Straße	Schiene	Luft
Hamburg – Berlin	255 km	53,50 %	46,40 %	0,10 %
Hamburg – Bielefeld	198 km	75,84 %	24,09 %	0,08 %
Hamburg – Friedrichshafen	653 km	26,04 %	26,27 %	47,69 %
Hamburg – Köln	356 km	36,87 %	38,47 %	24,66 %
Hamburg – Bremen	95 km	63,18 %	36,82 %	0,01 %

Ergebnisse

Quelle-Ziel-Verbindungen, gesamt



Fazit

- | Große Übereinstimmung auf globaler Ebene und bei den Distanzkategorien
- | Große Abweichungen bei streckenbezogener Betrachtung
- | Gravitationsansatz in der einfachsten Form nur für (hoch)aggregierte Betrachtungen geeignet
- | Hohe Plausibilität der Mobilfunkdaten, auch bei streckenbezogener Betrachtung, aber: auch hier noch Verbesserungen möglich

Weitere Schritte

- | (kleinere) Anpassungen an den Datensätzen
- | Anpassung Gravitationsformel und Verkehrsmittelwahlmodell, um auch bei mikroskopischer Betrachtung plausible Ergebnisse zu erzielen
- | Optimierung Mobilfunkdaten-Ansatz
- | Erneuter Vergleich

Kontakt

Dr **Christian Burgdorf**

KCW GmbH
Bernburger Straße 27
10963 Berlin

E-Mail burgdorf@kcw-online.de

Dr **Sigrun Beige & Alexander Lange**

Telefónica Germany NEXT GmbH
Charlottenstraße 4
10969 Berlin

E-Mail sigrun.beige@telefonica.com
E-Mail alexander.lange@telefonica.com



Strategie- und Managementberatung
für öffentliche Dienstleistungen

