GOR-Arbeitsgruppe Health Care Management

Optimale Versorgungsqualität im Rettungswesen

Degel, Wiesche, Rachuba, Lutter, Werners

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Unternehmensforschung und Rechnungswesen
Ruhr-Universität Bochum

03.05.2013, Düsseldorf

Gliederung

1. Motivation

2. Optimierungsmodell zur taktischen RTW-Planung

3. Simulation

4. Datenanalyse und Prognose

5. Fallstudie am Beispiel der Stadt Bochum

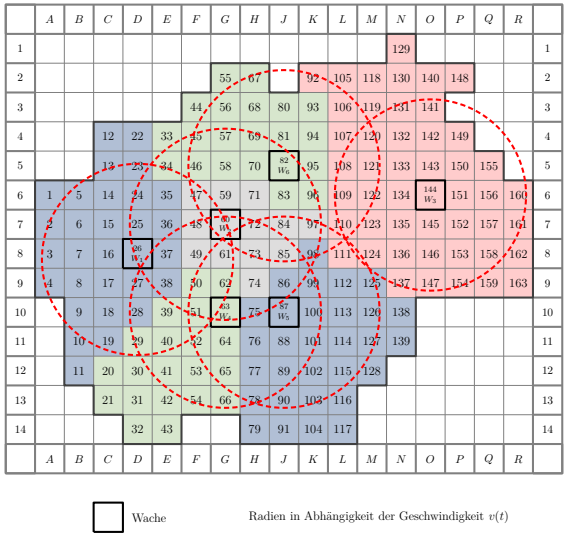
Forschungsschwerpunkt Health Care Management

am Lehrstuhl für Unternehmensforschung und Rechnungswesen

- Prof. Dr. Werners und Forschungsteam

- Emergency Medical Service (EMS)/Rettungsdienst
- (Freiwillige) Feuerwehr
- Operationssaal Planung
- Umgang mit Unsicherheit
- Modellierung von Mehrfachzielsetzungen

Motivation

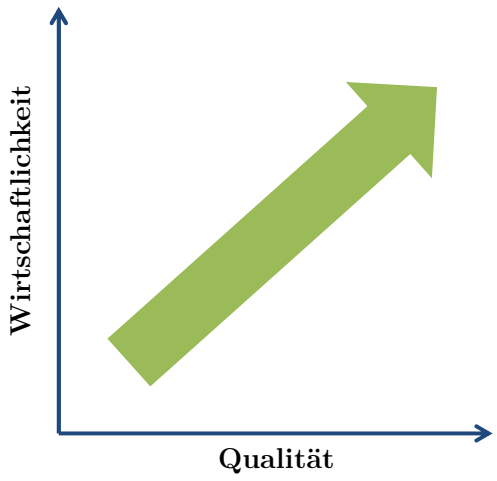


$$y_{jt} + \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ij(t+1)} - \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ji(t+1)} = y_{j(t+1)}$$

$$y_{jT} + \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ij1} - \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ji1} = y_{j1}$$

Motivation

1. Rettungsdienst wichtiger Bestandteil der öffentlichen Versorgung
2. Optimale Versorgung
   - Schnellstmögliche Erreichung der Patienten
   - Gute Abdeckung des Stadtgebiets, hoher Erreichungsgrad
   - Abhängig von Platzierung und Anzahl der RTWs
3. Wirtschaftlichkeit
   - Reduktion der Fixkosten durch Bereitschaft
   - Unterstützung der Budgetverhandlungen mit den Krankenkassen



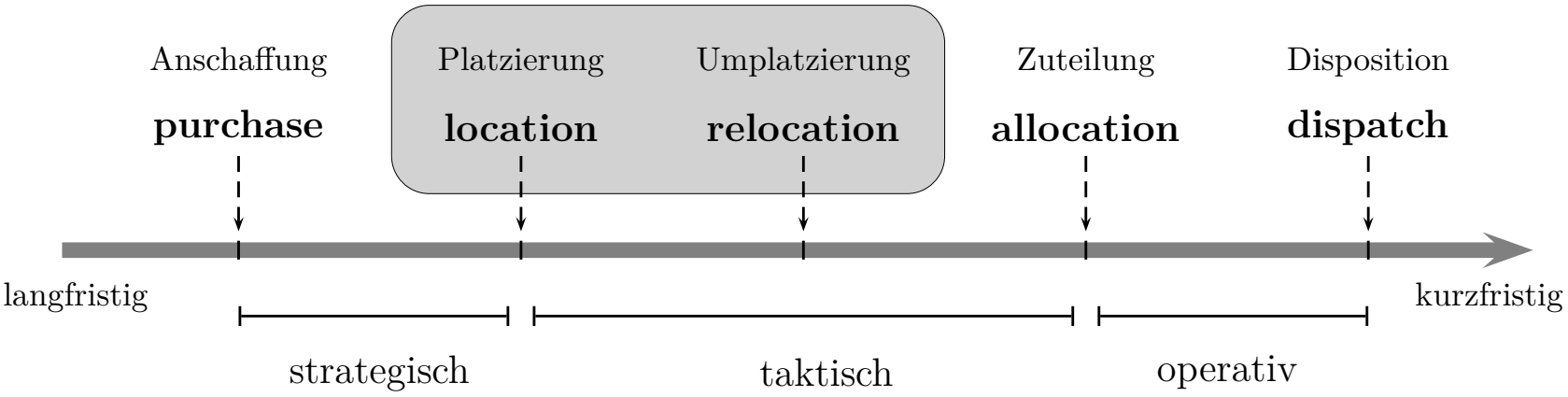
Optimierungsansätze

$\Longrightarrow$ Nutzung flexibler Wachenstandorte

$\Longrightarrow$ Optimale, flexible Zuordnung von RTWs zu Wachen

$\Longrightarrow$ Dynamische Betrachtung

$\Longrightarrow$ Notwendige Abdeckung sicherstellen



Projekt: Optimale Versorgungsqualität im Rettungswesen

Schwerpunkte:

- Analyse der notwendigen Ressourcen des Rettungsdienstes
- Analyse von dynamischen Veränderungen der Einsatznachfrage
- Taktischer und strategischer Planungshorizont
- Umgang mit stochastischen Einflüssen bei Nachfrage und Geschwindigkeit

Ziel:

- IT-Tool zur Entscheidungsunterstützung und Planung für kommunale Rettungsdienste

Entscheidungsunterstützungs-Tool

Entscheidungsunterstützung

Optimierung	Simulation	Prognose
Standort- und Ressourcenplanung	Erreichungsgrade, Auslastung	Trends, Entwicklung
Empirischer Abdeckungsbedarf	Evaluationen	Bevölkerung, Experten

Entscheidungsunterstützungs-Tool

Entscheidungsunterstützung

Optimierung	Simulation	Prognose
Standort- und Ressourcenplanung	Erreichungsgrade, Auslastung	Trends, Entwicklung
Empirischer Abdeckungsbedarf	Evaluationen	Bevölkerung, Experten

Qualitätskriterien und Zielvorstellungen

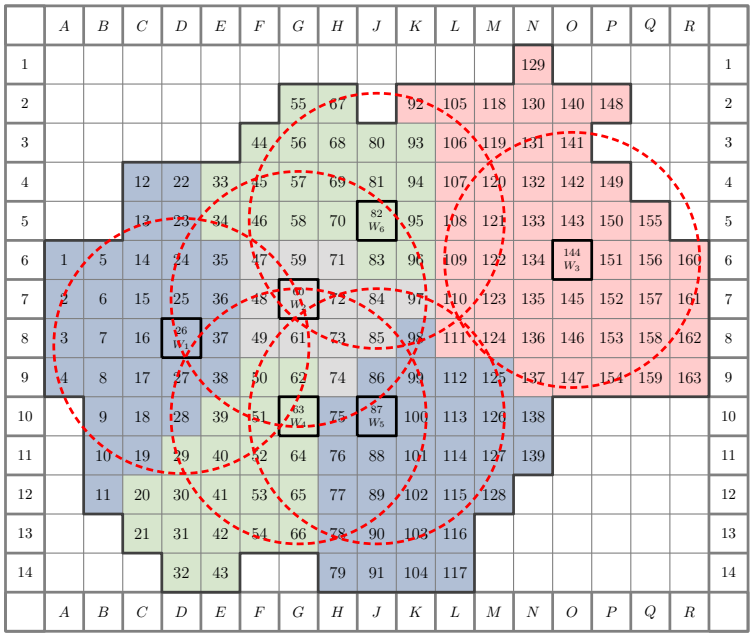
Zielsetzung des Rettungsdienstes:

- Erreichungsgrad:

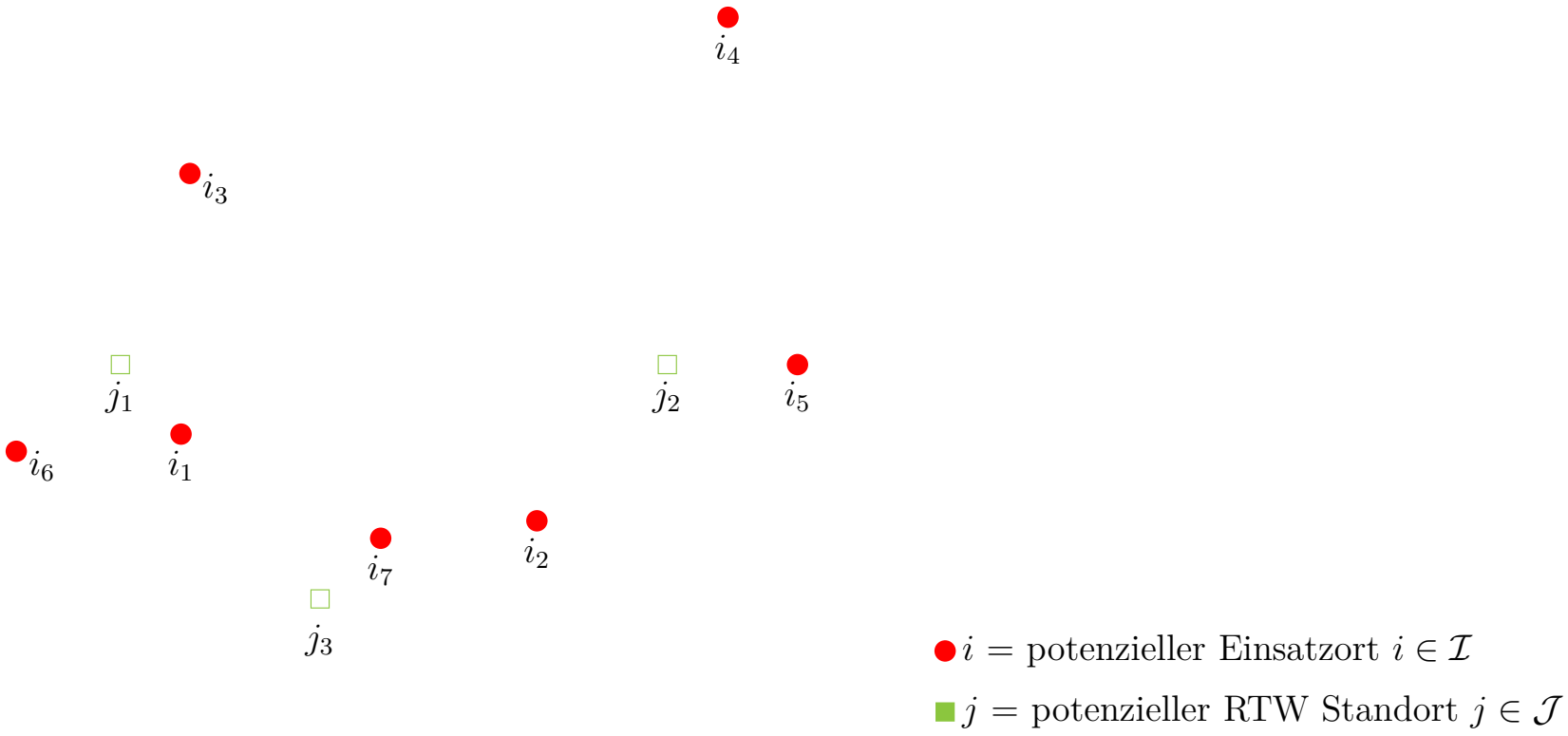
$$\frac{\#\ \text{Einsätze innerhalb der Hilfsfrist}}{\#\ \text{Gesamtanzahl der Einsätze}}$$

Zielsetzung in der Literatur:

- Abdeckung: Einfache Abdeckung, doppelte Abdeckung, „busy fraction Modelle“, Warteschlangenmodelle, Hypercube Modelle

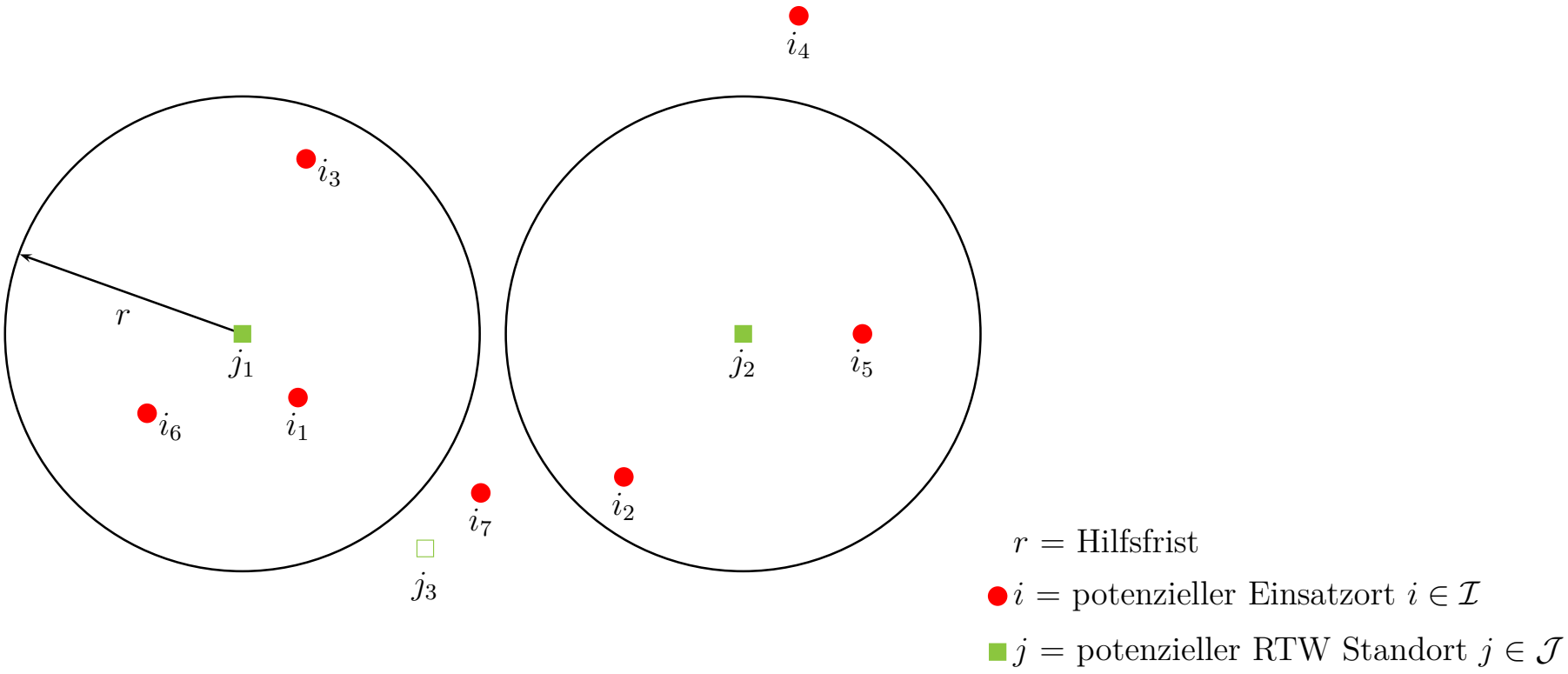


Abdeckung: einfach



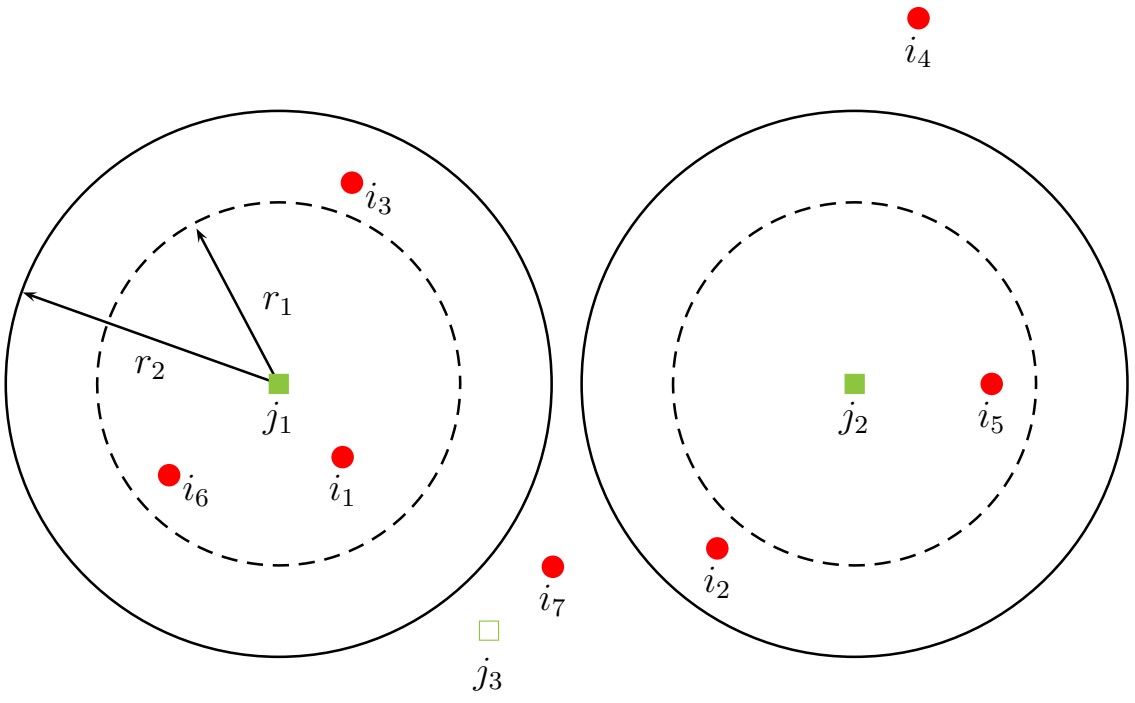
$$\mathcal{N} := \{ j \in \mathcal{J} \mid d_{ij} \leq r \}$$

Abdeckung: einfach



$$\mathcal{N}_i^\ell := \{j \in \mathcal{J} \mid d_{ij} \leq r^\ell\}$$

Abdeckung: zwei Radien



r_1 = Hilfsfrist 1

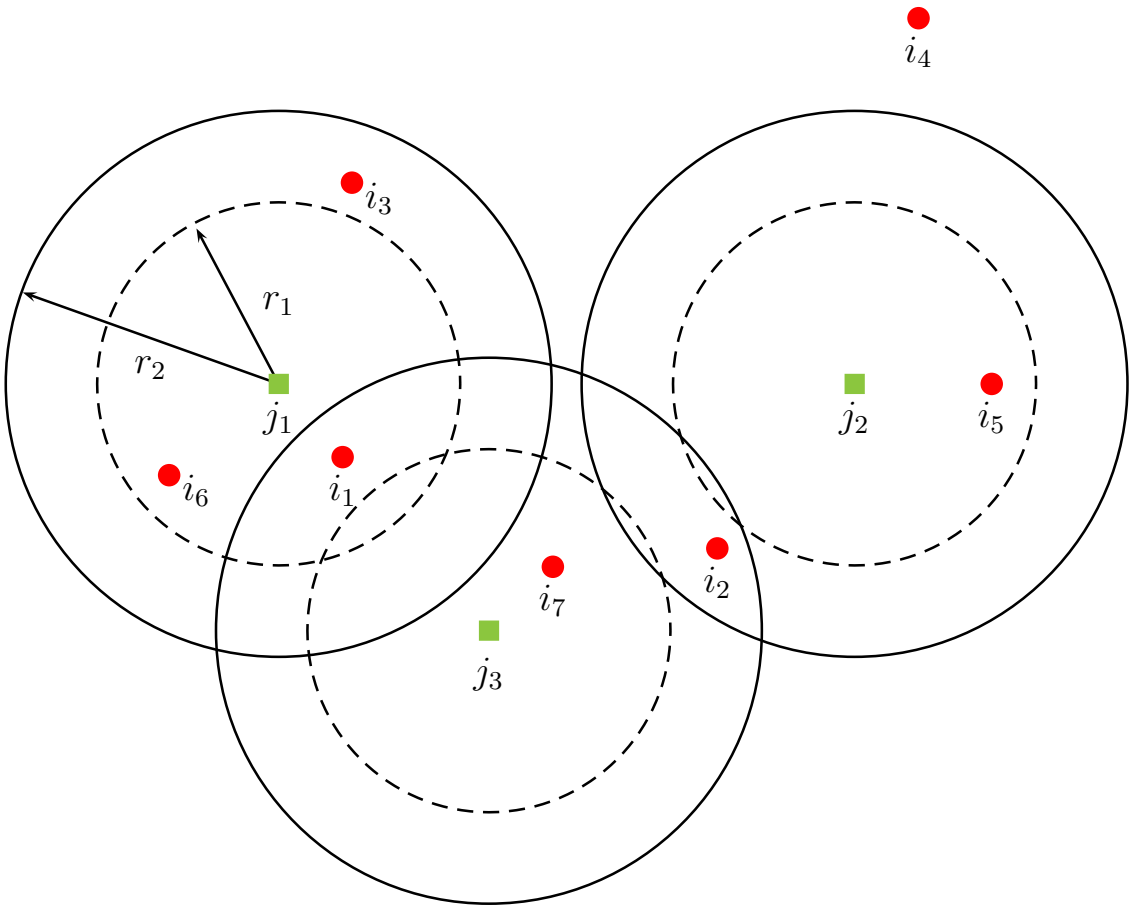
r_2 = Hilfsfrist 2

● i = potenzieller Einsatzort $i \in \mathcal{I}$

■ j = potenzieller RTW Standort $j \in \mathcal{J}$

$$\mathcal{N}_i^\ell := \{j \in \mathcal{J} \mid d_{ij} \leq r^\ell\}$$

Abdeckung: zweifach



r_1 = Hilfsfrist 1

r_2 = Hilfsfrist 2

● i = potenzieller Einsatzort $i \in \mathcal{I}$

■ j = potenzieller RTW Standort $j \in \mathcal{J}$

$$\mathcal{N}_i^\ell := \{j \in \mathcal{J} \mid d_{ij} \leq r^\ell\}$$

Double Standard Model (DSM)

Gendreau, Laporte, Semet (1997), Weiterentwicklung: Schmid, Dörner (2010)

$\max$ Doppelte Abdeckung

s.d. Anforderungen an die Abdeckung

Definitionsbereich

Double Standard Model (DSM)

Gendreau, Laporte, Semet (1997), Weiterentwicklung: Schmid, Dörner (2010)

$$\max \quad \text{Doppelte Abdeckung}$$

$$\max \quad \sum_{i \in \mathcal{I}} d_i x_{i2}$$

$$\text{s.d.} \quad \text{Anforderungen an die Abdeckung}$$

$$\text{Definitionsbereich}$$

Double Standard Model (DSM)

Gendreau, Laporte, Semet (1997), Weiterentwicklung: Schmid, Dörner (2010)

$\max$ Doppelte Abdeckung

s.d. Anforderungen an die Abdeckung

$$\sum_{j \in \mathcal{N}_i^2} y_j \geq 1 \qquad \forall i \in \mathcal{I}$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} d_i x_{i1} \geq \alpha \sum_{i \in \mathcal{I}} d_i$$

$$\sum_{j \in \mathcal{N}_i^1} y_j \geq x_{i1} + x_{i2} \qquad \forall i \in \mathcal{I}$$

$$x_{i1} \geq x_{i2} \qquad \forall i \in \mathcal{I}$$

Definitionsbereich

Double Standard Model (DSM)

Gendreau, Laporte, Semet (1997), Weiterentwicklung: Schmid, Dörner (2010)

$\max$ Doppelte Abdeckung

s.d. Anforderungen an die Abdeckung

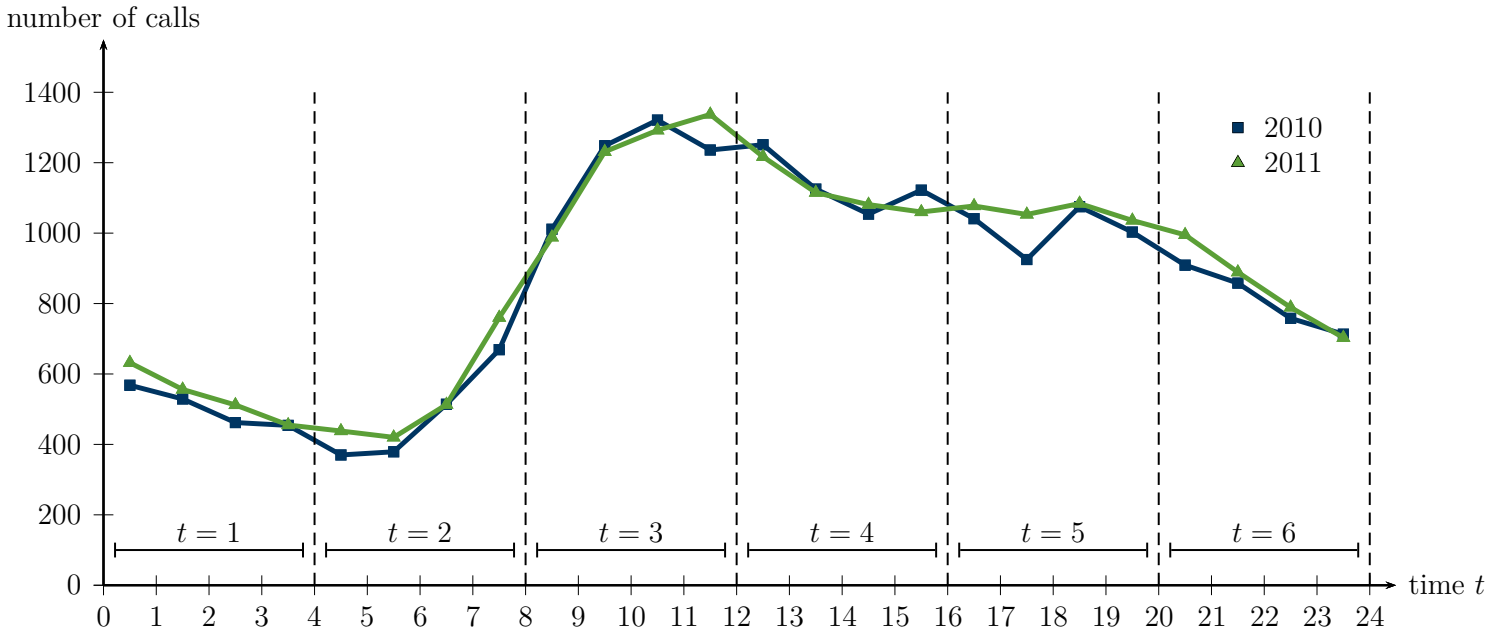
Definitionsbereich

$x_{ik} \in \{0, 1\}$ $\forall i \in \mathcal{I}, k = 1, 2$

$y_j \in \mathbb{N}_0$ $\forall j \in \mathcal{J}$

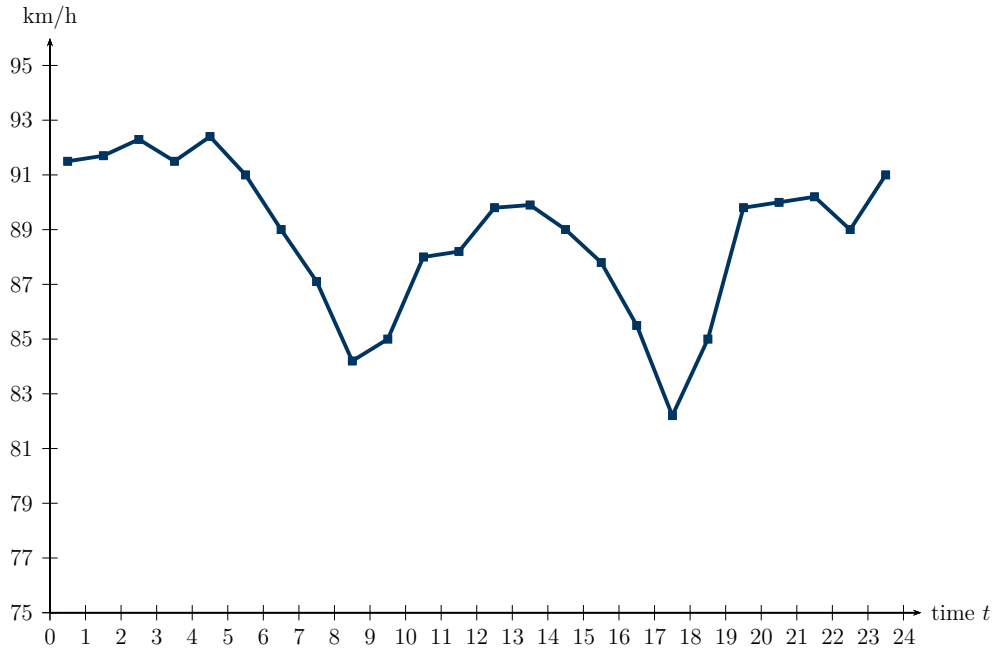
Zeitabhängige Betrachtung

Tageszeitabhängige Parameter: Nachfrage



Zeitabhängige Betrachtung

Tageszeitabhängige Parameter: Geschwindigkeit



- Tageszeitabhängige Geschwindigkeit auf der (Stadt-) Autobahn am Beispiel von Wien
- Quelle: Kritzinger et al. (2011), S. 71

$\Longrightarrow$ Dynamische Betrachtung erforderlich

Literatur: zweifache Abdeckung

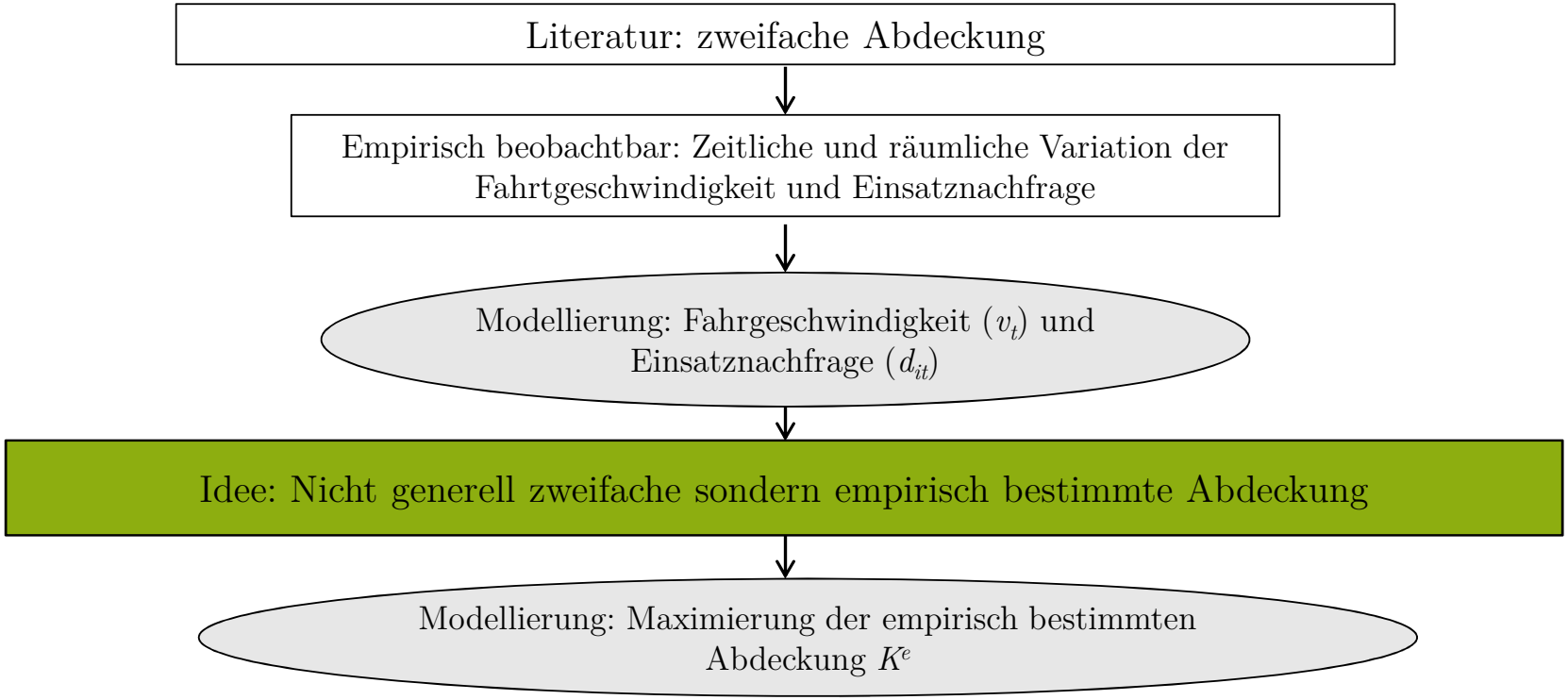
Literatur: zweifache Abdeckung

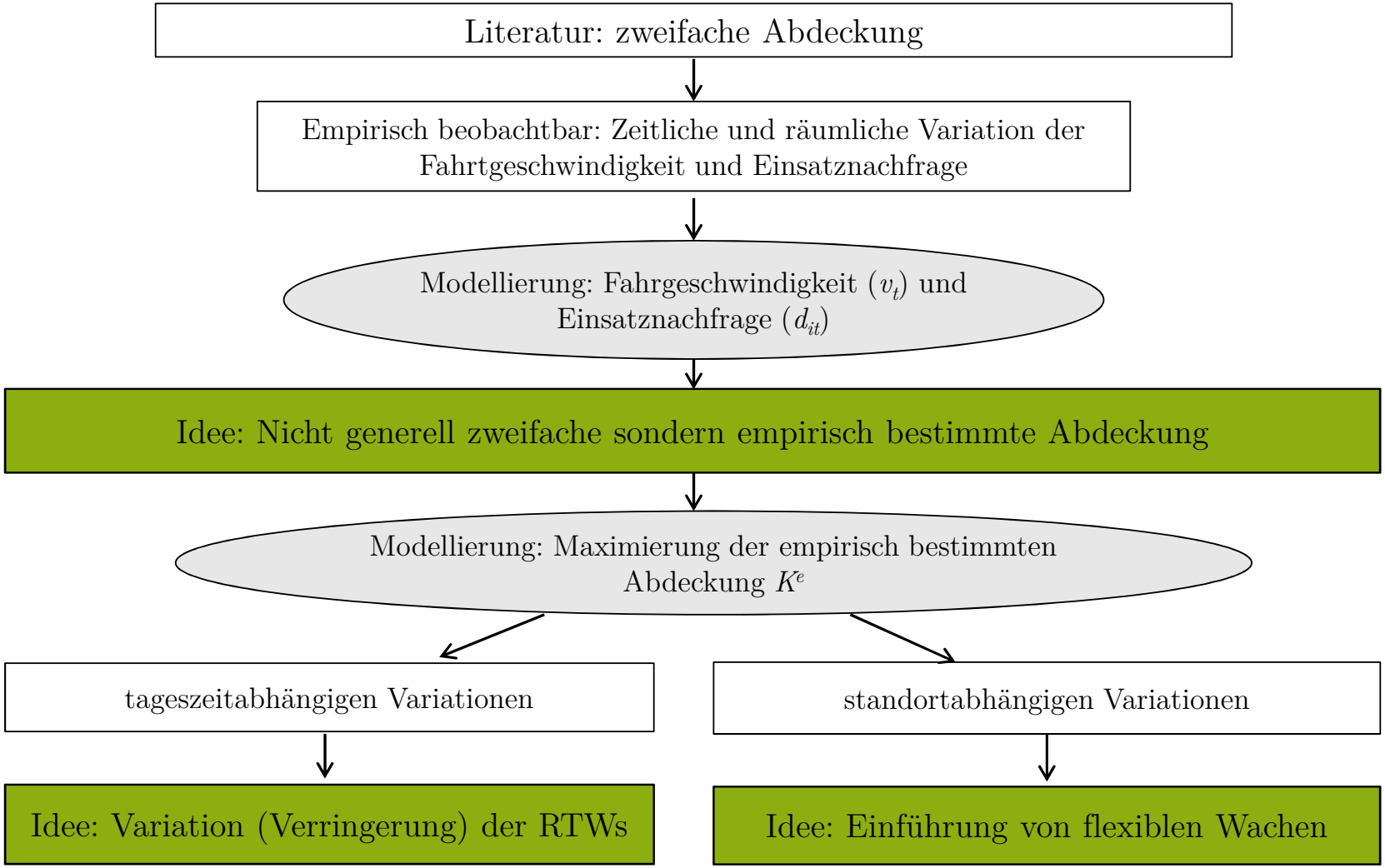
↓

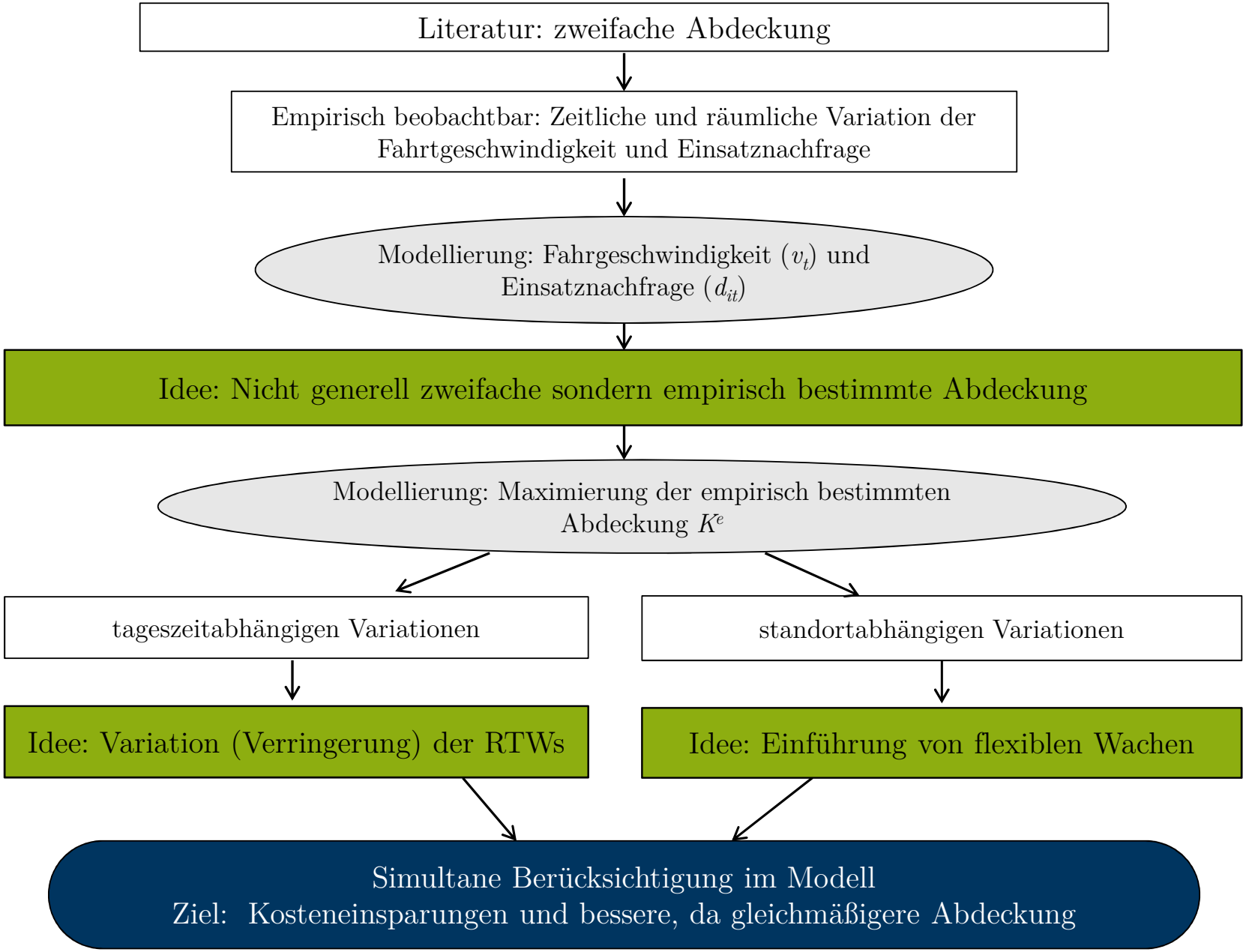
Empirisch beobachtbar: Zeitliche und räumliche Variation der Fahrtgeschwindigkeit und Einsatznachfrage

↓

Modellierung: Fahrgeschwindigkeit (v_t) und Einsatznachfrage (d_{it})


Literatur: zweifache Abdeckung
Empirisch beobachtbar: Zeitliche und räumliche Variation der Fahrtgeschwindigkeit und Einsatznachfrage
Modellierung: Fahrgeschwindigkeit (v_t) und Einsatznachfrage (d_{it})
Idee: Nicht generell zweifache sondern empirisch bestimmte Abdeckung
Modellierung: Maximierung der empirisch bestimmten Abdeckung K^e


Literatur: zweifache Abdeckung
Empirisch beobachtbar: Zeitliche und räumliche Variation der Fahrtgeschwindigkeit und Einsatznachfrage
Modellierung: Fahrgeschwindigkeit (v_t) und Einsatznachfrage (d_{it})
Idee: Nicht generell zweifache sondern empirisch bestimmte Abdeckung
Modellierung: Maximierung der empirisch bestimmten Abdeckung K^e
tageszeitabhängigen Variationen
standortabhängigen Variationen
Idee: Variation (Verringerung) der RTWs
Idee: Einführung von flexiblen Wachen


Literatur: zweifache Abdeckung
Empirisch beobachtbar: Zeitliche und räumliche Variation der Fahrtgeschwindigkeit und Einsatznachfrage
Modellierung: Fahrgeschwindigkeit (v_t) und Einsatznachfrage (d_{it})
Idee: Nicht generell zweifache sondern empirisch bestimmte Abdeckung
Modellierung: Maximierung der empirisch bestimmten Abdeckung K^e
tageszeitabhängigen Variationen
standortabhängigen Variationen
Idee: Variation (Verringerung) der RTWs
Idee: Einführung von flexiblen Wachen
Simultane Berücksichtigung im Modell
Ziel: Kosteneinsparungen und bessere, da gleichmäßigere Abdeckung

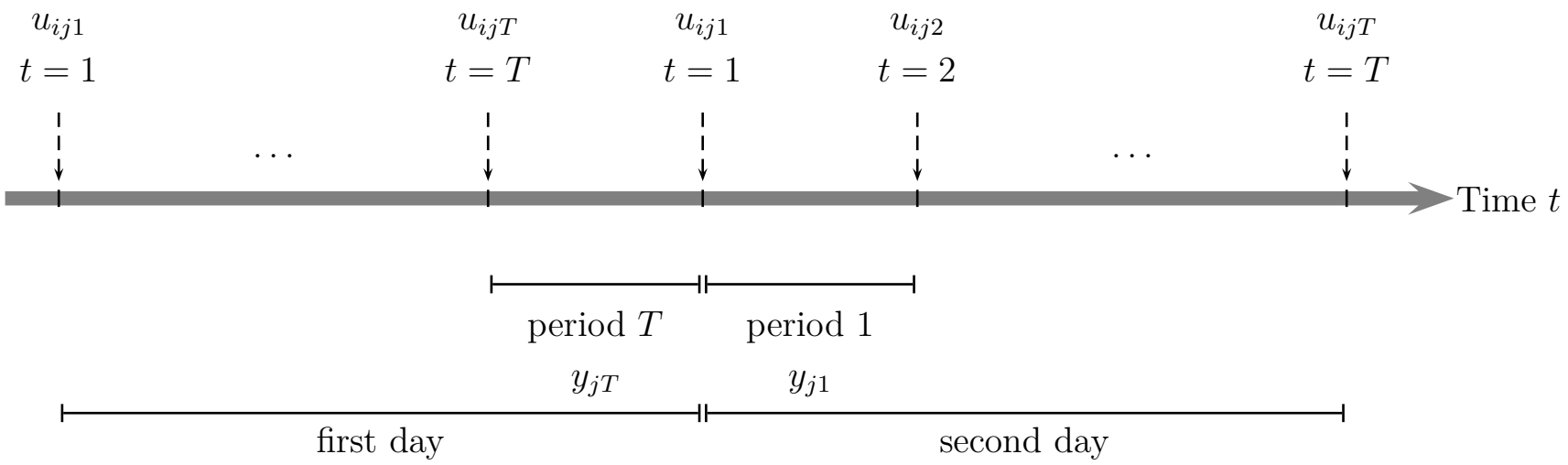
Modellerweiterungen

Flussbedingung von Fahrzeugen von „festen“, „flexiblen“ Standorten und Depot

$$y_{Dt} = p - p_t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$y_{jt} + \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ij(t+1)} - \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ji(t+1)} = y_{j(t+1)} \qquad \forall j \in \mathcal{J} \cup \{D\}, \forall t \in \mathcal{T} \setminus \{T\}$$

$$y_{jT} + \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ij1} - \sum_{i \in \mathcal{J} \cup \{D\}} u_{ji1} = y_{j1} \qquad \forall j \in \mathcal{J} \cup \{D\}$$



Modellerweiterungen – Zielsetzungen

Maximiere die empirisch benötigte Abdeckung

$$\max \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{i \in \mathcal{I}} d_{it} x_{it}^{\mathrm{e}}$$

$$x_{it}^{\mathrm{e}(it)}$$

t=1		t=2	
(5,7)	(3,4)	(7,7)	(5,4)
$(d_{\mathrm{it}}^{\mathrm{notwendig}},\ d_{\mathrm{it}}^{\mathrm{ist}})$			

Empirisch notwendige Abdeckung abhängig von Periode t und Nachfrage Knoten i

Modellerweiterungen – Zielsetzungen

Maximiere die empirisch benötigte Abdeckung

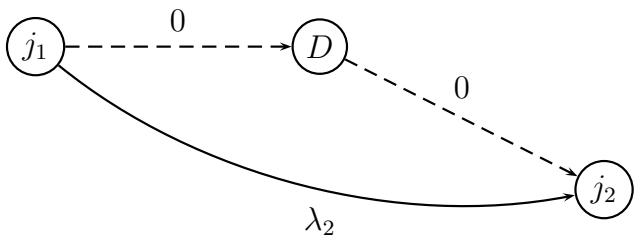
$$\max \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{i \in \mathcal{I}} d_{it} x_{it}^{\mathrm{e}}$$

t=1	t=2
(5,7) (3,4)	(7,7) (5,4)

$(d_{\mathrm{it}}^{\mathrm{notwendig}},\ d_{\mathrm{it}}^{\mathrm{ist}})$

Minimiere die Umplatzierungen

$$\min \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{i \in \mathcal{J}} \sum_{j \in \mathcal{J}} u_{ijt}$$



Modellerweiterungen – Zielsetzungen

Maximiere die empirisch benötigte Abdeckung

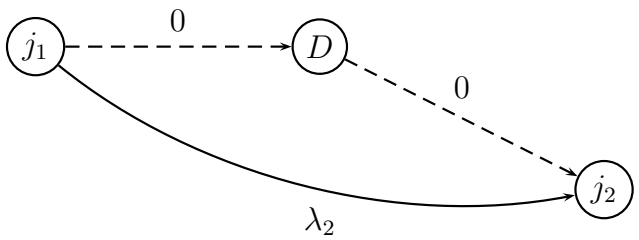
$$\max \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{i \in \mathcal{I}} d_{it} x^{\mathrm{e}}_{it}$$

t=1		t=2	
(5,7)	(3,4)	(7,7)	(5,4)

$(d_{\mathrm{it}}^{\mathrm{notwendig}},\ d_{\mathrm{it}}^{\mathrm{ist}})$

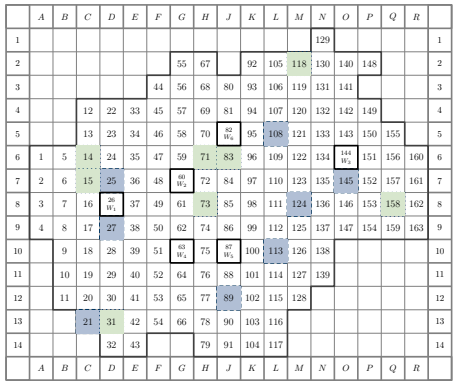
Minimiere die Umplatzierungen

$$\min \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{i \in \mathcal{J}} \sum_{j \in \mathcal{J}} u_{ijt}$$

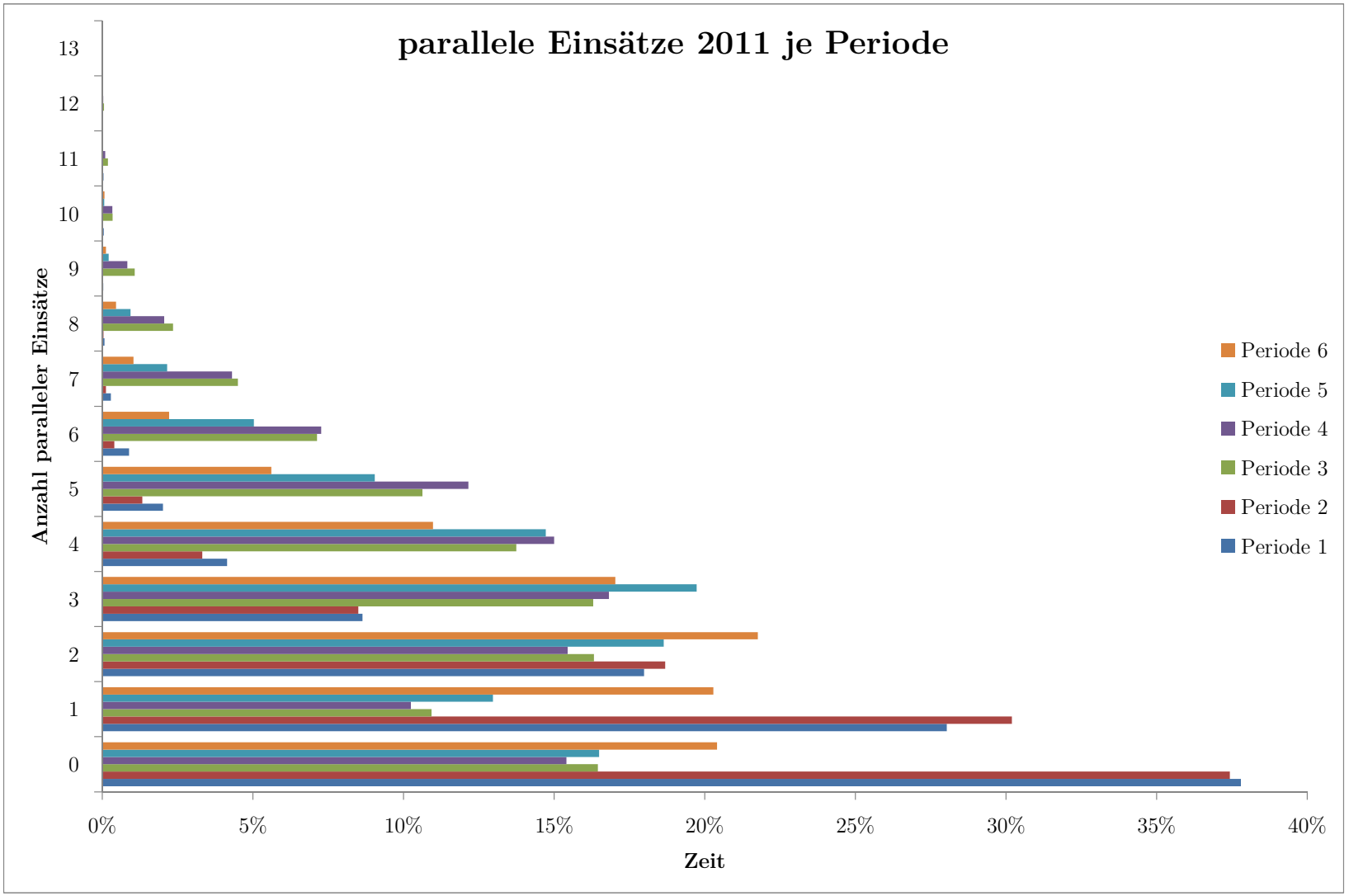


Minimiere die Nutzung flexibler Standorte

$$\min \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{j \in \mathcal{F}} y_{jt}$$



Empirisch notwendige Abdeckung



Entscheidungsunterstützungs-Tool

Entscheidungsunterstützung

Optimierung	Simulation	Prognose
Standort- und Ressourcenplanung	Erreichungsgrade, Auslastung	Trends, Entwicklung
Empirischer Abdeckungsbedarf	Evaluationen	Bevölkerung, Experten

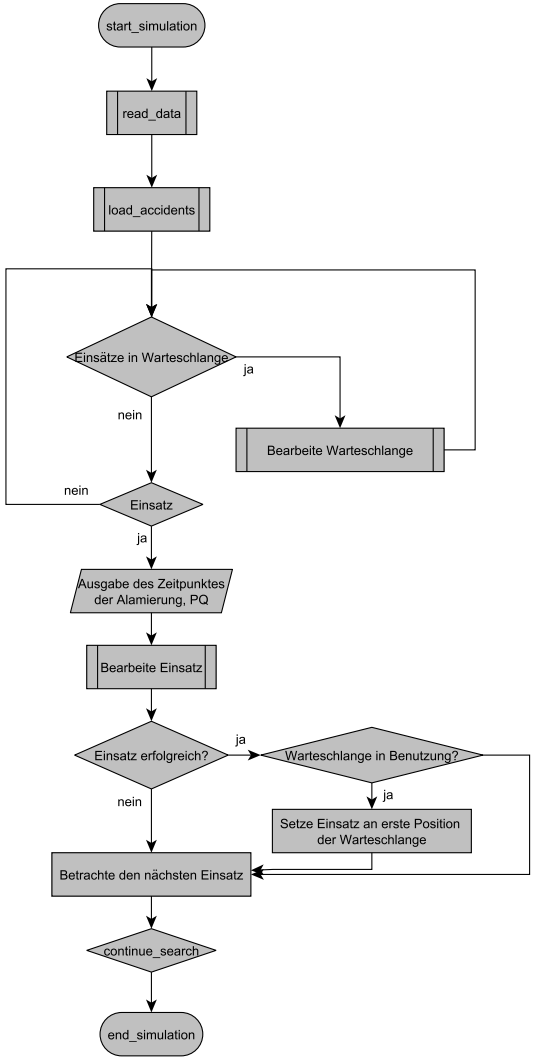
Simulation

Ziel:

- Evaluation des Optimierungsmodells
- Evaluation vorgegebener Lösungen
- What-if-Analysen

To-Do:

Geeignete stochastische Erzeugung von Nachfrage



Simulation

Input:

- Optimale Lösung, selbst gewählte Lösung z. B. „status quo" (Anzahl und Position von Rettungswachen/RTWs)
- (Zeitabhängige) Parameter (Geschwindigkeit, Bereichsfolge . . .)
- Einsatzdaten (historische, prognostizierte)

Output:

- Erreichungsgrade
- Auslastung
- . . .

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1													---					1
2							---	58%		---	52%	66%	74%	70%	0%			2
3						0%	82%	85%	84%	83%	78%	85%	98%	---				3
4			67%	80%	67%	89%	95%	92%	86%	58%	92%	92%	96%	---	100%			4
5			91%	100%	65%	94%	94%	97%	79%	92%	93%	90%	98%	82%	98%	82%		5
6	90%	95%	95%	95%	89%	55%	96%	94%	94%	87%	77%	---	95%	95%	98%	96%	60%	6
7	88%	97%	94%	96%	86%	97%	98%	95%	96%	96%	83%	95%	97%	93%	92%	94%	100%	7
8	95%	90%	98%	95%	98%	100%	96%	97%	96%	92%	94%	94%	92%	93%	94%	77%	100%	8
9	---	100%	93%	98%	91%	91%	96%	98%	97%	92%	75%	75%	75%	92%	77%	75%	100%	9
10		100%	94%	86%	90%	93%	96%	99%	98%	91%	73%	69%	67%					10
11		0%	85%	76%	88%	94%	90%	94%	98%	80%	76%	47%	43%					11
12		22%	42%	57%	74%	73%	70%	84%	75%	80%	71%	26%						12
13			39%	54%	70%	36%	67%	33%	64%	56%	15%							13
14				41%	75%			---	100%	60%	---							14
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	

Erreichungsgrad: 0 % bis unter 80 % | 80 % bis unter 90 % | 90 % bis 100 % | --- nicht auswertbar

Entscheidungsunterstützungs-Tool (TO DO)

Entscheidungsunterstützung

Optimierung	Simulation	Prognose
Standort- und Ressourcenplanung	Erreichungsgrade, Auslastung	Trends, Entwicklung
Empirischer Abdeckungsbedarf	Evaluationen	Bevölkerung, Experten

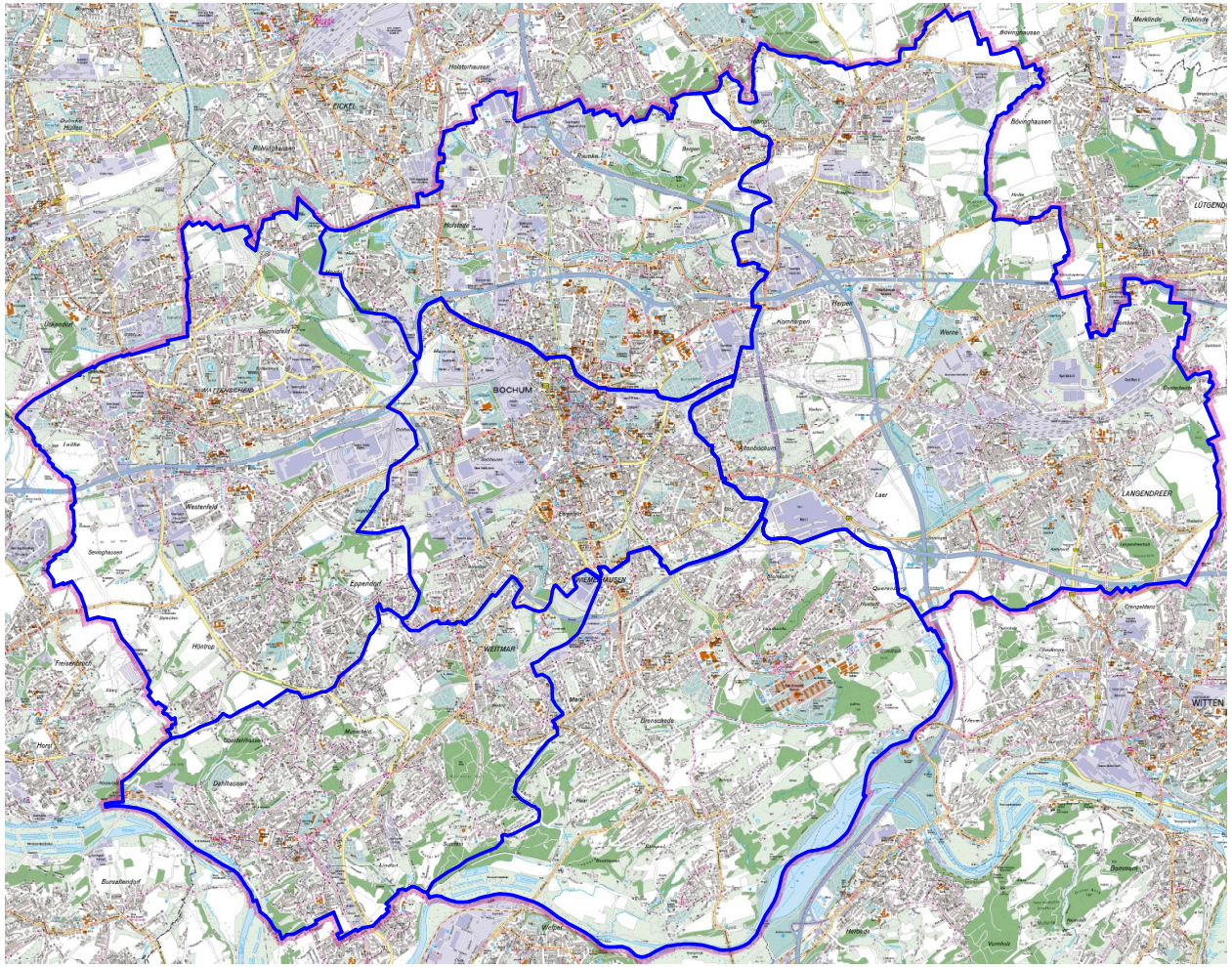
Bochum (NRW)

Koordinaten

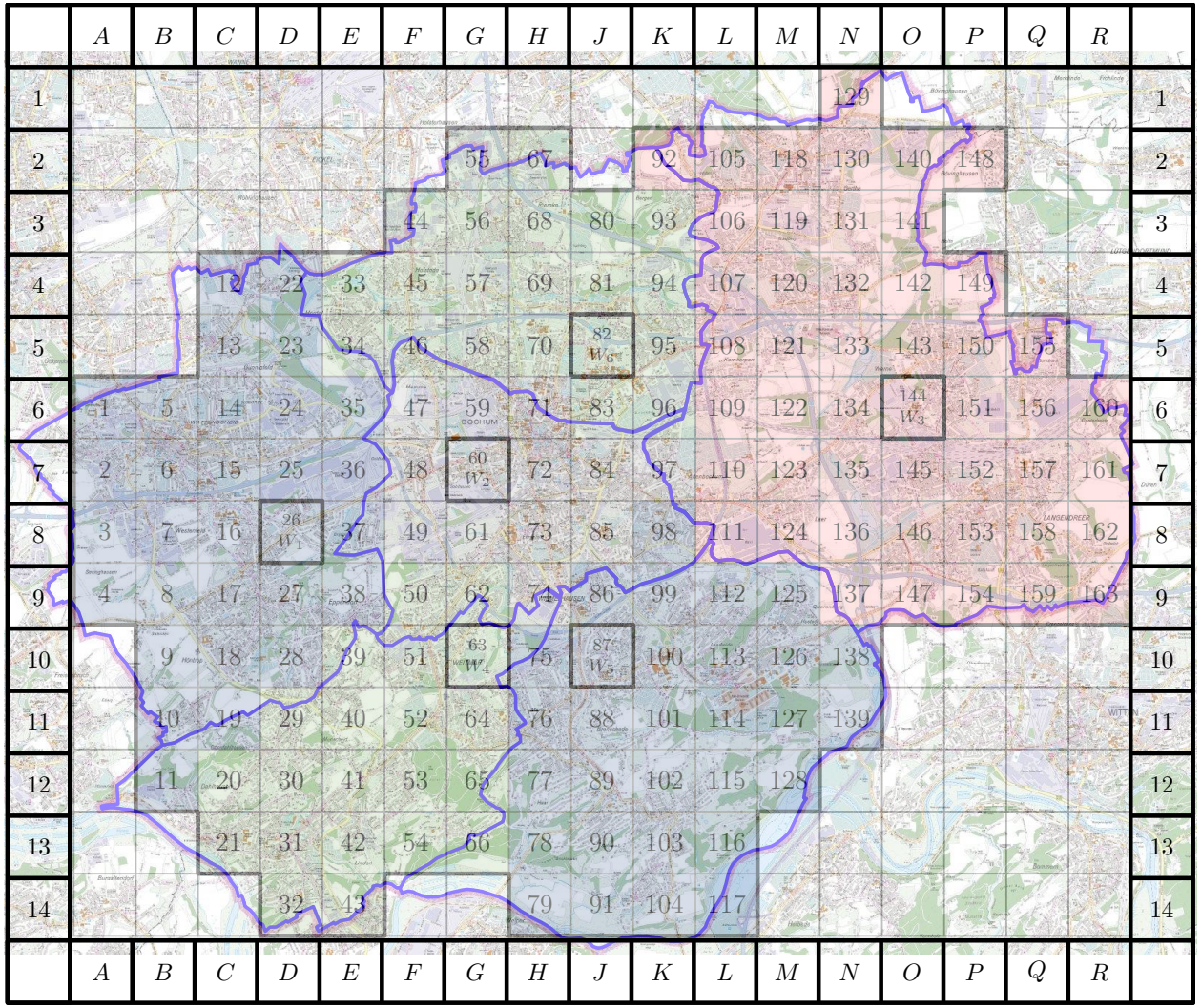
$51^\circ\, 28'\, 55''N \quad 7^\circ\, 12'\, 57''E$

- Fläche: 145.4 km^2
- Bevölkerung: ca. 375,000
- Bevölkerungsdichte 2,577$/km^2$
- 16te größte Stadt in Deutschland
- Einsätze pro Jahr: ca. 21.000 RTW-Fahrten
- Einsätze pro 1000 Einwohner pro Jahr: ca. 56
- 14 RTWs

Stadtgebiet Bochum


BOCHUM
WITTEN
LANGENDREER
WEITMAR
Eppendorf
Westenfeld
Dahlhausen
Bureaitendorf
Hordel
Laer
Querenburg
Grumme
Wiemelhausen
Stiepel
Gerthe
Bövinghausen
Werne
Hiltrop
Seelenhausen
Freisenbruch
Holsterhausen
Riemke
Bommern
Vorrhoh
Hettlingen
Wiesche
Mark
Grenzscheide
Meisterfeld
Gerthe
Hofstede
Ostenfeld
Gerthe
Menkinde
Frohlinde
Bövinghausen
Hofe
Hofe
Hofe

Stadtgebiet Bochum



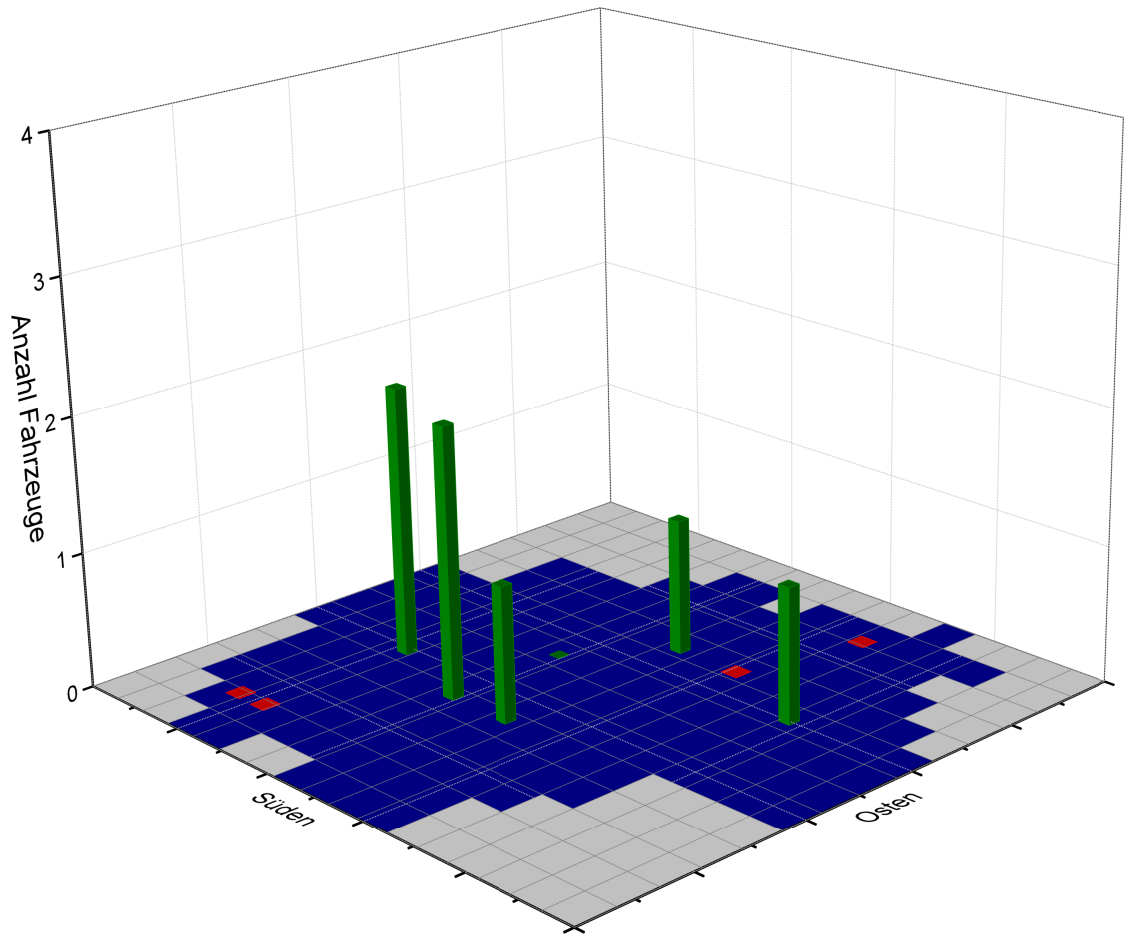
Stadtgebiet Bochum

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1													129					1
2							55	67		92	105	118	130	140	148			2
3						44	56	68	80	93	106	119	131	141				3
4			12	22	33	45	57	69	81	94	107	120	132	142	149			4
5			13	23	34	46	58	70	82 W_6	95	108	121	133	143	150	155		5
6	1	5	14	24	35	47	59	71	83	96	109	122	134	144 W_3	151	156	160	6
7	2	6	15	25	36	48	60 W_2	72	84	97	110	123	135	145	152	157	161	7
8	3	7	16	24 W_1	37	49	61	73	85	98	111	124	136	146	153	158	162	8
9	4	8	17	27	38	50	62	74	86	99	112	125	137	147	154	159	163	9
10		9	18	28	39	51	63 W_4	75	87 W_5	100	113	126	138					10
11		10	19	29	40	52	64	76	88	101	114	127	139					11
12		11	20	30	41	53	65	77	89	102	115	128						12
13			21	31	42	54	66	78	90	103	116							13
14				32	43			79	91	104	117							14
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	

Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte und Umplatzierungen

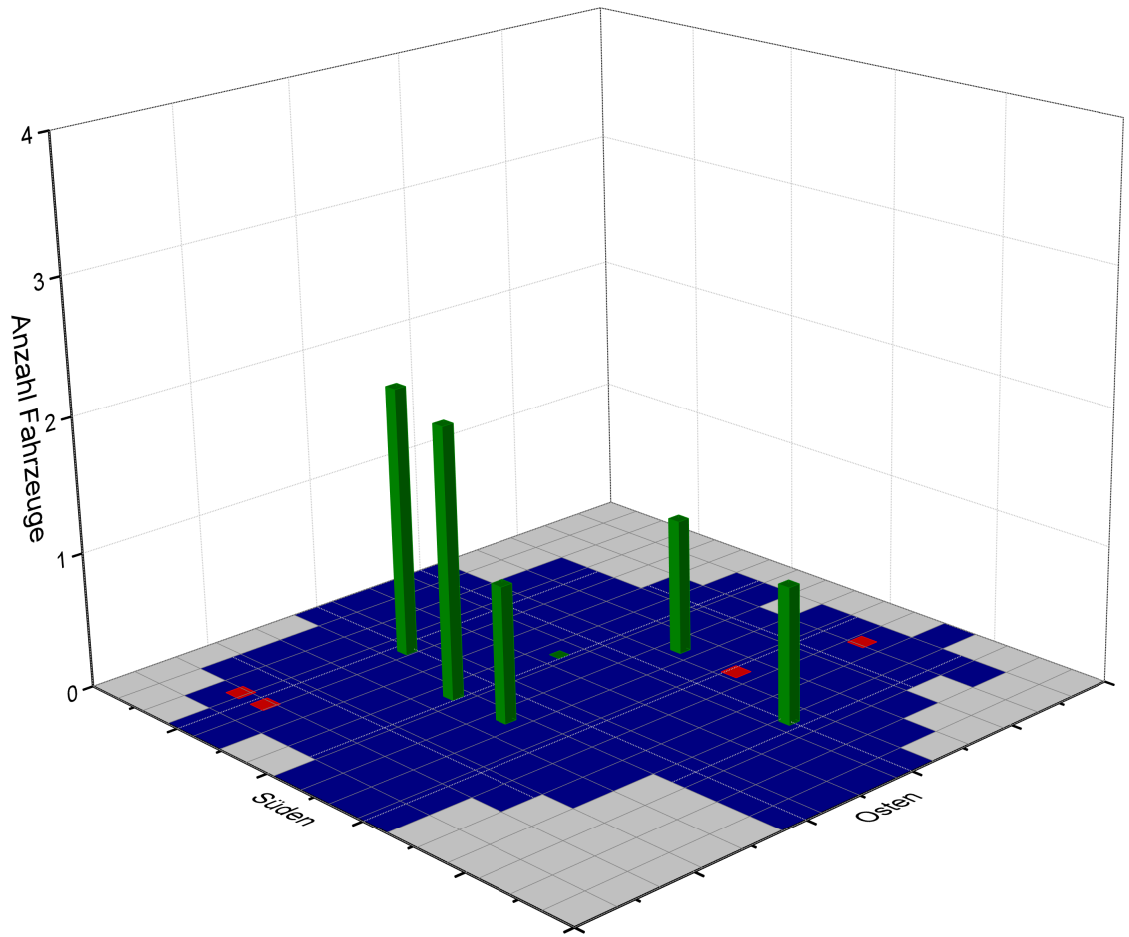
Periode $t = 1$, Anzahl Fahrzeuge 7



Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte und Umplatzierungen

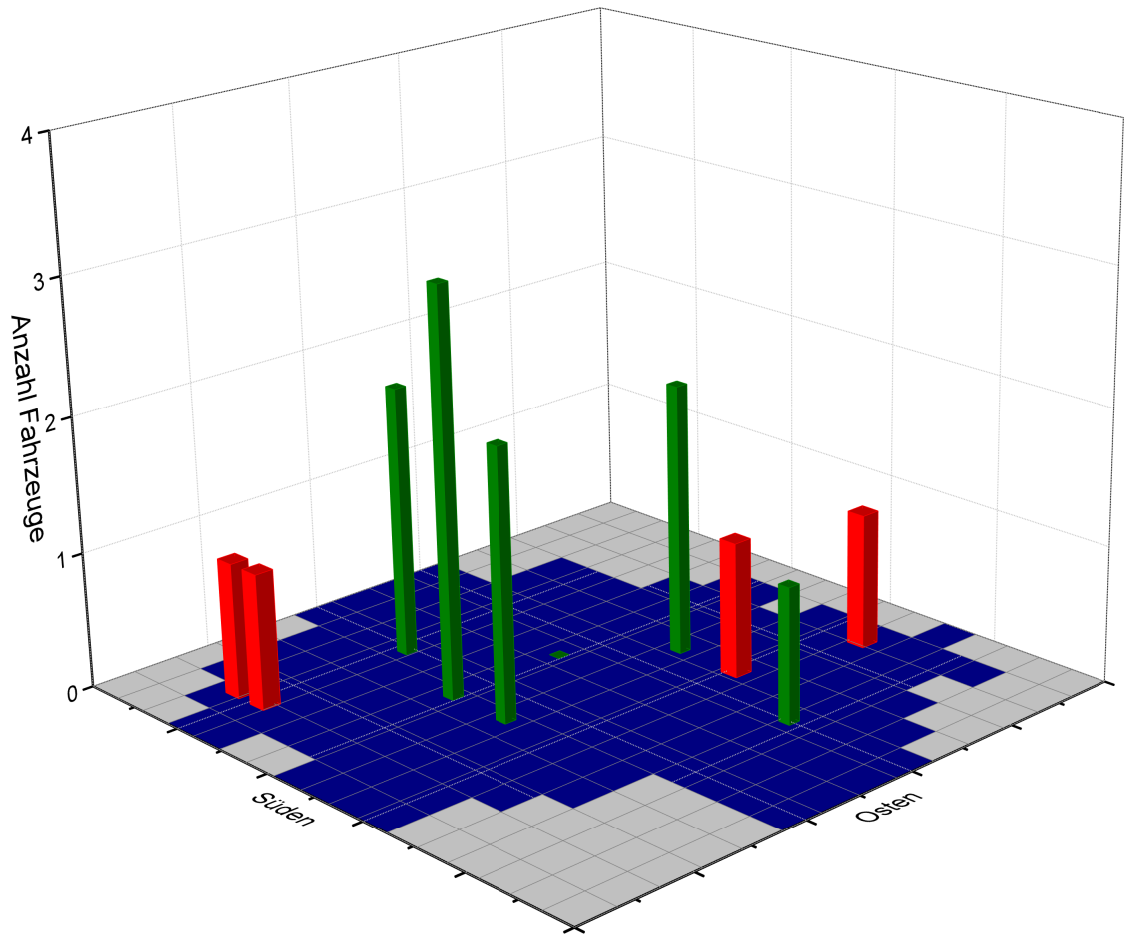
Periode $t = 2$, Anzahl Fahrzeuge 7



Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte und Umplatzierungen

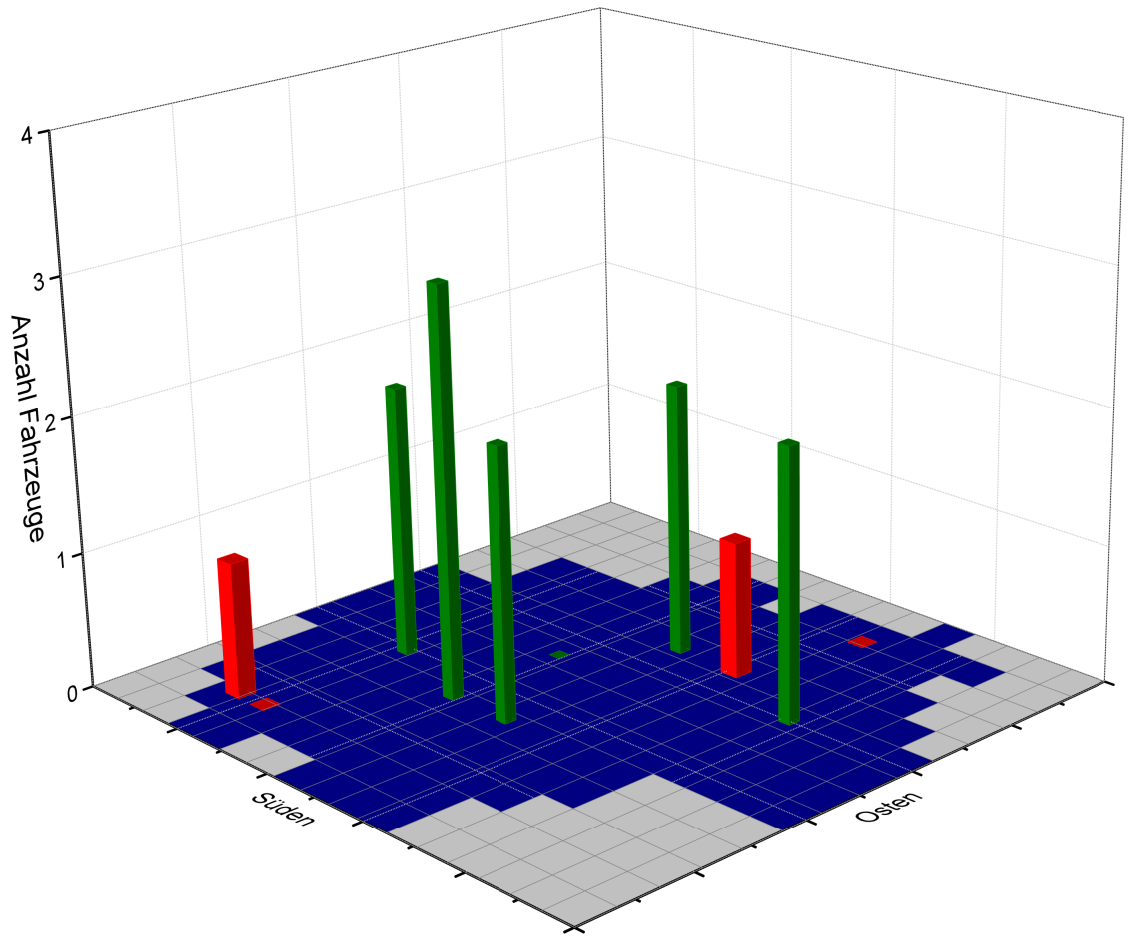
Periode $t = 3$, Anzahl Fahrzeuge 14



Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte und Umplatzierungen

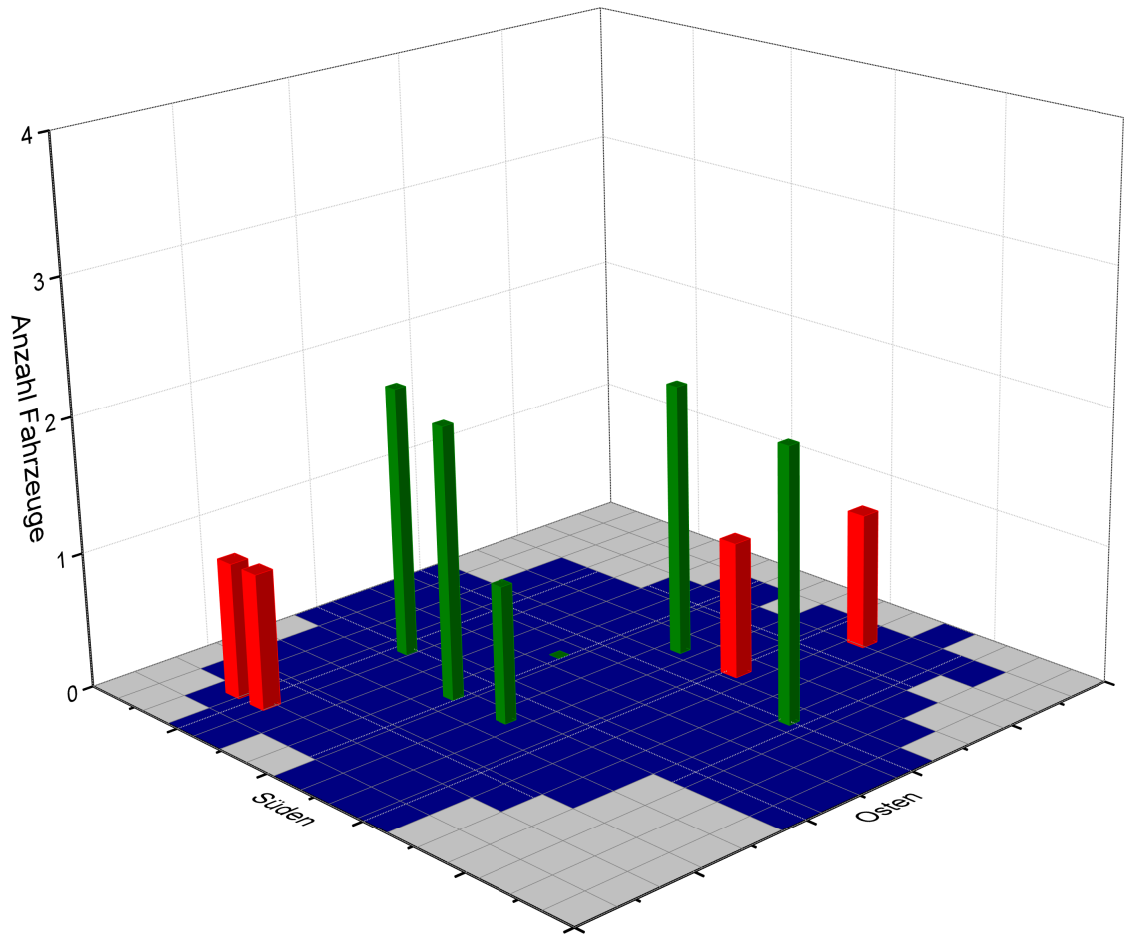
Periode $t = 4$, Anzahl Fahrzeuge 13



Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte und Umplatzierungen

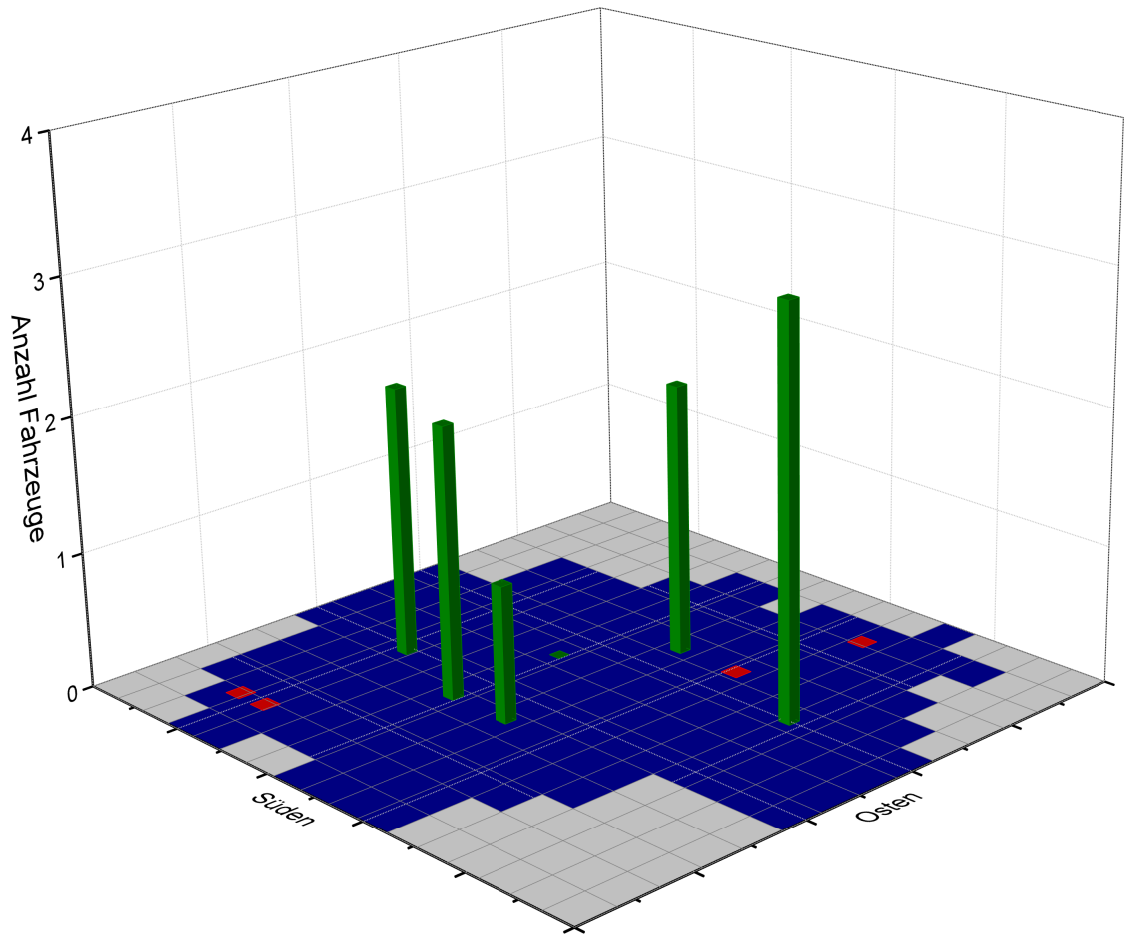
Periode $t = 5$, Anzahl Fahrzeuge 13



Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte und Umplatzierungen

Periode $t = 6$, Anzahl Fahrzeuge 10



Modellergebnisse

Nutzung flexibler Standorte, Abdeckungsvergleich (Periode $t = 3$)

tatsächliche Abdeckungshäufigkeit ohne flexible Wachen

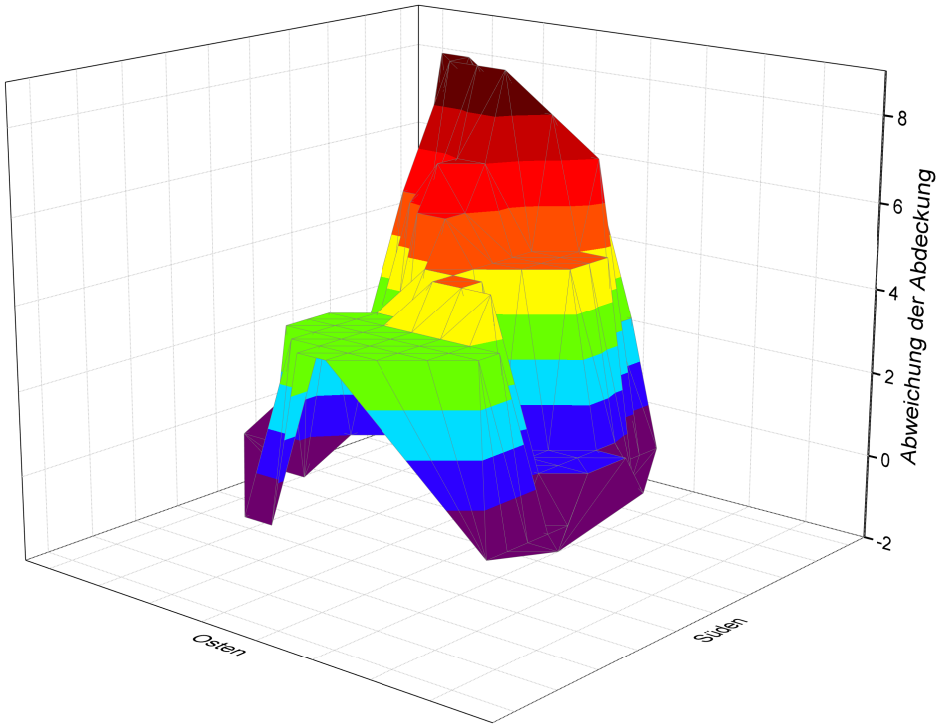
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1													0					1
2							0	1		1	0	0	0	0	0			2
3						0	1	1	1	1	1	0	4	4				3
4			0	0	0	5	5	5	1	1	1	5	4	4	4			4
5			3	3	7	5	5	5	5	1	5	5	4	4	4	4		5
6	0	3	3	7	7	8	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	6
7	3	3	3	7	7	8	9	7	6	6	5	4	4	4	4	4	4	7
8	3	3	3	7	8	8	9	7	7	6	1	4	4	4	4	4	0	8
9	3	3	3	4	8	9	9	6	6	2	1	1	4	4	4	0	0	9
10		3	3	4	4	9	6	6	2	2	1	1	0					10
11		0	3	4	4	2	2	2	2	2	1	1	0					11
12		0	0	0	1	1	2	2	2	1	1	0						12
13			0	0	0	1	1	2	1	1	0							13
14				0	0			0	0	0	0							14
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	

tatsächliche Abdeckungshäufigkeit mit flexiblen Wachen

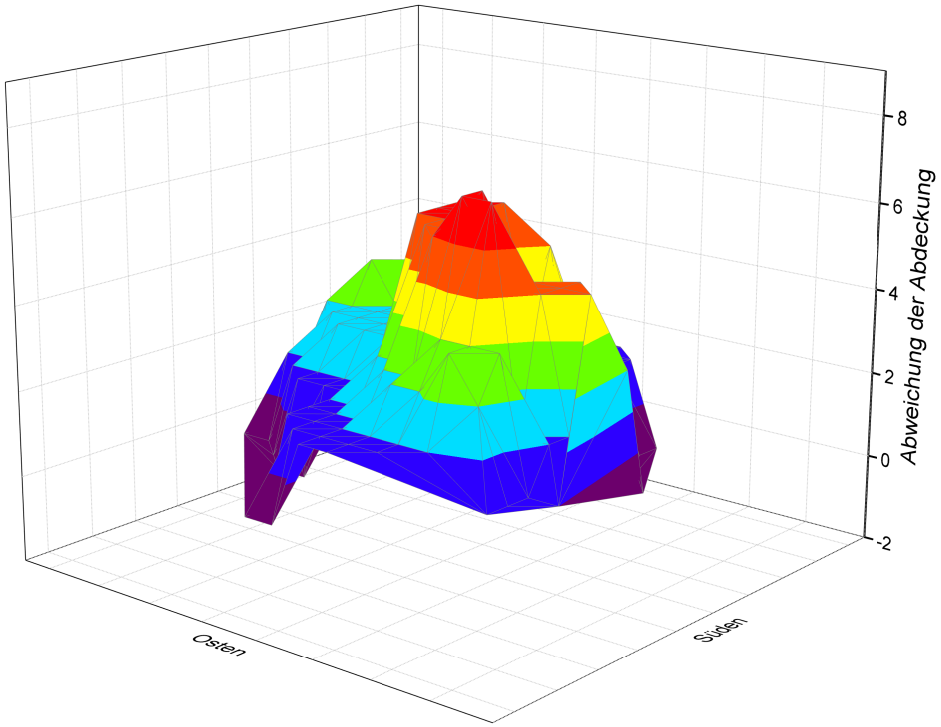
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1													1					1
2							0	3		5	2	2	1	1	1			2
3						0	3	3	5	5	5	2	4	3				3
4			0	0	0	3	3	4	4	5	5	7	4	4	2			4
5			2	2	2	3	3	4	4	4	7	7	4	3	2	2		5
6	0	2	2	2	2	5	3	4	4	4	6	6	3	3	2	2	2	6
7	2	2	2	2	2	3	6	6	6	6	6	3	3	2	2	2	2	7
8	2	2	2	2	3	3	5	6	6	6	3	3	2	2	2	2	0	8
9	2	2	2	3	3	5	5	3	3	3	2	2	2	2	2	0	0	9
10		3	4	5	4	5	3	3	3	3	2	2	0					10
11		2	4	5	5	4	3	3	3	3	2	2	0					11
12		2	2	2	3	3	4	3	3	2	2	0						12
13			2	2	2	3	2	3	2	2	0							13
14				2	2			0	0	0	0							14
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	

Vergleich der Abdeckungshäufigkeit

Tatsächliche Abdeckung (Periode $t = 3$)



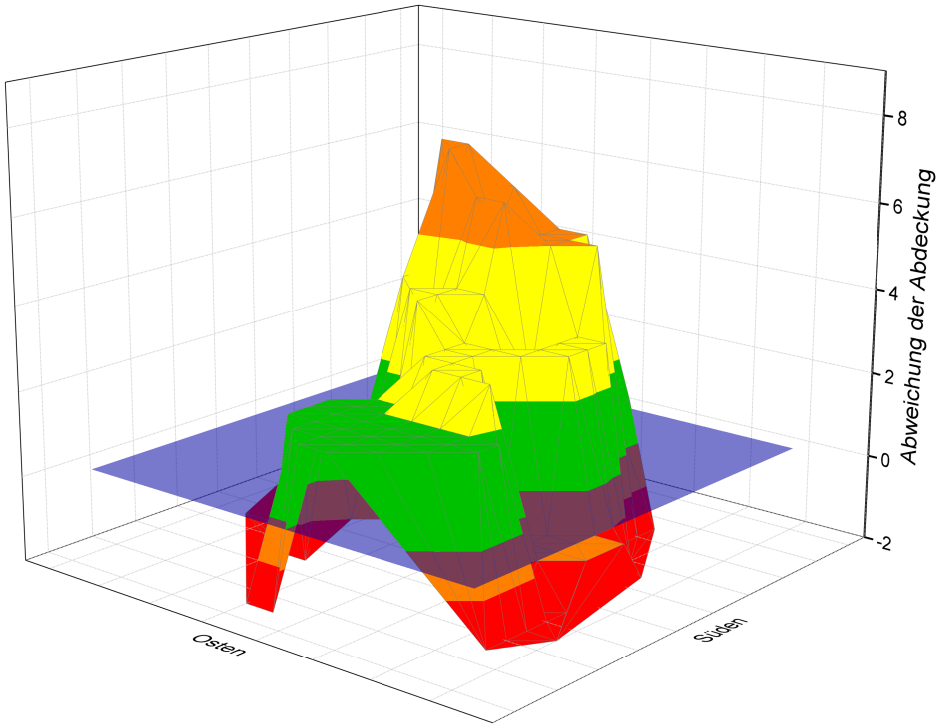
Aktuelle Zuordnung



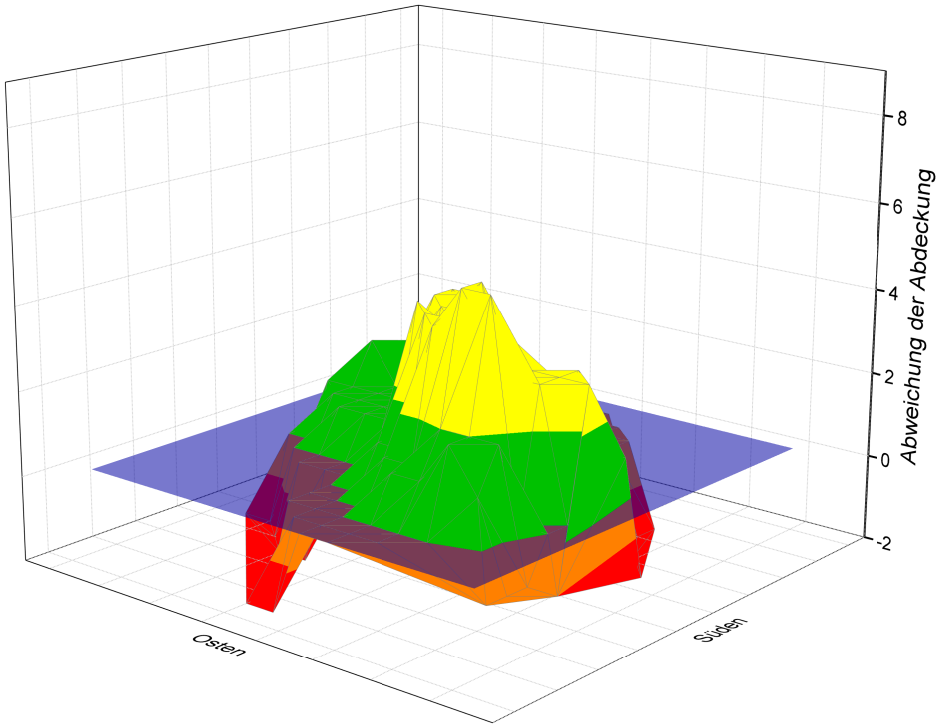
Zuordnung Optimierungsmodell

Vergleich der Abdeckungshäufigkeit

Differenz zur empirisch benötigten Abdeckung (Periode $t = 3$)



Aktuelle Zuordnung



Zuordnung Optimierungsmodell

Fazit und Ausblick

- Qualitätssteigerung:
  - Berücksichtigung von flexiblen Wachen empfehlenswert
  - Abdeckung des Stadtgebiets entspricht besser den Anforderungen
- Wirtschaftlichkeit: Veränderung der Fahrzeuganzahl bei geringerer Einsatznachfrage
  - Gleiche Qualität bei Kosteneinsparung
  - Höhere Qualität bei gleichen Kosten
- Stärkere Integration der Unsicherheit (Nachfrage, Fahrtgeschwindigkeit $\rightarrow$ robuste Modelle)
- Detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Erweiterung des Einsatzspektrums

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Vielen Dank für die finanzielle Förderung durch

Stiftung Zukunft NRW

Ansprechpartner

Dipl.-Hdl. Dirk Degel, Lara Wiesche, M.Sc.
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre,
insbes. Unternehmensforschung und Rechnungswesen,

Fakultät für Wirtschaftswissenschaft
Ruhr-Universität Bochum
44780 Bochum

Gebäude GC | Ebene 1 | Raum 54
Telefon: 0234 / 32 - 24101

E-Mail: dirk.degel@rub.de und lara.wiesche@rub.de