

OPTIMALE VERSORGUNGSQUALITÄT IM RETTUNGSWESEN

ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG MITTELS SPR²



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Prof. Dr. Brigitte Werners
Dipl.-Hdl. Dirk Degel
Dipl.-Ök. Pascal Lutter
Dr. Sebastian Rachuba
Lara Wiesche, M.Sc.

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre,
insbes. Unternehmensforschung und Rechnungswesen
Institut für Unternehmensführung
Fakultät für Wirtschaftswissenschaft
Universitätsstr. 150
44780 Bochum
or@rub.de

FEUERWEHR UND RETTUNGSDIENST DER STADT BOCHUM

Dr. Dirk Hagebölling
Simon Heußen*
Brandwacht 1
44894 Bochum

*Seit 01.02.2014 bei der Feuerwehr Gelsenkirchen

STIFTUNG ZUKUNFT NRW

Herzogstr. 15
40217 Düsseldorf

© 2014 Bochum

Alle Rechte sind ausdrücklich vorbehalten, einschließlich der Rechte auf Vervielfältigung, Reproduktion, Übersetzung, Mikroverfilmung, Speicherung auf elektronischen Medien und Verarbeitung in elektronischer Form.

Kein Teil des vorliegenden Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung der Verfasser in irgendeiner oben genannten Form verbreitet werden.

Bildmaterial Titelseite oben und links unten: Presseamt der Stadt Bochum

VORWORT

Das Rettungswesen ist ein wichtiger Bestandteil der öffentlichen Versorgung, die für die Bevölkerung durch den Staat bzw. durch die Kommunen bereitgestellt wird. Ein bedeutender Aspekt des Rettungswesens ist die medizinische Erstversorgung von Patienten bei Notfalleinsätzen, die durch kommunale Rettungsdienste durchgeführt wird. In Deutschland gehören zu den Aufgaben des Rettungsdienstes die Notfallrettung und der Krankentransport. Während Krankentransporte als nicht zeitkritisch und als mit hoher Sicherheit planbar angesehen werden, erschweren Unsicherheit und Komplexität der zeitkritischen Notfallrettung eine bedarfsge-rechte Planung.

Aufgrund der Knappheit der Mittel ist es gerade im Rettungswesen von besonderer Bedeutung, verfügbare Mittel möglichst effizient einzusetzen, wobei innovative Ansätze unterstützen. Dies ist der Ansatzpunkt des von der Stiftung Zukunft NRW geförderten Projektes, mit dem eine Optimierung der Versorgungsqualität im Rettungswesen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gegebenheiten erreicht werden soll. Dazu wurde das prototypisch verfügbare Entscheidungsunterstützungssystem **SPR²** entwickelt, mit dessen Unterstützung Standorte und Zuteilungen von Rettungsmitteln unter Einsatz innovativer mathematischer Optimierungsansätze optimal im zeitlichen Verlauf ermittelt werden. Die vorhandene Infrastruktur des Rettungswesens einer Stadt wird berücksichtigt, in dem feste oder flexible Standorte vorgegeben werden können. Vergleiche unterschiedlicher Vorschläge lassen sich mittels der enthaltenen Simulationskomponente detailliert evaluieren, zukünftige Entwicklungen über die Prognosekomponente erfassen.

Wirkungsweise, Einsatzmöglichkeiten und Ergebnisse von **SPR²** werden in dieser Schrift am Beispiel der Stadt Bochum präsentiert. Die Allgemeingültigkeit der enthaltenen mathematischen Methoden und die Entwicklung geeigneter Eingabekomponenten erlauben die Anpassung an die Gegebenheiten anderer Städte und damit einen breiten Einsatz des Tools. Dieses Tool unterstützt die Planung des aktuellen Rettungsmiteleinsatzes. Darüber hinaus können zukünftige Bedarfsentwicklungen oder Budgetänderungen in ihren Konsequenzen auf den Erreichungsgrad hervorragend analysiert und aufgezeigt werden.

Bochum, September 2014

Prof. Dr. Brigitte Werners

INHALT

1	OPTIMALE VERSORGUNGSQUALITÄT IM RETTUNGSWESEN	5
2	STRATEGISCHE RESSOURCEN IM RETTUNGSDIENST	6
3	ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGSTOOL	9
4	DATENANALYSE	10
	Grundlegende Strukturanalyse	10
	Einsatzdaten	11
	Datenstruktur	15
5	OPTIMIERUNG	15
	Quantitative Beurteilungskriterien	16
	Vereinfachtes Modell	17
	Ergebnisse der Optimierung am Beispiel Bochum	19
	Integration in SPR²	20
6	SIMULATION	21
	Verteilungsanpassungen	21
	Simulationsablauf	22
	Ergebnisse der Simulation am Beispiel Bochum	23
	Integration in SPR²	24
7	PROGNOSE	24
	Ergebnisse der Prognose am Beispiel Bochum	25
	Integration in SPR²	25
8	AUSBLICK UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	26
	LITERATURVERZEICHNIS	27
	DANKSAGUNG	29

1 OPTIMALE VERSOR- GUNGSQUALITÄT IM RETTUNGSWESEN

Die Qualität der kommunalen Notfallversorgung wird maßgeblich durch die zeitliche und räumliche Verfügbarkeit von Rettungsmitteln bestimmt. Die bedarfsgerechte Zuteilung von Rettungsmitteln sowie die begrenzten Ressourcen und die Sicherstellung der Verfügbarkeit stellen eine komplexe Entscheidungssituation dar. Entscheidungsträger im Rettungsdienst sind mit strukturellen Fragen konfrontiert, deren Beantwortung mit Hilfe von quantitativen Methoden und Analysen unterstützt werden können.

Das in dieser Broschüre vorgestellte Tool **SPR²** (Strategische Planung der Ressourcen im Rettungsdienst) bietet eine Entscheidungsunterstützung zur strategischen und taktischen Ressourcenplanung, um Entscheidungsträger im Rettungswesen beispielsweise bei den folgenden Fragestellungen zu unterstützen:

- Welcher Erreichungsgrad kann mit den vorhandenen Ressourcen bei optimaler Nutzung zukünftig erzielt werden?
- Werden die Ressourcen effizient genutzt?
- Wo sollten die Rettungsmittel platziert werden?
- Sollten in Zukunft flexible Standorte genutzt werden?
- Wie wirken sich zukünftige Veränderungen des Budgets der Kommune auf das Rettungsdienstsystem aus?

In der Wissenschaft werden im Bereich des Operations Research Modelle und Methoden erforscht und entwickelt, um bei der Analyse komplexer Entscheidungssituationen zu unterstützen. Operations Research, auch Unternehmensforschung, umfasst quantitative Methoden zur Vorbereitung optimaler Entscheidungen und unterstützt bei der effi-

zenten Lösung von Problemen. Anwendung finden OR-Methoden überall dort, wo möglichst optimale Entscheidungen auf quantitativer Grundlage zu treffen sind. Die Einbindung umfangreicher Daten in mathematische Modelle ermöglicht die Unterstützung und Planung in realen komplexen Systemen wie beispielsweise dem Rettungsdienst. Operations Research verbindet damit die Bereiche Informatik, Mathematik und Wirtschaftswissenschaft. Der Wissenstransfer von Theorie zu Praxis erfolgt über das IT-basierte Entscheidungsunterstützungstool **SPR²**, das als Schnittstelle zwischen theoretisch entwickelten Modellen und anwendungsspezifischen Einsatzgebieten fungiert und somit die theoretischen Erkenntnisse für den Anwender nutzbar macht.

Kapitel 2 und 3 stellen die Anwendungsmöglichkeiten des im Rahmen des Projektes entwickelten **SPR²** dar. Grundlage einer strategischen, nachhaltigen Planung ist eine detaillierte Datenanalyse. Das strukturierte Vorgehen einer systematischen Datenanalyse wird in Kapitel 4 beschrieben. So werden Optimierungspotenziale im aktuellen System identifiziert und Ziele formuliert, für die Lösungsansätze mit Hilfe von **SPR²** bestimmt werden können. Die gesammelten und bereitgestellten Daten bilden die Basis für die Nutzung des Tools, das aus den Komponenten Optimierung, Simulation und Prognose besteht. Mit Hilfe der Optimierung (Kapitel 5) können Sachverhalte innerhalb eines Rettungsdienstsystems strukturiert und mathematisch in einem Modell abgebildet werden. Die Lösung eines solchen Modells sowie die anschließende Simulation (Kapitel 6) der erzielten Ergebnisse, wie Standorte von Rettungstransportwagen (RTWs), ermöglichen eine umfangreiche Analyse und Evaluation des Systems und den damit verbundenen Unsicherheiten. Abschließend dient die Prognose (Kapitel 7) zur Evaluation von zukünftigen Entwicklungen. Das Tool unterstützt ein ganzheitliches Vorgehen, sodass basierend auf den Ergebnissen Handlungsempfehlungen gegeben werden können. Eine Hilfe hierzu bieten abschließend die Hinweise in Kapitel 8.

2 STRATEGISCHE RESSOURCEN IM RETTUNGSDIENST

Im Rahmen des von der Stiftung Zukunft NRW geförderten Projektes „Optimale Versorgungsqualität im Rettungswesen“ hat Prof. Dr. Werners mit ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Unternehmensforschung und Rechnungswesen der Ruhr-Universität Bochum (RUB) ein Optimierungs- und Entscheidungsunterstützungssystem zur strategischen und taktischen Ressourcenplanung kommunaler Rettungsdienste entwickelt.

Das zweijährige Projekt ist am Institut für Unternehmensforschung der RUB angesiedelt und startete am 1. Oktober 2012. In Kooperation mit dem Amt Feuerwehr & Rettungsdienst der Stadt Bochum ist ein anwendungsorientiertes Tool entwickelt worden, das die nachhaltige Verbesserung und Sicherung der Versorgungsinfrastrukturen auf Basis von Optimierung, Simulationen, Prognosen und Analysen praxisnah unterstützt.

STEIGENDE EINSATZZAHLEN

In den letzten Jahren ist ein stetiges Wachstum im Bereich der Einsatzzahlen im Rettungsdienst zu

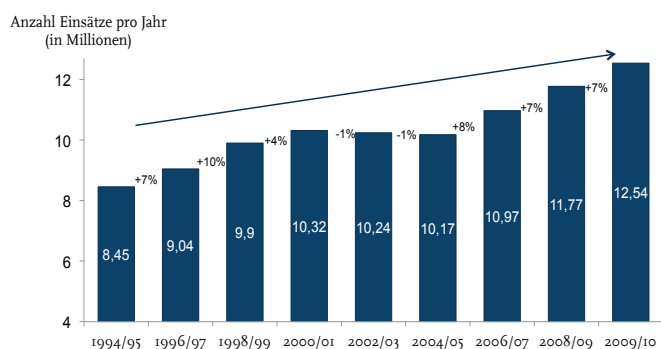


Abb. 1: Entwicklung der RTW Einsätze in Deutschland [Schmiedel, 2011]

beobachten. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der RTW Einsätze in Deutschland, die in den letzten 15 Jahren um nahezu 50 % angestiegen sind. In ganz Deutschland sind Rettungsdienste darüber hinaus mit dem demographischen Wandel konfrontiert. Die Altersstruktur der Bevölkerung ändert sich stetig, insbesondere die Altersgruppe der über 60-Jährigen steigt immer weiter an. Analysen des Rettungsdienstaufkommens in Deutschland zu Folge entfallen mehr als 50 % der Notrufe auf diese Altersgruppe. Abbildung 2 visualisiert auf der linken Seite die Altersstruktur in Deutschland im Vergleich zum Einsatzaufkommen in Abhängigkeit der entsprechenden Altersstruktur auf der rechten Seite.

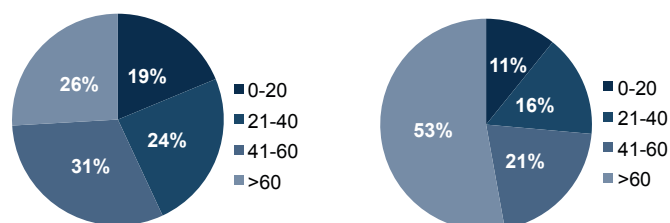


Abb. 2: Altersstruktur in Deutschland (links) und Einsatzaufkommen in Abhängigkeit von Altersstruktur (rechts) [Statistisches Bundesamt, 2013; Behrendt/Runggaldier, 2009]

Es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung in den nächsten Jahren verstärken wird, sodass mit Hilfe einer ganzheitlichen Planung und neuer Optimierungsansätze die richtigen Weichen gestellt werden müssen, um eine optimale Versorgungsqualität für die Zukunft zu gewährleisten.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Im Rettungsdienst entfallen durch das Prinzip der Vorhaltung bis zu 90 % der Gesamtkosten auf Fixkosten, die unabhängig vom Einsatzaufkommen anfallen [Schmiedel, 1999]. Daher muss die Vorhaltung dem Wirtschaftlichkeitsprinzip folgen und ein Kompromiss zwischen Qualität und Kosten gefunden werden. Das wichtigste Qualitätskriterium des Rettungsdienstes ist der Erreichungs-

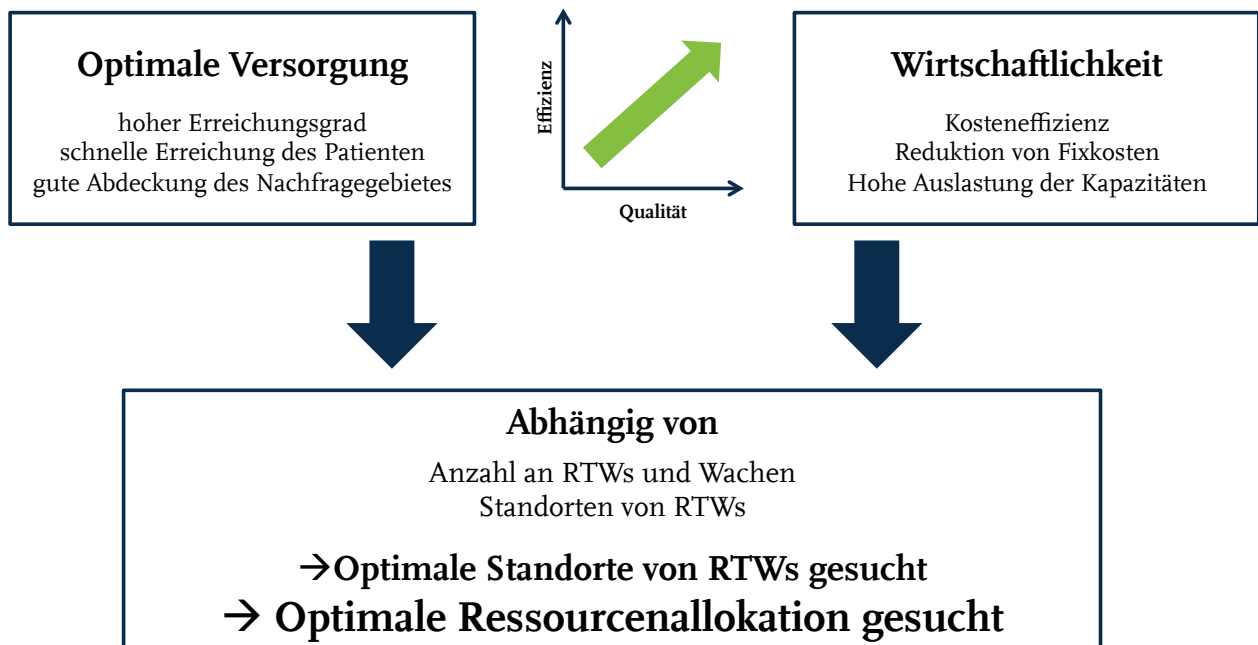


Abb. 3: Trade-Off im Rettungsdienst: Qualität versus Kosten

grad, der sich aus dem Verhältnis von Notfalleinsätzen, die innerhalb einer vorgegebenen Hilfsfrist bedient werden können, zu der Gesamtanzahl aller Einsätze ergibt. Dabei definiert die Hilfsfrist die Zeit zwischen Alarmierung und Erreichung des Patienten durch das erste Rettungsmittel. Diese darf maximal benötigt werden, um eine unverzügliche Erstversorgung gewährleisten zu können. Der Grenzwert ist beispielsweise in Nordrhein-Westfalen gesetzlich nicht exakt festgelegt und nur durch einen Richtwert definiert. Dieser fordert das Eintreffen innerhalb von 8–10 Minuten in städtischen und innerhalb von 12 Minuten in ländlichen Bereichen. Voraussetzung für die Erreichung des Patienten innerhalb der Hilfsfrist ist die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit von Rettungsmitteln (z.B. RTWs) und qualifiziertem Personal.

ENTSCHEIDUNGSEBENEN

Durch die Komplexität des gesamten Rettungsdienstprozesses kann die Kapazitätsplanung abhängig vom Planungshorizont in die langfristige, strategische (länger als 2 Jahre), die mittelfristige, taktische (zwischen 1 und 2 Jahren) und die kurzfri-

stige, operative Planung (Tag bzw. Schicht) unterteilt werden. Diese verschiedenen Planungsebenen unterscheiden sich hinsichtlich des Detaillierungsgrades, des Entscheidungsgegenstandes, des Planungshorizontes, der Planungsreichweite, des Entscheidungsträgers und der Informationslage (Abbildung 4).

Strategische Entscheidungen im Rettungsdienst beinhalten in erster Linie langfristige Entscheidungen über die optimale Anzahl, den Standort und die Kapazität bzw. Größe der Rettungswachen. Zusätzlich werden in der strategischen Planung Entscheidungen über die Anzahl der RTWs gefällt. Strategische Entscheidungen im Rettungsdienst werden in Verhandlungen mit den Krankenkassen (KK), den Kommunen (KO), den Krankenhäusern (KH) und Entscheidungsträgern des Rettungsdienstes (RD) getroffen und im Rettungsdienstbedarfsplan festgehalten. Mittelfristige Entscheidungen der taktischen Planung beinhalten neben der Standortwahl der Rettungsfahrzeuge auch eine grundlegende Zuordnungsstrategie. Die Aufgabe der taktischen Planung ist es, die verfügbaren Fahrzeuge so zu positionieren und als Folge von Veränderungen umzuplatzieren, dass das Stadtgebiet für die regelmäßige Vor-

haltung bestmöglich abgedeckt wird. Im Bereich der kurzfristigen operativen Rettungsdienstplanung sind Notruf-Annahme und deren Bearbeitung sowie die Fahrzeug-Disposition zwei Bereiche, die von Entscheidungsträgern beeinflusst werden. Im Vordergrund der operativen Planung steht die Erreichung des Patienten (PA) innerhalb der Hilfsfrist. Diese kurzfristigen (Echtzeit-) Anpassungen und die Umplatzierung der RTWs sind Schwerpunkte der operativen Rettungsdienstplanung.

PROJEKTZIEL

Ziel des Projektes **SPR²** ist die Entscheidungsunterstützung für kommunale Rettungsdienste auf der strategischen und taktischen Entscheidungse-

bene und beantwortet die Fragestellung, wo zu welchem Zeitpunkt wie viele Rettungsfahrzeuge platziert werden sollten. Darüber hinaus werden weitere Modifikationen, wie beispielsweise die Nutzung zusätzlicher Fahrzeuge und flexibler Standorte sowie die Berücksichtigung von Umplatzierungen, geänderter Reihenfolgen der Wachenauswahl zur Bearbeitung eines Einsatzes (Bereichsfolge) oder Wachbereiche evaluiert. Zusammenfassend wird eine Verbesserung der rettungsdienstlichen Infrastruktur mit Hilfe von Anpassungen an das bestehende Rettungsdienstsystem angestrebt, sodass eine langfristige und gleichmäßige gute Versorgungsqualität gewährleistet werden kann.

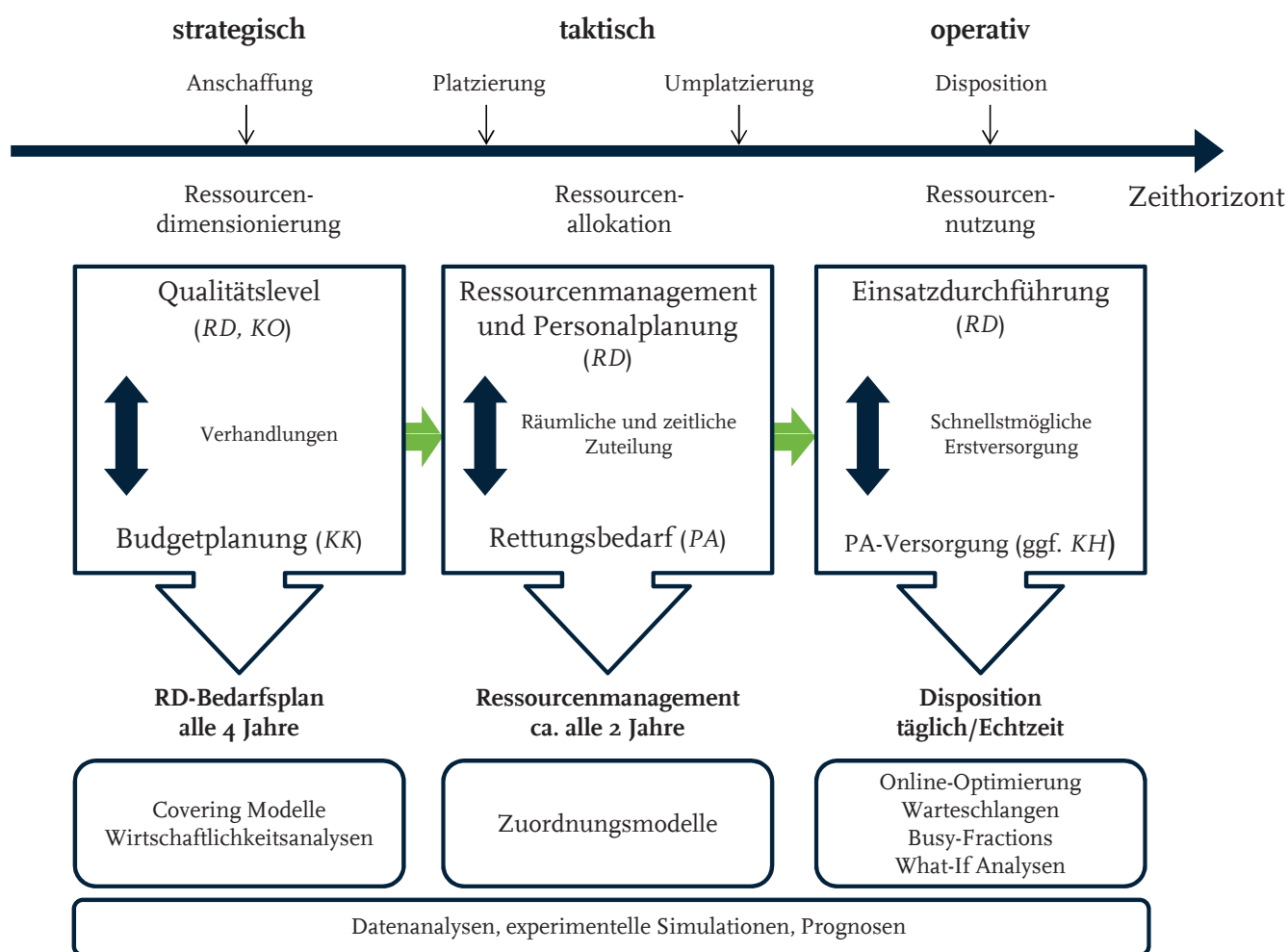


Abb. 4: Entscheidungsträger, -gegenstand, Ziele und Wechselwirkungen [Wiesche et al., 2013]

3 ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGSTOOL

Im Rahmen des Projektes ist ein prototypisches Entscheidungsunterstützungstool gemeinsam mit Feuerwehr & Rettungsdienst der Stadt Bochum entwickelt worden. Bei der Implementierung wurde auf universelle Einsetzbarkeit geachtet, sodass **SPR²** gut für andere Rettungsdienste und Städte übertragbar ist. Für die Eingabe der grundlegenden städtischen und rettungsdienstlichen Infrastrukturen wurde ein grafisches User Interface entwickelt. Weitere Kernelemente des Tools – Optimierung, Simulation und Prognose – sind ebenso stadunabhängig einsetzbar, womit eine weite Verbreitung des Tools angestrebt wird.

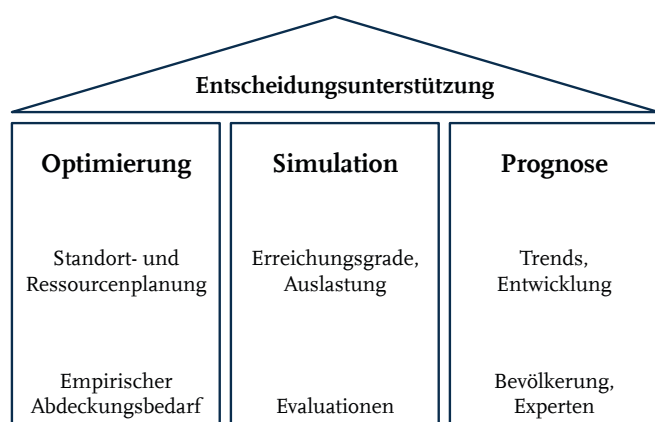


Abb. 5: Bestandteile von **SPR²**

Das prototypische Entscheidungsunterstützungssystem dient der Verbesserung der rettungsdienstlichen Infrastruktur durch räumlich-, zeit- und nachfragegerechte Positionierung von Einsatzfahrzeugen unter Berücksichtigung mobiler Wachen. Dabei kombiniert das interaktive Tool wissenschaftliche Optimierungsmodelle mit dem Fokus auf Standort- und Ressourcenplanung sowie den empirisch benötigten Abdeckungsbedarf mit einer anwenderfreundlichen grafischen Benutzeroberfläche.

Um insbesondere in der Praxis zur Entscheidungsunterstützung beitragen zu können, verfügt **SPR²**

über klar strukturierte Oberflächen zur Eingabe von Daten und Aufbereitung der Ergebnisse, die in enger Zusammenarbeit und stetigem Austausch mit Verantwortlichen von Feuerwehr & Rettungsdienst in Bochum entwickelt wurden.

Die Eingabe in **SPR²** beinhaltet Parameter wie die Anzahl der (flexiblen) Rettungswachen und Einsatzfahrzeuge, sowie deren Standorte und Geschwindigkeiten. Darüber hinaus stehen Schnittstellen zum automatisierten Einlesen und Aufbereiten der Einsatzdaten zur Verfügung.

Mit Hilfe von **SPR²** kann gewährleistet werden, dass die Interessen unterschiedlicher Anspruchsgruppen wie beispielsweise des Rettungsdienstpersonals, Patienten und der Kommune gleichzeitig berücksichtigt und möglichst gut erfüllt werden. Das Entscheidungssystem wird für die vorhandenen Ressourcen (Personal und insbesondere Rettungsdienstfahrzeuge) eine bestmögliche Allokation finden und so Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen. Durch Kombination von Optimierung und Simulation lassen sich so zukünftige Engpässe frühzeitig identifizieren und proaktiv Gegenmaßnahmen ergreifen.



Abb. 6: Hauptmenü des prototypischen Tools

Abbildung 6 zeigt exemplarisch das Hauptmenü des prototypischen Tools. Zunächst werden die Einsatzdaten als Basis für weitere Analysen in die Software geladen. Die drei Bestandteile des Tools – Optimierung, Simulation und Prognose – sind für

den Anwender leicht zu identifizieren und werden durch die Ergebnisanalyse ergänzt. Die Buttons mit entsprechenden Visualisierungen der Funktionen ermöglichen dem Anwender eine einfache Bedienung.

Im Folgenden wird zunächst auf die vorangestellte Datenanalyse eingegangen. Mögliche strukturelle sowie einsatzbasierte Ergebnisse werden beispielhaft anhand der realen Einsatzdaten der Stadt Bochum aufgezeigt.

4 DATENANALYSE

Ziel der Datenanalyse ist es, den derzeitigen Stand des Rettungsdienstes und dessen relevante Kennziffern zu erfassen. Eine grundlegende Strukturanalyse des Rettungsdienstes bietet den Einstieg in die strategische und taktische Rettungsdienstbedarfsplanung und beinhaltet Informationen über die geografischen Gegebenheiten und verfügbaren Ressourcen. Im Rahmen der detaillierten Datenanalyse können Engpässe identifiziert und darauf aufbauend mit Hilfe von **SPR²** Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

GRUNDLEGENDE STRUKTURANALYSEN

In einem ersten Schritt der Datenanalyse wird auf Basis geografischer Gegebenheiten die Struktur des Stadtgebietes erfasst. Dazu sind folgende Daten aufzubereiten und zu erfassen:

- Grundlegende Strukturdaten der betrachteten Kommune (Einwohner, Fläche, Bevölkerungsdichte)
- Standorte bestehender Rettungswachen
- Standorte flexibler Wachen und potenzielle RTW Standorte
- Höhe des gesamten Einsatzvolumen

- Zeitliche und räumliche Verteilung der Einsatznachfrage
- Verfügbarkeit von RTWs und Personal

Beispielhaft wurden für Bochum folgende Informationen erhoben:

- Fläche: 145,4 km²
- Bevölkerung: ca. 374.000
- Bevölkerungsdichte: 2.577 pro km²
- Einsätze pro Jahr: mehr als 22.000 RTW-Fahrten
- 6 Berufs-, 16 freiwillige Feuerwehrstandorte, 12 Krankenhäuser
- 6 feste Wachbereiche, vordefinierte Bereichsfolge für jeden Einsatzort

Das Stadtgebiet in Bochum ist in Planquadrate der Größe 1*1 km² aufgeteilt. Diese abstrakte Visualisierung erleichtert die folgenden Berechnungen und Analysen. In Abbildung 7 sind alle existierenden Wachen und Wachbereiche erfasst sowie potenzielle, flexible Standorte, also freiwillige Feuerwehren und Krankenhäuser, identifiziert und abgebildet worden. Darüber hinaus wurde die Anzahl der einsatzberei-

	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	95	108	121	133	143	150	155	5	
6	1	5	14	24	35	47	59	71	83	96	109	122	134	144	151	156	160	6
7	2	6	15	25	36	48	60	72	84	97	110	123	135	145	152	157	161	7
8	3	7	16	26	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	75	87	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	

□ Wache □ freiwillige Feuerwehr □ Krankenhäuser

Abb. 7: Wachenstandorte, Wachbereiche, freiwillige Feuerwehrstandorte und Krankenhäuser in Bochum

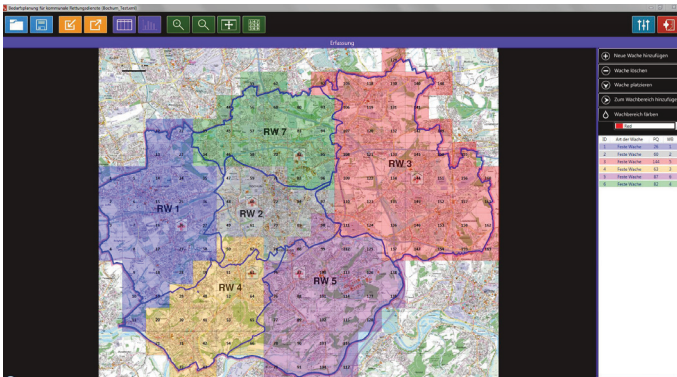
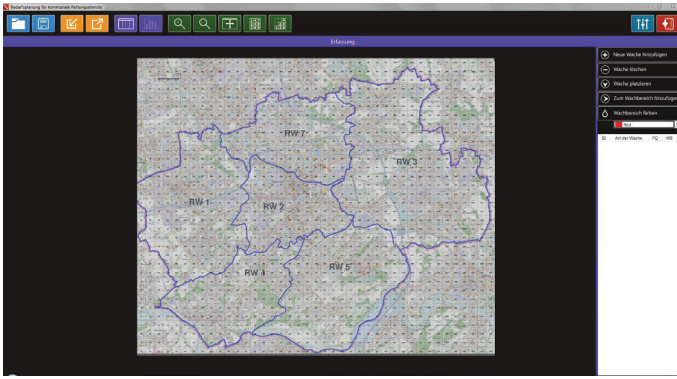


Abb. 8: User Interface zur Eingabe von Wachenstandorten (oben) und resultierende Wachbereiche (unten) am Beispiel Bochum

ten Fahrzeuge in Abhängigkeit von verfügbarem Personal und Fahrzeugen ermittelt.

Für die Eingabe dieser Daten in **SPR²** steht für den Anwender ein komfortables User Interface zur Verfügung, das die Integration in das Tool ermöglicht. Abbildung 8 zeigt exemplarisch das Stadtgebiet Bochums und die Eingabe der strukturellen Datenerfassung hinsichtlich der vorhandenen Wachen und der daraus resultierenden Wachbereiche. Neben der einmaligen Aufnahme der Strukturdaten werden im Folgenden die Einsatzdaten näher betrachtet.

EINSATZDATEN

Anschließend an die vorangegangene strukturelle Datenerfassung folgt die Aufnahme und Analyse der Einsatzdaten. Tageszeit und ortsspezifische Gegebenheiten sind für die Optimierung und Simulati-

on von Bedeutung und müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Die vorliegenden Einsatzdaten sind hinsichtlich Konformität, aber auch hinsichtlich signifikanter Unterschiede, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen, zu untersuchen.

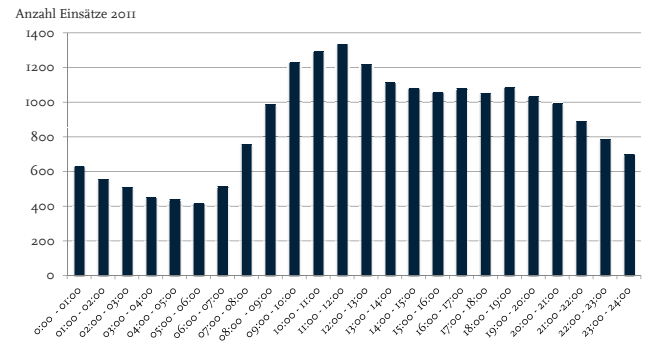


Abb. 9: Tagesprofil der Einsatzdaten 2011 am Beispiel Bochum

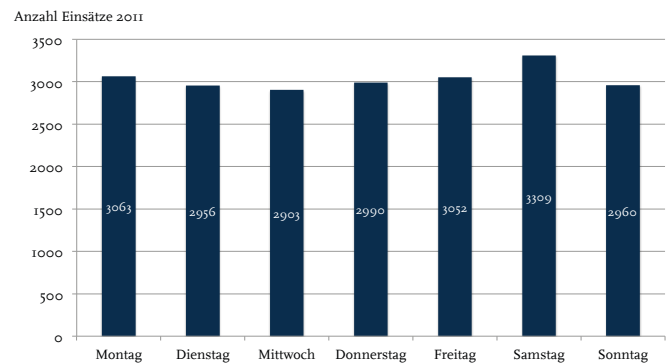


Abb. 10: Wochenprofil der Einsatzdaten 2011 am Beispiel Bochum

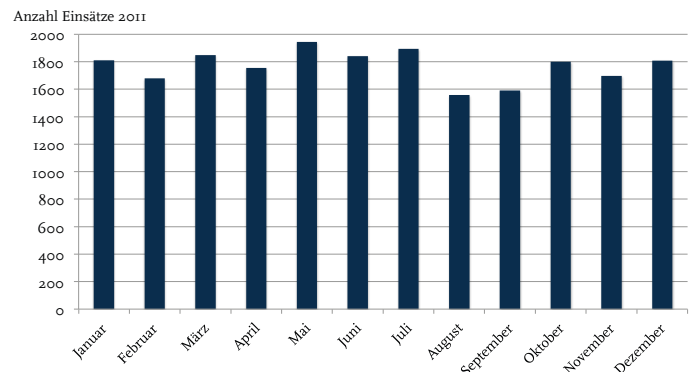


Abb. 11: Jahresprofil der Einsatzdaten 2011 am Beispiel Bochum

Umfangreiche Analysen wurden am Beispiel der Einsatzdaten durchgeführt. Anonyme Einsatzdaten (RTWs) bilden den Ausgangspunkt für die Analysen. Die Abbildungen 9–11 zeigen die Tages-, Wochen- und Jahresprofile für die Stadt Bochum im Jahr 2011. Charakteristisch für das Einsatzaufkommen ist das in Abbildung 9 abgebildete Tagesprofil der Rettungsdiensteinsätze. Die Zeit zwischen 10:00 und 14:00 Uhr lässt sich eindeutig als Stoßzeit identifizieren, im Gegensatz dazu herrscht nachts nur ein sehr geringes Einsatzaufkommen.

Mit Hilfe von Chi-Quadrat-Hypothesentests und weiteren Analysen wurden darüber hinaus signifikante Unterschiede zwischen den Wochentagen festgestellt. Im Rahmen dieser Tests kann überprüft werden, ob Daten einer bestimmten Verteilung unterliegen, sie stochastisch unabhängig sind oder ob zwei oder mehr Stichproben derselben Verteilung bzw. einer homogenen Grundgesamtheit entstammen. Insbesondere zwischen Wochentag und Wochenende, aber auch zwischen Mittwoch und den anderen Wochentagen lassen sich Unterschiede feststellen. Das höhere Rettungsdienstaufkommen am Mittwoch kann eventuell durch die nachmittags ge-

schlossenen Arztpraxen erklärt werden. Zwischen den einzelnen Monaten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Neben der zeitlichen Analyse ist für Bochum auch die räumliche Verteilung der Einsätze analysiert worden. Abbildung 12 visualisiert das Einsatzaufkommen je Planquadrat des Stadtgebietes Bochum im Jahr 2011. Es ist zu erkennen, dass die Nachfrage zwischen 0 und mehr als 1800 Einsätzen pro Jahr schwankt. In der Abbildung ist ebenfalls eine typische Verteilung mit hohen Einsatzzahlen im Stadtzentrum und geringeren Einsatzzahlen in Industrie- und Randbezirken zu erkennen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zu einer bedarfsgerechten Rettungsdienstplanung folgende Aspekte bei der Ressourcenplanung berücksichtigt werden müssen, um Engpässe zu vermeiden:

- Tageszeitabhängige Schwankungen
- Wochentagsabhängige Schwankungen
- Ortsabhängige Schwankungen

PARALLELE EINSÄTZE

Großes Augenmerk der Rettungsdienstplanung ist auf parallele Einsätze zu legen, da diese einen direkten signifikanten Einfluss auf den Erreichungsgrad haben. Bei gleichzeitigem Auftreten von mehreren Einsätzen kann bei einfacher Abdeckung der Nachfragegebiete die Verfügbarkeit von Fahrzeugen innerhalb der Hilfsfrist nicht gewährleistet werden. Darüber hinaus hätte eine Bedienung paralleler Einsätze aus anderen Wachenbereichen zur Folge, dass das restliche Stadtgebiet nicht mehr ausreichend abgedeckt werden kann. Für eine optimale Versorgungsqualität muss gewährleistet werden, dass ausreichend Fahrzeuge zur Verfügung stehen, um parallele Einsätze bedienen zu können. Dazu können die Wahrscheinlichkeit für parallele Einsätze ermittelt, die empirische benötigte Abdeckung bestimmt

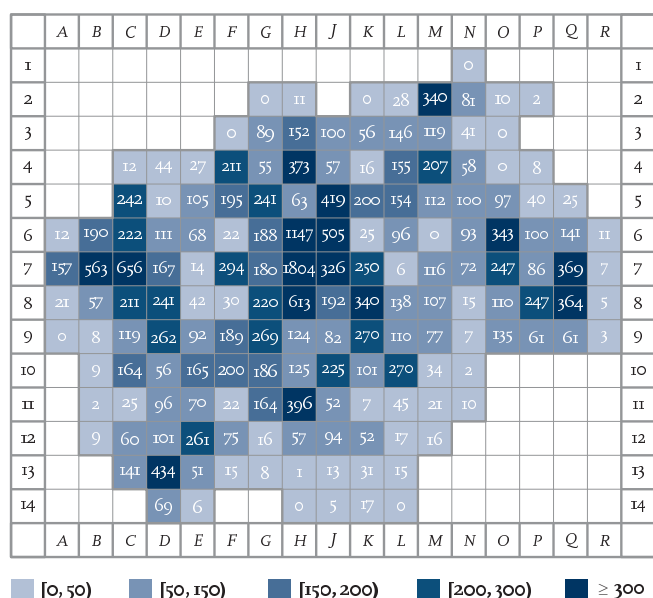


Abb. 12: Einsatznachfrage je Planquadrat in Bochum 2011

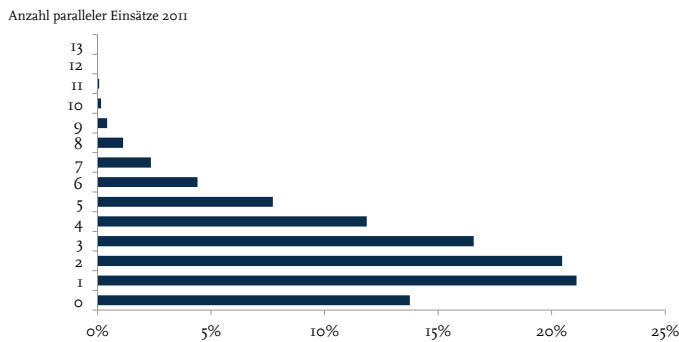


Abb. 13: Parallele Einsätze 2011 am Beispiel Bochum

und die verfügbaren Rettungsmittel bedarfsgerecht zugeteilt werden.

Abbildung 13 visualisiert die Wahrscheinlichkeiten für das Aufkommen von parallelen Einsätzen für das gesamte Stadtgebiet der Stadt Bochum im Jahr 2011. Der Abbildung ist beispielsweise zu entnehmen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 20 % zwei parallele Einsätze auftreten und mit einer Wahrscheinlichkeit von über 90 % mit 8 Fahrzeugen alle parallelen Einsätze im Stadtgebiet bedient werden können.

FAHRGESCHWINDIGKEIT

Die Fahrgeschwindigkeit beeinflusst die Erreichungszeit eines Einsatzortes und damit unmittelbar die Einhaltung der Hilfsfrist. Sie ist abhängig vom räumlichen und zeitlichen Verkehrsaufkommen in einzelnen Stadtgebieten. Abbildung 14 zeigt beispielhaft die durchschnittliche Geschwindigkeit

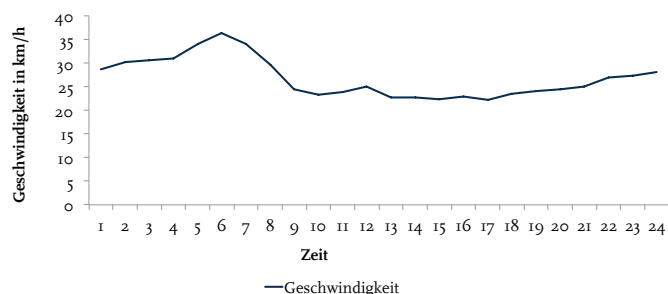


Abb. 14: Beispielhafte Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Uhrzeit

in Abhängigkeit von der Uhrzeit. Es ist zu beobachten, dass in den Nacht- und insbesondere in den frühen Morgenstunden deutlich höhere Geschwindigkeiten erreichbar sind im Vergleich zu vormittags, nachmittags oder abends. Deutlich zu erkennen sind Geschwindigkeitspitzen vor Beginn der Rush Hour (ca. 6 Uhr).

Zusammenfassend sind folgende Aspekte bei der Planung hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeit, falls verfügbar, zu berücksichtigen:

- Tageszeitabhängige Schwankung der Fahrgeschwindigkeit
- Ortsabhängige Schwankung der Fahrgeschwindigkeit

EINSATZABLAUF

Um Optimierungspotenziale innerhalb des Einsatzablaufes zu identifizieren, ist eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Teilprozesse notwendig. Insbesondere sind die Teilprozesse, die Unsicherheit und hohe Volatilität aufweisen, zu identifizieren und bei der Planung zu berücksichtigen.

Der gesamte Einsatz wird durch die automatisierte Übermittlung festgelegter Status-Meldungen der Einsatzfahrzeuge digital erfasst. Abbildung 15 stellt einen solchen Einsatzverlauf schematisch dar. Die Erfassung beginnt, sobald ein Notruf eingeht (Status 0). Darauf folgt die Disposition eines Fahrzeuges und die Abfahrt am Standort (Status 3). Die dann folgende Fahrzeit bis zum Eintreffen am Einsatzort (Status 4) wird inklusive der Disposition als Erreichungszeit definiert. Nach der Erstversorgung des Patienten verlässt das Fahrzeug den Einsatzort (Status 7) und begibt sich entweder zurück zur Wache, sodass es bis zum Eintreffen an der Wache (Status 2) für eine erneute Alarmierung über Funk verfügbar ist (Status 1), oder zum Krankenhaus, sollte eine weitere medizinische Behandlung notwendig sein. Am Krankenhaus angekommen (Status 8) er-

folgt die Übergabe, sowie die anschließende Reinigung des Fahrzeuges. Danach ist das Fahrzeug wieder über Funk einsatzbereit, um einen möglichen neuen Einsatz anzunehmen (Status 1) und befindet sich auf der Rückfahrt zur Wache, bis es dort eintrifft (Status 2).

Im Laufe des aufgezeigten Einsatzes kann es an unterschiedlichen Stellen zu Verzögerungen kommen, die es verhindern, dass ein Fahrzeug schnellstmöglich zu einem Einsatzort kommt oder für eine erneute Alarmierung bereit ist. Schwierig kalkulierbar sind die Fahrzeiten zum Einsatzort und, falls nötig, zum Krankenhaus. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, kann es hier zu tageszeit- und ortsabhängigen Schwankungen in der Fahrgeschwindigkeit kommen. Des Weiteren sind Unterschiede in der Versorgungszeit der Patienten zu berücksichtigen, die für jeden Einsatz individuell sind und von der Schwere des Notfalls abhängen. Sollte es zu einer weiteren medizinischen Behandlung im Krankenhaus kommen, kann es auch hier zu Verzögerungen

bei der Übergabe des Patienten kommen. Beispielsweise können Koordinationsprobleme zwischen dem Rettungsdienst und dem Krankenhaus auftreten, die maßgeblich die erneute Verfügbarkeit der Fahrzeuge behindern.

Sind Einsatzfahrzeuge beispielsweise durch längere Übergabezeiten an der Notaufnahme nicht verfügbar, entstehen Engpässe und die bedarfsgerechte Versorgung des Einsatzgebietes ist nicht mehr gewährleistet. Untersuchungen in Bochum zeigen, dass sich der Erreichungsgrad je Minute Verzögerung um ungefähr 0,2 % verschlechtert, sodass schon eine Verzögerung von jeweils 10 Minuten erhebliche Auswirkungen hat, die sich im Gesamterreichungsgrad widerspiegeln.

Die Analyse der Teilprozesse und der enthaltenen unsicheren Bestandteile bildet die Grundlage für die Optimierung und Simulation, die in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden.

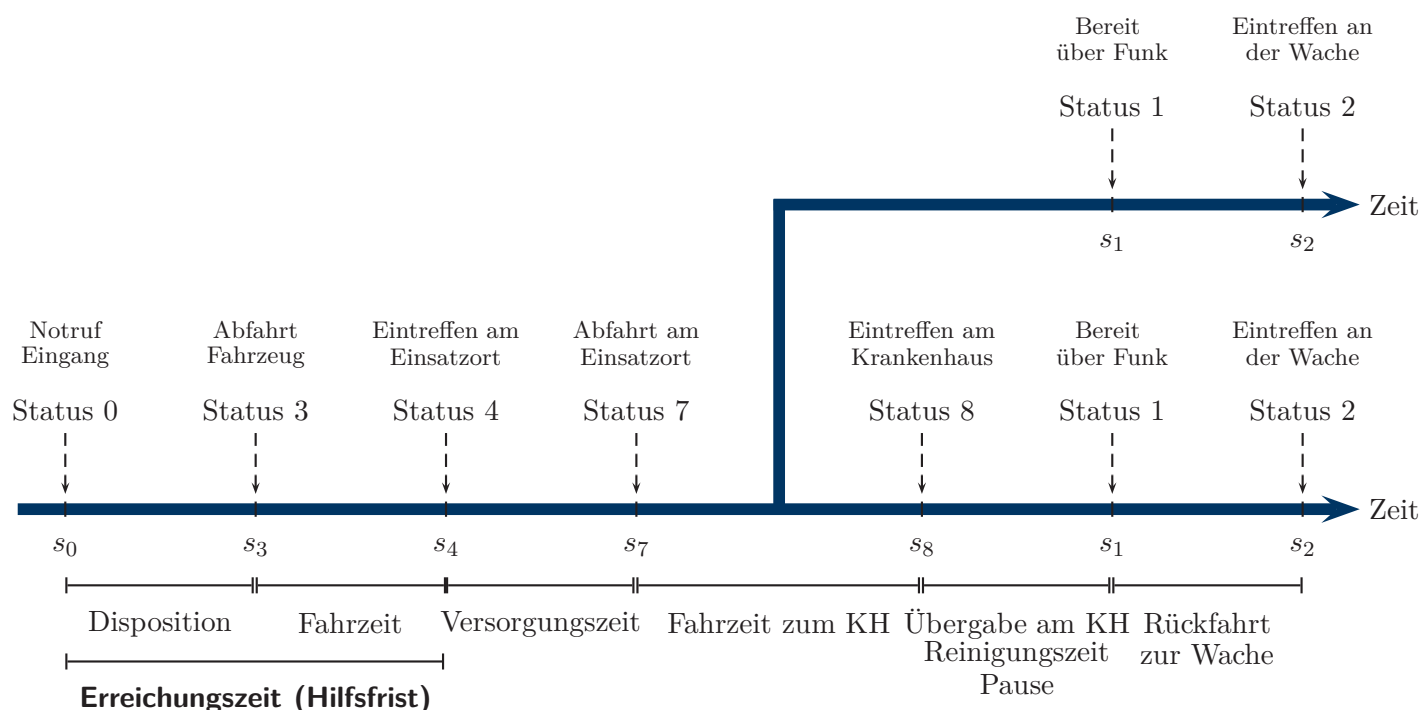


Abb. 15: Schematischer Einsatzablauf

BENÖTIGTE DATEN FÜR DIE ANALYSE

Für eine adäquate Analyse werden zusammenfassend folgende Daten benötigt:

Ressourcen des Rettungsdienstes

- Anzahl und Standorte der Rettungswachen
- Anzahl und Standorte der RTWs im Tagesverlauf
- Informationen über flexible Wachen oder potenzielle RTW Standorte
- Informationen über jeweilige Einsatzgebiete und Zuständigkeitsbereiche der Wachen

Geographische Informationen

- Informationen über das Stadtgebiet
- Aggregation der Einsätze auf Planquadrate
- Wachbereiche, Ausrückfolgen

Anonymisierte Einsatzdaten des Rettungsdienstes

- Alarmierungszeiten
- Erreichungszeiten
- Statuskodierung
- Planquadrate der Einsatzorte

DATENSTRUKTUR

Zum Import in **SPR²** müssen die Einsatzdaten eine vordefinierte Struktur und Formatierung aufweisen, die in Abbildung 16 dargestellt ist. Die Erfassung

der Daten orientiert sich am Einsatzablauf aus Abbildung 15. Der Einsatz beginnt mit Status 0, also der zeitlichen Erfassung des Notrufeingangs. Neben der zeitlichen Erfassung aller folgenden Status in der strukturellen Reihenfolge des Einsatzablaufs ist insbesondere die erneute Verfügbarkeit des Fahrzeugs (Status 1 bzw. 2) für die Analysen im Tool von Bedeutung sowie die geografische Einordnung des Einsatzortes mit Hilfe der Planquadrate.

Die Einsatzdaten müssen frei von Duplikaten, unvollständigen Datensätzen, aufsteigend sortiert und gefiltert vorliegen, um eine geeignete Basis für die Untersuchungen darzustellen. Eine umfangreiche Datenerfassung dient neben der Datenanalyse sowohl der Kalibrierung von Parametern für die Optimierung als auch der Simulation. Darüber hinaus bieten umfangreiche historische Daten die Möglichkeit der besseren Spezifikation und Generierung von Prognosen und simulierten Daten.

Im Folgenden wird auf die zentralen Bestandteile des Tools eingegangen und deren Anwendung und Zielsetzung erläutert.

5 OPTIMIERUNG

Reale Systeme, wie beispielsweise der Rettungsdienst, sind zu komplex, um Konsequenzen von Handlungsalternativen vorhersehen zu können. Durch die Abbildung einer komplexen Entscheidungssituation in einem mathematischen Modell können Konsequenzen von Handlungsalternativen analytisch untersucht und mit Hilfe der Optimierung die bestmöglichen Handlungsempfehlungen bestimmt werden. Die Optimierungskomponente in **SPR²** bietet daher für den Anwender eine geeignete quantitative Entscheidungsunterstützung.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	Inkuzenzeit																Datengenerierung
3	Datum/Zeit	Nr	Stichw	Famkrufname	PG	STATUSTEXT	07:00 bis 19:00 U	Alarmierung	Status 3	Status 4	Status 7	Status 8	Status 1	Status 2		Inkuzenzeit	Planquadrat
4	01.01.2011 00:14:30	R2	R1	4-83-1	G11	Blankensteiner Straße 102		01.01.2011 00:35:23	01.01.2011 00:35:26	01.01.2011 00:42:01	01.01.2011 00:43:35		01.01.2011 01:33:46	01.01.2011 01:50:13		01.01.2011 01:33:46	64
5	01.01.2011 00:14:35	R3	R1	2-83-2	H8	Schauspielhaus Bochum, Königrallee 15		01.01.2011 00:14:39	01.01.2011 00:15:59	01.01.2011 00:18:01	01.01.2011 00:22:46	01.01.2011 00:23:49	01.01.2011 00:35:14			01.01.2011 00:35:14	73
6	01.01.2011 00:14:40	R4	R1	2-83-3	H8	Saladn-Schmitz-Straße 0		01.01.2011 00:15:39	01.01.2011 00:16:48	01.01.2011 00:20:28	01.01.2011 00:37:16	01.01.2011 00:37:52	01.01.2011 01:00:44			01.01.2011 01:00:44	73

Abb. 16: Struktur der Einsatzdatenerfassung in Excel

In der Optimierungskomponente werden insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt:

- Tageszeit- und ortsabhängige Nachfrage
- Empirisch benötigte Abdeckung der Nachfragegebiete im Zeitverlauf
- Zusätzliche und flexible RTW Standorte
- Dynamische und flexible Zuordnung von RTWs zu Standorten

Hinsichtlich der Formulierung eines adäquaten Optimierungsmodells sind mehrere quantitative Kriterien zu berücksichtigen, wie beispielsweise die benötigte Abdeckungshäufigkeit, die Anzahl der Umplatzierungen und die Nutzung flexibler Standorte.

QUANTITATIVE BEURTEILUNGSKRITERIEN

Zur Bewertung der Versorgungsqualität stehen in Praxis und Forschung verschiedene Gütekriterien zur Verfügung. Das für die Praxis wesentliche Kriterium ist der Erreichungsgrad, der das Verhältnis von Einsätzen, die innerhalb einer festgelegten zeitlichen (Hilfs-)Frist erreicht worden sind, zur Gesamtanzahl der Einsätze angibt.

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

In einer kumulierten Betrachtung können so Aussagen darüber abgeleitet werden, inwieweit das gesamte Stadtgebiet innerhalb der gesetzlichen Hilfsfrist versorgt werden kann.

Über den Erreichungsgrad hinaus ist die Abdeckungshäufigkeit jedes Einsatzgebietes ein wichtiges Qualitätskriterium des Rettungsdienstes. Durch die mehrfache Abdeckung von Einsatzorten wird der Erreichungsgrad positiv beeinflusst, jedoch ist die dazu notwendige Anzahl von Wachenstandorten durch Budgetvorgaben der jeweiligen Kommune

stark begrenzt. Eine Steigerung der Qualität ist in der Regel durch zusätzliche Mittel oder durch Umverteilung von Mitteln und somit einer effizienten Nutzung erreichbar.

Eine bedarfsgerechte Abdeckung des Stadtgebietes bildet eine ideale Planungsgrundlage, um den Erreichungsgrad positiv zu beeinflussen. Zur Ermittlung einer bedarfsgerechten Abdeckung werden unterschiedliche Faktoren berücksichtigt, wie die tageszeitabhängige Fahrgeschwindigkeit der Einsatzfahrzeuge und das Auftreten paralleler Einsätze. Die Sicherstellung der ermittelten bedarfsgerechten Abdeckung stellt neue Herausforderungen an die zugrunde liegende rettungsdienstliche Infrastruktur, wie die Anzahl und Position von Rettungswachen und Einsatzfahrzeugen.

Unter Berücksichtigung gegebener Budgets der Rettungsdienste stellen Neuerrichtungen von Wachen meist keine praxistauglichen Handlungsalternativen dar. Daher wird auf innovative Konzepte wie beispielsweise die Nutzung von „mobilen“ Wachen, d.h. die Positionierung von Einsatzfahrzeugen an Standorten z.B. der freiwilligen Feuerwehr oder Krankenhäusern, zurückgegriffen. Basierend auf konträren Zielsetzungen – Erhöhung der Servicequalität und Berücksichtigung ökonomischer Beschränkungen – werden mit Hilfe von **SPR²** optimale Standorte von Wachen und Einsatzfahrzeugen ermittelt, sowie eine entsprechende räumliche und zeitliche Ressourcenallokation vorgenommen.

BENÖTIGTE DATEN FÜR DIE OPTIMIERUNG

Für die Durchführung der Optimierung ist folgender Dateninput notwendig:

- Strukturdaten des Stadtgebietes
- Betrachtete Zeitperioden
- Anzahl der Fahrzeuge je Periode
- Nutzung von mobilen Wachen

- Nutzung von Umplatzierungen
- ggf. Vorhaltungsvorgaben

VEREINFACHTES MODELL

Um einen tieferen Einblick in den strukturellen Aufbau eines mathematischen Optimierungsmodells zu geben, soll im Folgenden ein vereinfachtes Modell beispielhaft dargestellt werden. Wie in Abbildung 17 angegeben, besteht ein mathematisches Optimierungsmodell aus vorher definierten Entscheidungsvariablen und Parametern, die zur quantitativen Beschreibung von Zielfunktionen und Restriktionen verwendet werden. Der Fokus dieses Modells liegt auf der zweifachen Abdeckung von Nachfragepunkten, um eine qualitative gute Versorgung zu gewährleisten. Intendiert ist damit ein Back-Up Gedanke, um parallelen Einsätzen vorzubeugen.

$$\max \sum_{i \in I} d_i x_i^2 \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in \mathcal{N}_i^{T_2}} y_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} d_i x_i^1 \geq \alpha \sum_{i \in I} d_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_i^1 \geq x_i^2 \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{N}_i^{T_1}} y_j \geq x_i^1 + x_i^2 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} y_j = r \quad (6)$$

$$x_i^1, x_i^2 \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$y_j \in \mathbb{N}_0 \quad \forall j \in J \quad (8)$$

- ▶ d_i : Nachfrage am Knoten i
- ▶ $\mathcal{N}_i^{T_k} := \{j \in J \mid t_{ij} \leq T_k\}$
- ▶ $T_1 < T_2$
- ▶ r : Anzahl an RTWs
- ▶ $x_i^k = \begin{cases} 1, & \text{wenn Nachfrageknoten } i \\ & k \in \{1, 2\}\text{-fach abgedeckt wird} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$
- ▶ y_j : Anzahl an RTWs platziert am Knoten j

Abb. 17: Double Standard Model [Gendreau/Laporte, 1997], Weiterentwicklungen Degel/Wiesche/Rachuba/Werners, 2014; Degel/Lutter, 2013

Bei der mathematischen Beschreibung, ob ein Einsatzort einfach oder mehrfach abgedeckt ist, werden Binärvariablen (x_i^1, x_i^2) verwendet (7). Diese nehmen

genau dann den Wert 1 an, sobald ein Nachfragepunkt einmal (zweimal), also durch ein (zwei) Rettungsmittel erreichbar ist, ansonsten 0. Die Anzahl der Rettungsmittel an Wache j wird mit y_j beschrieben und kann alle natürlichen Zahlen inklusive 0 annehmen (8). Die Variable d_i (demand) beschreibt die Nachfrage, also das erwartete Einsatzvolumen im Planquadrat i .

Darüber hinaus werden in diesem Modell zwei unterschiedlich große (zeitliche) Radien berücksichtigt, die in Minuten gemessen die gesetzliche Hilfsfrist abbilden. Der Radius T_1 ist dabei zeitlich geringer bemessen als der Radius T_2 . Es kann sich dabei beispielsweise um unterschiedliche Hilfsfristen für städtische und ländliche Regionen handeln. Die (Mehrfach-)Abdeckung von potenziellen Einsatzorten (rote Punkte) durch potenzielle RTW Standorte (grüne Quadrate) in Abbildung 18 verdeutlicht den Sachverhalt und Vorteil zweier betrachteter Radien.

Das Modell beginnt mit einer zu maximierenden Zielfunktion (1). In diesem Fall soll die gesamte Nachfrage, die von mindestens zwei Rettungsmitteln innerhalb der kürzeren Hilfsfrist erreichbar ist, maximiert werden. Darunter folgen Restriktionen, welche die Gegebenheiten und strikte Anforderungen an den Rettungsdienst abbilden. Dazu gehört zunächst, dass jeder Nachfrageknoten mindestens innerhalb der längeren Hilfsfrist erreichbar ist, al-

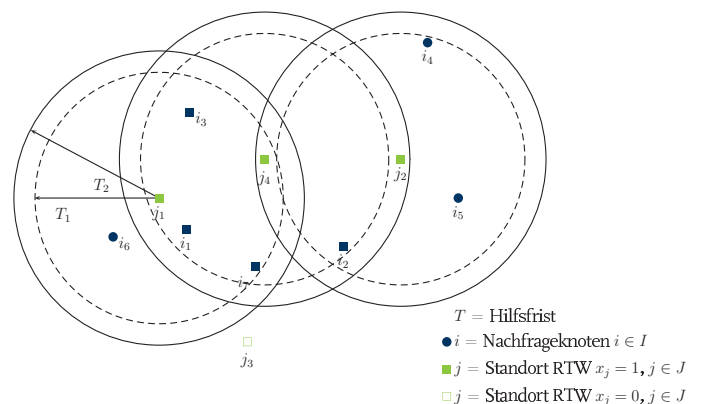


Abb. 18: Mehrfachabdeckung mit Hilfe von zwei Hilfsfristen

so mindestens ein Rettungsmittel für jeden potenziellen Einsatzort in diesem Bereich zur Verfügung steht (2). Des Weiteren wird für einen prozentualen Anteil *alpha* der erwarteten Gesamtnachfrage gefordert, dass dieser von mindestens einem Rettungsmittel innerhalb der kürzeren Hilfsfrist erreicht werden kann (3). Darüber hinaus werden weitere technische Restriktionen im Modell berücksichtigt. Dazu gehört beispielsweise die Anforderung, dass sobald ein Einsatzort durch zwei Rettungsmittel erreicht werden kann, er folglich auch mindestens durch ein Rettungsmittel erreichbar ist (4). Ein Nachfrageknoten gilt dabei als ein- bzw. zweifach abgedeckt, wenn mindesten ein bzw. zwei Rettungsmittel diesen innerhalb der kürzeren Hilfsfrist erreichen können (5). Das bedeutet, sobald eine Nachfrageregion durch ein Rettungsmittel abgedeckt ist, muss auch mindestens ein Fahrzeug im zuständigen Bereich vorhanden sein. Analog gilt dies für die doppelte Abdeckung. Die Anzahl der Rettungsmittel im gesamten System ist auf *r* begrenzt, wie Restriktion 6 entnommen werden kann.

In **SPR²** ist ein wesentlich komplexeres Modell zur Berücksichtigung der komplexen Realität implementiert. Durch die Vorgabe von Parametern im Tool kann der Optimierungssolver gestartet werden. Das Modell wird mit der kommerziellen Software FICO® Xpress Optimization Suite 7 gelöst, und die Lösung über geeignete Schnittstellen an **SPR²** zurückgegeben. Um das Modell auf Basis vorhandener Daten zu lösen, prüft der Solver systematisch alle möglichen Kombinationen von Zuordnungen von Rettungsmitteln zu Standorten unter Berücksichtigung aller einschränkenden Restriktionen und Annahmen.

POTENZIALE VON OPTIMIERUNGSMODELLEN

Das vorgestellte, vereinfachte Modell zeigt beispielhaft, wie reale Gegebenheiten und Zielsetzungen mathematisch abgebildet werden und auf Basis re-

aler Einsatzdaten gelöst werden können. Die Modelle, die im Rahmen des Projektes entwickelt wurden und in **SPR²** implementiert sind, sind weitaus komplexer, vgl. beispielsweise Degel et al., 2014.

Reale Problem sind oftmals durch mehrere konträre Zielvorstellungen charakterisiert. Durch Multi-Kriteria Ansätze können Ansprüche verschiedener Interessengruppen berücksichtigt werden und beispielsweise neben der Maximierung der Servicequalität weitere Zielvorstellungen wie die Minimierung der Kosten direkt im Modell Beachtung finden.

Mit Hilfe der Restriktionen können darüber hinaus verschiedene Anforderungen an das System implementiert werden, wie beispielsweise die begrenzte Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen oder die Mindestabdeckung einzelner Gebiete. Hier kann, wie im vereinfachten Beispiel gezeigt, mit verschiedenen Hilfsfristen gearbeitet werden, sodass unterschiedliche Grade der Abdeckung erreicht werden. Darüber hinaus können dynamische Veränderungen integriert werden, wie die Umplatzierung von Rettungsmitteln und die temporäre Nutzung flexibler, zusätzlicher Wachenstandorte.

Das mathematische Optimierungsmodell dient zusammenfassend als Entscheidungsunterstützung und stellt Sachverhalte strukturiert dar. Viele der Parameter können direkt vom Entscheidungsträger beeinflusst werden oder werden aus der vorgeschalteten Datenanalyse übernommen, sodass ein großer Handlungsspielraum gewährleistet ist.

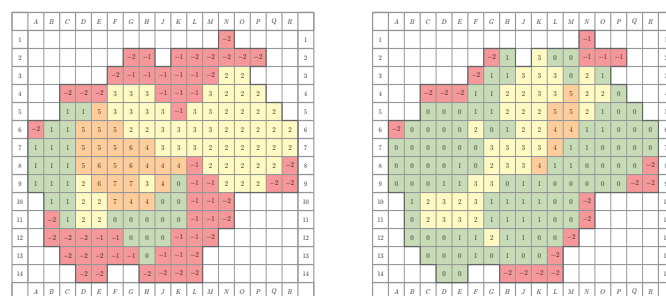


Abb. 19: Abdeckung des Optimierungsmodells im Vergleich zur empirisch benötigten Abdeckung

ERGEBNISSE DER OPTIMIERUNG AM BEISPIEL BOCHUM

Nach der Lösung des mathematischen Optimierungsmodells mittels der Software Xpress steht dem Entscheidungsträger ein Ergebnis auf Basis der vorher festgelegten Parameter und strukturellen Informationen zur Verfügung. Dieses Ergebnis beinhaltet die optimale Zuordnung der Rettungsmittel zu existierenden Wachen und flexiblen Standorten. Daraus lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten und weitere Analysen durch eine Neuberechnung durchführen.

Abbildungen 20 und 21 zeigen den Unterschied zwischen den ursprünglichen Standorten von Rettungsmitteln (*status quo*) und der Zuteilung durch das Optimierungsmodell am Beispiel der Stadt Bochum. Es ist zu erkennen, dass in der optimalen Lösung neben existierenden Rettungswachen (grün) auch flexible Standorte für Rettungsmittel (blau) genutzt werden. Zusätzliche flexible Wachen werden dabei hauptsächlich in den Rush Hours, verbunden mit geringen Geschwindigkeiten und hohen Einsatznachfragen, eingesetzt, um die Abdeckung insbesondere in den Randbezirken der Stadt zu gewährleisten.

In Abbildung 19 ist für das Beispiel Bochum abgebildet worden, inwieweit eine qualitativ bessere Lösung durch das Optimierungsmodell verglichen mit dem *status quo* erzielt werden kann, basierend auf den Zuordnungen aus den Abbildungen 20 und 21. Engpässe der aktuellen Zuordnung des Rettungsdienstes bilden die Unterversorgung (rot gefärbte Planquadrate) der Randgebiete und eine teilweise Überversorgung des Stadtzentrums (gelb und orange gefärbte Planquadrate). Durch die Umverteilung der Rettungsmittel und Nutzung der flexiblen Wachen kann mit Hilfe der optimalen Zuordnung eine deutlich bedarfsgerechtere Zuteilung der Ressourcen erfolgen.

Wachen ■	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
D/8	3	3	3	3	3	3
G/7	3	3	4	4	4	3
O/6	4	4	4	4	4	4
G/10	I	I	I	I	I	I
J/10	I	I	I	I	I	I
J/5	I	I	I	I	I	I

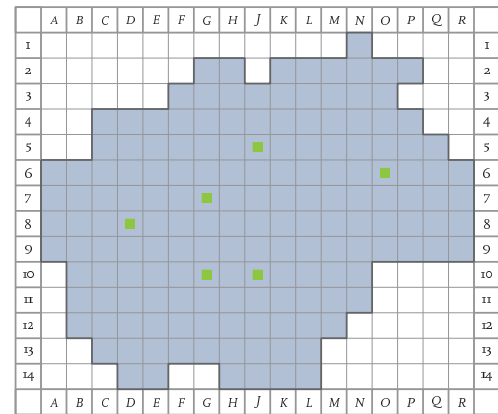


Abb. 20: Aktuelle Zuteilung der RTWs zu Rettungswachen und deren Standorte

Wachen ■	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
D/8	3	3	2	2	2	2
G/7	0	0	0	0	0	0
O/6	4	4	2	4	4	4
G/10	I	I	I	I	I	I
J/10	2	2	2	2	2	2
J/5	3	3	3	3	3	3

Flexible Standorte ■

D/13	0	0	I	I	I	0
M/2	0	0	I	I	I	I
C/13	0	0	I	0	0	0
L/5	0	0	I	0	0	0

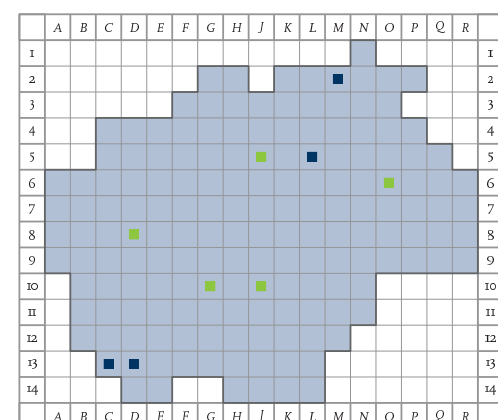


Abb. 21: Optimale Zuteilung der Wachen durch das Optimierungsmodell unter Berücksichtigung flexibler Wachen

Die vorher identifizierten Versorgungsengpässe können somit durch die Nutzung flexibler Wachen und eine tageszeitabhängige Re-allokation der Rettungsmittel weitestgehend beseitigt werden.

INTEGRATION IN SPR²

Die Optimierung ist durch ein benutzerfreundliches User Interface für den Anwender einfach im Tool zu bedienen (s. Abbildung 22). Entsprechend der durch die Datenanalyse ermittelten Einsatznachfrageprofile und unter Berücksichtigung der Personalplanung des Rettungsdienstes können anwenderspezifische Zeitintervalle in **SPR²** initialisiert werden. Unter Rückgriff auf historische oder prognostizierte Einsatzdaten kann entschieden werden, ob mobile Wachen, Umplatzierungen der Fahrzeuge und/oder Vorhaltungsvorgaben genutzt werden sollen. Des Weiteren können benutzerdefinierte Einstellungen vorgenommen werden, unter deren Berücksichtigung eine optimale Rettungsmittelzuteilung erfolgt.

Eine gesamtheitliche Umstrukturierung der Zuteilung von Rettungsmitteln ist in der Realität nicht immer praktikabel, sodass insbesondere eine partielle Re-Optimierung von einzelnen Rettungsmitteln von besonderem Interesse ist:



Abb. 22: Screenshot des User Interface: Optimierungskomponente

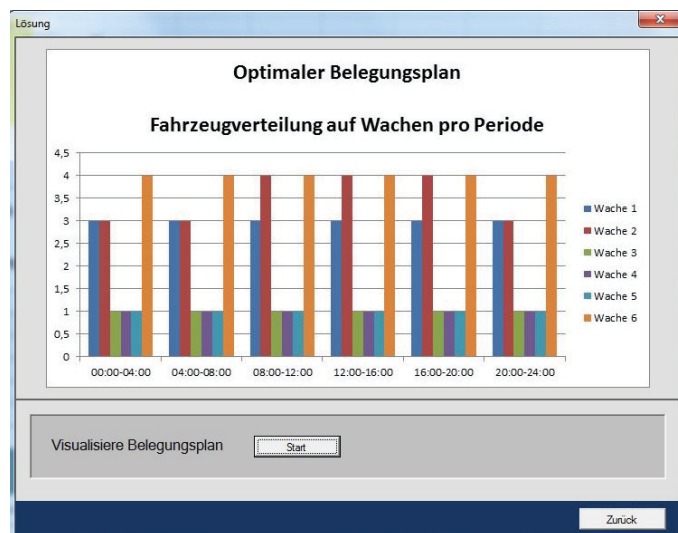


Abb. 23: Screenshot SPR², Ergebnis der Optimierung: Optimale Ressourcenallokation

- Wo sollte ein zusätzliches Rettungsmittel positioniert werden?
- Welche Konsequenzen ergeben sich aus einer Umpositionierung?

Durch die Eingabe einer teil-fixierten Ressourcenallokation können Präferenzen des Entscheidungsträgers direkt in **SPR²** berücksichtigt werden.

In der Optimierungskomponente können nur a-priori definierte Kriterien wie die Abdeckungshäufigkeit berücksichtigt werden. Um ex-post Qualitätskriterien wie den Erreichungsgrad zu ermitteln und die Ergebnisse des Optimierungsmodells (dargestellt in Abbildung 23) zu evaluieren, wird eine Simulation benötigt, die ein weiterer Hauptbestandteil von **SPR²** ist.

6 SIMULATION

Eine an die Optimierung anschließende Simulation eignet sich zur Analyse von Erreichungsgraden sowie Auslastungsgraden und ermöglicht eine detaillierte Evaluation und Visualisierung der Ergebnisse und Konsequenzen von Entscheidungen. Insbesondere mithilfe der Simulation ist es möglich, den Anwendern wertvolle Informationen unmittelbar zugänglich zu machen. Diese werden strukturiert aufgearbeitet und sind über detaillierte Grafiken abrufbar. Damit können reale oder zukünftige Situationen sowie verschiedene Szenarien und Entwicklungen untersucht werden, ohne Anpassungen der realen rettungsdienstlichen Infrastruktur physisch durchführen zu müssen.

Die Vorteile der Simulation sind:

- Abbildung der realen Situation/Dynamik
- Evaluation des Optimierungsmodells
- Evaluation vorgegebener Ressourcenallokationen

- What-if-Analysen
- Abbildung und Evaluation verschiedener Szenarien, ohne Fahrzeuge physisch umzuplatzieren

Im Rahmen der Simulation können unsichere Nachfrage, unsichere Fahrgeschwindigkeiten, unsichere Behandlungsdauern usw. berücksichtigt werden. Für diese wurden in der Datenanalyse Verteilungen bestimmt und im System hinterlegt, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

VERTEILUNGSANPASSUNGEN

Auf Basis umfangreicher empirischer Daten wurden mit Hilfe der voran geschalteten Datenanalyse Verteilungsfunktionen für die spezifischen Einsatzdaten in Abhängigkeit von Wochentag, Tageszeit und Einsatzort spezifiziert. Saisonale Trends in Abhängigkeit der Jahreszeit sowie Extremszenarien (Neujahr, Silvester, Volksfeste) können ebenfalls berücksichtigt werden. Entsprechend dieser Charakteristika werden für jede Zeitperiode und jeden

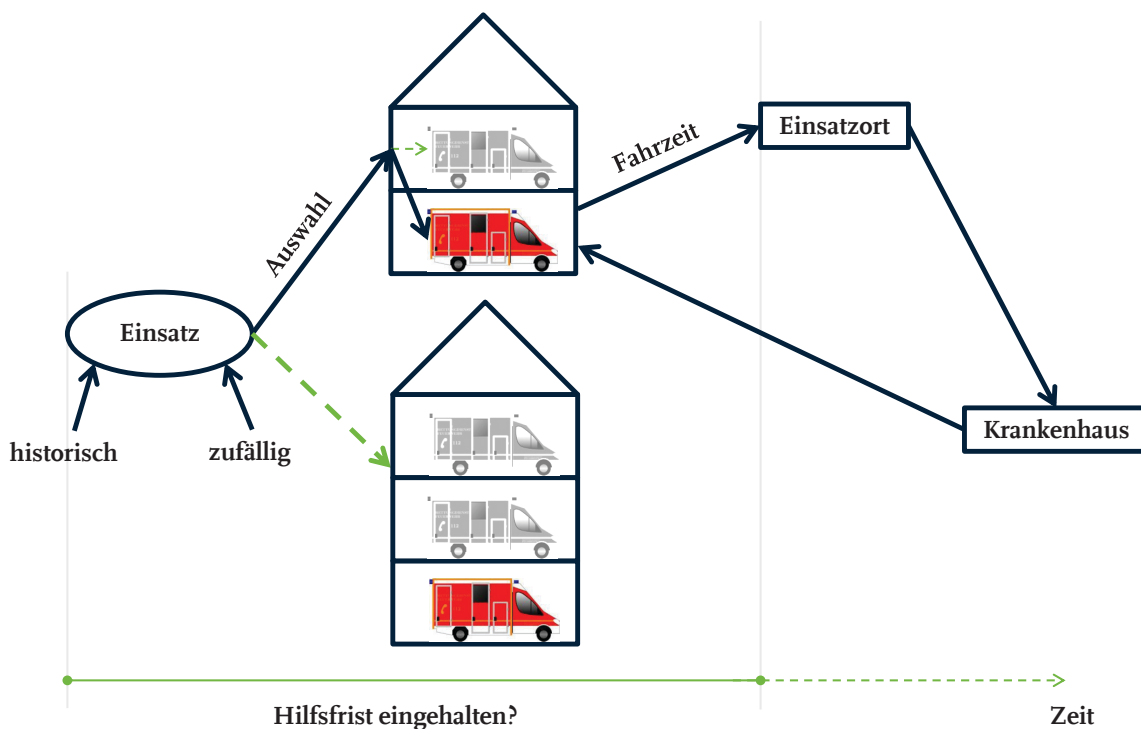


Abb. 24: Schematischer Ablauf der Simulation

potenziellen Einsatzort Poisson-Verteilungen spezifiziert, mit deren Hilfe die entsprechende Anzahl an Einsätzen bestimmt wird.

Des Weiteren sind unsichere Geschwindigkeiten und damit unsichere Fahrzeiten zu berücksichtigen, die darüber hinaus in Abhängigkeit der Tageszeit erheblich schwanken können. Typischerweise kann, wie im Kapitel Datenanalyse beschrieben, eine höhere Geschwindigkeit während der Abendstunden erreicht werden, im Gegensatz zu einer niedrigeren Fahrgeschwindigkeit und somit einer längeren Fahrzeit zum Einsatzort in der Mittagszeit. Diese Unsicherheit findet in der Simulation durch die Wahl auf geeigneter Weise bestimmter, zufälliger Parameter Berücksichtigung. Für die ebenfalls stochastische Dispositions- und Ausrückzeit wurde für Bochum ein Mittelwert von 90 Sekunden ermittelt, der vom Entscheidungsträger in **SPR²** angepasst werden kann.

Ein Einsatz ist während der Simulation auf Basis des Alarmierungszeitpunktes, dem dazugehörigen Planquadrat, der Fahrzeit und der gesamten Dauer charakterisiert. Auf Basis realer Einsatzdaten lassen sich spezifische Parameter und Verteilungen spezifizieren und somit stochastische Einsatzdaten erzeugen.

BENÖTIGTE DATEN FÜR DIE SIMULATION

Für die Durchführung der Simulation ist folgender Dateninput notwendig:

- Anzahl und Standorte von Rettungswachen/RTWs (optimal/vorgegeben)
- (Zeitabhängige) Parameter (Geschwindigkeit, Nachfrage)
- Einsatzdaten (historisch, prognostiziert)

Sind diese Daten anhand der Vorgabe in **SPR²** eingegeben worden, kann die Simulation gestartet werden.

SIMULATIONSABLAUF

Bei der verwendeten Simulation handelt es sich um eine diskrete, ereignisgesteuerte Simulation. Im wissenschaftlichen Kontext stellt Simulation eine gängige Vorgehensweise dar, um komplexe und sich im Verlauf dynamisch verändernde Systeme zu untersuchen und eignet sich demnach hervorragend für die Analyse von Rettungsdiensten. Ziel der Simulation ist die Evaluation der vorangegangenen Ergebnisse der Optimierungsmodelle bzw. der durch den Anwender vorgegebenen Ressourcenallokationen.

Die Simulation startet bei einem Einsatz und bearbeitet diesen anhand der Bereichsfolge, die durch den Anwender bereitgestellt wird. Steht ein Fahrzeug an der zuständigen Wache zur Verfügung, d.h. es ist nicht im Einsatz, wird dieses für den Einsatz gewählt. Ist dies nicht der Fall, wird die Bereichsfolge sukzessiv abgearbeitet. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis ein freies Fahrzeug gefunden ist. Sollte kein verfügbares Fahrzeug gefunden werden, wird der Einsatz in eine Warteschlange eingereiht. Kann ein verfügbares Fahrzeug ausgewählt werden, wird die Fahrzeit zum Einsatzort in der Simulation berücksichtigt, sodass Aussagen über die Einhaltung der Hilfsfrist in einer anschließenden Evaluation getroffen werden können. Das Fahrzeug ist währenddessen blockiert und kann keine weiteren Einsätze versorgen. Der weitere Einsatzablauf wird in diesem Schritt der Entscheidungsunterstützung bis zur erneuten Verfügbarkeit des Fahrzeugs anhand der vorher definierten Status aus Abbildung 15 simuliert.

Der Simulationsablauf ist in Abbildung 24 schematisch dargestellt. Die Auswahl der zuständigen Wache wird auf Basis der Bereichsfolge festgelegt. Ein roter Rettungswagen charakterisiert ein verfügbares Fahrzeug, wohingegen ein grau hinterlegtes Fahrzeug als blockiert gilt und nicht zur Verfügung steht und somit einen anderen Einsatz bedient. Die

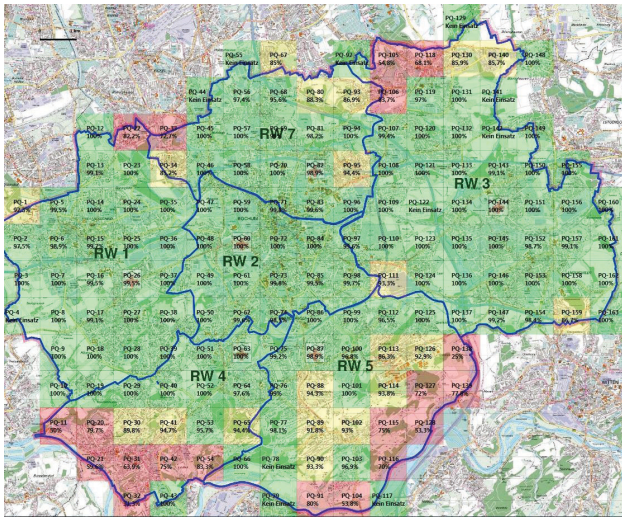


Abb. 25: Erreichungsgrade nach der Simulation am Beispiel Bochum

Simulation ist beendet, sobald alle Einsätze innerhalb des simulierten Zeitraums bedient worden sind. Folgender Output steht abschließend für eine Analyse zur Verfügung:

- Erreichungsgrade je Planquadrat
- Auslastung der Wachen und Fahrzeuge
- Kosten (indirekt)

ERGEBNISSE DER SIMULATION AM BEISPIEL BOCHUM

Abbildung 25 zeigt beispielhaft Ergebnisse der Simulation der Stadt Bochum. Die Abbildung visualisiert die Erreichungsgrade im gesamten Stadtgebiet unter Berücksichtigung der optimalen, bedarfsgerechten Zuordnung von Rettungsmitteln. Grün markierte Planquadrate symbolisieren einen Erreichungsgrad von über 90 %, gelb markierte einen Erreichungsgrad von 80 – 90 % und die rot markierten Planquadrate, die vor allem am Stadtrand zu erkennen sind, einen Erreichungsgrad von unter 80 %. Es ist zu erkennen, dass die bedarfsgerechte Abdeckung der Einsatzgebiete, wie im Optimierungsmodell berücksichtigt, auch einen hohen Erreichungsgrad in den meisten Nachfragegebieten impliziert.

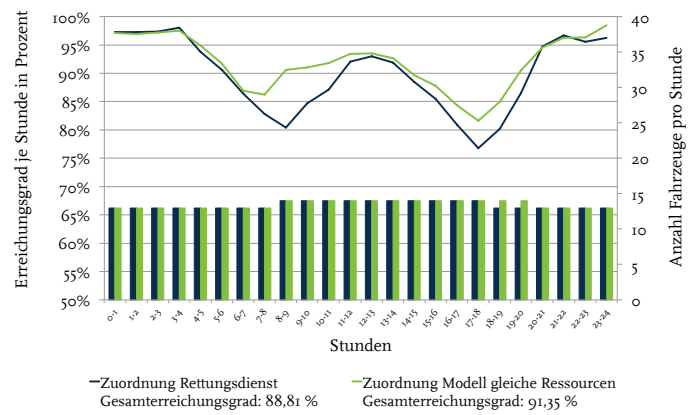


Abb. 26: Erreichungsgrad je Stunde in Abhängigkeit von der verwendeten Fahrzeuganzahl – gleiche Ressourcen

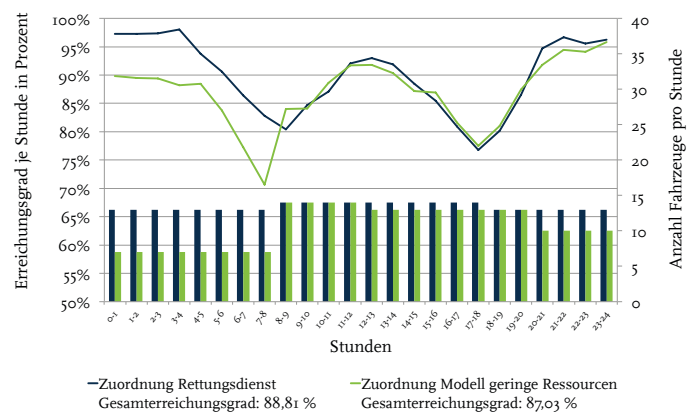


Abb. 27: Erreichungsgrad je Stunde in Abhängigkeit von der verwendeten Fahrzeuganzahl – geringere Ressourcen

Mit Hilfe der Simulationskomponente können darüber hinaus verschiedene Zuordnungen verglichen werden. In Abbildungen 26 und 27 sind beispielhaft Simulationsergebnisse für die Stadt Bochum dargestellt. Verglichen sind dabei die optimale Zuordnung, die mithilfe der Optimierungskomponente ermittelt wurde, im Vergleich zur aktuellen Zuordnung des Rettungsdienstes. Dabei wurde die optimale Zuordnung einerseits unter Berücksichtigung der gleichen Ressourcen (Abbildung 26) und unter Berücksichtigung geringerer Ressourcen (Abbildung 27) bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass generell, unter Zuhilfenahme der Optimierung, mit geringerem Ressourceneinsatz annähernd gleiche Gesamterreichungsgrade erzielt werden können bzw. mit gleichem, aber flexiblerem Ressourcenein-

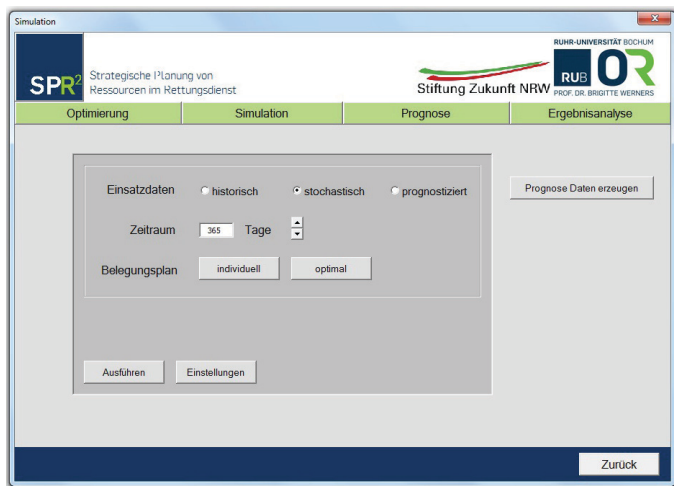


Abb. 28: Screenshot des Benutzer Interfaces: Simulation

satz durch eine verbesserte zeitabhängige Allokation höhere Gesamterreichungsgrade erreichbar sind.

Weitere Erkenntnisse konnten auf Basis der Simulationsergebnisse gewonnen werden. Sind Einsatzfahrzeuge beispielsweise durch längere Übergabezeiten an der Notaufnahme nicht verfügbar, entstehen Engpässe und die Versorgung des Einsatzgebietes ist nicht mehr gewährleistet. Untersuchungen zeigen, dass sich der Erreichungsgrad pro einer Minute Verzögerung um ungefähr 0,2 % verschlechtert, sodass schon eine Verzögerung von 10 Minuten erhebliche Auswirkungen haben kann, die sich folglich im Gesamterreichungsgrad widerspiegeln.

INTEGRATION IN SPR²

Auch für die Simulation steht ein benutzerfreundliches User Interface für den Anwender zur Verfügung. Bei der Eingabe der Daten handelt es sich vorwiegend um die Entscheidung, ob mit historischen, stochastischen oder prognostizierten Daten gearbeitet und für welchen Zeitraum die Simulation durchgeführt werden soll (s. Abbildung 28). Darüber hinaus kann ein Vorhaltungsplan individuell vorgegeben oder der optimale aus dem Optimierungsmodell genutzt werden.

7 PROGNOSE

Mit Hilfe der Komponenten Optimierung und Simulation des entwickelten Entscheidungsunterstützungssystems ist es möglich, das bestehende Rettungsdienstsystem zu untersuchen, zu analysieren und zu bewerten. Ebenso ist es möglich, die Konsequenzen von Anpassungen zu evaluieren bzw. die Unterschiede zur optimalen, d.h. der bestmöglichen Ausgestaltung des Rettungsdienstsystems aufzuzeigen.

Neben den generellen, strukturellen Änderungen in der Nachfrage nach Rettungsdiensteinsätzen, die maßgeblich durch den demografischen Wandel in Deutschland bestimmt werden, sind regional- und rettungsdienstspezifische Faktoren bei der Bestimmung zukünftiger Bedarfe von Bedeutung.

In einer alternden Gesellschaft steigt die Nachfrage sowohl nach Rettungstransporten als auch nach Krankentransporten immer weiter an. Das ist insbesondere darin begründet, dass die Altersklasse der über 60-Jährigen am stärksten anwächst und diese Altersklasse anteilig das höchste Einsatzvolumen generiert. Durch die allgemein beobachtbare Spezialisierung von Krankenhäusern ist zudem eine zunehmende Steigerung an Verlegungstransporten zu verzeichnen, die oftmals Intensivverlegungen darstellen und sich daher stark auf die im Rettungsdienstsystem vorhandenen Ressourcen auswirken.

Zu diesen generellen Nachfrageänderungen müssen bei der konkreten Planung ebenfalls spezifische Besonderheiten und Gegebenheiten des betrachteten kommunalen Rettungsdienstes berücksichtigt werden. Darunter fallen insbesondere städtebauliche Entwicklungen, wie beispielsweise die Erschließung von Neubaugebieten, die Umwidmung industrieller Brachflächen oder auch Errichtung von Alten- und Pflegeheimen, die eine starke lokale Erhöhung der Nachfrage nach sich ziehen. Kommunspezifische Gegebenheiten können durch Exper-

ten innerhalb der Prognose berücksichtigt werden, erfordern aber einen hohen Grad an Fachwissen, der nicht automatisiert einbezogen werden kann.

Bei der Planung für zukünftige Perioden ist für die Entscheidungsträger des Rettungsdienstes insbesondere die Qualität des Rettungsdienstes bei sich ändernden zukünftigen Einsatzzahlen von Interesse, um proaktive Anpassungen durchführen zu können und so nachhaltig eine angemessen hohe Versorgungsqualität bereitzustellen. Nachfrageänderungen beziehen sich sowohl auf das Einsatzvolumen des gesamten Planungsgebietes als auch auf einzelne räumliche Strukturen.

Die Komponente Prognose bietet daher eine benutzerfreundliche Schnittstelle, um die zukünftige Einsatznachfrage prognostizieren zu können und anschließend mit Hilfe von Optimierung und Simulation angemessene Handlungsalternativen, wie beispielsweise die Beschaffung zusätzlicher Rettungsmittel und deren Zuordnung zu Rettungswachen, zu bestimmen.

ERGEBNISSE DER PROGNOSE AM BEISPIEL BOCHUM

Abbildung 29 zeigt eine mögliche Ausgabe beispielhafter Prognoseergebnisse der Einsatzdaten der Stadt Bochum. Auf Basis der Einsatzdaten der letzten 5 Jahre [Rettungsdienstbedarfsplan der Stadt Bochum, 2013] mit dem Basisjahr 2012 sind Prognosen für die Jahre 2013–2015 für das gesamte Stadtgebiet beispielhaft dargestellt. Aufgrund der zuvor erläuterten Entwicklungen ist auch in Bochum mit einer steigenden Einsatzzahl in den kommenden Jahren zu rechnen.

INTEGRATION IN SPR²

Die Prognose ist durch ein benutzerfreundliches User Interface im Tool integriert (Abbildung 30).

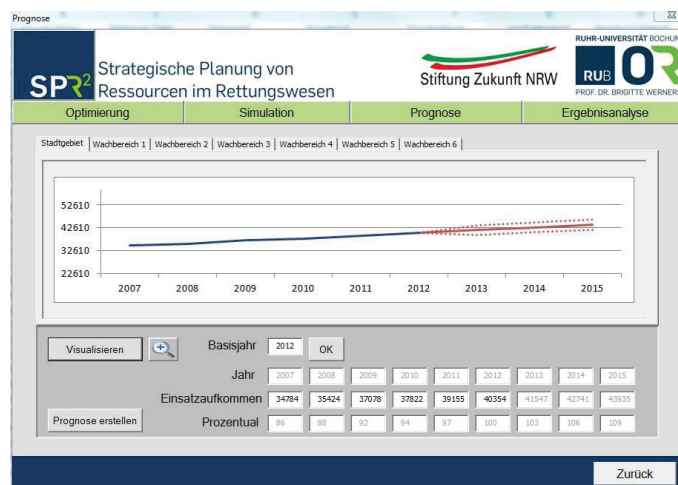


Abb. 29: Prognose der Einsatzdaten in Bochum

Die Einsatzaufkommen der vergangenen Jahre sind manuell einzutragen und stellen die Inputparameter der Prognose dar. Die Eingabe dieser Basisdaten erfolgt in den dafür vorgesehenen Feldern. Es ist darauf zu achten, dass alle vergangenheitsorientierten Eingabefelder auszufüllen sind, da sonst keine Berechnung durchgeführt werden kann. Durch Starten der Berechnungen werden die Prognosewerte ausgehend vom Basisjahr für die kommenden drei Jahre berechnet und angezeigt (Regression auf Zeitrend). Zudem werden prozentuale Anteile berechnet und in den entsprechenden Feldern angezeigt.

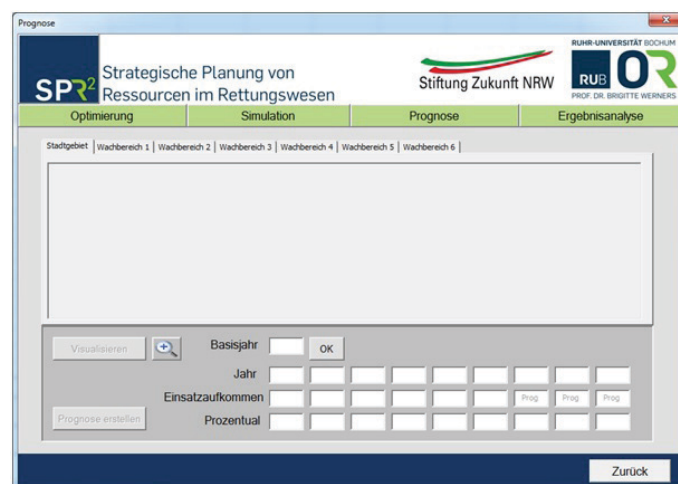


Abb. 30: Screenshot des User Interfaces: Prognose

Diese ergeben sich aus dem Einsatzaufkommen des entsprechenden Jahres gemessen am Einsatzaufkommen des Basisjahres.

Die Prognose ist darüber hinaus in Form eines Diagramms darstellbar. Nach der Durchführung der Prognose stehen die prognostizierten Einsatzdaten innerhalb der Tools zur Verfügung und können in der Simulation und Optimierung verwendet werden.

Somit bildet die dritte Komponente den abschließenden Bestandteil eines umfassenden, praxisbezogenen und anwenderfreundlichen Entscheidungsunterstützungssystems, das zur nachhaltigen Verbesserung der Servicequalität im Rettungswesen beiträgt.

BENÖTIGTE DATEN FÜR DIE PROGNOSE

Für die Erstellung einer Prognose werden vom Entscheidungsträger die folgenden Daten benötigt:

- Einsatzdaten der vergangenen Jahre für das gesamte Stadtgebiet
- Einsatzdaten der vergangenen Jahre für die einzelnen Wachen
- Informationen über zukünftige strukturelle Veränderungen

8 AUSBLICK UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Das vorgestellte Tool **SPR²** (Strategische Planung der Ressourcen im Rettungsdienst) bietet eine Entscheidungsunterstützung zur strategischen und taktischen Ressourcenplanung für kommunale Rettungsdienste. Bedingt durch die allgemeingültige Implementierung und das komfortable User Interface kann es gut von Feuerwehren und Rettungsdiensten unterschiedlicher Städte und Landkreise adaptiert werden.

Mit Hilfe des Tools kann, wie hier am Beispiel der Stadt Bochum gezeigt, eine Verbesserung der rettungsdienstlichen Infrastruktur erreicht werden, indem Anpassungen an dem bestehenden Rettungsdienstnetzwerk vorgenommen werden können, sodass eine langfristige und gleichmäßige gute Versorgung gewährleistet werden kann.

Die umfangreiche Beschreibung der Datenerfassung und aller Komponenten des Tools ermöglichen dem Entscheidungsträger einen strukturierten Einstieg auf Basis seiner Anforderungen und Fragestellungen. Es handelt sich bei dem vorgestellten Tool bisher um einen Prototypen, der beispielsweise im Rahmen wissenschaftlicher Studienarbeiten in Kooperation mit Feuerwehren und Rettungsdiensten sowie dem Lehrstuhl angewendet werden kann. Auf diese Weise wird bereits jetzt die Übertragbarkeit der theoretischen Ergebnisse in die Praxis gefördert.

Für weitere wissenschaftliche Quellen und zusätzliche Informationen wird auf das nachfolgende Literaturverzeichnis verwiesen.

LITERATURVERZEICHNIS

Behrendt, Holger; Runggaldier, Klaus (2009): Ein Problemaufriss über den demographischen Wandel in der Bundesrepublik Deutschland, in: Notfall & Rettungsmedizin, Heft 1, 2009, S. 45–50.

Degel, Dirk; Wiesche, Lara; Rachuba, Sebastian; Werners, Brigitte (2014): Time-dependent ambulance allocation considering data-driven empirically required coverage, in: Health Care Management Science, DOI: 10.1007/s10729-014-9271-5.

Degel, Dirk; Wiesche, Lara; Rachuba, Sebastian; Werners, Brigitte (2014): Reorganizing an existing volunteer fire station network in Germany. In: Socio-Economic Planning Sciences, Volume 48, S. 149–157.

Degel, Dirk; Wiesche, Lara; Werners, Brigitte (2014): Data Driven Ambulance Optimization Considering Dynamic and Economic Aspects, in: Operations Research Proceedings 2013, Berlin 2014, S. 105–112.

Degel, Dirk; Lutter, Pascal (2013): A Robust Formulation of the Uncertain Set Covering Problem, Workingpaper, Optimization Online, verfügbar unter: http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2013/06/3926.pdf.

FICO® Xpress-Mosel user guide, 2012.

Gendreau, Michel; Laporte, Gilbert (1997): Solving an ambulance location model by tabu search, in: Location Science, Vol. 5, No. 2, 1997, S. 75–88.

Rettungsdienstbedarfsplan der Stadt Bochum, 2013.

Schmiedel, Reinhard (2011): Leistungen des Rettungsdienstes 2008/09: Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2008 und 2009, Bergisch Gladbach, 2011.

Schmiedel, Reinhard; Behrendt, Holger; Betzler, Emil (2004): Bedarfsplanung im Rettungsdienst, Berlin u. a. 2004.

Schmiedel, Reinhard; Betzler, Emil (1999): Ökonomische Rahmenbedingungen im Rettungsdienst: Teil I – Zum Begriff der Wirtschaftlichkeit im Rettungsdienst, in: Notfall & Rettungsmedizin, Vol. 1, S. 35–38.

Statistisches Bundesamt (2013): Bevölkerungsvorausberechnung.

Werners, Brigitte; Degel, Dirk; Rachuba, Sebastian; Wiesche, Lara; Heußén, Simon (2013): Bedarfsplanung für kommunale Rettungsdienste: Wo sollte jedes Fahrzeug stehen?, in: Rettungsdienst, Jg. 36, Heft 4, 2013, S. 38–41.

Wiesche, Lara (2014): Time-dependent dynamic location and relocation of ambulances, in: Operations Research Proceedings 2013, Berlin 2014, S. 481–486.

Wiesche, Lara; Rachuba, Sebastian; Degel, Dirk (2013): Entscheidungsunterstützung im Rettungsdienst, in: Armbrorst, Kathrin et al. (Hrsg.): Management Science, Modelle und Methoden zur quantitativen Entscheidungsunterstützung, Festschrift zum 60. Geburtstag von Brigitte Werners, Hamburg 2013, S. 119–130.

DANKSAGUNG

Der Stiftung Zukunft NRW danken wir sehr für die Förderung dieses Projektes, die es uns ermöglicht hat, mit mehreren Forschern und Praktikern so erfolgreich diese Basis für die Verbesserung der Notfallrettung zu entwickeln. Der besondere Dank geht an Herrn Dr. Frank Borstelmann, Frau Dr. Heike Koch und Herrn Dr. Joachim Minnemann, die sich mit großem Engagement in jeder Projektphase eingebracht haben.

Dem Institut für Unternehmensführung und hier besonders Herrn Dr. Martin Seidler gebührt großer Dank für die organisatorische Unterstützung bei allen Projektbelangen.

Wir danken unseren Studentinnen und Studenten, die uns bei der Erstellung der Broschüre und im Rahmen des Projektes umfangreich unterstützt haben. Insbesondere danken wir

- Marina Pulst für die Erstellung der Broschüre und für die gesamte Unterstützung im Projekt
- Tristan Becker für abschließende Layoutgestaltungen der Broschüre
- Volker Kriz und Kevin Kloft für die Gestaltung des User Interface
- Nadja Kühl, Maik Riethmüller und Sebastian Riethmüller für die Gestaltung des User Interface zur Eingabe des Stadtgebietes
- Rebecca Zimmermann und Sebastian Schwan für die Unterstützung im Projekt
- Anne Kücke und Jan Minnebeck für die Unterstützung während ihres Praktikums bei Feuerwehr & Rettungsdienst der Stadt Bochum

Außerdem danken wir allen Personen, die sich während der Projektdurchführung mit Rat und Tat beteiligt haben. Besonders hervorheben möchten wir an dieser Stelle Frau Inge Spieker.

